



SLUTRAPPORT

ARVET EFTER VARVET

Ulla Janson, Dennis Johansson, Nils Johansson, Kent Persson och Petter Wallentén.

Energimyndighetens projektnummer pnr 50044-1



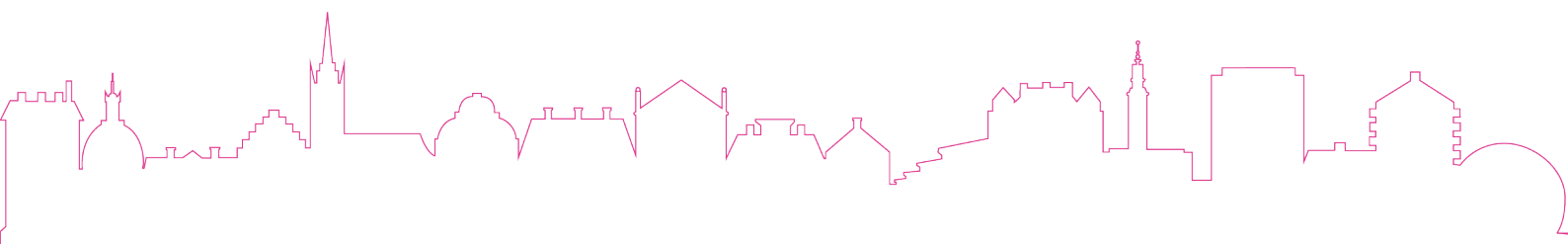
FÖRORD

Spara och bevara är ett forsknings- och utvecklingsprogram som Energimyndigheten initierat för att öka kunskapen om energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Programmet syftar till att utveckla och förmedla kunskap och tekniklösningar som bidrar till en energieffektivisering i dessa byggnader utan att deras värden och inventarier förstörs eller förvanskas.

Den varsamma energieffektiviseringen ska uppnås genom interdisciplinära samarbeten, där teknik möter kulturvård. Målet är att skapa en bestående kunskapsgrund inom området energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader och bidra till en långsiktig, hållbar förvaltning av det äldre fastighetsbeståndet.

Programmet samordnas av Uppsala universitet.

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten eller Uppsala universitet tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



SAMMANFATTNING

Byggbranschen behöver snabbt ställa om för att minska sin miljöbelastning. Genom att fortsätta använda befintliga byggnader, antingen med samma eller annan verksamhet, kan branschens klimatavtryck, användande av naturresurser, energi och vatten samt mängden avfall bli avsevärt mycket lägre jämfört mot att bygga nytt. Fönster har ofta låg energiprestanda, men ett samtidigt högt kulturvärde. Genom att energieffektivisera befintliga fönster kan kulturvärden bevaras, samtidigt som energibehovet för byggnaden minskar.

I detta projekt analyseras den renovering av fönster med mycket högt kulturvärde, som utförts i Magasin 211 i Varvsstaden. De aspekter som inkluderas i analysen är brandskydd, bärighet, akustik och fönstrens energiprestanda. Även inomhuskomforten i de lokaler där fönster renoverats ingår i utvärderingen, tillsammans med en jämförelse mellan beräknat energibehov efter renovering och köpt energi för värme och kyla. Erfarenheterna och lösningarna från Magasin 211 är en god kunskapsbas för framtida renovering och återbruk av fönster med högt kulturvärde, både generellt och för framtida renoveringsobjekt i Varvsstaden.

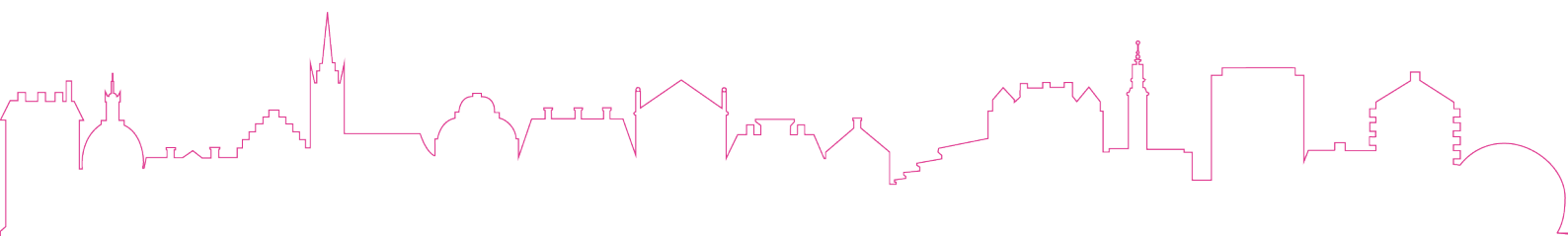
Vid renoveringen av Magasin 211 tillsattes ett 2-glas isolerglas på insidan av ett befintligt spröjsat englasfönster med ram av gjutjärn. Det yttre glaset är inmurat i fasaden och det inre nya 2-glasfönstret är monterat mot insidan av innerväggen med en gummilist. Det yttre fönstret är på detta sätt intakt och det yttre kulturvärdet bevaras.

Valet av lösning för fönsterrenoveringen som utförts på Magasin 211 är utmärkt. Då ingen brandcellsgräns förekommer där befintliga fönster finns, behöver fönstren ej vara brandklassade. Det täta klimatskalet efter renovering ger bättre akustiska förutsättningar. De långtidsmätningar som utförts avseende inomhusklimat efter renovering påvisar mycket goda värden, både för koldioxid- och fukthalt i inomhusluften samt uppmätta inomhustemperaturer. Placeringen av innerrutan långt in i fönsteröppningen bidrar till en god inomhuskomfort och kallras kan undvikas. Energieffektiviseringen av fönstren har bidragit till lägre energibehov, där byggnaden efter renovering når energiklass D, med ett uppmätt primärenergibehov på ca 100 kWh/m²·år.

Fönsterkonstruktionen är tät, både kring det gamla gjutjärnsfönstret och den nya kassetten, vilket är en risk för sprickbildning och skador. I framtida konstruktioner är det viktigt att den yttre bågen inte är helt tät och därmed säkrar att luftspalten ventileras utifrån. Detta kan åstadkommas genom synliga ventilationshål i den yttre bågen. Inget luftläckage ska ske genom den inre bågen, denna konstruktion ska fortsatt vara tät. En rekommendation är att genomföra en täthetsprovning vid slutbesiktning, komplett med termografering, för att säkra att luftläckage sker på korrekt sätt.

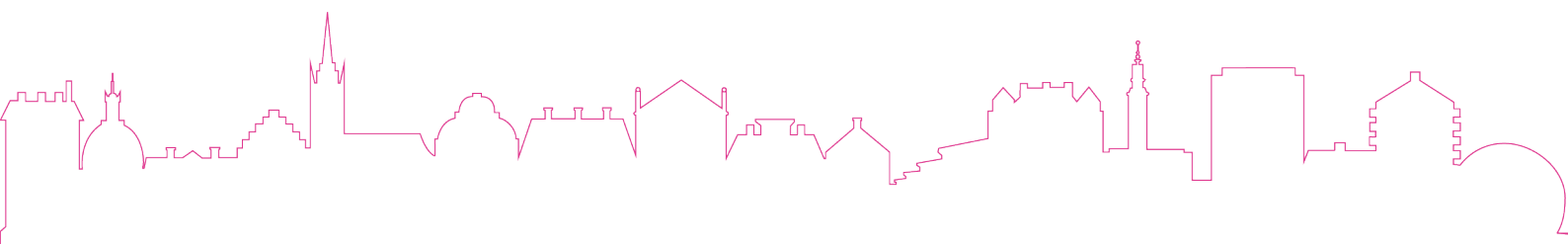
Att minska energibehovet i den befintliga bebyggelsen är en nyckel för ett framtida robust energisystem. Metoden som använts för att energieffektivisera fönstren i Magasin 211 är tillämpbar både nationellt och internationellt. Genom att använda denna metod vid renovering kan energibehovet för uppvärmning och kyla minska utan att inverka på byggnaders kulturvärde.

Nyckelord: Fönster, kulturvärde, energieffektivisering, energianvändning, Varvsstaden.



INNEHÅLL

FÖRORD.....	2
SAMMANFATTNING.....	3
INNEHÅLL.....	4
1. INLEDNING OCH BAKGRUND	5
1.1 BAKGRUND	5
1.2 SYFTE OCH MÅL.....	6
1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNING	6
2. GENOMFÖRANDE	7
3. RESULTAT	8
4. UTVÄRDERING AV ENERGIEFFEKTIVISERING AV FÖNSTER MED HÖGT KULTURVÄRDE – FALLSTUDIE MAGASIN 211	10
Brandskydd.....	10
Akustik	14
Bärighet	14
Dagsljus	16
Inomhuskomfort.....	16
Täthetsprovning.....	18
Termografering	19
Mätning energiprestanda fönsterkassett i Hotbox	20
Energianvändning	22
5. DISKUSSION.....	23
6. SLUTSATSER.....	24
7. PUBLIKATIONSLISTA.....	25
8. REFERENSER.....	26



1. INLEDNING OCH BAKGRUND

1.1 BAKGRUND

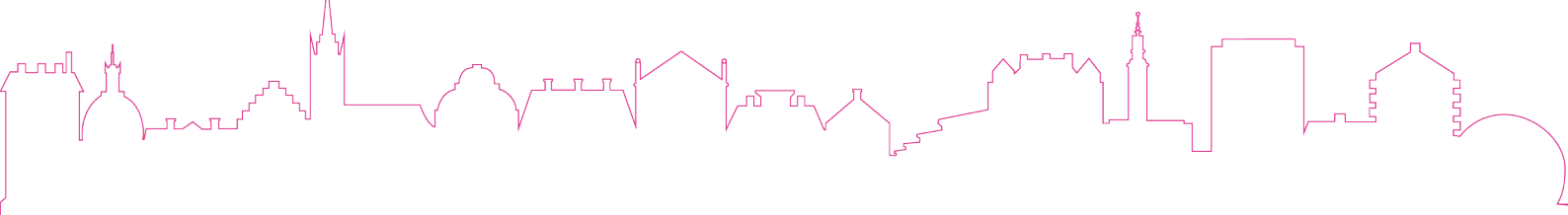
Då byggbranschen idag ger upphov till 22% av Sveriges årliga utsläpp av koldioxidekvivalenter och står för 39% av Sveriges årliga avfallsmängder, är utveckling av det befintliga en nyckel för framtidens hållbara byggindustri (Boverket, 2025). Att fortsätta använda befintlig bebyggelse ger samtidig möjlighet att bevara kulturvärden i en plats eller byggnad.

Energieffektivisering av befintlig bebyggelse är en viktig del av EU:s energistrategi (EU 2024). I direktivet avseende energieffektivitet, EPBD, har tydligt satta gränsvärden för energianvändning till 2030 och 2035, främst kring lokalbyggnader, där svensk tolkning är under framtagande (Boverket, 2024). Vid en renovering av en kulturhistoriskt värdefull byggnad kan det vara utmanande att minska energibehovet för uppvärmning då byggnadens uttryck ej får förvanskas. Det kan komma att medges undantag i EPBD avseende energieffektivisering av kulturhistoriskt värdefulla byggnader, med anpassade krav på byggnader som har officiellt skydd på nationell, regional eller lokal nivå. Dock är dessa anpassade krav ej ännu fastställda (Riksantikvarieämbetet, 2024).

Äldre fönster har ofta låg energiprestanda, men ett samtidigt högt kulturvärde. Att byta till nya fönster innebär både en förvanskning av kulturvärde och en stor klimatbelastning (Stålhammar & Ignell 2024, Janson et al, 2022). Olika energieffektiviserande åtgärder kan utföras på befintliga fönster. Filmbeläggning är ett alternativ (Mattsson, M. et al, 2020), andra alternativ är montering av isolerglas eller glaskassett (Energimyndigheten, 2008; ACC, 2017). Förutom energianvändning har fönstrens prestanda betydande påverkan på inomhusklimatet, både avseende kyla och värme. Befintliga fönster ska också uppfylla behov och krav enligt gällande standarder avseende brandskydd, bärförmåga och hållfasthet. Energianvändningen hos en byggnad består både av inbyggd energi och driftenergi. Glastillverkning är en energiintensiv industri och nyttillverkat glas ger ett stort bidrag till en byggnads inbyggda energi och tillhörande klimatavtryck. Återbruk av fönster och glas är därför en viktig pusselbit för att minska den totala energianvändningen och klimatpåverkan från byggbranschen.

Kockumsområdet i centrala Malmö är ett tidigare verkstadsområde som nu transformeras till en ny stadsdel. Området kallas Varvsstaden, där befintliga byggnader i området behålls och transformeras, samtidigt som området förtätas med nyproducerade byggnader (Malmö stad 2014, Malmö stadsbyggnadskontor 2011). Kulturvärdet i de befintliga byggnaderna och stadsrummet är högt, vilket bland annat återspeglas i att fasaderna ej får förvanskas. I Varvsstaden finns flera fabrikslokaler som står redo för en omfattande renovering, alla med unika fönster och fönsterpartier. En viktig del i bevarandet av kulturvärden i området är möjligheten att behålla de gamla fönstren. Dock har dessa stora behov av uppgradering för att nå gällande krav, främst avseende energieffektivitet men även avseende konstruktionsmässiga och säkerhetsmässiga aspekter.

Den första byggnaden i Varvsstaden som renoverades och byggdes om för ny verksamhet var byggnad Magasin 211. Vid renoveringen av denna lokalbyggnad har bland annat fönstren renoverats och energieffektiviserats. De industriellt betonade fönstren i de byggnader som står på tur för renovering är nycklar för både platsens kulturvärde likväl som för byggnadernas energibehov och brukarens inomhusmiljö.



I detta projekt analyseras den renovering av fönster med mycket högt kulturvärde, som utförts i Magasin 211 i Varvsstaden. De aspekter som inkluderas i analysen är brandskydd, bärighet, akustik och fönstrens energiprestanda. Även inomhuskomforten i de lokaler där fönster renoverats ingår i utvärderingen, tillsammans med en jämförelse mellan beräknat energibehov efter renovering och köpt energi för värme och kyla. Erfarenheterna och lösningarna från Magasin 211 är en god kunskapsbas för framtida renovering och återbruk av fönster med högt kulturvärde, både generellt och för framtida renoveringsobjekt i Varvsstaden.

1.2 SYFTE OCH MÅL

I arbetet med energieffektivisering av det befintliga byggnadsbeståndet är det viktigt att ha en metodik för förbättring av befintliga fönsters energiprestanda, med samtidigt underhåll för långsiktigt bevarande. Detta projekt syftar till att ta fram denna metodik för renovering, baserat på en fallstudie. Metodiken inkluderar mekaniska och brandtekniska aspekter, såväl som energiprestanda. Genom mätning av energianvändning och inomhustemperatur kan metodens energieffektiviserande åtgärder och inomhuskomfort verifieras.

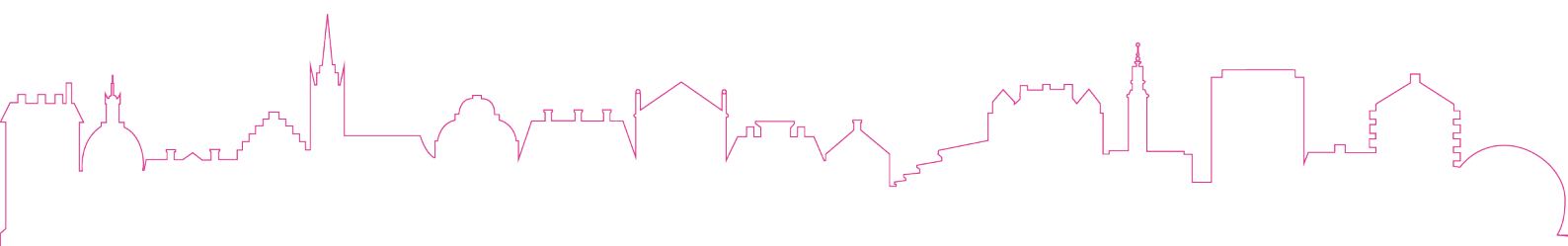
Resultatet redovisar ny kunskap avseende möjligheter för, och kvalitetsutvärdering av, fönster och glas som återanvänds och energieffektiviseras. Denna kunskap kan användas vid renovering och återbruk av fönster, nationellt såväl som internationellt. Den metodik för återbruk och renovering av fönster och glas som här presenteras möjliggör ett gott inomhusklimat med bibehållet kulturvärde och ökad energieffektivitet.

Målet med denna studie är att presentera ett koncept för renovering av fönster i kulturhistorisk lokalbebyggelse, med specifikt fokus på bevarande av kulturvärden och ökad energieffektivitet, baserat på uppmätta resultat från ett färdigställt projekt.

1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNING

Detta projekt baseras på en fallstudie; Magasin 211 i Varvsstaden Malmö. All mätdata härrör endast från detta projekt. I utvärderingen av färdigställd lösning ingår energiprestanda, akustik, brandskydd, inomhuskomfort och hållfasthetsaspekter. En kulturhistorisk värdering av lösningen har ej utförts specifikt inom projektet.

Det är endast fönsterlösningen som studeras i detta projekt. Övriga konstruktionsdelar har ej analyserats.



2. GENOMFÖRANDE

Den teoretiska basen för projektet utgörs av gällande regelverk, ramverk och standarder, inkluderande aspekter avseende brand, mekanik, installationsteknik och byggnadsfysik. Teoretiska beräkningar och sammanställningar har utförts baserat på denna bas. Praktiska mätningar har sedan genomförts för att vidare undersöka den lösning som använts i testbyggnaden.

Energi och inomhuskomfort

Energiberäkning har utförts i programmet IDA-ICE. Uppmätt energianvändning har erhållits från fastighetsförvaltare och ej mätts separat i projektet. Mätning av inomhusluften har utförts mellan 2022-12-21 – 2024-09-10, avseende temperatur, relativ fuktighet och koldioxidkoncentration. Mätningen utfördes med loggar av typen SD-800. Mätningen har utförts på alla tre våningsplanen i sammanlagt 11 mätpunkter.

Täthetsprovning

Täthetsprovning av konstruktionen har utförts i enlighet med standard ISO 9972. Testmetoden som användes är "Method 3 – Test of Building for a specific purpose" med inställningen "Depressurization and Pressurization". I programmet TECTITE Express 5.0 bestämdes mätförhållandet till "light air" dvs lätt vind, vindstill. Fyra test utfördes:

- Test 1 – grundfall med stängda fönster
- Test 2 – fönstret längst söderut öppen innerruta
- Test 3 – mittenfönstret öppen innerruta
- Test 4 – plywoodskiva med list täcker södra fönstret

Termografering

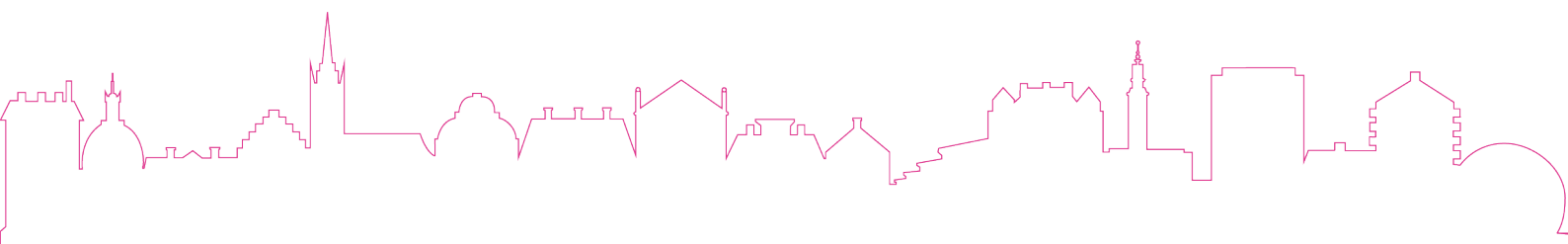
Täthetsprovningen av fönstren kompletterades med en termografering av byggnaden, utförd med en FLIR värmekamera modell mE60bx. Vid mättillfället var utetemperaturen -6°C och vindhastigheten 1,1 m/s.

Hotboxmätning

Det befintliga fönstret kompletterades i renoveringen med en inre ruta. Denna kompletterande fönsterkonstruktion undersöktes i laborativ miljö, i en s.k. Hotbox. Mätningen utfördes i en hotbox placerad på LTH, vilket innebar att det fönster som mätts i hotboxen varit ett som blivit över från renoveringen av byggnaden och inte ett som faktiskt är placerat i den färdiga konstruktionen. Hotboxmätningen utfördes baserat på standarder ISO 8990 för mätning med guarded hotbox och SS-EN ISO 12567-1:2010 för mätning av U-värde för fönster och dörrar.

Hållfasthet och akustik

Termoelement har monterats i alla skikt i fönsterkonstruktionen. Mätdata från dessa har insamlats för att undersöka vilka temperaturlaster som glaset utsätts för. Den rörelse i glaskonstruktionen som temperaturskillnaden ger upphov till beräknas baserat på mätdata. Som komplement till detta har FEM-analyser utförts på fönsterkonstruktionen.



3. RESULTAT

Vid renoveringen av Magasin 211 tillsattes ett 2-glas isolerglas på insidan av ett befintligt spröjsat englasfönster med ram av gjutjärn. Glasen i det befintliga fönstret består av 2mm tjockt glas, både original och vissa glas utbytta vid behov om de gått sönder. Det yttre glasets är inmurat i fasaden och det inre nya 2-glasfönstret är monterat mot insidan av innerväggen med en gummilist. Det yttre fönstret är på detta sätt intakt och det yttre kulturvärdet bevaras.

Brandskydd

Avseende brandskydd är det avgörande för renovering om det finns brandcellsgränser där befintliga fönster finns. Skulle så vara fallet krävs att dessa brandklassas, vilket är omöjligt utan förstörande prov. Magasin 211 har ingen brandcellsgräns där befintliga fönster finns. Om det förekommit brandcellsgräns skulle detta kunnat lösas genom att i den adderade konstruktionen ha brandklassad innerruta. Konsekvenser av eventuella brandcellsgränser måste analyseras och hanteras enligt regelverk. Vidare kan ökad täthet i klimatskalet ge påverkan på eventuell lösning av ventilationsbrandskydd med s.k. fläkt i drift (ej aktuellt i Magasin 211) samt påverka brandförloppet.

Akustik

Detaljplanen och hur huset är placerat i förhållande till exempelvis vägar påverkar möjliga val av verksamhet efter transformation. Magasin 211 ligger lite indragen från gatunätet, vilket ger en mycket god ljudmiljö inne. Det täta klimatskalet efter renovering ger bättre akustiska förutsättningar. Fönster och dess konstruktion är det viktigaste avseende ljudbilden inomhus. Fönstertyns storlek påverkar om eventuella akustikfönster är möjliga. Om fönstret sitter i brandcellsgräns och akustikglas monteras i 2-glaskonstruktionen måste detta kombineras med brandklass.

Bärighet

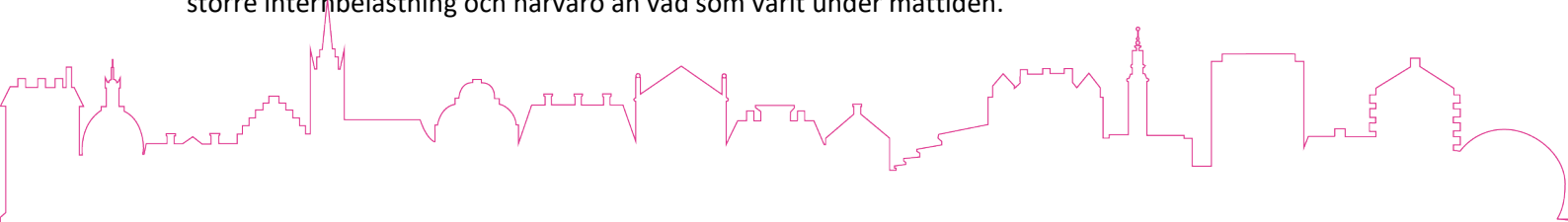
Hållfastheten hos det gamla gjutjärnet i den yttre fönsterkonstruktionen är en osäker parameter, men som är nödvändig att inkludera vid analyser av hur nya laster påverkar det gamla fönstret. Provningar i projektet av gjutjärn från en fönsterram i Magasin 211 har visat att gjutjärnet uppvisar ett mycket sprött beteende där brott utan plastiska töjningar noterades. Gjutjärnets elasticitetsmodul uppmättes till 75 GPa och hållfastheten beräknades till 240 MPa.

Dagsljus

De ljusa färgerna på innerväggarna i Magasin 211 reflekterar ljus bra och motverkar eventuellt lägre dagsljusinsläpp på grund av den adderade fönsterkassetten. Ur dagsljussynpunkt är den här valda tvåglaskonstruktionen bättre än en treglaslösning och järnfritt glas är att föredra. Dagsljuset inne kan även påverkas av rumsfördelning och val av innerväggar, där det i Magasin 211 är glasinnerväggar som möjliggör dagsljusöverföring mellan rum.

Inomhusklimat

De långtidsmätningar som utförts avseende inomhusklimat efter renovering påvisar mycket goda värden, både för koldioxid- och fukthalt i inomhusluften samt uppmätta inomhustemperaturer. Placeringen av innerrutan långt in i fönsteröppningen bidrar till en god inomhuskomfort och kallras kan undvikas. Fönsterlösningens höga täthet efter renovering innebär att yttre vindlaster inte påverkar inneklimatet nämnvärt. Inomhusklimatet i Magasin 211 påverkas därför marginellt av varierande vind och inte heller av solinstrålning. Uppmätta värden indikerar att byggnaden troligtvis skulle klara av en större internbelastning och närvaro än vad som varit under mättiden.



Energi

Den uppmätta energianvändningen, under de två år detta projekt pågick, var ca 30% lägre för uppvärmning jämfört med beräknade värden. Dock var den köpta mängden kyla mellan 20 och 30% över beräknade värden. Efter renovering når byggnaden energiklass D, med ett uppmätt primärenergibehov på ca 100 kWh/m²·år.

Cirkularitet

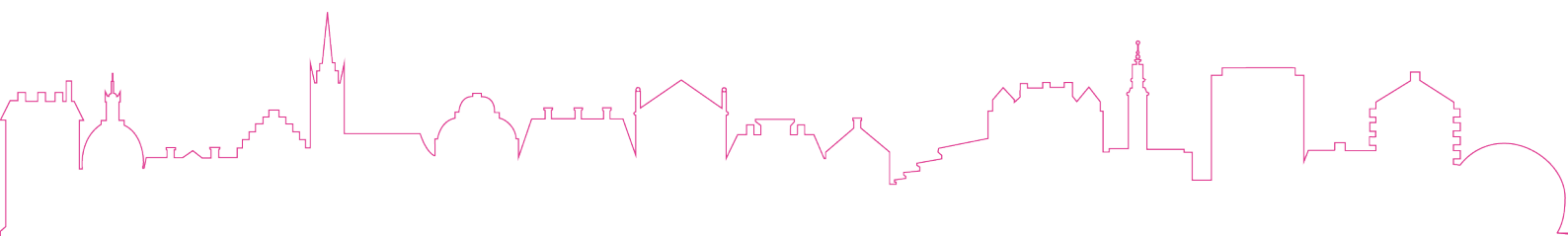
De konsekvenser på renoveringen som ett cirkulärt synsätt innebär är svårigheten att säkra kvalitet på exempelvis gjutjärnet utan förstörande prover. Likaså är det svårt att avgöra brandklass för ett fönster utan att utföra ett förstörande prov. Eftersom brandklass beror på storleken på fönstren måste varje storlek klassas för sig. Att förstöra ett fönster för att avgöra brandklass för resterande fönster fungerar därför inte om fönstren har olika storlek.

Montage

Det är viktigt att den invändiga glaskassetten har god passning mot fönsterhålet. I Magasin 211 var passningen mycket god. Dock var kassetterna löst fastskruvade, vilket gav upphov för lufttransport inifrån rummet in i luftspalten mellan det gamla fönstret och fönsterkassetten. Mätningar och okulärbesiktning visar att fönsterkonstruktionen i Magasin 211 är otät inifrån, men helt tät där det äldre fönstret ansluter mot fasaden. Det finns risk för att denna otäthet kan driva på rost på gjutjärnet i det befintliga yttre fönstret, dock syns det vid denna undersökning ännu ingen rostbeläggning. I framtida renoveringar bör det yttre fönstret få en liten otäthet, samt att tätheten inifrån säkras. Detta kan bidra till att sprickbildning i en lufttät kavitet kan undvikas samt att varm fuktig luft ej möter den kalla yttterrutan och kondenserar.

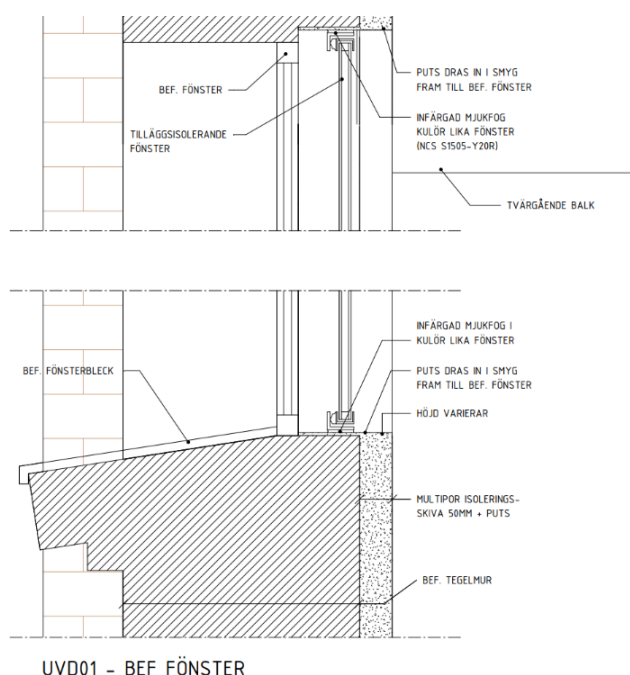
Rekommendation

Valet av lösning för fönsterrenoveringen som utförts på Magasin 211 är utmärkt, men mätningarna visar att hantverket behöver säkras. Det som behöver förbättras är luftströmningen, som i framtida konstruktioner endast ska gå genom yttre glaset och in i luftspalten och ut igen. Detta kan åstadkommas genom synliga ventilationshål i den yttre bågen. Det är viktigt att i framtida renoveringar säkra att inget luftläckage sker genom den inre bågen. En rekommendation är att genomföra en täthetsprovning vid slutbesiktning, komplett med termografering, för att säkra att luftläckage sker på korrekt sätt. Installationer måste projekteras efter tänkt verksamhet och anpassas till en tätare byggnad. Utvändig solavskärmning är att föredra, för att undvika bländning och behov av köpt kyla.



4. UTVÄRDERING AV ENERGIEFFEKTIVISERING AV FÖNSTER MED HÖGT KULTURVÄRDE – FALLSTUDIE MAGASIN 211

Den kulturvärdesbedömning av Magasin 211 som Malmö stad utfört ligger till grund för val av energieffektiviserande åtgärder på byggnaden. Då fönstrens utseende, läge och storlek anges ha mycket stor betydelse, bevarades det yttre gjutjärnsfönstret i den befintliga fasaden. För att förbättra energiprestandan på fönstret adderades en invändig dubbelglaskassett. Fönstrets uppbyggnad efter renoveringen redovisas i Figur 1.



Figur 1: Detaljritning fönster inklusive fönsterkassett (Wingårdhs arkitektkontor/Varvsstaden AB).

Brandskydd

Brandmotstånd innebär att byggprodukter, till exempel väggelement eller fönster i en brandcellsgräns måste kunna stå emot en fullt utvecklad brand och uppfylla vissa funktionskrav. När det gäller fönsterglas så är dessa funktionskrav integritet (E), isolering (I) och värmestrålning (W).

För att klassa ett fönster måste ett brandmotståndprov genomföras och detta sker normalt enligt en standardbrandkurva EN 1363-1 (Svenska Institutet för Standarder 2020). Fönstret kan då bli klassat för ett visst funktionskrav under en specifik tidsperiod, till exempel enligt E och W i 30 minuter, dvs klass EW30. Dessa brandmotståndprov är av förstörande karaktär. För återbrukade produkter med liknande egenskaper kan ett förstörande prov på en enskild produkt ge ett resultat som anses representativt för andra produkter av samma typ (fabrikat, ålder, etc.) med motsvarande kvalitet. När det gäller brandklassade fönsterglas är det dock viktigt att notera att brandklassningen är specifik för en viss storlek. Även om två fönsterglas är identiska i alla avseenden utom storlek, innebär det inte att båda automatiskt uppfyller samma brandklass.

Det är viktigt att brandcellsgränser inom byggnaden, mot lägre beläget tak eller mot andra byggnader identifieras för att lokalisera var problematik med att återbruka av så väl klassade som oklassade fönster finns. I avsnitten nedan beskrivs olika situationer där brandklassning av fönster kan vara aktuella. Om en sådan situation skulle uppkomma vid återbruket av fönster i Varvsstaden finns det två rekommenderade lösningar:

1. Fönster som sitter i brandcellsgräns återbrukas ej utan i stället installeras nya fönster med nödvändig brandklass enligt förenklad dimensionering.
2. Innerrutan som appliceras för att ökad isolering klassas med nödvändig brandklass enligt förenklad dimensionering.

En konsekvens av att klimatskalet blir tätare och huset mer energieffektivt är att det kan påverka brandförloppet. Detta är ytterligare en aspekt som kan påverka brandskyddet. Ett bättre isolerat hus kan leda till en snabbare temperaturökning och generellt högre temperaturer vid en brand (Hiemstra, 2016) .

En annan aspekt som kan behöva övervägas vid energieffektivisering av byggnader är då ventilationssystem med fläktar i drift används i en byggnad. Med "fläkt i drift" avses att ventilationssystemet fortsätter vara i gång vid en brand och är utformat för att begränsa spridningen av brandgaser till andra brandceller i byggnaden (Boverket, 2024) . Systemet är dock dimensionerat utifrån specifika förutsättningar, och om byggnadens täthet förändras påverkas dessa förutsättningar. Det bör dock noteras att fläkt i drift inte förväntas vara en lösning som används i Varvsstaden. Med tanke på omfattningen av de renoveringar som genomförs, förutsätts det dessutom att en omfattande översyn av ventilationssystemet också ingår i ombyggnationerna.

Ramar och regelverk

I nedanstående stycken presenteras det regelverk avseende brandskydd som kan vara aktuellt vid analys av fönster eller användning av fönster från befintlig byggnad för en ny verksamhet, likt fallet i Magasin 211. Hur nedanstående regler är tillämpade och detaljerad information om brandskyddet i Magasin 211 återfinns i Brandskyddsbeskrivning Magasin 211 - Om- och tillbyggnad kontor upprättad av WSP (WSP, 2020)].

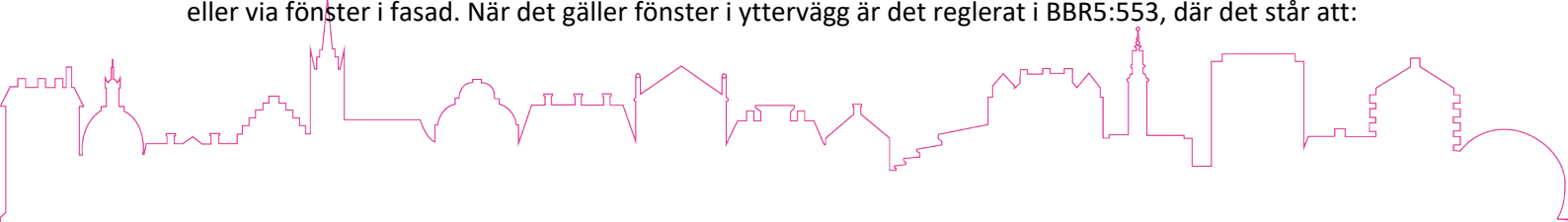
I kapitel 5 i de nu gällande byggreglerna (Boverket, 2024) , återfinns regler och allmänna råd för att förhindra brandspridning mellan brandceller och byggnader. Dessa regler omfattar både spridning av brand och brandgaser mellan brandceller inom en byggnad (BBR 5:5) samt brandspridning mellan byggnader (BBR 5:6). Särskilt relevanta för fönster i fasad är reglerna i dessa avsnitt, då de behandlar de krav som ställs för att begränsa brandspridning via fasadöppningar.

Brand- och brandgasspridning inom byggnad

När det gäller brand och brandgasspridning inom en byggnad anger BBR 5:53 att:

Byggnader ska delas in brandceller i sådan omfattning att det medför tillräcklig tid för utrymning och att konsekvenserna av brand begränsa.

Enligt det tillhörande allmänna rådet bör normalt inte samma brandcell omfatta utrymmen inom fler än två plan. Detta innebär således att en utgångspunkt i byggnadstekniskt brandskydd är att bjälklag ofta utgör brandcellsgräns, brand och brandgas ska alltså i sådant fall inte spridas genom bjälklag eller via fönster i fasad. När det gäller fönster i yttervägg är det reglerat i BBR5:553, där det står att:

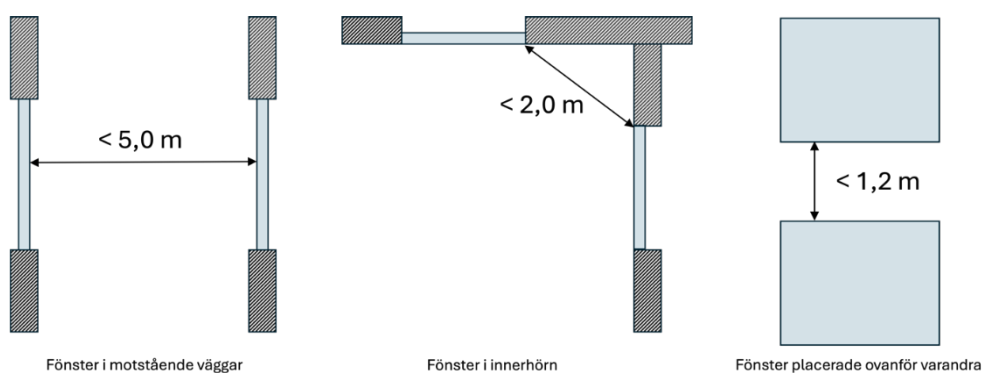


Fönster som tillhör skilda brandceller i samma byggnad och som vetter mot varandra eller är placerade ovanför varandra i höjddled, ska utformas och placeras så att brandspridning mellan brandcellerna begränsas.

I det tillhörande allmänna rådet är det angivet att fönster, glasytor eller motsvarande, där direkt värmestrålning från brand kan ske från det ena fönstret till det andra omfattas av föreskriftens krav. I det allmänna rådet finns även en tabell med exempel på utformning som uppfyller föreskriftens krav (se Tabell 1 och Figur 2), dessa krav gäller mellan brandcell med krav motsvarande EI60 eller lägre. Vid högre brandtekniskklass måste analytisk dimensionering användas för att visa att föreskriften uppfylls (Brandteknik, 2017).

Tabell 1: Exempel på utformning av fönster i ytterväggar som vetter mot varandra eller placeras ovanför varandra i höjddled enligt Tabell 5:553.

Inbördes placering	Avstånd i m mellan fönster	Utformning av ytterväggar
Fönster i motstående parallella ytterväggar	< 5,0 ³ 5,0	Ett av fönster i klass E30 eller båda i E15 -
Fönster i innerhörn ¹	< 2,0 ³ 2,0	Ett av fönster i klass E30 eller båda i E15 -
Fönster placerade ovanför varandra i höjddled	< 1,2 ³ 1,2	Ett av fönster i klass E30 eller båda i E15



I samtliga fall ska ett av fönster utföras i klass E30 alternativt utförs båda i E15

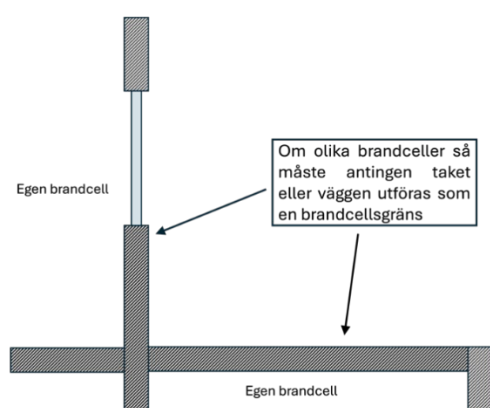
Figur 2: Skydd mot brandspridning via fönster i yttervägg.

Även ifall den sista raden i Tabell 1 avser fönster som ligger direkt ovanför varandra så bör det beaktas att en fönsterflamma luta (Brandteknik, 2017). Detta kan beaktas genom beräkningar enligt en speciell Eurocode standard (European Committee for Standardization, 2005). Ytterligare en aspekt som bör beaktas är närheten från ett fönster till ev. utvändigt utrymningsväg (t.ex. loftgång eller spiraltrappa).

¹ Om vinkeln i innerhörn är mindre än 60° gäller vad som anges för motstående parallella ytterväggar.

Fönster som är närmare än 2 m i sidled från en utvändig utrymningsväg ska utföras i lägst E30 och fönster som vetter direkt mot utrymningsväg måste normalt utföras i EI30.

När det gäller vägg invid lägre beläget tak måste antingen taket eller väggen utföras med aktuell brandtekniskklass ifall de utgör angränsande brandceller enligt BBR5:536 (se Figur 3). I det allmänna rådet till föreskriften anges att om taket utförs som brandcellsgräns, ska det ske med motsvarande brandmotstånd (REI) ut till 8 m från väggen. Om väggen utförs som brandcellsgräns, ska de ske i motsvarande brandmotstånd upp till 5 m över taket, men för fönster som utgör mindre än 20% av väggytan kan klass EW30 accepteras även om väggen (brandcellsgränsen) ska hålla en högre klass.



Figur 3: Skydd mot brandspridning mellan lägre beläget tak och vägg.

Enligt BBR gäller kravet endast för väggar och fönster direkt ovanför det underliggande taket. Flamman kan dock påverkas av vind och luta, vilket kan bli relevant om väggen är bredare än taket nedanför. Även värmestrålning i sidled från flammen kan ha en betydande inverkan. På grund av dessa faktorer kan det vara lämpligt att överväga en utökning av väggens brandcellsgräns i sidled (Brandteknik, 2017).

Brandspridning mellan byggnader

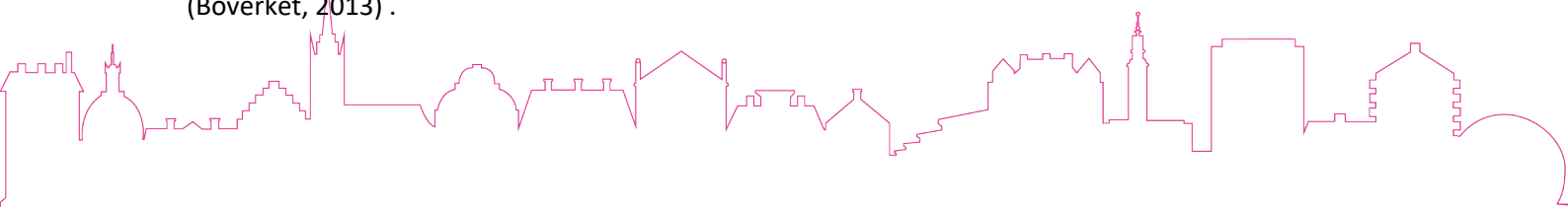
I BBR 5:61 framgår kraven på skydd mot brandspridning mellan byggnader. I föreskriften anges att:

Byggnader ska utformas med tillfredställande skydd mot brandspridning mellan byggnader.

Skydd mot brandspridning mellan byggnader uppnås antingen genom ett skyddsavstånd på minst 8 m eller genom avskiljande konstruktion. De allmänna råden i BBR anger ingen förenklad lösning för hur skyddet mot brandspridning mellan byggnader ska uppfyllas annat än att skyddet kan uppfyllas genom en kombination av skyddsavstånd och avskiljande konstruktioner. För utformningar som avviker från det allmänna rådet behöver analytisk dimensionering tillämpas.

Möjlighet till analytisk dimensionering

Det är möjligt att genom s.k. analytisk dimensionering visa på att funktionskravet uppfylls trots det att de allmänna råden ej följs. Om exempelvis avståndet mellan två byggnader är mindre än 8 m kan strålningsberäkning genomföras för att påvisa att den infallande strålning underskrider vissa gränsvärden. Beskrivning av analytisk dimensionering och förutsättningar för sådana beräkningar framgår av Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BBRAD) (Boverket, 2013).



Nya brandskyddsregler

Nya brandskyddsregler är på gång i Sverige och dessa föreslås träda i kraft i juli 2025, samtidigt upphävs motsvarande regler om säkerhet i händelse av brand i BBR. Reglerna kommer ha en övergångsperiod på ett år. I förslaget till den nya författningen finns funktionskrav som anger att byggnader ska vara utformade på ett sådant sätt att spridning av brand och brandgaser inom byggnaden begränsas i tillräcklig utsträckning med hänsyn till skyddsbehovet. Det finns även preciserade krav som i linje med vad som de allmänna råden i BBR5:553 anger (*Tabell 1* och *Figur 2*). Den beskrivning som getts ovan kommer därför fortsatt att vara aktuell. När det gäller brandspridning från lägre beläget tak återfinns liknande preciserade krav i utkastet till nya brandskyddsregler som i det allmänna rådet till BBR5:536. Dock återfinns inte kravet på att fönsterarean ska vara mindre än 20% för att fönster ska utföras i klass EW30.

När det gäller brandspridning mellan byggnader finns det skillnader mot tidigare BBR även ifall grundkravet på 8 m mellan byggnader kvarstår. När det gäller skydd mot brandspridning mellan byggnader via ett lägre beläget tak har det tidigare, enligt BBR, varit möjligt att tillämpa kraven för brandspridning mellan brandceller inom samma byggnad, baserat på det allmänna rådet till BBR 5:62. I det nya förslaget är detta inte längre tillåtet. Det innebär att brandteknisk klass för ovanförliggande fönster inte kan reduceras till EW30 när det rör sig om olika byggnader. När det gäller analytisk dimensionering så kommer BBRAD att sluta gälla i samband med att de nya brandskyddsreglerna träder i kraft. Beskrivning av tillvägagångssätt för analytisk dimensionering och förutsättningarna för det kommer dock att finnas i en ny standard för analytisk dimensionering av brandskydd som tas fram av SIS.

Akustik

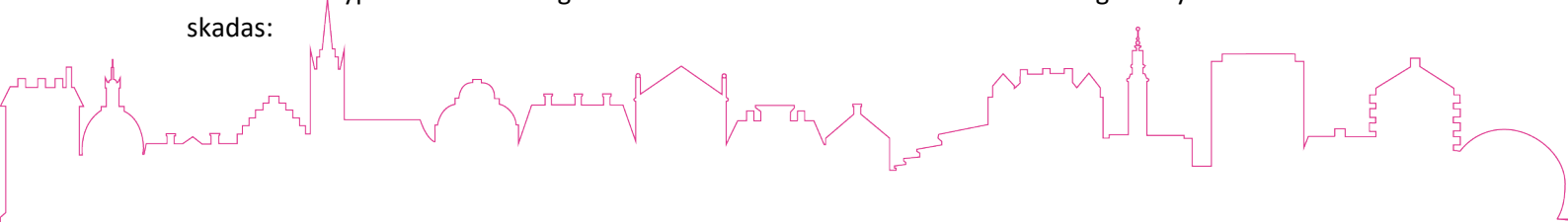
För att uppnå goda akustiska egenskaper vid renovering av klimatskalet i gamla kulturbyggnader finns det flera saker som måste beaktas. Den nya verksamheten i byggnaden ställer krav på fasadens sammanlagda akustiska ljudreduktion. Bostäder, framförallt sovrum, kräver speciellt hög ljudreduktion av klimatskalet. Detta är speciellt viktigt om byggnaden är placerad invid en trafikerad väg. Viktiga saker att beakta för att uppnå god ljudreduktion av klimatskalet är:

- Skapa ett tätt klimatskal. Otäta delar som ventilation och otäta fönster kan ge upphov till dålig ljudreduktion.
- Fönster har ofta mycket lägre ljudreduktion än fasaden. En gammal murad, tung, stomme ger oftast en god ljudreduktion.
- Hög ljudreduktion av fönster kan uppnås med akustikfönster (laminerat glas med akustikfolie) alternativt kan 3-glas isolerglasfönster användas på insidan.

Bärighet

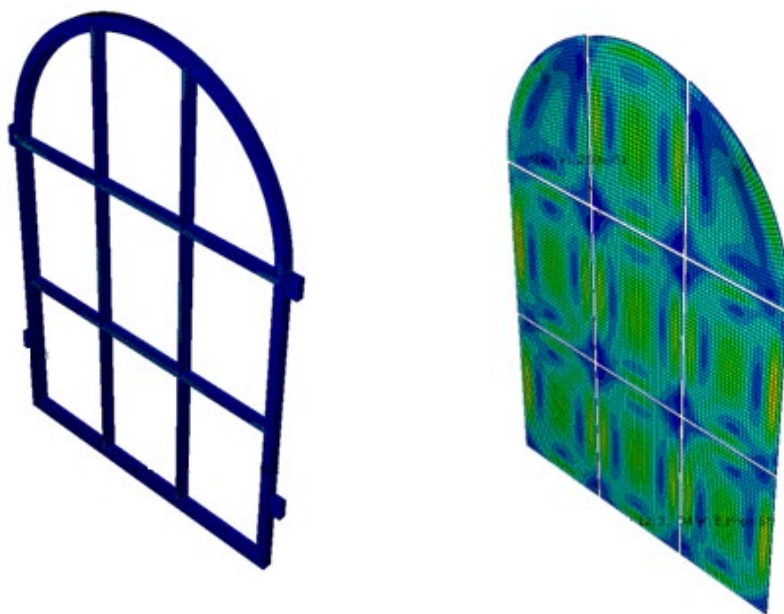
Det finns ett antal faktorer att beakta vid renovering och klimatförbättring av äldre gjutjärnsfönster så att dess hållfasthet och fortsatta livslängd inte påverkas negativt. Vid renoveringen av Magasin 211 tillsattes ett 2-glas isolerglas på insidan av ett befintligt spröjsat fönster med ram av gjutjärn. Glasen i det befintliga fönstret består av 2mm tjockt glas. Det yttre glasets är inmurat i fasaden och det inre nya 2-glas fönstret är monterat mot insidan av innerväggen med en gummilist.

Vid den här typen av renovering måste en del saker beaktas för att inte det gamla yttre fönstret ska skadas:

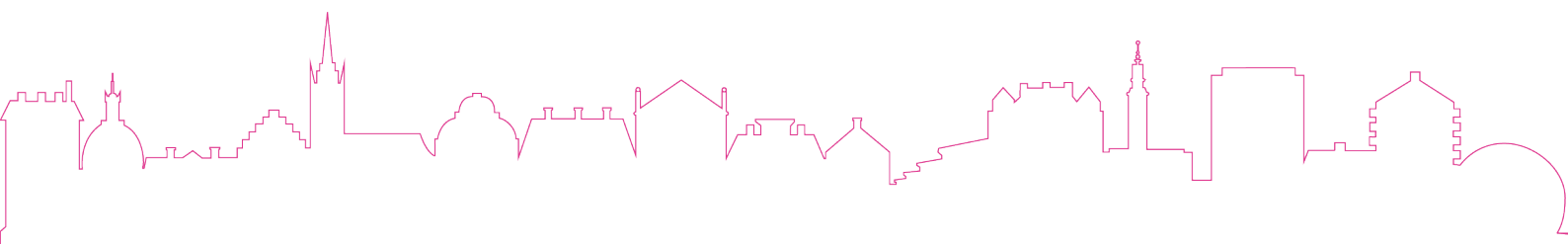


- Kaviteten mellan det gamla och nya fönstret måste vara ventilerad utifrån men tät inåt. Om varm, fuktig inneluft kyls av i kaviteten uppstår lätt kondens och hög luftfuktighet som även kan öka korrosionshastigheten i det gamla fönstret.
- Om det är en helt tät kavitet kan stora tryckskillnader utvecklas i kaviteten vid stora temperaturvariationer, speciellt vid en kall vinternatt då temperaturen i kaviteten kan sjunka från +20 grader till -20 grader vilket kan, vid gastät konstruktion, ge upphov till stora undertryck som medför att glaset kan spricka om tryckskillnaden i noll vid +20 grader.
- Detta fenomen är värst för små fönster som inte deformeras lätt, medan stora fönster lättare deformeras utan att stora krafter utvecklas. För vindlaster är dock ett större fönster utsatt för större laster än ett mindre fönster.
- Stora spaltbredder mellan det gamla och nya fönstret ger generellt högre tryckskillnader.
- Tester har visat att gammalt gjutjärn är ett mycket sprött material med stor variation av hållfastheten som kan vara känsligt för dragkrafter.

För att avgöra hållfastheten i gammalt gjutjärn kan oförstörande provningsmetoder för att upptäcka eventuella felaktigheter och svaga partier i materialet utnyttjas. En finita elementmodell har använts för att avgöra om det gamla gjutjärnsfönstret kommer att klara lasterna i dess nya sammanhang, där laster och klimatbelastning kan ändras. De finita elementberäkningarna utfördes med varierade vind- och klimatlaster. Resultatet visar att de gamla gjutjärnsfönsterna sannolikt inte kommer att ta skada av att det uppstår en del förändringar av lasterna på fönstret. Figur 4 redovisar resultat på båge och glaset för det gamla fönstret.

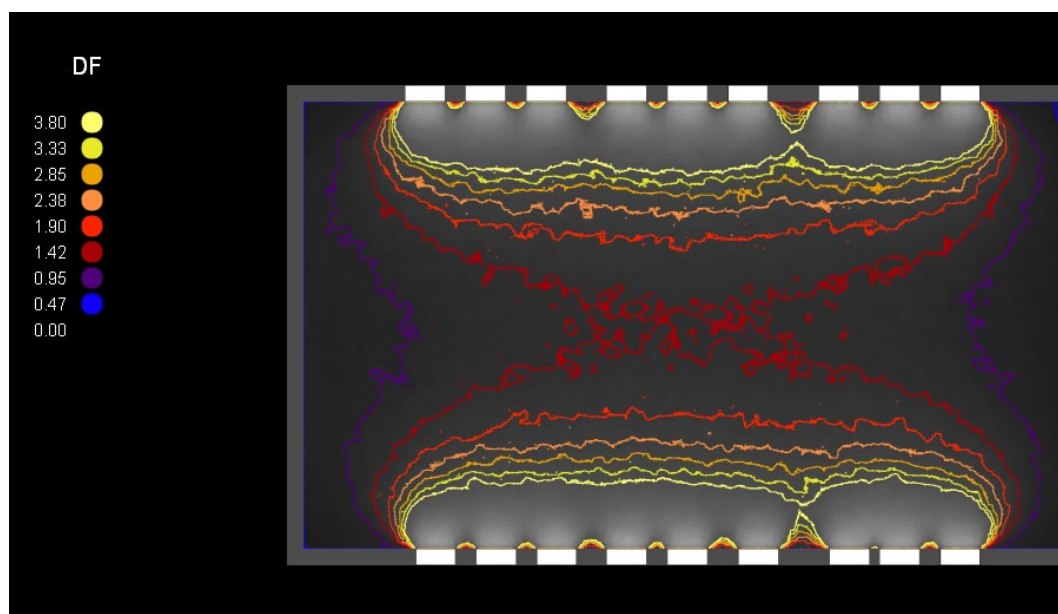


Figur 4: Beräkningsresultat på båge och glas för det gamla fönstret



Dagsljus

En dagsljussimulering av Magasin 211 visar att kontoren i byggnaden som ligger nära fönster har tillräckligt med dagsljus enligt gällande krav. Dock är det risk för lägre dagsljusnivåer (dagsljusfaktor < 1%) längre in i huset. Beroende på val av innerväggar kan detta leda till för låga förhållanden. Simulering av dagsljusfaktor med VELUX Daylight för en del av ett våningsplan utan mellanväggar visade däremot att det var tillräckligt med dagsljus i alla kontorsrummen, se Figur 5. Detta kan dock anses vara ett idealt fall eftersom innerväggar finns på olika placering på de olika våningarna. Det kontorsrum som analyserades i detta projekt har glaspartier som innerväggar, vilket ger goda ljusförhållanden.

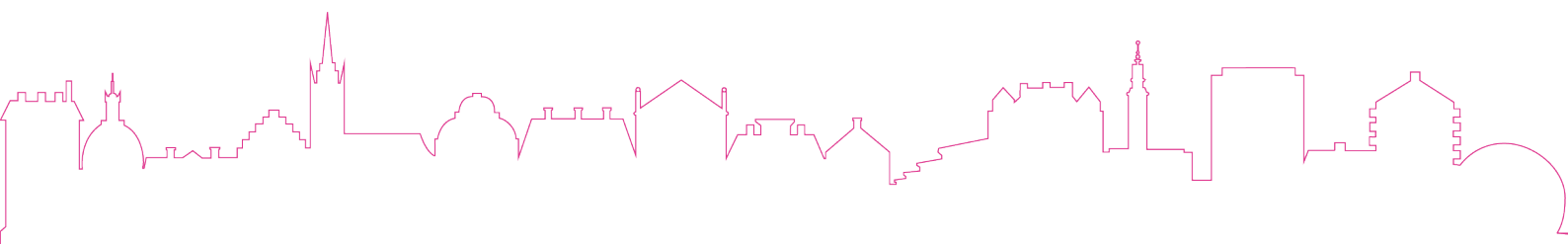


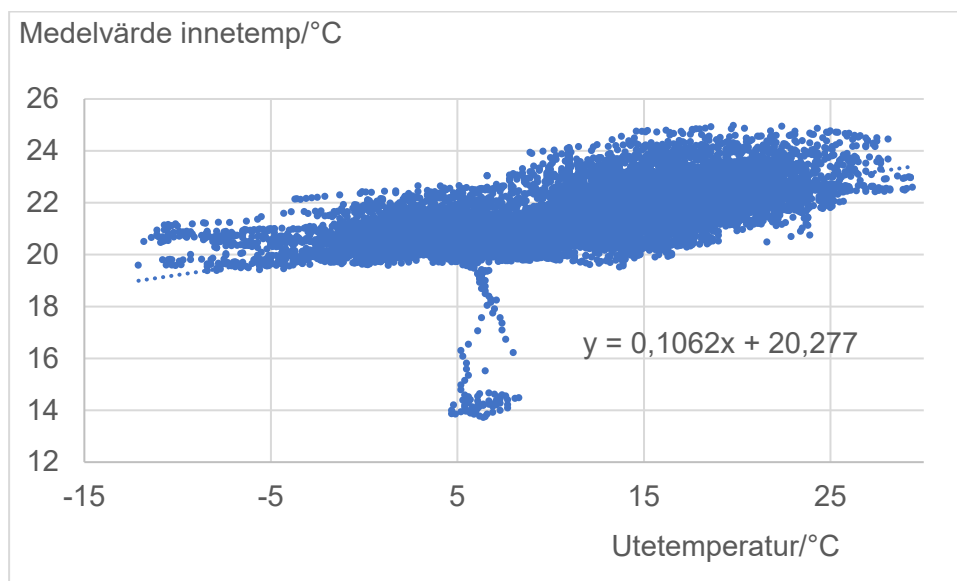
Figur 5: Dagsljussimulering kontorsrum

Inomhuskomfort

Innemiljön kan påverkas av fönsterlösningen då fönstren normalt har betydligt högre U-värden än väggar, traditionellt en knapp tiopotens högre, vilket kan leda till låga ytemperaturer och kallras. Samtidigt släpper fönstren in solstrålning som leder till internlast och kan leda till övertemperaturer eller kylbehov. Den kassett som monterats i Magasin 211 anges teoretiskt leda till både lågt U-värde och lägre g-värde, alltså låga transmissionsförluster och mindre internlast från solinstrålning, vilket bör resultera i en god inomhusmiljö för brukaren.

För att praktiskt säkerställa det teoretiska antagandet mättes temperatur, relativ fuktighet och koldioxidkoncentration i 11 stycken rum spridda på olika våningar och platser i byggnaden. Rummen där mätning utfördes användes som kontorsplatser eller mötesrum. Tidvis under mätperioden har delar av rummen varit oanvända på grund av byte av hyresgäster. Mätningarna gjordes var femte minut och medelvärdesbildades för varje timme. Figur 6 visar medelvärdet av innetemperaturen som funktion av utetemperaturen. Det förekommer så gott som inga temperaturer över 25 °C.





Figur 6: Medelvärde avseende uppmätt inomhustemperatur som funktion av utetemperaturen

Solvärmelast

Då byggnaden endast har invändig solavskärmning är det av intresse att se hur solvärmelast genom fönster påverkar inomhustemperaturen. Resultatet från mätningarna påvisar inget tydligt samband mellan innetemperatur och solstrålning. Slutsatsen som kan dras baserat på dessa mätningar är att inneklimatsystemen verkar kunna ge de värme- och kyleffekter som behövs och att solvärmelast genom fönster har inte någon betydande påverkan på inomhustemperaturen.

Relativ fuktighet rumsluft

En annan viktig aspekt för en god inomhuskomfort är luftens relativa fuktighet. Ligger luftfuktigheten på normala nivåer, dvs mellan 20 – 70% har det mindre påverkan. Över 70% relativ luftfuktighet försämrar möjligheten till värmeavgivning från kroppen och arbetsprestationen kan bli lägre. Om luftfuktigheten ligger under 20% kan det upplevas en torrhet i ögon och hals (Boverket, 2024:2). Mätningarna visar en relativ luftfuktighet som varierar med utetemperaturen, låg på vintern och hög på sommaren. På vintern blir det ganska låg relativ fuktighet, vilket är normalt men möjligen oönskad ur hälsosynpunkt. Uppmätt varaktighet i Magasin 211 för en relativ luftfuktighet under 20% är liten, likaså för en relativ luftfuktighet över 70%.

Koldioxidhalt rumsluft

I arbetsmiljöföreskrifter anges att arbetsplatser ska ha ett ventilationssystem som behövs för att luftkvaliteten ska vara tillfredställande (AFS 2020:1). Arbetsmiljöverket anger att det finns ingen officiell definition på vad som är tillfredställande luftkvalitet. Det kan vara svårt att mäta de föroreningar som finns i inomhusluften. Istället kan koldioxidhalten mätas, som kan påvisa om ventilationsflödena är tillräckliga. Koldioxidhalten fungerar bäst som indikator i rum där golvytan per person är liten, såsom konferensrum. I rum med större yta per person, som i vissa av lokalerna i Magasinet, är koldioxidmätning inte det bästa sättet att mäta om ventilationsvolymerna är tillräckliga. I denna typ av rum kan föroreningar som avges från byggmaterial och möbler större betydelse. I den här studien används koldioxidmätning i alla våningsplan för att få en likartad mätning. Ett vanligt gränsvärde för koldioxidhalt i rumsluft är 1000 ppm. Över detta gränsvärde anses luften behöva

vädras, för att de som arbetar i lokalerna ska kunna upprätthålla koncentrationsförmågan. Resultatet visar att det sällan är en uppmätt koldioxidnivå över 700 ppm någonstans i de mätta rummen och medelvärdet är sällan över 600 ppm, vilket indikerar överventilation i förhållande till antalet personer som vistas i lokalerna. Det går å andra sidan inte med denna mätning att veta om det förekommer andra ämnen och föroreningar som kräver ett högre luftflöde än för enbart koldioxidkoncentration. Gränsvärdet på 1000 ppm uppnås inte vid något mättillfälle. Det finns så gott som inget beroende av utomhustemperaturer för uppmätta koldioxidhalter. Om byggnaden läcker mycket på grund av termik borde temperaturen och koldioxidhalten ha ett tydligare påverkanssamband. Resultatet kan därför indikera ett tätt klimatskal. Om byggnaden hade varit mycket otät skulle resultatet visat en lägre koncentration koldioxid i inomhusluften vid högre vindhastighet. Detta är i dessa mätningar inte fallet, vilket ytterligare bekräftar att klimatskalet har hög lufttäthet.

Täthetsprovning

Ett konferensrum på plan 2 valdes för täthetsmätning, där tre fönster vetter utåt och ett nybyggt glasparti avgränsar rummet inåt. En ram monterades för innerdörren där en textil dörr med varvtalsreglerad fläkt monterades. Inga fönster kunde öppnas mot uteklimat i byggnaden utanför konferensrummet. Det antogs därför att det gick att utgå från att rummet utanför var mycket stort.

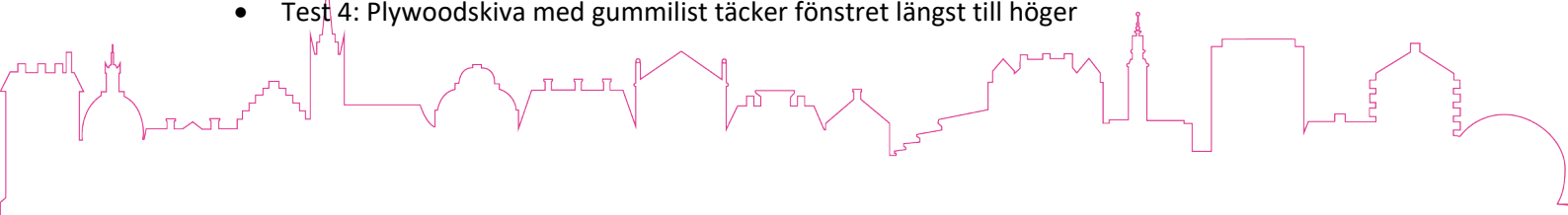
Vid genomgång av fönsterkonstruktionen innan mätning påbörjades upptäcktes att den inre rutan ej var helt fastskruvad. De skruvar som fäster fönsterkassetten mot karmen var inte åtskruvade. Det var ett tydligt kallras i rummet och det hade bildats frostkristaller på insidan av det blyinfattade glaset, se Figur 7. Innan täthetsprovningen påbörjades åtgärdades denna otäthet i alla fönster.



Figur 7: Frostbeläggning på insidan av de yttre fönstren

Fyra tester genomfördes, med syftet att undersöka tätheten över fönsterkonstruktionen.

- Test 1: Grundfall med stängda fönster
- Test 2: Innerrutan i fönstret längst till höger öppet
- Test 3: Innerrutan i mittfönstret öppet
- Test 4: Plywoodskiva med gummilist täcker fönstret längst till höger



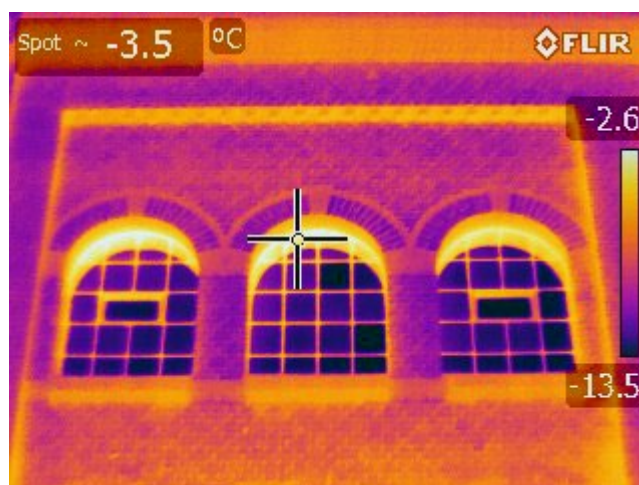
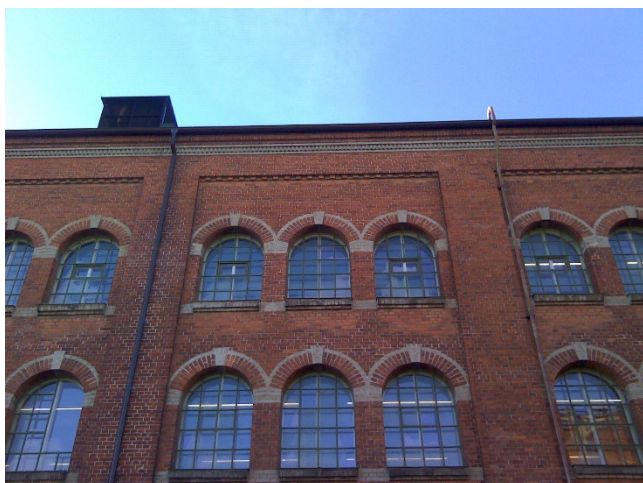
Mätningarna visar följande luftflöden vid trycksättning på 50Pa:

- Test 1: $q_{50} = 78 \text{ l/s}$
- Test 2: $q_{50} = 78 \text{ l/s}$
- Test 3: $q_{50} = 78 \text{ l/s}$
- Test 4: $q_{50} = 75 \text{ l/s}$

Differensen mellan test 1 och test 2 visar hur stor andel som läckte genom inner- respektive ytterdel av fönstret. Då det inte gick att mäta någon skillnad, antas att den yttre fönsterkonstruktionen är tät. Differensen mellan mätresultatet i test 1 och test 4 visar en skillnad på 3 l/s vid en tryckskillnad på 50 Pa. Eftersom de första mätningarna har samma mätresultat, oavsett om den inre fönsterkassetten är öppen eller stängd, kan skillnaden i luftflöde när en tät skiva monteras på insidan av fönstret indikera att den uppmätta luftmängden läckte genom den nymonterade fönsterkassetten. Resultatet från täthetsmätningen visar dock att fönsterkonstruktionen totalt sett är mycket tät även om den inre kassetten har ett visst läckage.

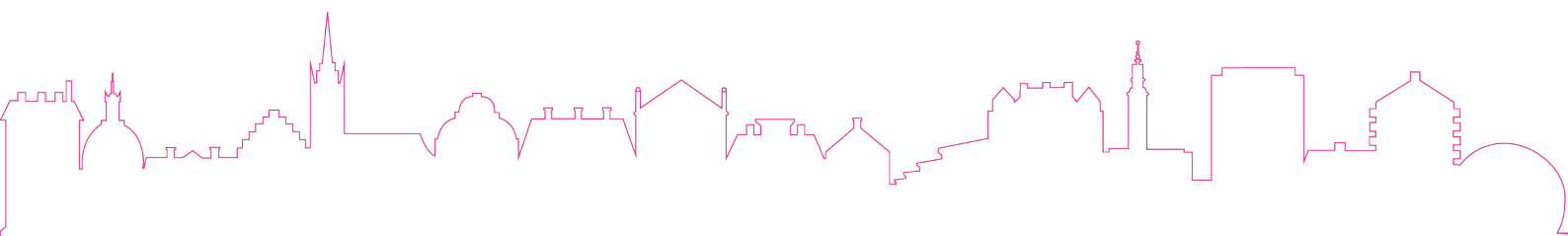
Termografering

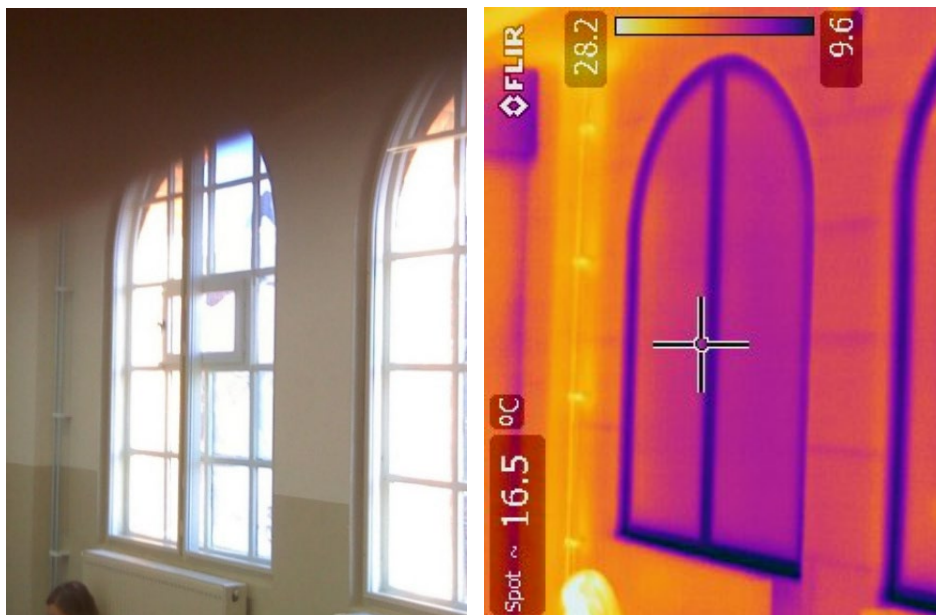
Termografering av fönstren utfördes i samband med täthetsprovningen. Temperaturen utomhus vid mättillfället var -6°C och svag vind. Figur 8 visar termografering av utsidan av fönster och fasad.



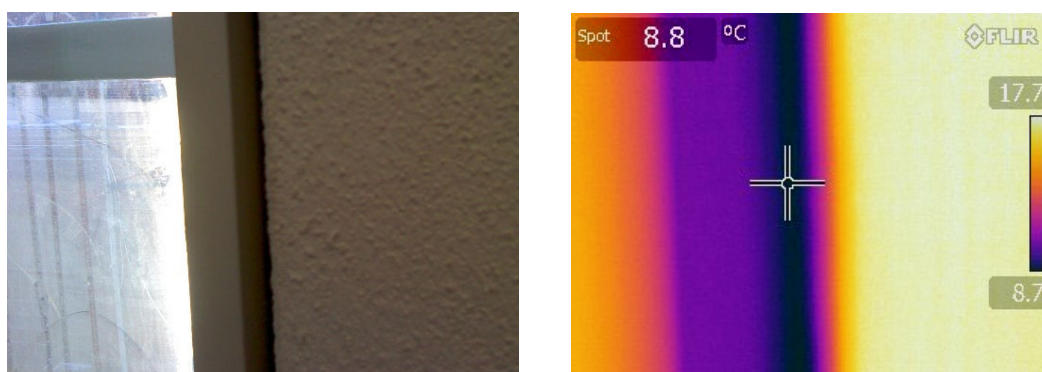
Figur 8: Termografering av fasad från utsidan

Figur 9 och Figur 10 visar termografering av insidan av fönstren i det rum där täthetsprovning utfördes. Här syns tydligt att fönstrets stålbåge ger upphov till köldbryggor med hög värmeledning som försämrar fönstrets U-värde.





Figur 9: Termografering av fönster från insidan



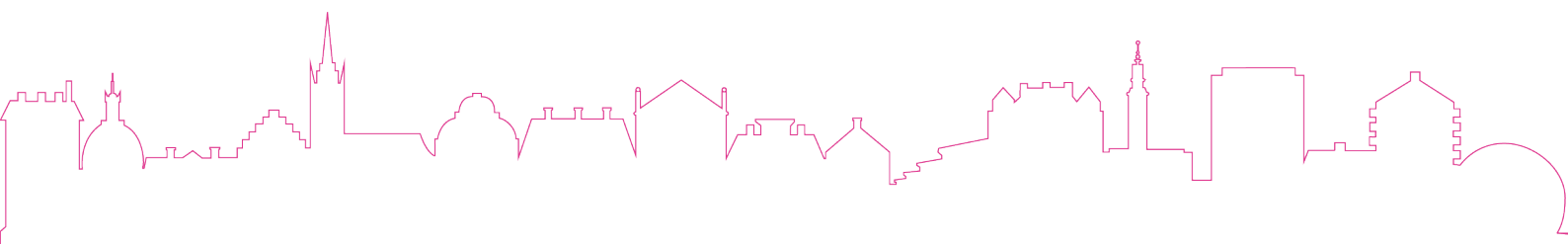
Figur 10: Termografering av detalj av fönstren från insidan

Mätning energiprestanda fönsterkassett i Hotbox

Fönsterrenoveringen genomfördes genom att infoga en tvåglas isolerruta på insidan av de befintliga fönstren. Märkningen på isolerpaketet visar att uppbyggnaden är 4 mm floatglas, 12 mm spalt fylld med Argon och en 4 mm lågemissionsruta (FL4/12CH.ULT7035/TH1.1 4 Ug=1,28 Ar Lt=80 G=62). Glasets U-värde var enligt märkningen $1.28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ljustransmissionen 80% och total solenergitransmission (g-värde) 62%. Det framgår inte av tillverkaren (Press Glas) exakt vilken beläggning som använts, men genom att jämföra med Pilkingtons beräkningsprogram är det förmodligen en mjuk silverbaserad beläggning.

Om hänsyn tas även till den yttre rutan blir den beräknade energiprestandan för glasdelen:

- U-värde $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Ljustransmission 75%
- Total solenergitransmission (g-värde) 60%



Dock förmodas den yttre (befintliga) rutan läcka något så U-värdet blir något högre. Det totala U-värdet för fönstret kommer även att bli högre på grund av karm och båge. Dessa faktorer uppskattas sammanlagt ge U-värden som är 8% högre, dvs:

- $U_{\text{fönster}}$ (isolerpaket) $1,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_{\text{fönster}}$ (isolerpaket + yttre ruta) $1,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

För att verifiera tillverkarens prestanda gjordes en sk guarded Hotboxmätning. Denna utfördes på LTH, i V-husets lab, på en fönsterkassett som blivit över vid produktionen. Hotboxmätningen utfördes därför utan den tredje, befintliga, fönsterrutan. Mätningen utfördes med utgångspunkt från standard ISO 8990 för mätning med guarded hotbox och SS-EN ISO 12567-1:2010 för mätning av U-värde för fönster och dörrar. Mätmetodens princip illustreras i Figur 11 tillsammans med en bild på mätningen av fönsterkassetten.

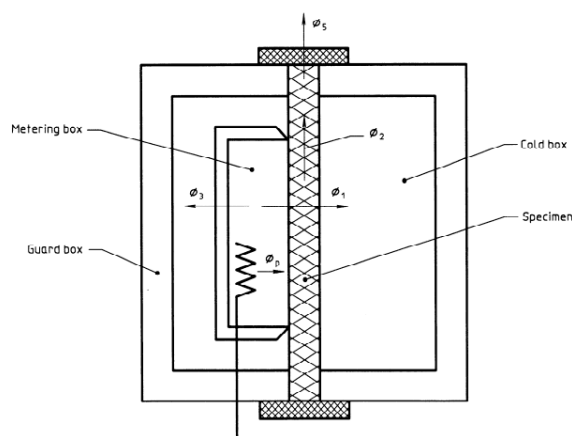


Figure 1 — Guarded hot box



Figur 11: Principbild hotboxmätning samt foto av mätningen av fönsterkassetten

Mätningen gjordes med en temperaturskillnad på 20°C , dvs 20°C på varma sidan och 0°C på den kalla. Den totala effekten uppmättes över fönster och vägg. Väggen bestod av 100 mm cellplast och 13mm gips med ett U värde på $0,443 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. U-värdet för fönstret kunde enkelt beräknas baserat på uppvärmningseffekten och vägg och fönsterarea. Glas U-värdet var däremot mer komplicerat då U-värdet för karmen och påverkan av distanslisten mellan rutorna behövde uppskattas. Eftersom glasarean var $2,23 \text{ m}^2$ och karmarean $0,35 \text{ m}^2$ så bedöms dock beräkningen vara med en noggrannhet på 5%.

Resultatet från hotboxmätningen visar att fönsterkassetten prestanda är:

- $U_{\text{fönster}}$ (inklusive karm och båge) $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- U_{glas} $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Detta är relativt nära de U-värden som redovisas av tillverkaren.

Energianvändning

Det förväntade energibehovet beräknades som en del av förfrågningsunderlaget av extern konsult. Programvaran IDA-ICE användes för beräkningen. Det beräknade resultatet redovisas i Tabell 2. Det är okänt vilka primärenergifaktorer som användes i beräkningen, vilket gör att det ej går att fastställa varför det beräknade specifika energibehovet är lika som primärenergibehovet för vissa poster.

Beräkningen utfördes 2018, vilket relaterar till BBR 25. I denna version av BBR är primärenergikravet (EP_{pet}) för lokalbyggnader $80 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$. Det anges även att om kravet på primärenergianvändning ej kan nås vid ändring av byggnad ska U-värden för klimatskärmen eftersträvas. För fönster är U-värdet som ska eftersträvas $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$. I beräkningen har U-värde $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$ använts för fönstren.

Tabell 2: Beräknad energiprestanda för Magasin 211 (AFRY/Varvsstaden)

	Specifik energianvändning/ (kWh/m ² ·år)	Primärenergital/ (kWh/m ² ·år)
Värme	90,4	113,0
Varmvatten (inkl VVC)	4	4
Kyla	14,4	14,4
Fastighetsel	18,6	29,8
Marginal (10%)	12,7	16,1
Totalt	140,2	177,4

Den uppmätta energianvändningen för Magasin 211 redovisas i tabell 3. Under 2024 har mätning av kyla ej fungerat. Endast total värme har mätts, dvs undermätning för varmvatten saknas.

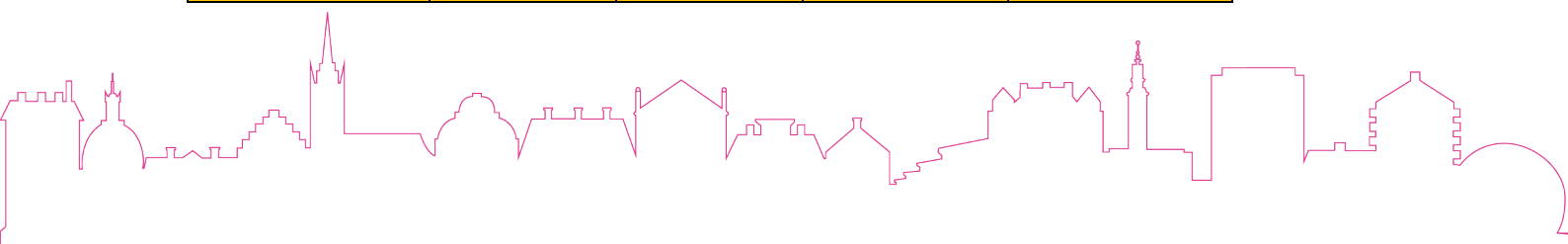
Tabell 3: Uppmätt energianvändning Magasin 211 (Varvsstaden)

	Uppmätt energianvändning (kWh/m ² ·år)			
	2021	2022	2023	2024
Värme	74	72	69	71
Kyla	20	24	24	
Fastighetsel	18	19	21	21
Totalt	111	114	113	

Byggnaden är ansluten till fjärrvärme, med primärenergifaktor 0,7, samt till fjärrkyla med primärenergifaktor 0,6, i enlighet med gällande byggregler (Boverket 2024:3). Uppmätt energi omräknad till primärenergi redovisas i tabell 4.

Tabell 4: Primärenergital Magasin 211 (Varvsstaden)

	Primärenergi (kWh/m ² ·år)			
	2021	2022	2023	2024
Värme	52	50	48	49
Kyla	12	14	14	
Fastighetsel	32	34	37	38
Totalt	96	99	100	



Byggnaden har ett primärenergital som är 20 – 25% högre än nyproduktionsnivån. Detta ger en energiklassning motsvarande nivå D enligt dagens gradering (Boverket 2024:4), dvs EP är $> 100 - \leq 135$ procent av kravet för en ny byggnad.

5. DISKUSSION

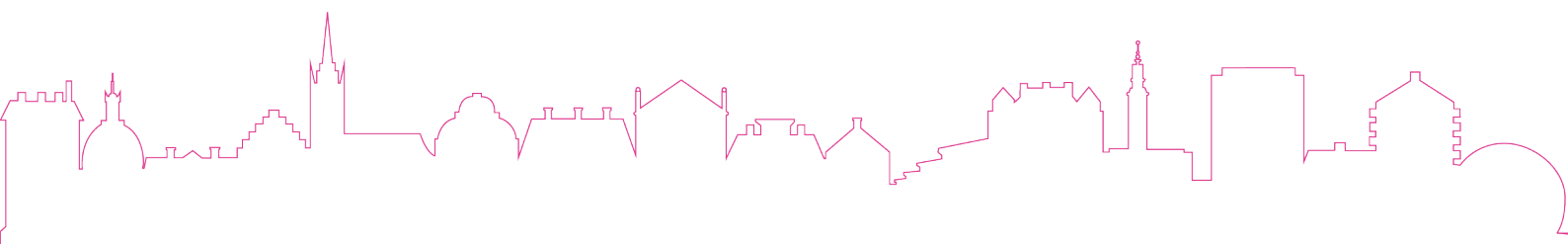
Den varsamma transformation som Varvsstaden genomför är en stor inspirationskälla. Många av de lösningar som där genomförs kan dupliceras i liknande projekt, även då kulturvärdet inte är lika starkt. Den fönsterlösning som valts för Magasin 211 har i denna studie framkommit som mycket god, där yttre kulturvärde bevarats samtidigt som energiprestandan ökat avsevärt. Eftersom lösningen är demonterbar, kan ändringar utföras om det skulle behövas, utan att göra åverkan på övriga lager i byggnaden.

Att minska energibehovet i den befintliga bebyggelsen är en nyckel för ett hållbart och resilient energisystem och lyfts särskilt fram i direktivet om byggnaders energiprestanda, EPBD. För att nå de där satta skarpa målen avseende energieffektivisering, behöver byggnaders energiprestanda förbättras. Då fönster ofta är en av de delar som har stor förbättringspotential är byte av fönster en mycket vanlig åtgärd för att öka energiprestandan i den befintliga bebyggelsen. Att byta fönster har dock en stor påverkan på byggnaders kulturvärde och produktion av nya fönster innebär förbrukning av naturresurser, betydande energianvändning och bidrar till stor klimatbelastning. Genom att istället energieffektivisera befintliga fönster skapas goda förutsättningar att minska energianvändningen med bibehållen komfort. Dessutom bevaras kulturvärden och generering av avfall minskar.

Metoden som använts för att energieffektivisera fönstren i Magasin 211 är tillämpbar både nationellt och internationellt. Genom att utgå från den utvärderingsmetodik som gjorts i denna studie kan kvaliteten säkras och den nya fönsterkonstruktionen bli långsiktigt hållbar. Vissa delar av utvärderingen är komplex och omfattande. Då detta varit en del av verifieringen av lösningen behöver inte dessa ingå i framtida verkliga projekt. Det rekommenderas dock att täthetsprovning av den färdiga konstruktionen utförs för att säkra att monteringen utförts på ett korrekt sätt.

Det finns risk för sprickbildning om vindlasterna på den befintliga konstruktionen ändras. Då det i ett framtida förändrat klimat troligtvis kommer att förekomma kraftigare och mer frekvent vindlast kan detta påverka uppkomsten av sprickor i äldre fönster. Det hade varit intressant att i framtida forskning utvärdera hur den framtagna lösningen står sig i ett förändrat yttre klimat.

En stor del av den köpta energin i Magasin 211 används till kyla. Då energikällan för kyla i detta projekt är fjärrkyla har det en låg klimatbelastning och ett lågt primärenergital. I ett mer generellt perspektiv hade det varit intressant att fördjupa sig i det något höga uppmätta kylbehovet och analysera de börvärden som är inställda. En kombinationsanalys av solskyddets användning, möjlig automatisering och minskat kylbehov hade även det varit mycket intressant ämne i framtida forskning.



6. SLUTSATSER

Energieffektivisering av den befintliga bebyggelsen är en av de viktigaste åtgärderna för att minska branschens miljöpåverkan. Det är ytterst viktigt att effektiviseringsåtgärder utförs utifrån byggnadens och brukarnas behov. Åtgärderna bör ta hänsyn till många olika aspekter, såsom energieffektivisering, hög inomhuskomfort, hög brandsäkerhet och ej ge upphov till konstruktionsmässig försämring av den befintliga konstruktionen. Dessutom bör åtgärderna utföras på ett sätt så att klimatbelastningen blir så låg som möjligt över åtgärdens hela livscykel.

För byggnader med högt kulturvärde är fönstren ofta en mycket viktig del att bevara. Samtidigt är fönstren den konstruktionsdel som oftast har sämst energiprestanda. Att energieffektivisera fönster i kulturhistoriskt värdefulla byggnader bör utföras varsamt och vara reversibla för att kunna återställa byggnaden till ursprungligt skick.

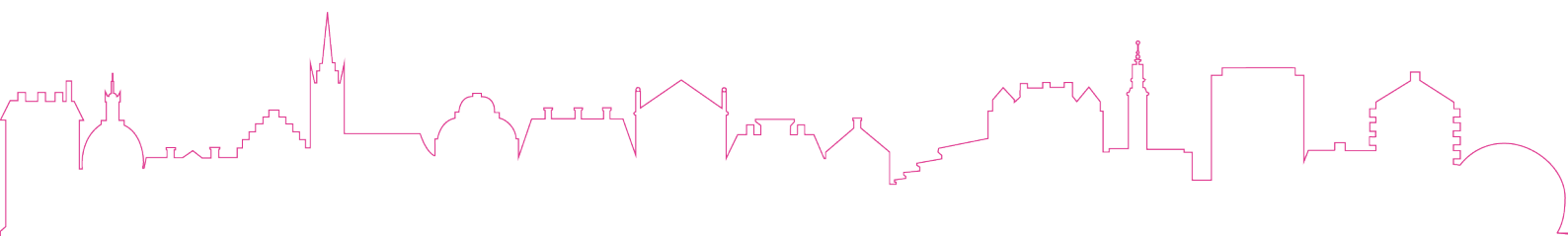
Detta projekt analyserar den energieffektivisering som utförts av de kulturhistoriskt värdefulla fönstren i Magasin 211, en del av Varvsstaden i Malmö. Analysen inkluderar mekaniska och akustiska aspekter, brandskydd, energiprestanda, dagsljus och inomhuskomfort.

Vid renoveringen av Magasin 211 tillsattes ett 2-glas isolerglas på insidan av ett befintligt spröjsat fönster med ram av gjutjärn. Glasen i det befintliga fönstret består av 2mm tjockt glas. Det yttre glaset är inmurat i fasaden och det inre nya 2-glas fönstret är monterat mot insidan av innerväggen med en gummilist.

Den renovering av fönster som utförts på Magasin 211 är en mycket god lösning och resultaten från studien visar på hög inomhuskomfort, lågt energibehov för värme, dagsljuskrav nås, utvändiga kulturvärden bevaras och lösningen är reversibel. Då byggnadens fasad ej utgör en brandcellsgräns krävs ej förstörande prover av befintliga fönster för att säkra brandskyddet. Men skulle så varit fallet hade problematiken möjligen kunnat lösas genom att brandklassa den invändiga isolerglasrutan. Mätningen av U-värdet på fönsterkassetten indikerar dock att U-värdet var något högre än det som utgavs av tillverkaren. Den valda lösningen kan användas för energieffektivisering av fönster i den befintliga bebyggelsen, primärt där det finns en djup fönstersmyg att montera kassetten i.

Dock rekommenderas en liten justering av den valda metoden i framtida renoveringar. Byggnaden har efter renovering en tät fönsterkonstruktion. Detta bekräftas både genom täthetsprovning och i mätningarna av inomhuskomfort. Det finns en konstruktionsmässig risk med detta, då det kan ge upphov till sprickbildning. Risken är större för mindre fönster, då ett undertryck kan uppstå i kaviteten, med sprickor i glaset som följd. Den täta konstruktionen ger också risk för korrosion av den befintliga gjutjärnskonstruktionen, då varm fuktig luft kan läcka inifrån och kondensera på den yttre kalla rutan. Ett litet luftläckage i det yttre fönstret kan motverka sprickbildning och korrosion och rekommenderas därför att adderas i framtida renoveringar där metoden från Magasin 211 används.

Mätningarna visar också att energianvändningen för kyla är högre än beräknat. Det invändiga solskydd som är monterat i Magasin 211 skulle kunna kompletteras med automatik, för att säkra att det används då det behövs. En annan slutsats är att då den uppmätta inomhuskomforten är mycket god skulle börvärdet för kyla kunna justeras något. En utökad styrning av kylsystemet skulle kunna minska kylbehovet med bibehållen komfort.



7. PUBLIKATIONSLISTA

Renovering av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse med hänsyn till energieffektivisering.

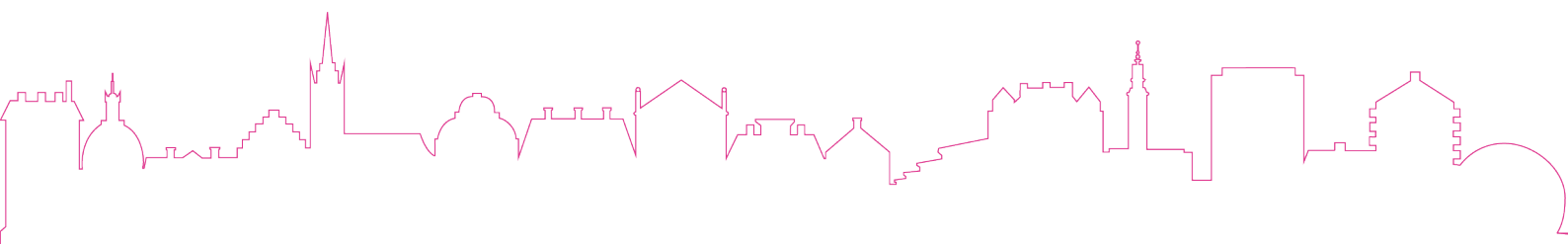
Examensarbete av Sunisa Knutsson, 2023. Rapportnummer TVBH-5127.

ISRN LUTVDG/TVBH—5127—SE(93) <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9125671/file/9125685.pdf>

Arvet efter varvet – fönstrens viktiga roll vid bevarande av Kockums kulturvärde, minskat energibehov och god inomhuskomfort. Vetenskaplig rapport, 2025. Rapportförfattare: Ulla Janson, Nils Johansson, Dennis Johansson, Kent Persson, Petter Wallentén. Rapportnummer TVIT-24/7133

Arvet efter varvet. Problematik med brandspridning vid återbruk av fönster. Vetenskaplig rapport, 2024. Rapportförfattare: Nils Johansson och Carin Davidsson. Rapportnummer: 3272.

ISRN:LUTVDG/TVBB—3272--SE



8. REFERENSER

Boverket (2013) Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, Karlskrona.

Boverket (2024:1). Direktiv för byggnaders energiprestanda.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/direktiv-for-byggnaders-energi-prestanda/> Hämtad 2025-02-07

Boverket (2024:2). Luftfuktighet, luft rörelser och drag.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/termiskt-klimat/matning-termisk-komfort/luftfuktighet-luftrorelser-drag/> Hämtad 2025-02-13

Boverket (2024:3) Boverkets föreskrifter om ändring av Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd. BFS 2024:14, BBR 31.

Boverket (2024:4). Energideklarationens innehåll.

<https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/energideklarationens-innehall/> Hämtad 2025-02-13

Boverket (2025). Miljöindikatorer. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/> Hämtad 2025-02-07

Brandteknik (2017) Brandskyddshandboken, Lund.

European Committee for Standardization (2005). Design of steel structures, Part 1–2: General rules—structural fire design. Eurocode 3. Brussels.

Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J. och Erlandsson, M (2023), *Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader*. Version 3, 2023. KTH Skolan för Arkitektur och Samhällsbyggnad, ISBN: 978-91-8040-754-0.

Hiemstra, H. (2016), Influence of Building Structure and Building Content on Residential Fires, report 5520, Avdelningen för brandteknik, LTH, Lund.

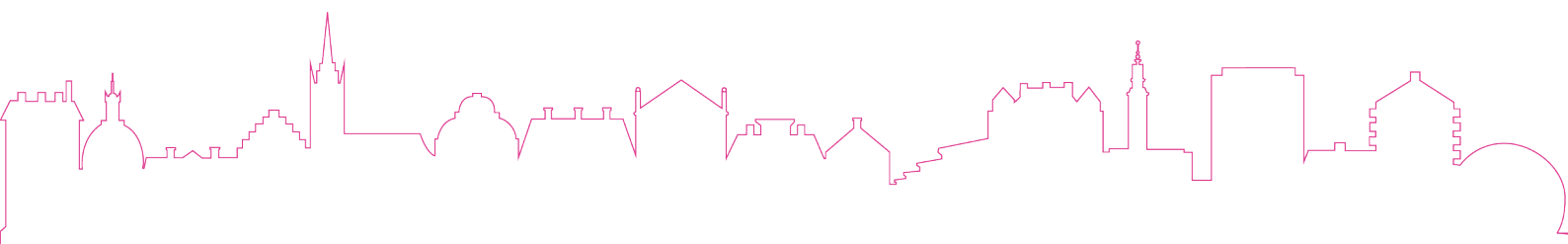
Janson, U., Farsäter, K., Fransson, V., & Johansson, D. (2022). Riva, cirkulera, bygga nytt eller renovera? Energianvändning i hela livscykeln. Slutrapport Energimyndigheten.

https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/123169183/Slutrapport_Riva_cirkulera_bygga_nytt_eller_renovera_Dnr_2019_023739.pdf

Johnsson, E. och Zander, R. (2020) *Klimatutsläpp inom byggservice*. Examensarbete Lunds Tekniska Högskola, TVIT-20/5073 <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9020220/file/9020243.pdf>

Stålhammar, K och Ignell, M. (2024) *Klimatpåverkan av energieffektivisering genom installation av isolerruta och nytt fönster i kulturhistorisk byggnad - En jämförelse av byggskedet (A1-A5) och driftskedet (B6)*. Examensarbete Lunds Tekniska Högskola, TVIT-24/5103.

<http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9164206/file/9164213.pdf>



Svenska Institutet för Standarder (2020), Provning av brandmotstånd - Del 1: Allmänna krav, SS-EN 1363-1:2020.

Malmö stad (2014). Planprogram. [Elektronisk resurs]. Tillgänglig:

[https://malmo.se/download/18.760b3241144f4d60d3b732d/1491305331047/Utvecklingsplan%20Varvsstaden%20\(2014\).pdf](https://malmo.se/download/18.760b3241144f4d60d3b732d/1491305331047/Utvecklingsplan%20Varvsstaden%20(2014).pdf)

Malmö stadsbyggnadskontor (2011). Planprogram Varvsstaden, Pp6030 [Elektronisk resurs].

Tillgänglig:

[https://malmo.se/download/18.24cd1b3f140824774577182/1491305423460/Planprogram%20Varvsstaden%20\(2011\).pdf](https://malmo.se/download/18.24cd1b3f140824774577182/1491305423460/Planprogram%20Varvsstaden%20(2011).pdf)

Riksantikvarieämbetet (2024) *EU-direktivet för byggnaders energiprestanda och vårt byggda kulturarv*. <https://www.raa.se/samhallsutveckling/hallbar-samhallsutveckling/eu-direktivet-for-byggnaders-energi-prestanda-och-vart-byggda-kulturarv/>

EU (2024) https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401275

AFS 2020:1 <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-afs-20201-foreskrifter/>

WSP (2020) Brandskyddsbeskrivning Magasin 211 - Om- och tillbyggnad kontor, Malmö.

