

Brännbarhet

En studie om brännbarhetstester med
konkalorimeter

Pontus Bjuring Gerlich

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Lund University, Sweden

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5372, Lund 2011

Brännbarhet

En studie om brännbarhetstester med konkalorimeter

Pontus Bjuring Gerlich

Lund 2011

Titel: Brännbarhet – En studie om brännbarhetstester med konkalorimeter

Title: Heat release - A study of heat release tests with the cone calorimeter

Författare: Pontus Bjuring Gerlich

Report 5372

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB-5372-SE

Number of pages: 61

Keywords

Heat release, cone calorimeter, ISO 5660, ISO 1182 Medtherm meters, Gunners meters

Sökord

Brännbarhet, konkalorimeter, ISO 5660, ISO 1182, Medthermmätaren, Gunnersmätare

Abstract

The purpose of this work was to find a scientific and comparable way to measure the heat release of materials with low heat release rate. The work focused on ISO 5660 and the cone calorimeter and how to improve this method and equipment.

By conducting a series of tests in the cone calorimeter and vary the size of the cone calorimeter and the test specimen and the distance between the test specimen and cone calorimeter various possible improvements were identified.

The results of the tests show that simply increasing the size of the specimen is not a good solution because the results are not comparable with other results in accordance with ISO 5660. But by increasing the size of the cone calorimeter it is possible to better measure the heat release of materials with low heat release rate.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2011.

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Sammanfattning

Detta arbete har som mål att förbättra metoden att mäta brännbarheten hos material med låg brännbarhet. I arbetet har valts att använda konkalerimeter och ISO 5660, som är den vanligaste metoden för att mäta brännbarhet. Testerna utförs genom att en platt provkropp, av det material som ska testas, sätts horisontellt i konkalerimetern. Värmen på konvärmaren ställs sedan in så att den bestämda värmeöverföring som provkroppen ska utsättas för uppnås. Alla gaser som provkroppen avger fångas upp. Genom att mäta syrehalten i gaserna går det att beräkna vilken effektutveckling provkroppen, dvs. materialet, har vid den utsatta värmeöverföringsnivån.

Arbetet började med en litteraturstudie för att försöka identifiera lämpligt område, där det finns en möjlighet att förbättra ISO 5660. Området som identifierades var problem med icke tillförlitliga mätdata vid tester av material med låg brännbarhet. Dessa otillförlitliga mätdata ledde till kraftigt varierande resultat. En möjlig lösning skulle kunna vara att öka ytan på materialet som testas för att på så sätt få mer konsekventa mätdata.

Under senare tid har flera olika sorters byggmaterial och ytskikt introducerats på marknaden. Det behövs ett effektivt sätt att kategorisera deras brännbarhet och därmed på vilket sätt dessa material och ytskikt kan påverka ett brandförlopp. Datamodeller används allt oftare vid brandsimuleringar och de blir alltmer detaljerade. Därför behövs bra testvärden till dessa simuleringar.

Då det framkom att ISO 5660-1 har problem att testa material med låg brännbarhet togs ISO 5660-4 fram med modifierade inställningar för att bättre passa dessa material. Det har dock visat sig att ISO 5660-4 har brister. Det är främst att medelvärdet av värmeöverföringen som påverkar provkroppen inte är detsamma som för ISO 5660-1. Detta gjorde att resultaten från ISO 5660-4 inte kunde jämföras med resultaten från ISO 5660-1.

Resultatet av detta arbete och tester visar att det skulle vara möjligt att, genom att använda en större konkalerimeter med större provkroppar, kunna minska problemet med svaga och för få mätdata. Att öka arean på provkroppen ger större mängd pyrolysgaser och detta ger bättre möjlighet till bra mätningar med större noggrannhet.

Summary

This work, have had the goal of improving the method to measure the heat release rate of materials with low heat release rate. In this work the cone calorimeter and ISO 5660 were chosen. This is the most common method of measuring heat release. Testing is done by inserting a flat test specimen, of the material to be tested, in the cone calorimeter. The total radiated heat which the specimen will be subjected to is then applied. All gases emitted by the specimen are captured, and by measuring the oxygen content in the gases it is possible to get the heat release rate of the specimen, at the appointed heat radiation level.

The work began with a literature review to try to identify suitable areas to improve. The area identified was the problem of weak data that lead to that the results greatly varied when testing materials with low combustibility. The possible solution may be to increase the surface of the test specimen in order to obtain more data.

Recently, several kinds of building and lining materials have come onto the market. An efficient way to categorize their heat release and the way in which these materials and finishes would affect a fire is needed. Computer simulations are used more often and become more detailed, hence the need for good data to be used in the simulations.

It has been discovered that ISO 5660-1 has problems when testing material with low combustibility. Therefore, ISO 5660-4 was presented with modified settings to better suit materials with low combustibility. However, it had shortcomings that mainly consisted of that the average total heat flux that affected the test material was not the same as in ISO 5660-1. This meant that the results of 5660-4 could not be compared with results from ISO 5660-1.

The results of this work and tests show that it would be possible, by using a larger cone calorimeter and larger specimens, to reduce the problem of weak and too few data, which means that the results vary widely. Increasing the specimen from the current 100x100 mm to 150x150 mm would increase the measurement signal by 2.25 times.

Tack

Under arbetet har det funnits många som rådfrågats i stora som små funderingar. Dock finns det tre vars hjälp jag särskilt vill lyfta fram och tacka.

- Patrick Van Hees, Professor i Brandteknik och Riskhantering LTH - Handledare under detta arbete.
- Sven-Ingvar Granemark, Forskningsingenjör LTH - För tillgången till brandlabbet och utrustningen.
- Maja Bjuring Gerlich - För hjälp med den språkliga utformningen.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	3
1.1	Bakgrund.....	3
1.2	Syfte och mål.....	3
1.3	Avgränsning	4
2	Litteraturstudie	4
2.1	ISO	4
2.1.1	ISO 1182.....	4
2.2	Förbränning baserad på syrekonsumention.....	5
2.3	Konkalorimeter	6
2.4	ISO 5660.....	7
2.4.1	Fritz rapport om del 4	9
2.4.2	Kanada	9
2.5	Slutsats av litteraturstudien	10
3	Metod	11
3.1	Utrustning	11
3.1.1	Värmeöverföringsmätare.....	11
3.1.2	Stora konkalorimetern	13
3.1.3	Lilla konkalorimetern	13
3.1.4	Mätplattan	14
3.1.5	Inställningar	15
3.2	Beskrivning av mätningarna	15
3.2.1	Medelvärde Q.....	16
3.3	Felkällor och osäkerheter.....	20
4	Resultat.....	21
4.1	Stora konkalorimetern.....	21
4.2	Lilla konkalorimetern.....	24
4.3	Tabeller över medelvärden Q.....	28
5	Diskussion	29
6	Slutsatser	33
7	Förslag på fortsatt arbete	34
8	Referensförteckning	35
9	Bilagor	36

9.1	Rådata från värmeffluxförsöken i konkalorimetern.....	36
9.1.1	Lilla konkalorimetern	36
9.1.2	Stora konkalorimetern	42
9.2	Resultat i kW/m²	45
9.2.1	Lilla konkalorimetern	45
9.2.2	Stora konkalorimetern	46
9.3	Kalibreringsugn	47
9.4	Utrustning till Kalibreringsugnen.....	50
9.5	Beräkningar.....	55

1 Inledning

Denna rapport är en del av den sista kursen och ett examensarbete i Brandingenjörsutbildningen vid Lunds tekniska högskola. Kursen är på 22.5 poäng och studenten ska tillämpa de kunskaperna och metoder som lärts under utbildningen.

1.1 Bakgrund

Obrännbarhet är ett begrepp som används i många byggregler och det är ibland missledande. Låg brännbarhet - Low combustibility hade varit bättre som terminologi anser Patrick Van Hees¹ eftersom en viss brännbarhet accepteras när man klassificerar ett material som obrännbart. I dagsläget används oftast ISO 1182 som provningsmetod, i typgodkännande av material. Detta är en metod med bara två utfall, godkänd eller icke godkänd, och den är inte användbar i mer allmän brandteknisk projektering inom funktionsbaserade regelverk. Det är anledningen till att man internationellt tittar på ISO 5660 som en alternativ provmetod (Carpenter & Janssens 2005). Här finns dock ett problem kring metodens noggrannhet. För mindre värmeutvecklingar är provkroppen som används i ISO 5660-1 för liten och det finns för mycket brus i effektutvecklingen. Det upptäcktes i Japan, där man introducerat metoden ISO 5660 i regelverket och inte fått konsistenta resultat. Flera olika försök har gjorts med att öka storleken av provkroppar i konkalorimeter för att få ett bättre signal/brus förhållande men i dessa fall blev värmeöverföringen över provkroppen för ojämn. Ett alternativ kan då vara att öka storleken av konen, men då behövs fler data från tester mellan olika konvärmastorlekar. I källaren på Fysikum (Byggnad inom LTH) finns en konkalorimeter, med storlek 100x100mm, från FTT, Fire Testing Technology. I brandlaboratoriet på LTH (Lunds Tekniska Högskola) finns också en konkalorimeter, denna med en konvärmare med storlek på 200x200 mm. Detta ger en bra grund för att studera och jämföra vilka effekter och möjligheter en större konvärmare, än ISO 5660 storlek på 100x100 mm, skulle ha för tester vid låg brännbarhet.

1.2 Syfte och mål

Arbetets mål är att undersöka hur ISO 5660 konkalorimeter kan användas eller modifieras för att testa material med låg värmeproduktion vid olika värmeöverföringsnivåer.

Syftet är att ha en modern testmetod som alternativ till ISO 1182, och som även kan användas inom funktionsbaserade regelverk.

¹ Professor Patrick Van Hees, Brandteknik och riskhantering, samtal 2011

1.3 Avgränsning

Syftet med arbetet har varit att hitta förbättringsmöjligheter, vid användandet av konkalorimeter, vid tester av material med låg brännbarhet. Ingen annan apparatur, för testande av material, än konkalorimetern har undersökts. Studien har inte innefattat försök på material.

2 Litteraturstudie

För att finna ett bra sätt att komma en bit på vägen mot målet med denna rapport och för att hitta de intressanta parametrar som behöver identifieras så började arbetet med en litteraturstudie. Denna gjordes genom att söka efter och gå igenom relevant litteratur inom brandteknikområdet. Studien gjordes också för att få en allmän orientering inom området. De mest relevanta slutsatserna av litteraturstudien redovisas nedan.

2.1 ISO

ISO den internationella organisationen för standarder är en världsomspännande federation av nationella avdelningar. Arbetet med olika standarder genomförs i kommittéer. För att en standard ska bli godkänd måste 75 % av kommittén lämna sitt bifall. *ISO 5660-1 (2002)*

2.1.1 ISO 1182

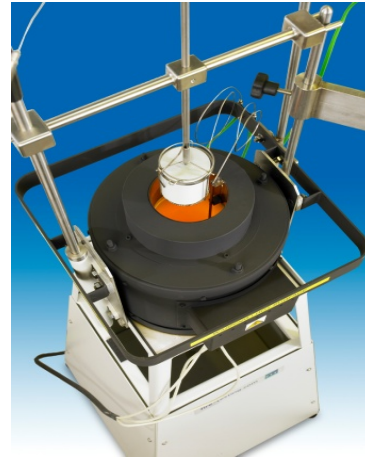
Denna testmetod används för att bestämma ett material som brännbart eller obrännbart. En provkropp av materialet placeras i en cylinderugn (figur 1-2). Ugnen hettas upp till 750 °C och tre parametrar mäts.

- Provkroppens viktförlust
- Förekomsten av en hållbar flamma
- Temperaturen i ugnen och provkroppen

Baserat på dessa tre parametrar finns det tre olika sätt att bedöma ett material som brännbart. Om provkroppen har förlorat mer än 50 % av sin vikt efter testet, om en flamma uppkommer som varar i mer än 20 sek eller om temperaturen i ugnen ökar mer än 20 °C så bedöms materialet som brännbart (Carpenter & Janssens 2005).



Figur 1: Utrustning till ISO 1182.
Reproducerad med tillstånd (FTT).



Figur 2: ISO 1182 ugnen sedd ovanifrån
Reproducerad med tillstånd (FTT).

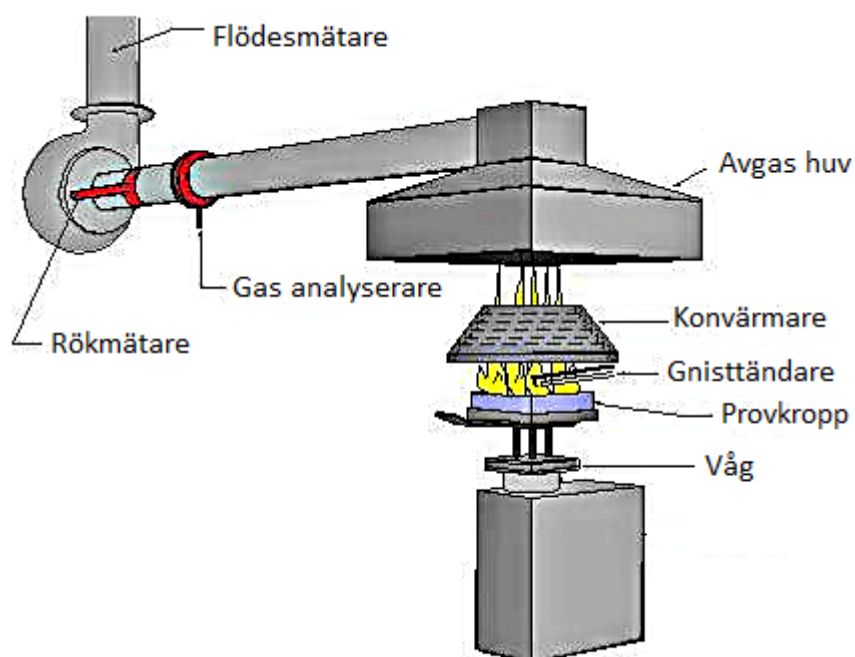
Bristerna med ISO 1182 är många. Bara homogena material kan testas. Skiktade eller laminerade material kan inte testas. Materialen testas alltid i samma standardiserade form och storlek. Detta är antagligen inte den form som materialet kommer ha när det används i byggnader. Material som ändrar form och t.ex. smälter kan inte testas. Testresultatet har dessutom bara två utfall. Antingen blir materialet klassat som brännbart eller som obrännbart. Skillnaderna mellan olika brännbara material eller olika obrännbara material redovisas inte. Termen obrännbart är också missvisande eftersom man i testet accepterar en viss temperaturhöjning. Det största beviset för en förbränning är uppkomsten av värme. Det är lätt att tro att om man anger hur mycket som temperaturen höjs i ugnen under testet, så kan man få ett kvantitativt mått på brännbarheten. Dock har tester under 80-talet i Finland visat att det inte finns något konsekvent samband mellan temperaturhöjning i ISO 1182 ugnen och värmeavgivning baserad på syrekonsumtionsmetoden (Carpenter & Janssens 2005).

2.2 Förbränning baserad på syrekonsumtion

Redan 1917 upptäckte engelsmannen Thornton att vid fullständig förbränning av ett stort antal organiska material så är effektutvecklingen linjärt med syre förbrukningen (Thornton, 1917). Hugget räknade sen ut att sambandet mellan effektutvecklingen och syreförbrukningen är 13.1 KJ/gram syre som förbrukats. Hugget visade också att detta även gällde för ofullständig förbränning (Hugget 1980). Detta samband används ofta för att räkna ut värmeutvecklingen vid olika förbränningar. Innan detta syre- värme samband upptäcktes hade mätning av temperaturen ovanför lågorna varit det vanligaste sättet att beräkna värmeutsläpp från en förbränning.

2.3 Konkallorimeter

Beroende på de många bristerna med ISO 1182 söktes efter en alternativ metod och det mest använda alternativet blev konkallorimetern (figur 3-4) som först 1993 blev en standardiserad ISO metod, ISO 5660. Fördelarna med konkallorimetern är främst att det går att testa material under verkliga förutsättningar och på det sätt de ska användas i byggnader. Heterogena material kan också testas utan problem och till viss del även material som deformeras t.ex. smälter vid uppvärmning.



Figur 3: Skiss på en konkallorimeter. Reproducerad med tillstånd (Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP)



Figur 4: Konkolorimetern enligt ISO 5660.
Reproducerad med tillstånd (FTT).

En konkolorimeter består i huvudsak av ett konformat värmeelement samt en huv som fångar upp eventuella gaser. En provkropp av materialet som ska testas placeras under konvärmaren. Konvärmaren värms sen upp till önskad temperatur för att uppnå den tänkta värmeöverföringen mot provkroppen. En skyddsskärm avskiljer provkroppen från konvärmaren. Då testet startar avlägsnas skyddsskärmen. Då materialet påverkas av strålningen från konen avger det pyrolysgaser som fångas upp av huven. För att vara säker på att alla pyrolysgaser fångas upp av huven finns det en fläkt i huven som skapar ett undertryck i likhet med en köksfläkt. Inuti huven finns mätinstrument som registrerar syrenivån. En våg är oftast kopplat till provkroppen som testas. Denna registrerar viktnedskningen under hela testet. En gnisttändare brukar vara positionerad strax ovanför mitten av provet för att antända gaserna som avges av materialet som testas. Tiden det tar tills en hållbar låga uppstår registreras också.

2.4 ISO 5660

ISO 5660 är en provningsmetod för att mäta olika materials egenskaper när de utsätts för värmeöverföring och den vanligaste för att mäta brännbarhet (Carpenter & Janssens 2005). Testet sker i en konkolorimeter och huvudsyftet är att mäta effektutvecklingen och tiden till antändning. Även rökproduktion kan mätas.

ISO 5660 är indelad i fyra delar.

ISO 5660-1 är grunden och anger hur man ska utföra tester på horisontella provexemplar där man vill mäta effektutvecklingen med syrekonsumtionsmetoden och mäta tiden till antändning med hjälp av en gnista. Del 1 användes först till test av alla material men då problem med att få konsekventa resultat uppstod, när man testar material med låg brännbarhet, testar man numera material med medel till hög brännbarhet med del 1 och material med låg brännbarhet enligt del 4. Testerna bör genomföras i dragfri miljö med relativ fuktighet mellan 20 % - 80 % och en temperatur på $15\text{ }^{\circ}\text{C} - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Trots att miljön ska vara dragfri måste den vara väl ventilerad, så att inte dålig lufttillförsel påverkar syrekonsumtionsmätningarna. Testerna baseras på att all minskning av syrenivån beror på effektutvecklingen. Det är inte lämpligt att någon annat test, som konsumerar syre t.ex. ett annat brandförsök, genomförs i samma lokaler och under samma tid som ett ISO 5660 test genomförs. I ISO 5660-1 anges inte vilka värmeöverföringsnivåer som ska användas, utan det får avgöras från fall till fall. Dock rekommenderas det i bilagan att först testa 35 kW/m^2 för att sen eventuellt även testa 25 kW/m^2 och 50 kW/m^2 .

ISO 5660-2 anger hur man mäter rökproduktion hos ett material som utsätts för värmestrålning i en konkalorimeter. Mätningarna görs med hjälp av laserinstrument som sitter i utsugskanalen.

ISO 5660-3 är en guide i hur man bör presentera sina resultat från tester med ISO 5660 metoden. Där redogörs även för vilka begränsningar och felkällor som finns med ISO 5660. Den största felkällan är mätningarna av syrekonsumtionen och denna osäkerhet ökar ju mindre brännbart ett material är. (I del 4 har man modifierat metoden i del 1 för att komma tillrätta med dessa problem.) Olika förhållningssätt för att testa mer okonventionella material diskuteras också. Olika metoder för kalibrering diskuteras djupare i del 3 än i andra delar av ISO 5660.

ISO 5660-4 är den nyaste delen. Den tillkom då det visade sig finnas stora problem med att använda metoderna, som anges i del 1, för att genomföra tester på material som har låg brännbarhet. Låg brännbarhet i ISO 5660-4 definierat som mindre än 15 MJ/m^2 i total energiutveckling. Det finns tre sätt att testa materialet. Materialet utsätts för en värmeöverföring på 75 kW/m^2 eller 50 kW/m^2 . Vid dessa två tester finns också en gnistbildare med och effektutvecklingen mäts genom syremetoden och även tiden till antändning registreras. Det tredje sättet mäter tiden till stabil låga och viktminskningen. Till skillnad från ISO 5660-1 så är inte provkroppen $100\times 100\text{ mm}$ utan $150\times 150\text{ mm}$. Detta för att få högre utslag i de olika mätinstrumenten. En annan sak som skiljer ISO 5660-4 mot ISO 5660-1 är att fläktens volymflöde är 12 l/s istället för 24 l/s . Detta för att få högre utslag i de olika mätinstrumenten. Pyrolysgaserna blir helt enkelt inte uppblandade med lika stor mängd luft som i ISO 5660-1. När man tester material med hög brännbarhet, behövs däremot ett högt fläktflöde för att fånga upp alla pyrolysgaser i huven. Eftersom det finns

betydande skillnader mellan ISO 5660-1 och ISO 5660-4 så är inte mätresultat från de två metoderna direkt jämförbara.

För att testa och kalibrera värmeöverföringen från konelementet ska en värmeöverföringsmätare placeras i mitten av det ställe där provkroppen sen kommer placeras. Värmeöverföringen ska mätas i 10 minuter. Under denna tid får strålningen inte variera mer än plus/minus 2 %.

2.4.1 Fritz rapport om ISO 5660-4

2008 presenterades ett antal försök som Fritz (2008) gjorde i USA för att jämföra skillnaderna i medelvärdet av värmeöverföringen (THR=Total Heat release Rate) vid användande av en 100x100 mm provkropp och en 150x150 mm provkropp. Då upptäcktes att THR blev 40 % -50 % lägre när man använde sig av en, i enlighet med ISO 5660-4, 150x150 mm provkropp. Försöken med en 100x100 mm provkropp fick ett THR som var inom de värden som andra metoder, t.ex. kemiska beräkningar angav. Anledningen till detta befanns vara att hela 150x150 mm provkroppen inte hade fått utstå samma värmeöverföring. Okulärt kunde man se att sidorna och framförallt hörnen inte hade blivit utsatta på samma sätt som mitten av provkroppen. Hela 100x100 mm provkroppen visade dock samma tecken och svedmärken efter värmeöverföringen. Mätningar utfördes då och man fann att vid en 100x100 mm provkropp så minskade strålningen med 3 % vid sidorna och 30 % i hörnen, men vid den 150x150 mm stora provkroppen så minskade strålningen med 29 % vid sidorna och 87 % i hörnen.

2.4.2 Kanada

Konkalorimetern utvecklades av Babrauskas (1984) och var designad för att mäta värmeavgivning för brännbara material som trä, plast och byggmaterial med en typisk värmeeffekt på 250 kW/m² till 2000 kW/m². Kanada och Japan har använt sig av konkalorimetern och metoder liknande ISO 5660-1 för att bestämma brandklassificering av olika byggmaterial. Ett problem är att Japan har satt maxgränsen under ett 20 min test till 8 MJ/m², och med ISO 5660-1 är felmarginalen då 4-5 MJ/m² (Cornelissen et al).

Orsaken till denna felmarginal är till största del brus och avdrift. Dessa felkällor går inte att eliminera helt men man kan minska dem genom noggranna rutiner och underhåll av utrusningen. Ett exempel på orsak till avdrift är att inte all vattenånga är avlägsnad ur gasproverna. Detta sker vid dåligt underhåll och byte av fuktfällor och olika lufttorkningsanordningar. Ett sätt att minska effekten av brus är att få en kraftigare signal. Ett annat sätt är att sänka luftströmningen in i kanalen. På dessa sätt ökar man koncentrationen av pyrolysgaserna i förhållande till syre. I ISO 5660-4 har man därför sänkt luftströmningen från

24 l/s till 12 l/s. Att sänka ytterligare är svårt om inte diametern på kanalen minskas eftersom, i nuläget, luftströmmen slutar vara turbulent vid ca 10 l/s. Ett annat sätt att öka signalen är att öka provkroppens storlek. Om måtten på provkroppen ökas från 100x100 mm till 150x150 mm så borde signalen bli 2.25 gånger större eftersom arean blir 22 500 mm² istället för 10 000 mm². Den ökade arean borde resultera i en ökning av pyrolysgaserna. Då är problemet att värmestrålningen mot en 150x150 mm provkropp, inte blir densamma som mot en 100x100mm provkropp, om man inte samtidigt använder sig av en större konkalorimeter. Ett tredje sätt att öka signalen vore att öka värmestrålningen, eftersom material generellt avger mer pyrolysgaser ju högre värmestrålning de utsätts för. Detta har även gjorts i ISO 5660-4. Där testades också, som i Fritz rapport, att mäta den strålning som provkroppen utsattes för i olika punkter. Mitten och sidorna mättes men inte hörnen. Testerna visade att sidorna på en 150x150 mm provkropp utsattes för bara 40 % av den strålning som mitten av provkroppen utsattes för (Cornelissen et al).

2.5 Slutsats av litteraturstudien

Med litteraturstudien som bakgrund beslutades att arbetet skulle fokusera på att studera värmeöverföringsnivåer mot olika storlekar av provkropp samt dessutom vid olika avstånd mellan provkropp och kon för att hitta möjliga lösningar på problemet med mindre medelvärmeöverföring på större provkroppar än 100x100 mm.

3 Metod

Metoden att mäta värmeöverföringen i mitten, vid sidorna och i hörnen av provkropparna valdes. Mätningarna gjordes på provkroppar med en storlek på 100x100 mm, 150x150 mm, och 200x200 mm. Denna metod valdes för att det gjorts på detta sätt vid studier av (Fritz, 2008) och i Kanada (Cornelissen et al). För att undersöka möjligheten att få ett stabilare resultat genom att använda en större provkropp gjordes mätningarna på dessa tre storlekar. Mätningarna gjordes i LTH:s laboratorium eftersom det där finns en stor konkalorimeter som tillåter mätning av den större provkroppen och en kalibreringsugn för strålningsmätare. De övriga mätningarna, med den mindre Konkalorimeter, genomfördes i ett laboratorium i källaren på Fysikum.

3.1 Utrustning

3.1.1 Värmeöverföringsmätare

Mätningarna utfördes med två olika mätinstrument, Gunnersmätaren (Figur 5) och Medthermmätaren (Figur 6). Gunnersmätaren består av ett vattenkyldt rör där insidan är klädd med ett reflekterande material och i botten finns en svart mätningsspunkt. Svart är den färg som minst reflekterar mottagen strålning. Eftersom mätningsspunkten är i rörets botten kommer bara strålningen och inte konvektionen att nå mätpunkten och registreras (Gunners, 1967). Medthermmätaren har istället sin svarta mätningsspunkt på toppen av en cylindrisk vattenkyld platta och mäter därför både strålning och konvektion (Gordon, 1952), se tabell 1. Resultatet i volt från mätarna översätts till kW/m^2 med hjälp av en kalibreringsgraf. Även Medthermmätaren är vattenkyld. Fördelen med att mäta med dessa båda mätare är, att genom att jämföra resultaten kan man beräkna både värmeöverföringen och hur stor del som är strålning och hur stor del som är konvektion.

Gunners resultat	= >	strålning
Medtherm resultat	= >	värmeöverföring
Medtherm – Gunners	= >	konvektion

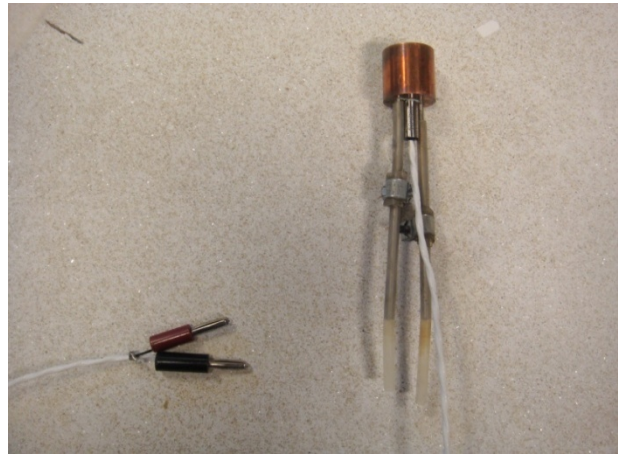
Tabell 1: Förklaring på vad Gunnersmätaren och Medthermmätaren mäter

För den Medthermmätare som användes finns kalibreringsgrafer framtagna av tillverkaren. För att kontrollera att de fortfarande är relevanta och att inget hade hänt Medthermmätaren sen den kom från fabriken gjordes en egen kalibreringsgraf för mätaren med en enklare kalibreringsugn på brandteknik LTH (Bilaga 9.3). En manual för användande av

kalibreringsugnen sammanställdes också (Bjuring 2011). Resultaten från denna kalibreringsgraf avvek marginellt (Figur 7) från resultaten av tillverkarens kalibreringsgraf och därför bedömdes att tillverkarens kalibreringsgraf fortfarande är aktuell. För Gunnersmätaren finns det en av Brandteknik LTH framtagna kalibreringsgraf. För att säkerställa att även denna är aktuell testades även Gunnersmätaren i kalibreringsugnen. Den avvek marginellt från kalibreringsugnens kalibreringsgraf (markerad som Stefan-Boltzmann i Figur 7) varför den ansågs fortfarande aktuell. Kalibreringsugnen saknar luftflöden, av den anledningen mättes inte konvektion. Resultatet blir att båda mätinstrumenten enbart registrerar mottagen strålning vid kalibrering.



Figur 5: Gunnersmätare (foto Bjuring).



Figur 6: Medthermmätare (foto Bjuring).

Figur 7: Grafen är gjord från Tabell 9 i bilagan 9.5 och visar Gunners- respektive Medthermmätarens kalibreringsgraf i jämförelse med kalibreringsugnens kalibreringsgraf (markerad som Stefan-Boltzmann).

3.1.2 Stora konkalogrimetern

Den stora konkalogrimetern som finns i brandlaboratoriet på LTH är i grunden likartad med ISO 5660 konkalogrimetern, ISO 5660 konkalogrimetern är beskriven i litteraturstudien kap 2.4. Det finns dock några skillnader. Diametern på ISO 5660 konkalogrimeters konvärmare är 177 cm och diametern på konvärmaren på LTHs konkalogrimeter är 350 cm. Detta gör att konvärmaren i brandlaboratoriet LTH har en area som är ungefär 4 gånger så stor som ISO 5660 konvärmaren. Konvärmaren LTH saknar också möjligheten att mäta annat än tiden till antändning och provkroppens viktförlust.



Figur 8: Konkalogrimetern i brandlaboratoriet på LTH (foto Bjuring).

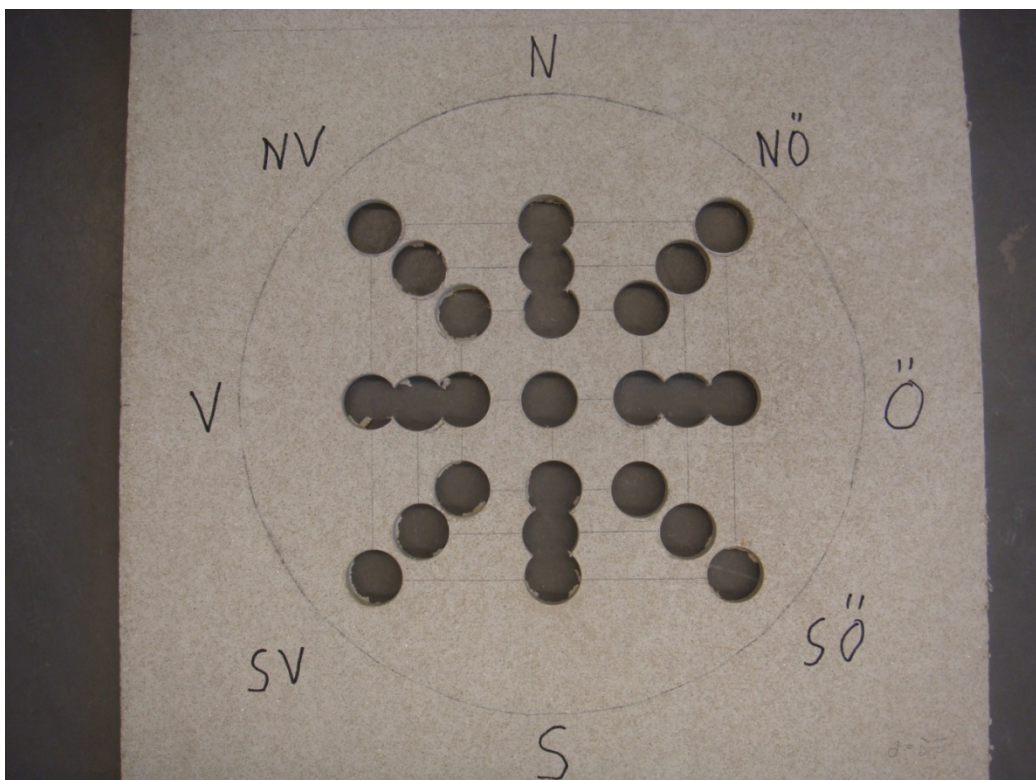
3.1.3 Lilla konkalogrimetern

Den lilla konen står i källaren på fysikum och är densamma som ISO 5660 konkalogrimetern som är beskriven i litteraturstudien. Eftersom någon mätning av viktminskningen inte skulle göras monterades vågen bort Detta underlättade även åtkomligheten under konen vid mätning av värmeöverföringen (Figur 9).



Figur 9: Lilla konkalogrimetern (foto Bjuring).

3.1.4 Mätplattan



Figur 10: Fotografi av mätplattan med schema över mätpunkterna (foto Bjuring).

För att mäta värmeöverföringen mot provkroppen tillverkades en mätplatta. Den placerades sedan på den plats under konen där provkroppen ska vara vid mätningen.

För att vara säker på att alltid mäta på samma ställe vid varje försök gjordes mätplattan. Den gjordes av en skiva som var 10 mm tjock och bestod av ett stenmaterial med mycket låg brännbarhet. På en uppritad 100x100 mm, en 150x150 mm och en 200x200 mm stor skiva borrades hål lika stora som mätarna. Ett hål mitten, ett hål i varje hörn och ett i mitten av varje sidokant, med en avvikelse på plus/minus 2mm, se (Figur 10). Hålen döptes efter väderstrecken och numrerades inifrån och ut. Hålet i mitten döptes till centrum. Hål Ö3 är alltså det hålet längst ut från mitten på Östra sidan. Från början gjordes flera försök med en skiva bestående av mineralull. Då den sakta började falla sönder och då mineralullen hela tiden smulade av sig på mätutrusningen kasserades mineralullskivan, och ersattes av stenskivan, och försöken gjordes om.

Vid varje försök lades skivan på plats under konkalorimetern, avståndet till konen mättes och måttades rätt, till det avståndet försöken skulle genomföras på. Att skivan låg vågrätt kontrollerades med ett vattenpass. Att skivans centrumhål var precis i mitten av konen kontrollerades också.

3.1.5 Inställningar

Vid försöken med den stora konen bestämdes att strålningen skulle mätas på tre olika avstånd. 25 mm som är avståndet som används i ISO 5660. 77 mm som är det avstånd som ska användas vid försök med konkalkorimetern på LTH, enligt instruktionerna vid apparaten. Bakgrunden till denna instruktion är ett tidigare examensarbete på brandteknik (Carlsén & Winkler 2000). Tredje avståndet är 100 mm som bestämdes inför dessa försök, eftersom det kändes angeläget att prova med ett lite längre avstånd än 77 mm för att se om det gav bättre resultat. Strålningsnivå 35 kW/m^2 användes vid stora konkalkorimetern.

Vid försöken med den lilla konen användes avståndet 25 mm från ISO 5660-1. Att även göra försök på större avstånd bedömdes som relevant eftersom en del av $150 \times 150 \text{ mm}$ provkroppen hamnar utanför vid avståndet 25 mm. Avståndet bestämdes till 30 mm för att prova en liten ökning av avståndet och 50 mm för att prova en större ökning. Det visade sig sen att det inte var möjligt att mäta med avståndet 50 mm. Detta berodde på att storleken på mätutrusningen gör att man inte får plats med provkroppen under mätplattan då den slår i den bottenplatta som sitter under konvärmaren (Figur 9). I den lilla konen användes strålningsnivån 25 kW/m^2 .

3.2 Beskrivning av mätningarna

Försöken gjordes under sommaren 2010. Först gjordes försöken med den stora konkalkorimetern i brandlabbet på LTH och efter det försöken med den lilla konkalkorimetern i laboratoriet i källaren på fysikum.

Försöken gick till så att först sattes mätskivan på plats och det kontrollerades att den var rätt placerad. Efter det ställdes rätt temperatur in på konen för att få den effekt man ville ha för försöket. Konen värmdes upp tills den nådde den inställda temperaturen. Därefter väntades det i ca 5 min för att vara säker på att allting verkligen hade värmts upp ordentligt. Fläkten i huven ovanför konen sattes igång för att förhållandena skulle vara så lika ett riktigt test som möjligt. Därefter började mätningarna som gick till så att mätaren stacks in i ett hål underifrån så att mätarens yta var i samma höjd som mätskivans yta. Mätvärdet registrerades och efter det mättes nästa hål. Centrumhålet mättes alltid först och därefter det innersta norra hålet (N1) och sen den norra linjen utåt. Efter det mättes den innersta nordöstra hålet (NÖ1) och så fortsatte det så hela varvet runt medurs. Efter mätningarna stängdes all utrusning av och fick svalna i minst 30 min. Skivans position kontrollerades igen, för att se att den inte hade rört sig under mätningarna och inför nästa mätning.

Mätningarna vid den lilla konkalkorimetern gick till på samma sätt som vid den stora konkalkorimetern. Förutom att vid försöken med den lilla konen fanns det inte plats för de

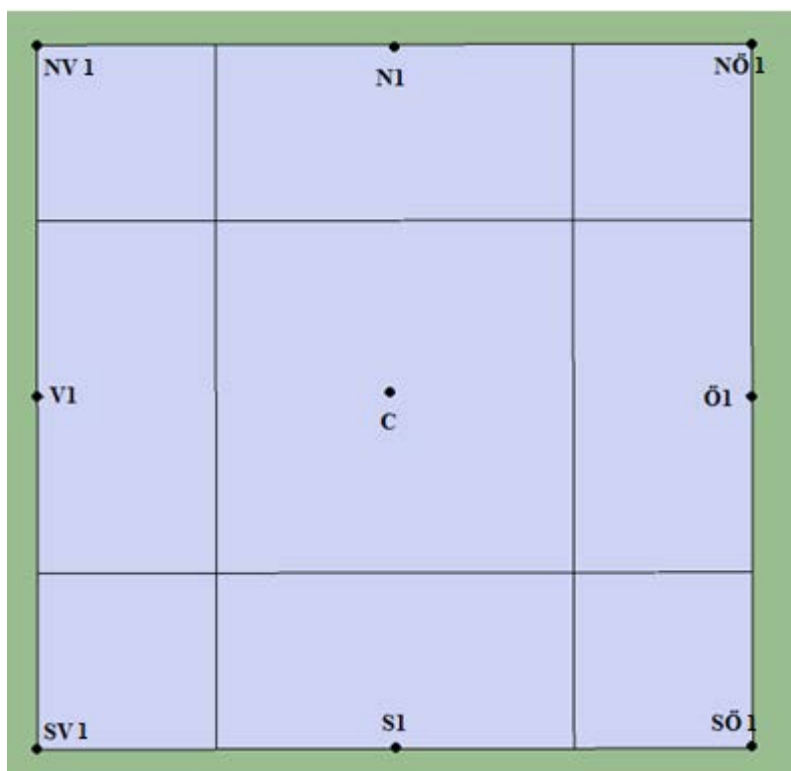
yttersta mätpunkterna, alltså treorna. De var tvungna att sågas bort från mätskivan för att mätskivan skulle kunna placeras under konen.

Med den stora konkalorimetern utfördes varje mätning två gånger och med den lilla konkalorimetern utfördes mätningarna tre gånger. Anledningen till att mätningarna utfördes tre gånger, med den lilla konkalorimetern, är att det inte gick att mäta de yttersta, 200x200 mm, punkterna och då frigjordes tid som användes till att göra försöken en extra gång.

3.2.1 Medelvärde Q

För att räkna ut medelvärdet av värmeöverföringen samt strålningen mot provkroppen, med hjälp av mätpunkterna, bestämdes hur stor area runt varje mätpunkt som skulle användas. Detta eftersom värdet från de olika mätpunkterna inte har samma signifikans vid beräkning av värmeöverförings- eller strålnings- medelvärde. En mätpunkt långt ut i hörnet av provkroppen är inte lika signifikant för genomsnittet som mätpunkten i mitten av provkroppen. Den princip som användes vid uträkning av arean var att skiljelinjen mellan mätpunkterna gick vid halva avståndet till nästa mätpunkt. Undantaget avstånd på diagonalen. Därefter drogs lodräta och vågräta linjer och bildade det rutsystem som syns i figurerna 11, 12 och 13.

Efter att provkroppen delats in i olika områden. En för varje mätpunkt, så gjordes en formel för att räkna ut medelvärdet av värmeöverföringen och strålningen. Formeln baseras på arean för varje mätpunkt. Varje mätpunkts mätvärde multiplicerades med sin area. Dessa värden summerades sedan och slutligen dividerades denna summa med provkroppens totala area (Figur 11-13 Formel 1-3). Q definieras som medelvärdet av den infallande värmeöverföringen eller strålningen och beräknas enligt formel 1-3.

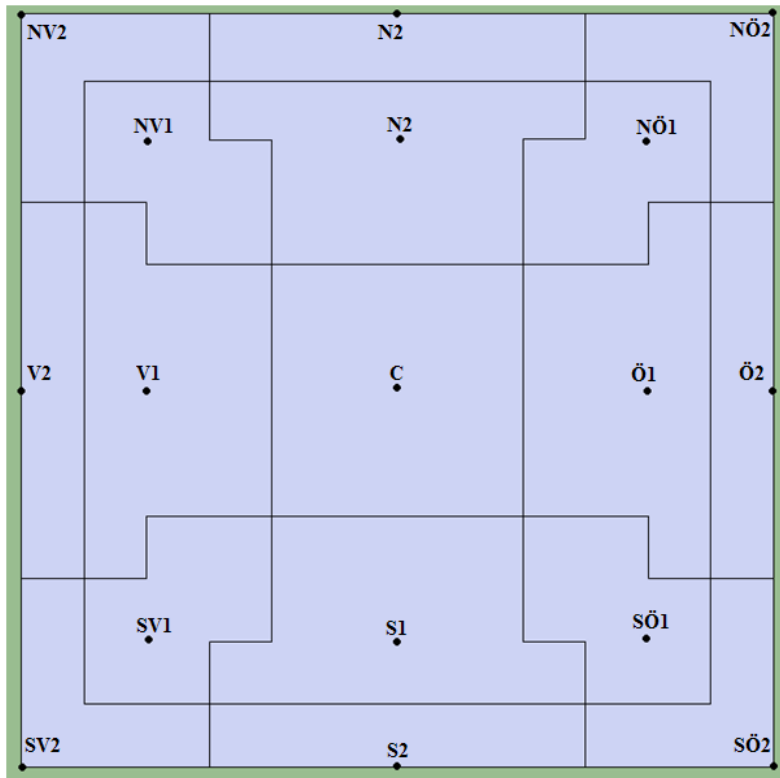


Figur 11: Skiss över hur mätpunkternas areor delades in.

Formeln för medelvärdet vid 100x100 mm provkroppen.

Formel 1

$$Q = ((C * 2500 \text{ mm}^2) + (N1 + \text{Ö}1 + S1 + V1) * 1250 \text{ mm}^2 + (N\text{ö}1 + S\text{ö}1 + SV1 + NV1) * 625 \text{ mm}^2) / 10\,000 \text{ mm}^2$$

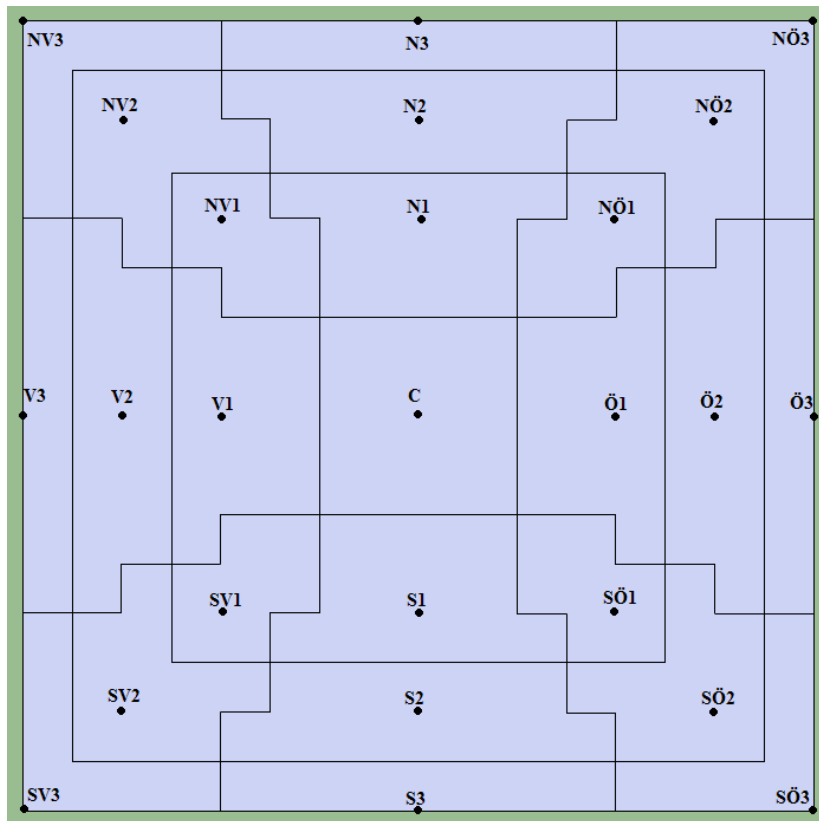


Figur 12: Skiss över hur mätpunkternas areor delades in.

Formeln för medelvärde vid 150x150 mm provkroppen.

Formel 2

$$Q = \frac{(C \cdot 2500 \text{ mm}^2) + (N1 + \ddot{O}1 + S1 + V1) \cdot 1875 \text{ mm}^2 + (N\ddot{O}1 + S\ddot{O}1 + SV1 + NV1) \cdot 1406,25 \text{ mm}^2 + (N2 + \ddot{O}2 + S2 + V2) \cdot 937,5 \text{ mm}^2 + (N\ddot{O}2 + S\ddot{O}2 + SV2 + NV2) \cdot 781,25 \text{ mm}^2}{22\,500 \text{ mm}^2}$$



Figur 13: Skiss över hur mätpunkternas areor delades in.

Formeln för medelvärde vid 200x200 mm provkroppen.

Formel 3

$$Q = ((C * 2500 \text{ mm}^2) + (N1 + \ddot{O}1 + S1 + V1) * 1875 \text{ mm}^2 + () * 1406,25 \text{ mm}^2 + (N2 + \ddot{O}2 + S2 + V2) * 2187,5 \text{ mm}^2 + () * 1562,5 \text{ mm}^2 + (N3 + \ddot{O}3 + S3 + V3) * 1250 \text{ mm}^2 + (N\ddot{O}3 + S\ddot{O}3 + SV3 + NV3) * 1093,75 \text{ mm}^2) / 40\,000 \text{ mm}^2$$

3.3 Felkällor och osäkerheter

Vid mätningarna hölls mätarna manuellt upp i hålen på mätarplattan så att skakningar i handen kan ha förekommit och gjort att avståndet till konvärmaren varierade några millimeter och att vinkeln mot konen inte alltid var precis densamma. Dock bedöms dessa variationer vara så små att de inte nämnvärt påverkat resultaten i stort eftersom det alltid gjordes flera mätningar i samma mätthål och togs fram ett medelvärde.

Eftersom mätningarna genomfördes två gånger vid den stora konkalorimetern och tre gånger vid den lilla konkalorimetern så borde medelvärdet från stora konkalorimetern ha större osäkerhet än medelvärdet från lilla konkalorimetern. Det är dock inte stora skillnader i de olika mätserierna vare sig från stora eller lilla konkalorimetern. Med några få undantag så är skillnaden inte mer än några procent enheter. Stabiliteten i mätresultaten indikerar att antalet mätningar har försumbar betydelse för resultatet och att felmarginalen är liten.

Avvikelse vid borrarning av hålen i mätplattan kan förekomma med plus/minus 2 mm.

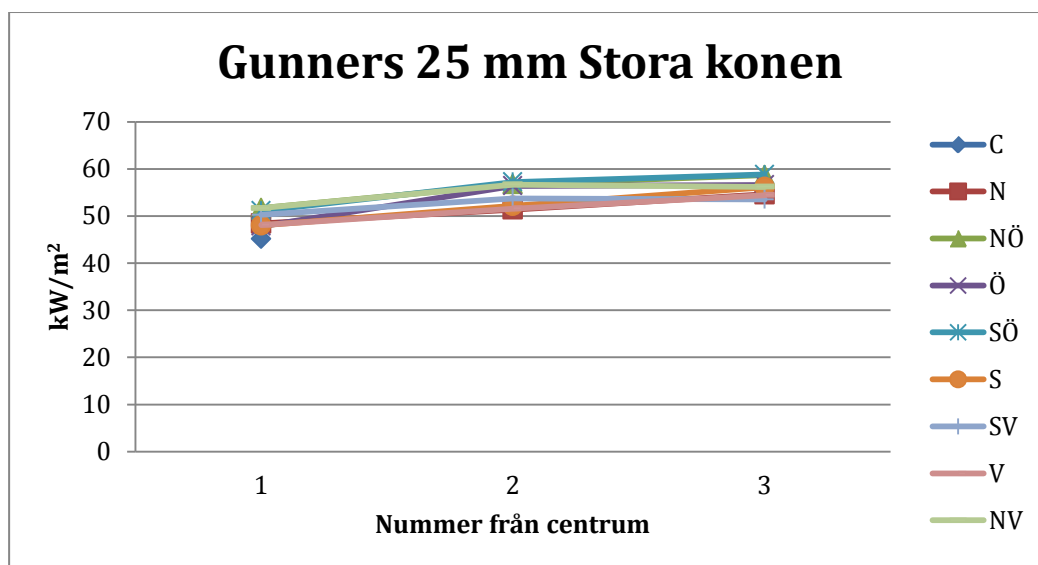
4 Resultat

4.1 Stora konkalorimetern

Resultaten efter testerna med den stora konkalorimetern visas nedan i figurerna 14-19. Figurerna 14, 15 och 16 är resultaten från mätningarna med Gunnersmätaren. Figurerna 17, 18 och 19 visar resultaten från mätningarna med Medthermmätaren (Tabell 2). Varje väderstreck på mätplattan har sin egen linje och x-axeln anger mätpunkterna 1, 2 och 3. Centrum mätpunkten anges med blå markering. Y-axeln anger resultatet av mätningen i kW/m^2 . Graferna och tabellerna baseras på mätvärdena som redovisas i bilaga 9.

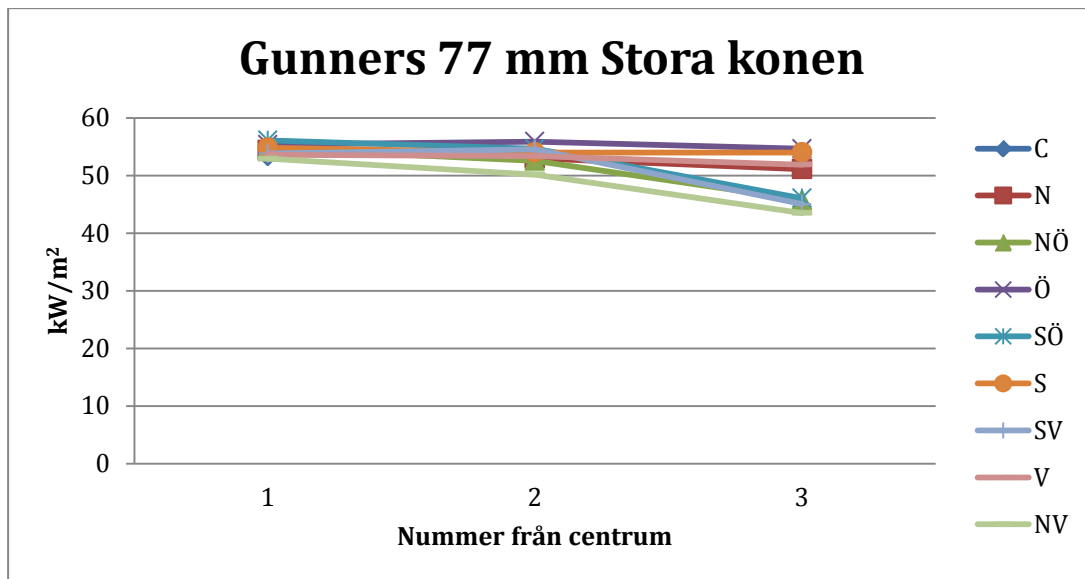
Resultat grafer			
Graf Nr	Mätare	avstånd	Kon
14	Gunners	25 mm	Stora
15	Gunners	77 mm	Stora
16	Gunners	100 mm	Stora
17	Medtherm	25 mm	Stora
18	Medtherm	77 mm	Stora
19	Medtherm	100 mm	Stora

Tabell 2: Grafer Stora konkalorimetern



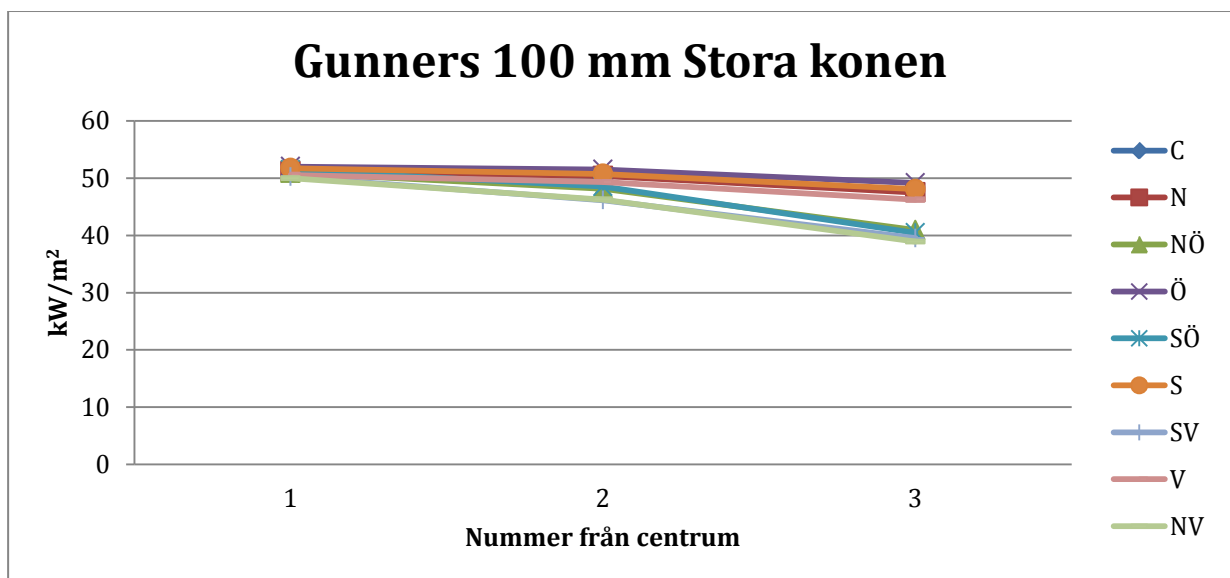
Figur 14: Graf över resultaten på avståndet 25 mm med Gunnersmätaren Stora konkalorimetern.

I figur 14 ser man att centrum får minst strålning och att strålningen ökar ju längre ut från centrum man kommer.



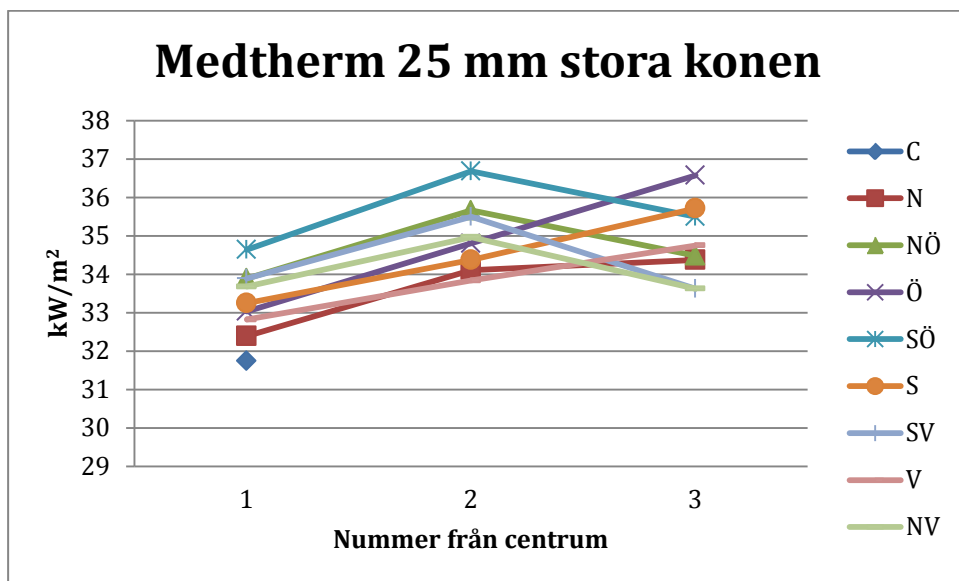
Figur 15: Graf över resultaten på avståndet 77 mm med Gunnarsmätaren. Stora konkalorimetern.

I figur 15 är det i centrumunkten och i den första mätpunkten som strålningen är som högst och ungefär samma i alla väderstreck. Vid den andra mätpunkten är strålningen i stort på samma nivå men det blir en liten differens mellan väderstrecken. Vid tredje mätpunkten har strålningen vid de vågräta och lodräta väderstrecken minskat ytterst lite medan de diagonala väderstrecken har minskat kraftigt.



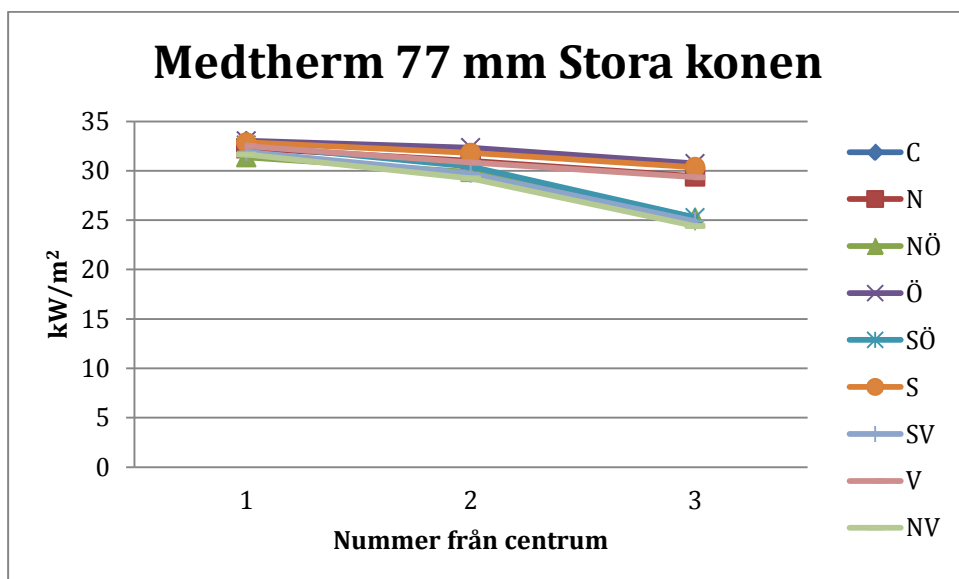
Figur 16: Graf över resultaten på avståndet 100 mm med Gunnarsmätaren. Stora konkalorimetern.

I figur 16 visas likartade resultat som i figur 15 men nedgången i andra och tredje mätpunkten är mer tydlig och åter igen minskar de diagonala väderstrecken mer.



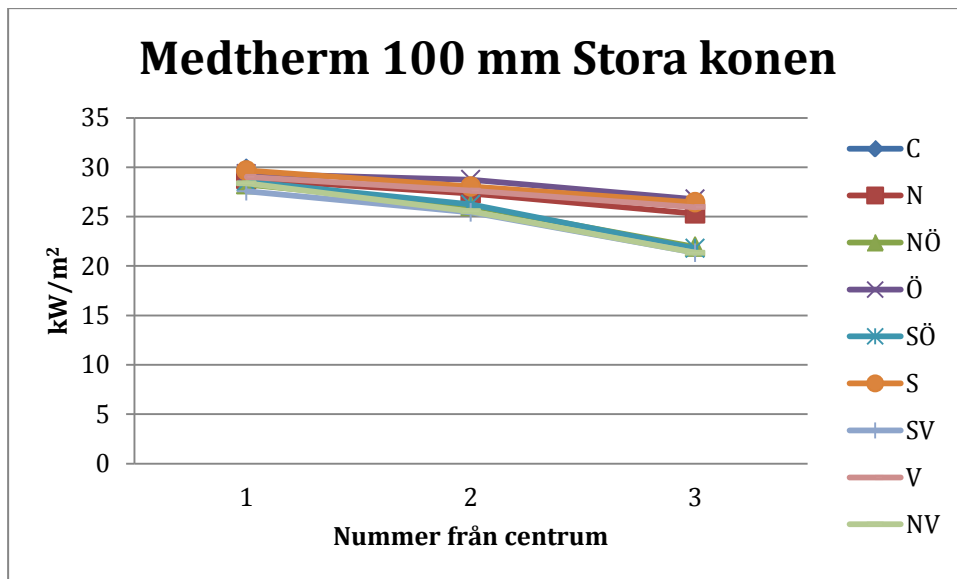
Figur 17: Graf över resultaten på avståndet 25 mm med Medthermmätaren. Stora konkalorimetern.

Figur 17 visar en jämn värmeöverförings nivå. Möjligen är nivån lite lägre i centrum och i första mätpunkten.



Figur 18: Graf över resultaten på avståndet 77 mm med Medthermmätaren. Stora konkalorimetern.

Figur 18 visar ungefär samma förhållande som figur 15 men med en tydlig minskning vid tredje mätpunkten för dom diagonala mätpunkterna. Resultaten är dock mycket mer samlade än i figur 15.



Figur 19: Graf över resultaten på avståndet 100 mm med Medthermmätaren. Stora konkallorimetern.

Figur 19 visar att precis som figur 16, var en fortsättning på resultaten i figur 15 men med en mer markant minskning av de diagonala mätpunkterna i andra mätpunkten, är figur 19 en fortsättning på figur 18 med samma ändring som i figur 16.

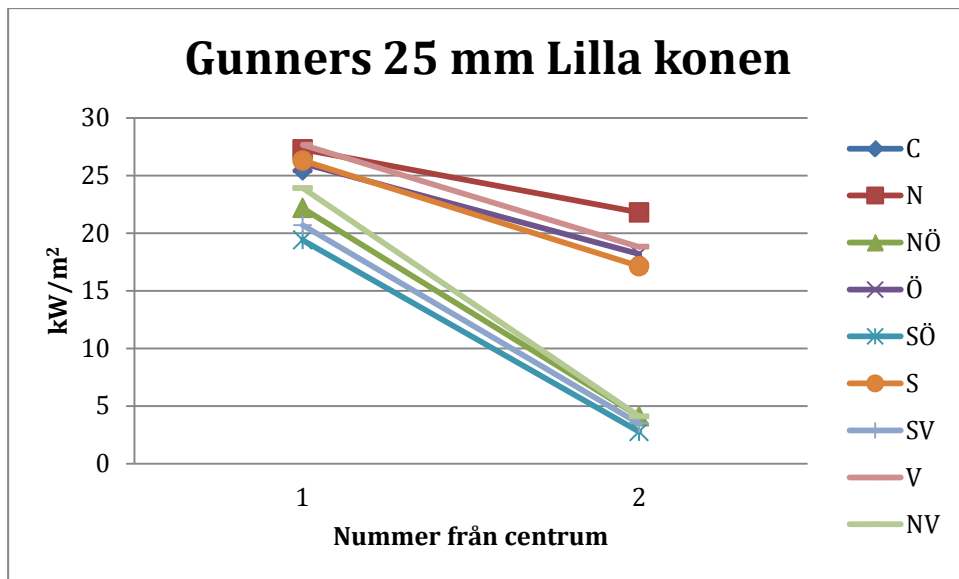
4.2 Lilla konkallorimetern

Resultaten efter testerna med den lilla konkallorimetern visas nedan i figurerna 20-25.

Figurerna 20, 21 och 22 är resultaten från mätningarna med Gunnersmätaren. Figurerna 23, 24 och 25 visar resultaten från mätningarna med Medthermmätaren (Tabell 3). Resultaten är i kW/m^2 .

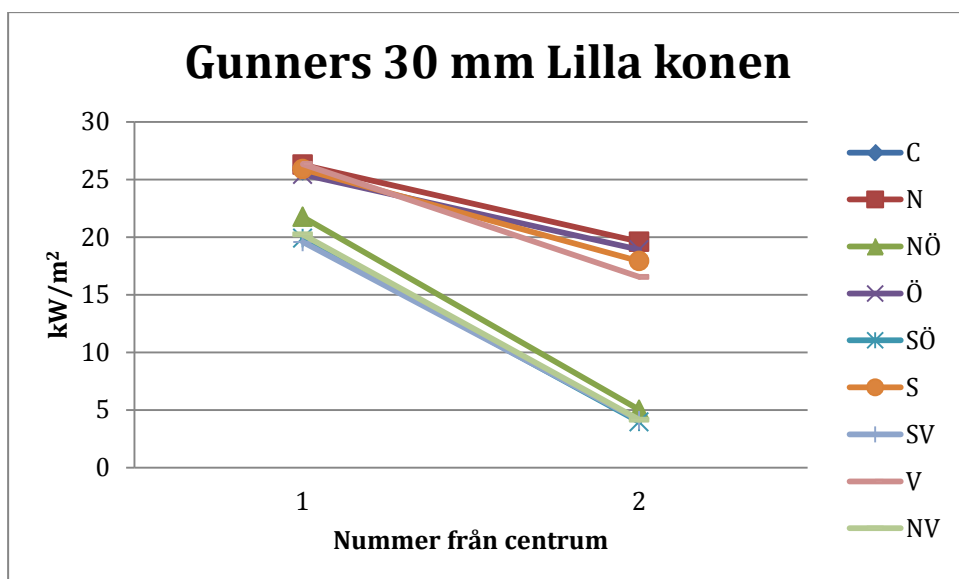
Resultat grafer			
Graf Nr	Mätare	avstånd	Kon
20	Gunners	25 mm	Lilla
21	Gunners	30 mm	Lilla
22	Gunners	50 mm	Lilla
23	Medtherm	20 mm	Lilla
24	Medtherm	30 mm	Lilla
25	Medtherm	50 mm	Lilla

Tabell 3: Grafer Lilla konkallorimetern.



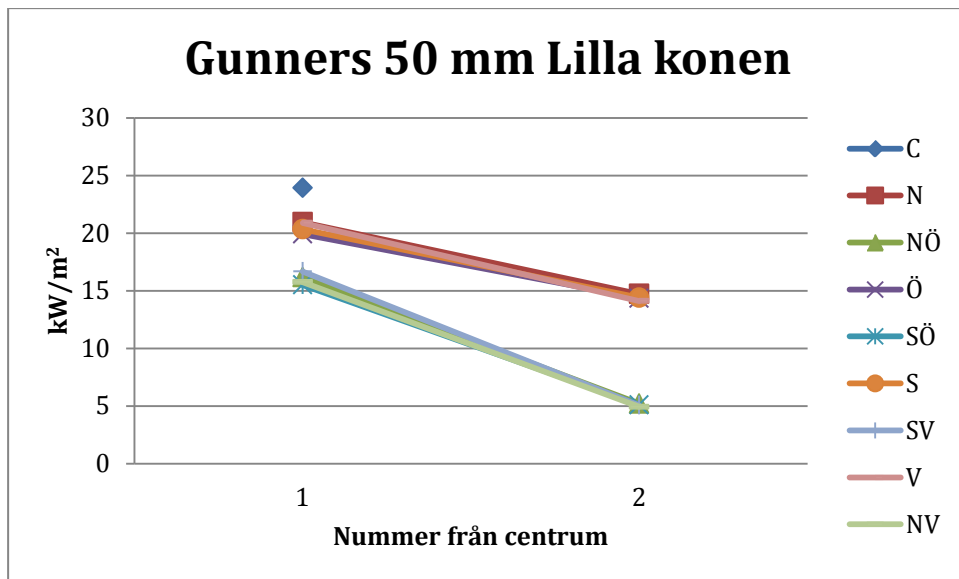
Figur 20: Graf över resultaten på avståndet 25 mm med Gunnarsmätaren. Lilla konkalorimetern.

Figur 20 visar att de diagonala mätpunkterna mäter lite mindre strålning, än de vågräta och lodräta, i första mätpunkten. Vid andra mätpunkten har de vågräta och lodräta minskat ca 20 % och de diagonala har minskat ca 75 %.



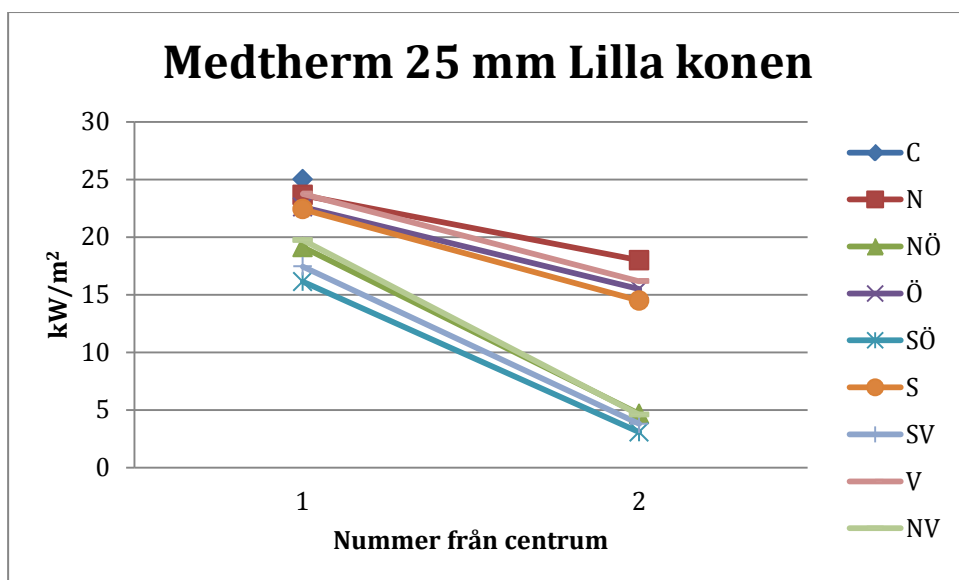
Figur 21: Graf över resultaten på avståndet 30 mm med Gunnarsmätaren. Lilla konkalorimetern.

Denna graf visar samma samband som figur 21. Det finns en liten skillnad och det är att resultaten är mer samlade mellan väderstrecken.



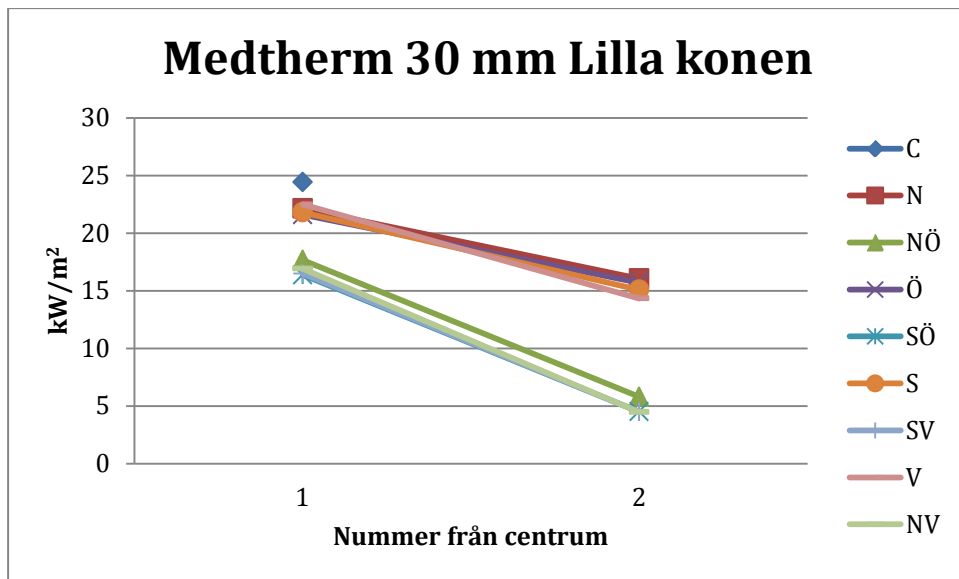
Figur 22: Graf över resultaten på avståndet 50 mm med Gunnarsmätaren. Lilla konkalorimetern.

Figur 22 visar att centrum punkten C har markant högst värde, vilket tydligt visar att värmeöverföringen var starkast i mitten av provkroppen. Värdet har minskat något i mät punkt 1. De diagonala mätpunkterna ligger under, de vågräta och lodräta, i både första och andra mät punkten. Minskningen är också större i de diagonala mätpunkterna än i de vågräta och diagonala. Resultaten är extremt samlade.



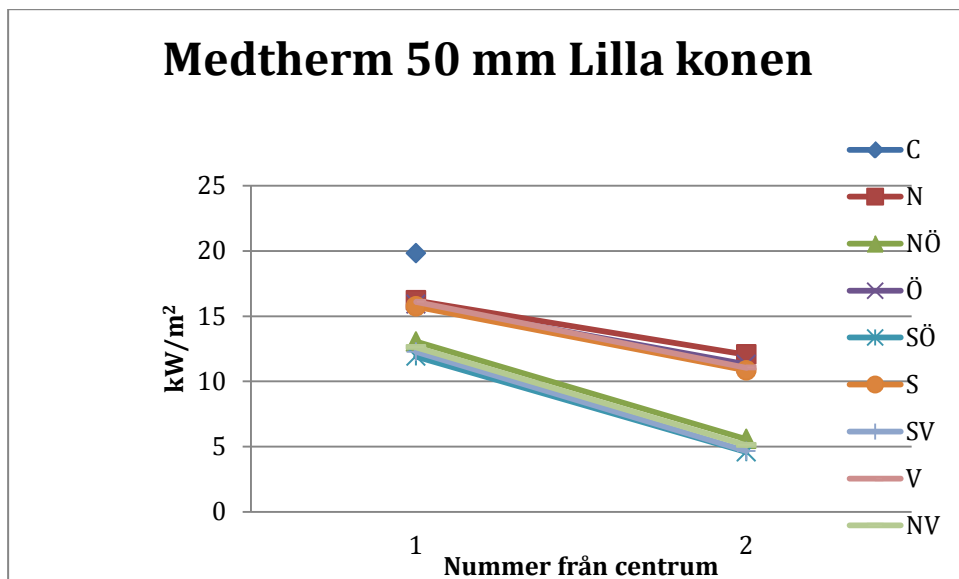
Figur 23: Graf över resultaten på avståndet 25 mm med Medthermmätaren. Lilla konkalorimetern.

Figur 23 visar samma ungefär samma mönster som figur 19, dock ligger alla resultat lite lägre.



Figur 24: Graf över resultaten på avståndet 30 mm med Medthermmätaren. Lilla konkalorimetern.

Figur 24 visar i stort samma mönster som i figur 21 men med ett generellt lägre värde. Likt figur 22 har centrumpunkten i figur 24 ett markant högre värde än övriga punkterna.



Figur 25: Graf över resultaten på avståndet 50 mm med Medthermmätaren. Lilla konkalorimetern.

Även i figur 25 har grafen samma mönster som mätresultatet visar i figur 22. Minskningen mellan första och andra punkten är dock inte lika kraftig.

4.3 Tabeller över medelvärden Q

Q redovisas i tabell 4-7. Uträkningen av Q förklaras i 3.2.1.

Lilla kon				Lilla kon			
	G 25 mm	G 30 mm	G 50 mm		G 25 mm	G 30 mm	G 50 mm
100x100 mm	25,14	24,52	20,24	100x100 mm	100 %	100 %	100 %
150x150 mm	20,80	20,25	16,60	150x150 mm	83 %	83 %	82 %

Tabell 4: Tabellerna visar strålning vid lilla konkalkorimetern, olika provkroppar och avstånd mellan kon och provkropp. I högra tabellen har värden uppmätta på 100x100 mm provkroppen satts till 100 % och sen redovisas 150x150 mm i förhållande till detta.

Lilla kon				Lilla kon			
	M 25 mm	M 30 mm	G 50 mm		M 25 mm	M 30 mm	G 50 mm
100x100 mm	22,32	21,32	16,06	100x100 mm	100 %	100 %	100 %
150x150 mm	18,23	17,48	13,22	150x150 mm	82 %	82 %	82 %

Tabell 5: Tabellerna visar total värmestrålning vid lilla konkalkorimetern, olika provkroppar och avstånd mellan kon och provkropp. I högra tabellen har värden som uppmäts på 100x100 mm provkroppen satts till 100 % och sen redovisas 150x150 mm i förhållande till detta.

Stora kon				Stora kon			
	G 25 mm	G 77 mm	G 100 mm		G 25 mm	G 77 mm	G 100 mm
100x100 mm	48,13	54,20	51,20	100x100 mm	100 %	100 %	100 %
150x150 mm	50,44	54,06	50,46	150x150 mm	105 %	100 %	99 %
200x200 mm	52,51	52,85	48,72	200x200 mm	109 %	98 %	95 %

Tabell 6: Tabellerna visar strålning vid stora konkalkorimetern, olika provkroppar och avstånd mellan kon och provkropp. I högra tabellen har värden som uppmäts på 100x100 mm provkroppen satts till 100 % och sen redovisas 150x150 mm och 200x200 mm i förhållande till detta.

Stora kon				Stora kon			
	M 25 mm	M 77 mm	M 100 mm		M 25 mm	M 77 mm	M 100 mm
100x100 mm	32,88	32,55	29,10	100x100 mm	100 %	100 %	100 %
150x150 mm	33,66	31,91	28,33	150x150 mm	102 %	98 %	97 %
200x200 mm	34,18	30,69	27,07	200x200 mm	104 %	94 %	93 %

Tabell 7: Tabellerna visar total värmestrålning vid stora konkalkorimetern, olika provkroppar och avstånd mellan kon och provkropp. I högra tabellen har värden som uppmäts på 100x100 mm provkroppen satts till 100 % och sen redovisas 150x150 mm och 200x200 mm i förhållande till detta.

5 Diskussion

Resultaten från försöken med den lilla konen (tabell 4-5) visar att, mätt med Gunnersmätaren och Medthermmätaren, minskar strålningen och värmeöverföringen när man ökar avståndet mellan kon och provkropp. Detta var ett förväntat resultat. Däremot var det inte förväntat att, förhållandet mellan den genomsnittliga strålningen och värmeöverföringen på provkroppen var densamma oavsett avstånd mellan konvärmare och provkropp. Förväntat var ett resultat som visar att ju större avståndet var mellan konvärmare och provkropp, desto mindre skulle skillnaden mellan olika delar av provkroppen vara eftersom effekten av att konen är mindre än provkroppen, borde minska ju längre bort provkroppen är. Om skillnaden i genomsnittlig strålning mellan 100x100 mm provkroppen och 150x150 mm provkroppen hade varit mindre, hade en möjlig förbättring varit att öka avståndet till konvärmaren och att öka temperaturen på konvärmaren vid mätning på den större provkroppen. Den minskade strålningen och värmeöverföringen, beroende av det ökade avståndet, skulle då kunna kompenseras med den ökande temperaturen. Det skulle kunna medföra att 150x150mm provkroppen får samma strålning och värmeöverföring på längre avstånd som 100x100mm provkroppen får på det vanliga avståndet av 25 mm.

Gunnersmätaren visar större värmeöverföring än Medthermmätaren vilket var oväntat eftersom Gunnersmätaren bara mäter strålning medan Medthermmätaren mäter både strålning och konvektion. Anledningen till detta kan dock vara att konvektionen har en kylande verkan. Huven med fläkten har gjort att kall luft från omgivningen har dragit in över mätplattan och kylt provkroppen. Resultaten är ganska markant olika så det är antagligen inte hanteringen under själva mätningarna som ligger till grund för skillnaden. Troligtvis har konvektionen haft en kylande effekt och ger därför olika resultat för mätningar med Gunners- respektive Medthermmätaren. Den kylande effekt som luftströmmarna har på provkroppen påverkas troligen av vilket volymflöde som ställs in på fläkten. I ISO 5660-4 har volymflödet sänkts till 12 l/s istället för 24 l/s som normalt används i ISO 5660-1. Därför gäller det vid försök att vara medveten om att samma temperatur på konvärmaren inte behöver betyda samma värmeöverföring på samma avstånd från konvärmaren, då volymflödet också påverkar värmeflödet.

Det man kan se som en genomgående trend i figur 15-16 och figur 17-25 är att de diagonala mätpunkterna gav svagare resultat än de horisontella och vertikala mätpunkterna och att skillnaden ökade ju längre ut man mätte. Detta var väntat eftersom konen är konstruerad för att koncentrera värmen mot mitten av provkroppen. Då är det naturligt att ju längre bort från mitten man kommer desto mindre värmestrålning. Hörnen av en liksidig fyrkant, alltså de diagonala punkterna, är längre bort från mittenpunkten än vad de horisontella och vertikala mätpunkterna är.

I instruktionerna till ISO 5660-1 står att det inte finns några bestämda värmeinställningar på konen men det rekommenderade är 35 kW/m² och sen 25 kW/m² och 50 kW/m²

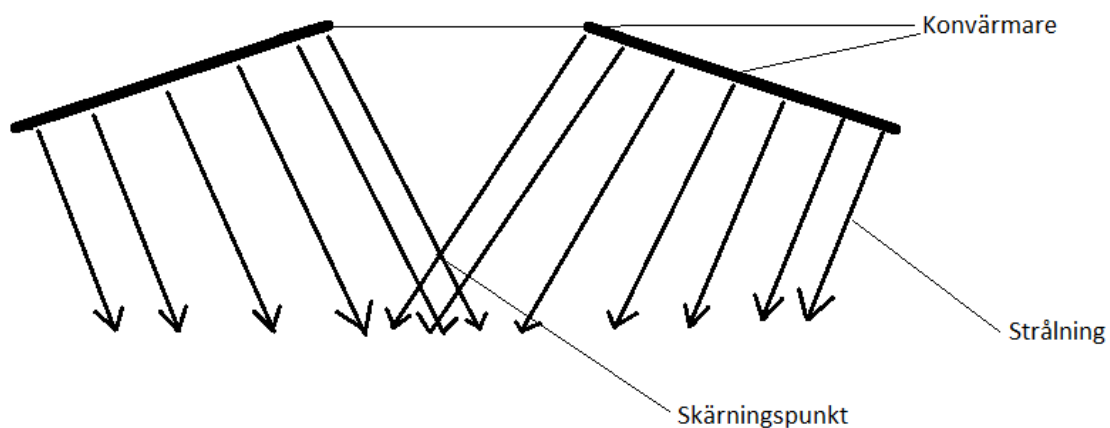
(ISO 5660-4). Därför valdes 35 kW/m² som värmeöverföringsnivå till testerna med stora konkolorimetern och 25 kW/m² till lilla konkolorimetern. Tanken var att även använda inställning 50 kW/m² vid testerna med den lilla konkolorimetern. Pga. tekniska problem genomfördes detta inte. Eftersom syftet med testerna var att mäta förhållandet mellan olika provkroppsstorlekar och avstånd mellan kon och provkropp, så hade själva värmestrålningsinställningen på konen mindre betydelse. Dock hade det varit intressant att testa om riktigt höga nivåer såsom 75 kW/m², som rekommenderas i ISO 5660-4, har någon påverkan på förhållandet mellan storleken på provkroppen och avståndet mellan provkropp och konvärmare. Teoretiskt sett borde dock förhållandet vara detsamma oavsett vilken strålningsnivå man använder. Anledningen till att 75 kW/m² rekommenderas i ISO 5660-4 är att en högre strålning borde öka pyrolysen och därmed ge mer och konsekventare mätdata.

I tabellerna 4-7 kan man se att strålningsmedelvärdets förhållande, i procent, mellan de olika provkropparna var detsamma vid mätningar i den lilla konkolorimetern oavsett om Gunnersmätare eller Medtermmätare användes, medan det fanns vissa skillnader vid mätningar i den stora konkolorimetern beroende på om man mätte med Gunnersmätare eller Medthermmätaren. Vid den stora konkolorimetern, om man studerar Gunnersmätarens resultat, är avståndet 77 mm mellan provkropp och kon är att föredra eftersom skillnaden i resultat mellan olika provkroppar är minst vid detta avstånd. Mellan en 100x100 mm och en 150x150 mm provkropp är skillnaden bara 0.3 procent och mellan en 100x100mm och en 200x200mm provkropp är skillnaden ca 2 %. Mätt med Medtermmätare är det ganska lika resultat med avstånden 25 mm och 77 mm. Resultaten ger indikation om att ett optimalt avstånd bör ligga någonstans mellan 25 och 77 mm för provkroppen vid stora konkolorimetern. Anledningen till att det var skillnader vid stora konkolorimetern och inte vid den lilla kan bero på att konvektionen påverkas av avståndet till huven och dess fläkt. Provkroppen var betydligt längre bort från konvärmaren och därmed också huven vid testerna med stora konen än vid den lilla konen.

Det kan upplevas märkligt att den stora konkolorimetern, vid mätningar med både Gunnersmätare och Medtermmätare, gav resultat som visade att medelvärmeöverföringen och strålningen var störst med de större provkropparna när man mätte på 25 mm avstånd (tabell 6-7). Anledningen till detta är att konen i konkolorimetern är avskuren på toppen. Orsaken till den designen är att annars skulle pyrolysgaser fastna i konen och det skulle medföra att pyrolysgaserna både skulle misslyckas med att nå mätinstrumenten i huven och störa och skymma strålningseffekten mot provkroppen. Den avskurna konen gör att det finns en "skärningspunkt" (Figur 26) under konen och provavståndet 25 mm ligger troligtvis ovanför denna skärningspunkt. Därför blir strålningen mindre med mindre provkroppar som

ligger mer i mitten. Detta fenomen, att mitten fick mindre värmeöverföring och strålning, ses mer i detalj i figur 14, 17.

Ytterligare bidragande orsak till att de stora provkropparna får mer strålning i stora konkalorimetern är antagligen att den stora konen är så stor (35 cm i diameter) att ingenting av den största provkroppen, alltså en 200x200 mm provkropp med avstånd mellan kant och kant på 283 mm, hamnar utanför konen. Detta kan då jämföras med den lilla konen med en diameter på 177 mm där provkroppen på 150x150 mm är 212 mm från kantspets till kantspets. Detta gör att en del utan provkroppen då hamnar utanför konen vilket påverkar resultatet mer ju mindre avståndet är.



Figur 26: Principskiss av strålningen från konvärmaren. Skissen är en förenkling av strålningens riktningar.

Oavsett om man ser på resultaten från Gunnersmätaren eller Medthermmätaren, så är skillnaden i genomsnittlig strålning mellan de olika storlekarna på provkropparna betydligt mindre vid den stora konkalorimetern än vid den lilla konkalorimetern. Vid den stora är skillnaden mellan 100x100 mm provkropp och 150x150 mm provkropp 0-5 % med ett genomsnitt på ca 2 % men vid den lilla konkalorimetern är ett genomsnitt på 18 %. Inte ens mellan 100x100 mm provkropp och 200x200 mm provkropp vid stora konkalorimetern är skillnaden så stor utan stannar på ca 9 % procent, alltså hälften. Detta indikerar att användandet av en stor konkalorimeter och en större provkropp, än den vanliga 100x100 mm provkroppen, skulle vara ett bra sätt att angripa dagens problematik, vid tester av material med låg brännbarhet. Med denna metod där 150x150 mm provkroppen skulle utsättas för samma medelvärmeöverföring som vid 100x100 mm provkroppen vid ISO 5660-1 skulle resultaten från den stora konen vara direkt jämförbara med testerna från lilla konen eftersom medelvärdet på värmeöverföringen är densamma.

Innan testerna utfördes noterades att värmeslingorna i den stora konkalorimetern inte satt lika ordnat och symmetriskt som i den lilla konkalorimetern. Detta beror troligen på att den stora konkalorimetern är äldre och därför blivit utsatt för större slitage samt att den är byggd i brandlaboratoriet LTH. Därför förväntades att strålningsresultatet skulle skilja sig mycket åt på olika delar utav provkroppen. Det verkar dock som om dessa farhågor var obefogade eftersom graferna tyder på att skillnaden mellan resultaten i olika "väderstrecks punkter" inte är större vid stora konkalorimetern än vid den lilla konkalorimetern.

En intressant iakttagelse är att figur 20, 21, 23, 24 visar att avståndet 30 mm ger mer konsekventa resultat över hela provkroppen än avståndet 25 mm. Detta har troligen inte något avgörande betydelse men det borde vara eftersträvänsvärt att strålningen är jämn över hela provkroppen även om genomsnittet blir densamma.

6 Slutsatser

Från studien kan man dra följande slutsatser:

- Ökat avstånd mellan provkroppen och konen minskar inte skillnaden i Q , mellan en 100x100 mm provkropp och en 150x150 mm provkropp.
- Optimalt avstånd mellan provkropp och den stora konen bör ligga mellan 25 mm och 77 mm.
- I dagens konkalorimeter kan resultat som fåtts med en 150x150 mm provkropp inte jämföras med resultat fåtts med en 100x100 mm provkropp. Skillnaden i medelvärde av värmeöverföring till provkroppen är för stor.
- Användandet av en större konkalorimeter med större provkroppar och anpassade inställningar (t.ex. avståndet mellan konvärmare och provkropp) skulle kunna fungera som provningsmetod för material med låg brännbarhet Resultaten skulle vara jämförbara med resultat från ISO 5660-1 eftersom de utförs med samma medelvärde i värmeöverföring och jämn fördelning över provkroppen.

7 Förslag på fortsatt arbete

Förslag på fortsatt arbete är att:

- Utföra tester med olika material och med olika brännbarhet i både den stora och lilla konkalorimetern, för att se om resultaten blir desamma vid olika provkroppar men samma medelvärde i värmeöverföringen. Alltså resultaten i form av J/m^2
- Utföra tester i syfte att hitta det optimala avståndet mellan stora konkalorimetern och provkropparna.
- Utföra samma tester fast med högre värmeöverföring (50 kW/m^2 , 75 kW/m^2) för att se om det påverkar resultaten.

8 Referensförteckning

- Thornton, WM. (1917) *The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds*, Philosophical Magazine and Journal of Science 33, 196, 196-203.
- Gordon, R. (1952) *An instrument for the direct measurement of intense thermal radiation*. The review of scientific instruments. Volume 24. Number 5. 366-370.
- Gunners, NE. (1967) *Methods of measurement and measuring equipment for fire tests*. Stockholm. National Swedish institute for materials testing.
- Babrauskas, V. (1984). *Development of the cone calorimeter- a bench-scale heat release rate apparatus based on oxygen consumption*. Fire and Materials 8. 81-95.
- Carlsén, T. & Winkler, H. (2000). *Skärsläckaren som röjnings och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit*. Lund: Brandteknik.
- Carpenter, K. & Janssens, M. (2005). *Using Heat Release Rate to Assess Combustibility of Building Products in the Cone Calorimeter*. USA: Southwest Research Institute.
- Cornelissen, A, Consultant, Canada, Grayson, S, Kumar, S, Interscience Communications Ltd, UK, Gregory, S, Green, A, Fire Testing Technology Ltd. *Use of the cone calorimeter for testing materials with low heat release rates*.
- Fire Testing Technology. <http://www.fire-testing.com/> (2011-10-10)
- Fritz, T. (2000). *Comments on experiments conducted using the ISO 5660-4 procedure*. ISO meeting in Korea.
- HUGGETT, C. (1980). *Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements*, Fire and Materials 4. 61-65.
- ISO 5660-1:2002(E), Heat release rate (cone calorimeter method)*. Second edition. The International Organization for Standardization. Switzerland.
- ISO 5660-2:2002(E), Smoke production rate (dynamic measurement)*. First edition. The International Organization for Standardization. Switzerland.
- ISO 5660-3:2003(E) Guidance on measurement*. First edition. The International Organization for Standardization. Switzerland.
- ISO 5660-4:2008(E), Measurement of heat release for determination of low levels of combustibility*. First edition. The International Organization for Standardization. Switzerland.
- Bjuring, P. (2011) *Manual kalibreringsugn*. Lund. Brandteknik

9 Bilagor

9.1 Rådata från värmeöverföring och strålning för försöken i konkalorimetern

Elektrisk signal.

En voltmätare kopplad till Gunnersmätaren och Medthermmätaren i lilla respektive stora konkalorimetern och med olika avstånd gav dessa resultat i mV

9.1.1 Lilla konkalorimetern

Gunners 25 mm

	1	2
C	5,27	
N	5,63	4,45
NÖ	4,68	0,83
Ö	5,43	4,11
SÖ	4,18	0,58
S	5,43	3,58
SV	4,08	0,67
V	5,74	3,68
NV	4,85	0,78

Medtherm 25 mm

	1	2
C	2,35	
N	2,2	1,65
NÖ	1,78	0,44
Ö	2,12	1,44
SÖ	1,54	0,31
S	2,11	1,35
SV	1,64	0,35
V	2,25	1,52
NV	1,85	0,39

	1	2
C	5,21	
N	5,57	4,53
NÖ	4,49	0,83
Ö	5,34	3,41
SÖ	3,88	0,56
S	5,36	3,49
SV	4,27	0,71
V	5,67	4,03
NV	4,96	0,87

	1	2
C	2,3	
N	2,2	1,71
NÖ	1,77	0,43
Ö	2,11	1,43
SÖ	1,47	0,27
S	2,08	1,39
SV	1,63	0,36
V	2,19	1,51
NV	1,81	0,43

Gunners 25mm

	1	2
C	5,24	
N	5,66	4,5
NÖ	4,54	0,87
Ö	5,34	3,72
SÖ	3,93	0,57
S	5,47	3,52
SV	4,44	0,77
V	5,69	3,92
NV	4,97	0,88

Medtherm 25mm

	1	2
C	2,34	
N	2,21	1,67
NÖ	1,8	0,43
Ö	2,09	1,46
SÖ	1,5	0,28
S	2,08	1,31
SV	1,61	0,35
V	2,2	1,49
NV	1,86	0,46

medel**Gunners 25 mm**

	1	2
C	5,24	
N	5,62	4,493333
NÖ	4,57	0,843333
Ö	5,37	3,746667
SÖ	3,996667	0,57
S	5,42	3,53
SV	4,263333	0,716667
V	5,7	3,876667
NV	4,926667	0,843333

medel**Medtherm 25 mm**

	1	2
C	2,33	
N	2,203333	1,676667
NÖ	1,783333	0,433333
Ö	2,106667	1,443333
SÖ	1,503333	0,286667
S	2,09	1,35
SV	1,626667	0,353333
V	2,213333	1,506667
NV	1,84	0,426667

Gunners 30 mm

	1	2
C	5,31	
N	5,47	4,08
NÖ	4,56	1,05
Ö	5,31	3,9
SÖ	4,1	0,82
S	5,38	3,79
SV	4,06	0,83
V	5,48	3,36
NV	4,14	0,84

Medtherm 30 mm

	1	2
C	2,28	
N	2,09	1,51
NÖ	1,58	0,56
Ö	2	1,46
SÖ	1,52	0,41
S	2,04	1,45
SV	1,54	0,43
V	2,09	1,32
NV	1,6	0,41

	1	2
C	5,3	
N	5,4	4,01
NÖ	4,51	1,01
Ö	5,21	3,92
SÖ	4,1	0,82
S	5,31	3,61
SV	4,01	0,82
V	5,46	3,42
NV	4,16	0,83

	1	2
C	2,28	
N	2,05	1,48
NÖ	1,68	0,51
Ö	2,02	1,49
SÖ	1,54	0,44
S	2	1,36
SV	1,53	0,41
V	2,1	1,32
NV	1,54	0,41

	1	2
C	5,34	
N	5,38	4,03
NÖ	4,38	1,04
Ö	5,21	3,87
SÖ	4,1	0,81
S	5,32	3,68
SV	4,03	0,88
V	5,35	3,45
NV	4,21	0,9

	1	2
C	2,27	
N	2,05	1,5
NÖ	1,68	0,55
Ö	2,02	1,44
SÖ	1,52	0,41
S	2,06	1,41
SV	1,54	0,42
V	2,1	1,37
NV	1,59	0,43

<i>medel</i>			<i>medel</i>		
Gunners 30 mm			Medtherm 30 mm		
	1	2		1	2
C	5,316667		C	2,276667	
N	5,416667	4,04	N	2,063333	1,496667
NÖ	4,483333	1,033333	NÖ	1,646667	0,54
Ö	5,243333	3,896667	Ö	2,013333	1,463333
SÖ	4,1	0,816667	SÖ	1,526667	0,42
S	5,336667	3,693333	S	2,033333	1,406667
SV	4,033333	0,843333	SV	1,536667	0,42
V	5,43	3,41	V	2,096667	1,336667
NV	4,17	0,856667	NV	1,576667	0,416667

Gunners 50 mm

	1	2
C	4,85	
N	4,26	2,95
NÖ	3,34	1,06
Ö	4,07	2,86
SÖ	3,17	1,04
S	4,16	2,94
SV	3,48	1,05
V	4,26	2,86
NV	3,12	0,97

Medtherm 50 mm

	1	2
C	1,86	
N	1,49	1,11
NÖ	1,2	0,5
Ö	1,48	1,06
SÖ	1,11	0,41
S	1,44	0,97
SV	1,13	0,39
V	1,47	0,98
NV	1,19	0,48

	1	2
C	4,81	
N	4,22	3,01
NÖ	3,15	0,99
Ö	4,01	2,92
SÖ	3,05	1,04
S	4,11	2,86
SV	3,37	1,04
V	4,23	2,84
NV	3,19	0,99

	1	2
C	1,84	
N	1,5	1,13
NÖ	1,23	0,53
Ö	1,47	1,05
SÖ	1,11	0,43
S	1,47	1,03
SV	1,13	0,45
V	1,53	1,1
NV	1,17	0,49

	1	2
C	4,84	
N	4,21	2,96
NÖ	3,31	1,11
Ö	3,99	2,91
SÖ	3,17	1,01
S	4,05	2,93
SV	3,25	0,97
V	4,17	2,85
NV	3,23	1,03

	1	2
C	1,84	
N	1,54	1,13
NÖ	1,22	0,53
Ö	1,5	1,05
SÖ	1,11	0,44
S	1,49	1,03
SV	1,17	0,46
V	1,5	1,01
NV	1,17	0,46

medel
Gunners 50 mm

	1	2
C	4,833333	
N	4,23	2,973333
NÖ	3,266667	1,053333
Ö	4,023333	2,896667
SÖ	3,13	1,03
S	4,106667	2,91
SV	3,366667	1,02
V	4,22	2,85
NV	3,18	0,996667

medel
Medtherm 50 mm

	1	2
C	1,846667	
N	1,51	1,123333
NÖ	1,216667	0,52
Ö	1,483333	1,053333
SÖ	1,11	0,426667
S	1,466667	1,01
SV	1,143333	0,433333
V	1,5	1,03
NV	1,176667	0,476667

9.1.2 Stora konkalorimetern

Gunners 25 mm

	1	2	3
C	9,32		
N	9,96	10,55	11,3
NÖ	10,66	11,64	12,11
Ö	9,85	12,15	11,74
SÖ	10,56	11,81	12,15
S	10	10,76	11,65
SV	10,31	11,12	11,15
V	9,88	10,6	11,14
NV	10,61	11,64	11,7

Medhterm 25 mm

	1	2	3
C	2,93		
N	3,03	3,16	3,19
NÖ	3,17	3,31	3,22
Ö	3,08	3,23	3,4
SÖ	3,22	3,39	3,28
S	3,1	3,17	3,32
SV	3,15	3,41	3,13
V	3,04	3,15	3,24
NV	3,16	3,25	3,16

	1	2	3
C	9,3		
N	10,01	10,63	11,22
NÖ	10,65	11,76	12,08
Ö	9,88	11,11	11,6
SÖ	10,5	11,79	12,1
S	9,8	10,74	11,5
SV	10,41	11,04	10,92
V	9,96	10,67	11,31
NV	10,7	11,73	11,48

	1	2	3
C	2,99		
N	3,01	3,2	3,22
NÖ	3,15	3,34	3,21
Ö	3,08	3,26	3,42
SÖ	3,24	3,45	3,31
S	3,1	3,24	3,34
SV	3,17	3,21	3,14
V	3,08	3,16	3,24
NV	3,12	3,27	3,11

Medel Gunners 25 mm

	1	2	3
C	9,31		
N	9,985	10,59	11,26
NÖ	10,655	11,7	12,095
Ö	9,865	11,63	11,67
SÖ	10,535	11,8	12,125
S	9,9	10,75	11,575
SV	10,36	11,08	11,035
V	9,92	10,635	11,225
NV	10,655	11,685	11,59

Medel Medtherm 25 mm

	1	2	3
C	2,96		
N	3,02	3,18	3,205
NÖ	3,16	3,325	3,215
Ö	3,08	3,245	3,41
SÖ	3,23	3,42	3,31
S	3,1	3,205	3,33
SV	3,16	3,31	3,135
V	3,06	3,155	3,24
NV	3,14	3,26	3,135

Gunners 77 mm

	1	2	3
C	11		
N	11,15	10,85	10,44
NÖ	11,22	10,82	9,58
Ö	11,31	11,46	11,28
SÖ	11,42	11,11	9,28
S	11,19	11,22	11,01
SV	11,05	10,77	9,29
V	11,15	10,96	10,66
NV	10,9	10,29	9,02

Medtherm 77 mm

	1	2	3
C	3,01		
N	2,97	2,89	2,74
NÖ	2,91	2,84	2,43
Ö	3,05	3	2,83
SÖ	2,95	2,8	2,35
S	3,05	2,94	2,87
SV	2,99	2,77	2,32
V	3,02	2,88	2,72
NV	2,97	2,68	2,24

	1	2	3
C	11		
N	11,28	10,99	10,64
NÖ	11,33	10,85	9,28
Ö	11,52	11,58	11,25
SÖ	11,72	11,42	9,71
S	11,42	11,61	11,25
SV	11,14	10,73	9,28
V	10,95	11,04	10,74
NV	10,92	10,39	8,97

	1	2	3
C	3,14		
N	3,05	2,89	2,75
NÖ	2,94	2,73	2,28
Ö	3,11	3,03	2,9
SÖ	3,13	2,87	2,36
S	3,08	2,99	2,79
SV	2,96	2,77	2,32
V	3,04	2,87	2,75
NV	2,93	2,77	2,31

**Medel
Gunners 77 mm**

	1	2	3
C	11		
N	11,215	10,92	10,54
NÖ	11,275	10,835	9,43
Ö	11,415	11,52	11,265
SÖ	11,57	11,265	9,495
S	11,305	11,13	11,13
SV	11,095	11,25	9,285
V	11,05	11	10,7
NV	10,91	10,34	8,97

**Medel
Medtherm 77 mm**

	1	2	3
C	3,075		
N	3,01	2,89	2,745
NÖ	2,925	2,785	2,355
Ö	3,08	3,015	2,865
SÖ	3,04	2,835	2,355
S	3,065	2,965	2,83
SV	2,975	2,77	2,32
V	3,03	2,875	2,735
NV	2,95	2,725	2,275

Gunners 100 mm

	1	2	3
C	10,8		
N	10,74	10,55	9,92
NÖ	10,69	10,11	8,53
Ö	10,95	10,83	10,3
SÖ	10,85	10,14	8,43
S	10,88	10,62	10,12
SV	10,54	9,74	8,31
V	10,56	10,32	9,72
NV	10,41	9,71	8,2

Medtherm 100 mm

	1	2	3
C	2,83		
N	2,72	2,56	2,38
NÖ	2,69	2,44	2,07
Ö	2,77	2,7	2,54
SÖ	2,7	2,48	2,06
S	2,82	2,64	2,52
SV	2,6	2,41	2
V	2,77	2,64	2,46
NV	2,68	2,42	1,99

	1	2	3
C	10,42		
N	10,36	10,22	9,66
NÖ	10,3	9,73	8,34
Ö	10,49	10,41	9,97
SÖ	10,36	9,86	8,25
S	10,45	10,29	9,7
SV	10,17	9,28	7,98
V	10,28	10,01	9,35
NV	10,19	9,36	7,84

	1	2	3
C	2,73		
N	2,65	2,54	2,34
NÖ	2,58	2,42	2,02
Ö	2,7	2,66	2,45
SÖ	2,62	2,41	2
S	2,71	2,59	2,41
SV	2,54	2,33	1,98
V	2,64	2,51	2,38
NV	2,61	2,34	1,99

**Medel
Gunners 100 mm**

	1	2	3
C	10,61		
N	10,55	10,385	9,79
NÖ	10,495	9,92	8,435
Ö	10,72	10,62	10,135
SÖ	10,605	10	8,34
S	10,665	10,455	9,91
SV	10,355	9,51	8,145
V	10,42	10,165	9,535
NV	10,3	9,535	8,02

**Medel
Medtherm 100 mm**

	1	2	3
C	2,78		
N	2,685	2,55	2,36
NÖ	2,635	2,43	2,045
Ö	2,735	2,68	2,495
SÖ	2,66	2,445	2,03
S	2,765	2,615	2,465
SV	2,57	2,37	1,99
V	2,705	2,575	2,42
NV	2,645	2,38	1,99

9.2 Resultat i kW/m²

Resultaten i mV multiplicerades med ombildningsfaktorn för Gunnersmätarens (4,8496) respektive Medthermmätarens (10,7252) för att få resultatet i kW/m².

9.2.1 Lilla konkalorimetern

Gunners 25 mm

	1	2
C	25,41243	
N	27,25531	21,79132
NÖ	22,16313	4,089914
Ö	26,04289	18,17021
SÖ	19,38263	2,764329
S	26,28537	17,11944
SV	20,67589	3,475618
V	27,64329	18,80067
NV	23,89286	4,089914

Medtherm 25 mm

	1	2
C	24,98972	
N	23,63119	17,98259
NÖ	19,12661	4,647587
Ö	22,59442	15,48004
SÖ	16,12355	3,074557
S	22,41567	14,47902
SV	17,44633	3,789571
V	23,73844	16,1593
NV	19,73437	4,576085

Gunners 30 mm

	1	2
C	25,78371	
N	26,26867	19,59238
NÖ	21,74237	5,011253
Ö	25,42807	18,89727
SÖ	19,88336	3,960507
S	25,8807	17,91119
SV	19,56005	4,089829
V	26,33333	16,53714
NV	20,22283	4,154491

Medtherm 30 mm

	1	2
C	24,41771	
N	22,12966	16,05205
NÖ	17,66083	5,791608
Ö	21,5934	15,69454
SÖ	16,37381	4,504584
S	21,80791	15,08678
SV	16,48106	4,504584
V	22,48717	14,33602
NV	16,91007	4,468833

Gunners 50 mm

	1	2
C	23,92307	
N	20,93681	14,71681
NÖ	16,16869	5,213579
Ö	19,91389	14,33734
SÖ	15,49225	5,098088
S	20,32636	14,40334
SV	16,66365	5,048592
V	20,88731	14,10636
NV	15,73973	4,933101

Medtherm 50 mm

	1	2
C	19,80587	
N	16,19505	12,04797
NÖ	13,04899	5,577104
Ö	15,90905	11,29721
SÖ	11,90497	4,576085
S	15,73029	10,83245
SV	12,26248	4,647587
V	16,0878	11,04696
NV	12,61999	5,112345

9.2.2 Stora konkalorimetern

Gunners 25 mm

	1	2	3
C	45,14978		
N	48,42326	51,35726	54,6065
NÖ	51,67249	56,74032	58,65591
Ö	47,8413	56,40085	56,59483
SÖ	51,09054	57,22528	58,8014
S	48,01104	52,1332	56,13412
SV	50,24186	53,73357	53,51534
V	48,10803	51,5755	54,43676
NV	51,67249	56,66758	56,20686

Medtherm 25mm

	1	2	3
C	31,74659		
N	32,3901	34,10614	34,37427
NÖ	33,89163	35,66129	34,48152
Ö	33,03362	34,80327	36,57293
SÖ	34,6424	36,68018	35,50041
S	33,24812	34,37427	35,71492
SV	33,89163	35,50041	33,6235
V	32,81911	33,83801	34,74965
NV	3,67713	34,96415	33,6235

Gunners 77 mm

	1	2	3
C	53,3456		
N	54,38826	52,95763	51,11478
NÖ	54,67924	52,54542	45,73173
Ö	55,35818	55,86739	54,63074
SÖ	56,10987	54,63074	46,04695
S	54,82473	53,97605	53,97605
SV	53,80631	54,558	45,02854
V	53,58808	53,3456	51,89072
NV	52,90914	50,14486	43,50091

Medtherm 77 mm

	1	2	3
C	32,97999		
N	32,28285	30,99583	29,44067
NÖ	31,37121	29,86968	25,25785
Ö	33,03362	32,33648	30,7277
SÖ	32,60461	30,40594	25,25785
S	32,87274	31,80022	30,35232
SV	31,90747	29,7088	24,88246
V	32,49736	30,83495	29,33342
NV	31,63934	29,22617	24,39983

9.3 Kalibreringsugn

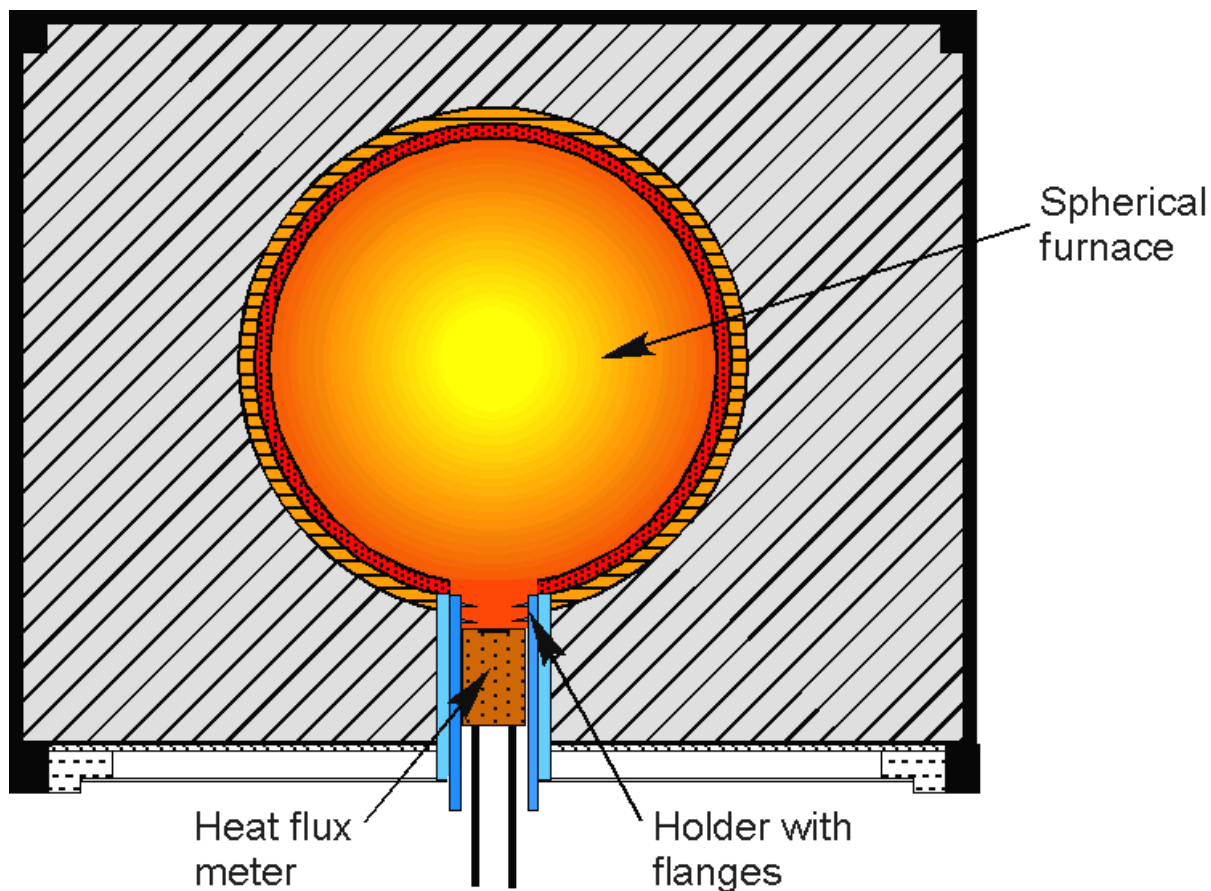


Bild 1.

Den sfäriska ugnen (bild 1) består av ett inre skal av hårt oxiderat material för att förbättra den spektrala emissiviteten. På utsidan av detta skal är elektriska värmeslingor jämnt fördelade. De är fästa med en keramisk förening med god värmeledningsförmåga. Hela ugnen är isolerad med en keramisk isolering för att hålla en hög jämn temperatur och minimera värmeförluster. Ugnskammaren har en stor yta jämfört med öppningen så den fungerar som en nästan perfekt svart kropp. En vattenkyld strålningsmätare sätts in i öppning på botten under ugnskammaren. Den sfärisk kalibreringsugn (bild 2) på brandteknik LTH används främst för att kalibrera strålningsmätare.

Ugnen



Bild 2. (foto Bjuring)



Bild 3. (foto Bjuring)

På ena sidan av ugnen finns lådor bild 3. Reglage 3 ska stå på till. När strömsladdarna har kopplats in (Bild 3), tryck in knapp 1 så den gröna lampan 2 slocknar.

9.4 Utrustning till Kalibreringsugnen

Strömsladdar



Bild 4. (foto Bjuring)

1 Kopplas in i ett 220 volts jordat ström uttag och strömförsörjer kontrollådan, bild 5.

2 Kopplas till ett trefas uttag och strömförsörjer ugnen.

Kontrolllåda



Bild 5. (foto Bjuring)

1 Dessa sladdar kopplas till voltgivaren.

2 In i dessa ska sladdarna från mätaren man väljer att använda.

3 POWER ON kappen trycks in för att sätta på kontrollådan. Trycks, MV GAUGE, in visar voltmätaren signalen från strålningsmätaren och om TC 1 trycks in, visas signalen från termoelementet som sitter inne i ugnen. För att omvandla signalen från termoelementet till grader används tabellen för termoelement modell S (bild 6) plus 25 C°.

4 Dessa knappar styr uppvärmning av ugnen. Siffrorna anger hur många grader ugnen kommer värmas upp till plus 25 C°. Trycker man in 200 knappen kommer ugnen att värmas upp till ca 225 C°. Termoelementets temperatur är mer tillförlitlig än denna. Ugnen kyls ner väldigt långsamt så börja alltid med att mäta vid lägre temperaturer först för att sen gradvis öka temperaturen.

Termoelement typ S

Pt10%Rh-Pt enligt IEC 60584-1. Utsignal i mV. Referenstemperatur 0 °C.

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	mV/°C*
0	0.000	0.055	0.113	0.173	0.235	0.299	0.365	0.433	0.502	0.573	0.006
100	0.646	0.720	0.795	0.872	0.950	1.029	1.110	1.191	1.273	1.357	0.008
200	1.441	1.526	1.612	1.698	1.786	1.874	1.962	2.052	2.141	2.232	0.009
300	2.323	2.415	2.507	2.599	2.692	2.786	2.880	2.974	3.069	3.164	0.009
400	3.259	3.355	3.451	3.548	3.645	3.742	3.840	3.938	4.036	4.134	0.010
500	4.233	4.332	4.432	4.532	4.632	4.732	4.833	4.934	5.035	5.137	0.010
600	5.239	5.341	5.443	5.546	5.649	5.753	5.857	5.961	6.065	6.170	0.010
700	6.275	6.381	6.486	6.593	6.699	6.806	6.913	7.020	7.128	7.236	0.011
800	7.345	7.454	7.563	7.673	7.783	7.893	8.003	8.114	8.226	8.337	0.011
900	8.449	8.562	8.674	8.787	8.900	9.014	9.128	9.242	9.357	9.472	0.011
1000	9.587	9.703	9.819	9.935	10.051	10.168	10.285	10.403	10.520	10.638	0.012
1100	10.757	10.875	10.994	11.113	11.232	11.351	11.471	11.590	11.710	11.830	0.012
1200	11.951	12.071	12.191	12.312	12.433	12.554	12.675	12.796	12.917	13.038	0.012
1300	13.159	13.280	13.402	13.523	13.644	13.766	13.887	14.009	14.130	14.251	0.012
1400	14.373	14.494	14.615	14.736	14.857	14.978	15.099	15.220	15.341	15.461	0.012
1500	15.582	15.702	15.822	15.942	16.062	16.182	16.301	16.420	16.539	16.658	0.012
1600	16.777	16.895	17.013	17.131	17.249	17.366	17.483	17.600	17.717	17.832	0.012
1700	17.947	18.061	18.174	18.285	18.395	18.503	18.609				0.011

*Medelvärde

Bild 6

Mätare

Det finns två typer av mätare. Medthermmätare mäter strålningen och konvektionen, Gunnersmätare mäter enbart strålning.

Medthermmätare

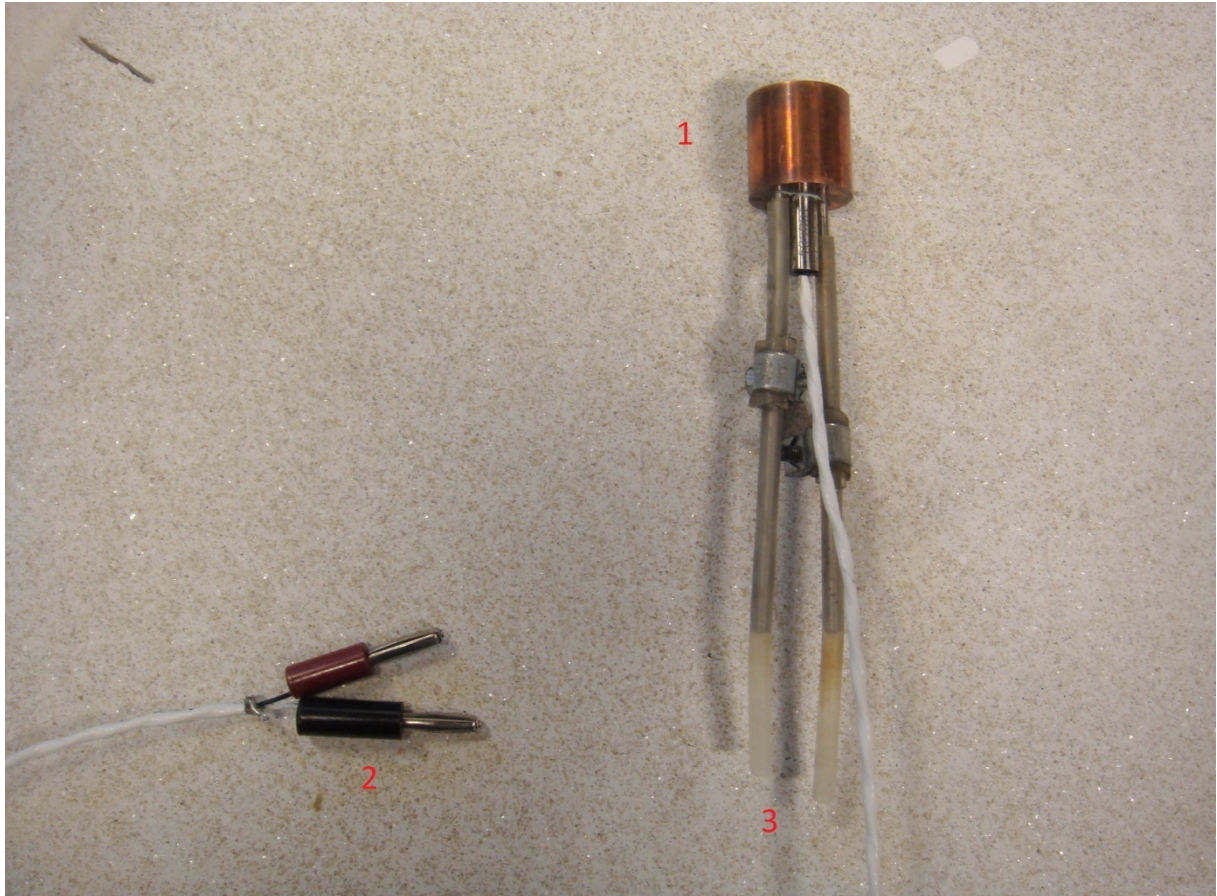


Bild 7. (foto Bjuring)

1 Högst uppe finns ett svart cirkulärt område med diametern 3 mm och det är där strålningen och konvektionen mäts.

2 Sladdar som ska kopplas till kontroll lådan

3 Slangarna ska kopplas till kontinuerlig vattenförsörjning för att hela tiden kyla mätinstrumentet

Gunnersmätare



Bild 8. (foto Bjuring)

1 Högst uppe på mätaren finns ett litet hål där strålningen kommer in. Inuti mätaren finns en sensor som mäter strålningen. Om man misstänker att smuts kommit in i mätaren skruvas locket av för att rengöra. En lärare måste då tillfrågas. Det finns en fjäder i mätaren så om locket skruvas loss utan att röret 5 hålls fast kommer delar att flyga ut.

2 Slangarna ska kopplas till kontinuerlig vatten försörjning för att hela tiden kyla mätinstrumentet
3 Mätarens inetsade serienummer.

Voltgivare



Bild 9. (foto Bjuring)

1 Display

2 På och av knapp

3 Denna knapp måste vara intryckt för att displayen ska visa millivolt. T.ex. 00.06 = 6 millivolt

4 Den svarta och röda sladden från kontroll lådan (Bild 6 nr 1) ska in i dessa två kontakter. Svart i svart och rött i rött.

9.5 Beräkningar

Kalibreringar i kalibreringsugnen bygger på principerna att eftersom vi vet temperaturen i ugnen och vi antar att ugnen fungerar som en perfekt svart kropp avseende strålningen så kan vi med hjälp av Stefan Boltzmanns formel räkna ut vilken värmeöverföring som ger vilket elektriskt utslag på de mätare vi vill kalibrera.

Stefan Boltzmanns formel

$$\frac{dQ}{dt} = \epsilon \sigma (T^4 - T_0^4) A$$

Ger att

$$\frac{dQ}{dt} / A = \epsilon \sigma (T^4 - T_0^4)$$

dQ/dt = värmetransporten från kroppen till omgivningen

Stefan Boltzmanns konstant

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}$$

T = kroppens temperatur

T_0 = omgivningens temperatur

A = area

$$\text{Js}^{-1} = \text{W}$$

$\epsilon = 1$ vid en perfekt svart kropp

$$\frac{dQ}{dt} / A = \text{effekten per area enhet}$$

Exempel

Vi har en perfekt svart kropp med, temperaturen 100°C, en area på 5 m² och en omgivning med temperaturen 0°C.

$$1 \times 5,67\text{E}^{-8}\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{K}^{-4} \times (373^4 - 273^4) \times 5 \text{ m}^2 = 3913 \text{ W}$$

Kroppens värmetransport till omgivningen har en effekt på 3913 W

En vattenkyld mätare med, en temperatur på 20°C, i en ugn, med temperatur på 500°C kommer att motta effekten 1925 W/m²

$$1 \times 5,67\text{E}^{-8}\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{K}^{-4} \times (773^4 - 293^4) = 1925 \text{ W/m}^2$$

Om mätaren nu ger en signal på t.ex. 2 mV så vet vi att 2 mV utslag på mätaren betyder att den utsätts för en värmeöverföring på 1925 W/m²

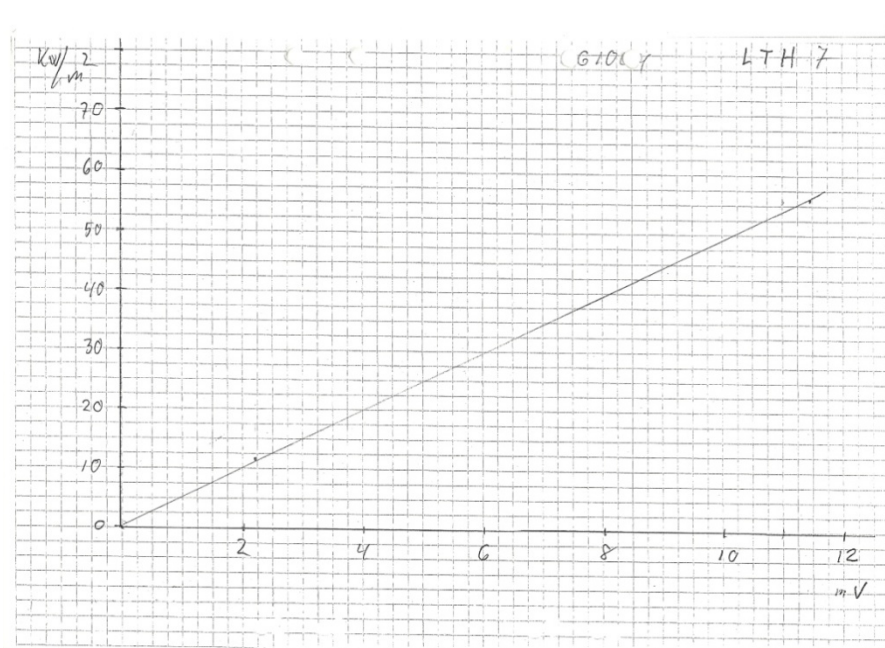
Genom att värma upp ugnen till olika temperaturer, avläsa vilket elektriskt signal mätarna då avger och därefter räkna ut effekten-kW/m², genom Stefan-Boltzmanns formel, kan tabell 8 redovisas. Med hjälp av tabell 8 kan kalibreringsgrafer sedan göras

Temperatur	Medtherm	Gunners	Stefan-Boltzmann
325	0,61	1,09	6,9
519	1,93	4,2	21,9
625	3,16	7,29	36,5
729	4,95	11,49	56,8
831	7,49	17,78	83,9
930	10,57	25,1	118,4
Celsius	mV	mV	kW/m2

Tabell 8: Resultat från kalibreringsugnen.

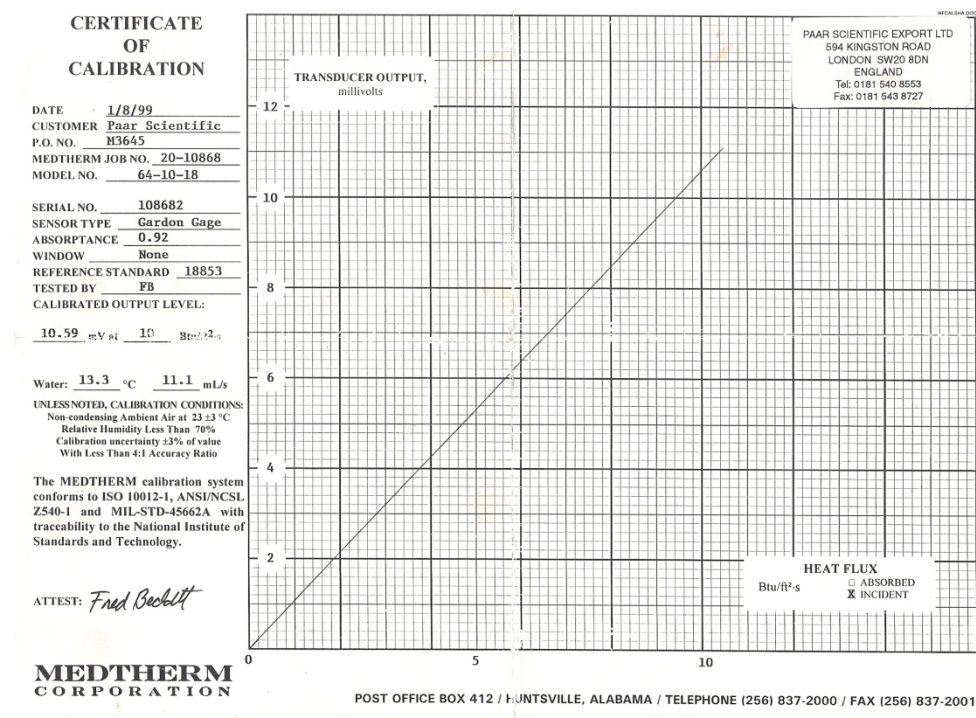
Figur 27: Kalibreringsgraf till Gunnersmätaren gjord från tabell 8.

Med hjälp av kalibreringsgraferna (Figur 28-29) och tabell 8 kan en graf som jämför olika kalibreringar göras (Figur 7).



Figur 28: Kalibreringsgraf till Gunnersmätaren från Brandteknik.

Genom kalibreringsgrafen fås omvandlingsfaktor $4,8496 \text{ kW/m}^2 \times \text{mV}$ för Gunnersmätare.



Figur 29: Kalibreringsgraf från Medtherm Corporation.

Genom kalibreringsgrafen fås omvandlingsfaktor $10,7252 \text{ kW/m}^2 \times \text{mV}$ för Medthermmätaren.