

# Utvärdering av brandglas i fasad

*Niclas Johansson & Erik Steen*

---

**Avdelningen för Brandteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet**

Fire Safety Engineering  
Lund University  
Sweden

Rapport 5564, Lund 2017  
Examensarbete på brandingenjörsutbildningen



**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



**Titel**

Utvärdering av brandglas i fasad

**Title**

Evaluation of fire resistant glass in facade

**Författare/Author**

Niclas Johansson & Erik Steen

**Rapport 5564**

ISRN: LUTVDG/TVBB--5564--SE

**Antal sidor/Number of pages:** 42 inkl. bilagor

**Illustrationer/Illustrations:** Niclas Johansson och Erik Steen om inget annat anges.

**Keywords**

Dangerous goods, fire glass, fire protection, fire safety engineering

**Sökord**

Farligt gods, brandskyddsglas, 300/30, brandprojektering

**Abstract**

The objective of this report was to investigate different types of glass when exposed to heat radiation from a typical fire in a dangerous goods carrier. The purpose was to evaluate if tempered glass could be used in facades instead of the more expensive fire resistant glass. Experiments were made in a cone calorimeter where different thicknesses of laminated, tempered and fire resistant glass were exposed to four different levels of radiation, 15 kW/m<sup>2</sup>, 25 kW/m<sup>2</sup>, 30 kW/m<sup>2</sup> and 50 kW/m<sup>2</sup>. Transmitted radiation through the glass was recorded during the experiments to be able to analyze the different levels of blockage of radiation. Tempered glass with thicknesses between 4 and 12 mm could stand high levels of radiation without breaking and reduced the radiation with 33-46 % depending on which level it was exposed to. Fire glass reduced the radiation with 87-96 %. The conclusion of the work was that, according to small scale tests, tempered glass with a C-shaped edge could be an alternative when building close to roads where dangerous goods is to be transported. Recommendations for further research are to evaluate if the results are applicable on glass of large scale type.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2017.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

Fire Safety Engineering  
Faculty of Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund, Sweden

## Förord

Främst vill vi tacka Osby Glas AB med Fredrik Hellman i spetsen med smidig kontakt som valde att sponsra detta arbete med provglas på ett mycket generöst sätt. Utan er välvilja skulle detta arbete inte varit möjligt att genomföra.



Vi vill även rikta ett stort tack till våra handledare för god handledning och vägledning under arbetets gång. Ett särskilt tack till Stefan som bistått med värdefull hjälp med laboratorieutrustning och tillverkning av delar till försöksupställningen.

Stefan Svensson - Brandingenjör och universitetslektor vid Avdelningen för brandteknik på Lunds Tekniska Högskola

Axel Mossberg - Brandingenjör och civilingenjör i riskhantering, Brandskyddslaget

Rosie Kvål - Civilingenjör i lantmäteri, Brandskyddslaget

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Niclas Johansson", written over a horizontal line.

Niclas Johansson

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Erik Steen", written over a horizontal line.

Erik Steen

## Sammanfattning

Städer byggs allt tätare med ökade risker som följd. Kortare avstånd mellan hus och infrastruktur inkräktar på skyddsavstånden och andra riskreducerande åtgärder blir därför nödvändiga att tillämpa. När bebyggelse projekteras intill farligt gods-leder brandklassas ofta de fasader som vetter mot dessa som en riskreducerande åtgärd. De fasad- och fönsterglas som omfattas av åtgärden föreskrivs ofta till att klara ett brandmotstånd av EI30 eller EW30. Dessa glas är testade för att motstå en fullt utvecklad rumsbrand i olika hänseenden varför det är motiverat att ifrågasätta om det är ett överkrav att föreskriva dessa glas intill farligt gods-leder. Detta speciellt eftersom de brandklassade glaserna är dyra och leder till ökande byggkostnader.

Ett alternativ till de brandklassade glaserna skulle kunna vara så kallade 300/30-glas, vilket också utgör hypotesen för detta arbete. Beteckningen innebär ett glas som utan att gå sönder klarar 300 grader Celsius under 30 min, men medför ingen brandklass i sig. Ett 6 mm härdat glas förutsätts klara denna belastning och därför testades detta glas i laboratorium. Det gjordes även tester med andra tjocklekar av härdat glas och andra typer av glas under rapportens arbete. Vid en kartläggning av vilka typer av farligt gods som fraktas inom Sverige blev slutsatsen att brandfarliga vätskor klart utgjorde en majoritet. När en olycka med detta gods sker kan en pölbrand förutsättas orsaka strålningspåverkan på intilliggande fasader som följd. Därför valdes de olika glastyperna att testas för just värmestrålning med hjälp av en konkalorimeter.

Förutom att undersöka de olika glastypernas hållfasthet var det ur utrymningssynpunkt relevant att studera huruvida dessa reducerar den infallande värmestrålningen. Detta gjordes genom att med konkalorimetern ställa in en väl definierad infallande strålningsnivå och med en strålningsmätare placerad bakom provkroppen mäta den transmitterade strålningen. Totalt testades nio olika glastyper för fyra olika strålningsnivåer: 15 kW/m<sup>2</sup>, 25 kW/m<sup>2</sup>, 30 kW/m<sup>2</sup> samt 50 kW/m<sup>2</sup>. De olika glaserna som testades var brandklassat, härdat, laminerat samt härdat/laminerat i olika tjocklekar. De brandklassade glaserna testades dels för att studera reducerad strålning för att kunna jämföra med de övriga glaserna, men också för att kontrollera om dessa även aktiverades vid endast en påverkan av värmestrålning.

Strålningsberäkningar gjordes för att översätta de strålningsnivåer provkropparna utsattes för till korresponderande avstånd från en typisk pölbrand från en farligt gods-olycka. Dessa beräkningar utgick från tre olika storlekar på ett tänkt läckage, för att ta hänsyn till att en olycka kan bli olika omfattande. Ytterligare strålningsberäkningar gjordes med de erhållna resultaten från försöken för att kunna jämföra med villkoren för brandklasserna. Eftersom strålningsmätaren under försöken befann sig 5 mm ifrån provkroppen gjordes beräkningar för att undersöka hur hög strålningsnivån skulle vara 1 m ifrån provkroppen. Detta eftersom resultaten skulle kunna jämföras med EW-klassningen vilket ofta idag föreskrivs vid projekteringar.

Av de testade glaserna visade de härdade på hög hållfasthet, till skillnad från de laminerade glaserna. De härdade glaserna reducerade strålningen med 33-46 % beroende på den infallande nivån. Brandskyddsglaserna aktiverade och dämpade värmestrålningen, med 87-96 %, på ett effektivt sätt under alla tester. Härdat glas med finslipad C-kant bedömdes kunna motstå en typisk värmepåverkan från en farligt gods-olycka utan att gå sönder. Detta gäller för glas i tjockleken 4-12 mm. Samtliga resultat och resonemang baseras i detta arbete på småskaliga försök i laboratoriemiljö.

## Förklaringar

$\dot{Q}$	Total effektutveckling [MW]
$\Delta h_c$	Förbränningsvärme [MJ kg <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}''_{\infty}$	Massavbrinning per tids- och ytenhet [kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
$k\beta$	Faktor för att korrigera tabellerade värden för massavbrinningen då denna skiljer sig beroende på pölstorlek [m <sup>-1</sup> ]
$L$	Flamhöjd [m]
$D$	Diameter [m]
$\chi$	Förbränningseffektivitet, ansätts ofta till 0,7 för kolväten [-]
$A$	Area [m <sup>2</sup> ]
$E$	Infällande strålningsenergi per ytenhet [W m <sup>-2</sup> ]
$M$	Utstrålad energi per ytenhet [W m <sup>-2</sup> ]
$\sigma$	Stefan-Boltzmanns konstant, 5,67 x 10 <sup>-8</sup> [W m <sup>-2</sup> ]
$\varepsilon$	Emmissivitet [-]
$T$	Temperatur [K]
$\Phi$	Synfaktor [-]
$K$	Temperatur i Kelvinskalan [K]
$\dot{Q}_{in}$	Infällande energi [W]
$\dot{Q}_r$	Reflekterad energi [W]
$\dot{Q}_l$	Ledning av energi [W]
$\dot{Q}_t$	Transmitterad energi [W]
$\dot{Q}_k$	Konvektion av energi [W]

# Innehållsförteckning

1. Inledning .....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.1.1 Styrande lagar och länsstyrelsens roll .....	1
1.1.2 Farligt gods .....	1
1.2 Hypotes .....	2
1.3 Frågeställningar .....	3
1.4 Syfte och mål .....	3
1.5 Metod .....	3
1.6 Avgränsningar och begränsningar .....	4
2. Brandklassat, härdat och laminerat glas .....	5
3. Värmetransport .....	9
3.1 Jämvikt .....	9
4. Tidigare forskning .....	11
5. Experimentell metod .....	13
5.1 Försökupställning .....	13
5.2 Strålningsnivåer .....	15
5.3 Material .....	18
5.4 Försöksprocedur .....	19
6. Resultat .....	23
7. Analys och diskussion .....	29
8. Slutsats .....	33
9. Avslutande kommentarer .....	35
Litteraturförteckning .....	37
Bilaga A .....	39





# 1. Inledning

I följande kapitel presenteras en inledande bakgrund till arbetet, dess hypotes med frågeställningar, syfte och mål, hur arbetet gått till samt vilka avgränsningar som gjorts.

## 1.1 Bakgrund

I en växande ekonomi och en stor efterfrågan på bostäder och kontorsbyggnader är byggbranschen en verksamhet som inte tycks kulminera. De mest eftertraktade områdena är i dagsläget de centrala och många kommuner har dessutom långsiktiga visioner i översiktsplanerna att bygga städerna tätare för att få dem tryggare, mer levande och klimatsmartare. Detta föranleder att det byggs mer i de centrala lägena i dagsläget och troligtvis även i framtiden.

För att detta ska vara möjligt inkräktas bland annat skyddsavstånden med avseende på farligt gods-leder vilket leder till att andra riskreducerande åtgärder måste vidtas. Länsstyrelserna ställer därför ofta krav på brandklassat glas i de fasader som vetter mot dessa transportleder, vilket innebär ökade byggkostnader. Ett exempel är Stockholms län som ställer krav på brandklassade glas vid bebyggelse innanför skyddsavstånden (Enheten för samhällsskydd, 2016).

### 1.1.1 Styrande lagar och länsstyrelsens roll

Vid projektering av byggnader ska flera olika regler och föreskrifter tillämpas avseende bland annat bärighet, brand, akustik, arbetsmiljö osv. Ingen av dessa gällande lagar och föreskrifter behandlar dock hur en byggnad ska projekteras och byggas i omgivningen kring en farligt gods-led.

En farligt gods-led är en, på lokal nivå, föreskriven väg avsedd för ändamålet. Denna ska användas för transport av farligt gods och får endast avvika från då avsändare eller mottagare av godset inte kan nå via denna (Sandström, 2012).

I ovan nämnda hänseenden har länsstyrelsen en beslutande roll. Länsstyrelsen är riksdagens och regeringens förlängda arm och ska jobba för att de politiska målen efterföljs. Länsstyrelsen har uppgifter i många olika områden, däribland trafikföreskrifter, infrastrukturplanering, hållbar samhällsplanering och skydd mot olyckor. Det är därför länsstyrelsen som beslutar om de lokala trafikföreskrifterna och bestämmer vilka vägar som ska användas för farligt gods. Vidare ställer länsstyrelsen krav utöver gällande regler och föreskrifter vid projektering av byggnader som bland annat planeras byggas i närheten av farligt gods-leder. Detta för att uppfylla dess roll och beakta de ansvarsområden som tidigare nämnts.

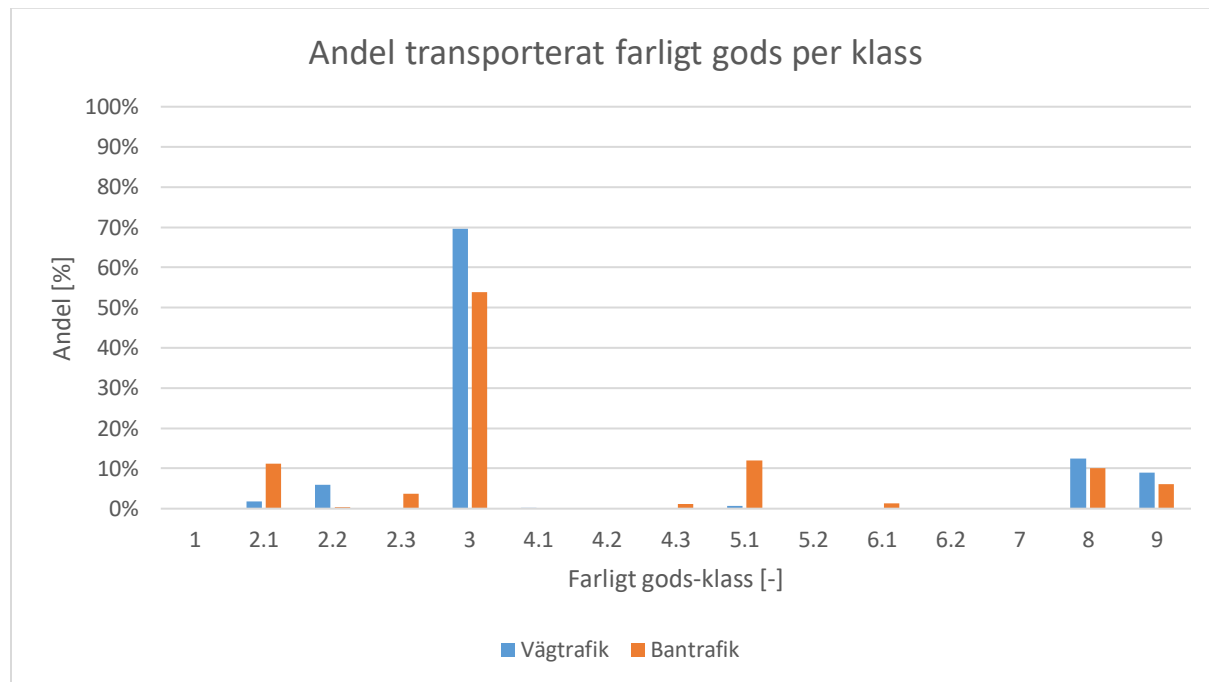
### 1.1.2 Farligt gods

På uppdrag av regeringen utförde Räddningsverket (2006), som numera är Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, en kartläggning av den transport av farligt gods som fraktas inom Sverige (Räddningsverket, 2006). Detta resulterade i en rapport där insamlad information från bland annat dåvarande Vägverket, Banverket, Sjöfartsverket samt Luftfartsstyrelsen presenterades för september månad 2006. Detta är den senaste undersökningen av farligt gods-transporter i Sverige och omfattas alltså endast av en månads datainsamling. Uppgifterna om det farligt gods som transporteras i landet kan emellertid antas variera över året.

Vidare presenterar Trafikanalys (2017) årligen statistik över trafiken i Sverige, men ingen detaljerad information om farligt gods finns att hitta i denna. I deras publikation "Lastbilstrafik 2016" kan dock

utläsas att 11 miljoner ton farligt gods transporterades totalt på våra svenska vägar 2016. Detta är att jämföra med Räddningsverkets kartläggning där 1,4 miljoner ton farligt gods transporterades inom vägtrafiken 2006. (Trafikanalys, 2017)

Det tycks således vara en nedgång av den totala mängden farlig gods som idag transporteras på våra vägar och järnvägar jämfört med kartläggningen för september 2006. Trots denna nedgång av mängden antas det i detta arbete att fördelningen av de olika farligt gods-klasserna är densamma. I figur 1 nedan presenteras fördelningen över de olika klasserna av farligt gods som utgjordes av den totala mängden som transporterades enligt Räddningsverket under september 2006.



Figur 1. Procentuell fördelning av farligt gods-klasser som transporterades inom Sverige september 2006. (Räddningsverket, 2006)

Det är tydligt att klass 3 utgör den dominerande andelen farligt gods som transporterades inom Sverige under september 2006, vilket innefattar brandfarliga vätskor. På andra och tredje plats inom vägtrafiken kommer 8 och 9, vilket utgörs av frätande ämnen och övriga farliga ämnen och föremål.

## 1.2 Hypotes

I händelse av en farligt gods-olycka ska inte den enskilda som vistas i intilliggande byggnad drabbas. Det är av den anledningen länsstyrelserna ofta föreskriver brandklassat glas i de fasader som vetter mot farligt gods-leder. Dessa glas är framtagna för att kunna stå emot en fullt utvecklad rumsbrand under en viss tidsperiod i olika hänseenden beroende på klassning.

Även om byggnader uppförs närmare de omnämnda transportlederna än vad skyddsavstånden tillåter kommer inte en brand till följd av en farligt gods-olycka stå i direkt kontakt med fasaden. Vidare bidrar andra yttre omständigheter som väder och vind med förmildrande faktorer till brandpåverkan på dessa fasad- och fönsterglas.

Härdat glas kan förutsättas klara av en temperatur av 300 grader i 30 minuter (Carlson, 2005). Detta är en branschpraxis och är ingen brandklassning i sig. Dessa glas brukar kallas för 300/30-glas och kan även vara laminerade utöver härdningen. I arbetet ska flera olika varianter av härdat glas provas och för att undvika förvirring används därför inte begreppet 300/30-glas. Härdat glas klarar en temperaturgradient i materialet på 200 K innan det går sönder vilket är att jämföra med det vanliga fönsterglasets 40 K (Carlson, 2005). Att dessa temperaturskillnader ska uppstå vid en farligt gods-olycka är tvivelaktigt då det i brandtekniska sammanhang ofta är långa avstånd, upp till 70 meter, mellan husfasad och transportled - ett rimligare scenario är därför att fönsterpartierna får en jämn uppvärmning över hela ytan (Stenberg, 2007).

Med dessa argument kan därför de föreskrivna brandklassade glasen ifrågasättas som överkrav vid projektering av fasader som vetter mot farligt gods-leder. En hypotes är att härdat glas utgör ett fullt tillräckligt skydd för att i praktiken nå samma effekt i dessa situationer. Något som också gör denna hypotes intressant är att det i branschen florerar påståenden om att härdat glas blockerar 50 % av infallande strålning. Om detta skulle visa sig stämna kan det leda till stora kostnadsbesparingar för byggprojekten. Skulle dessutom två härdade glas kombineras med en laminering ges en skyddande funktion vid tryckpåverkan som brandklassade glas kan sakna. Motståndskraftigt glas med avseende på tryckpåverkan är önskvärt vid en situation då explosionsrisk föreligger på grund av en olycka med gas som transportgods.

Något som dock behöver utredas utöver hållfastheten för härdat glas är huruvida dessa glas reducerar den strålning som går genom fönstret. Det föreligger även en osäkerhet kring om brandglas aktiverar sin skyddande funktion vid endast en påverkan av värmestrålning. Detta eftersom glasen har erhållit sin brandklass efter en testning i ugn.

### 1.3 Frågeställningar

Följande frågeställningar låg till grund för arbetet:

- Är hållfastheten för härdat glas tillräcklig för en typisk värmepåverkan från en farligt gods-olycka?
- Hur väl reducerar härdat glas infallande värmestrålning?
- Stämmer antagandet att E-klassningen reducerar infallande värmestrålning med 50%?
- Fungerar den aktiverande funktionen hos EI-glasets vid endast påverkan av värmestrålning?

### 1.4 Syfte och mål

Syftet med arbetet var att experimentellt utvärdera egenskaperna för de olika glas som idag föreskrivs samt för möjliga alternativ.

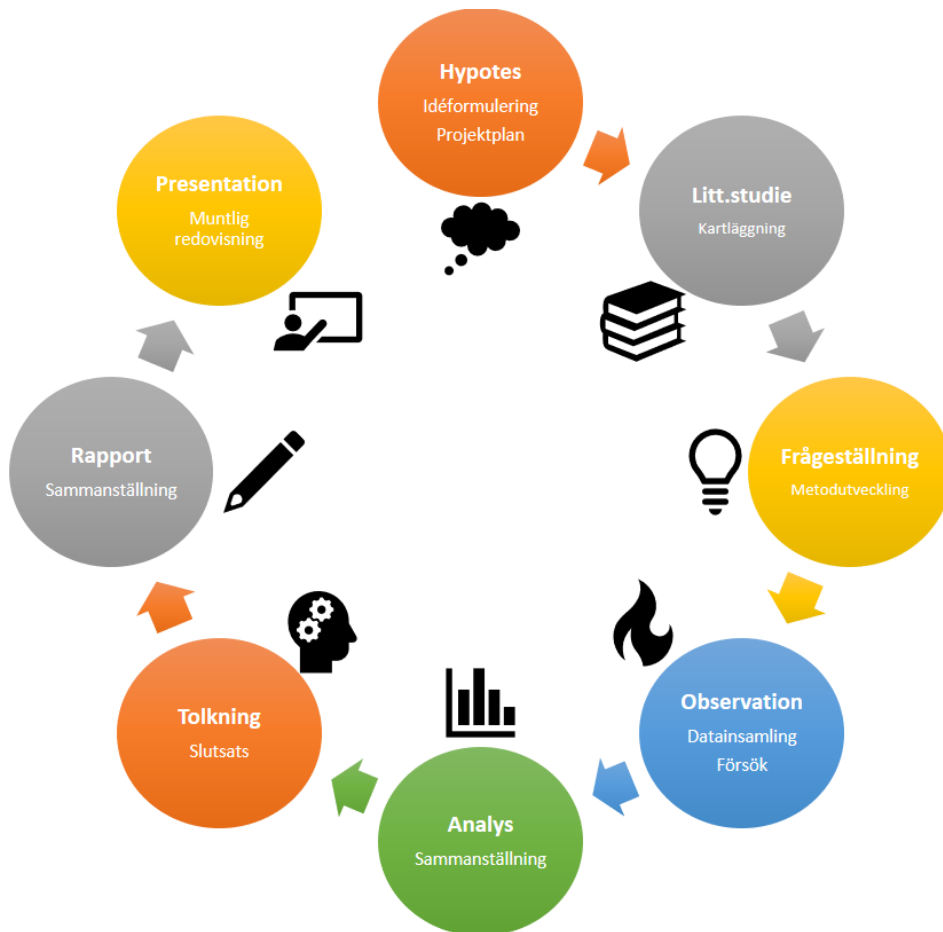
Målet var att kunna jämföra dessa glas samt utifrån försöksresultaten dra slutsatser om huruvida ett härdat glas är ett alternativ vid projektering med försöksresultaten som grund. Ett annat mål med detta arbete var att det ska kunna utgöra referenslitteratur vid projektering av byggnader intill farligt gods-leder, men även kunna bidra som underlag för vidare studier.

### 1.5 Metod

Arbetet har följt en tydlig struktur med upprättandet av en projektplan för att forma arbetet efter hypotes, tidsaspekter och resurser. Efter framtagandet av projektplanen påbörjades en litteraturstudie för att undersöka vilka tidigare arbeten som gjorts på området. Litteraturstudien fyllde också funktionen

att ge en fördjupning i materialegenskaper, laboratorieutrustning, statistik mm. Efter litteraturstudien kunde frågeställningarna arbetet ämnat att besvara konkretiseras och förfinas.

Arbetet förlöpte genom att inleda observationer i form av laborieförsök med datainsamling som sedan kunde analyseras. Resultaten tolkades för att kunna dra slutsatser och besvara de inledande frågeställningarna. Hypotesen kunde utvärderas och arbetet redovisas både i denna rapport samt under en muntlig presentation. Arbetsgången illustreras i figur 2 nedan.



Figur 2. Illustration över arbetsgången.

### 1.6 Avgränsningar och begränsningar

Arbetet avgränsades till den grad att endast omfatta småskaliga försök för att utvärdera egenskaperna hos glasproverna. Fönsterramens inverkan på resultatet har inte studerats i arbetet. Försöken utfördes i en kontrollerad laboriemiljö med väl definierade faktorer vilket inte är fallet i verkligheten där resultaten kan komma att appliceras. Detta är dock något som inte anses göra resultaten mindre tillförlitliga, snarare tvärtom då väder och vind förmodligen kan bidra med förmildrande faktorer. I arbetet har inte heller glasets emissivitet studerats.

Vidare var tillgången till provmaterial och laboratorieutrustning samt tidsramen för arbetet begränsande faktorer.

## 2. Brandklassat, härdat och laminerat glas

Alla byggnadsdelar som ska vara motståndskraftiga för brand på ett eller annat sätt behöver genomgå en standardiserad provning av materialet eller dess konstruktion. Brandtekniska krav uttrycks i beteckningar för olika klasser följt av en tidsangivelse. För att erhålla en klassning behöver byggnadsdelen eller konstruktionen bli godkänd vid en för klassen specifik standardiserad provning. Byggnadsdelar kan genomgå flera olika provningar och med godkänt resultat därmed erhålla flera klassningar. De olika klassbeteckningar som finns är (Olsson, Sedin, & Almgren, 2014):

R – Bärförmåga

E – Integritet

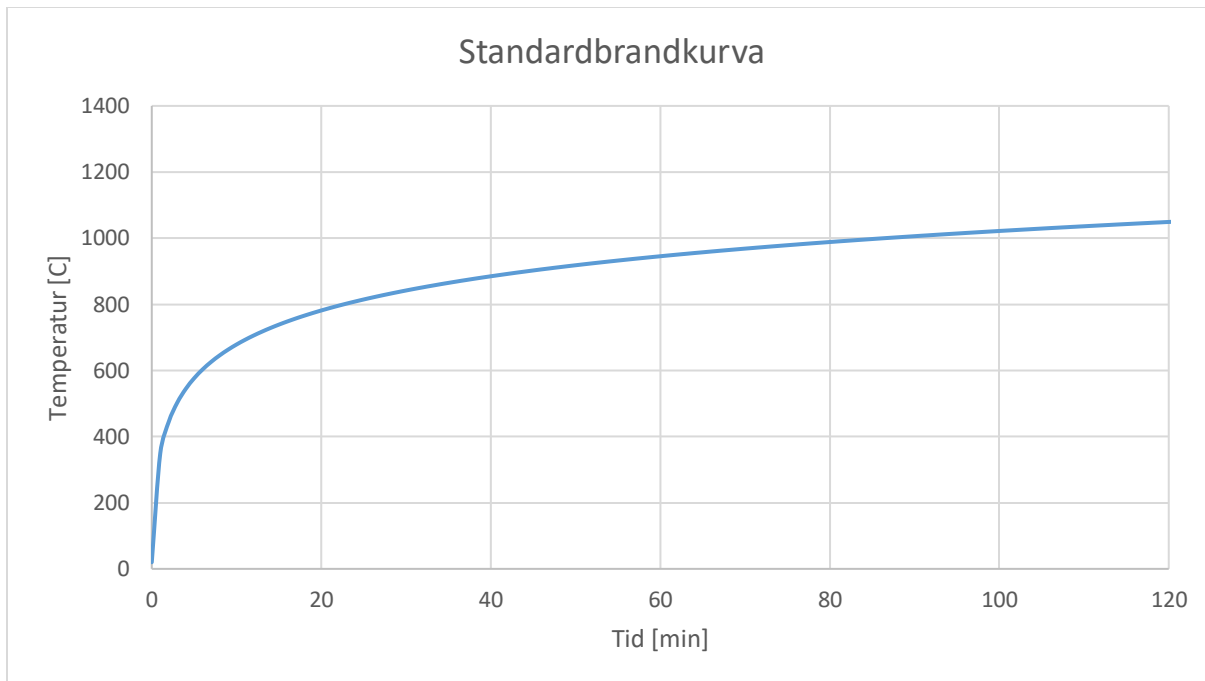
I – Isolering

W – Strålning

En glasruta kan alltså till exempel ha klassningarna E60, EW60, EI30 etc.

Bärförmåga är förmågan för en byggnadsdel att upprätthålla sin konstruktion. Integritet innebär att byggnadsdelen har en flam- och brandavskiljande konstruktion. Den oexponerade ytan för E-klassningen kan dock uppnå höga temperaturer till skillnad mot I-klassningen. Isoleringskravet innebär att medeltemperaturen på den oexponerade sidan inte uppgår till mer än 140 grader. Vid enstaka punkter tillåts dock en temperatur av 180 grader. W-klassningen innebär att den genomsnittliga strålningsintensiteten 1 meter från provkroppen inte uppgår till mer än  $15 \text{ kW/m}^2$  (Olsson, Sedin, & Almgren, 2014).

Under provningen utsätts materialet i provugnen för en standardbrandkurva. För att klara en tidsangivelse behöver byggnadsdelen klara kriterierna för klassningen under denna tid med påverkan av denna brandkurva, se figur 3. Ett glas klassat som E60 innebär att det klarar kravet för integritet under 60 minuter, vid provning utifrån denna standardbrandkurva (Olsson, Sedin, & Almgren, 2014).



Figur 3. Standardbrandkurva som används vid klassning av brandmotstånd.

Viktigt att ha i åtanke är att den provade konstruktionen inte kan förutsättas klara denna tidsangivelse under ett verkligt brandförlopp, utan ska ses som en fiktiv tid. Standardbrandkurvan motsvarar inte ett naturligt brandförlopp där snabba tillväxthastigheter, höga temperaturoppgångar, ojämn uppvärmning osv. kan förekomma. Hur ett material som klarat av standardbrandkurvan för en klassning under en viss tid kommer klara av ett verkligt brandförlopp är därför svårt att förutse.

Hur konstruktionen görs för att klara dessa tester är upp till tillverkaren. Det är till exempel vanligt att glastillverkare använder sig av olika filmer mellan härdade glas för att uppnå en konstruktion som klarar de standardiserade testerna, det går tex. att uppnå EI samt EW-klassningen med denna metod. En annan vanlig teknik som används för att tillverka ett glas som ska klara EI-klassningen är att använda sig av en gel i glaset. Vid en viss värmepåverkan avdunstar vattnet i gelen och denna övergår till att bli ett fast material som från att vara genomskinligt blir vitt. Det nya tillståndet av materialet reducerar värmestrålningen så pass att temperaturökningen på den oexponerade ytan blir begränsad (Carlson, 2005). Huruvida denna omvandling sker vid en påverkan av endast värmestrålning eller inte ligger till grund för en av frågeställningarna detta arbete bygger på.

Härdat glas genomgår en process där det värms upp till 600 grader för att sedan snabbt kylas ned. Vid uppvärmningen blir glaset mjukt och spänningsfritt och vid nedkylningen uppstår tryckspänningar i glasets ytskikt och dragspänningar i dess mitt. Denna förspänning ökar glasets böj- och draghållfasthet 4-5 gånger och är därför mindre känslig mot de spänningar som uppstår vid temperaturgradienter i glaset och som vanligtvis orsakar brott. Innan härdprocessen ges glaset en härdslipning för att inte gå sönder under temperaturväxlingarna vid bearbetningen. Denna slipning är ganska grov och ojämnheter är inte ovanliga. Härdat glas har testats för en värmepåverkan av 300 grader under 30 minuter vilket inte är en brandklass i sig men kan ibland betecknas som 300/30-glas. Även andra glas kan betecknas som 300/30-glas om dessa är beständiga i en provvagn som stegras upp från 20 till 300 grader under 5 minuter för att

sedan hållas konstant på 300 grader under ytterligare 25 minuter (Persson, Sandvik, Fagergren, & Sedin, 2014).

Det är möjligt att klara av kriterierna för E-klassningen med ett härdat glas. Glaset måste då ha mycket finslipade kanter utan några skador (Carlson, 2005). Detta för att glaset utan att gå sönder ska kunna kylas ner snabbare än vid en vanlig härdprocess. Det gör att glaset får en högre hållfasthet jämfört med vanligt härdat glas. Föreställningen att härdat glas skulle klara 300 grader under 30 minuter tycks alltså inte vara helt ogrundad.

Laminerat glas består av två eller flera glas med en plastfilm mellan. Det även kallade lamellglaset får en stark vidhäftning mellan glas och film då denna ofta utgörs av polyvinylbutyral eller UV-härdat lim. Om ett laminerat glas går sönder hålls glasbitarna fortfarande samman av den starka plastfilmen (Carlson, 2005). Det är ofta laminerade glas som används då ett glas ska testas mot tryckpåverkan, dock ej mot brand.

Vanligt fönsterglas har en dålig motståndskraft för brand. Det uppstår dragspänningar när dessa glas utsätts för värmepåverkan då glaset utvidgas kraftigt i mitten men inte i kanterna som täcks av fönsterramen. Detta orsakar ofta dess brott och kan ske redan vid en temperaturgradient av 40 K i glaset. Detta är att jämföra med härdat glas som enligt Glasbranschföreningen ska klara en temperaturskillnad på 200 K innan det går sönder till följd av dragspänningar (Carlson, 2005).

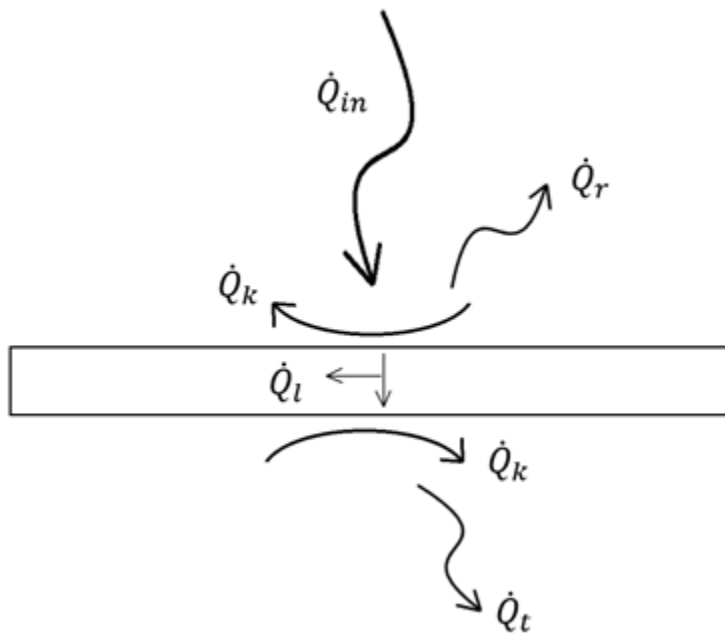




### 3. Värmetransport

Värme, eller energi, har olika sätt att transporteras på. De tre olika sätten är strålning, ledning och konvektion. Strålning sker via elektromagnetiska vågor och behöver inte, till skillnad från ledning och konvektion, något medium mellan källan och mottagaren för att det ska kunna ske. Strålning kan reflekteras, absorberas samt transmitteras när den når mottagaren. Värmetransport genom ledning sker i medium vilket kan vara fluider eller fasta material, konvektion genom när fluider i rörelse möter fasta material (Drysdale, 2011).

Alla dessa tre transportsätt av energi sker hela tiden i vår omgivning i olika omfattning under ovan nämnda villkor. Så är också fallet under försöken detta arbete ämnar utföra. Figur 4 nedan visar schematiskt hur värmetransporten som kommer ske kring provkroppen kan sammanfattas i en bild. Här syns en inkommande energimängd,  $\dot{Q}_{in}$ , i form av strålning. Denna energimängd kommer dels reflekteras på grund av provkroppens emittans,  $\dot{Q}_r$ , dels absorberas och ledas ut mot kanterna,  $\dot{Q}_l$ , samt transmitteras och utgöra en utfallande strålning,  $\dot{Q}_t$ . Samtidigt kommer en del av värmen föras bort i form av konvektion på grund av luftrörelser som kommer i kontakt med provkroppen,  $\dot{Q}_k$ .



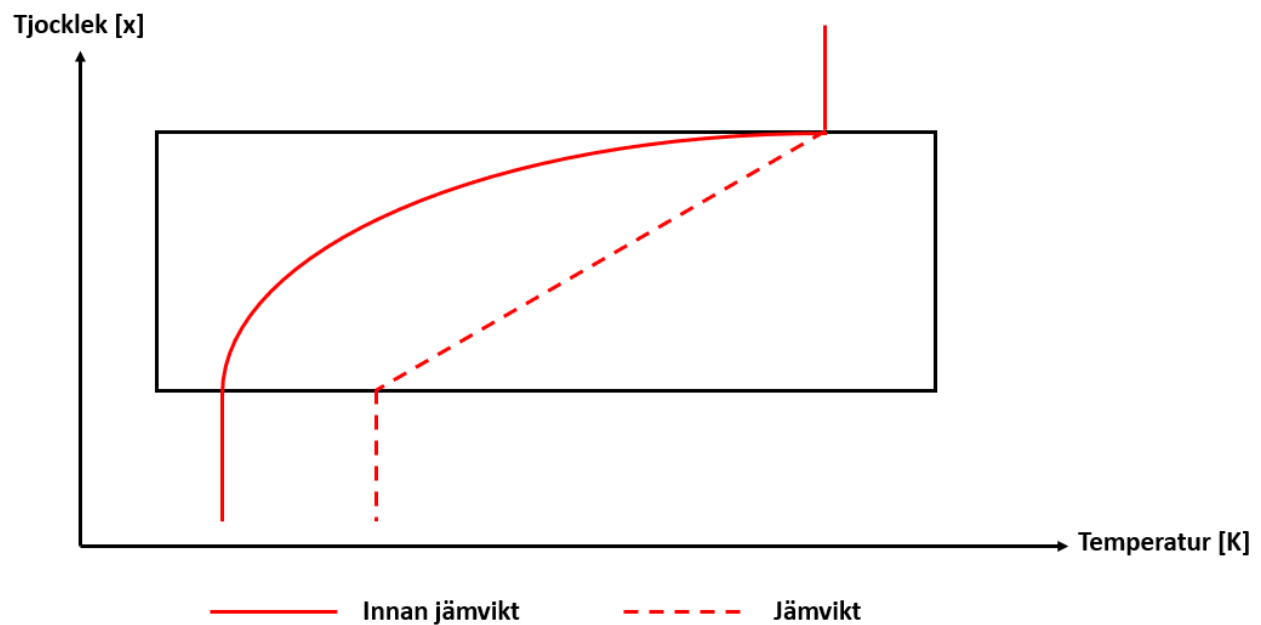
Figur 4. Schematisk bild som visar hur värmetransporten sker.

#### 3.1 Jämvikt

I början av försöken kommer provkroppen värmas upp och den absorberade strålningen,  $\dot{Q}_l$ , vara hög och därav den transmitterade strålningen,  $\dot{Q}_t$ , vara låg. Allt eftersom försöken fortgår kommer provkroppen bli varmare och den transmitterade andelen,  $\dot{Q}_t$ , öka och den absorberade andelen,  $\dot{Q}_l$ , minska eftersom värmeledning är direkt proportionell mot temperaturgradienten (Drysdale, 2011). Huruvida den reflekterande andelen kommer ändras är oklart då det är okänt om den emitterade materialegenskapen kommer att förändras i och med påfrestningen på provkroppen. Om ytans färg kommer att ändras till följd av till exempel sotbildning kommer denna andel att förändras under försökens gång. Det är även okänt om faktorer som molekylstrukturen i materialet kommer att

förändras och påverka den absorberade och transmitterade andelen av energin i och med påfrestningen på provkroppen.

Materialets värmetröghet kommer bidra till hur lång tid det tar för uppvärmningen till följd av faktorer som dess värmeledningsförmåga, densitet och specifika värmekapacitet (Drysdale, 2011). Detta kommer orsaka att temperaturgradienten i materialet kommer vara olika per tidsenhet tills dess att jämvikt uppnåtts. Vid jämvikt sker alltså ingen förändring i temperaturgradient i materialet över tid vilken visas schematiskt i nedanstående figur.



Figur 5. Schematisk bild som visar hur temperaturprofilen i materialet förändras tills jämvikt uppnåtts.

## 4. Tidigare forskning

För att ta fram vad som tidigare studerats inom området genomfördes sökningar via sökmotorerna Google Scholar och LUBSearch. De sökordskombinationer som gav relevanta resultat var "fire glass breakage" och "window glass exterior fire". Genom den förstnämnda kombinationen på Google Scholar hittades "Glass breakage in fires" vars referenslista sedan användes för att hitta till andra relevanta studier (Babrauskas, Glass breakage in fires, 2010). Övriga ord som användes i olika kombinationer via sökmotorerna var "radiation, thermal exposure, tempered, hardened, toughened, fire resistant, wildland, bushfire, heat flux".

Flera försök har visat att då glas går sönder på grund av termisk påverkan är det för att temperaturskillnaden över glasets yta eller tjocklek ger tillräckligt stora dragspänningar i glasets kant. Småskaliga försök som genomfördes på University of Maryland visade att planglas med en tjocklek på 2,5 mm gick sönder vid en infallande värmestrålning på mellan 4 och 5 kW/m<sup>2</sup>. Strålningen utgjordes i försöken av värmepåverkan från strålningspaneler som konstruerats med hjälp av gasbrännare. Vid försöken transmittades ungefär en tredjedel av den infallande strålningen. Härdat glas utsattes i försöken för en strålningsintensitet på 16 kW/m<sup>2</sup> under 15 minuter utan att gå sönder. Ungefär 7 kW/m<sup>2</sup> av strålningsintensiteten transmittades då genom glasets. Det härdade glasets var infäst i träram och försöken gav en indikation på att det troligen är träramen som fallerar före själva glaskonstruktionen. (Mowrer, 1997)

Cohen och Wilson (1995) har studerat hur skogsbränder sprids till byggnader via strålning genom fönster. Försök genomfördes på glas i storleken 0,61 x 0,61 m samt större glas i storleken 0,91 x 1,5 m. Tjockleken på de mindre glasen var 4,8 mm respektive 6 mm på de större. Olika glastyper som testades var planglas och härdat glas i både enkelt och dubbelt utförande.

I de småskaliga testen skapades en 1,5 meter hög flamma med hjälp av en propanbrännare och glastyperna utsattes för strålningsnivåer med medelintensitet på 9,3 kW/m<sup>2</sup>, 13,6 kW/m<sup>2</sup> samt 17,7 kW/m<sup>2</sup> under 300 sekunder. Nivåerna på strålning varierades genom att avståndet mellan brännare och glas varierades. Det härdade glasets klarade samtliga strålningsintensiteter utan att gå sönder medan planglasets gick sönder i olika omfattning beroende på om det var utfört med enkelt eller dubbelt glas.

I de större försöken testades glasen mot strålning från en kontrollerad träbrand med en flamma på ungefär 1,3 x 3,1 meter. Det härdade enkelglasets utsattes för en medelnivå av strålningsintensitet på 29,2 kW/m<sup>2</sup> utan att gå sönder medan planglasets gick sönder i olika omfattning vid 16,2 kW/m<sup>2</sup>. Medelnivån på strålning i testerna varade i 50 sekunder som inleddes med 70 sekunders tillväxtfas och avslutades med 100 sekunders avsvältningsfas. (Cohen & Wilson, 1995)

En studie av hur glas kan skyddas med hjälp av sprinkler har gjorts av National Research Council Canada, NRCC, i Kanada. I denna studie gjordes småskaliga försök på när olika glastyper går sönder till följd av strålning. Glas av storleken 0,3 x 0,3 m med odefinierad tjocklek utsattes för olika nivåer av strålningsintensitet på upp till 43 kW/m<sup>2</sup> via en strålningspanel baserad på gasbrännare. Då vanligt glas utsattes för en strålningsintensitet på 10 kW/m<sup>2</sup> gick det sönder efter mindre än 8 minuter, och hade vid tidpunkten innan brott en temperatur på 160 °C vid ytan på den brandutsatta sidan. Utsattes glasets istället för en strålningsintensitet på 40 kW/m<sup>2</sup> gick det sönder efter mindre än 1 minut och yttemperaturen på den brandutsatta sidan var 150-175 °C. Härdat glas utsattes för en maximal strålningsintensitet på 43 kW/m<sup>2</sup> i 20 minuter och hade då en yttemperatur på 350 °C på den

brandutsatta sidan utan att gå sönder. På den ej brandutsatta sidan var temperaturen då 300 °C. (Kim & Loughheed, 1990).

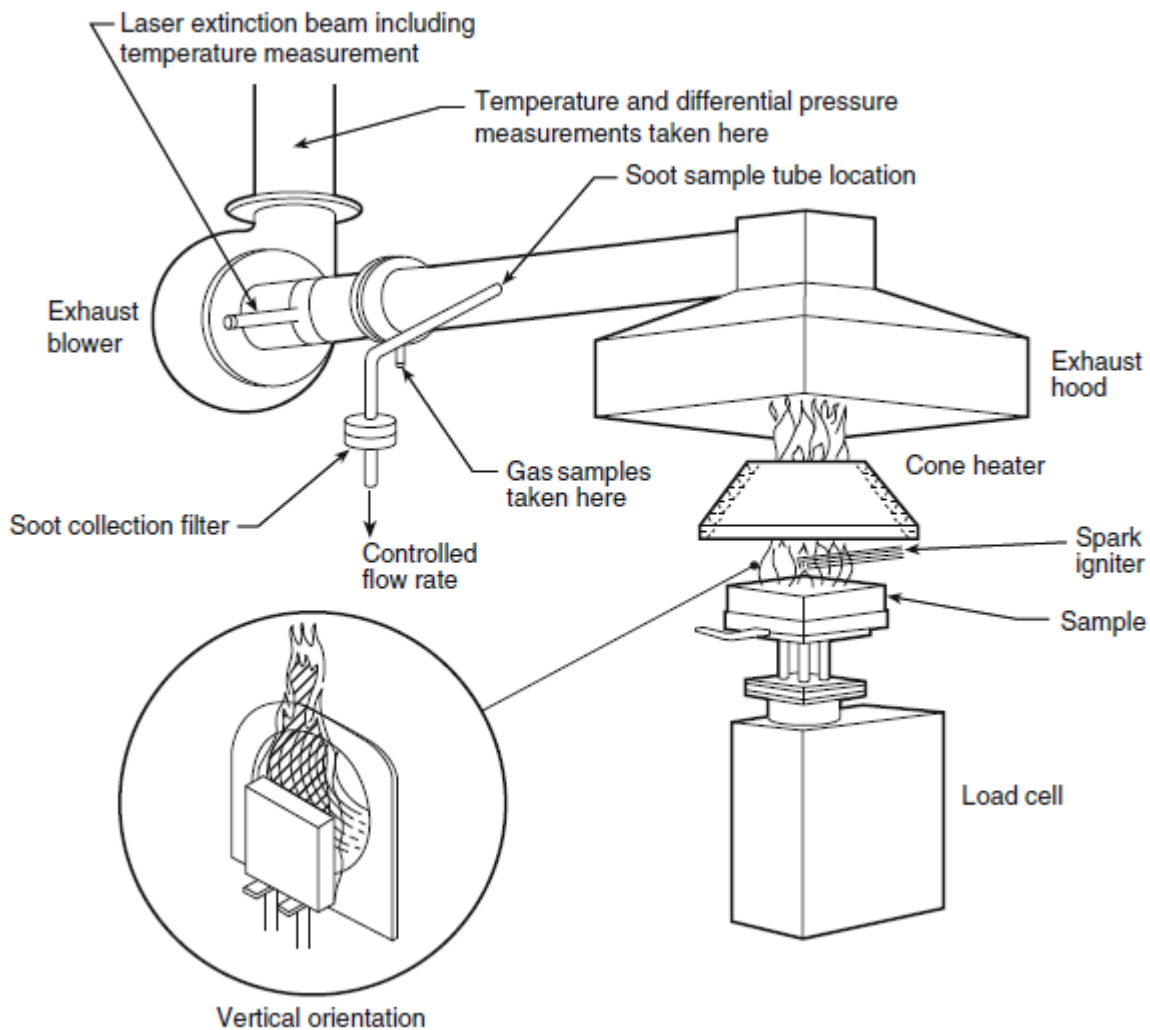
## 5. Experimentell metod

I detta avsnitt beskrivs den metod som användes under försöken samt vilka material som användes. Avsnittet innehåller även en beskrivning av strålningsnivåer och avstånd samt den faktiska försöksproceduren.

### 5.1 Försöksuppställning

För att utvärdera egenskaperna för glasproverna i händelse av brand behövde försöksuppställningen definieras. I det inledande kapitlet till denna rapport beskrivs hur fördelningen av olika typer av farligt gods som transporteras i Sverige är fördelade i vikt. Den senaste kartläggningen var utförd 2006 men fördelningen antas vara densamma i dagsläget. Här framkom det att brännbara vätskor dominerar den totala andelen farligt gods som fraktas inom Sverige, och av den anledningen antas det att en pölbrand skulle uppstå i händelse av en farligt gods-olycka. Vid en sådan olycka antas också att det brinnande godset inte står i direkt kontakt med husfasader och därför utsätts de endast för värmepåverkan genom strålning. Med dessa argument valdes en konkalorimeter att användas för att utföra försöken.

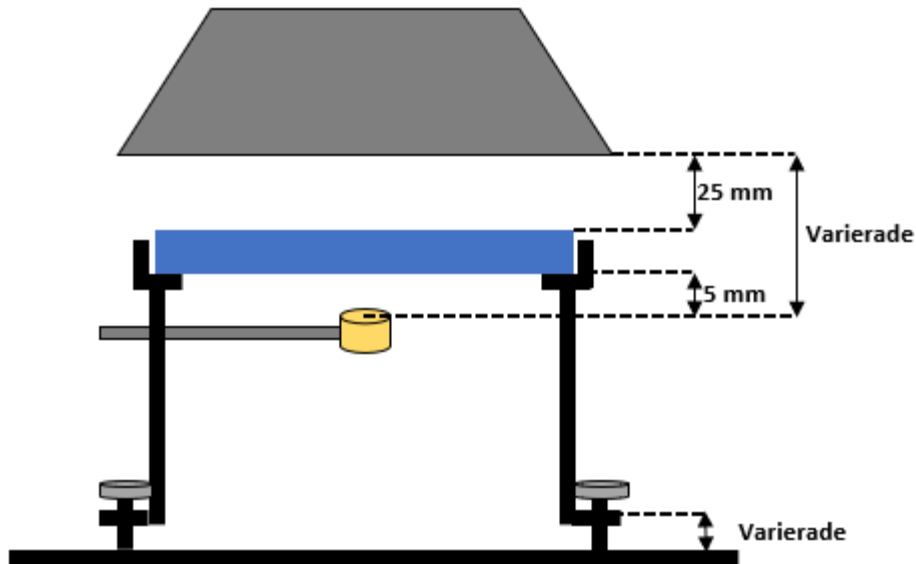
En konkalorimeter utsätter provkroppen för en väl definierad värmestrålning inställd av användaren. Utrustningen har även en våg för att kunna beräkna massförlust, en huv för att kunna samla upp rökgaser samt en dator för att kunna analysera dessa. Under konen finns en slutare för att kunna dämpa värmestrålningen under tiden försök inte pågår och som öppnas och stängs enkelt genom en spak. Med tanke på att endast funktionen för att utsätta provkroppen för värmestrålning behövdes i det aktuella fallet, utsluts en djupare beskrivning av konkalorimetern i detta arbete. I figur 6 nedan beskrivs konkalorimetern genom en schematisk bild, observera att slutaren inte finns med i denna bild.



Figur 6. Schematisk bild över konkalorimetern (Babrauskas, *The Cone Calorimeter*, 2014).

I den aktuella försöksupställningen fick den tillhörande vågen till konkalorimetern monteras bort för att göra plats till ställningen för provkropparna. Ställningen till provkropparna fick specialbyggas för att passa de glasprover som skulle testas då den vanliga hållaren för detta var för liten. I denna ställning hade provkroppen utrymme att röra sig i horisontalled.

Under provkroppen, på andra sidan strålningskonen, monterades en vattenkyld strålningsmätare för att kunna mäta den transmitterade strålningen. Med en väl definierad infallande strålning kunde sedan strålningsreduktionen beräknas. Eftersom provglasen skulle exponeras för samma strålningsnivå krävdes det också att dess yta befann sig på samma avstånd från konen vid varje försök. På grund av detta varierade strålningsmätarens avstånd från konen beroende på hur tjock provkroppen var, se figur 7 nedan.



Figur 7. Schematisk bild över hur måtten varierade eller var konstanta under försöken.

## 5.2 Strålningsnivåer

Samtliga glastyper provades för samma strålningsnivåer vilka var 15, 25, 30 samt 50 kW/m<sup>2</sup>. Dessa nivåer valdes delvis i samråd med externa handledare som till vardags jobbar med riskanalyser i Stockholm och har erfarenheter av att dessa strålningsnivåer används vid projektering intill farligt godsleder.

Eftersom resultatet av försöken kan komma att bli praktiskt tillämpbart beräknades vilka avstånd dessa strålningsnivåer motsvarar från en pölbrand. Avstånden beror på storleken av bålet som brinner och därför har tidigare gjorda riskanalyser där farligt gods utgjort en riskkälla studerats för att bestämma vilka storlekar som ska beaktas (Hall Midholm, 2016). Att olika storlekar på pölbranden tas hänsyn till görs eftersom att det vid en olycka kan ske olika stora utsläpp beroende på olyckans omfattning, tankbilens volym, vägbanans utformning mm. De olika storlekarna som valdes att gå vidare med var:

- Litet läckage            **50 m<sup>2</sup>**
- Medelstort läckage    **200 m<sup>2</sup>**
- Stort läckage            **400 m<sup>2</sup>**

De korresponderande diametrarna till dessa pölbränder blir då 8, 16 samt 22,5 m om dessa antas vara cirkulära.

Nästa steg var att beräkna hur stor effektutvecklingen blir för dessa bränder. För att göra detta antogs bensen utgöra läckagen vilket har följande egenskaper (Babrauskas, Heat Release Rates, 2014):

$\Delta h_c$	43,7	[MJ kg <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}''_{\infty}$	0,055	[kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
$k\beta$	2,1	[m <sup>-1</sup> ]

Följande samband gäller för att beräkna massavbrinningen för aktuella pölstorlekar samt effektutvecklingen:

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} \times (1 - e^{-k\beta D}) \quad [\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

$$\dot{Q} = A \times \dot{m}'' \times \chi \times \Delta h_c \quad [\text{MW}]$$

Flamhöjden kan sedan beräknas med Heskestads formel (Karlsson & Quintiere, 1999):

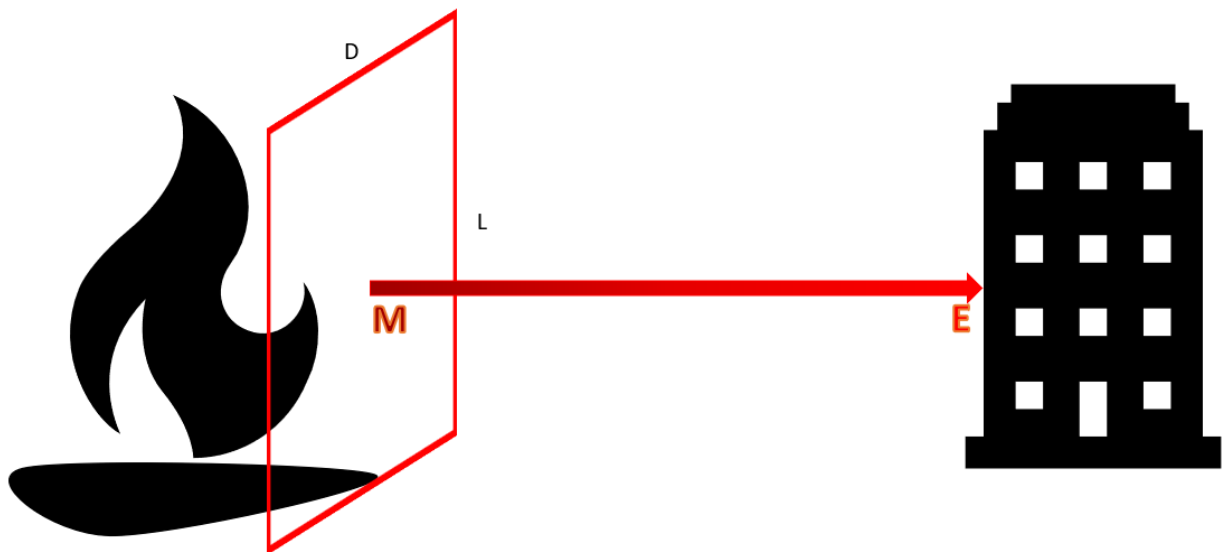
$$L = 0,235 \times \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \times D \quad [\text{m}]$$

Med ovanstående samband kunde följande tabell beräknas och sammanställas. Giltigheten för Heskestads formel för flamhöjden ligger utanför dessa tillämpningar vilket bör tas i beaktning.

Tabell 1. Sammanställning av de valda pölstorlekarna, dess diameter samt beräknad effektutveckling, höjd och area på flammen.

	D [m]	$\dot{m}''$ [kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\dot{Q}$ [MW]	L [m]	A [m <sup>2</sup> ]
Litet läckage 50 m <sup>2</sup>	8	0,055	84,1	13,8	110
Medelstort läckage 200 m <sup>2</sup>	16	0,055	337	21,9	350
Stort läckage 400 m <sup>2</sup>	22,5	0,055	673	27,4	617

För att kunna beräkna avstånden hanterades pölbränden som en rektangulär platta som strålade parallellt med den tänkta fasaden. Storleken på denna platta motsvarar diametern på pölen i bredd och den beräknade flamhöjden i höjd. Detta är en förenkling då en verklig brand i en sådan situation skulle utgöra en mindre strålade yta eftersom en flamma väsentligt avtar i bredd med höjden. Vidare hanterades den fiktiva plattan att befinna sig i utkanten av pölen mot fasaden till, se figur 8.



Figur 8. Schematisk bild över hur beräkningen av avståndet mellan pölbränden och fasaden hanterades.

Värmestrålning avtar beroende på den utstrålade kroppens geometri och avstånd i förhållande till den mottagande kroppen. Vilken fraktion av den utstrålade energin som träffar mottagaren korrigeras med en synfaktor i beräkningar. Då den infallande strålningen till den mottagande kroppen följer sambandet



nedan kunde synfaktorn beräknas genom att dividera den infallande strålningen med den utstrålade effekten:

$$E = \Phi M \rightarrow \Phi = \frac{E}{M}$$

I detta sammanhang är den infallande strålningen de strålningsnivåer som provkropparna utsätts för i försöken och den utstrålade effekten kan beräknas med Stefan-Boltzmanns strålningsekvation:

$$M = \sigma \times \varepsilon \times T^4$$

Då den fiktiva plattan antas vara en svartkroppstrålare och flamtemperaturen för pölbränder är väl studerad används följande värden:

$$\varepsilon = 1$$

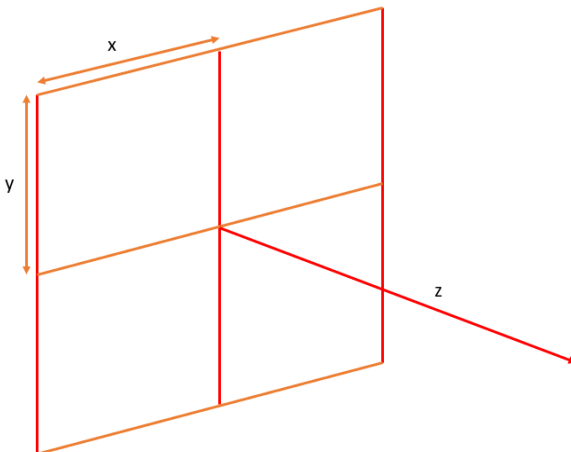
$$T = 1000 \text{ °C}$$

Tidigare studier visar på att flamtemperaturen i pölbränder maximalt når en temperatur av 900-1100 °C oberoende av vilket bränsle som brinner varför detta värde valdes (Beyler, 2014). Temperaturen i flaman skiljer sig också beroende på var denna mäts. Med ovanstående samband kunde den utstrålade effekten från flaman bestämmas till **150 kW/m<sup>2</sup>** och synfaktorn enligt nedanstående tabell, beroende på infallande strålning mot den mottagande kroppen.

Tabell 2. Synfaktorn beräknad beroende på infallande och utstrålad effekt.

	15 kW/m <sup>2</sup>	25 kW/m <sup>2</sup>	30 kW/m <sup>2</sup>	50 kW/m <sup>2</sup>
Synfaktorn $\Phi$	0,10	0,17	0,20	0,34

Genom att dela de framräknade synfaktorerna med fyra och likväl den fiktiva plattan i fyra lika stora delar kunde avstånden till en tänkt husfasad beräknas, se figur 9.



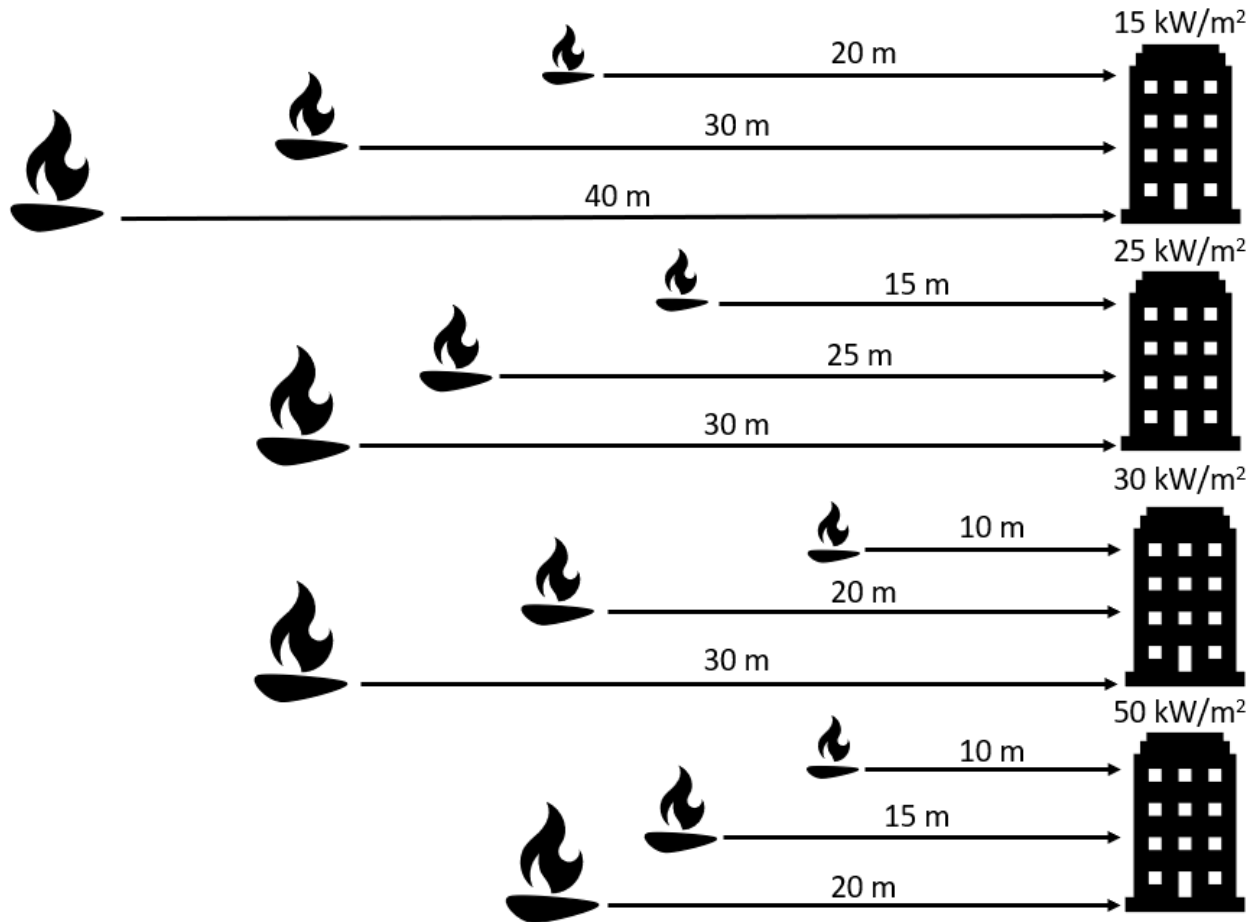
Figur 9. Hur plattan delas upp för att beräkna avståndet z.

Genom en kvot S, beräknad enligt nedan, och den dividerade synfaktorn kunde ett tabulerat värde alfa,  $\alpha$ , hämtas ur tabell (Drysdale, 2011). Vidare kunde avståndet z beräknas genom sambandet för alfa enligt nedan.

$$S = \frac{x}{y}$$

$$\alpha = \frac{xy}{z^2}$$

De uträknade avstånden för de olika storlekarna på pölbranden samt de infallande strålningsnivåerna E, presenteras i figur 10 nedan.



Figur 10. Framräknade avstånd från fasaden utifrån den infallande strålningen. Storleken på symbolerna relaterar till storleken på bränderna.

De framräknade avstånden är beroende av den beräknade effekten som flaman utstrålar. Denna är beräknad med hjälp av Stefan-Boltzmanns strålningsekvation och blir i sammanhanget ett överskattat värde. Studier har visat att pölbränder minskar i strålningsintensitet ju större diametern är på grund av att förbränningseffektiviteten minskar och sotproduktionen då ökar (Shokri & Beyler, 1989). Vidare används en emissivitet på 1 vilket inte är fallet för en flamma samt att utomhusmiljön bidrar med faktorer som ytterligare har reducerande effekter på strålningsintensiteten. De framräknade avstånden kan därför anses vara väl tilltagna.

### 5.3 Material

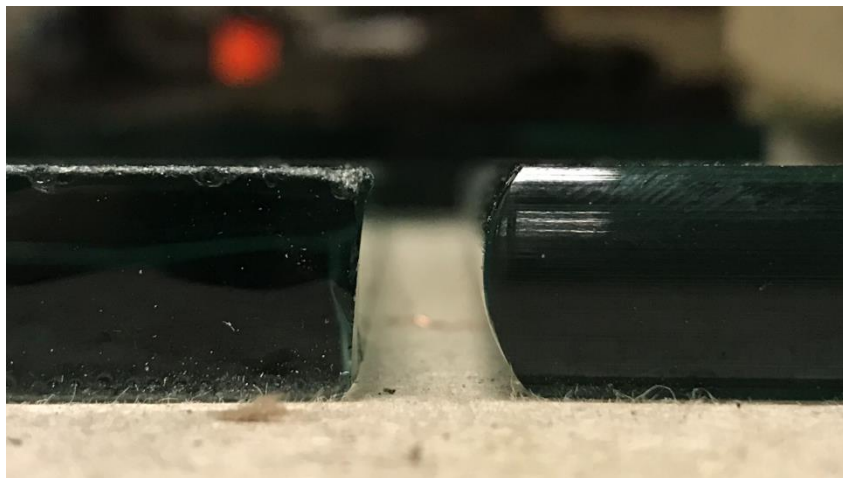
Proverna som vanligtvis testas i konkalorimetern har en storlek av 10 x 10 cm och det är denna yta som konkalorimetern exponerar för strålningsvärme. Initialt var det också denna storlek som avsågs att

användas i arbetet men på grund av tillverkningsprocessen av glas var detta inte möjligt. Det var avståndet mellan rullvalsarna i härdugnarna som bidrog till detta och valet av storlek blev istället 20 x 30 cm.

De provkroppar som testades skänktes till arbetet som sponsring av Osby Glas AB. Totalt skänktes 9 stycken glastyper á 5 exemplar vilket ger ett totalt antal av 45 stycken provglas. De olika glastyper som testades var:

- 6,76 mm lamellglas planglas/planglas
- 8,76 mm lamellglas planglas/planglas
- 4 mm härdat glas med härdslipad kant (normal kant)
- 6 mm härdat glas med härdslipad kant (normal kant)
- 12 mm härdat glas med härdslipad kant (normal kant)
- 12 mm härdat glas med finslipad C-kant
- 24,76 mm lamellglas härdat/härdat med härdslipad fasadkant
- 12,1 mm EW30-glas
- 21,1 mm EI30-glas

Skillnaden mellan en härdslipad kant och en C-slipad kant syns i figur 11 nedan.



Figur 11. Bild som visar skillnaden mellan en härdslipad kant (t.v.) och en C-slipad kant (t.h.).

De brandklassade glasproverna bestod av flera laminerade glas med genomskinliga lager som skulle svälla upp vid värmepåverkan. Då dessa lager svällt upp skulle en skärm utgöra en blockad för flammor samt reducera värmegenomföring.

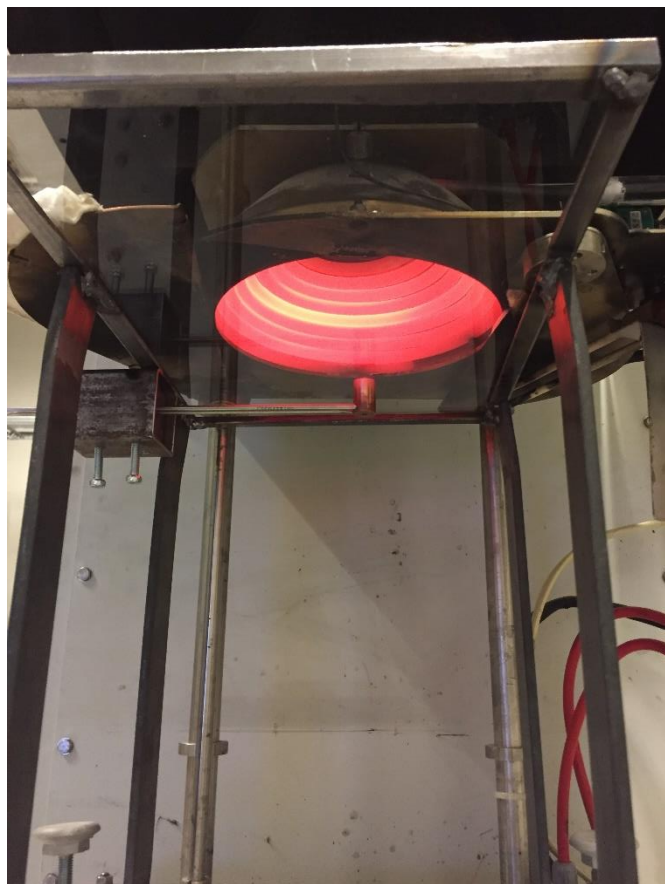
Förutom ovan nämnda glas gjordes inledande försök på planglas med tjocklekarna 2 och 3 mm. Dessa prover skars till manuellt och användes för att testa laborationsutrustningen och justera försöksupställningen inför övriga tester.

#### 5.4 Försöksprocedur

Under utförandet av försöken startades konkalorimetern och ställdes in för att värmas upp till den strålningsnivå som provglaset skulle testas för. Slutaren under konen var stängd och ställningen placerades på plats och ställdes in i höjdlid utefter vilket glas som skulle testas då dessa skiljde sig åt i

tjocklek. Eftersom den inställda strålningsnivån på konkalorimetern uppnås vid 25 mm från konen var detta viktigt att vara noggrann med, se figur 12.

Strålningsmätaren placerades i avsedd hållare i samma ställning som för provkroppen. Då strålningsmätaren var vattenkyld kopplades denna till en vattenkälla innan försöken och mätningarna påbörjades. Dator med tillhörande mjukvara för att kunna läsa av data från strålningsmätaren förbereddes.



*Figur 12. Aktuell försöksupställning under pågående test.*

När konkalorimetern hade uppnått inställd strålningsintensitet öppnades slutaren och strålningsnivån utan provkropp noterades. Slutaren stängdes igen varpå det aktuella provglaset placerades i ställningen. Försöket startades genom att slutaren återigen öppnades och tidtagning samt notering av den transmitterade strålningen påbörjades. Vid de första försöken noterades tiden då en förändring av den transmitterade strålningen skedde. Denna strategi ändrades dock och under majoriteten av försöken noterades den transmitterade strålningen var 10:e sekund. Detta blev ett bättre och mer strategiskt sätt att jobba på. Mot slutet av försöken när det tog längre tid mellan förändringarna av den uppmätta strålningen noterades dock tiden vid varje förändring istället. Även tiden för speciella händelser noterades, detta kunde vara då glaset sprack, lamineringen började brinna osv, se figur 13.



*Figur 13. I bilden till vänster syns hur lamineringen börjar brinna i ett 6,76 mm lamellglas. Glaset utsattes då för en strålningsnivå på 25 kW/m<sup>2</sup> och lamineringen började brinna efter 6 minuter och 30 sekunder. I bilden uppe till höger syns hur ett EW30-glas har en synlig vit ring efter aktivering. Materialet har dessutom börjat expanderat och pressat sönder glaset. I bilden nere till höger syns det i profil hur samma glas ser ut efter avslutat försök.*

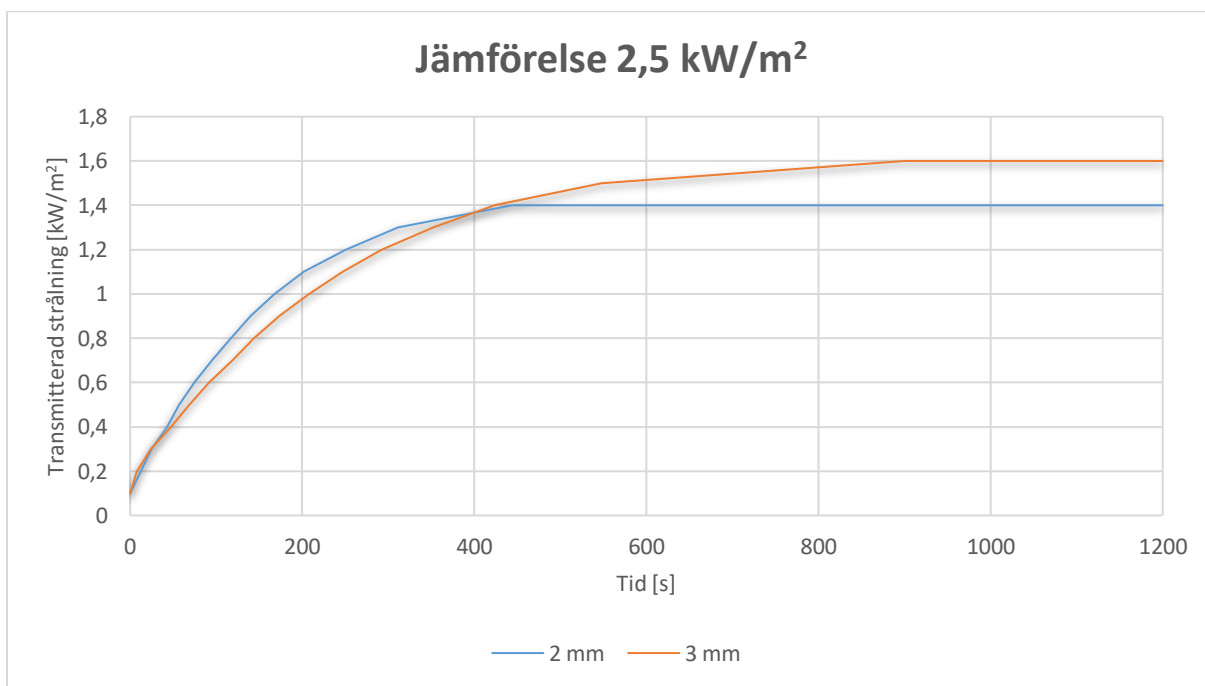
Försöken fortlöpte så länge mätningarna kunde generera användbara resultat, dock max 20 minuter. Orsaker till att försöken avbröts kunde vara att spruckna glasbitar kom i kontakt med strålningsmätaren eller att smält laminering droppade ned på den. När ett försök skulle avslutas stängdes slutaren och provet avlägsnades från ställningen. Därefter kunde nästa försök förberedas.



## 6. Resultat

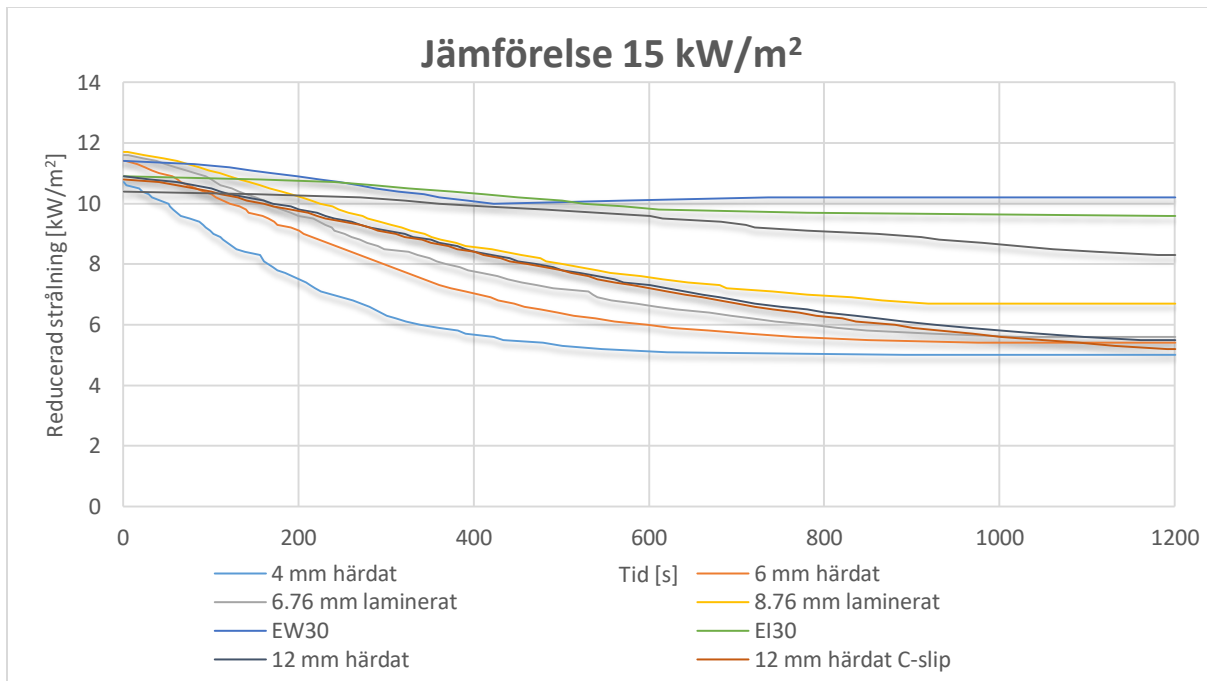
I detta avsnitt presenteras de resultat försöken genererade i form av diagram och tabeller. Inledande försök gjordes med enkelt planglas med en tjocklek på 2 respektive 3 mm, vilkas resultat presenteras i figur 14 nedan. Dessa försök gjordes för att testa om försöksupställningen kunde tillämpas på övriga prover. Vid fortsatta försök registrerades även strålningsnivån vid mätaren innan glaset placerades i ställningen för att kunna jämföra reducerad strålning istället för transmitterad strålning. Den reducerade strålningen är den strålning som inte transmitterades genom glaset. De olika planglasen som testades sprack i ett tidigt skede av försöken då de utsattes för strålningsnivåer över  $2,5 \text{ kW/m}^2$ , bland annat testades de för 5 och  $10 \text{ kW/m}^2$ .

Observera att graferna i figur 15-17 är relaterade till den uppmätta strålningsnivån utan provkropp innan varje försök och inte den infallande strålningsnivån mot provkroppen.



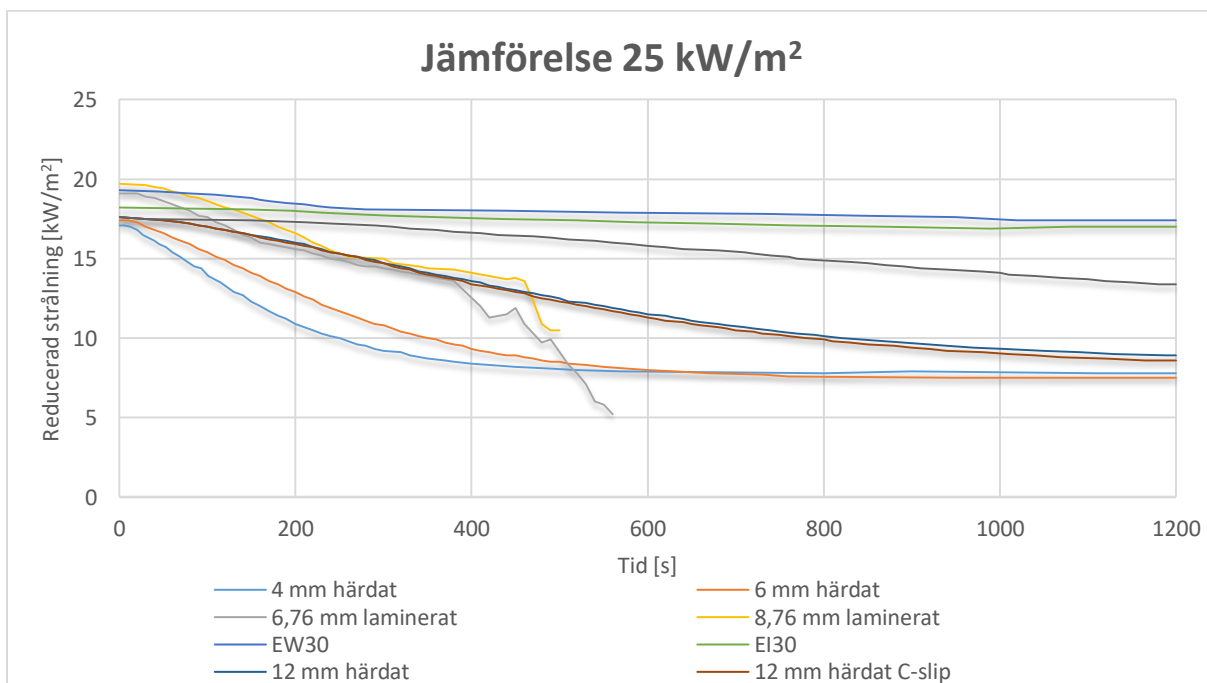
Figur 14. Initiala testförsök med planglas.

Figur 15 nedan visar reducerade strålningsnivåer för de glasprover som utsattes för en infallande strålningsintensitet på  $15 \text{ kW/m}^2$ .



Figur 15. Jämförelse mellan de olika glastyperna med en infallande strålningsintensitet på 15 kW/m<sup>2</sup>.

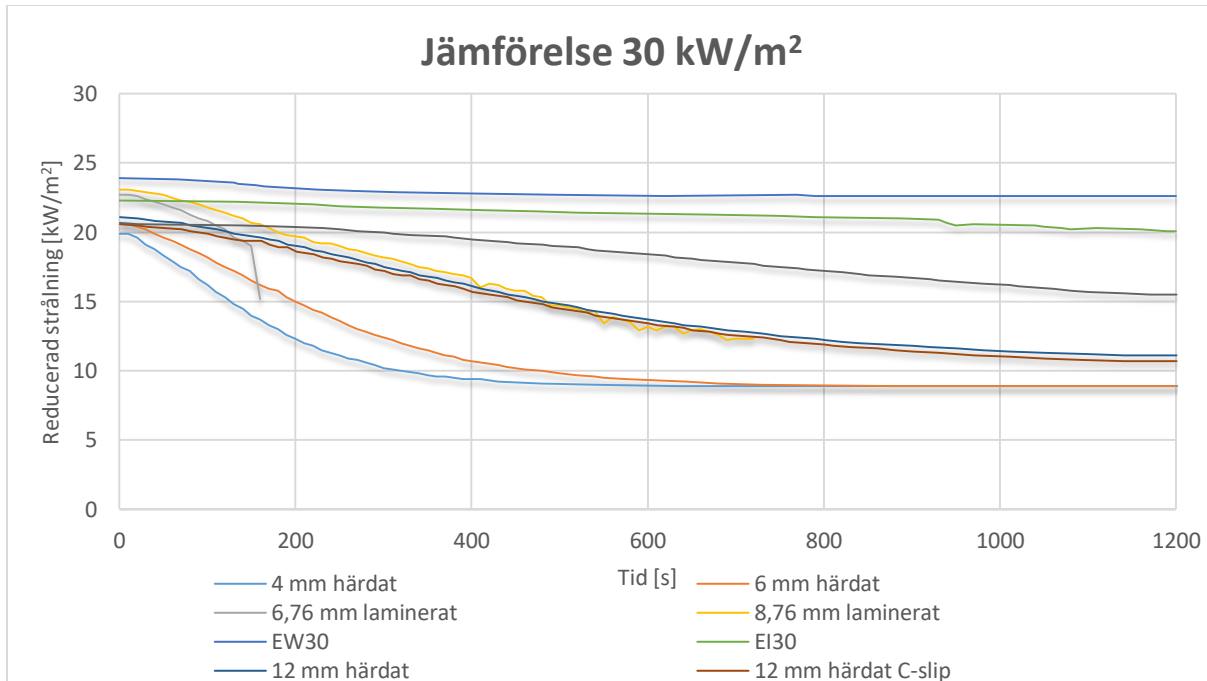
Figur 16 nedan presenterar reducerade strålningsnivåer för de glasprover som utsattes för en infallande strålningsintensitet på 25 kW/m<sup>2</sup>.



Figur 16. Jämförelse mellan de olika glastyperna med en infallande strålningsintensitet på 25 kW/m<sup>2</sup>.

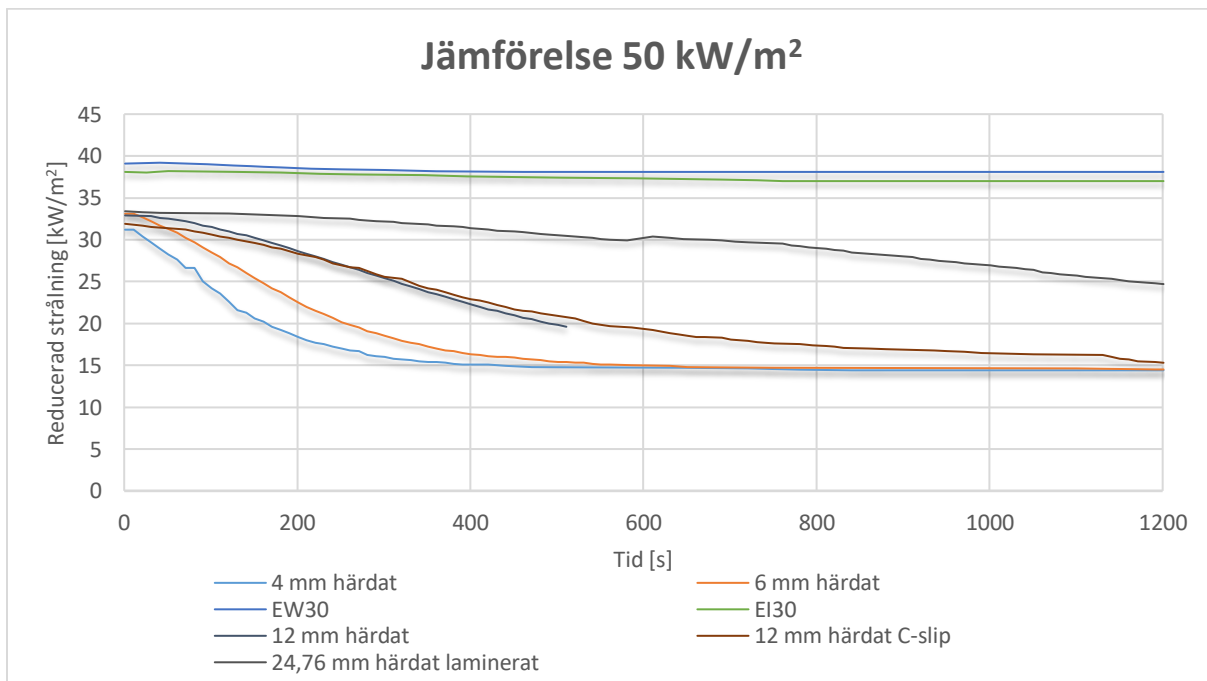
I figur 17 nedan redovisas reducerade strålningsnivåer för de glasprover som utsattes för en infallande strålningsintensitet på 30 kW/m<sup>2</sup>.





Figur 17. Jämförelse mellan de olika glastyperna med en infallande strålningsintensitet på 30 kW/m<sup>2</sup>.

Figur 18 nedan presenterar reducerade strålningsnivåer då glasproverna utsattes för en strålningsintensitet på 50 kW/m<sup>2</sup>.



Figur 18. Jämförelse mellan de olika glastyperna med en infallande strålningsintensitet av 50 kW/m<sup>2</sup>.

Ovanstående diagram visar hur den reducerade strålningsnivån varierar under hela försöksperioden. I praktiska tillämpningar kan resultaten dessutom vara intressanta att ha tabellerade när värmebalans

uppnått. Vid en närmare granskning av ovanstående diagram syns det att inga större förändringar sker mot slutet av försökstiden, varför jämvikt kan antas ha inställt sig efter denna tid för de flesta av försöken.

I nedanstående tabell presenteras de uppmätta strålningsnivåerna för försöken efter 20 minuter. Värdena är punktvärden tagna från det sista mätillfället från varje test (E). I de celler som inte innehåller något värde har försöket avbrutits innan försökstiden uppnått på grund av olika anledningar. De flesta av försöken bedöms uppnått jämvikt efter denna tid, men när så inte är fallet är värdet markerat med asterisk (\*). Eftersom vissa provkroppar inte bedömdes uppnå jämvikt efter försökstidens slut gjordes försök med förlängd försökstid, se bilaga A. Fynden från dessa visar på att de resulterande värdena då jämvikt uppnått inte skiljer sig nämnvärt från de som är presenterade i tabellen nedan. Även den procentuella andelen av strålningen som reducerades av provkroppen återfinns i tabellen (%), tillika den beräknade strålningsnivån 1 m från en 2 x 2 m stor svartkroppsstrålare ( $\Phi$ ), tänkt motsvara ett fönster, med hänsyn till synfaktor. Denna synfaktor är beräknad med samma metodik som beskrivs i avsnitt "5.2 Strålningsnivåer" för att senare multipliceras med den transmitterade strålningen. Avståndet 1 meter användes i beräkningarna för jämförelse med EW-klassen, där strålningsnivån ej ska överstiga 15 kW/m<sup>2</sup> på avståndet 1 meter från glaset. För EW-klassen gäller detta som ett genomsnittligt värde för hela testperioden men de värden som finns presenterade i tabell 3 gäller då jämvikt uppnått.

Observera att de tabellerade värdena är relaterade till den uppmätta strålningsnivån utan provkropp innan varje försök och inte den infallande strålningsnivån mot provkroppen.

Tabell 3. Infallande strålningsnivå mot mätutrustningen för de olika testerna (E) samt den procentuella andelen som reducerats av glaset (%). Även den beräknade strålningsnivån 1 m från en 2x2 m stor tänkt svartkroppstrålare ( $\Phi$ ) presenteras, vilken är tänkt motsvara ett fönster. För de försöken där jämvikt inte bedömdes uppnås är värdet markerat med asterisk (\*).

	Infallande strålning											
	15 kW/m <sup>2</sup>			25 kW/m <sup>2</sup>			30 kW/m <sup>2</sup>			50 kW/m <sup>2</sup>		
	E kW/m <sup>2</sup>	% -	$\Phi$ kW/m <sup>2</sup>	E kW/m <sup>2</sup>	% -	$\Phi$ kW/m <sup>2</sup>	E kW/m <sup>2</sup>	% -	$\Phi$ kW/m <sup>2</sup>	E kW/m <sup>2</sup>	% -	$\Phi$ kW/m <sup>2</sup>
6,76 mm laminerat	6,5	46 %	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,76 mm laminerat	5,4	55 %	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24,76 mm lam. härd.	2,4*	78 %*	1,3*	5*	73 %*	2,8*	6,4*	71 %*	3,6*	11,7*	68 %*	6,5*
4 mm härdat	7,3	41 %	4,1	13,2	37 %	7,3	16,2	35 %	9,0	28,6	33 %	15,9
6 mm härdat	7,2	43 %	4,0	12,9	37 %	7,2	15,8	36 %	8,8	28,5	34 %	15,8
12 mm härdat	6,4*	46 %*	3,6*	10,9*	45 %*	6,1*	13,1*	46 %*	7,3*	-	-	-
12 mm härdat C	6,4*	45 %*	3,6*	11,2*	43 %*	6,2*	12,8*	46 %*	7,1*	23,5*	39 %*	13*
EW30	1,3	89 %	0,7	2	90 %	1,1	1,4	94 %	0,8	1,4	96 %	0,8
EI30	1,4	87 %	0,8	1,3	93 %	0,7	2,3	90 %	1,3	1,4	96 %	0,8

Utöver strålningsnivåerna noterades även tidpunkter för när glaset sprack samt när brandskyddsglaset synligt aktiverades genom att få en vit färg. Tidpunkter för då glas sprack kunde innebära att glaset föll isär eller sprack men låg kvar i ramen. Dessa återfinns i tabell 4 nedan.

Tabell 4. Tidpunkter (m:ss) för när de olika glastyperna sprack samt när brandskyddsglasen erhöill en synlig aktivering. Eftersom de härdade glasen aldrig gick sönder, förutom 12 mm med härdslipad kant, utesluts dessa från tabellen.

	Infallande strålning							
	15 kW/m <sup>2</sup>		25 kW/m <sup>2</sup>		30 kW/m <sup>2</sup>		50 kW/m <sup>2</sup>	
	Sprack	Aktivering	Sprack	Aktivering	Sprack	Aktivering	Sprack	Aktivering
6,76 mm laminerat	1:44	-	1:30	-	0:50	-	-	-
8,76 mm laminerat	Saknas	-	1:30	-	1:20	-	-	-
24,76 mm lam. härd.	-	-	-	-	-	-	9:55	-
12 mm härdat	-	-	-	-	-	-	8:31	-
EW30	1:55	Saknas	0:25	3:00	0:36	1:00	0:17	0:35
EI30	1:30	6:50	1:07	3:00	0:30	1:20	0:17	0:35

Ytterligare ett intressant resultat av försöken var huruvida provkropparna ändrade egenskaper efter påfrestningarna. Detta främst för att försöka utröna om emissiviteten kan ha förändrats under försökstiden och därav påverkat den transmitterade strålningen. Bilden nedan visar två härdade glas efter avslutat försök. Visuellt går det inte att säga att dess egenskaper ska ha förändrats under försöken. Detta gällde samtliga härdade glas efter samtliga försök.



Figur 19. Två härdade glas efter avslutade försök. Inga visuella skillnader kunde noteras jämfört med innan försöken.



## 7. Analys och diskussion

Hur de presenterade resultaten ska tolkas är av betydande faktor om dessa ska användas i praktiska tillämpningar. Som beskrivits i "5.1 Försöksuppställning" mättes strålningen från en fast monterad strålningsmätare på ställningen för provkroppen. På så sätt kunde strålningen mätas med samma avstånd från provkroppen för alla provglas oberoende av dess tjocklek

Ett alternativ till denna försöksuppställning hade varit att ha ett bestämt avstånd mellan strålningsmätaren och konen. Detta hade resulterat i att provglasens yta hade exponerats för olika strålningsnivåer på grund av dess tjocklek, eftersom det är önskvärt att mäta strålningen på samma avstånd bakom varje provkropp. Eftersom frågeställningarna för detta arbete har en praktiskt tillämpad inriktning valdes den aktuella försöksuppställningen. Detta eftersom det vid projekteringar ofta utgås från vilken strålningsnivå som en fasad exponeras för på ytan. Med den försöksuppställning som användes kunde transmitterad strålning genom glasproverna bestämmas med utgångspunkt från att ytan exponerades för samma specifikt valda strålningsnivå.

Den reducerade strålningsnivån från resultatet är framtagen genom att ett initialt värde på strålningsmätaren registrerades inför varje försök. Därefter sattes glasprovet in och den transmitterade strålningen genom glaset registrerades. Eftersom strålningsmätarens avstånd till konen, och därmed den initiala strålningsnivån, varierade beroende på ställningens höjd gjordes detta för att kunna beräkna hur mycket glaset reducerade.

Försök i rapporten resulterade i att ungefär  $7 \text{ kW/m}^2$  transmitterades genom härdat glas efter 20 minuter då det exponerades för en strålningsintensitet på  $15 \text{ kW/m}^2$ . Resultaten verkar dessutom gälla oberoende av tjockleken på glaset förutom för det 24,76 mm härdade lamellglaset. Detta ligger i linje med en av de studier som presenterades i teoriavsnittet, där en transmitterad strålningsintensitet på  $7 \text{ kW/m}^2$  registrerades då härdat glas exponerades för  $16 \text{ kW/m}^2$  i 15 minuter (Mowrer, 1997).

Trots att de härdade glasen tycks släppa igenom lika mycket strålning vid jämvikt oberoende av tjocklek skiljer sig tiden till jämvikt åt. Enligt tidigare forskning om utrymning av kontorsbyggnader var samtliga utrymda inom 10 minuter (Frantzich, 2000). Vid denna tidpunkten, efter 10 minuters försökstid, skiljer sig de olika tjocklekarna åt då de tjockare glasen transmitterar mindre värmestrålning. Trots att glasen släpper igenom lika mycket strålning vid jämvikt oberoende av tjocklek är det alltså ändå relevant att beakta tjockleken på glasen. Ingen hänsyn tas då till hur byggnaden klarar av brandförloppet.

Då 12 mm härdat glas utsattes för en infallande värmestrålning på  $50 \text{ kW/m}^2$  gick provglaset med härdslipade kanter sönder medan provglaset med C-slipad kant inte gjorde det. Detta är att jämföra med de härdade glasen med tjocklek på 4 och 6 mm som höll hela testet igenom. Det här kan bero på att de tjockare glasen har en större massa som kräver mer energi för att värmas upp varpå temperaturen hinner stiga mer koncentrerat under konen på dessa. Till slut blir temperaturgradienten så pass stor att glaset går sönder. De tunnare glasen har en mindre massa som kräver mindre energi för att värmas upp och därför hinner värmen ledas ut till provkroppens utkanter. På så sätt byggs inte en tillräckligt stor temperaturgradient upp för att gå sönder glaset. Eftersom det 12 mm tjocka glaset med C-slipning inte går sönder vid denna strålningsintensitet faller dock detta argument på egen hand.

Ett annat argument för att resultaten skiljer sig åt är att det skulle kunna bero på slipningen. Som tidigare beskrivet uppstår sprickor i glasets kanter vilket gör att ett glas med finslipade kanter har en högre hållfasthet. Då endast  $10 \times 10 \text{ cm}$  av glasprovets yta kunde exponeras för konkalorimeterns

strålning skapades större temperaturgradienter i glaset än om hela ytan hade värmts upp. Storleken på temperaturgradienterna tillsammans med sprickor i glasets kanter är avgörande för när det spricker. Dessa argument kan tillsammans ha varit orsak till att 12 mm glaset med normal härdslipning inte höll. Vid praktiska tillämpningar räknar man dock ofta med att det är stora flammor som exponerar hela fönsterytor för strålning. Arbetet var dock avgränsat till att inte studera ramens inverkan.

Sprickor i glasets kant ökar sannolikheten för att glaset ska gå sönder vid temperaturförändringar. Då de vanliga planglasen var skurna för hand föreligger osäkerheter kring om dessa kanter hade sprickor eller ej. Detta syntes även på försöken då vissa prover gick sönder lättare än andra av samma glastyper vid exponering av samma strålningsnivå. Resultaten från försöken med dessa prover har haft begränsad betydelse för rapporten då de endast använts till justering av försöksuppställning inför övriga försök. Glasproverna gick sönder då de utsattes för 5 och 10 kW/m<sup>2</sup> vilket överensstämmer med tidigare presenterad forskning där 2,5 mm planglas gick sönder vid strålningsexponering på 4-5 kW/m<sup>2</sup>. Denna korrelation anses stärka tillförlitligheten i försöksuppställningen.

Resultat från försöken visar att de härdade glasproverna dämpar strålningsintensiteten med 33-46 % beroende på vilken intensitet de utsätts för. Jämför man med de brandklassade glasen, som reducerar 87-96 %, är skillnaden väsentlig. Inga tendenser visar att de brandklassade glasen transmittade mer eller mindre strålning beroende på utsatt strålningsnivå och de transmittade aldrig mer än 2,5 kW/m<sup>2</sup>.

För att studera resultatet och jämföra det mot W-klassningen gjordes handberäkningar av strålningsnivån 1 meter från en tänkt 2 x 2 m stor svartkroppstrålare. Dessa beräkningar visade att strålningsintensiteten från samtliga glastyper, som höll under hela testperioden, understeg 15 kW/m<sup>2</sup> på 1 meters avstånd förutom då härdade glas med tjocklekar på 4 och 6 mm utsattes för 50 kW/m<sup>2</sup>. Resultaten för denna strålningsnivå är dock mindre relevanta i arbetet då tidigare forskning visar på att stora pölbränder inte genererar så höga strålningsnivåer till följd av dålig förbränningseffektivitet (Shokri & Beyler, 1989).

Beräkningarna gjordes för att erhålla ett resultat som kan relateras till EW-klassningen som ofta föreskrivs vid projekteringar intill farligt gods-leder. Måtten 2 x 2 meter valdes för att representera ett fönster vilket bör tas i beaktning vid tolkning av resultaten. Detta är större än ett normalt fönster vilket avspeglar sig i den framräknade synfaktorn. Med ett mindre val av fönster hade synfaktorn 1 m från fönstret blivit mindre varpå även strålningsnivån hade blivit mindre vid denna position. W-klassningen innebär att strålningsintensiteten 1 meter från den oexponerade sidan av glaset inte får överstiga 15 kW/m<sup>2</sup> i genomsnitt under ett test vid påverkan av standardbrandkurvan som tidigare är beskrivet. Beslutsfattare som föreskriver denna klassning med dessa villkor intill farligt gods-leder tycks alltså uppnå samma standard med vissa av de provglas som testats i detta arbete.

En byggnadsdel, t.ex. ett glas, med en viss storlek som godkänts för en viss klassning kan inte antas uppfylla samma klassning vid en annan storlek. Olika storlekar på samma byggnadsdel behöver därför testas separat för att erhålla en viss brandklass (Olsson, Sedin, & Almgren, 2014). Detta bör alltså tas i beaktning vid tolkning av de resultaten detta arbete presenterar.

Osäkerheter finns även i de strålningsnivåer som registrerats eftersom detta gjordes manuellt och med vissa tidsintervall. Det är därför möjligt att vissa strålningsnivåer inte har registrerats. Programvaran till konkalorimetern saknade automatisk registrering varför manuell registrering var nödvändig. I vissa

försök noterades kortare fluktuationer i den transmitterade strålningen vilket valdes att bortses från i registreringen, då det var oklart vad dessa fluktuationer berodde på.

Försöksupställningen bestod av en, speciellt för försöken tillverkad, ställning vars höjd justerades manuellt inför varje prov. Viss osäkerhet ligger kring huruvida glasproverna hamnade på avståndet 25 mm från konen vid varje försök och därmed utsattes för samma infallande strålning. För att få en bild av hur avgörande denna osäkerhet var genomfördes ett nytt försök med ett redan testat glas vid ett senare tillfälle. Mellan testen gjordes flera andra försök och ställningen flyttades och justerades flertalet gånger. Resultatet av detta försök återfinns i bilaga A, figur 20. Här syns det tydligt att resultaten är likvärdiga varför denna osäkerhet inte tolkas ha någon betydande inverkan på resultaten.

Det nyss nämnda försöket vittnar också om att glasets egenskaper inte avsevärt förändras då det tidigare utsatts för värmestrålning. Den reducerade strålningsnivån från samma provkropp under ett andra försök är densamma. Detta kan vändas till fördel för det härdade glaset då dessa förmodligen inte behöver bytas ut om en olycka med strålningspåverkan till följd på fasaden sker. Det härdade glasets hållfasthet är även ett argument för detta.

Vid försök med EI30-glaset justerades höjdnivån på ställningen till lägsta möjliga. Det här berodde på att detta glas är tjockt och resulterade i att glaset hamnade 20 mm från konen. Då konkalorimetern är kalibrerad för strålningsnivåer på avståndet 25 mm föreligger osäkerheter kring hur höga strålningsnivåer EI30-glasets utsattes för. Resultat från försöken visar dock att den strålning som transmitteras genom EI30-glasen vid jämvikt ligger på samma nivå för alla de infallande strålningsnivåer som glaset utsattes för. Presenterad tid till aktivering i tabell 4 för EI30-glasen kan dock antas vara något kortare än den skulle varit för aktuell strålningsintensitet. Även det härdade laminerade glaset (24,76 mm) hamnade närmre konen än 25 mm och utsattes därför för en högre strålningsnivå än vad som var tänkt. Det resulterade i att glaset sprack tidigare än vad det annars hade gjort.

Antalet försök med olika glas var begränsat på grund av tidsramen för arbetet. För att undersöka osäkerheten med det begränsade antalet repetitioner som genomfördes för varje försök gjordes stickprovskontroller för att studera korrelationen mellan dessa. Resultat från stickprovskontroller presenteras i bilaga A. Variationen var som mest mellan två otestade provkroppar i samma tjocklek men understeg 2 kW/m<sup>2</sup> vid exponering för en strålningsintensitet på 30 kW/m<sup>2</sup>. Vidare fanns det i uppsättningen av glas två olika typer med samma tjocklek där endast slipningen skiljde dem åt, 12 mm härdat glas med härdslipning respektive C-slipning. Dessa två testades för samtliga strålningsnivåer och vid granskning av resultaten syns det tydligt att dessa följs åt väl. Detta bidrar alltså med underlag för att dra slutsatsen att flera försök med samma glastyp på samma strålningsnivå förmodligen inte hade gett andra resultat.

För att undersöka om maxtiden för försöken, 20 minuter, var rimlig testades ett prov under den dubbla tiden. Ett 4 mm tjockt härdat glas som testades för 30 kW/m<sup>2</sup> fick pågå under 40 minuter. Resultatet av detta blev att det inte skedde någon förändring av mätvärdena jämfört med efter 20 minuter, se figur 24 i bilaga A. Därför avfärdades att resultatet skulle påverkas nämnvärt till följd av längre exponeringstid i övriga försök.

Då detta test, som föregående stycke beskriver, gjordes var det inte tänkt att 12 mm och tjockare glas skulle testas. Resultaten från de föregående försöken visade på att tjockare glas kunde vara intressanta att testa. Dessa försök blev kompletterande då det bedömdes finnas tid och resurser för att gå vidare

med dessa tester. När de tjockare glasen testades noterades att jämvikt inte riktigt uppnåts efter 20 minuter och ett par prover testades därför under längre tid, se figur 22 och 23 i bilaga A. Resultat från dessa prover visar dock att värdet på reducerad strålning vid jämvikt skiljer sig mindre än  $1 \text{ kW/m}^2$  från det värde som registrerades efter 20 minuter.



## 8. Slutsats

Målet med detta examensarbete var att utröna om härdat glas skulle kunna utgöra ett kostnadseffektivt alternativ till brandskyddsglas vid projektering. Detta mål skulle uppnås genom en noggrann jämförelse mellan olika typer av glas.

I arbetet har småskaliga försök i kontrollerad laboratoriemiljö gjorts vilket har genererat de resultat som rapporten visar på. Att förvänta sig att dessa resultat är direkt applicerbara på storskaliga försöksresultat eller i praktiska tillämpningar är osäkert.

Slutsatser som kan dras utifrån frågeställningarna gäller för glas i provstorleken (20 x 30 cm) och listas nedan.

- Härdat glas med finslipad C-kant ser ut att kunna motstå en typisk värmepåverkan från en farligt gods-olycka utan att gå sönder. Hänsyn ska dock tas till arbetets avgränsningar. Detta gäller för glas i tjockleken 4-12 mm.
- Härdat glas reducerar i de tester som genomförts en infallande strålning med 33-46 % beroende på strålningsintensitet.
- Den skyddande funktionen i brandklassade glas aktiveras vid exponering av endast strålningsvärme vid samtliga testade strålningsintensiteter (15-50 kW/m<sup>2</sup>).



## 9. Avslutande kommentarer

Vid praktisk tillämpning av detta arbete bör det tas i beaktning att resultatet är baserat på småskaliga försök.

Förslag på vidare studier inom området tas upp i en punktlista här nedan.

- Genomföra försök på större glasprover för att studera korrelationen mellan småskaliga och storskaliga prover.
- Studera hållfasthet vid strålningspåverkan genom försök på olika storlekar av finslipade glas.
- Undersöka ramens inverkan på hållfastheten för hela fönsterkonstruktionen.
- En kostnads-/nyttoanalys rekommenderas för att utröna det bästa alternativet vid olika projekteringar.
- Studier på glas med annan emissivitet eller med solskyddsfilm.



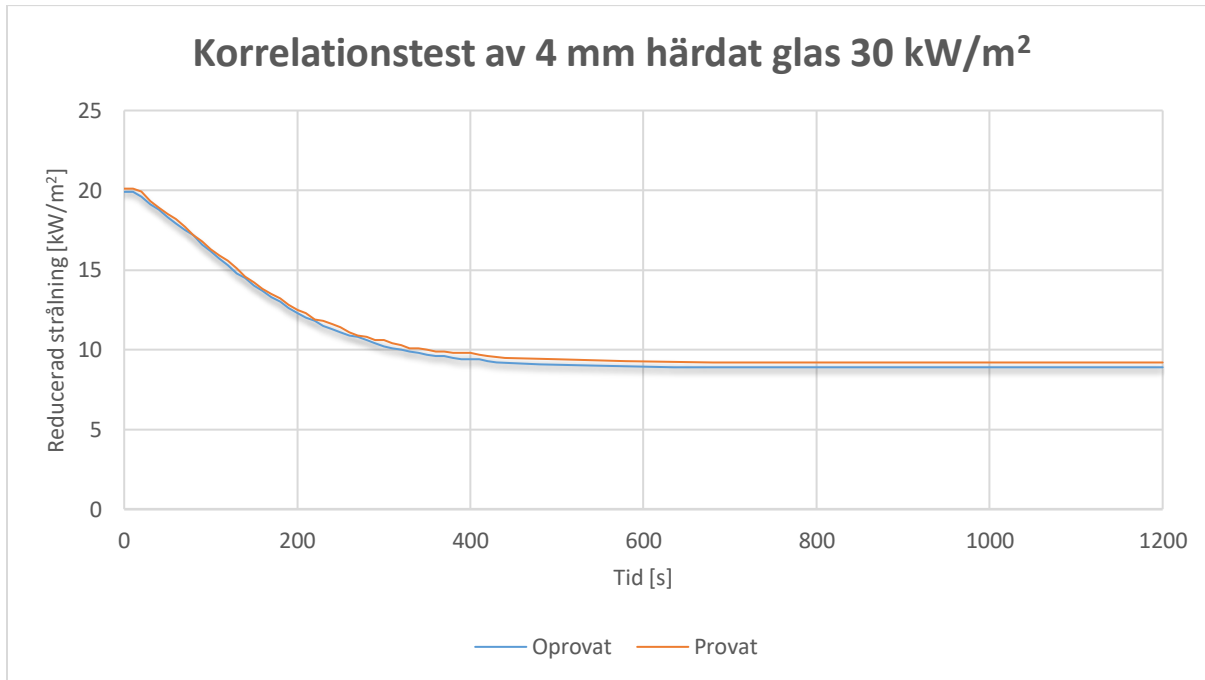
## Litteraturförteckning

- Babrauskas, V. (2010). *Glass breakage in fires*. Fire Science and Technology Inc.
- Babrauskas, V. (2014). Heat Release Rates. i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (ss. 863-867). New York: Springer.
- Babrauskas, V. (2014). The Cone Calorimeter. i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (ss. 952-981). New York: Springer.
- Beyler, C. (2014). Fire Hazard Calculations for Large, Open Hydrocarbon Fires. i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (ss. 2591-2663). New York: Springer.
- Carlson, P.-O. (2005). *Bygga med Glas*. Stockholm: Glasbranschföreningen.
- Cohen, J. D., & Wilson, P. (1995). Current results from structure ignition assessment model (SIAM) research. *Fire management in the wildland/urban interface: sharing solutions* (pp. 120-132). Kananaskis Village, Alberta, Canada: Partners in Protection.
- Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*. Chichester: Wiley.
- Enheten för samhällsskydd. (2016). *Riktlinjer för planläggning intill*. Stockholm: Länsstyrelsen Stockholm.
- Frantzich, H. (2000). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Hall Midholm, E. (2016). *Riskanalys transport av farligt gods, Timotejen 17, 19 och 28*. Stockholm: Brandskyddslaget AB.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (1999). *Enclosure Fire Dynamics*. Florida: CRC Press LLC.
- Kim, A., & Loughheed, G. (1990). The Protection of Glazing Systems With Dedicated Sprinklers. *Journal of Fire Protection Engineering*, 49-59.
- Mowrer, F. W. (1997). Window breakage induced by exterior fires. *Second International Conference on Fire Research and Engineering* (pp. 404-415). Gaithersburg: Society of Fire Protection Engineers.
- Olsson, N., Sedin, G., & Almgren, E. (2014). Brandtekniska klasser och övriga förutsättningar, BBR 5:2. i *Brandskyddshandboken* (ss. 35-64). Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola.
- Persson, C., Sandvik, M., Fagergren, T., & Sedin, G. (2014). Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas inom byggnader, BBR 5:5. i *Brandskyddshandboken* (ss. 116-155). Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola.
- Räddningsverket. (2006). *Kartläggning av farligt godstransporter*. Karlstad: Räddningsverket.
- Sandström, C. (2012). *Transporter av farligt gods*. Stockholm: Sveriges Kommuner och Landsting.
- Shokri, M., & Beyler, C. (1989). Radiation From Large Pool Fires. *Journal of Fire Protection Engineering*, 141-150.
- Stenberg, C.-A. (2007). *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen*. Malmö: Länsstyrelsen i Skåne Län.

Trafikanalys. (2017). *Swedish national and international road goods transport 2016*. Stockholm:  
Trafikanalys.

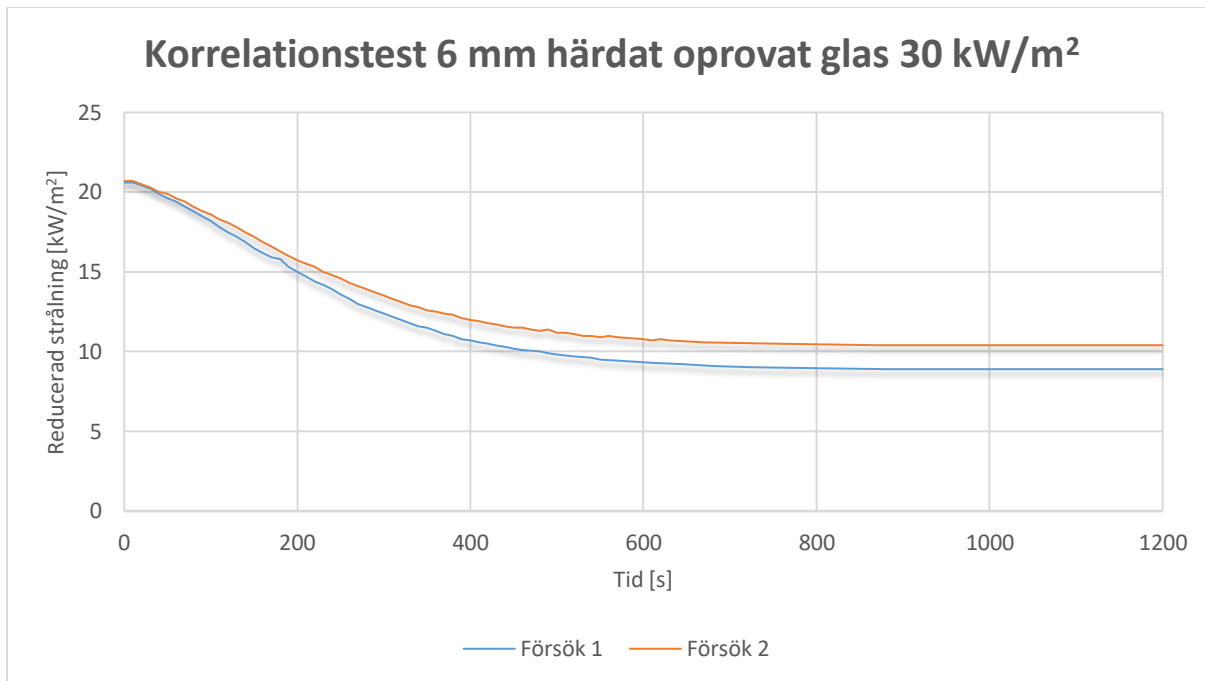
## Bilaga A

I denna bilaga presenteras resultat från försök som inte presenterats under resultatdelen i rapporten. Dessa behöver inte vara intressanta för att besvara frågeställningarna rapporten bygger på utan istället ge information vid hantering av osäkerheter. Figur 20 nedan visar resultat från två repeterade försök gjorda på samma glaskropp.



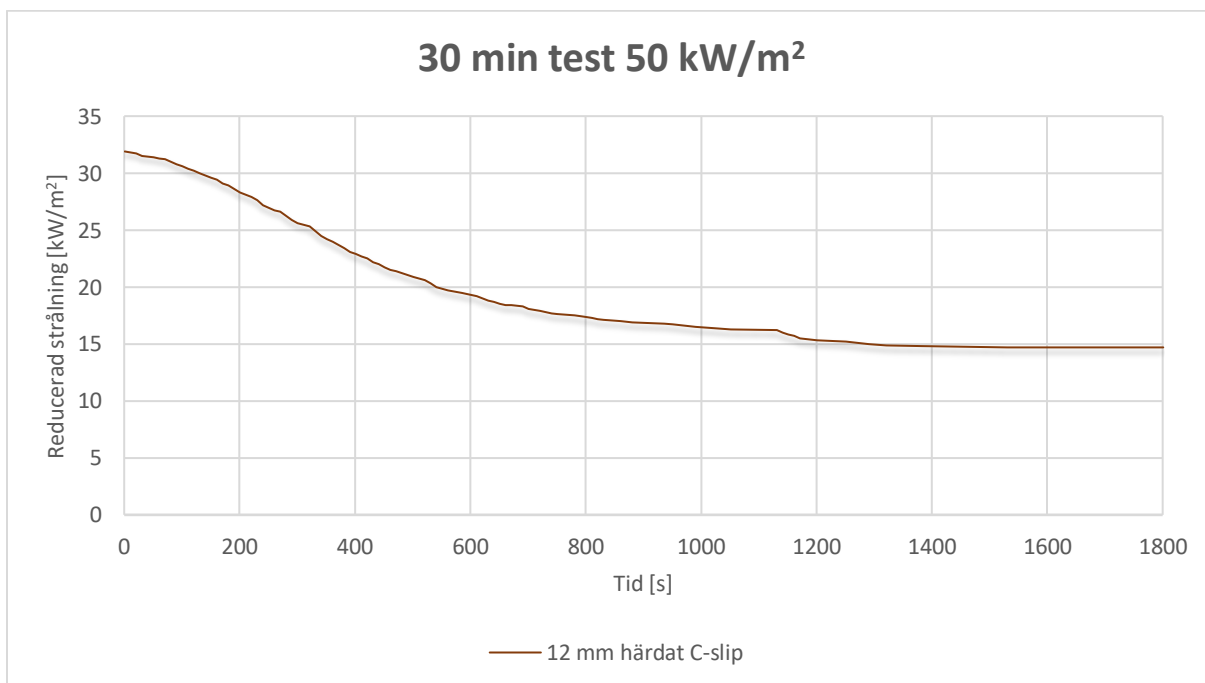
Figur 20. Resultat från samma glaskropp vid två olika försök.

I figur 21 nedan presenteras resultat från två olika glaskroppar på 6 mm som utsattes för samma strålningsintensitet.



Figur 21. Resultat från två olika tidigare oprovade testglas utsatta för samma strålningsintensitet.

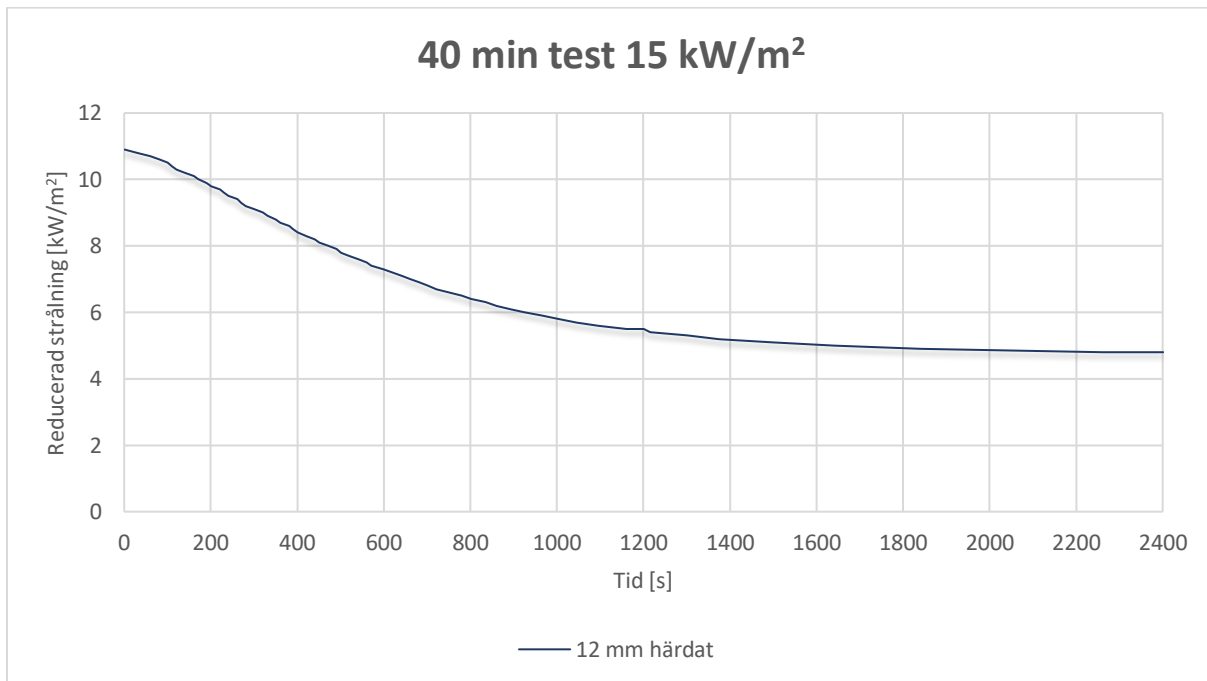
Nedan visas resultat från ett 30 minuters test med 12 mm härdat glas med finslipad C-kant, se figur 22. Glaset utsattes i försöket för en strålningsintensitet på 50 kW/m<sup>2</sup>.



Figur 22. Resultat från 30 minuters test vid 50 kW/m<sup>2</sup> med 12 mm härdat glas med finslipad C-kant.

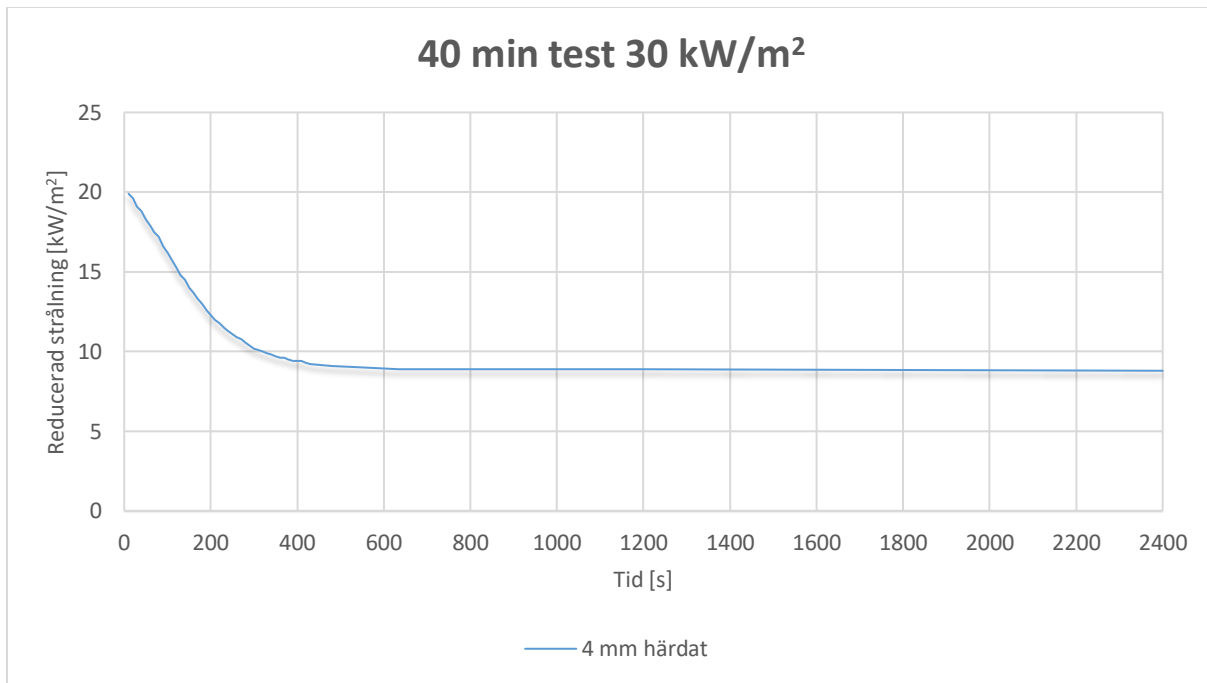


I figur 23 nedan presenterar resultat från ett 40 minuters test med 12 mm härdat glas med härdslipad kant, då glaset utsattes för en strålningsintensitet på 15 kW/m<sup>2</sup>.



Figur 23. Resultat från 30 minuters test vid 15 kW/m<sup>2</sup> med 12 mm härdat glas.

I figur 24 nedan redovisas resultat från ett försök med 4 mm härdat glas då det utsattes för 30 kW/m<sup>2</sup> under 40 minuter.



Figur 24. Resultat från 40 minuters test vid 30 kW/m<sup>2</sup> med 4 mm härdad glas.