

Strength analysis of rebuilt windows in historical buildings by the FE-method

Examensarbetare: Zuha Alshaar

Maskin- och monteringshallen i Varvsstaden i Malmö är en del av det tidigare Kockumsområdet, som under 1900-talet var en av stadens viktigaste industrimiljöer. Här byggdes fartyg som exporterades över hela världen, och området kom att spela en central roll i Malmös industriella utveckling. Hallen uppfördes 1912 och är idag ett kulturhistoriskt värdefullt industriminne som bevaras inom ramen för områdets omvandling från varvsindustri till nya verksamheter och arbetsplatser. En viktig del av byggnadens karaktär är de stora gjutjärnsfönstren från byggnadstiden. Dessa fönster ger fasaden dess uttryck och är därför bevarade i samband med ombyggnaden. När historiska fönster integreras i en modern byggnad förändras dock deras lastförutsättningar. I hallen installeras ett nytt invändigt fönster bakom det ursprungliga, vilket innebär att konstruktionens mekaniska beteende påverkas trots att utseendet förblir oförändrat.

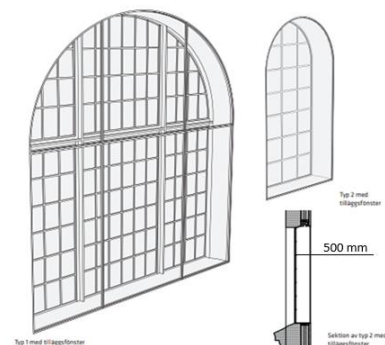
Det nya innerfönstret skapar en luftspalt (kavitet) mellan det gamla och det nya glaset. Om denna luftspalt är tät kan temperaturförändringar och variationer i atmosfärstrycket ge upphov till tryckskillnader som belastar det historiska glaset. Dessa laster fanns inte i den ursprungliga konstruktionen. I kombination med vindlast kan de leda till ökade spänningar och deformationer i både glaset och gjutjärnsramen. Tillräckligt höga dragspänningar i det spröda historiska glaset kan i värsta fall orsaka sprickbildning.

Syftet med arbetet är att undersöka hur lastförutsättningarna för historiska gjutjärnsfönster förändras när ett nytt invändigt fönster installeras, samt att analysera vilka faktorer som styr deras mekaniska respons. Särskild vikt läggs vid samspelet mellan vindlast, temperaturvariationer och förändringar i atmosfärstrycket, eftersom dessa tillsammans kan ge upphov till nya och tidigare obefintliga lastkombinationer.

För att analysera detta har två representativa fönster från Maskin- och monteringshallen, ett mindre och ett större fönster studerats med hjälp av finita elementmetoden. De numeriska modellerna har utformats för att efterlikna fönstrens geometri och materialegenskaper. Fönstrens beteende vid belastning har utvärderats både före och efter installationen av det invändiga fönstret, med målet att identifiera kritiska lastfall, spänningskoncentrationer och särskilt utsatta områden i glas och ram.



Det stora historiska fönstret på Maskin- och monteringshallens södra fasad. Foto: Varvsstaden AB. Publicerat med tillstånd via e-post den 13 oktober 2025.



Det invändiga fönstret placerat innanför det befintliga fönstret. Bilden är hämtad från rapporten Fönsteranalys.

Frågeställningar i arbetet:

- Förändras belastningen på det gamla fönstret när det invändiga fönstret installeras, i så fall i vilken omfattning?
- Klarar det historiska fönstret de nya laster som uppstår?
- Vilka åtgärder kan minska påverkan på det gamla fönstret?

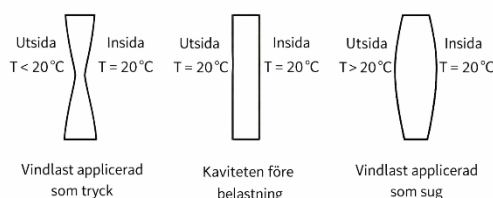
Krav kopplade till strukturell säkerhet har fått allt större betydelse vid renovering av kulturhistoriska byggnader. Många skyddade industribyggnader anpassas idag till nya verksamheter samtidigt som de ursprungliga konstruktionerna bevaras. Åtgärder som installation av ett invändigt fönster kan dock medföra nya lastfall som inte beaktades i den ursprungliga utformningen.

Analys Konstruktionsnormer ger tydliga riktlinjer för beräkning av vindlaster och annan yttre påverkan enligt Eurokod. Den strukturella responsen analyseras ofta med numeriska metoder. För fönster med en luftspalt mellan gammalt och nytt glas är spaltens egenskaper avgörande. Om luftspalten antas vara helt tät kan temperaturvariationer och förändringar i atmosfärstrycket ge upphov till betydande tryckskillnader. Dessa tryck kan vara större än vindlasten. Samtidigt påverkas tryckets verkliga utveckling av faktorer som otätheter, ventilation och värmeutbyte, vilka är svåra att bedöma i projekteringsskedet.

Osäkerheter finns även i materialegenskaperna. Historiskt gjutjärn är sprött och känsligt för defekter, och äldre glas kan ha nedsatt draghållfasthet till följd av åldrande och ytskador. Även om referensvärden finns i litteraturen kan de skilja sig från den faktiska situationen i den befintliga konstruktionen. Därför krävs ofta försiktiga antaganden vid bedömning av hållfastheten hos historiska byggnadsdelar.

Resultat Arbetet har visat att installationen av det invändiga fönstret ökar fönstrets styvhet och minskar vindorsakade deformationer i det historiska fönstret. Ur ett rent vindlast perspektiv innebär åtgärden således en förbättring.

När temperaturvariationer och förändringar i atmosfärstrycket beaktas förändras dock bilden. Vid temperaturer under referenstemperaturen uppstår ett undertryck i den täta luftspalten, vilket leder till inåtböjning av det historiska glaset. I kombination med vindtryck och förhöjt atmosfärstryck uppkommer de högsta dragspänningarna i glaset.



Hur luftspalten (kaviteten) deformeras vid olika temperaturer.

De beräknade dragspänningarna i det historiska glaset närmar sig i flera lastkombinationer konservativa referensvärden för åldrat glas och överskrider dem i vissa fall. Gjutjärnsramens spänningar ligger däremot under hållfastheten i samtliga analyserade scenarier.

Atmosfärstrycksvariationer på ± 30 hPa ger upphov till laster av samma storleksordning som vindtryck. Detta innebär att atmosfärstrycket kan ha en avgörande betydelse för den strukturella responsen och därför inte bör försummas.

Vid analysen framträder antagandet om en helt tät luftspalt som den mest avgörande parametern. Om tryckutjämning tillåts minskar spänningsnivåerna i det historiska glaset avsevärt.