

Avdelningen för Byggnadsfysik
Examensarbete TVBH—5127
Lund 2023

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

- Fallstudie av Kockums Maskin- och monteringshall i Varvsstaden, Malmö.

Foj Sunisa Knutsson



LUNDS
UNIVERSITET

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

- Fallstudie av Kockums Maskin- och monteringshall i Varvsstaden, Malmö

Foj Sunisa Knutsson

Examensarbete Väg- och vattenbyggnad Civilingenjör 30 p

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

© Foj Sunisa Knutsson

ISRN LUTVDG/TVBH—5127—SE(93)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

Titel: Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektiviseringen

Författare: Foj Sunisa Knutsson

Handledare: Petter Wallentén, institution bygg- och miljöteknologi, avdelningen byggnadsfysik

Examinator: Ulla Janson, institution bygg- och miljöteknologi, avdelningen installations- och klimatiseringslära

Bakgrund: Byggbranschen står inför en stor utmaning vad gäller den höga energianvändningen. Det är under dessa förhållanden viktigt att lyfta upp energi- och miljöfrågan tidigt i projekteringen för stora stadsomvandlingsprojekt, speciellt för byggnader med särskilda krav såsom kulturhistoriska byggnader. Byggnaderna ska kunna få en ny funktion utan att den kulturhistoriska målbilden äventyras eller att dess historia bleknas bort. Sådana stora stadsomvandlingsprojekt bör även främja energieffektivisering, vilket kan anses som en stor utmaning speciellt avseende skyddsbestämmelser.

Arbetet utgick från en av de kulturhistoriska byggnaderna inom Varvsstadens projekt i Malmö, vars mål är att utveckla ett gammalt industriområde till en ny stadsdel med god hållbarhetsprofil. Byggnaden som studerades var Maskin- och monteringshallen med en storlek på cirka 10 600 m² vars framtida verksamhet efter renovering bland annat kommer att bestå av kontor och högskola. Byggnaden står i det gamla Kockumsområdet som är beläget i Västra hamnen med ett centralt läge i Malmö.

Syfte: Syftet med studien var att ge förslag på renoveringsåtgärder och undersöka i vilken utsträckning bevarande av kulturvärde kan förenas med energieffektivisering av samhällen, samt vilka avsteg som är rimliga att utföra för att nå aktuella standarder och lagkrav. Målet var att utarbeta en strategi för renovering av k-märkta byggnader som väger in målbilder för bevarande av kulturvärde och samtidigt ta hänsyn till lagkrav och ramverk för energieffektivisering. Denna strategi skulle behandla både ställda krav på energiprestanda och kulturvärdesbevarande.

Metoder: Metoderna som användes var litteraturstudie, fallstudie och parameterstudie för att komma fram till en rimlig strategi för val av renoveringsåtgärder lämpade för kulturmärkta byggnader. Under fallstudien studerades ett antal färdigrenoverade kulturhistoriska byggnader i Varvsstaden samt själva maskin- och monteringshallens bakgrund.

Parameterstudien utfördes i första hand i simulerings-programmet IDA-ICE, för att erhålla byggnadens energibehov och behov av köpt energi. Först konstruerades ett Basfall upp för att kunna jämföra de olika renoveringsalternativen med en gemensam utgångspunkt. Totalt simulerades 14 fall där bland annat isolertjocklek, fönsterbyte och solavskärmning studerades separat respektive tillsammans. Resultaten från IDA-ICE användes sedan för att beräkna primärenergitalet enligt BBR. Vidare användes även ett online verktyg, PVGIS för att få ut genererad solex för de fallen som inkluderar solceller. Då det var aktuellt att undersöka möjlighet att certifiera byggnaden enligt Miljöbyggnad 3.2 studerades även indikator 3 i detta certifieringssystem – Byggnadens energianvändning.

Slutsatser: Resultatet visar att den renoveringsmetod med 100 mm inneliggande tilläggsisolering och invändig solavskärmning var tillräcklig för att uppnå aktuella standarder avseende energiprestanda utan att äventyra byggnadens kulturhistoriska värde för mycket. Primärenergitalet för detta fall låg på 68,7 kWh/m², A_{temp} och år vilket var precis under BBR-krav för nybyggda lokaler som låg på 70 kWh/m², A_{temp}. Detta motsvarade betygsnivå Brons för indikator 3 på Miljöbyggnad 3.2 Ny byggnad.

Under arbetets gång utvecklades även en strategi för att analysera och utveckla de olika jämförelse fallen. Resultatet blev en strategi som sammanväger kulturvärdesbevarande och krav på energiprestanda. Strategin sammanställdes i en arbetsprocess med fyra steg som bör beaktas vid ändring av kulturhistoriska byggnader; (1) Bevara befintlig karaktär, (2) återställa kulturhistoriskt värde, (3) ta hänsyn till aktuella lagkrav, och till sist (4) anpassa till energiomställningen.

Nyckelord: K-märkta byggnader, kulturbevaring, renovering, energianvändning, energieffektivisering, solceller, tilläggsisolering, fönsterbyte, solavskärmning, IDA-ICE, Miljöbyggnad.

Abstract

The aim of this study was to provide proposals for renovation measures and investigate to what extent preservation of cultural values can be combined with energy efficiency in an urban transformation projects. The goal was also to develop a strategy for the renovation of k-marked buildings using literature study, case study and parameter study. The case study was based on a 1910s industrial building called “Maskin- & monteringshallen”, located in Västra hamnen Malmö. It had protection regulations k and q and was particularly valuable from a cultural and historical point of view. The parameter study was primarily carried out by the simulation program IDA-ICE to obtain the building energy demand and more. A total of 14 cases were simulated where among other things, insulation thickness, window replacement and solar shading were studied.

The study found that 100 mm of internal additional insulation and internal solar shading was sufficient to achieve current energy standards without compromising too much of the cultural historical details and value of the building. The strategy was compiled into a four-step work process which could be considered when renovating cultural-historic buildings; (1) preserve existing character, (2) restore cultural-historical value, (3) take current legal requirements into account, and finally (4) adapt to the energy transition.

Keywords: K-marked buildings, cultural preservation, renovation, energy use, energy efficiency, solar cells, additional insulation, window replacement, solar shading, IDA-ICE, Miljöbyggnad.

Förord

Med ett stort intresse inom hållbart byggande valde jag och min kamrat Love Sandin att utföra examensarbete som berörde ämnet väldigt väl. Efter att ha spenderat en stor del av utbildningen till att tillämpa hållbarhet i byggbranschen kändes det väldigt naturligt att avsluta de fantastiska åren med ett projekt som identifierar byggbranschens stora utmaningar. Projektet Varvsstaden berörde verkligen det mesta inom hållbart byggande och mycket mer.

Arbetet utfördes i nära samarbete med Love Sandin och resulterade i två examensarbeten med liknande bakgrund. Vi studerade arbetet och projektet tillsammans fram till resultatet då en oförutsedd händelse orsakade uppdelningen. Detta examensarbete har fokus på byggnadens energianvändning och energieffektivisering medan byggnadens inomhusklimat och termisk komfort studerades mer i detalj i Sandins arbete.

Jag som har författat detta arbete kände mig tacksam för all hjälp och stöd som vi fick av projektledarna på Varvsstaden, Daniel Hagerstad och Erik Wennerholm. Det hade inte gått utan era engagemang. Jag vill även rikta ett stort tack till PrimeProject AB som har varit en inspirationskälla med deras bidrag till projektet. Vidare hade inte arbetet kunna komma till slut utan den absolut viktigaste hjälp under arbetets gång, vår handledare Petter Wallentén. Jag vill tacka honom för hans upplyftande råd och kommentarer. Tack för att du ställde krav. Tills sist vill jag ge ett stort tack till vår examinator, Ulla Janson för hennes värdefulla insikt och råd.

Lund, maj 2023

Foj Knutsson

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT.....	III
FÖRORD.....	V
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	VII
1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE OCH MÅL.....	2
1.2.1 <i>Frågeställning</i>	2
1.3 METOD OCH AVGRÄNSNINGAR.....	2
2 TEORI OCH LITTERATURSTUDIER	5
2.1 ENERGI.....	5
2.1.1 <i>Värmeeffekt- och energibehov</i>	5
2.1.2 <i>Energiflöde</i>	5
2.1.3 <i>Energieffektivitet och Klimatgasutsläpp</i>	6
2.1.4 <i>Byggnadens energiprestanda och regelverk</i>	7
2.1.5 <i>Förnybara energikällor</i>	9
2.2 VENTILATIONSSYSTEM	10
2.3 VÄRME- OCH KYLSYSTEM	11
2.3.1 <i>Fjärrvärme</i>	11
2.3.2 <i>Fjärrkyla</i>	11
2.4 INNEKLIMAT	12
2.4.1 <i>Termisk komfort</i>	12
2.4.2 <i>Dagsljus</i>	13
2.4.3 <i>Solvärmelast</i>	13
2.5 KULTURHISTORISKA BYGGNADER	14
2.5.1 <i>Kulturmärkning</i>	15
2.5.2 <i>Byggnadsminnen</i>	16
2.5.3 <i>Kulturmärkning inom Plan- och bygglagen</i>	17
2.6 UPPFÖRANDE AV BYGGNAD.....	18
2.6.1 <i>Byggprocessen</i>	18
2.6.2 <i>Funktionskrav</i>	18
2.7 BYGGNADSSPECIFIKA KRAV	19
2.7.1 <i>BBR och PBL</i>	19
2.7.2 <i>Energideklaration</i>	19
2.8 MILJÖBYGGNAD	20
2.8.1 <i>Arbetsgång vid ändring av en byggnad</i>	21
2.9 RENOVERINGSÅTGÄRDER	22
2.9.1 <i>Renovering ur ett livscykelperspektiv</i>	22
2.9.2 <i>Tilläggsisolering</i>	22
2.9.3 <i>Byte av fönster</i>	24

2.9.4	Byte av ventilationssystem	25
2.9.5	Renovering av k-märkta byggnader och energieffektivisering av den bebyggda miljön	26
3	FALLSTUDIE VARVSSTADEN	27
3.1	RIKTLINJER FÖR FÖRÄNDRING VARVSSTADEN	27
3.2	MAGASINET	27
3.3	SVT HUSET	28
3.4	MASKIN- OCH MONTERINGSHALLEN	28
3.4.1	Verksamhet och utformning	30
4	METOD	33
4.1	PARAMETERSTUDIER	33
4.2	ENERGIBERÄKNING & BYGGNADSSIMULERING	33
5	MODELLERING	35
5.1	UTFORMNING AV BASFALL OCH FÖRBÄTTRINGSFALL	36
6	RESULTAT OCH ANALYS	39
6.1	BYGGNADENS ENERGIPRESTANDA	39
6.1.1	Basfall	40
6.1.2	Ökad isolertjocklek	41
6.1.3	Solavskärmningens påverkan	41
6.1.4	Förbättrat fönster	42
6.1.5	Kombinationsanalys	43
6.1.6	Primärenergi	44
6.1.7	Miljöbyggnad	44
7	DISKUSSION	47
8	SLUTSATS	51
	REFERENSER	53
	BILAGOR	59
	BILAGA A: UTDRAK UR A-RITNINGAR MASKIN-& MONTERINGSHALLEN	59
	BILAGA B: ILLUSTRATIONER OCH VISIONSBILD AV MASKIN-& MONTERINGSHALLEN	63
	BILAGA C: IDA-ICE MODELL & INDATA	64
	BILAGA D: PARAMETERSTUDIER	68
	BILAGA E: DETALJPLAN FÖR PLANOMRÅDET DP5175	70
	BILAGA F: MILJÖBYGGNAD 3.2 INDIKATORER & OMRÅDEN	71
	BILAGA G: SIMULERING AV SOLCELLER I PVGIS	72
	BILAGA H: SOLCELLERNAS ELPRODUKTION	73
	BILAGA I: JÄMFÖRELSE AV ENERGIBEHOV PER YTA FÖR ALLA FALLEN	74
	BILAGA J: BYGGNADENS ENERGIANVÄNDNING FÖR ALLA FALLEN	75
	BILAGA K: BERÄKNING AV PRIMÄRENERGITALET	76
	BILAGA L: FÖNSTER OCH SOLSKYDD SPECIFIKATIONER	77
	BILAGA M: SOLSKYDDSRGLERING	78

BILAGA N: BYGGNADENS MEDEL U-VÄRDE.....	79
---	----

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Sverige finns det många kulturhistoriska byggnader som är värda att bevara. Byggnaderna är kulturmärkta i syftet att bevara det kulturhistoriska arvet och skydda byggnadens karaktär. Byggnaderna ska kunna få behålla sin ursprungliga karaktär även om framtida mål och krav på byggnader och samhället har förändrats (Legnér, et al., 2020).

Med stor befolkningsökning och stigande markpriser i centralt läge som Västra hamnen i Malmö kommer även krav på platsutnyttjande (Malmö Stad, 2023). För att kunna implementera en hållbar stadsutveckling bör alla byggnader ha en låg energianvändning och även en låg miljöpåverkan. De stora stadsomvandlingsprojekten med kulturmärkta byggnader som ska få en ny funktion i samhället är ett bra exempel på utmaningar som energiomställningen har framför sig. Byggnaderna ska kunna få en ny funktion utan att de kulturhistoriska kraven äventyras. Målet med att bevara de kulturhistoriska byggnader och energimålen finns formulerad i FN:s globala mål och var även ett delmål som detta examensarbete vill sträva att uppnå (globalamalen, 2023).

Examensarbetet var baserad på 2 av de 17 globala målen:

- Mål 11 – Hållbara städer och samhällen
- Mål 12 – Hållbar konsumtion och produktion

Dessa mål innefattar ett antal viktiga delmål som berör arbetet, såsom:

- 11.3 Inkluderande och hållbar urbanisering
- 11.4 Skydda världens kultur- och naturarv
- 12.2 Hållbar förvaltning och användning av naturresurser

Arbetet utgick från en av byggnaderna inom Varvsstadens projekt vars mål var att utveckla ett gammalt industriområde till en ny hållbar stadsdel med bostäder och andra verksamhet (Varvsstaden, 2023). Byggnaden som studerades var Maskin- och monteringshall med storlek på cirka 10 600 m². Maskin- och monteringshallen står i det gamla Kockumsområdet som är beläget i Västra hamnen och har ett centralt läge i Malmö. Kockums industriella verksamhet låg till grund för en stor del av Malmös ekonomiska tillväxt under 1900-talet. Då industrin lades ned och kranen flyttades till Sydkorea började Malmös förvandling från industristad till informationsstad, Kockumsområdet representerar en del av det kulturarv som ligger till grund för den moderna Malmö stad (ibid).

Maskin- och monteringshallen var en av flera 1910-talsbyggnader i Varvsstaden, ritad av arkitekten Axel Stenberg. Byggnaden hade en stil lik en basilika med fasader i rött tegel och mönstermurningar i kalksandsten. Den hade ett starkt bevarande krav vad gällde fasaden inklusive dess massiva gjutjärnsfönster. Renoveringen gjordes i syftet att byggnaden skulle få en ny betydelse för framtida kontor, publika- och kulturverksamhet (Varvsstaden, 2023).

Enligt förstudien (Varvsstaden, 2021) och diskussion med en inblandad expert har det tidigare renoverats några byggnader i området med liknande stil, nämligen Magasinet och nuvarande SVT huset. SVT huset byggdes innan Malmö stad hade insett de bevarande värden som industriområdet hade och många kulturhistoriska detaljer hann bytas ut. Magasinets utseende var välbevarat men byggnaden hade en del problem med termisk komfort på grund av höga solvärmelaster på grund av stora söderriktade fönster.

1.2 Syfte och mål

Målet med denna studie var att utarbeta en strategi för renovering av byggnader med särskilt högt kulturvärde. Strategin skulle väga byggnadsspecifika krav för bevarande av kulturvärde mot nationella, regionala och/eller lokala mål och ramverk för energieffektivisering av den bebyggda miljön. Syftet var att undersöka i vilken omfattning bevarande av kulturvärde i den bebyggda miljön kan förenas med energieffektivisering av samhället, samt vilka avsteg som är nödvändiga att göra i syftet att uppnå det önskade energikraven.

Strategin behandlade:

- Ställda krav för kulturvärdesbevarande
- Ställda krav på energiprestanda (BBR & Miljöbyggnadskrav)
- Tekniska lösningar för renovering som uppfyller kulturvärdeskrav och energikrav. Exempelvis undersökning av byggnadens energianvändning, möjlighet för tilläggsisolering och installering av solavskärmning.

1.2.1 Frågeställning

Frågeställningen berörde både byggnadens kulturhistoriska värden samt lagkrav och mål för energieffektivisering av samhället enligt följande:

- Vilken strategi kan tillämpas för att utföra renovering på kulturhistoriska byggnader.
- Vilket renoveringsalternativ kan tillämpas för Maskin- och monteringshallen i Varvsstadens projekt?

1.3 Metod och avgränsningar

Examensarbete var baserat kring parameterstudier där olika renoveringsåtgärder och dess påverkan på energianvändningen och primärenergital undersöktes. Systemgränsen var Maskin- och monteringshallen som också kallas för Byggnad101. Byggnaden

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

simulerades i simuleringsprogrammet IDA-ICE för att få fram byggnadens energibehov för den olika parameterfallen.

För att få insikt i området av energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader och för att kunna beskriva den nödvändiga informationen genomfördes först en litteraturstudie. Där har de regler och lagar som berör de krav som finns för byggnader vid ombyggnad gällande energi, miljö och inneklimat undersökts.

Först byggdes ett Basfall upp i simuleringsprogrammet IDA-ICE, se Bilaga C: IDA-ICE Modell & indata. Modellen baserades på ritningar, platsbesök och antaganden samt diskussion med berörda personer och experter inom området. Sedan förbättrades Basfallet med hjälp av olika rader av renoveringsåtgärder för att effektivisera byggnaden med hänsyn till byggnadsspecifika krav och de bevarande kraven. Studien avgränsade bort några parametrar, det studerades exempelvis inte påverkan av fukt vid val av renoveringsåtgärder. I denna studie ingår ej att analysera projektets ekonomiska lönsamhet.

Eftersom projektet befann sig i tidigt skede fanns det många osäkra parametrar, därför gjordes många och nödvändiga förenklingar i modellen. I planlösningen avgränsades den norra delen av byggnaden bort, eftersom verksamheten inte var helt bestämd. Det togs ingen hänsyn till teknikrum eller källare i byggnaden. Det fanns även några begränsningar i programmet IDA-ICE som gjorde att byggnaden inte var identisk mot verkligheten, för exempelvis var det inte möjligt att konstruera bågfenster i modellen, utan de fick bli rektangulära.

2 Teori och litteraturstudier

2.1 Energi

2.1.1 Värmeeffekt- och energibehov

Värmesystemet hos en byggnad dimensioneras efter vilket värmeeffektbehov byggnaden har. Det dimensionerande värmeeffektbehovet beror bland annat på storleken på byggnadsskalets omslutande area, isolerstandard, värmetröghet, lufttäthet och ventilation (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

Byggnadens energibehov utgörs av uppvärmning, varmvatten, komfortkyla samt hushålls- och fastighetsel. Det är dessutom obligatoriskt att mäta och beräkna husets energibehov i syftet att jämföra med BBR:s energikrav (Boverket, 2021a)

2.1.2 Energiflöde

En del av energiflödet i en byggnad sker då energin transmitteras genom byggnadens klimatskal, men också att den tillförs byggnaden. Den passiva uppvärmningen av en byggnad kan ske från flera olika värmekällor. Det kan bli uppvärmd av personvärme i form av aktiviteter från människor, solvärme när solen strålar in och även spillvärme från el- och varmvattenanvändning.

Sammanfattningsvis finns det energi som kommer in till byggnaden på olika sätt, dessa blir då byggnadens energitillskott. För en villa kan den energin som uppstår utgöras av energi från personer, sol, hushållsel, driftel, varmvatten och uppvärmning. För att uppnå energibalans finns den även olika former av energiförluster från en byggnad. Energiförluster i samma villa motsvarar då förluster från ventilation, klimatskal (tak, fönster och dörrar, väggar och grund), samt spillvatten (Block & Bokalders, 2014).

Tillförsel och bortförsel av värme kan förklaras med hjälp av byggnadens effektbalans. Värmen förs bort genom transmission, ventilation och luftläckage. Värmen tillförs av solinstrålning, intern genererad värme samt värmesystem. Värmeeffektbalans enligt Warfvinge & Dahlblom (2010) definition presenteras i ekvation 1.

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_i \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Där P_t = transmission

P_v = ventilation

P_{ov} = oavsiktlig ventilation eller luftläckage

P_w = värmesystem

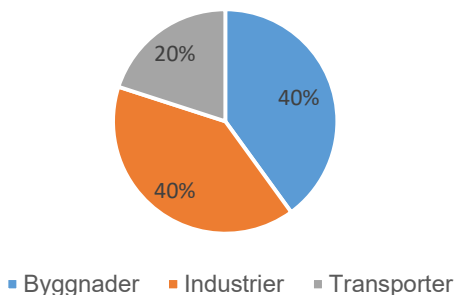
P_s = solinstrålning

P_i = intern genererad värme

2.1.3 Energieffektivitet och Klimatgasutsläpp

Byggnaders energibehov bidrar till en stor del av klimatgasutsläppet. Enligt Block och Bokalders (2014) utgörs byggnaders energianvändning 40 % av den totala energianvändningen i Sverige. Denna andel är lika stor som industriernas energianvändning och resterande 20% utgörs av transportsektorn, se Figur 1.

Energianvändningen I Sverige



Figur 1: Fördelning av Sveriges totala energianvändning hos de olika sektorerna (Block & Bokalders, 2014)

I byggindustrins användande av energi går 5 % till materialtillverkning, 4 % till transporten och resterande 90 % går till uppvärmning, nedkylning och drift av huset, sett ut ett konventionellt byggnadsperspektiv (Block & Bokalders, 2014). För att minska energibehovet i byggsektorn finns ett EU-direktiv om nollenergihus eller nära nollenergihus som gäller från och med år 2020/2021 hos alla nya byggnader (ibid). Det ställs även stora krav vid ombyggnationer, så att dessa också ska få en lägre energianvändning (ibid).

Miljöpåverkan av ett hus kan redovisas med hjälp av att jämföra uppvärmningen i form av energiåtgång och koldioxidutsläpp per år. Vidare kan miljöprofilen från de olika byggfasernas klimatgasutsläpp jämföras för att få en helhetsbild av det totala utsläppet (Block & Bokalders, 2014).

Block och Bokalders (2014) presenterade några hållpunkter för energieffektivt byggande som kan sammanfattas med följande sju hållpunkter:

- Material
- Klimatanpassning
- Arkitektur
- Husets skal
- Inomhusklimat
- Elanvändning & Eleffektivitet

Inom material handlar det om att sträva efter liten energiåtgång och utsläpp av CO₂ vid materialtillverkning samt att effektivisera transporten under byggskedet. Klimatanpassningen innebär att skapa gynnsamt mikroklimat kring huset, att ta vara på sol under uppvärmningssäsongen och undvika solinstrålningar som ger

övertemperaturer. Arkitekterna har också ett stort ansvar att leverera effektiva planer då kompakt hus ger mindre yttemperatur och smarta temperaturzoner kan minska uppvärmningen (ibid).

Vidare är husets klimatskal en viktig faktor för minskat energibehov, byggnaden bör exempelvis ha tillräckligt med isolering, fönster och ytterdörr med lågt U-värde, ha låga köldbryggor samt vara lufttätt för att minimera energiförluster genom luftläckage. Byggnaders energianvändning och människornas välmående påverkas dessutom av inomhusklimatet. För att spara energi bör det installeras behovsanpassad och årstidsanpassad ventilation och dessutom välja giftfria material med låga emissioner för att skapa en god inommiljö. För att spara på elförbrukningen kan dagsljuset utnyttjas effektivt i kombination med val av energieffektiva produkter i byggnader och installationer (Block & Bokalders, 2014).

2.1.4 Byggnadens energiprestanda och regelverk

Boverkets byggregler definierar en byggnads energianvändning som den mängd energi som behöver levereras till byggnaden vid normalt brukande under ett normalår. Energiposter som ingår i detta är energin som går till uppvärmning, tappvarmvatten, komfortkyla och fastighetsel. Hushållsenergi för bostäder och verksamhetsenergi för lokaler ingår enligt denna definition inte i byggnadens energianvändning.

Hur bra en byggnads energirelaterade egenskaper är beror på byggnadens energiprestanda. I BBR kan måttet på byggnadens energiprestanda mätas med hjälp av primärenergital, vilket förkortas till EP_{pet} . Talet är ett sammanvägt mått på byggnadens byggnadstekniska och installationstekniska egenskaper, samt viktningsfaktor för vald energikälla, och ligger till grund för vilken energiklass en byggnad kommer att få vid energideklaration (Boverket, 2022a). Primärenergital kan beräknas enligt ekvation 2.

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvp,i} + E_{f,i} \right) \times VF_i}{A_{temp}} \quad [\text{kWh/m}^2, A_{temp}] \quad (2)$$

Sammanfattningsvis multipliceras byggnadens energianvändning med viktningsfaktorer för olika energibärare. Viktningsfaktorerna skiljer sig mycket åt beroende på om energibäraren värms medel eller fjärrvärme, se Tabell 1 nedan. Sedan ska uppvärmningsenergi divideras med en geografisk justeringsfaktor samt att summeringen av de olika energiposterna ska divideras med byggnadens uppvärmda tempererade area. Enheten för primärenergitalet anges i kWh/m², A_{temp} för att kunna jämföra energiprestandan hos olika stora byggnader (Boverket, 2022a).

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

Tabell 1: Viktningsfaktorer för de olika energibäraren enligt Boverket (2020), BFS 2020:4.

Energibärare	Viktningsfaktor [-]
El	1,8
Fjärrvärme	0,7
Fjärrkyla	0,6
Fasta, flytande och gasformiga biobränsle	0,6
Fossil olja	1,8
Fossil gas	1,8

Det finns olika kravnivåer för maximalt tillåtna primärenergital beroende på om byggnaden är ett småhus, ett flerbostadshus eller lokal (Boverket, 2011). Tabell 2 visar de olika kravnivåerna på primärenergital.

Tabell 2: Högsta tillåtna primärenergital och genomsnittlig U-värde enligt BBR29, BRF 2020:4 (Boverket, 2011)

	Primärenergital, EP_{pet} [kWh/m ² , A_{temp} och år]
Bostäder	
Småhus > 130 m ² , A_{temp}	90
Småhus > 90–130 m ² , A_{temp}	95
Småhus > 50–90 m ² , A_{temp}	100
Småhus ≤ 50 m ² , A_{temp}	Inget krav
Flerbostadshus	75
Lokaler	
Lokal	70*
Lokal ≤ 50 m ² , A_{temp}	Inget krav

*Tillägg får göras med $40 \times (q_{medel} - 0,35)$ då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 l/s per m².

En byggnads energianvändning kan fås ut via mätningar eller om det inte är möjligt att få ut kan beräkningar användas. Vid beräkning av en byggnads energianvändning ska ansvarig byggherre eller energiexpert använda sig av Boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår (2016:12), även kallad BEN (Boverket, 2021a). BEN är baserad på en statistisk urvalsundersökning av det svenska byggnadsbeståndet, Betsi där bebyggelsens energianvändning, teknisk status och innemiljö samlades in genom besiktningar, mätningar och enkäter samt intervjuer med fastighetsägaren och fastighetsskötaren (Boverket, 2023b). Normaliserade schabloner används bland annat för innetemperatur och varmvattenförbrukning vid beräkning av en byggnads energianvändning, detta för att kunna bedöma byggnaden objektivt utan att påverkas i hög grad över hur sparsamma/slösaktiga brukarna är med sin energianvändning. Att få en rättvis bedömning av byggnadstekniska egenskaper är viktigt för att möjliggöra jämförelser mellan byggnader och för att kunna upprätta allmänna råd och föreskrifter som ska kunna appliceras på likvärdiga byggnader (Boverket, 2021a).

BEN anger indata för olika kriterier som beaktas i ett beräkningsprogram, detta för att säkra att den verkliga energianvändningen i drift uppfyller BBR-kraven. Vid en

energiberäkning ska hänsyn tas till den geografiska aspekten då behovet av energianvändning varierar beroende på var i landet byggnaden upprättas. Dessutom ska byggnadens energitekniska egenskaper beaktas så noggrant som möjligt då den kan ha en stor påverkan på behovet av levererad energi (ibid).

Förnybar energin såsom sol- eller vindenergi som alstras i byggnaden eller inom fastigheten får tillgodoräknas om energin kan nyttiggöras i byggnaden för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi. Däremot finns det krav på hur mycket som får tillgodoräknas. El som produceras från solceller ska användas samtidigt, det vill säga el som distribueras till elnätet inte får tillgodoräknas (Boverket, 2021a).

2.1.5 Förnybara energikällor

2.1.5.1 Solceller

Solceller genererar energi genom att förvandla solljus direkt till elenergi med hjälp av tunna skivor av halvledarmaterial. Eftersom solceller genererar elenergi direkt av solljuset behöver den energin användas, lagras eller säljas tillbaka till energinätet. Detta skapar dilemmat att mest solenergi finns tillgänglig under det varmare halvåret då behovet för uppvärmning är som minst, men kylbehovet som drivs av elstyrd ventilation kan däremot täcks av solenergi på sommaren (Block & Bokalders, 2014).

I Sverige finns det potential för solceller även om solinstrålningen varierar mellan årstider och läge såsom norr, mellersta och södra Sverige (Energimyndigheten, 2016). Elproduktionen från solceller varierar beroende av solintensitet och solinstrålning som vidare är beroende på årstid samt tid på dygnet och året. Livslängd för en solcell efter första installationen uppskattas till mellan 25–30 år och troligen mer (ibid). Enligt Energimyndigheten (2022) har solcellsanläggningar i Sverige ökat hastigt då nätanslutna solcellsanläggningar uppskattades till 25 486 under år 2018, vilket var 10 200 anläggningar fler jämfört med år 2017. Under år 2022 beräknades det att finnas 55 000 nätanslutna solcellsanläggningar med en totaleffekt på cirka 800 MW (Energimyndigheten, 2023).

Solcellernas effektivitet är beroende på dess verkningsgrad och effekt där verkningsgraden anger hur stor andel av den tillförda solenergin blir till elenergi (Hemsol, 2023). Vidare anger effekten på solcellerna hur mycket el en solpanel kan tillverka per sekund, vilket anger effektiviteten på solpanelen (ibid). Enligt Hemsol (2023) ligger verkningsgraden kring 19–22%. Den mest effektiva solcell i dagens marknad är från tillverkaren Sunpower och dessa solceller kan ha upp till 22,8% verkningsgrad, vilket motsvarar en effekt på 425 W. Dagens solpaneler producerar vanligtvis en effekt på 170–230 W/m² (ibid).

Det som avgör hur mycket elenergi en solcell kan producera är förutsättningar såsom skuggning, instrålning, takriktning och taklutning. Det ska exempelvis inte finnas något träd eller skorsten i närheten av solcellsanläggningen då skuggningen påverkar

produktionen negativt, speciellt då solcellerna är seriekopplade. Takriktningen spelar också en stor roll då störst årlig produktion fås av solceller riktad mot syd, sydost eller sydväst. Det finns också fördelar med att installera solceller åt öst- eller västlig riktning då produktionen blir störst under morgonen och kvällen, vilket matchar behovet under normala arbetsvanor. Den optimala lutningen på taket ligger mellan 30–50 grader för maximal solelsproduktion per år. Uppskattningsvis motsvarar en avvikelse med 10 grader mot den optimala lutningen en reduktion på 1 till 2 % solel per år. Påverkan på taklutningen är så pass liten att det lönar sig mer ekonomisk att följa befintlig taklutning (Energimyndigheten, 2021).

2.2 Ventilationssystem

Enligt Boverket (2023) är ventilationssystemets uppgift att tillföra friskluft och föra bort fukt och förorenad luft från byggnaden. Dessutom ska ventilationssystemet bidra till målet att använda så lite energi som möjligt. Utformningen av ventilationssystem fungerar så att tilluften tillförs via tilluftsventiler med placering i vistelsezon såsom vardagsrum och sovrum. Frånluften leder då ut från exempelvis köket, tvättrum eller badrum. Det finns i princip tre olika ventilationssystem såsom S-system, F-system och FTX-system.

Självdraagsystem som också är känd som S-system, drivs av termiska drivkrafter. Ventilationsflödet skapas via vindpåverkan på byggnaden och genom värmskillnader mellan inne- och utomhusluften med vetskapen om att varm luft utvidgas och blir lättare än kallluft, vilket gör att varmluft stiger uppåt. Det finns i övrigt en variant av självdraagsystem där frånluftskanalen kan kompletteras med en elektrisk eller vinddrivenfläkt, systemet kallas då för förstärkt självdraagsventilation. Systemet är vanligt i äldre småhus och flerbostadshus byggda före 1976 och har svårt att klara av dagens BBR-krav (Boverket, 2023a). Fördelar är att det fungerar utan eget tillskott av energi och kräver minimalt tillsyn, enkelt och tyst. Nackdelen är att det fungerar sämre eller inte alls under sommaren då den termiska skillnaden är liten. Det finns då risk för stillstående luft och därmed risk för mögelpåväxt och ökning av radonhalt (Energy Building, u.å).

Den andra ventilationssystemtypen är mekanisk frånluftsventilation som också kallas för F-system. Tilluftsventiler sitter på väggen, bakom element eller fönsterkarmen där tilluften kommer in i byggnaden. Frånluften leds ut via frånluftsventiler med hjälp av en fläkt. Det är även möjligt att kombinera systemet med frånluftsvärmepump för att återvinna en del av värmen som finns i frånluften, FVP-system (Boverket, 2023a). Enligt Energy Building (u.å.) är fördelen med F-systemet att det är enkelt att installera med en möjlighet att styra ventilationen. Nackdelen är att energianvändningen kan vara hög samt att det kan orsakas kallras från tilluftsdon.

Det tredje systemet är ett fläkstyrt till- och frånluftssystem med värmeåtervinning, så kallat FTX-system. Frånluften passerar en värmväxlare och värmeenergin återvinns för att förvärma den inkommande uteluften. Systemet kan återvinna mellan 50 % och 80 % av den energi som behövs för att värma tilluften. Återvinningen motsvarar en besparing på 5 000 – 7 000 kWh/år för en normalstor villa eller flerbostadshus (Svensk Ventilation,

u.å). Nackdelen med systemet är att installationen kan bli kostnadskrävande samt att det kräver mer tillsyn och service. Fläktarna till systemet kräver dessutom elenergi för att drivas samt att fläktarna i aggregatet kan bullra och sprida ljud (Energy Building, u.å).

2.3 Värme- och kylsystem

2.3.1 Fjärrvärme

Fjärrvärme är den vanligaste energikällan för uppvärmning i Sverige, mer än hälften av alla bostäder och lokaler värms med detta idag (Energiföretagen, 2018). Värmen produceras i ett värmeverk och distribueras till fastigheter i ett vattenburet slutet system.

Ett fjärrvärmesystem behöver en fjärrvärmecentral i den bostad eller lokal där mediet ska användas för att reglera den temperatur som ska ut i bostaden och den värme som sedan ska tillbaka till fjärrvärmeanläggningen.

Energikällan för produktion av fjärrvärme kan vara restprodukter från andra industrier, som används som bränsle för att värma upp det vatten som ska distribueras. Även överskottsvärme från industrier eller datahallar nyttjas, där verksamheterna inte kan hantera den värmen själv. Detta leder till en mer resurseffektiv produktion av energi i samhället kontra att hushåll ska producera värmen själva eller via direktverkande el (Energiföretagen, 2018).

Priset på fjärrvärme i Malmö enligt Eon (2023) ligger på cirka 114 öre/kWh. Priserna på fjärrvärme skiljer sig beroende på vilken ort som fastigheten ligger i och beror även på hur mycket energi som används under året, när det finns effektbrist och hur effektiv ens fastighet blir uppvärmd av fjärrvärmen, detta gör att priset ofta fluktuerar från år till år och är dyrast under vintern. (Energimarknadsbyrå, 2019).

2.3.2 Fjärrkyla

Ett klimatsmart sätt att distribuera kyla är genom fjärrkyla. Den byggs på samma princip som fjärrvärme, det vill säga att låta en central anläggning distribuera kylan i stället för att ha flera små kylanläggningar och luftkonditioneringsaggregat. Enligt Energiföretagen (2017) har fjärrkyla positiva effekter på klimatet då det både minskar miljöpåverkan och energianvändningen jämfört med lokala kylanläggningar. I stället för varmt vatten som cirkulerar i ledningsnätet lika som för fjärrvärme är det kallt vatten som cirkulerar vid fjärrkyla (Energiföretagen, 2017). Det fanns totalt sett 37 företag som levererade fjärrkyla till cirka 2 150 kunder runt om i Sverige under år 2021. Den totala leveransen under 2021 beräknades till 1 000 GWh och efterfrågan fortsätter att växa då fjärrkylaledningar förlängdes med 21 km under samma år (Energiföretagen, 2022).

Det finns ett antal sätt att producera fjärrkyla där den vanligaste metoden är genom frikyla. Det innebär att kylan i form av kallt vatten pumpas upp från exempelvis en sjö till en produktionsanläggning där sjövattnets kyla förs över till vattnet i fjärrkylanätet. Vattnet pumpas sedan ut till de anslutna byggnaderna och leds till olika verksamheter såsom kontor, sjukhus eller industrier. För fastigheter finns det en värmeväxlare som

överför kylan i vattnet till fastighetens kylsystem vid behov. Vattnet kan efter en viss tid förlora kyla, då leds det tillbaka till produktionsanläggningen och kyls ned på nytt igen innan det pumpas ut för användning.

Ett annat sätt att framställa kyla är genom själva fjärrvärmens, det kallas då för värmedriven kyla. En vanlig teknik är så kallad absorptionskyla där fjärrvärmenätets värme används för att driva kylmaskiner som producerar fjärrkyla. Vattnet i kylmaskinen utsätts för ett kraftigt undertryck redan vid tre grader kallt. Vattnet kokar och förångas vid undertrycket och det tregradiga vattnet kan efter denna process kyla ner vattnet i fjärrkylennätet. En annan teknik som också använder sig av fjärrvärme är sorptiv kyla. Tekniken går ut på att torka luften med hjälp av fjärrvärme. Detta eftersom torr luft kyls ned effektivare än fuktig luft (Energiföretagen, 2017).

Den största kundgruppen som använder sig av fjärrkyla är inom kategorin kontorsfastigheter och kommersiella lokaler. Enligt Energiföretagen (2022) levereras det uppemot 35% av all fjärrkylaproduktion till den nämnda kundgruppen. Fjärrkyla sägs ha lägre klimatpåverkan jämfört med fjärrvärme då den kan produceras på fler sätt än genom förbränning. Frikyla kan exempelvis produceras från hav eller sjöar, från kylmaskiner eller absorptionskyla. Dock uppkommer indirekta utsläpp i form av elanvändning och värmeanvändning vid det fall där tekniken är baserad på fjärrvärme (Energiföretagen, 2022).

2.4 Inneklimat

Enligt PBL 8 kap. 4 § (SFS 2010:900. Plan- och Bygglagen) ska ett byggnadsverk uppfylla en rad med krav där god energiförbrukning och bärighet är med, dessutom finns även krav på inte hälsan av de som vistas mer än tillfälligt i byggnaden inte ska lida hälsoeffekter.

2.4.1 Termisk komfort

Målet med en energifokuserad renovering är att reducera behovet av köpt energi som tillförs till byggnaden både avseende värme och kyla, vilka behövs för att reglera temperaturen och resultera i ett behagligt inneklimat. Men att ha lämplig lufttemperatur räcker inte för att klimatet inomhus ska upplevas som tillräckligt behagligt. Enligt Warfinge och Dahlblom (2010) finns det fyra faktorer som väger in i den upplevda termiska komforten: luftens temperatur, luftens hastighet, fuktighet i luften och temperaturen på omgivande ytor. Luftens hastighet beror till stor del på ventilation inomhus, luftens fuktighet i kontor är kopplad till utomhusklimatet och regleras vanligtvis med ventilation. Omgivande ytors temperatur väger starkt in i den upplevda temperaturen, då otillräckligt isolerade ytor kommer bidra till att personer som vistas i miljön kommer uppleva en låg komfort.

Operativ temperatur brukar användas för att mäta upplevd temperatur. Denna beräknas med en sammanvägning av lufttemperatur och medelstrålningstemperatur mot omgivande ytor, denna fungerar bättre när lufthastighet i rummet understiger 0,2 m/s vilket är vanligt att dimensionera för (Abel & Elmroth, 2016).

För att mäta hur väl det termiska inneklimatet är i en byggnad kan en metod som approximerar det resultat som brukare hade svarat i en hypotetisk enkät via en statistisk fördelning användas. Detta index kallas predicted mean vote eller PMV, vilket beskriver vad dessa brukare hade svarat gällande om de är bekväma eller ej med inomhusklimatet sett till temperatur. Vidare finns PPD-index som kan ge en indikator på hur många personer som är missnöjda med den termiska komforten. PPD står för predicted percentage dissatisfied vilket beskriver hur stor andel personer som förväntad att bli missnöjd med inomhus klimatet (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.4.2 Dagsljus

Som tidigare nämnts ställer PBL krav på att byggnaden inte ska vara hälsovådlig för personer som vistas mer än tillfälligt, detta leder till krav på dagsljus då det kan påverka de vistandes hälsa. Enligt Folkhälsomyndigheten (2017) har dagsljus en direkt påverkan på personers hälsa och att vistas i en miljö utan tillräcklig tillgång till dagsljus kan rubba den interna dygnsrytmen vilket kan leda till problem med trötthet, ät- och sömnsvårigheter, depression och mer.

Dagsljusfaktor är ett begrepp som används för att mäta hur väl dagsljus tar sig in i rum i en byggnad. En äldre metod beskriven i standarden ”Byggnadsutformning – Dagsljus – Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea” kan användas för att mäta erforderlig fönsterglasarea, denna beskrivs av Boverket (2022b) där ett mått på 1% dagsljusfaktor ska uppnås i varje yta i rummet. Nyare digitala metoder kan lättare simulera dagsljus men att uppnå ungefär 1% av dagsljuset utomhus är rekommenderat.

Alla rum behöver inte uppfylla krav på dagsljusfaktor utan det är endast vistelserum där personer spenderar mer än tillfällig tid. Den definierade punkten där dagsljus mäts är halva rummets djup, 0,8 meter från golvet och 1 meter från den mörkaste väggen (Boverket, 2011).

2.4.3 Solvärmelast

Dagsljus behövs för de som vistas i byggnaden, men solen bidrar även med viktig värmeenergi till byggnaden som kan utnyttjas för att minska uppvärmningsbehovet. Den energi som tillförs byggnaden från solen och värmelaster inom byggnaden som inte är direkt uppvärmning brukar kallas ”gratisvärme” då det inte räknas till uppvärmningskostnader (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Denna energi kan även bli en börda för byggnaden om inomhustemperaturen på grund av sollasten överstiger rekommenderad inomhustemperatur och det i stället uppstår ett kylbehov i byggnaden för att undvika övertemperaturer. Beroende på väderstreck kommer mängden solvärme att variera, under dagen blir solen starkare och beroende på årstid kommer solens avgivna energi att nå sin höjdpunkt någon gång mitt på dagen. I Sverige inträffar detta när solen är i söderläge och därför kommer fasader som vetter mot söderläget att belastas med högst solvärmelast (Boverket, 2022b).

2.4.3.1 Solavskärmning

För att förhindra övertemperatur i byggnaden finns det olika strategier: reducering av värmeproduktion i byggnaden, reglering av värme i byggnaden samt reducering/skydd för värme som kan ta sig in i byggnaden (Velraj & Geetha, 2012). För att undvika onödig ökad energianvändning är det lättast att implementera passiva lösningar som inte kräver aktiv energianvändning för att vara verksamma, exempelvis aktiv kylning från ventilationssystemet.

För att stoppa solinstrålningen från att värma upp byggnaden bör solljuset reflekteras bort från byggnaden eller blockeras av ett föremål som inte leder in all värme till huset. För fönster nämns ofta tre vanliga typer av utformning för passiva solskydd: invändiga, utvändiga och mellanliggande solskydd. För att förhindra värme från att stråla in i byggnaden är utvändiga solskydd optimala då inte solens strålar når fönsterkonstruktionen och kan värma upp delar av klimatskalet, externa solskydd kan med fördel använda reflektiva ytor för att minska mängden solvärme som absorberas av ytan (Costanzo, 2020). Mellanliggande solskydd tar upp minst utrymme på utsida och insida men är svårare att montera och underhålla. Invändigt solskydd tillåter mest värme att passera genom fönstret och har således minst värmeuteslutande förmåga, de solstrålar som passerar fönstret kan reflekteras ut med hjälp av ett reflektivt invändigt solskydd men en del av solvärmens kommer fångas och tillåtas att värma upp byggnaden. Invändiga solskydd har fördelen att de ökar den operativa temperaturen i rummet då den invändiga fönsterytan som har en relativt kall yta sett till väggar skymms av solskyddet, om detta är nere.

Exempelvis, ett utvändigt solskydd som markiser har ett skydd mot värme på 78–90% men skyddar mot kyla mindre än 7%, medan ett invändigt solskydd som persienner har ett skydd mot värme på 15–53% och skyddar mot kyla på 7–14% (Block & Bokalders, 2014).

Fönstret i sig har även ett g-värde som avgör hur stor del av solens värme som tas vara på invändigt av byggnaden i stället för att reflekteras bort. Ett fönster med högt g-värde kommer att ta upp en stor del av solens passiva energi, beroende på om det finns risk för övertemperatur eller undertemperatur kan olika g-värden vara åtråvärda för olika byggnader. Ett g-värde anges i procent (Velux, 2023).

2.5 Kulturhistoriska byggnader

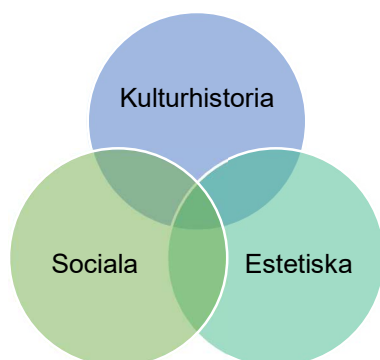
I samhället byggs nya byggnader kontinuerligt för att möta existerande och nya behov, i och med att en byggnads livslängd kan vara upp till 100-tals år om den sköts och renoveras korrekt kommer de vara en del av den levande historia som finns i samhället. Majoriteten av historiskt värdefulla byggnader kan inte ställas ut på museum utan måste bidra med något till samhället, därför krävs tillräckliga skydd så att dessa byggnader kan fortsätta existera samtidigt som deras originella värde beaktas (Edinburgh World Heritage, 2008).

Bevarande och förvaltning av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse definieras tydligt som en av sju delmålen under miljö kvalitetsmålen God bebyggd miljö (Boverket, 2007). Ambitionen i detta mål var att bebyggelsens kulturhistoriska värden senast år 2010 skulle vara identifierade med en långsiktigt hållbar förvaltning. Detta mål, tillsammans med uppsatta delmål, kunde inte uppfyllas av flera anledningar men till största del berodde det på att ambitionsnivån för målen var för hög (ibid).

2.5.1 Kulturmärkning

Kulturmärkning eller så kallad k-märkning är ett samlingsbegrepp som oftast används i samband med kulturhistoriskt värdefull bebyggelse (Länssyrelsen Skåne, u.å). Lunds kommun (2022) definierar kulturvärde som en sammanfattad benämning för vad som i den fysiska miljön bedöms som värdefullt ur de tre perspektiven som kulturhistoriskt, estetiskt och socialt perspektiv. Vid ändring av sådana byggnader måste byggnadens kulturvärde tas till vara, exempelvis måste hänsyn tas till byggnadens karaktärsdrag samtidigt som dess tekniska, kulturhistoriska, miljömässiga samt konstnärliga värden ska bevaras så gott det går (ibid).

Boverket (2022c) menar att de nämnda perspektiven kan antingen vara gällande var för sig eller tillsammans. Vidare utgörs ett objekts kulturvärden av kompletterande perspektiv som är till viss del överlappande, men till största del separerade som illustreras i Figur 2.



Figur 2: De tre perspektiven som bedömer kulturvärden hos en bebyggelse eller ett landskap, tagen ur BBR (2022c).

Enligt BBR (2022) avser det kulturhistoriska perspektivet en bedömning av möjligheterna att genom en bebyggelse kunna förmedla kunskaper om olika skeenden och sammanhang. Bedömningen berör kunskaper inom exempelvis arkeologi, historia, arkitektur- och konsthistoria, etnologi samt kulturgeografi. Syftet med detta perspektiv är att genom bebyggelsen kunna skapa förståelse av människornas livsvillkor i skilda tider i jämförelsen med de förhållandena som råder idag.

Bedömningar inom det estetiska perspektivet är baserade på kunskaper inom exempelvis konstvetenskap och arkitektur. Här prioriteras de bedömningar som berör rumsliga, visuella och akustiska egenskaper. Till skillnad från det estetiska har det sociala sina

utgångspunkter i bland annat sociologiska, psykologiska eller ekonomiska bedömningsmetoder. Det har sitt fokus i människors relationer till kulturmiljö, den stora frågeställningen handlar om hur olika grupper av människor använder, uppfattar och värdesätter bebyggelsen eller landskapet (Boverket, 2022c).

Vidare kan värderingar av vad som beaktas som värdefullt förändras över tid på grund av framväxten av nya kunskaper och synsätt. Samhällets- och stadsutvecklingen förändrar och utvecklas. Kulturvärden kommer att ifrågasättas och kan på så sätt omskapas, utvecklas, bevaras eller nybildas i samband med utvecklingen (Boverket, 2022c).

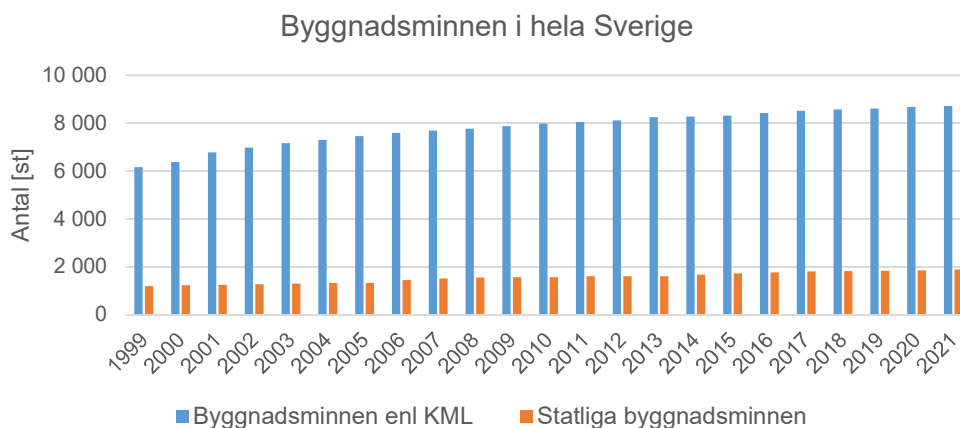
En kulturhistoriskt värdefull byggnad ingår oftast i ett bevarandeprogram eller har bestämmelser i detaljplanen, men undantag kan förekomma. Det ingår då i stadsbyggnadskontorets uppdrag att ta fram tydligare kunskapsunderlag och att revidera de gamla underlagen för att underlätta för fastighetsägaren och i byggnadsnämndens arbete. Uppdraget att bevara byggnaden hamnar hos den som äger byggnaden. Bevarande av byggnaden kan exempelvis bli aktuellt vid ändring av byggnadens utseende i form av fönsterbyte eller hur tillbyggnad bör utformas för att behålla den ursprungliga karaktären (Lunds Kommun, 2022).

2.5.2 Byggnadsminnen

Det är viktigt att förse kulturhistoriska byggnader med relevant skydd för att en viktig del av vårt kulturarv och livsmiljö ska kunna bevaras. Kulturhistoriska byggnader beaktas dessutom som värdefulla resurser i det hållbara samhället ur ekonomiskt, socialt och miljömässigt hänseende, vilken är en viktig förutsättning för att uppnå en långsiktig hållbar förvaltning (Sveriges miljömål, 2023).

Den starkaste formen av kulturskydd en byggnad kan få är en byggnadsminnesförklaring, vilket är ett lagstadgat skydd som är menat att bevara de unika kulturhistoriska egenskaper som byggnaden kan ha (SFS 2002:620, 3 kap). Enligt Riksantikvarieämbetet (Lilja & Oiva, 2017) finns det två typer av byggnadsminnen, statliga och enskilda. De statliga är ägda av staten och enskilda byggnadsminnen är ägda av någon som inte är staten och beslutas av länsstyrelsen, exempelvis i enlighet med KML (Kulturminneslagen).

Sveriges miljömål har presenterat en statistik gällande antal byggnader som var skyddade som byggnadsminnen för hela Sverige mellan 1999 och 2021, se Figur 3. I senaste uppskattningen som gjordes år 2021 fanns det cirka 8 700 byggnadsminnen enligt KML och endast 1 800 statliga byggnadsminnen runt om i landet, dessa uppgifter är hämtade från Riksantikvarieämbetets Bebyggelseregister (Sveriges miljömål, 2023).

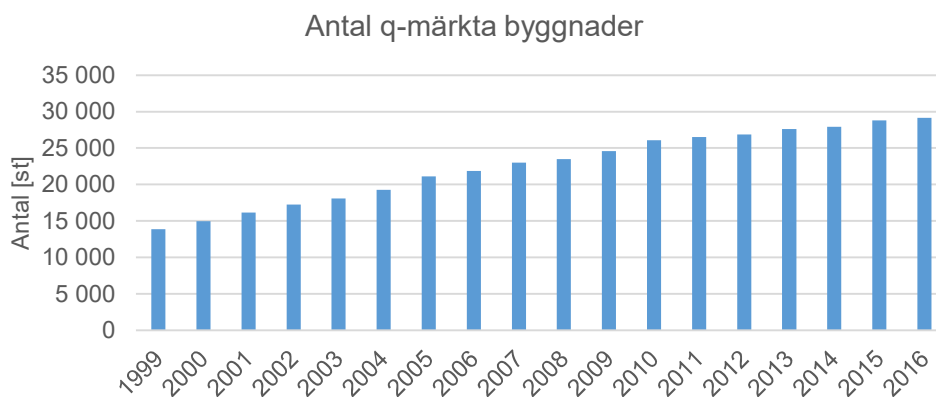


Figur 3: Antalet byggnadsminnen i Sverige från 1999–2021, tagen ur Sveriges miljömål (2023)

2.5.3 Kulturmärkning inom Plan- och bygglagen

För att skydda de kulturhistoriskt viktiga byggnaderna i samhället finns lagstadgade krav inom Plan- och Bygglagen som skyddar dessa byggnader via märkningar i detaljplanen (SFS 2010:900. Plan- och Bygglagen, u.d.). Det finns tre märkningar som ger skydd relaterat till kulturhistoriska värden enligt PBL. Den första av dessa märkningar en byggnad kan få är ett versalt Q vilket innebär att byggnaden ska användas som på ett sätt som är anpassat till byggnadens kulturvärden. Den andra beteckningen är ett gement q vilket innebär att byggnaden inte får förändras i stor utsträckning relaterat till dess kulturhistoriska värde, och den sista märkningen är ett gement k vilket innebär att byggnaden har ett bevarandevärde som ska beaktas när byggnaden genomgår förändringar av olika slag (Malmö Stad, 2021).

Naturvårdsverket presenterar statistik över antalet q-märkta byggnader i 13 län runt om i landet (Sveriges miljömål, 2023). Figur 4 redovisar antalet byggnader som är skyddade i detaljplan eller områdesbestämmelser i Blekinge, Dalarna, Gävleborg, Halland, Jämtland, Kalmar, Norrbotten, Södermanland, Uppsala, Västernorrland, Västmanland, Västra Götaland och Örebro.



Figur 4: Antalet q-märkta byggnader från 1999–2016, tagen ur Sveriges miljömål (2023)

2.6 Uppförande av byggnad

2.6.1 Byggprocessen

Då det beslutats att en byggnad ska byggas eller renoveras så behöver processen organiseras. Det finns flera olika typer av upphandlings- och entreprenadformer men byggprocessen ser ofta liknande ut oavsett entreprenadform.

Byggprocessen brukar inledas med en förstudie och enligt Boverket (2021c) så ska denna del samla mål och visioner så att byggprojektet kan beskrivas i övergripande termer samt den påverkan på samhället den kommer ha. Detta så att ett planbesked kan ansökas till den kommun som projektet befinner sig i, för att se hur byggprojektet kommer att påverka den befintliga detaljplanen. Nästa fas i byggprocessen är etablerandet av programhandlingar. I dessa preciseras krav och mål som behöver uppfyllas från alla intressenter. Programhandlingar ska fungera som bas för kommande handlingar att baseras på. Efter programfasen kan projekteringen börja, här ska systemhandlingar och detaljhandlingar upprättas. I dessa beskrivs hur alla delar i projektet hänger samman respektive noggrann beskrivning av hur varje del ska designas och uppföras. Efter detta kan produktionen påbörjas och då byggnaden är färdigställd startar förvaltningsprocessen (ibid).

2.6.2 Funktionskrav

För att en byggnad ska kunna uppfylla sina tänkta funktioner behöver lämpliga intressenter vara med och specificera sina krav innan byggnaden uppförs. Dessa krav kan vara ställda som detaljerade lösningar eller som övergripande funktioner som ska vara uppfyllda, oavsett så ska de ställda kraven kunna mätas vid färdigställande så att uppnådd funktion kan avgöras. Vid en upphandling av en specifik tjänst ger användande av funktionskrav större möjligheter för en entreprenör att komma på egna lösningar då tillvägagångsätt och utformning inte är låst, bara den slutgiltiga funktion som byggnad eller byggnadsdel ska tillföra (Upphandlingsmyndigheten, 2023).

2.7 Byggnadsspecifika krav

2.7.1 BBR och PBL

Vid ändring av en byggnad föreskriver Boverkets byggregler (2011) att de krav som gäller vid uppförande av en ny byggnad ska i grundläggande mening gälla vid ändring av byggnad, men om ändringen inte är av betydande karaktär kan avsteg göras. Om en byggnad vid ändring inte kan uppfylla de krav som finns på primärenergital ska U-värden för klimatskal eftersträvas enligt Tabell 3.

Tabell 3: Värmegenomgångskoefficienter som ska eftersträvas för konstruktionsdelar av klimatskalet (Boverket, 2011).

Del av byggnadens klimatskal	U-värde [W/m ² K]
Tak	0,13
Vägg	0,18
Golv	0,15
Fönster	1,2
Ytterdörr	1,2

Enligt Plan och Bygglagen (PBL) har begreppet ombyggnad som tidigare använts fasats ut och bytts till ”påtaglig förnyelse” för att bättre representera det som bör ske med en byggnad för att det ska räknas som ”ombyggnad”. Inom definitionen för påtaglig förnyelse ska åtgärden var bygglovs- och anmälningspliktig, innebära en stor ekonomisk investering och att hela eller en avgränsad del av byggnaden genomgår omfattande åtgärder (Boverket, 2021c).

2.7.2 Energideklaration

Enligt lagen om energideklaration för byggnader (SFS 2006:985) krävs det att alla byggnader energideklareras med vissa undantag. Detta för att kartlägga och dokumentera hur en byggnads energianvändning ser ut under drift. Energideklarationen ska innehålla energiklass, primärenergital, krav på energianvändning om byggnaden skulle uppföras som ny byggnad, värmesystem, uppvärmd area (A_{temp}), radonmätning, OVK, möjliga energiförbättringsförslag från en energiexpert och i så fall vilken energiexpert, en sammanfattning av energideklarationen och slutligen energianvändning för uppvärmning komfortkyla, fastighetsel och tappvarmvatten (Boverket, 2021b).

I energideklarationen ska markering ges till byggnaden avseende vilken energinivå som uppnås, den går i skala från A till G, där A är bäst (Boverket, 2021b). Energiprestandan redovisas med hjälp av primärenergitalet från byggnaden. Idag svarar nybyggnadskraven i BBR mot nivå C eller högre enligt Tabell 4. Uppnått krav ska redovisas på sammanställningen och ska finnas tillgänglig i byggnaden om den är över 250 kvadratmeter och besöks av allmänheten regelbundet (ibid).

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

Tabell 4. Visar de sju energiklasserna och vilken energiprestanda som de olika nivåerna motsvarar (Boverket, 2021b).

Energiklass	Kravnivå
A	<50% av nybyggnadskraven
B	50% till 75% av nybyggnadskraven
C	<75% till 100% av nybyggnadskraven
D	<100% till 135% av nybyggnadskraven
E	<135% till 180% av nybyggnadskraven
F	<180% till 235% av nybyggnadskraven
G	<235% av nybyggnadskraven

2.8 Miljöbyggnad

Miljöbyggnad är ett svenskt miljöcertifieringssystem. Miljöcertifiering av en byggnad innebär att miljöarbete och byggnadens miljöprestanda granskas av oberoende tredje part. Miljöbyggnad innehåller sexton olika indikatorer som omfattas av tre större kategorier såsom energi, inomhusmiljö och material, se Bilaga F: Miljöbyggnad 3.2 indikatorer & områden. De olika kategorierna bedöms och baserat på dessa bedömningar blir byggnaden certifierad i en av tre nivåer; Brons, Silver eller Guld. Bedömningen vägs samman och den slutgiltiga betygsnivån anger vilken nivå byggnaden kan certifieras i (SGBC, u.å).

Bronsnivå är den lägsta nivån av certifieringen där lagkrav och existerande rekommendationer ska följas. Det betyder dock inte att alla byggnader som har uppfyllt kraven kan bli certifierade. För att bli certifierad krävs det att en extern tredje part ska ha kontrollerat att kraven och regler verkligen följs. För att nå nästa nivå, som är Silvernivå krävs det lite mer än att har följt lagkraven. Det ställs exempelvis hårdare krav på solvärmelast, ljudmiljö, ventilation och mycket mer. Certifieringen markerar att byggbolaget eller fastighetsägaren är engagerade i miljöfrågor och bryr sig om användarnas välmående i byggnaden. Den högsta nivån som kan uppnås är som tidigare nämnt Guldnivå. Här ställs det höga krav på innemiljö och många av de andra indikatorerna är mycket ambitiösare än själva lagkraven. Exempelvis tillåts inte radonhalten vara högre än en fjärdedel av lagstadgat krav (SGBC, u.å).

De flesta byggnadstyper och verksamheter kan bli certifierade i Miljöbyggnad, men det som krävs är att det ska finnas ett uppvärmt utrymme som värms upp till minst 10 °C, så kallad tempererad area. Dessutom måste byggnaden innehålla vistelserum. Miljöbyggnads projekttyper kan delas in i sex olika kategorier såsom: Ny byggnad, Befintlig byggnad, Ombyggnad, Tillbyggnad, Kombinationer av föregående och tills sist tredimensionella fastigheter. Definitionen av en nybyggnad är en byggnad som har varit i drift kortare tid än fem år och för befintlig byggnad är då byggnader som varit i drift längre än fem år (ibid).

SGBC:s (2022) definition av Ombyggnad är en byggnad som genomgår en ombyggnation eller renovering. För ombyggnader behöver de specifika indikatorerna studeras noggrannare för att avgöra om byggnaden ska bli certifierad enligt manualen

för Nybyggnad eller Befintlig byggnad. För exempelvis indikator fuktsäkerhet ska bedömningen göras utifrån båda manualerna, om ventilationssystemet byts ut så ska Nybyggnad manualen följas men om det behålls kan manualen för Befintlig byggnad användas. Vid tillbyggnad ska manual Nybyggnad följas vid en certifiering (Sweden Green Building Council, 2022).

2.8.1 Arbetsgång vid ändring av en byggnad

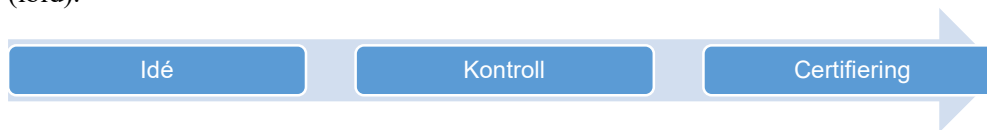
Certifieringssystemet Miljöbyggnad har använt ambitiös både på nybyggnationer samt ombyggnads- och renoveringsprojekt (IVL, 2015). Arbetsprocessen för Miljöbyggnadscertifiering för en befintlig byggnad som ska ändras kan sammanfattas med sex steg enligt Figur 5.



Figur 5: Arbetsprocess för certifiering med Miljöbyggnad för en befintlig byggnad som ska ändras, information tagen från IVL (2015).

Enligt Holm och Sandö från IVL (2015) startar processen med en idé där byggherren påbörjar planering på ändringar av byggnaden och har för avsikt att certifiera den. Sedan ska kulturhistoriska värden hos byggnaden kontrolleras och identifieras. Det finns skyddsbestämmelser att förhålla sig till för byggnader som är klassade som byggnadsminne. För att kunna göra nödvändiga avsteg från bedömningskriterierna i Miljöbyggnad krävs en tillåtelse eller uttalande från en antikvarisk sakkunnig som utses tidigt i projektet. Existerar inte kulturhistoriska värden för byggnaden kan processen fortsätta enligt manualen för befintliga byggnader enligt Figur 6.

Vidare görs förstudier av den planerade ändringen där energi- och miljörelaterade effektiviseringsåtgärder värderas mot de starka bevarandekraven som byggnaden har. Efter förstudien kommer åtgärdsprogram där viktiga handlingar tas fram i syftet att få myndighetens godkännande. Dessa handlingar omfattar exempelvis bygglovshandlingar, redovisning av anpassade kravnivåer och ansökan om ändring av skyddsbestämmelser. Därefter sker godkännande, vilket innebär att de viktiga handlingarna har fått godkänt av exempelvis byggnadsnämnden, länsstyrelse eller Riksantikvarieämbetet (Holm & Sandö, 2015). Slutligen kan byggnaden certifieras. (ibid).



Figur 6: Arbetsprocess för certifiering med Miljöbyggnad för en befintlig byggnad, information tagen från IVL (2015).

2.9 Renoveringsåtgärder

2.9.1 Renovering ur ett livscykelperspektiv

Det kan i många fall uppstå en målkonflikt mellan renovering och resurshushållning, detta eftersom olika renoveringsåtgärder, specifikt de som berör klimatskalet, kan medföra att mycket byggmaterial omsätts. Det största utsläppet uppstår under produktion- och byggskedet eftersom det går åt stora mängder resurser, som står för en betydande miljöpåverkan i form av utsläpp av växthusgaser. Det är då viktigt att väga samman det totala utsläppet för att kunna dra en slutsats om ett renoveringsprojekt är värt att göra, sett ur miljöperspektivet. För att ett sådant projekt ska vara en miljömässig lönsamt måste de minskade utsläppen under byggnadens driftsfas överstiga de utsläppen som renoveringsåtgärderna ger upphov till (Boverket, 2020).

2.9.2 Tilläggsisolering

Som tidigare nämnts beror husets värmebehov av energiförluster genom grund, tak, väggar och dörrar. Energibehovet avseende uppvärmningsenergi kan minskas med hjälp av minskade energiförluster. Dessa förluster kan minskas med hjälp av tilläggsisolering som kan tillämpas på vinden, ytterväggar, golv och även källare (Energimyndigheten, 2022).

2.9.2.1 Tilläggsisolering av yttervägg

Tilläggsisolering kan göras på insidan, inuti eller på utsidan av klimatskalet. Det finns dock för- och nackdelar ur fukt- och energisynpunkt beroende på vilken sida av väggen isoleringen placeras. De vanligaste isolertyperna som används är mineralull eller cellplast.

På utsidan sätts isoleringen på fasaden och sedan förses ett fasadskikt av exempelvis puts, plåt, trä eller skalmur. Fördelen med att tilläggsisolera på utsidan är att den ursprungliga konstruktionen blir varmare, vilket är till fördel ur fuktsynpunkt. På så sätt finns det inga kondensrisker på det nya fasadskiktet eller i isoleringen. Det nya fasadskiktet kommer dessutom att ta hand om direkta fuktkällor som regn.

Tilläggsisolering inuti en vägg kan placeras direkt i väggens hålrum vilket är endast optimalt för vissa väggtyper. Väggen ska vara försedd med hålrum eller kanaler såsom hålmurar. Det är vanligt att ha ett icke kapillärsugande material i det här sammanhanget då det är lättare att blåsa in isoleringen direkt i hålen. Nackdelen med sådana isoleringar är att de kan påverkas av sättning eller krympning som förändrar isoleringens struktur i väggen över tid. Om detta inträffar kommer temperaturförhållandet i väggen att ändras, det vill säga att det kan bli kallare på väggens yttre delar.

Tilläggsisoleringen på insidan av väggen kan exempelvis göras med mineralull mellan reglarna. Det vill säga att isoleringen sätts innanför fasaden. Nackdelen med placeringen är att ytterväggen kommer att bli kallare, vilket bidrar till ett högre fukthalt. Den kallare delen kan vidare orsaka frostsador på fasaden vid kraftigt slagregn. Risken för fuktsador kan ökas om det föreligger träbjälkar upplagda i eller mot ytterväggen. Det

är fördelaktig att förse tilläggsisoleringen med en ångspärr, detta eftersom väggens genomsläpplighet för vattenånga inte alltid framgår (Arfvidsson, et al., 2017).

2.9.2.2 Vindsisolering

Att tilläggsisolera vinden är en relativt enkel och lönsam åtgärd då 15 % av värmeförlusterna i en äldre byggnad sker genom vinden och taket (Energimyndigheten, 2022a). Eftersom varm luft stiger uppåt fungerar tilläggsisoleringen av vinden som en termos där värmen från luften behålls. Investeringen av en sådan åtgärd består i största delen av arbetskostnad och materialkostnad. Oftast används isolering i skivform eller lösull som sprutas över vindsbjälklaget. Vindsisoleringen kan orsaka en temperatursänkning, vilket vidare kan leda till kondensbildning. Det är därför viktig att vinden har en välfungerande ventilation så att fukt kan ventileras bort. I många äldre byggnader finns det luftspalter och läckage vid möten mellan yttervägg och tak, dessa kan fungera som ventilationskanal. Det är då viktigt att isoleringen inte täpper till dessa ventiler (Energimyndigheten, 2022a).

2.9.2.3 Tilläggsisolering av golv och källare

Tilläggsisolering av golv och källare kan bidra till bättre inomhusklimat och kan vara en lönsam lösning, speciellt för byggnader i behov av ny dränering eller om källaren är uppvärmd. Åtgärden kan tillämpas för alla grundtyper, även för platta på mark. Isoleringen ger en stor fördel om det finns installerat elektrisk golvvärme, då mer isolering kommer att minska behovet av köpt energi.

Liksom tilläggsisolering av yttervägg kan grundisolering också göras på olika sidor, utsidan respektive insidan av grunden. Fukt läcker in till grunden genom golv och väggar som en följd av dålig dränering. Ur fuktsynpunkt är det bäst att göra en utvändigt tilläggsisolering. Detta på grund av att grundkonstruktionen blir varmare och därmed torrare (Energimyndigheten, 2022b).

2.9.2.4 Sammanfattning av tilläggsisolering

Beroende på vilken typ av byggnad som ska renoveras med hänsyn till energieffektivisering passar olika åtgärder bättre eller sämre, men generellt finns det vissa saker att ta hänsyn till som kan göra vald åtgärd mer eller mindre attraktiv.

Tilläggsisolering av vindsbjälklag kan vara en av de mest lönsamma åtgärderna då det kan göras med hjälp av insprutad isolering vilket kan göras utan några fler byggtekniska ingrepp så länge tätning eller borrning inte krävs.

Tätning av delar i klimatskalet som har en genomföring, till exempel fönster, dörrar och ventilation kan av flera anledningar inte vara tillräckligt tätade. Då tätningar vanligen görs med material som tejp, fogar eller pappskivor kan dessa skadas vid montering eller användning samt förlora förmåga vid åldring. På grund av de höga värmeförlusterna vid konvektion orsakade av otätheter i klimatskalet, blir då tätningsåtgärder en lämplig och kostnadseffektiv åtgärd (Arfvidsson, et al., 2017).

Tilläggsisolering av yttervägg kan som tidigare nämnts genomföras på insidan, utsidan eller inuti väggkonstruktionen. En invändig tilläggsisolering är oftast oekonomisk då yta på insidan förloras som innebär både förlust av golvyta och flertalet funktioner som behöver omplaceras, till exempel vägguttag för el och radiatorer. Tilläggsisolering inuti väggkonstruktionen har begränsad användning beroende på de faktorer som begränsar användning av metoden. Utvändigt tilläggsisolering är en åtgärd som är lämplig ur flera synvinklar som tidigare nämnt, det största hindret är den kostnad som medföljer på grund av arbete, byggställningar, att designa om fasaden samt att göra om anslutningar till andra byggnadsdelar (fönster, tak, grund, bjälklag). Om nuvarande isolering i väggen är minimal kan inte en energieffektiv byggnad göras utan lämplig mängd isolering i klimatskalet, i äldre byggnader bör utvändigt tilläggsisolering göras i samband med övriga renoveringar av fasaden så att omkostnader minskas (Arfvidsson, et al., 2017).

Tilläggsisolering av klimatskalet kan i många fall också beröra fönster. En nackdel vid energieffektivisering av fönster är minskad energitransport från inneklimat till ytterklimat, detta medför att yttersidan av fönstret kommer få en kallare yta då mindre värme leds ut. Under klara nätter ökar mängden värme som strålas bort från ytskikt vilket medför en ännu kallare yta på fönstertytan, detta kan leda till kondens. Problematiken som kan uppstå vid kondens på utsidan av fönstren är sämre sikt ur fönstret och ökad risk för fuktproblematik. Detta kommer även öka värmetransporten marginellt då ytskiktet har vatten på ytan. En annan nackdel med energieffektivisering av fönster är att kombinationen av avancerade tätningsmetoder tillsammans med gas med låg värmeledningsförmåga inuti är svåra att underhålla och förlorar effektivitet med åren vilket kan kräva byte (Arfvidsson, et al., 2017).

2.9.3 Byte av fönster

Att energieffektivisera klimatskalet på en byggnad gör att värmeförlusterna minskar. Sett till klimatskalet ligger ofta den stora begränsningen hos fönster då kraven på dagsljus och önskan om passiv solvärme krockar med material som har låg värmeledningsförmåga (Block & Bokalders, 2014). Installation av nya fönster kan även leda till fuktproblematik beroende på hur genomföringar med fasaden ser ut (Arfvidsson, et al., 2017). Fönsterbyte kan göras i samband med renovering av fasaden för att kunna dela kringkostnader med andra renoveringsåtgärder.

För att minska U-värdet på ett fönster kan sammansatta partier monteras i fabrik där högre noggrannhet kan uppnås, då kan lufttäta karmar skapas vilket kan möjliggöra att kassetter med 2–3 rutor kan fästas tillsammans. Dessa lufttäta kassetter kan fyllas med en gas exempelvis argon eller krypton, dessa gaser har lägre värmeledningsförmåga på grund av sin högre densitet samt dynamisk viskositet vilket även minskar konvektionsströmining och därmed konvektionsförluster inom fönsterkassetterna. Moderna fönster har även tjockare och djupare karm samt båge på grund av tätningarna, detta minskar arean som ljus och solvärme kan ta sig in via fönsteröppningen. Energiglas kan göras med ett tunt skikt på ytan av material som guld, silver eller tennoxid, dessa

förhindrar långvågig strålning från att ta sig ut genom rutan men med en behandling av fosforoxid kan UV-ljus fortfarande komma igenom. Detta hjälper fönstret att behålla värme vilket dock kan vara en nackdel på somrar då det i stället finns ett kylbehov (Block & Bokalders, 2014).

I fall där komplett byte av fönster inte möjligt eller önskvärt kan nuvarande fönster kompletteras med ett isolerglas. För att öka energieffektiviteten av byggnaden är det vanligt att en tvåglas isolerruta installeras innanför det nuvarande fönstret för att minska påverkan på fasad och byggnadens utseende (Block & Bokalders, 2014).

2.9.4 Byte av ventilationssystem

För att minska en byggnads energianvändning i är den primära vägen att först försöka tillämpa passiva lösningar. Om inte det är möjligt eller inte ger tillräckligt goda resultat, kan de uppvärmningssystem som används i byggnaden bytas eller uppgraderas. För att minska den mängd värme som försvinner ur byggnaden kan FTX-system, det vill säga till- och frånluftssystem med värmeåtervinning användas, då tas det vara på den energi som finns i inomhusluften (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

När ett till- och frånluftssystem installeras finns det två vanliga typer, ett system med konstant luftflöde (CAV) eller ett system där luftflödet varierar beroende på behov (VAV). Ett CAV system levererar samma luftflöde vilket inte kräver styrning, ett VAV system kan leverera just det flödet som krävs men kräver en anordning som kan mäta av exempelvis CO₂ nivåer och temperatur för att då kunna leverera ett luftflöde som kan sänka CO₂ nivåer i inomhusluften eller justera temperaturen i omgivningen (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

En värmepump, oavsett modell och uppvärmningsmetod, kommer att förlora effektivitet med tiden och behövas renoveras/bytas för att bibehålla effektivitet. När och hur detta görs kan bero på både ekonomiska faktorer och energisparmässiga. Att gå från ett lågeffektivt system, exempelvis en luft-luftvärmepump, till ett mer effektivt system, exempelvis ett vattenburet system med energikälla i bergvärme, kan energianvändning minskas på grund av förbättrad effektivitet på pumpen, dvs ett högre COP-värde, men kostnaden sett till den mängd CO₂ som byggs in i byggnaden måste tas hänsyn till ur ett livscykelperspektiv (Block & Bokalders, 2014).

I atmosfären ligger CO₂ nivåerna på cirka 420 ppm och enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation (Folkhälsomyndigheten, 2014) bör nivåerna inomhus vid normal användning inte överstiga 1000 ppm. I dessa råd ingår även rekommendationer för luftflöden, där för skolor och lokaler bör det vara minst 7 l/s per person med ett tillägg på 0,35 l/s per kvadratmeter för att få bort föroreningar och orenheter från luften (Boverket, 2023c).

2.9.5 Renovering av k-märkta byggnader och energieffektivisering av den bebyggda miljön

Lingfors och Donarelli (2018) anger att byggnader uppförda före 1945 står för cirka en fjärdedel av den totala energianvändningen i det svenska byggnadsbeståndet. Det finns ungefär 2 400 byggnadsminnen i Sverige där bland dessa ingår hela miljöer med byggnader, enskilda bostadshus, lokaler och nyttobyggnader (Donarelli & Lingfors, 2018).

Kulturhistoriska byggnader har ett bevarandevärde, men som tidigare konstaterats behöver även dessa byggnader bidra till samhället samtidigt som de bevaras. Denna kostnad kan bli hög om inte byggnaderna rustas upp till moderna energikrav. För att det kulturhistoriska värdet inte ska förvanskas behöver de tekniska lösningarna fortfarande kunna bevara utseendet samtidigt som åtgärder inom fukt, energi, beständighet och innemiljö förbättras och görs på korrekt sätt. En guide om energiförbättringar i kulturmärkta byggnader utgiven av en välgörenhetsorganisation i Edinburgh ägnad åt bevarande av kulturarv, beskriver de restriktioner som finns gällande byte av detaljer som fönster och att det ofta krävs specialdesignade ersättningsfönster som kan vara kostnadssamma (Edinburgh World Heritage, 2008).

3 Fallstudie Varvsstaden

3.1 Riktlinjer för förändring Varvsstaden

Det finns riktlinjer skapade för Varvsstaden hur dess kulturhistoriska uttryck ska bevaras. I denna kulturhistoriska utredning skriver Lund et al. (2007) om följande: tegelfasaderna, befintliga muröppningar, historiska spår, fönster, lanterniner, detaljer, byggnadsvolymer, rymden i hallarna, öppna konstruktioner, golvmaterial, utemiljö, nybyggnation, återställande till originalutförande och namn på området.

Mer ingående så skriver Lund et al. (2007) om riktlinjerna att tegelfasaderna ej ska behandlas så att deras patina ändras eller försvinner, ett fogbruk liknande original ska användas vid omfogning och tegelfasaden får inte täckas över på något sätt. Befintliga muröppningar ska utnyttjas i hög grad och nya ska undvikas. Om det finns historiska belägg att det tidigare funnits en öppning kan det tillåtas men särskilt viktig är den slutna karaktären mot Stora Varvsgatan, där bör inga nya öppningar tas upp. Fönster och lanterniner bör behållas i möjlig mån, de kan ersättas med nytillverkade av samma eleganta typ, alternativt ”förstärkas” från insidan. Historiska spår bör inte rensas bort om inte det finns en nödvändig anledning (ibid).

Enligt Varvsstaden (2021) förstudier ska byggnadsvolymer inom hallen bevaras så att siktlinjer och känslan av rymden i byggnaden inte försvinner. Det finns möjligheter att dela in hallen i flera delar/våningsplan men detta ska undvikas i möjliga mån. Befintlig bärande stomme i takstolar och stålpelare ska bevaras synliga utan ändringar, där kompletteringar rekommenderas i stället för ersättningar. De unika spår i golvet från truckbanor ska med fördel bevaras eller annars ersättas så att de historiska spåren från originalanvändningen sparas. Gällande nybyggnad bör tillkommande byggnader ha ett samtida uttryck så att kontrasten mellan gammalt och nytt blir tydligt men samtidigt ska nya byggnader vara genomtänkta i position och karaktär med respekt för befintlig bebyggelse. Trä som fasadmateriäl, tegelpannor samt exklusiva material som marmor är olämpliga att använda i området sett till dess historia. Området har fungerat som industrimiljö och bör bevara det uttrycket, detta genom att fortsätta använda råa material som asfalt, betong och sten. Grönska bör användas vid lämpliga existerande ytor eller gatustråk. De gamla namnen och benämningar på lokaler och miljö bör bevaras i det nya byggnationerna (ibid).

3.2 Magasinet

Som en del av Varvsstadens projekt renoverades en av byggnaderna bredvid Maskin- och monteringshallen så kallad Magasinet. Byggnaden uppfördes 1917 och var också ritad av samma arkitekt som Maskin- och monteringshallen, Axel Stenberg. Det renoverade Magasinet togs i bruk 2020 (Varvsstaden, 2023).

På 3 525 m² (BTA) fördelat över tre våningsplan är det betydligt mindre än Maskin- och monteringshallen (ibid). Byggnadens karaktär är däremot likartad, och den omfattas av samma skyddsbestämmelser som Maskin- och monteringshallen.

Under renoveringen tilläggsisolerades byggnadens två övre våningar, medan entréplanet lämnades oisolerat. Tegelväggen som utgör både bärande stomme och klimatskal bedömdes vara tillräckligt tjock för att inte resultera i omfattande energiförluster. På grund av risk för övertemperaturer inomhus monterades dessutom invändigt solskydd i samtliga fönster.

3.3 SVT huset

Byggnaden som är placerad öster om Maskin- och monteringshallen på samma gata tillhör även Varvsstaden men blev renoverad år 2010. Byggnaden används idag av Sveriges television och fungerar som studio och kontor. Renoveringen skedde innan antikvariska röster på kommunen hade gjort sig hörda och därför hann inte många av de bevarande krav som gäller för Varvsstaden beaktas i ombyggnationen. Specifikt skedde byte av fönstren på byggnaden där det fanns önskemål om att de nya fönstren skulle utformas som originalfönstren, men de fönster som byggdes in motsvarade inte antikvariska förväntningar. Det fanns även en vilja från antikvarie att bevara fasaden till hög grad. Efter kompromiss med entreprenören valde de att bevara den befintliga fasaden men att den tvättades, något som i efterhand kommun och antikvarier bestämt inte får ske med resten av byggnaderna i Varvsstaden.

Byggnaden hade fått lägre termisk komfort än väntad, enligt Johansson & Kjellman (2014) misstänker de att detta beror på undermåligt dåligt isolerade väggar och don med för hög utblåsningshastighet. Detta styrks via enkäter där brukarna har klagat på inomhusklimatet och täckt över donen själva som en åtgärd att undvika drag.

Balkar och andra köldbryggor har i denna byggnad låg effekt på energiförlusterna. Trapphuset är värre då skiktet mellan trapphuset och ytterväggen inte är tilläggsisolerad utan endast de övriga väggarna i trapphuset. Via termografering påvisar Johansson & Kjellman (2014) att denna lösning har lett till stora köldbryggor vilket både för ut stora mängder energi från byggnaden och skapar dålig termisk komfort för de som rör sig i trapphuset.

3.4 Maskin- och monteringshallen

De kulturhistoriska märkningarna som Maskin- & Monteringshallen har fått i detaljplanen som måste beaktas är ett litet q och k, då byggnaden är klassad som särskilt historisk värdefull (Malmö Stad, 2017). Enligt detaljplanen ska byggnadens volymer, ursprungliga tegelfasader, fasadkomposition, fönstersättning, murade skylttexter bevaras samt passage och vaktkur vid administrationsbyggnad även bevaras i enlighet med lilla q märkningen. Detaljplanen i enlighet med sin lilla k markering bestämmer att fasadmaterialet, fönsterutformning, takmaterial, taklandskap med lanterniner, ”knoppskott” i form av modernare på- och tillbyggnad samt de spår som finns byggnadens industriella förflutna är av särskild betydelse för de kulturhistoriska värdena i byggnaden (ibid).

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

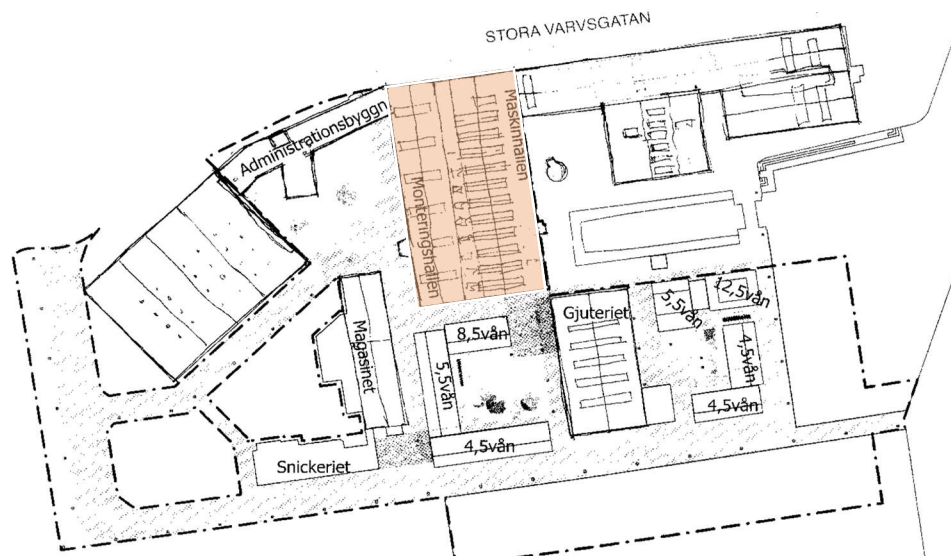
I förstudien gjord av Varvsstaden AB inför renoveringen av Maskin- och monteringshallen har flera av riktlinjerna för området Varvsstaden försökts anpassas till Maskin- och monteringshallen i samråd med arkitekter, antikvarie och samtliga tekniska projektörer. I enlighet med riktlinjerna för Varvsstaden ska Maskin- och monteringshallen vara sluten mot Stora Varvsgatan och undvika nya öppningar i fasaden. Siktlinjerna och rymden ska bevaras inne i hallen men särskilt i monteringshallen. Vid renoveringen kommer inga nya våningsplan byggas utan inneslutna rum ska skapas som inte blockerar vyn över takstolar och innerfasad från markplan. Bärande konstruktion i form av takstolar, takbalkar och stålpelare är värdefull för interiören och ska med fördel vara så synliga som möjligt. Detaljer i form av spiraltrappan, färgrester och diverse skavanker är viktiga att de inte förvanskas utan behålls som en del av det kulturarv som Varvsstaden siktar på att hålla levande. Figur 7 visar insidan av maskinhallen i Maskin- och monteringshallen.

För hälsa och välmående är dagsljus en viktig del att beakta, dock kommer de myndighetskrav som föreligger avseende dagsljus vara svåra att uppfylla i Maskin- och monteringshallen på grund av det stora djupet från fasad till mitt. Det finns taklanterniner som kommer fortsätta användas efter en renovering, vilket kommer fortsätta förse de djupare delarna av byggnaden med ljus (Varvsstaden 2022).



Figur 7: Insidan av Maskin- och monteringshallen. Vänstra bilden visar monteringshallens utseende innan renovering och högra bilden visar de karakteristiska stålstommarna. Taget ur Programhandling Fas 1, Konstnärliga fakulteten LU i Varvsstaden Varvsstaden AB (2022).

Maskin- och monteringshallen ligger inom planområdet DP 5175 med en total area på ca 39 000m². Området är omgivet av Stora Varvsgatan i norr, Varvsbassäng i söder och vattenområdet i öster (Varvsstaden, 2023). Planområdet illustreras i figuren nedan och utdraget finns i Bilaga E: Detaljplan för planområdet DP5175.



Figur 8: Illustrationskarta som visar planområdet DP 5175 med Maskin- och monteringshallen ut markerat i orange. Illustrationen på detaljplanen är tagen ur Malmö Stad (2017).

3.4.1 Verksamhet och utformning

Renoveringsprojektet är i väldigt tidigt skede men har passerat förstudieskedet. Under förstudien togs det fram förslag om framtida vision för byggnaden. Konceptet diskuterades fram med i samråd med den planerade verksamheten.

Maskin- och monteringshallen kunde delas upp till fyra våningar med en total lokal area på 10 600 m² enligt tillhandahållna programhandlingar från Varvsstadens projekteringsgrupp (Varvsstaden, 2022). Maskin- och monteringshallen renoveras för att brukas till störst del av Lunds universitet där konst, teater och musik kommer vara de inriktningarna som flyttar in. Det fanns ett utrymme i norradelen av byggnaden som inte skulle brukas av Lunds universitet, denna hade inga bestämda planer eller hyresgäster (ibid).

De ytor som omfattas av Lunds universitet ska passa den verksamhet som de tänkta institutionerna har behov av. Dessa innefattade studior, enskilda ateljéer med bra tillgång till dagsljus, teater och musiksalar med god akustik samt minimalt med läckage av ljud, och kontor för administration och enskilt arbete (ibid).

Byggnaden utformades efter verksamhetens behov samtidigt som den skulle anpassas till den kulturhistoriska målbilden. Det fanns tillgängliga A-ritningar och illustrationer i programhandling om hur den färdigrenoverade byggnaden kommer till att se ut (se Bilaga A: Utdrag ur A-ritningar Maskin- & monteringshallen). Maskin- och monteringshallen var uppdelade i två volymer, där den västra delen representerade maskinhallen och östra delen monteringshallen. Dessa två delar hade liknade karaktärer på entréplan med blandade verksamheter, se Figur 9.



Figur 9: Illustration och vision av den framtida maskin- och monteringshallen. Tagen ur Programhandling Fas 1, Konstnärliga fakulteten LU i Varvsstaden Varvsstaden (2022).

I monteringshallen skulle det endast bestå av tre till fyra större studior medan maskinsidan hade varierade planlösning för varje våning med hörsalar, gallerier, kontor och så vidare, se Bilaga A: Utdrag ur A-ritningar Maskin-& monteringshallen. Utanför studion i maskinhallen skulle det finnas gemensamt utrymme för studier, möten eller likande, dessa illustrerades i den högra figuren i Figur 9.

4 Metod

4.1 Parameterstudier

Parameterstudier utfördes i syftet att kunna jämföra byggnadens energiprestanda. Utöver utdata på energianvändningen studerades även indikator 3 energianvändning i Miljöbyggnad 3.2. Först utformades byggnadens Basfall som presenterade Maskin- och monteringshallen efter minimala och osynliga renoveringsåtgärder, se Bilaga C: IDA-ICE Modell & indata. Därefter förbättrades Basfallet med ett antal renoveringsåtgärder för att studera hur väl de olika åtgärderna presterar främst ur energisynpunkt, se Bilaga D: Parameterstudier. Sedan jämfördes de olika fallen mot varandra med avsikt att identifiera en rimlig gräns mellan energikraven och den kulturhistoriska målbilden som byggnaden hade.

Basfallet byggdes upp efter konsultation med projektledaren och materialen valdes efter rimligheten utifrån byggnadens nuvarande stomme, utseende och den industriella karaktären. De olika renoveringsåtgärderna bestämdes utifrån litteraturstudier samt diskussioner med inblandade aktörer och experter. Det simulerades totalt 14 fall, var av sex fall studerade tilläggsisoleringens tjockleks påverkan på energianvändningen. Två av fallen studerade solavskärmningens påverkan och ett fall studerade fönsters U-värde. Efter att ha studerat de enskilda åtgärderna kombinerades några potentiella kombinerade åtgärder.

4.2 Energiberäkning & byggnadssimulering

Simuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy, IDA-ICE användes för att beräkna byggnadens energibehov och behov av köpt energi. IDA-ICE är ett simuleringsverktyg som kan utföra beräkningar för detaljerade flerzons- och helårsstudier där byggnadens VVS-system, byggnadsskal och mycket mer kan modelleras med hög noggrannhet. Med hjälp av utdata som fås från simuleringen kan byggnadens energianvändning, primärenergital och den dynamiska termiska komforten analyseras. Verktöget hade förinställningar och tog hänsyn till aktuella klimatdata, materialdata och andra standarder (EQUA, u.å).

Då IDA-ICE programmet inte tog hänsyn till hur energi produceras eller utnyttjas gjordes några handberäkningar från utdata. Detta på grund av att den köpta energin i IDA-ICE innehåller endast tre större energiposter såsom verksamhetsenergi, fastighetsenergi och producerade energi från fjärrvärmens. Utdata från programmet redigerades sedan i Excel för att få fram energiposterna till primärenergitalet. För exempelvis användes schablonvärde på tappvarmvatten och fastighetselen vid beräkning av byggnadens energiprestanda.

Ett online verktyg, PVGIS, utgivet av enheten för energieffektivitet och förnybar energi för Europeiska kommissionen användes för att simulera hur mycket energi solceller kunde generera under ett år där lokala förutsättningar kan programmeras (Europeiska kommissionen, 2022). Detta resultat jämfördes sedan på en månadsbasis mot

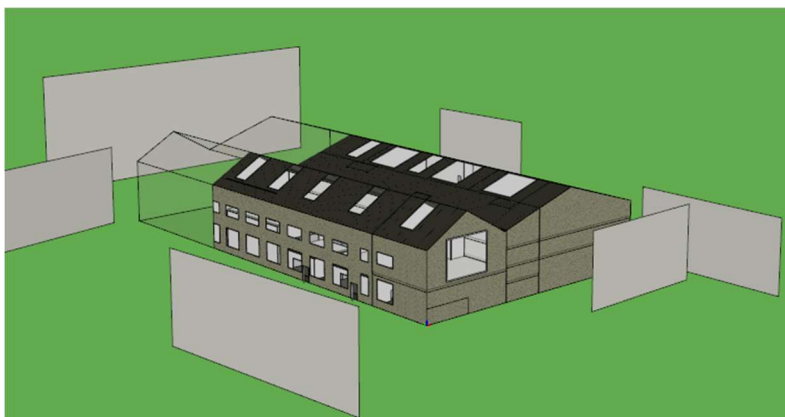
Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till
energieffektivisering

energibehovet för fastighetsenergi i byggnaden som produceras av IDA-ICE för att avgöra hur mycket fastighetsenergin kan reduceras efter täckning av elenergiproduktionen från solcellerna. Inställningar och indata som användes i PVGIS finns i Bilaga G: Simulering av solceller i PVGIS.

5 Modellering

Simuleringsprogrammet IDA-ICE användes vid undersökningen av Maskin- och monteringshallen för beräkning av energianvändning och termisk komfort. Eftersom det var en relativt komplex byggnad med stor volym och yta gjordes några förenklingar i programmet. Byggnaden simulerades i IDA-ICE efter den tillhandahållna planlösningen och diskussion med kunnig handledare.

För att inte överbelasta programmet gjordes några förenklingar på antalet rum. De mindre rummen som hade samma funktion, höjd och väderstreck slogs ihop till en zon. Det antogs också att alla rum inklusive gemensamma utrymmen och hall skulle uppnå samma inomhustemperatur på cirka 21 °C och att hela volymen skulle vara uppvärmd. Det placerades även ut konstgjorda fasader som skulle föreställa byggnader i omgivningen. Detta gjordes för att ta hänsyn till skuggningar som kunde påverka rummets tillgång till dagsljus eller skydd mot solvärmelast. Vidare gick det inte att forma bågfönster i programmet och då beslöts det att låta fönstren vara rektangulära. Den obestämda verksamheten som var tänkt att ta över norra delen av byggnaden lämnades tomt, se Figur 10 nedan.



Figur 10: IDA-ICE modell av Maskin- och monteringshallen.

Modellen som byggdes upp i IDA-ICE hade en tempererad area på 9 384 m² och 57 040 m³ i volym. Antalet rum eller zoner som det kallades uppskattades till 41, vilket är betydligt färre än i verkligheten. De viktiga parametrarna och indata däribland tappvarmvattenanvändning, bruksvanor, verksamhetsenergi och liknande bestämdes med hjälp av Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN 2.

Vidare gjordes även ett antagande vad gällde personbelastning då det ifrågasattes att BEN2 var för generös i detta sammanhang. Personbelastningen per kontor i modellen halverades då det exempelvis antogs att det satt två personer per kontorsrum som var cirka 20 m², istället för en person som schablonen anger, samt att det fick plats med fler studenter per undervisningssal då det antogs att det är 0,1 personer/m² istället för 0,07

personer/m². Schablonvärdena som användes finns i Bilaga C: IDA-ICE Modell & indata.

5.1 Utformning av Basfall och förbättringsfall

Basfallet byggdes upp med de renoveringsåtgärder som inte hade större påverkan på byggnadens utseende enligt skyddsbestämmelserna. Det var viktigt att fasaden och dess utseende skulle bevaras, vilket innebär att exempelvis tilläggsisolering på utsidan och andra synliga åtgärder som kan förändra byggnadens karaktär utesluts. Följande renoveringsåtgärder vidtogs i Basfallet:

- FTX-system med värmeväxlare som hade en verkningsgrad på 80% samt närvarostyrning efter koldioxidhalt i kontor, studior och hörsalar.
- Platta på mark med 350 mm isolering i form av cellplast
- Tegelvägg/murverk med tjocklek på 350mm (befintlig fasad)
- 3-glas fönster med ett energiskikt och ett argon gas, ett U-värde på 1,06 W/m²K

Vidare skulle Basfallet förbättras. De olika renoveringsåtgärder som studerades var bland annat tilläggsisolering, förbättring av fönsters U-värde och eventuellt införande av solavskärmning för att minska kylbehovet. Förbättringsfallen eller parameterstudier utgick på att en av renoveringsåtgärderna studerades separat innan de optimala åtgärderna kombineras. Sedan jämfördes dessutom de olika fallen med ett fall där det bortses från den kulturhistoriska målbilden.

Tabell 5: beteckning och beskrivning av de olika jämförelse fallen i parameterstudien.

Maskin- och monteringshallen	Beskrivning
Basfall	FTX med vvx verkningsgrad 80% + 3-glas fönster U-värde 1,04 W/m ² K+ platta på mark med 350 mm cellplast
F1	Förbättringsfall 1: Basfall + 20 mm tilläggsisolering
F2	Basfall + 40 mm tilläggsisolering
F3	Basfall + 60 mm tilläggsisolering
F4	Basfall + 80 mm tilläggsisolering
F5	Basfall + 100 mm tilläggsisolering
F6	Basfall + 200 mm tilläggsisolering
F7	Basfall + invändigt solskydd
F8	Basfall + utvändigt solskydd
F9	Basfall + Bättre fönster med U-värde på 0,89 W/m ² K
F10	komb. F5&F7 med 100 mm isolering + invändigt solskydd
F11	F10 + 50% personlast och belysningar enl. BEN
F12	F10 + 500 m ² solceller
F13	Basfall + 200 mm + utvändigt solskydd + bättre fönster + 500 m ² solceller

Tilläggsisolering på insidan av yttervägg

Här önskas det så lite tilläggsisolering som möjligt eftersom det inte var tillåtet att täcka för de synliga stålstommarna som stack ut från ytterväggen. Det var kulturhistoriskt viktigt att stommen skulle synas och baserat på detta uppskattades ineliggande tilläggsisolering att inte överstiga 100 mm. Under de första förbättringsfallen studerades enbart inverkan av tilläggsisolering där det lades till 20 mm tilläggsisolering för varje simulering upp till 100 mm isolering, sedan fördubblas denna tjocklek till 200 mm för att studera effekten av tilläggsisoleringen.

Fönster med lägre U-värde

I Basfallet valdes ett 3-glas fönster med U-värde på ca 1,06 W/m²K inklusive karm. Fönsternas uppbyggnad bestod av ett energiskikt som applicerades på ett av glasen samt att ett av skikten fylldes av argongas. Fönstren hade kunnat få ett ytterligare lägre U-värde för att minska energiförluster genom ytterväggen. Det infördes ett energiskikt till på det andra glaset samt att det andra luftspalten också fylldes med argongas. Sammanfattningsvis bestod det bättre fönstret av två energiskikt och två argonspalter, vilket minskade U-värdet till 0,89 W/m²K. Fönsterstudien redovisas i Bilaga L: Fönster och solskydd specifikationer.

Solskydd

För att inte riskera övertemperatur i vistelsezonen eller dålig termisk komfort i byggnaden kunde invändigt solskydd installeras på alla fönster inklusive takfönsterna. Dessutom studerades även utanpåliggande solskydd som ett annat alternativ i syfte att jämföra dessa två. Solavskärmningen ingick som ett förbättringsfall då det var intressant att undersöka hur mycket fjärrkyla som kunde minskas med hjälp av solavskärmningen. Solskyddet styrdes efter solinstrålning där två olika justeringar studerades separat, det första var där solskyddet skulle aktiveras då solinstrålningen nådde 100 W/m² och det andra 200 W/m². Inställningen gjordes i syftet att få ett maximalt solljusinsläpp även under vinterhalvåret. Jämförelsen av de två olika nivåerna på solinstrålning ingick inte som varsitt fall, endast den bättre inställningen valdes. Fönsterspecifikationer före och efter solskydd redovisas i Bilaga L: Fönster och solskydd specifikationer.

Schablonvärde

På grund av att projektet var i tidigt skede fanns det flera obestämda parametrar som bör undersökas. En av dessa var då brukarnas vanor och även normalt förbrukning av verksamhetsel. Det var exempelvis ännu ej bestämt om det skulle användas LED-lampor som har mycket lägre energibehov än vanliga lampor. Dessa schabloner var då baserade på BEN 2, men i detta arbete studerades även vad som skulle hända om schablonvärdena halveras. En annan anledning till att BEN användes i studien var för att ge en mildare eller mer realistisk uppfattning av påverkan från tillskottsenergi såsom personvärmelast och elektriska apparater. Eftersom det var blandade verksamheter med både kontor, undervisningssalar, ateljéer och mer var det orimligt att alla rum skulle vara fullsatta med personer samtidigt. Därför blev 50% av indata angivna i BEN 2 ett alternativ som var intressant att jämföra.

Solceller

Ett mål med Maskin- och monteringshallen var att få upp cirka 500 m² solceller, vilket var det som räknades med i de två fallen. Solcellerna installerades på taket för två av 14 fall för att undersöka hur mycket elenergi i form av fastighetsel som kunde besparas. Solcellerna fördelades på Monteringshallens tak. Det gjordes två beräkningar i PVGIS med vardera 250 m² solceller då taket hade olika vridningar för solinstrålning, s.k. azimut, se de valda parametrarna i Bilaga G: Simulering av solceller i PVGIS.

6 Resultat och analys

Undersökningens resultat presenteras i kronologisk ordning och följer examensarbetets uppläggning.

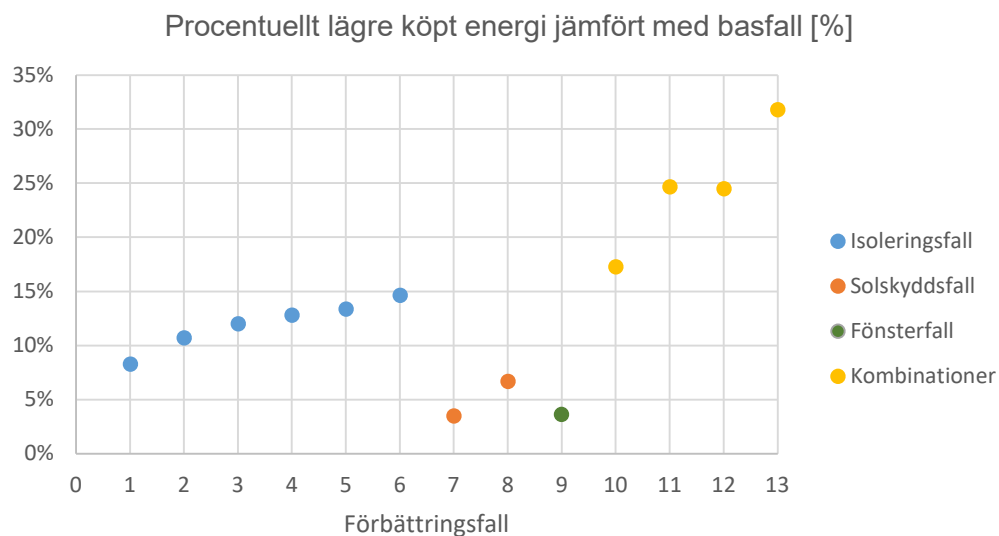
6.1 Byggnadens energiprestanda

Byggnadens köpta energi består av energiposter i enlighet med Boverkets byggregler; fastighetsel, verksamhetsel, uppvärmningsenergi, tappvarmvatten och kyla. Byggnadens energianvändning tas ut från simuleringsprogrammet IDA-ICE. De olika 14 fallens resultat presenteras i Tabell 6. De första tio fallen som simulerades var studier riktade mot specifika renoveringsåtgärder, där fall F1 till F6 studerade påverkan på energibehovet baserat på isoleringens tjocklek, F7 och F8 studerade solskyddets placering och fall F9 fönsternas U-värde. Efter att ha studerat de specifika renoveringsåtgärderna kombinerades de tänkbara renoveringar, både ur energisynpunkt och baserat på den kulturhistoriska målbilden. Kombinationen presenteras i F10-F12 och tills sist studerades även ett fall där den kulturhistoriska målbilden uteslutes helt och hållet, F13.

Tabell 6. Redovisar en kort beskrivning av de olika fallen och det simuleringsresultat som fås från IDA-ICE i form av köpt energi.

Maskin- & monteringshallen	Beskrivning	Köpt energi [kWh/m ² , A _{temp}]
Basfall	FTX med vxv verkningsgrad 80% + 3-glas fönster U-värde 1,04 W/m ² K+ platta på mark	109,7
F1	Förbättringsfall 1: Basfall + 20 mm tilläggsisolering	100,6
F2	Basfall + 40 mm tilläggsisolering	97,9
F3	Basfall + 60 mm tilläggsisolering	96,5
F4	Basfall + 80 mm tilläggsisolering	95,6
F5	Basfall + 100 mm tilläggsisolering	95,0
F6	Basfall + 200 mm tilläggsisolering	93,6
F7	Basfall + invändigt solskydd	105,8
F8	Basfall + utvändigt solskydd	102,3
F9	Basfall + Bättre fönster med U-värde på 0,89 W/m ² K	105,7
F10	komb. F5&F7 med 100 mm isolering + invändigt solskydd	90,7
F11	F10 + 50% av BEN	82,6
F12	F10 + 500 m ² solceller	82,8
F13	Basfall + 200 mm + utvändigt solskydd + bättre fönster + 500 m ² solceller	73,4

De olika fallens energibehov i form av köpt energi jämfördes sedan med Basfallet. Figur 11 presenterar resultaten av hur mycket lägre köpt energi de olika fallen hade jämfört med Basfallet. De enskilda jämförelserna avseende köpt energi finns i Bilaga I: Jämförelser av energibehov per yta för alla fallen.

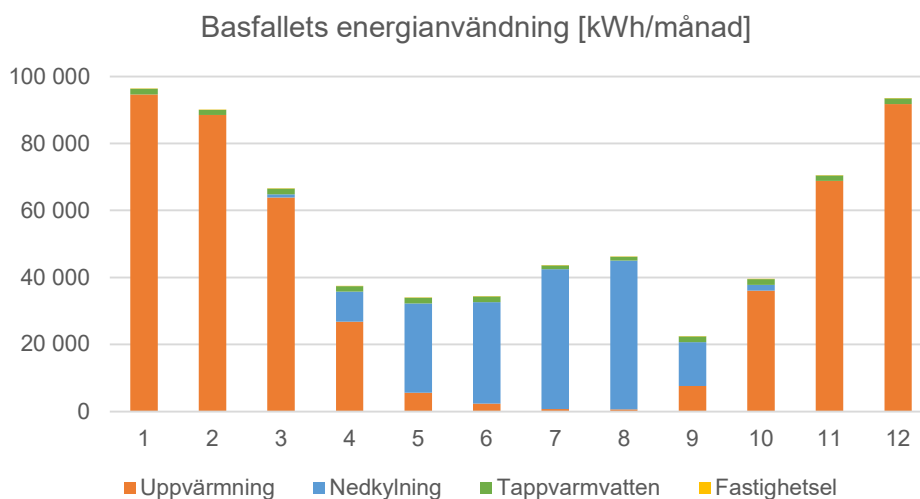


Figur 11: Procentuellt lägre energibehov i form av köpt energi för de olika förbättringsfallen jämfört med Basfallet.

Byggnadens energianvändning bestod av fyra energiposter såsom uppvärmningsenergi och tappvarmvatten från fjärrvärme, kyla från fjärrkyla, samt fastighetsel.

6.1.1 Basfall

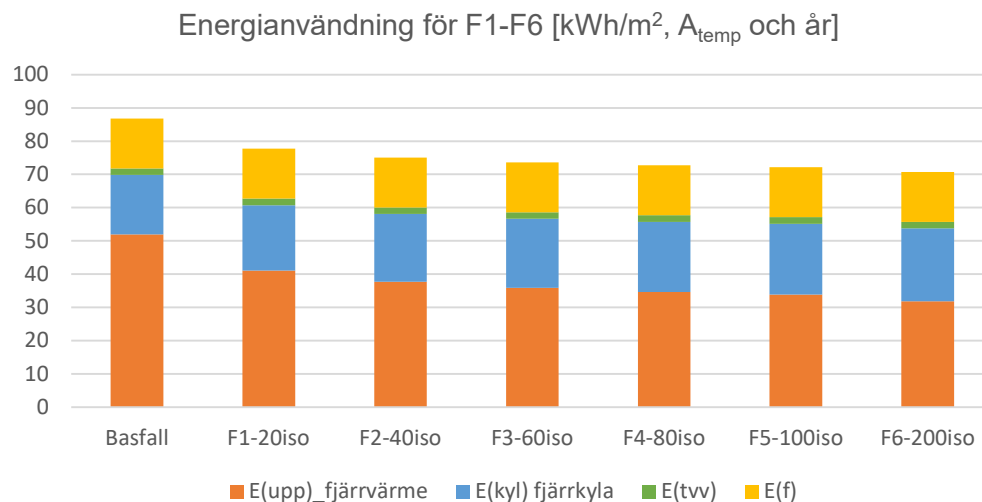
Basfallets energianvändning per månad presenteras i Figur 12.



Figur 12: Basfallets energianvändning för varje månad under ett år (oviktade värde).

6.1.2 Ökad isolertjocklek

Energibehovet för de sju första fallen redovisas i Figur 13. Värdena på de presenterade resultaten var tagna från IDA-ICE simuleringsresultat utan hänsyn till viktningsfaktorer i BBR. Energiposterna för tappvarmvatten och fastighetsel var schablonvärde tagna från BEN 2, värdet för dessa två poster förblev därför samma för varje fall.

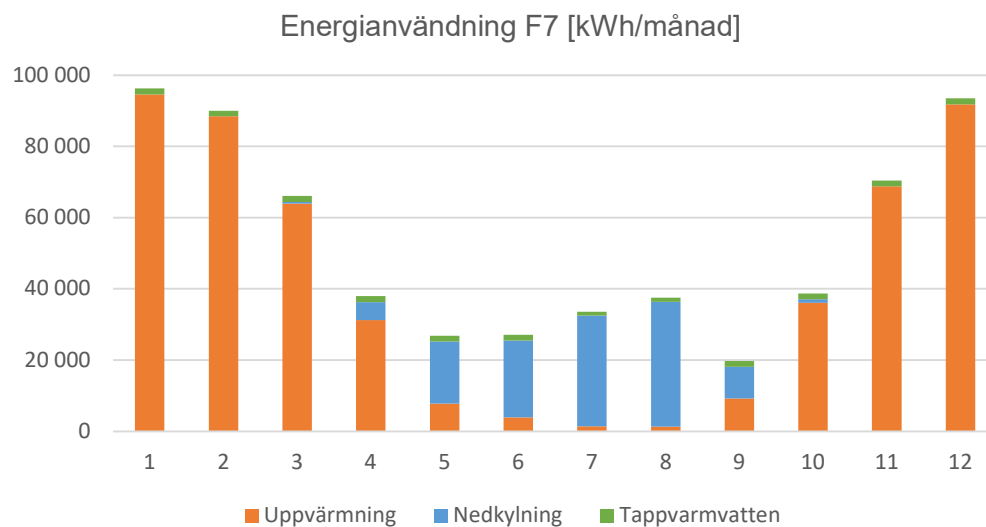


Figur 13: Isolertjocklekars påverkan på byggnadens energianvändning.

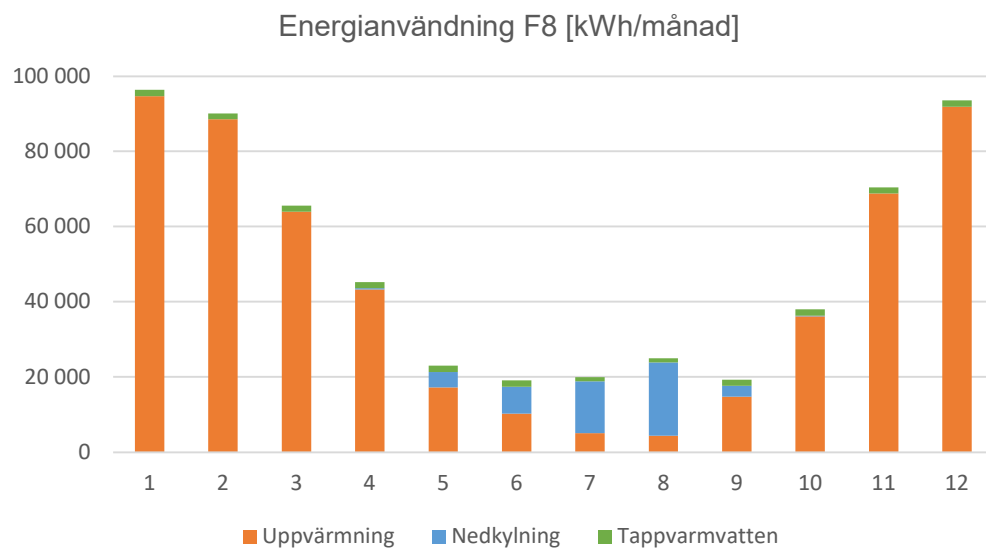
6.1.3 Solavskärmningens påverkan

Jämförelsen av solavskärmningens påverkan på energianvändningen delades upp i två olika fall beroende på dess placering. Fönsternas tekniska specifikationer före- och efter solskydd redovisas i Bilaga L: Fönster och solskydd specifikationer. Eftersom solskyddet styrdes av solinstrålningen som nådde fönsterglasets var det intressant att studera energianvändningen per månad. Värdena i Figur 14 och Figur 15 är justerade värden då IDA-ICE programmet har begränsningar om när solskyddet aktiveras. För båda fallen skulle solavskärmningen aktiveras då solinstrålning på fönsterglasets nått 100 W/m², vilket gällde hela året runt. Justeringen gjordes för vinterhalvåret då det eftersträvas solljus som gratis energi, vilket betydde att solskyddet inte aktiverades alls från oktober till mars. Under dessa månader antogs det att energianvändningen var desamma som Basfallet, dvs ett fall utan solskydd.

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering



Figur 14: Månadsvis energianvändningen för fallet med invändig solavskärmning, F7.

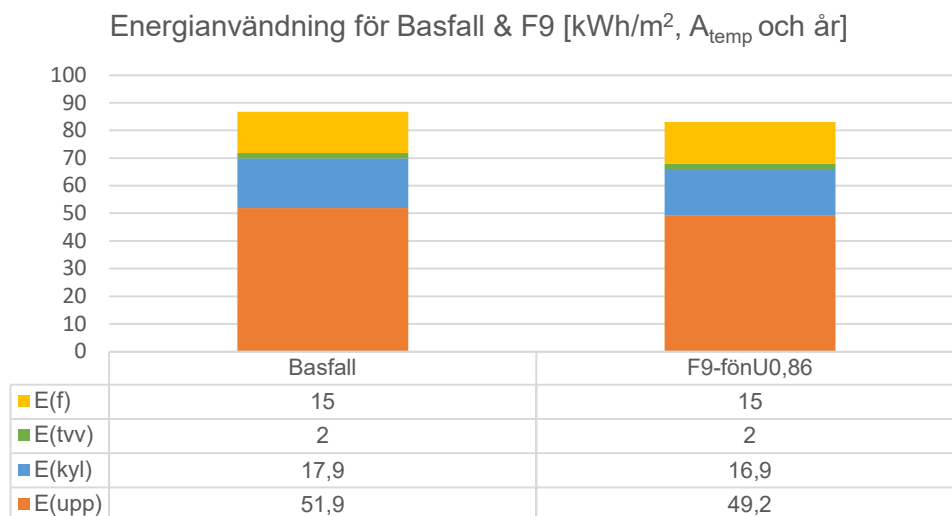


Figur 15: Månadsvis energianvändningen för fallet med utanpåliggande solavskärmning, F8.

6.1.4 Förbättrat fönster

Det förbättrade fönstrets påverkan på energianvändningen i kWh/m², A_{temp} och år visas i Figur 16.

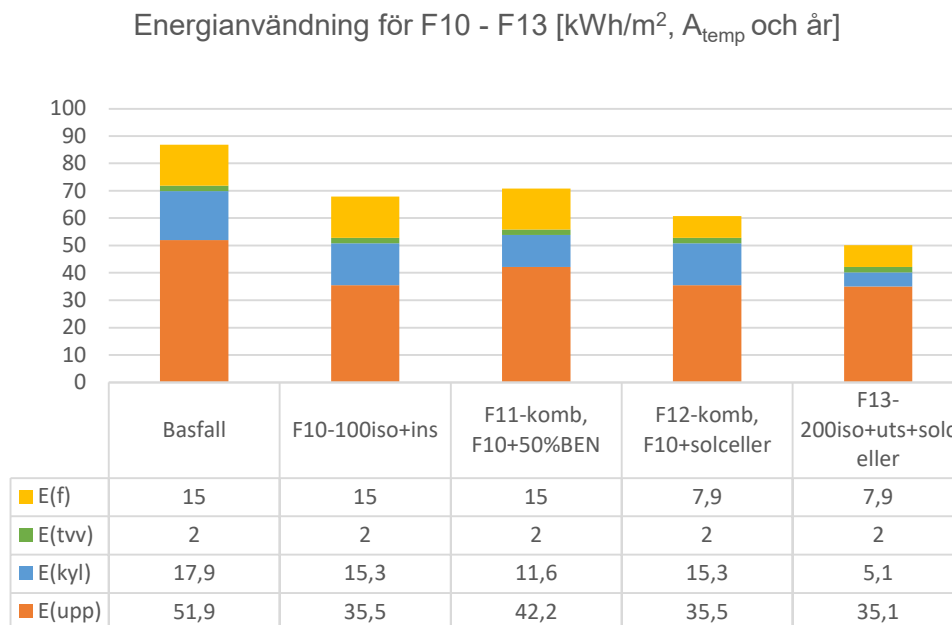
Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering



Figur 16: Jämförelsen på energianvändning efter fönsterbyte till ett lägre U-värde.

6.1.5 Kombinationsanalys

De potentiella renoveringsalternativen implementerades för fall F10 till F12 samt F13, dessa jämfördes sedan med själva Basfallet som hade minimal renovering. Byggnadens energianvändning efter förbättrade renoveringsåtgärder visas i Figur 17. Solcellerna på de två sista fallen, F12 och F13 simulerades separat i PVGIS, resultaten för elproduktionen från solcellerna redovisas i Bilaga H: Solcellernas elproduktion.

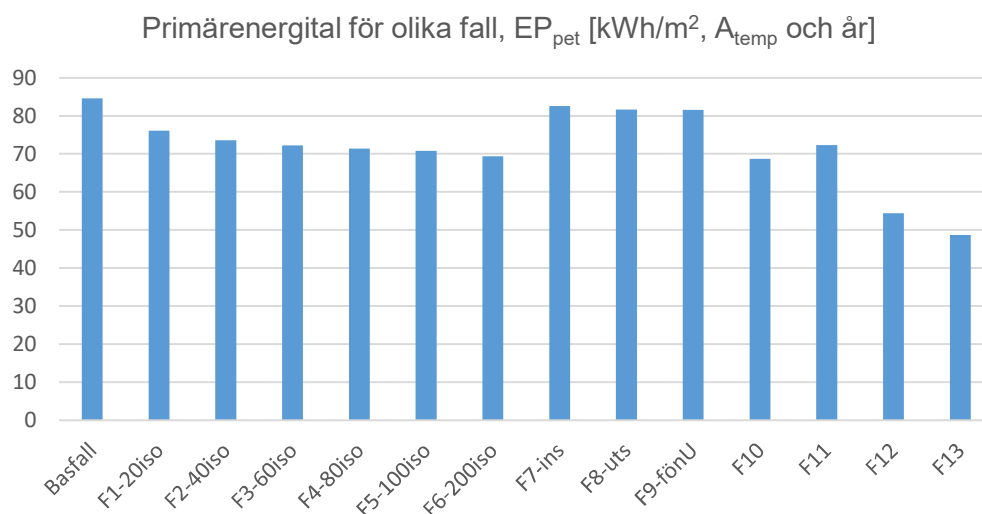


Figur 17: Byggnadens energianvändning för fyra energiposter utan hänsyn till viktningsfaktor efter kombination av olika renoveringsåtgärder.

Jämförelsen av alla 14 fallens energianvändning finns i Bilaga J: Byggnadens energianvändning för alla fallen.

6.1.6 Primärenergi

Efter att ha studerat energibehovet beräknades energiprestandan i form av primärenergital enligt BBR ut. Primärenergitalet för de 14 fallen inklusive Basfallet i kWh/m², A_{temp} och år redovisas i Figur 18. För fall F12 och F13 med solceller beräknades energianvändningen per månad ut först innan de summerades till ett helt år. Detta var på grund av att produktionen av solelen varierade per månad beroende på tillgång till solstrålning samt att överskott av det producerade solelen inte fås tillgodoräknas enligt BBR. Beräkningen gjordes separat där solelen reducerade behovet av köpt fastighetsel per månad, detta redovisas i Bilaga K: Beräkning av primärenergitalet.



Figur 18: Byggnadens primärenergital beräknat enligt BBR29.

6.1.7 Miljöbyggnad

Vidare jämfördes de olika fallen med betygsriterier för indikator 3 i Miljöbyggnad 3.2, energianvändning. Då byggnaden fick genomgå en större renovering var det rimligt att utgå från nybyggnadskraven. För att få en rättvis uppfattning på var byggnaden kommer att uppfylla inom denna indikator gjordes två kontroller, en för MB Nybyggnad och en för MB Befintlig byggnad. Betygsriterier presenteras i Bilaga F: Miljöbyggnad 3.2 indikatorer & områden, resultaten redovisas i Tabell 7 där de godkända fallen är markerade i grön och orange. De orangemarkerade fallen var förbättringsfall som riskerade att få avslag av antikvarisk sakkunnig och den grönmarkerad var ett godkänt fall som inte stred mot de antikvariska kraven.

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till
energieffektivisering

Tabell 7: Uppfyllda betygskriterier för MB Nybyggnad och MB befintlig byggnad.

Fall	EP _{pet} [kWh/m ² A _{temp}]	BBR 29* (BFS 2020:4)	MB3.2 Nybyggnad	MB3.2 Befintlig byggnad
Basfall	84,6	-	-	Silver
F1-20iso	76,1	-	-	Silver
F2-40iso	73,6	-	-	Silver
F3-60iso	72,2	-	-	Silver
F4-80iso	71,4	-	-	Silver
F5-100iso	70,8	-	-	Silver
F6-200iso	69,4	Godkänt	Brons	Guld
F7-ins	82,6	-	-	Silver
F8-uts	81,7	-	-	Silver
F9-fönsterbyte	81,5	-	-	Silver
F10- F5+F7	68,7	Godkänt	Brons	Guld
F11- F10 + 50% BEN2	72,3	-	-	Silver
F12- F10+500 m ² solceller	54,4	Godkänt	Brons	Guld
F13- 200iso+uts+ 500m ² solceller	48,6	Godkänt	Silver	Guld

*Krav på primärenergital i BBR 29 kan bero på huruvida ventilationstillägg får återopas till följd av byggnadens/utrymmenas funktion.

7 Diskussion

Renoveringar av k-märkta byggnader kräver särskild omsorg och måste utföras på ett sätt som bevarar byggnadens historiska karaktär och integritet. Vid stora stadsomvandlingsprojekt som i Varvsstaden var det en stor utmaning att uppfylla alla målbilder och ytterligare bidra till hållbar omställning genom att vara energieffektiv. Trots det visade resultaten från fall- och parameterstudien att det fanns goda möjligheter till kompromiss beroende på var gränsen sätts.

För Maskin- och monteringshallen visade de simulerade resultaten från IDA-ICE avseende byggnadens energibehov att tilläggsisolering kan hjälpa till med att få ner behovet av den totala energianvändningen då åtgärden minskade uppvärmningsbehovet. Som visas i Figur 13 och 18 minskade både byggnadens energibehov och primärenergitalet med ökad isolertjocklek, men denna åtgärd ensamt förlorar effektivitet när det går mot högre isolerings tjocklekar. Detta stöds vidare av resultaten som har visat att energianvändningen för Fall F5 med 100 mm tilläggsisolering hade 13,4% lägre behov av energi i jämförelse med Basfallet, medan fall F6 som hade dubbel så tjock tilläggsisolering (200 mm) hade 14,7 % lägre energibehov. Minskningen av energibehovet var inte linjär med ökad isolertjocklek. Resultatet var linjärt upp till ca 100 mm, men efter det avtar effekten på energibesparingen. Resultatet för F6 med 200 mm isolering var någorlunda bättre än Fall 5 med 100 mm tilläggsisolering, men att använda 200 mm isolering ansågs inte vara ett optimalt eller lönsamt alternativ då det kunde strida mot skyddsbestämmelser.

Studier om solskyddets påverkan på energianvändningen gav ett resultat som visade att utanpåliggande solskydd resulterade i bättre prestanda jämfört med invändigt solskydd, vilket stämde överens med litteraturstudier. Innan variabeln solavskärmning (Fall F7) valdes gjordes en jämförelse om vilken reglering solskyddet skulle ha. Det kom fram till att solskyddet skulle dras ner då solinstrålningen på fönstret hade nått 100 W/m^2 enligt beräkningsprogrammet förinställning då detta gav ett lägre kylbehov, vilket var en eftersträvan faktor med solskyddsinstallationen. Resultatet av denna interna undersökning redovisas i Bilaga M: Solskyddsreglering. Studier om solskyddets egenskaper och reglering avgränsades till solinstrålningen då de andra parametrarna, som exempelvis var sensorerna skulle sitta, anses vara för detaljerad och irrelevant för denna studie. Eftersom det inte gjordes detaljerade undersökningar kring detta kan det finnas bättre inställningar som minskar kylbehovet ytterligare, men då projektet var i tidigt skede och inga speciella produkter hade valts ut ansågs detta att vara tillräckligt noggrant.

Som visas i Figur 14 och 15 hade solskyddet reducerat stora mängder av kylbehovet under sommaren speciellt för fall F8 med utanpåliggande solskydd. Även om solavskärmningen inte riktigt anses som en renovering var det ändå en åtgärd som fick ner det totala energibehovet. Kylbehovet för Basfallet under augusti månad uppgick till ca 44 400 kWh medan F7 med invändigt solskydd resulterade i ett energibehov av ca 35 100 kWh, dvs 9 300 kWh lägre. För utanpåliggande solskydd gick kylbehovet under samma månad ner till 19 500 kWh, vilket var mer än hälften så lite som Basfallet.

Solskyddet drogs inte ner under vintertiden då solinstrålningen skulle fångas in som gratis energi, vilket gjorde att nyttan av solskyddet verkade endast under varmare månader, från maj till augusti. Totalt sett uppgick kylbehovet för fall F7 med invändig solavskärmning till 120 441 kWh/år medan fall F8 med utvändigt solavskärmning hade 47 948 kWh/år, se sammanställning i Bilaga J: Byggnadens energianvändning för alla fallen. Effektiviteten av utanpåliggande solskydd var mycket bättre jämfört med invändiga, men eftersom verksamheten oftast hade uppehåll under sommaren, var det inte lönsamt ur det kulturhistoriska synsättet att installera utanpåliggande solskydd. Skillnaden mellan primärenergitalen för dessa två fallen var dessutom liten eftersom uppvärmningsbehovet per år var högre hos F8 än F7 då solskyddet dras ner under våren och hösten, vilket minskade mängden gratis energi. Se jämförelsen i Figur 18.

Förbättringen av fönster till två argonspalter och två energiskikt reducerade fönstrens U-värde från 1,06 W/m²K till 0,89 W/m²K, vilket motsvarar en reduktion på ca 17%. Fönsterbyten bidrog till reduktion av energianvändningen i form av uppvärmningsbehov och minskade dessutom byggnadens medel U-värde från 0,564 W/m²K till 0,539 W/m²K, se Bilaga N: Byggnadens medel U-värde. Byte av fönster till lägre U-värde var inte jätteeffektivt i detta fall jämfört med tilläggsisolering. Renoveringsåtgärden ansågs inte att vara optimal i detta fall då arbetsbördan gentemot resultatet inte hade varit lönsam.

De senare fallen från F10 till F13 valdes efter tidigare resultat av de enskilda undersökningarna för de olika renoveringsalternativen. Fall F10 bestod av 100 mm tilläggsisolering och invändigt solskydd, vilket ansågs vara en rimlig kombination som inte strider jättemycket mot skyddsbestämmelserna. F11 med 100 mm tilläggsisolering, invändigt solskydd och halvering av persontäthet och belysning ansågs som ett förbättringsfall av F10 men hade dessvärre högre energianvändning. Detta berodde på att halvering av ljus och personer minskade mängden genererad gratis energi, vilket resulterade i högre uppvärmningsbehov jämfört med F10, se Figur 17.

Fall F12 var också baserad på F10 men här monterades 500 m² solceller på taket som skulle täcka behovet av fastighetselen. Även om det inte var större skillnader mellan F10 utan solceller och F12 med solceller i energianvändningen blev det ändå stora skillnader i primärenergitalen. Orsaken var skillnader på viktningsfaktorer, speciellt då viktningsfaktor för el var betydligt högre än fjärrvärmens och fjärrkylans. Primärenergitalet för F12 blev därför mycket lägre än F10 och låg på 54,4 kWh/m² och år. Åtgärden ansågs inte att strida så mycket mot kulturbevaringen ur det estetiska perspektivet som illustreras i Figur 2 då solceller som följer takets lutning hade i det närmaste varit osynliga nedifrån.

Till sist bestod F13 av renoveringsåtgärder som hade stridit mot de antikvariska kraven såsom 200 mm tilläggsisolering som täcker för stålpelarna, utvändigt solskydd som täcker för fönsterna och även solceller som täcker för takmaterialen. Solcellerna i F12 och F13 täcktes som tidigare nämnt endast en del av energiposten fastighetsel och påverkade inte andra energiposterna på något sätt. Störst besparing skedde under juni månad då soelen täckte allt behov av fastighetsel och det blev ett elöverskott på 426

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

kWh som inte kunde räknas med i EP_{pet} , men som i verkligheten skulle kunna användas för att täcka andra eldrivna apparater eller liknande. Det intressanta var att uppvärmningsbehovet för fall F12 och F13 var ungefär desamma då F12 hade ett behov av 35,5 kWh/m², A_{temp} och F13 hade 35,1 kWh/m² trots att åtgärden i F13 hade dubbelt så tjock isolering, se Figur 17. Det höga uppvärmningsbehovet hos F13 berodde på utanpåliggande solskydd som reducerat mängden gratis solenergi under senvår och tidig höst.

Vid undersökningen av Miljöbyggnads betygskriterier syntes det tydligt att kraven för befintlig byggnad var mycket lättare att uppnå än Nybyggnadskrav. För Nybyggnadskraven var det svårt för många fall att ens uppfylla BBR:s krav och därmed Miljöbyggnadskriteriet. Som visas i Tabell 7 var det endast de högpresterande fallen som F6, F10, F12 och F13 som klarade av att uppnå Bronsbetyg för nybyggnadskrav, medan samma fall uppfyllde Guldbetyg för befintlig byggnadskraven. Det intressanta var att fall F6 också uppfyllde MB betygskriterier med en enda åtgärd med 200 mm tilläggsisolering. Även om F6:s primärenergital var nästan lika lågt som F10 skulle detta endast gynna energianvändningen. Det var då inte säkert att fall F6 skulle uppfylla termisk komfort eller krav på solvärmelasten. Termisk komfortanalys för Maskin- och monteringshallen studerades i Sandins (2023) examensarbete.

Undersökningen visade att det fanns goda förutsättningar för att lyckas med att renovera en kulturhistorisk byggnad och samtidigt uppfylla byggregler. Kulturhistoriska bebyggelser har till sin nackdel att det är svårare att bli klassad som en energieffektiv byggnad då de antikvariska kraven kan strida mot åtgärder som gynnar energieffektivisering. Som visas i Tabell 7 var det endast ett av fyra fall som var möjligt att utföra enligt skyddsbestämmelserna. Då en byggnad har fått sina skyddsbestämmelser bör dessa respekteras, därför anses inte de andra tre fallen att vara aktuella länge trots den bättre energiprestandan. En tänkbar möjlighet hade varit ett litet tillägg på BBR:s krav på primärenergital likt ett tillägg som BBR29 hade för lokaler med utökad luftflöde av hygieniskt skäl.

Det hade varit lönsamt att välja F13 som gav det bästa resultatet där primärenergital gick ner från 84,6 kWh/m², A_{temp} och år i Basfallet till 48,6 kWh/m², A_{temp} och år i F13, se Figur 18. Eftersom det inte ställdes så högt krav på energiprestandan hos Maskin- och monteringshallen hade det varit oförnuftigt att äventyra byggnadens kulturhistoriska karaktär för att eftersträva ett bättre betyg på indikator 3 i Miljöbyggnad 3.2 då fall F13 var det enda fallet som hade uppnått betygsnivå Silver.

8 Slutsats

Det viktigaste momentet under detta uppdrag var att studera förstudien och skapa förståelse för byggnadens karaktär. Eftersom varje renoveringsval hade en påverkan på byggnadens utseende gick det inte att bevara detaljerna till hundra procent om önskan att renovera finns.

En strategi för renoveringen och samtidig energieffektivisering som var tänkbar att appliceras i detta sammanhang var att arbeta strategiskt med hjälp av tekniska underlag. Detta kan sammanfattas i fyra steg där det första behandlar möjligheter till bevarande av befintliga material och detaljer. Fokuset i detta steg låg på de utstickande stålpelarna, fönster och fasad. Dessa räknades som känsliga detaljer som skulle bevaras till full ut enligt de skyddsbestämmelserna i detaljplanen.

Det andra steget innebär att ersätta eller försöka återställa de kulturhistoriska värden och detaljer som har förlorat sin funktion genom åren. Detta kan göras genom att använda sig av traditionella byggtekniker och material i kombination med nya förbättrade produkter. Detta steg berörde de nya fönsterna i Basfallet som hade fått förbättrad teknisk prestanda men som fortfarande behöll sin karaktär och estetik. Denna strategi möjliggjorde även möjligheten att tilläggsisolera.

Det tredje steget var att ta hänsyn till standarder och lagkrav, det vill säga att byggnaden efter renovering skulle uppfylla moderna krav för att säkerställa säkerhet och funktionalitet för brukarna. Detta steg anses att vara nödvändigt och viktigt för att brukarna ska ha möjlighet att vistas och må bra i byggnaden.

Sista steget var att anpassa till energieffektivisering vid renovering, applicera energimålen och certifieringssystem i syftet att minska byggnadens energianvändning och klimatpåverkan. Även om detta steg inte räknas som något krav är det viktigt att ha energiutmaningen i åtanke för att bidra med energimålen. Detta för att historiska byggnader ska vara relevanta i ett modernsamarhang. De fyra stegen illustreras i Figur 19.



Figur 19: visar de fyra stegen som innefattar strategin som kan användas vid renovering av k-märkta byggnader.

Hänsyn till byggnadens karaktär är i centrum i Basfallet men detta kan äventyra både energikraven och inomhuskomforten. Efter att ha analyserat de 14 fallens resultat ur energiperspektivet kom det fram att det fanns goda möjligheter för kompromiss mellan energikraven och den kulturhistoriska målbilden. Eftersom en stor del av det kulturhistoriska värdet av byggnaden existerade i de volymer och unika detaljer på insidan i form av de bärande stålbalkarna och fria siktlinjer inom Monteringshallen var det viktigt att tänka på isolertjockleken. Det visade sig att upp mot 100 mm invändig

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

tilläggsisolering var tillräckligt för att få ett bättre inomhusklimat utan att förvanska dess kulturhistoriska värde för mycket.

Då renoveringen var så stor som en ombyggnation var det rimligt att studera nybyggnadskraven hos BBR29 och Miljöbyggnad 3.2. För att uppnå nivå Brons inom energianvändning måste byggnaden ha klarat av BBR-krav, detta motsvarade ett krav på max 70 kWh/m², A_{temp} och år. En rimlig kompromiss var fall F10 med 100 mm isolering och integrerande invändigt solskydd, då primärenergitalet låg precis under BBR:s nybyggnadskrav. F10 bidrog dessutom till godkänd termisk komfort och behagligt inomhusklimat med hjälp av det invändiga solskyddet, vilket säkerställde byggnadens funktionalitet. Resultat och slutsats på de andra indikatorerna i Miljöbyggnad som berörde inomhusklimat och termisk komfort redovisas i examensarbetet skriven av Sandin (2023). Renoveringsalternativet F10 var ett rimligt fall både ur energisynpunkten och kulturbevaringen.

Referenser

- Abel, E. & Elmroth, A., 2016. *Byggnaden som system*. 4:1 red. Lund: Studentlitteratur.
- Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelson, I., 2017. *Fukthandbok*. 4 red. Halmstad: Bulls Graphics.
- Block, M. & Bokalders, V., 2014. *Byggekologi-Kunskaper för ett hållbart byggande*. 3 red. Stockholm: Göteborgstryckeriet.
- Boverket, 2007. *Kulturhistoriskt värdefull bebyggelse. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av God bebyggd miljö 2007*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2011. *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna*. https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf [Hämtad 2023-01-26].
- Boverket, 2020. *Utvärdering av stödet för renovering och energieffektivisering*. Boverket.
- Boverket, 2021a. *Beräkning av en byggnads energiprestanda*. <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/for-energiexperter/berakning-av-byggnadens-energianvandning/> [Hämtad 2023-03-13].
- Boverket, 2021b. *Energideklarationens innehåll*. <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/energideklarationens-innehall/> [Hämtad 2023-03-03].
- Boverket, 2021c. *Olika skeden i byggandet*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/metod_byggande/skeden/ [Hämtad 2023-01-31].
- Boverket, 2022a *Primärenergital och byggnadens energiprestanda*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energihushallningskrav/primarenergital-och-byggnadens-energi-prestanda/> [Hämtad 2023-01-26].
- Boverket, 2022b. *Dagljus*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ljus-i-byggnader/dagsljus/> [Hämtad 2023-02-27].
- Boverket, 2022c. *Vad är kulturvärde?*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/kulturvarden/kulturvarden-i-teori-och-praktik/vad-ar-kulturvarden/> [Hämtad 2023-02-24].

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

Boverket, 2023a. *Välj ventilationssystem när du bygger eller renoverar*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/valj-ventilationssystem/> [Hämtad 2023-03-21].

Boverket, 2023b. *Öppna data - Betsi är en undersökning om byggnaders tekniska status*. <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/betsi-oppna-data/> [Hämtad 2023-05-03].

Boverket, 2023c. *Luft och ventilation i bostäder*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/> [Hämtad 2023-03-21].

Costanzo, M., 2020. *Adapting building design to climate change for an office building in Stockholm through solar control techniques*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Donarelli, A. & Lingfors, D., 2018. Solenergi på kulturhistoriska byggnader. *Bygg och Teknik*, 9 8.

Edinburgh World Heritage, 2008. *A guide to improving energy efficiency in traditional and historic homes*. 1:a red. Edinburgh: Changeworks.

Energimyndigheten, 2016. *Förslag till strategi för ökad användning av solex*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

Energiföretagen, 2017. *Fjärrkyla*. <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrkyla/> [Hämtad 2023-04-12].

Energiföretagen, 2022. *Fjärrkylestatistik*. <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrkylestatistik/> [Hämtad 2023-04-12].

Energimyndigheten, 2023. *Antalet solcellsanläggningar fortsätter att öka*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/antalet-solcellsanlaggningar-fortsatter-att-oka/> [Hämtad 2023-06-02]

Energimyndigheten, 2022b. *Isolering av ytterväggar, golv och källare*. <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/tillaggsisolering/isolering-av-yttervagg-golv-och-kallare/> [Hämtad 2023-01-31].

Energimyndigheten, 2022a. *Vindsisolering*. <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/tillaggsisolering/vindsisolering/> [Hämtad 2023-01-31].

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till
energieffektivisering

Energimyndigheten, 2022. *Isolering och tilläggsisolering*.
<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/minska-behovet-av-varme-och-varmvatten/tillaggsisolering/>
[Hämtad 2023-01-26].

Energy Building, u.å. *Ventilationssystem*.
<https://www.energybuilding.se/ventilationssystem/> [Hämtad 2023-01-21].

EQUA, u.å. *IDA Indoor Climate and Energy*. <https://www.equa.se/se/ida-ice>
[Hämtad 2023-03-07].

Europeiska kommissionen, 2022. *Photovoltaic geographical information system*.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [Hämtad 2023-03-01].

Folkhälsomyndigheten, 2014. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*.
Stockholm: Folkhälsomyndighetens författningssamling.

Folkhälsomyndigheten, 2017. *Ljus och hälsa*. Stockholm: Folkhälsomyndigheten.
Holm, D. & Sandö, P., 2015. *Energieffektivisering av kulturhistoriska*, Stockholm: IVL
Svenska Miljöinstitutet AB.

Globalamalen, 2023. *Om globala målen*. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> [Hämtad 2023-02-02]

Hemsol, 2023. *Verkningsgrad för solceller 2023: Allt om effekt för solpaneler*.
<https://hemsol.se/solceller/verkningsgrad-effekt/> [Hämtad 2023-06-02]

Johansson, C. & Kjellman, V., 2014. *Renovering av industrilokaler - en uppföljning av SVT-huset i Malmö*, Lund: Lunds universitet.

Länsstyrelsen Skåne, u.å. *Byggnadsminnen*.
<https://www.lansstyrelsen.se/skane/samhalle/kulturmiljo/byggnadsminnen.html>
[Hämtad 2023-02-23].

Legné, M., Leijonhufvud, G. & Tunefalk, . M., 2020. *Energieffektivisering och kulturhistoriska värden. bebyggelsehistorisk tidskrift*, pp. <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1456512/FULLTEXT01.pdf>.

Lilja, K. & Oiva, I., 2017. *Byggnadsminnen*.
<https://www.raa.se/kulturarv/byggnader/byggnadsminnen/> [Hämtad 2023-02-02].

Lund, C., Lundberg, M. & Schlyter, O., 2007. *Varvstaden - Kockumsområdet söder om Stora Varvsgatan*, Malmö: Malmö Kulturmiljö.

Lunds Kommun, 2022. *Kulturhistoriska byggnader och kulturmiljöer*.
<https://lund.se/bygga-och-bo/allt-om-bygglov/kulturhistoriska-byggnader>

[Hämtad 2023-02-23].

Malmö Stad, 2017. *Detaljplan för del av fastigheten hamnen 21:149 (Varvshallarna) i Hamnen i Malmö*. https://kartor.malmo.se/Planvisaren?plan=dp5175_1.pdf
[Hämtad 2023-01-27].

Malmö Stad, 2021. *K-märkta hus och byggnadsvård*. <https://malmo.se/Bo-och-leva/Bygga-och-bo/Bygga-riva-eller-forandra/K-markta-hus-och-byggnadsvard.html#:~:text=Ett%20litet%20q%20betecknar%20att,utformningen%20och%20detaljer%20ska%20bibeh%C3%A5llas>. [Hämtad 2023-01-27].

Malmö Stad, 2023. *Befolkning*. <https://malmo.se/Fakta-och-statistik/Befolkning.html>
[Hämtad 2023-02-23]

PVGIS, 2023. *PVGIS Online Tool*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en [Hämtad 2023-03-15].

SFS 2002:620 (3 kap) Kulturmiljölagen.

SFS 2006:985, u.d. u.o.: Klimat- och näringslivsdepartementet RSE.
SFS 2010:900. *Plan- och Bygglagen*. Landsbyggs- och infrastrukturdepartementet SPN BB.

SGBC, u.å. *Vad är Miljöbyggnad?*. <https://www.sgbc.se/certifisering/miljobyggnad/vad-ar-miljobyggnad/> [Hämtad 2023-01-31].

Sweden Green Building Council, 2022. *Miljöbyggnad: Metodik och manual nybyggnad*. Stockholm: Sweden Green Building Council.

Svensk Ventilation, u.å. *FTX – Ventilation med värmeåtervinning*. <https://www.svenskventilation.se/ventilation/olika-satt-att-ventilera/ftx-varmeatervinning/> [Hämtad 2023-03-21].

Sveriges miljömål, 2023. *Skyddad bebyggelse*. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/skyddad-bebyggelse/#ChartTabContainer> [Hämtad 2023-02-24].

Sweden Green Building Council, 2020. *Miljöbyggnad 3.1, Metodik och Manual befintliga byggnader*, Stockholm: Sweden Green Building Council.

Upphandlingsmyndigheten, 2023. *Funktionskrav i upphandling*. <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/inkopsprocessen/genomfor-upphandlingen/funktionskrav-i-upphandling/> [Hämtad 2023-01-31].

Varvsstaden, 2021. *Förstudie Konstnärliga fakulteten Lunds universitet*. [Hämtad 2023-02-10]

Varvsstaden, 2022. *Programhandling, Fas 1 Konstnärliga fakulteten Lunds universitet*.
[Hämtad 2023-02-10]

Varvsstaden, 2023. *Varvsstaden Malmö*. <https://www.varvsstaden.se/> [Hämtad 2023-02-10]

Velraj, R. & Geetha, N. B., 2012. Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage - A review. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 29(2), pp. 913-946.

Velux, 2023. *Vad är g-värde*. <https://www.velux.se/inspiration/artiklar/g-varde>
[Hämtad 2023-04-13].

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2010. *Projektering av VVS-installationer*. 1:10 red.
Lund: Studentlitteratur AB.

Bilagor

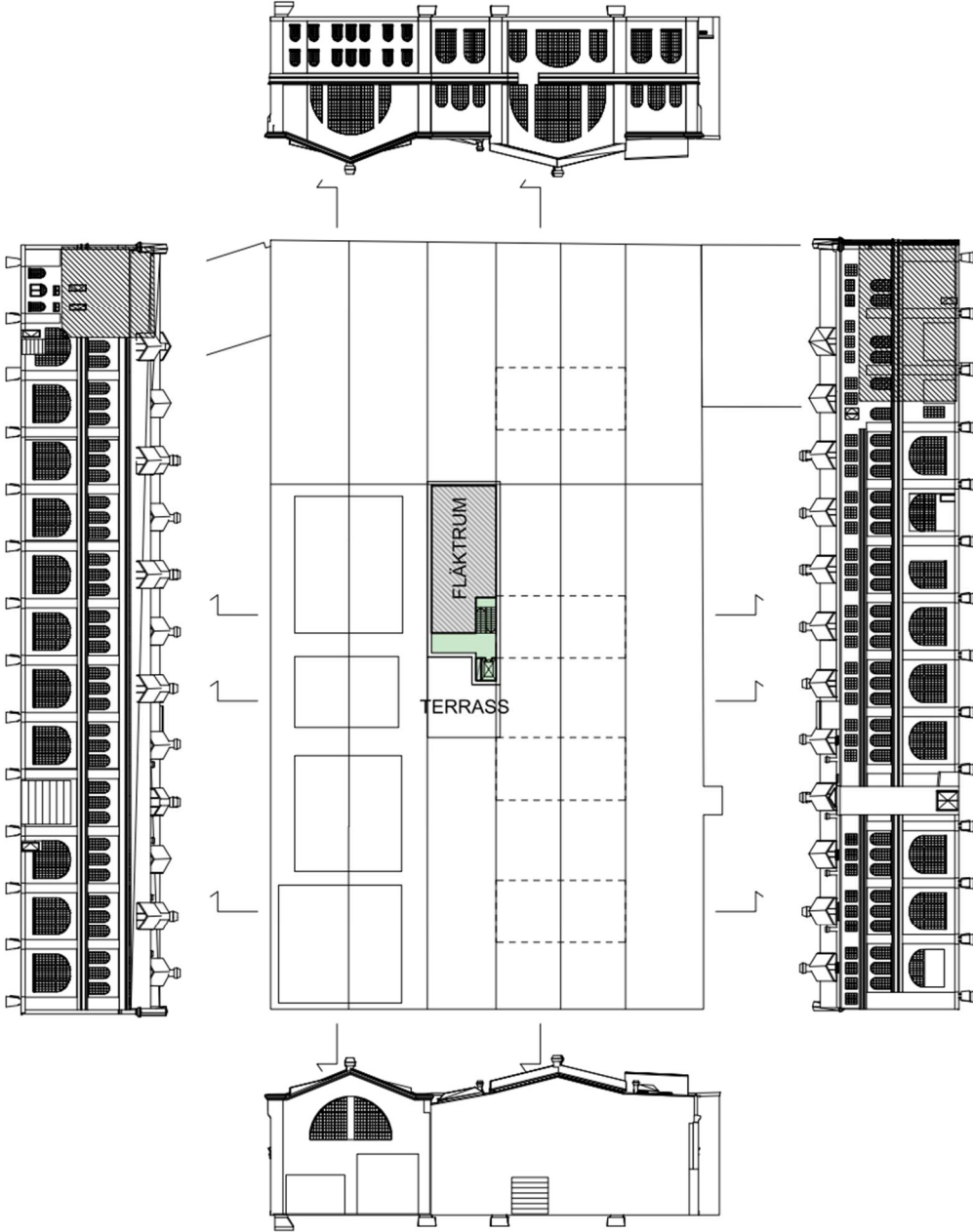
Bilaga A: Utdrag ur A-ritningar Maskin-& monteringshallen



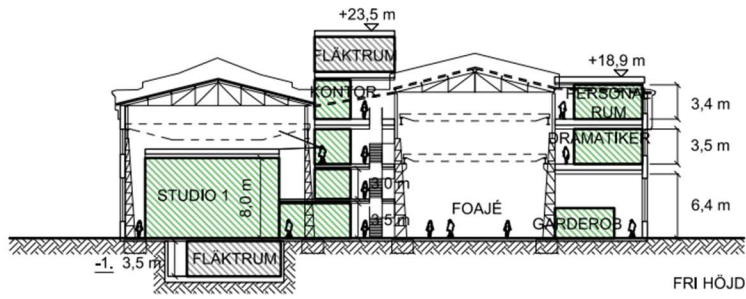
Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering



Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

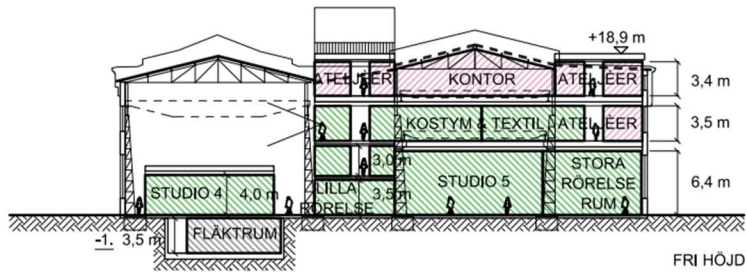


Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering



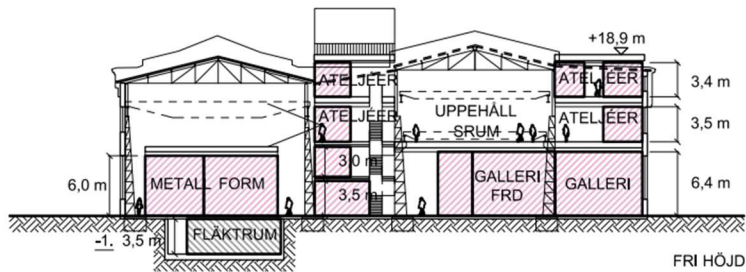
SEKTION A

PLAN 4:	+14,7 m	▽
PLAN 3:	+10,2 m	▽
PLAN 2:	+6,7 m	▽
PLAN 1:	+2,8 m	▽
KÄLLARE:	-1,0 m	▽



SEKTION B

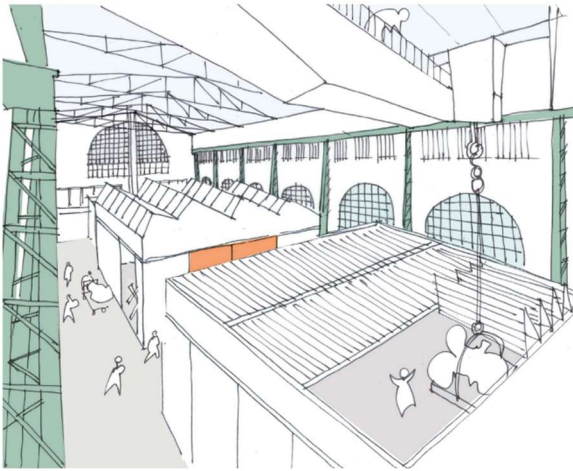
PLAN 4:	+14,7 m	▽
PLAN 3:	+10,2 m	▽
PLAN 2:	+6,7 m	▽
PLAN 1:	+2,8 m	▽
KÄLLARE:	-1,0 m	▽



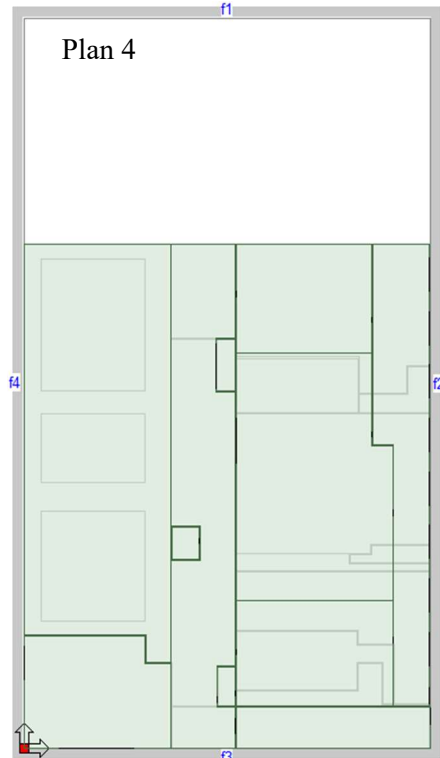
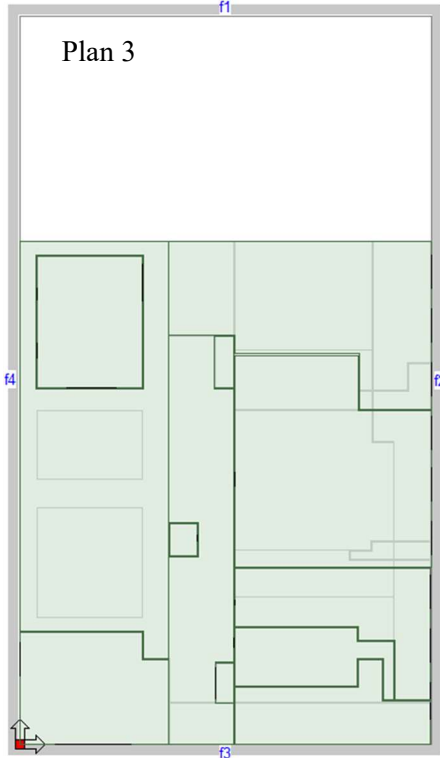
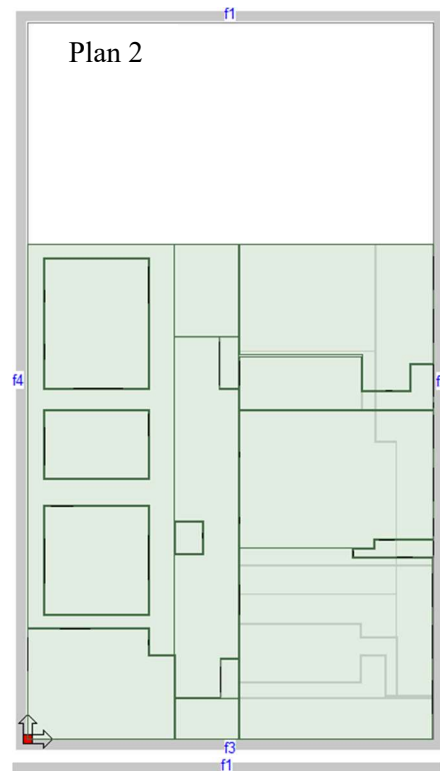
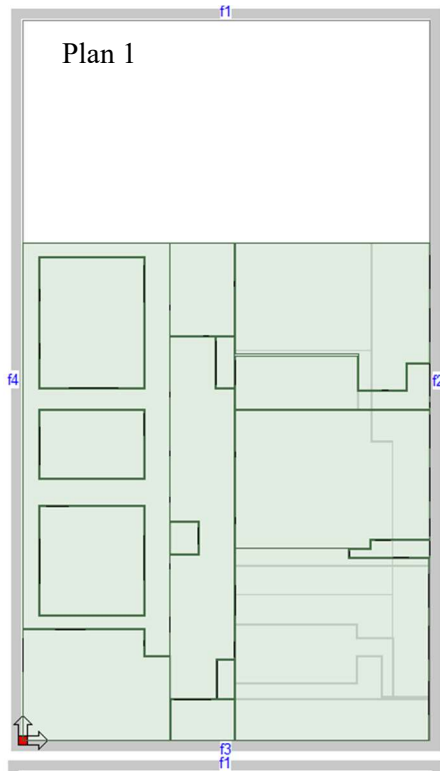
SEKTION C

PLAN 4:	+14,7 m	▽
PLAN 3:	+10,2 m	▽
PLAN 2:	+6,7 m	▽
PLAN 1:	+2,8 m	▽
KÄLLARE:	-1,0 m	▽

**Bilaga B: Illustrationer och visionsbild av Maskin-&
monteringshallen**



Bilaga C: IDA-ICE Modell & indata



Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till
energieffektivisering

Basfall Maskin- och monteringshallen i IDA-ICE	
Bredd [m]	54
Längd [m] (norra delen inräknad)	95,5
Höjd [m] (upp till taknocken)	19
A _{temp} [m ²]	9 384
Volym [m ³]	57 100
Andel fönster [%]	13,6
Vald placering i IDA-ICE	Malmö/Sturup_026360 (ASHRAE 2013)
Klimatfil	SWE_MALMO-STURUP_026360(IW2)
Vindprofil	Ocean (ASHRAE 1993)
Ventilationssystem	FTX-system med 80% verkningsgrad

Indata i tabellen nedan var baserade på schablonvärdena tagna från Boverket BFS 2017:6 BEN 2, förutom antalet personer då det gjordes en mer specifik bedömning anpassad till verksamheten. Personbelastningen per kontor i modellen halverades då det antogs att det var 0,1 personer/m² istället för 0,07 personer/m². Eftersom vissa schabloner skiljde sig beroende på om det var kontor eller universitetslokal/undervisningssal valdes även medelvärde mellan dessa.

Innetemperatur (min/max)	21/25 °C
Antal personer	0,1pers/ m ² på kontor och undervisningssalar och 0,05pers/ m ² på gemensamma utrymme såsom korridor, hall, trapphus osv.
Belysning	11,4 kWh/m ² på vistelse zoner och häften på korridor, trapphus osv.
Fastighetsenergi	15 kWh/m ²
Utrustning	5 - 7,5 kWh/m ² beroende på om det är kontor eller undervisningssal. Inga utrustningar på exempelvis hallar.
Tappvarmvatten	2 kWh/m ²
Tid (h/d/v)	9/5/52 Obs. för hallar antogs det att det endast är ¼ belastning på de tiderna

Förenklningar i modellen	
Fönster: rektangulära fönster istället för bågfenster. Men behöll samma area.	
Zoner/rum:	
<ul style="list-style-type: none"> - små kontorsrum i samma väderstreck slogs ihop till en enda zon. - mindre rum med samma funktion, väderstreck och rumshöjd slogs ihop till en zon - mittendelen mellan Maskin- och monteringshallen blev en enda zon med hiss och två trapphus. Verksamheten för denna del definierades som kontor. - bortses från fläktrum på taket och källare 	
Övrigt:	
<ul style="list-style-type: none"> - norra delen av byggnaden lämnades tomt, vilket resulterade i färre antal fönster och mindre tempererad area och volym jämfört med verkligheten. - då det blev färre antal rum/zoner i byggnaden blev det även färre dörrar. 	

Tabellen på nästa sida visar ingående indata för specifika rum beroende på dess användningsområde. Odefinierade rum som är döpt till ”zon” är gemensamma ytor såsom hallar, korridor, toaletter och städ.

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

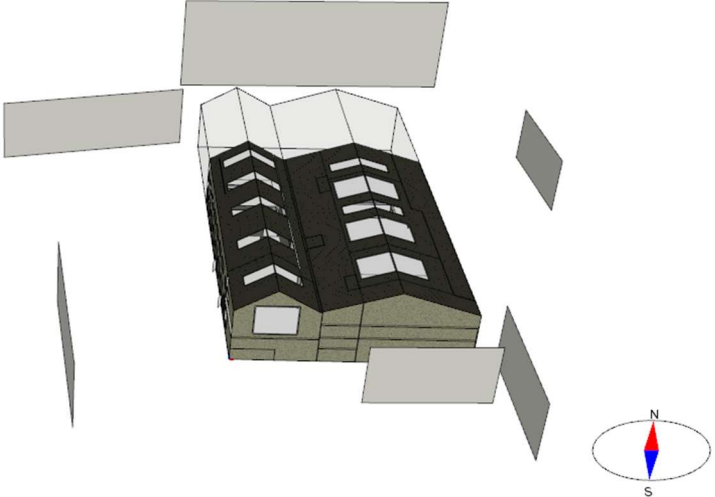
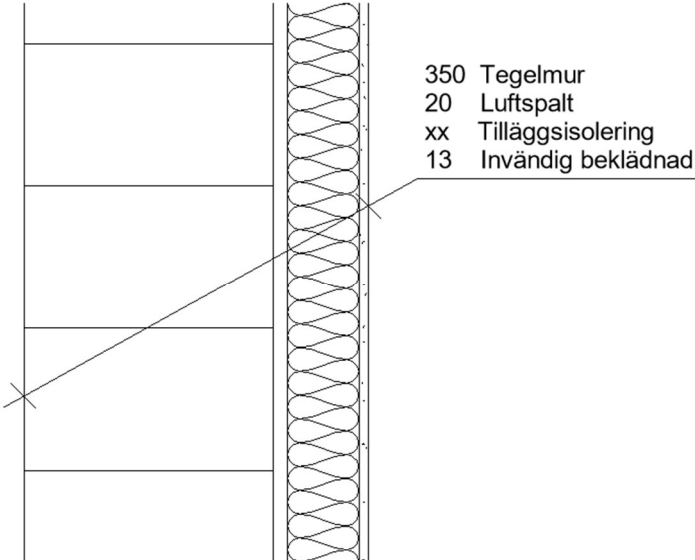
Name	Floor height, m	Room height, m	Floor area, m ²	Heat setp., °C	Cool setp., °C	AHU	System	Supply air, L/(s.m ²)	Return air, L/(s.m ²)	Occup., no./m ²	Lights, W/m ²	Lights, kWh/m ²	Equipme nt, W/m ²	Equipment, kWh/m ²	Ext win. area, m ²	Occup. schedule	Light schedule	Equipm. schedule
Mittenzon_p1	0	3.5	360	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Studio1	0	8	239	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Studio 4	0	4	123	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Trä	0	4	199	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Metal&form	0	6	274	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	7.5	16.94	17.6	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Studio3&2	0	6.5	413	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	7.5	16.94	35.1	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Studio5&hörstal	0	6.5	462	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	43.9	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Gallerier	0	6.5	640	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	52.7	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Trappa_norr	0	3.5	16	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.05	11.4	25.75	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 5	0	6.5	21	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.00	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 2	0	3.5	105	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	11.4	25.75	7.5	16.94	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Hiss	0	3.5	15	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Foajé	0	6.5	151	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.00	0	0	0	0	17.6	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Trappa_söder	0	3.5	12	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.10	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 9	0	3.5	45	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Mellanplan	3.5	3	360	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.05	11.4	25.75	7.5	16.94	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 3	3.5	3	104	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.10	11.4	25.75	5	11.3	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 8	3.5	3	45	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Mittetg3	6.5	3.5	407	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.05	11.4	25.75	7.5	16.94	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Studio6&kontor_p3	6.5	3.5	555	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	30.8	9/5/52	9/5/52	9/5/52
FOTO&mm_p3	6.5	3.5	649	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	30.8	9/5/52	9/5/52	9/5/52
DIGITAL&mm_p3	6.5	3.5	249	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	7.5	16.94	25.7	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Alajte_p3	6.5	3.5	193	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	5	11.3	5.1	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 11	6.5	3.5	142	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.10	11.4	25.75	0	0	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 15	6	7.5	274	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.10	11.4	25.75	0	0	144.5	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Mittenpla_p4	10	3.5	511	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	7.5	16.94	0.0	0.9/5/52	9/5/52	9/5/52
Studio7_p4	10	3.5	256	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	7.5	16.94	56.2	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Kontorer_NÖ_p4	10	3.5	357	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	11.4	25.75	7.5	16.94	57.4	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Altalje_p4	10	3.5	288	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	5.7	12.88	2.544	5.748	127.7	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Kontorer_p4	10	3.5	641	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.10	5.7	12.88	10	22.59	311.6	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Altalje_syd_p4	10	3.5	138	21	21	25 FTX-system	VAV, CO2	3	3	0.05	11.4	25.75	5	11.3	3.4	9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 10	3.5	3	13	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 18	3.5	3	16	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 19	3.5	3	18	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 20	6.5	3.5	17	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 21	6.5	3.5	12	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 22	6.5	3.5	16	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	5	11.3	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 23	10	2.6	17	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 24	10	2.6	16	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	5	11.3	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 25	10	2.6	12	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	0	0	0	0	0.0	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52
Zone 16-merged	0	12.85	1008	21	21	25 FTX-system	CAV	0.35	0.35	0.05	11.4	25.75	3.5	7.907	419.5	0.25*9/5/52	9/5/52	9/5/52

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till
energieffektivisering

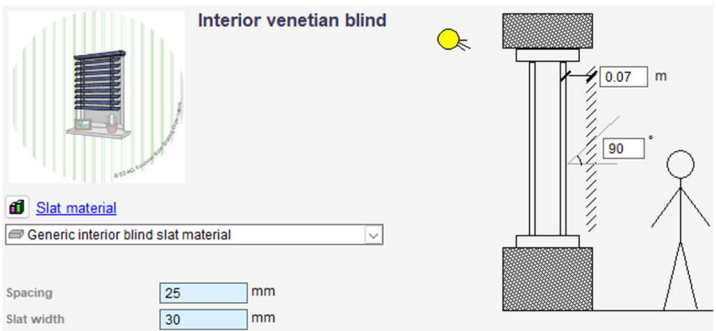

Tabellen nedan visar klimatdatafilen för SWE_MALMO-STURUP_026360(IW2), tagen från IDA ICE.

Variables - climate data file							
	Dry-bulb temp [Deg-C]	RH [%]	Direct normal rad [W/m ²]	Diffuse rad on hor surf [W/m ²]	Wind speed, x-component [m/s]	Wind speed, y-component [m/s]	Cloudness [%]
Jan	1,5	88,9	34,2	14,9	4,1	0,9	68
Feb	0	92	37,5	28,3	2,9	-0,2	53,4
Marc	2,8	85,5	59,6	58,4	1,9	1,2	63,1
Apr	7,3	76,2	112,5	91,2	-0,2	1	57,5
May	11,6	75,1	166,8	112,6	-0,2	-0,3	51,2
Jun	14	79,2	130,1	123,1	1,2	0,4	57,4
Jul	16,2	75	123,3	125	2,8	0,6	61,8
Aug	16,9	80,8	118	100	1,7	1,1	53,6
Sep	13	83,8	97,4	70,9	1,9	0,9	55,6
Oct	8,4	87,2	61,5	40,2	0,1	1,2	60,3
Nov	4,2	89,5	34,1	18,5	2,5	0	71,4
Dec	1,8	93	18,6	9,8	0,5	1,7	77,6
mean	8,2	83,8	83,1	66,3	1,6	0,7	61
min	0	75	18,6	9,8	-0,2	-0,3	51,2
max	16,9	93	166,8	125	4,1	1,7	77,6

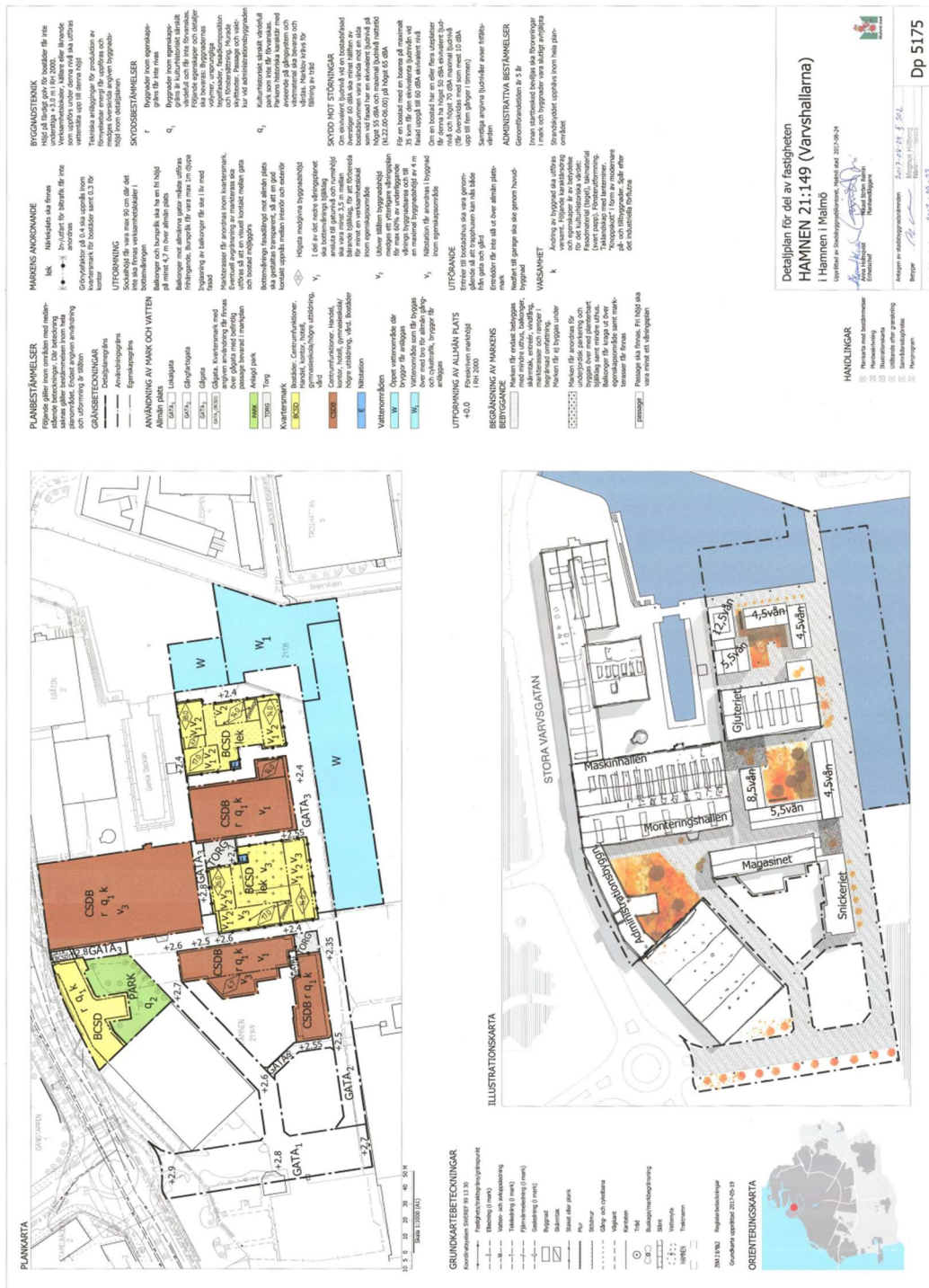
Bilaga D: Parameterstudier

Maskin- & monteringshallen	Beskrivning
Basfall	<p>Basfallet byggdes upp med hjälp av tillhandahållna ritningar och diskussioner med inblandade.</p> <ul style="list-style-type: none">- FTX- system med vvx verkningsgrad 80%- 3-glas fönster U-värde 1,04 W/m²K- platta på mark: in-ut (22 mm golvmaterial - 150 mm betong – 350 mm cellplast – mark/makadam)- Befintlig tegelvägg: 350mm tegel- IDA-ICE typiska värde på köldbryggor- Tre ljusschakt på Maskinhallens tak (befintliga tak lanterniner)- Fasader från intilliggande byggnader  <p>The image shows a 3D architectural rendering of a building facade. The building has a dark, multi-story structure with several windows. The rendering is shown from a perspective view, with some grey rectangular planes floating around it, possibly representing different facade options or components. A compass rose is located in the bottom right corner of the rendering, indicating North (N) and South (S).</p>
F1-F6 (tilläggsisolering)	<p>Förbättringsfall 1: Basfall + xx mm tilläggsisolering</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a wall. On the left, there is a vertical line representing the interior surface. To the right of this line, there are several horizontal lines representing the structure of the wall. The main part of the wall is a thick, textured layer representing brickwork. To the right of the brickwork, there is a thin layer representing an air gap, followed by a layer of insulation represented by a wavy pattern, and finally a thin layer representing an interior finish.</p> <ul style="list-style-type: none">350 Tegelmur20 Luftspaltxx Tilläggsisolering13 Invändig beklädnad

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering

<p>F7 (solavskärmning)</p>	<p>Basfall + invändigt solskydd</p>  <p>Valde persienner då det hade lite bättre g-värde.</p>														
<p>F8 (solavskärmning)</p>	<p>Basfall + utvändigt solskydd</p> 														
<p>F11 (50% BEN)</p>	<p>F10 + 50% av antalet personbelastning och belysningar som står i BEN2</p> <table border="1" data-bbox="540 1136 1341 1587"> <tr> <td>Innetemperatur (min/max)</td> <td>21/25 °C</td> </tr> <tr> <td>Antal personer</td> <td>0,05pers/ m² på kontor och undervisningssalar och 0,0025pers/ m² på gemensamma utrymme</td> </tr> <tr> <td>Belysning</td> <td>5,7 kWh/m² på vistelse zoner och häften på korridor, trapphus osv.</td> </tr> <tr> <td>Fastighetsenergi</td> <td>15 kWh/m²</td> </tr> <tr> <td>Utrustning</td> <td>5 - 7,5 kWh/m² beroende på om det är kontor eller undervisningssal.</td> </tr> <tr> <td>Tappvarmvatten</td> <td>2 kWh/m²</td> </tr> <tr> <td>Tid (h/d/v)</td> <td>9/5/52 Obs. för hallar antogs det att det endast är ¼ belastning på de tiderna</td> </tr> </table>	Innetemperatur (min/max)	21/25 °C	Antal personer	0,05pers/ m ² på kontor och undervisningssalar och 0,0025pers/ m ² på gemensamma utrymme	Belysning	5,7 kWh/m ² på vistelse zoner och häften på korridor, trapphus osv.	Fastighetsenergi	15 kWh/m ²	Utrustning	5 - 7,5 kWh/m ² beroende på om det är kontor eller undervisningssal.	Tappvarmvatten	2 kWh/m ²	Tid (h/d/v)	9/5/52 Obs. för hallar antogs det att det endast är ¼ belastning på de tiderna
Innetemperatur (min/max)	21/25 °C														
Antal personer	0,05pers/ m ² på kontor och undervisningssalar och 0,0025pers/ m ² på gemensamma utrymme														
Belysning	5,7 kWh/m ² på vistelse zoner och häften på korridor, trapphus osv.														
Fastighetsenergi	15 kWh/m ²														
Utrustning	5 - 7,5 kWh/m ² beroende på om det är kontor eller undervisningssal.														
Tappvarmvatten	2 kWh/m ²														
Tid (h/d/v)	9/5/52 Obs. för hallar antogs det att det endast är ¼ belastning på de tiderna														

Bilaga E: Detaljplan för planområdet DP5175



Bilaga F: Miljöbyggnad 3.2 indikatorer & områden

Energ	1	Värmeeffektbehov
	2	Solvärmelast
	3	Energianvändning
	4	Andel förnybar energi
Inomhusmiljö	5	Ljud
	6	Radon
	7	Ventilation
	8	Fuktsäkerhet
	9	Termiskt klimat vinter
	10	Termiskt klimat sommar
	11	Dagsljus
	12	Legionella
Material	13	Loggbok med byggvaror
	14	Utfasning av farliga ämnen
	15	Klimatpåverkan byggskede
	16	Sanering av farliga ämnen

Tabellen nedan visar betygsriterier för indikator 3, byggnadens energianvändning för Miljöbyggnad Ny byggnad.

Indikator 3	Brons	Silver	Guld
Bostäder	<ul style="list-style-type: none"> • BBR:s energikrav uppfylls 	<ul style="list-style-type: none"> • Betyget Brons uppfylls • 80% av BBR:s energikrav 	<ul style="list-style-type: none"> • Betyget Brons uppfylls • 70% av BBR:s energikrav
Lokaler	<ul style="list-style-type: none"> • \leq BBR:s verifierad med uppmätt energianvändning 	<ul style="list-style-type: none"> • Betyget Brons uppfylls • 70% av BBR:s energikrav 	<ul style="list-style-type: none"> • Betyget Brons uppfylls • 60% av BBR:s energikrav

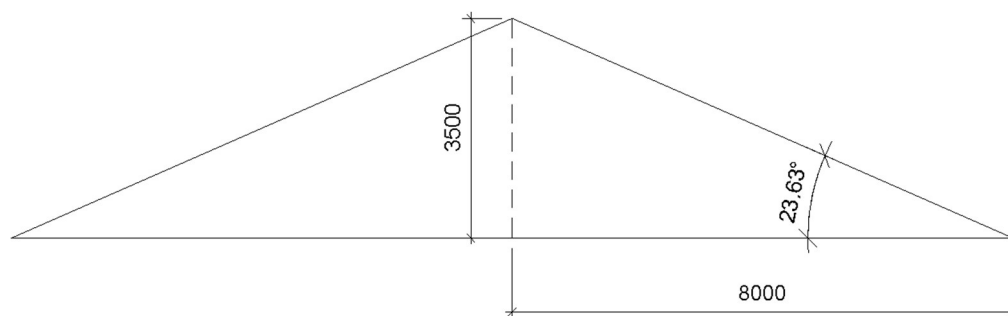
Tabellen nedan visar betygsriterier för indikator 3, byggnadens energianvändning för Miljöbyggnad befintlig byggnad.

Indikator 3	Brons	Silver	Guld
Bostäder och lokaler	<ul style="list-style-type: none"> • \leq Energiklass E 	<ul style="list-style-type: none"> • Betyget Brons uppfylls • \leq Energiklass D 	<ul style="list-style-type: none"> • Betyget Brons uppfylls • \leq Energiklass C

Bilaga G: Simulering av solceller i PVGIS

Tabellen nedan visar indata i PVGIS.

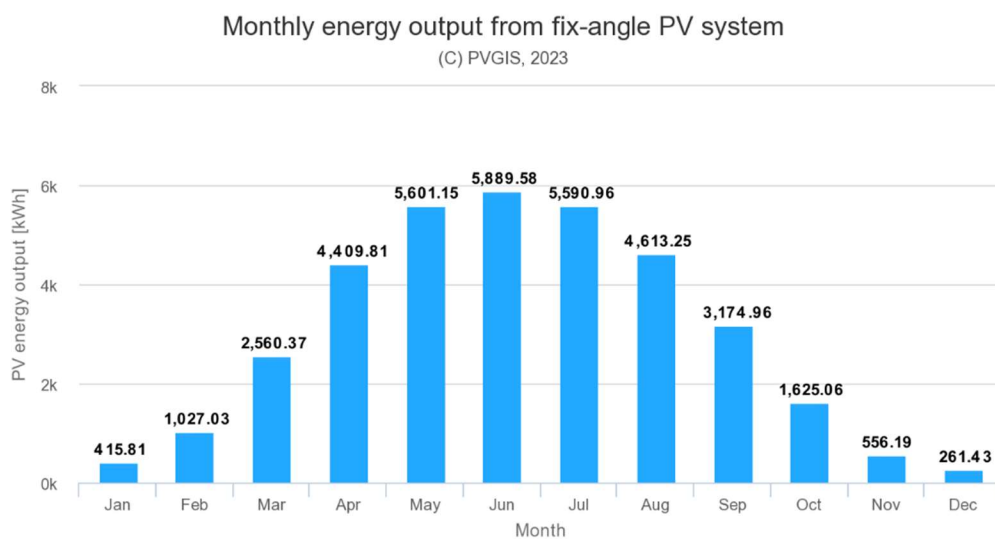
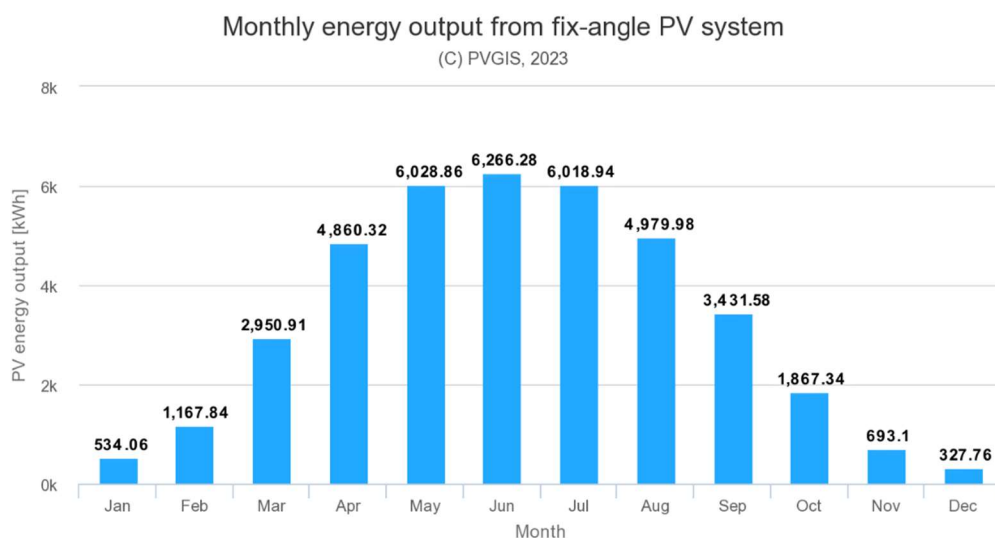
Latitud	55,612
Longitud	12,990
Radiation databas	PVGIS-SARAH2
Verkningsgrad (%)	18,5
Nominal power of the PV system (c-Si) (kWp)	46.2
Systemförlust (%)	14.0
Lutning solceller (deg.)	24
Orientering (azimut) av modul 1 & 2 (deg.)	Modul 1: 81 Modul 2: -99



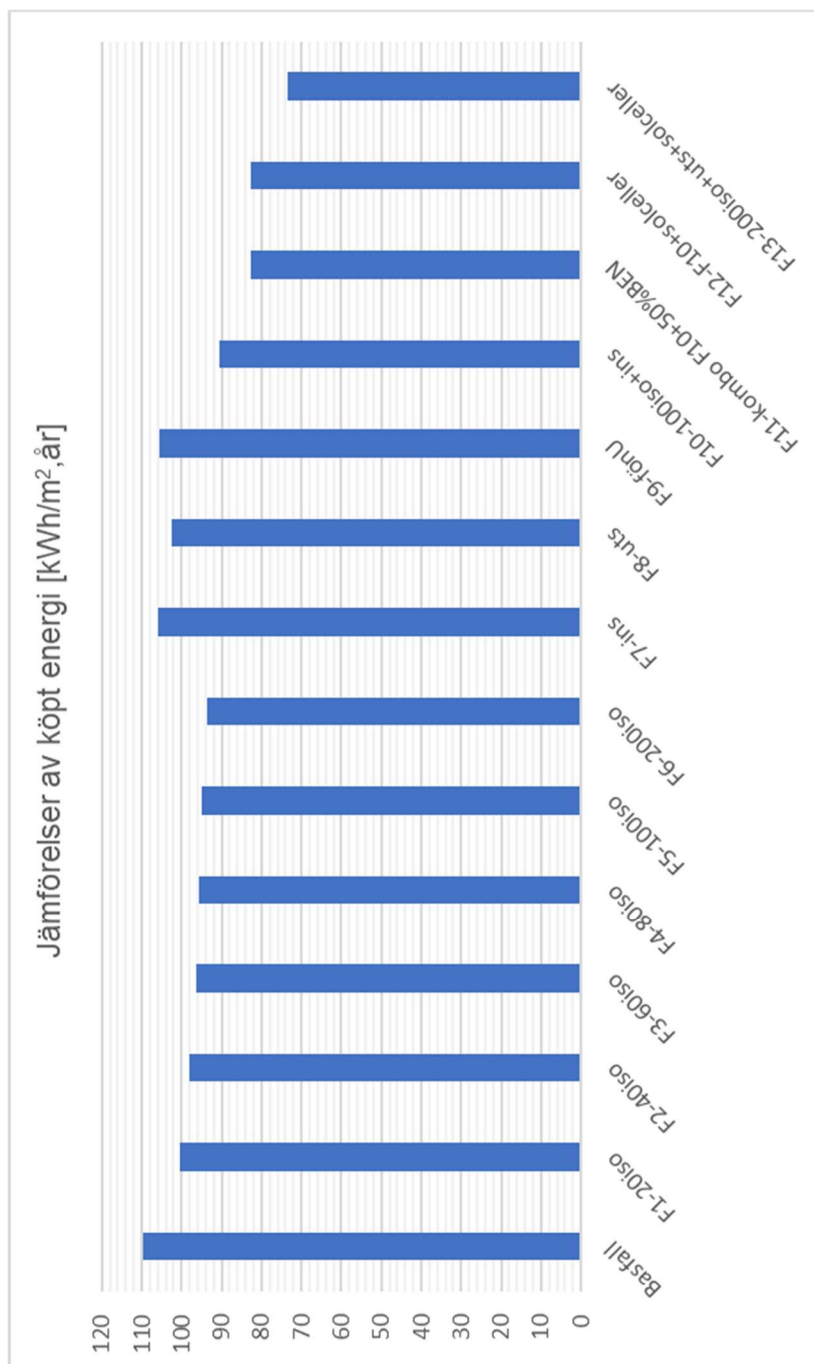
Figuren ovan visar en ungefärlig takkonstruktion på Monteringshallen med den beräknade lutningen som ställdes in i PVGIS. Ritningen är i [mm].

Bilaga H: Solcellernas elproduktion

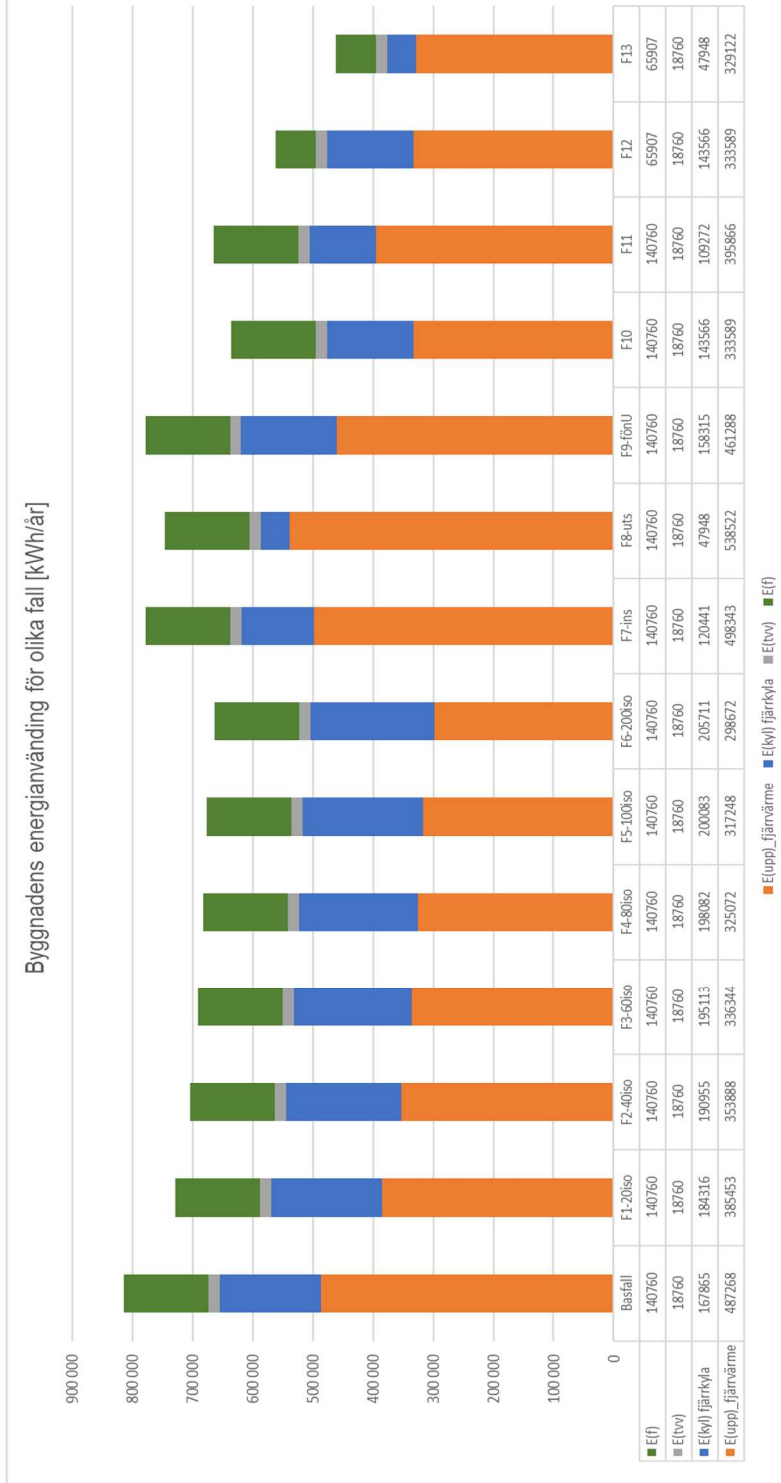
De två figurerna nedan visar elproduktion per 250 kvadratmeters solceller, tagen ur PVGIS (2023).



Bilaga I: Jämförelser av energibehov per yta för alla fallen



Bilaga J: Byggnadens energianvändning för alla fallen



Bilaga K: Beräkning av primärenergitalet

Beräkning Primärenergital																
Fall	E _{uppl}	fjärrvärme	fjärrvärme	fjärrvärme	E _{uppl} x VF	E _{uppl} x VF	F _{geo}	E _{uppl} x VF / F _{geo}	E _(kyl) fjärrkyla	E _(kyl) x VF	fjärrkyla	E _(tot)	EP _{pet} [kWh/m ² temp]			
Basfall	487268	0.7	0.6	341087	0	1.8	0.8	426359	167865	100719	18760	13132	140760	253368	793578	84.6
F1-20iso	385453	0.7	0.6	269817	0	1.8	0.8	337271	184316	110689	18760	13132	140760	253368	714360	76.1
F2-40iso	353888	0.7	0.6	247722	0	1.8	0.8	309652	190955	114573	18760	13132	140760	253368	690725	73.6
F3-60iso	336344	0.7	0.6	235441	0	1.8	0.8	294301	195113	117068	18760	13132	140760	253368	677868	72.2
F4-80iso	325072	0.7	0.6	227551	0	1.8	0.8	284438	199022	118949	18760	13132	140760	253368	669787	71.4
F5-100iso	317248	0.7	0.6	222073.74	0	1.8	0.8	277592	200083	120050	18760	13132	140760	253368	664142	70.8
F6-200iso	298672	0.7	0.6	209070.54	0	1.8	0.8	261338	205711	123427	18760	13132	140760	253368	651255	69.4
F7-hls	498343	0.7	0.6	348839.75	0	1.8	0.8	436050	120441	72265	18760	13132	140760	253368	774814	82.6
F8-utts	538522	0.7	0.6	376865.19	0	1.8	0.8	471206	47948	28769	18760	13132	140760	253368	766476	81.7
F9-fönU	461288	0.7	0.6	322801.25	0	1.8	0.8	403627	158315	94989	18760	13132	140760	253368	765116	81.5
F10	333889	0.7	0.6	233512.23	0	1.8	0.8	291890	143566	86139	18760	13132	140760	253368	644530	68.7
F11	395866	0.7	0.6	277105.92	0	1.8	0.8	346382	109272	65563	18760	13132	140760	253368	678446	72.3
F12	333889	0.7	0.6	233512.23	0	1.8	0.8	291890	143566	86139	18760	13132	140760	253368	644530	68.7
F13	329122	0.7	0.6	230385.61	0	1.8	0.8	287982	47948	28769	18760	13132	140760	253368	644530	68.7

Solelproduktion och fastighetsbehov /månad (F12)													
Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dec	EP _{pet} [kWh/m ² temp,år]
Solel [kWh]	950	2195	5511	9270	11630	12156	11610	9593	6607	3492	1249	589	
Fastighetsei [kWh]	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	
E _f (Fastighetsei - solel)	10780.13	9535.13	6218.72	2459.87	99.99	0	120.1	2136.77	5123.46	8237.6	10480.71	11140.81	
E _{uppl} värme	66350	62894	43707	17255.2	3088	1268	572.7	562.4	4833	23214.2	46433.4	6481	
E _(kyl) fjärrkyla	6.3	28.6	982.1	687.4	21765	25248	35200	39369	11823	19507	48.8	0.3	
E _(tot)	1692	1529	1692	1638	1692	1638	1094	1125	1638	1692	1638	1692	
E _f (Fastighetsei - solel) x VF	19404.234	17163.234	11193.696	44277.66	179382	0	216.18	3846.186	9222.228	14827.68	18885.278	20653.458	
E _{uppl} värme x VF / F _{geo}	58565.25	55082.25	38243.625	15980.8	2702	1109.5	501.1125	492.1	4238.875	20312.425	40629.225	55002.125	
E _(kyl) fjärrkyla x VF	3.78	17.16	589.26	4124.4	13059	15310.8	21120	23621.4	7093.8	11704.2	29.28	0.18	
E _(tot) x VF	1184.4	1070.3	1184.4	1146.6	1184.4	1146.6	765.8	787.5	1146.6	1184.4	1146.6	1184.4	
EP _{pet}	8.38	7.81	5.46	2.64	1.82	1.87	2.41	3.06	2.31	4.00	6.47	8.18	54.41

Solelproduktion och fastighetsbehov /månad (F13)													
Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dec	EP _{pet} [kWh/m ² temp,år]
Solel [kWh]	950	2195	5511	9270	11630	12156	11610	9593	6607	3492	1249	589	
Fastighetsei [kWh]	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	11730	
E _f (Fastighetsei - solel)	10780.13	9535.13	6218.72	2459.87	99.99	0	120.1	2136.77	5123.46	8237.6	10480.71	11140.81	
E _{uppl} värme	58979	57610	44461	22961.9	8051.4	4784	2995.1	2539	7950	22940	41350.9	55100	
E _(kyl) fjärrkyla	9.7	27.3	145.9	752.9	5637	9408	16102	22408	4597	720.5	111.6	25.8	
E _(tot)	1692	1529	1692	1638	1692	1638	1094	1125	1638	1692	1638	1692	
E _f (Fastighetsei - solel) x VF	19404.234	17163.234	11193.696	44277.66	179382	0	216.18	3846.186	9222.228	14827.68	18885.278	20653.458	
E _{uppl} värme x VF / F _{geo}	51606.625	50408.75	38003.375	20091.6625	7044.975	4186	2620.7125	2221.625	6431.25	20072.5	36182.0975	48212.5	
E _(kyl) fjärrkyla x VF	5.82	16.38	87.94	451.74	3382.2	5644.8	9661.2	13444.8	2758.2	432.3	66.96	15.48	
E _(tot) x VF	1184.4	1070.3	1184.4	1146.6	1184.4	1146.6	765.8	787.5	1146.6	1184.4	1146.6	1184.4	
EP _{pet}	7.69	7.32	5.47	2.78	1.26	1.17	1.41	2.16	2.08	3.89	6.00	7.40	48.64

Bilaga L: Fönster och solskydd specifikationer

Tekniska specifikationer	Basfall		F7-ins		F8-uts	
	Utan solskydd	Med inneliggande solskydd	Med inneliggande solskydd	Med uteliggande solskydd	Med uteliggande solskydd	
g-värde	0,563	0,356	0,356	0,054	0,054	
Soltransmission	0,463	0,008	0,008	0,021	0,021	
Ljusgenomsläpplighet	0,716	0,012	0,012	0,033	0,033	
U-värde glas	1,01	0,829	0,829	0,843	0,843	
U-värde fönster	1,064	1,064	1,064	1,064	1,064	

Skikt (ut-in)



klarglas

Luftspalt- luft

Glas med energiskikt

Luftspalt- 90% argongas

klarglas

F9-fönU

Tekniska specifikationer	
g-värde	0,503
Soltransmission	0,379
Ljusgenomsläpplighet	0,691
U-värde glas	0,616
U-värde fönster	0,886

Skikt (ut-in)



Glas med energiskikt

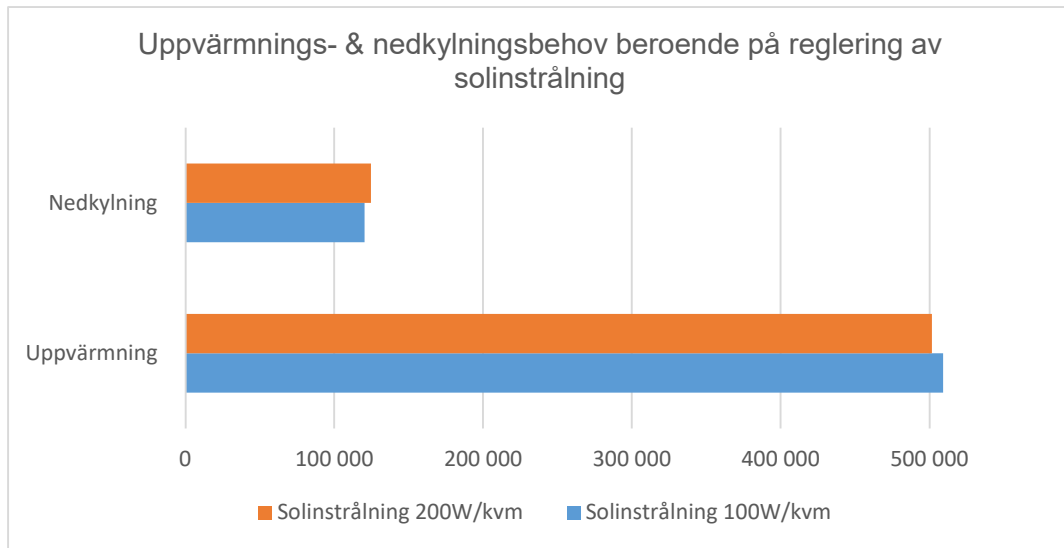
Luftspalt - 90% argongas

Glas med energiskikt

Luftspalt - 90% argongas

klarglas

Bilaga M: Solskyddsreglering



Bilaga N: Byggnadens medel U-värde

Fall	U _m [W/m ² K]
Basfall	0,564
F1-20iso	0,436
F2-40iso	0,396
F3-60iso	0,373
F4-80iso	0,359
F5-100iso	0,349
F6-200iso	0,324
F7-ins	0,564
F8-uts	0,564
F9-fönU	0,539
F10-100iso+ins	0,349
F11-kombo F10+50%BEN	0,349
F12-F11+solceller	0,349
F13-200iso+uts+solceller	0,299