

Tor Broström, Magnus Wessberg, Anna Samuelsson

Södra Kedum kyrka – Klimatmätningar vid snabb uppvärmning med varmluft



Centrum för energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader

2012-05-21

Innehåll

| | | |
|----------|--------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Inledning | 4 |
| 1.1 | Intermittent uppvärmning..... | 4 |
| 1.2 | Södra Kedum kyrka..... | 5 |
| 2 | Genomförande | 7 |
| 2.1 | Mätning av temperatur och relativ fuktighet..... | 7 |
| 2.2 | Mapping av inneklimatet i kyrkan..... | 7 |
| 2.3 | Termografering..... | 8 |
| 2.4 | Luftrörelser..... | 9 |
| 3 | Resultat | 11 |
| 3.1 | Luftrörelser..... | 17 |
| 3.2 | Energiförbrukning och effektbehov..... | 18 |
| 4 | Slutsatser | 20 |
| 4.1 | Förslag till fortsatt arbete..... | 20 |

1 Inledning

1.1 Intermittent uppvärmning

Intermittent uppvärmning innebär att kyrkan värms upp enbart till förrättningar. Däremellan har man ingen uppvärmning eller skyddsvärme. Med intermittent uppvärmning får man ofta en acceptabel kompromiss mellan kraven på komfort, bevarande och låg energiförbrukning. Kyrkobesökarna får en behaglig temperatur under förrättningen. Med en tillräckligt snabb uppvärmning hinner träföremålen inte torka ut. Energiåtgången vid intermittent uppvärmning är väsentligt lägre jämfört med kontinuerlig uppvärmning.

Det finns dock risk för kraftiga luftrörelser, obehag från kalla väggar och golv samt kondens på fönster. Intermittent uppvärmning kan också ha en negativ effekt på saltskador.

I landsortskyrkorna är intermittent uppvärmning den rådande strategin sedan lång tid tillbaka. Erfarenheterna är överlag goda, men vi saknar tillräcklig kunskap om hur inventarierna, främst träföremål, påverkas på längre sikt och var gränserna går för ett skonsamt inneklimat.

I början stiger temperaturen snabbt, men ökningstakten avtar. Den som ska dimensionera en värmeanläggning behöver känna till att temperaturen stiger proportionellt mot kvadratroten ur tiden. Man kan förkorta uppvärmningstiden väsentligt och spara energi genom att sänka temperaturen vid förrättning.

Den effekt som krävs för att värma upp kyrkan intermittent är betydligt större än vad som krävs för kontinuerlig uppvärmning. Det beror på att större delen av den tillförda värmen, upp till 90 %, går åt till att värma upp väggar, golv och tak. Det finns inget sätt att värma upp luften, utan att byggnaden värms upp. Däremot kan man minska energiåtgången genom lokal, zonindelad uppvärmning.

Ju högre effekt, desto kortare uppvärmningstid. En dubblering av värmeeffekten minskar uppvärmningstiden till cirka en fjärdedel! Energiåtgången minskar ju snabbare man värmer upp kyrkan. Det finns alltså ingen energibesparing i att värma kyrkan med reducerad effekt. Uppvärmningstiden bör ligga i intervallet 6-12 timmar. Detta ställer krav på en mycket hög värmeeffekt, vilket medför en hög fast kostnad för värmeanläggningen när man värmer med el.

1.2 Södra Kedum kyrka

I Södra Kedum kyrka utanför Vara i Skara stift har man inom församlingen gjort försök med uppvärmning av kyrkan med hjälp av ett portabelt varmluftsaggregat. Orsaken till att församlingen provar den här nya metoden är att kostnaderna för eluppvärmning stigit kraftigt. Kyrkan värms intermittent med direktverkande el, något som kräver hög effekt vilket ger höga fasta avgifter.

Kyrkan byggdes 1889 efter ritningar av Isak Gustaf Clason. 1917 brann den, men de återstående murarna reparerades och kyrkan byggdes upp igen 1920. Den är uppförd i granit nästan ända upp till takfoten, gavelröstet och den översta delen av muren är av tegel. Även fönster- och dörrömfattningar är murade i tegel. Taket är täckt av skiffer.

Kyrkans ordinarie värmesystem består av direktverkande elradiatorer under bänkar och längs väggar. Det installerades på 1960-talet. Tanken är att man fortsätter använda det befintliga värmesystemet med reducerad effekt för skyddsvärme, samt för att hålla bänkar och rum varma vid användning.

Det portabla värmeaggregatet placeras utanför kyrkan och blåser in het luft några timmar innan förrättningen ska starta, strax innan förrättningen inleds avlägsnas värmepannan från kyrkan. Värmekällan är en dieseleldad varmluftsspanna av modell AXE Star 85 H. Den är placerad i en container, se bild 1, och körs fram till kyrkporten. Därefter placeras ett rör för inblås av varmluft och ett rör utsug in i kyrkorummet, se bild 2. En träskiva täcker porten.

Högskolan på Gotland har på uppdrag av Vara kyrkliga samfällighet genomfört mätningar vid ett uppvärmningstillfälle, för att utvärdera vad uppvärmningsmetoden har för konsekvenser för inneklimatet utifrån komfort- och bevarandeperspektiv.

| Teknisk specifikation AXE Star 85 H | |
|--------------------------------------------|------------------------|
| Värmeeffekt | 83,9 kW |
| Luftmängd | 4500 m ³ /h |
| Tankstorlek | 100 l |
| Bränsleförbrukning | 7,72 l/h |



Bild1 och 2: Containern i vilken värmepannan är placerad och installationen av rören i kyrkans port.

2 Genomförande

2.1 Mätning av temperatur och relativ fuktighet

T och RF mättes med hjälp av dataloggers där mätvärden registrerades var 10:e minut. Mätpunkterna framgår av nedanstående tabell.

| Logger | Placering | Mäter |
|--------------------|---------------------------------------|-------|
| 214 Testo 175 H1 | På orgeln på läktaren | T, RF |
| 212 Testo 175 H1 | Mitt i långhuset, hängande i takkrona | T, RF |
| 213 Testo 175 H1 | I bänkkvarter | T, RF |
| 215 Testo 175 H1 | Ute | T, RF |
| 1454 Krahn & Grote | Framför röret där varmluft blåser in | T, RF |
| 1442 Krahn & Grote | Altaret | T, RF |
| TinyTag 387644 | Vägg, södra | T |
| TinyTag 294960 | Vägg, norra | T |



Bild 3 och 4: Logger som mäter ytemperatur på vägg. Temperatur och RF på varmluften mättes.

2.2 Mappning av inneklimatet i kyrkan

Mappningen innebär att temperatur (T) och relativ fuktighet (RF) mäts på flera platser i kyrkan. Mätningarna gjordes på ca 1 m höjd över golvet, på 28 punkter. Den första mappningen genomfördes då värmen var helt avstängd. När värmepannan varit igång ca 30 min utfördes en mappning till och det gjordes sedan ca en gång per timme. Totalt gjordes 7 mappningar; mappning 1 innan värmepannan startats, 2–5 när den var igång och 6–7 när den stängts av.

2.3 Termografering

Bilder med värmekamera togs på väggarna samt på den horisontella värmefördelningen 1 gång per timme. Den vertikala värmefördelningen mättes med hjälp av en pappersremsa som hängts upp mellan tak och golv längst fram i långhuset, nära koret, se bild 5. Papperet får snabbt samma temperatur som den omgivande luften och ger på så vis temperaturfördelningen i luften.



Bild 5: Ett papper hängdes upp från golv till tak för att kunna mäta lufttemperaturen i höjdlängd med hjälp av värmekameran.

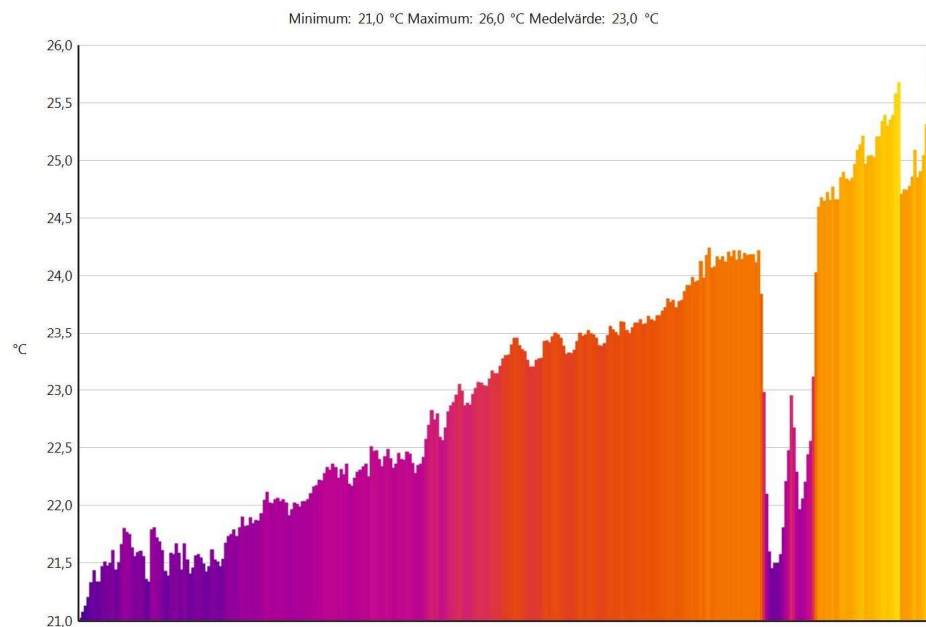


Bild 6: Lufttemperaturen vertikalt i kyrkan. Den lilla sänkningen i temperatur närmare taket beror på att värmekamerabilden fått med en högtalare som skymmer pappret och har en lägre temperatur.

2.4 Luftrörelser

Luftrörelser mättes med komfortgivare, se bild 7, vid yttervägg och mitt i bänkkvarteret. För att få en bild av luftrörelserna i rummet i stort gjordes också ett test där såpbubblor blåstes ut på några ställen i rummet.



Bild 7: Komfortgivarna som mätte luftströmmarna.

| Logg över mätningarna i Södra Kedum, 29 mars 2012 | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tid | Händelse |
| 08.30 | Mappning 1 |
| 08.39 | Värmepannan startas |
| 09.00 | Värmekamera |
| 09.15 | Mappning 2 |
| 09.30 | Värmekamera |
| 10.20 | Mappning 3 |
| 10.40 | Värmekamera |
| 11.00 | Luftrörelsemätaren i mitten flyttas närmare altaret (från ca 5 m framför inblås till ca 10 m) |
| 11.15 | Test med såpbubblor |
| 11.30 | Mappning 4 |
| 11.45 | Värmekamera |
| 13.00 | Mappning 5 |
| 13.15 | Värmekamera (luftvärme horisontell) |
| 13.17 | Värmepannan stängs av Värmekamera |
| 13.25 | Luftrörelsemätaren i mitten flyttad till mitt i bänkkvarteret |
| 14.05 | Mappning 6 |
| 14.20 | Värmekamera |
| 15.00 | Mappning 7 |
| 15.15 | Värmekamera |

3 Resultat

Grafen på bild 8 visar hur temperaturen steg på olika platser i kyrkan under uppvärmningsperioden. Bild 9 visar den relativa fuktigheten vid samma mätpunkter. Under försöket ökar lufttemperaturen under drygt fyra och en halv timmes uppvärmning från en grundnivå på 10-12°C till cirka 26°C. Lufttemperaturen stiger ungefär lika mycket i koret, mittgången och på läktaren. Då uppvärmningen avslutas kyls lufttemperaturen snabbt ned till cirka 20°C på mindre än en timme.

Noterbart är att temperaturen i bänkkvarteren visar betydligt lägre värden än de övriga givare som satt högre upp. Temperaturen i mittgången och koret mättes på ca 2,5 m höjd och givaren på läktaren var placerad på orgeln framför orgelpiporna. Störningarna som syns på kurvorna från mittgången och bänkkvarteren kommer från solinstrålning direkt på givaren.

Väggtemperaturen stiger, som förväntat, mycket långsammare än lufttemperaturen. Den kom i försöket bara upp i ca 18 °C och kyls på två timmar ned emot 15 °C. Differensen mellan vägg- och lufttemperatur är 8,1°C vilket är ovanligt mycket. Det är en följd av den höga effekten på värmeaggregatet.

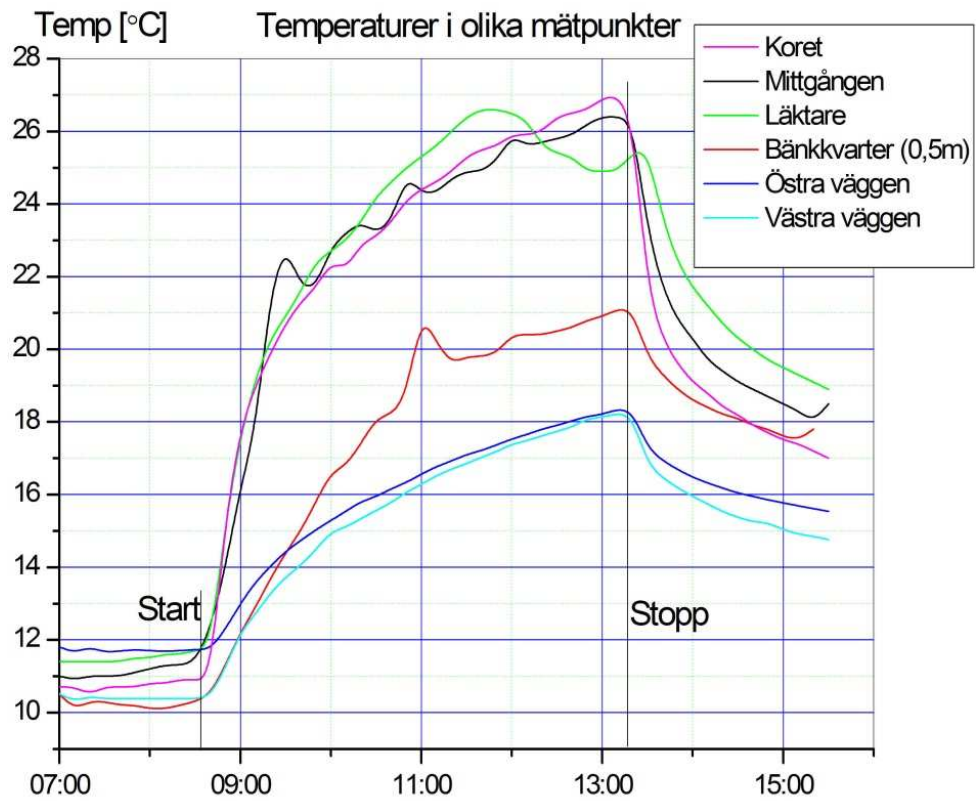


Bild 8: Temperaturer vid de olika mätpunkterna i kyrkan.

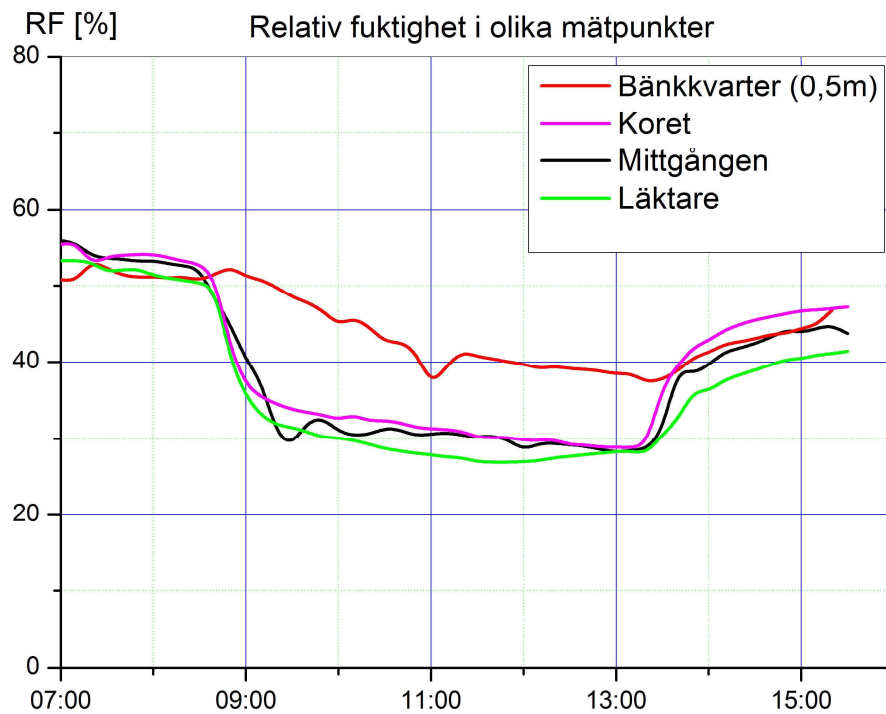


Bild 9: Relativ fuktighet vid de olika mätpunkterna i kyrkan (vid väggarna mättes enbart temperatur).

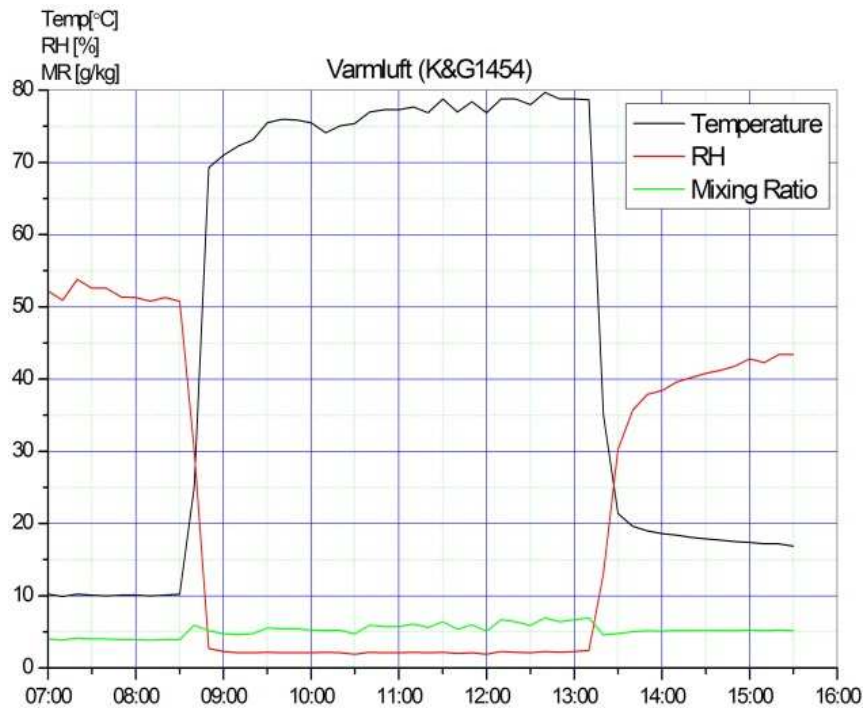


Bild 10: Temperatur och RF vid varmlufttilloppet. Den röda kurvan visar RF, den svarta temperaturen och den gröna ångkvot (g/kg).

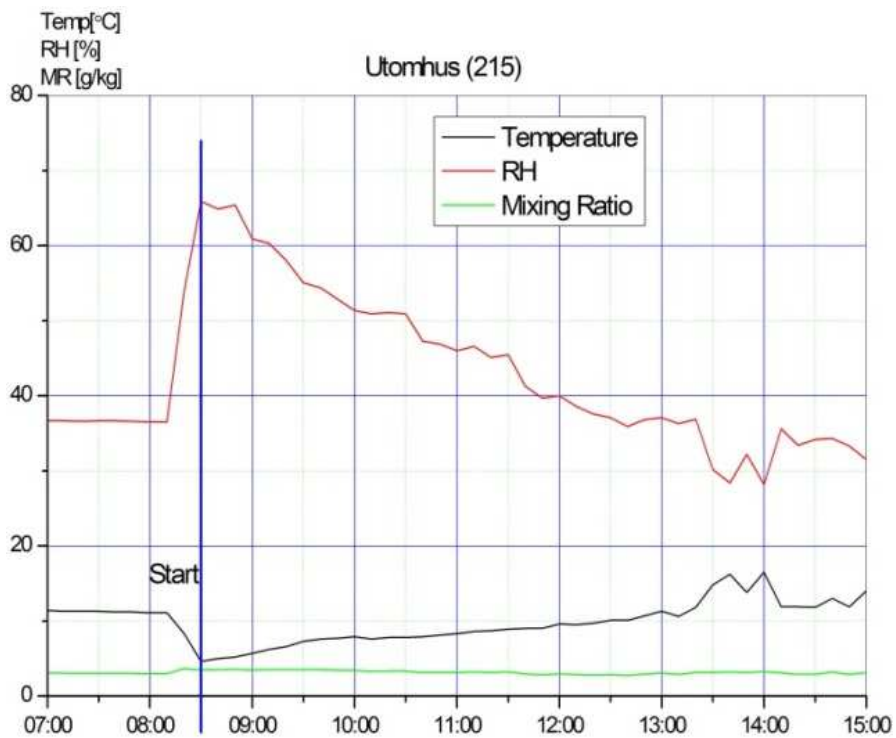


Bild 11: Temperatur och RF utomhus. Tiden när loggern placerats ut och aklimatiserat sig är markerad i diagrammet.

Temperaturfördelningen i höjded mättes med värmekamera, bilder togs vid ett flertal tillfällen på pappersremsan som hängde från golv till tak framför koret. Graferna på bild 13 och 14 visar temperaturen och den relativa fuktigheten på olika höjd i kyrkorummet. Mätvärdena är ungefärliga, eftersom det var svårt att exakt bestämma höjden och att värmekameran har en viss osäkerhet. Mätningen närmast golvet påverkas av strålningen från golvet och speglar inte den egentliga lufttemperaturen.

Mätningen visar att det redan från början uppstår en kraftig vertikal temperaturgradient i rummet; det skiljer cirka 5-6° mellan 1 meter och 10 meters höjd. När värmen stängdes av sänktes de högsta temperaturerna snabbast, och temperaturen jämnade ut sig snabbt.

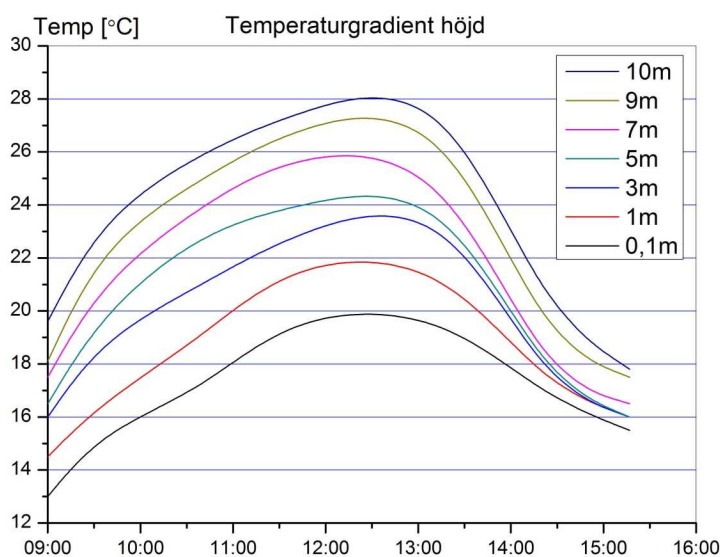


Bild 12: Temperaturen i höjded.

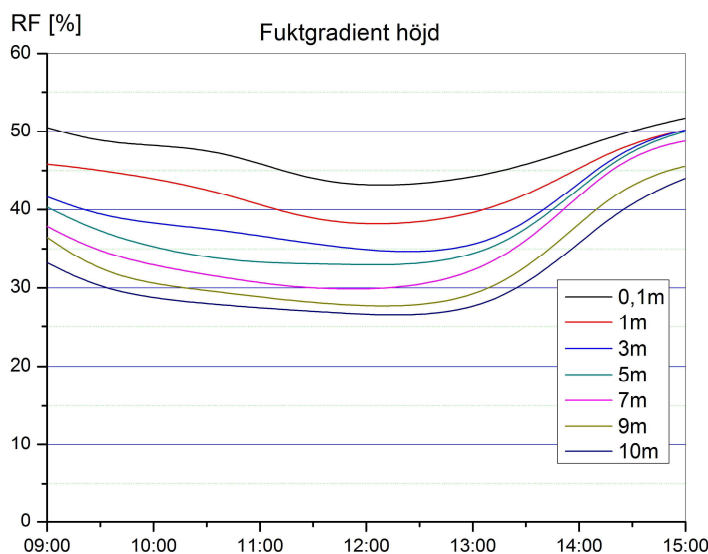


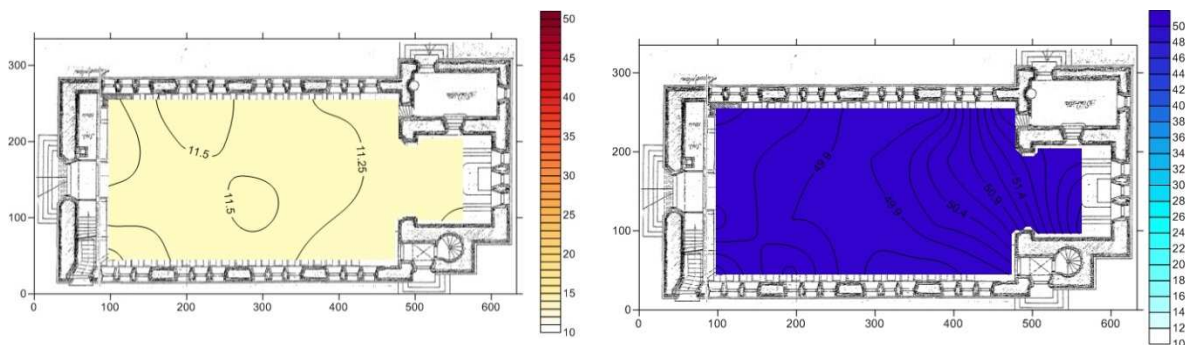
Bild 13: RF i höjded.

Nedan visas den horisontella temperaturfördelningen i kyrkorummet. De här illustrationerna bygger på mätresultatet från mappningarna. Mappningen visar att temperaturen runt inblåset var väldigt hög men att temperaturen sedan jämnades ut i kyrkan. Med undantag för en begränsad zon runt inblåset är det mycket små temperaturskillnader i horisontalplanet. Den något högre temperaturen i koret kan förklaras med att koret är något högre än övriga delen av kyrkan.

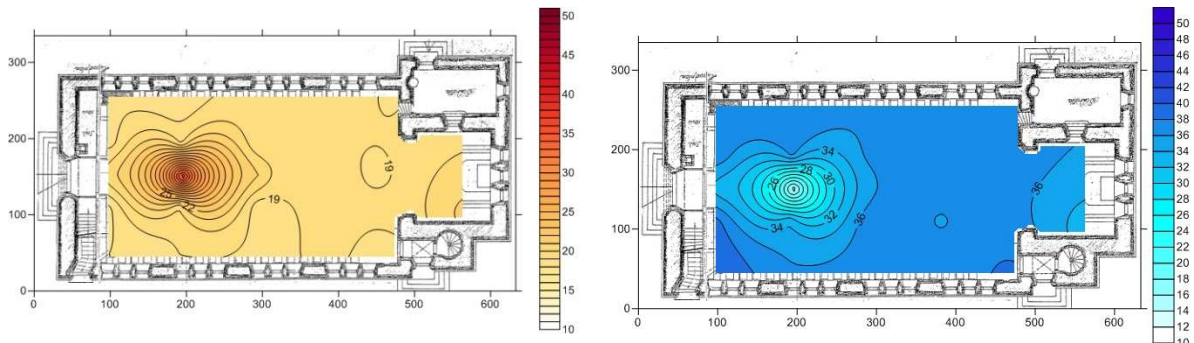
Fördelningen av RF i rummet speglar temperaturen. Nära inblåset var den inkommande varmluften ca 70°C och RF var under 3 %. Men bara någon meter från varmluftinblåset var RF ca 25 %.

Temperatur

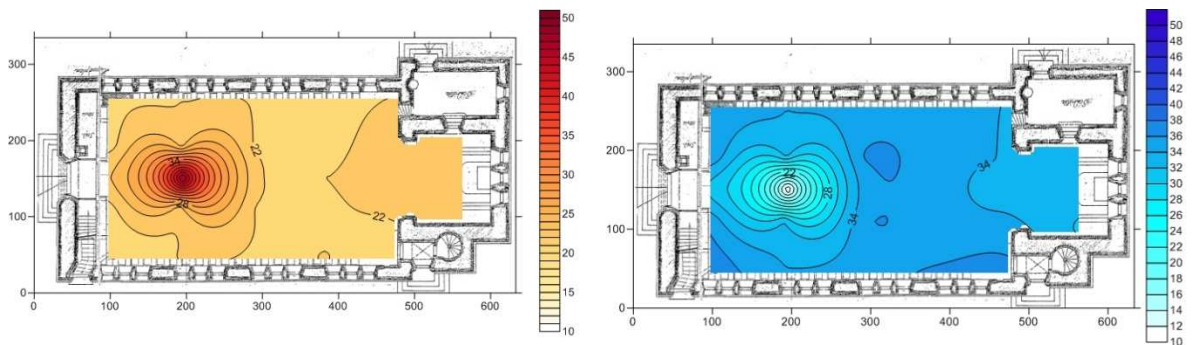
Relativ fuktighet



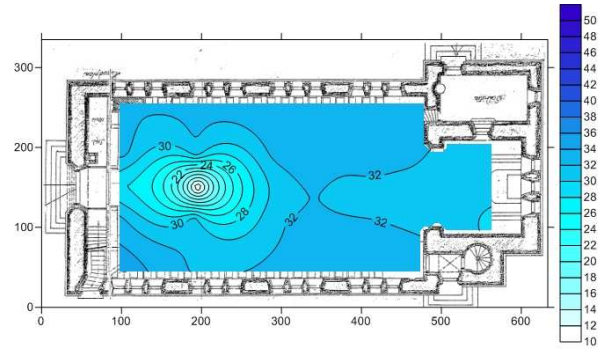
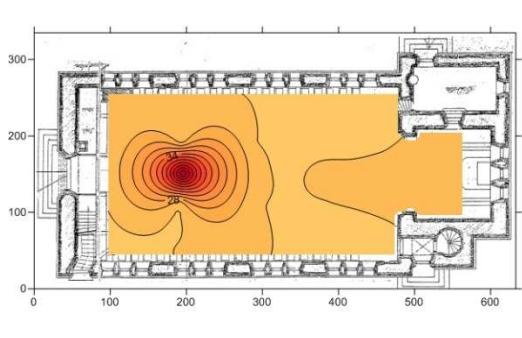
Mappning 1, kl 8.30



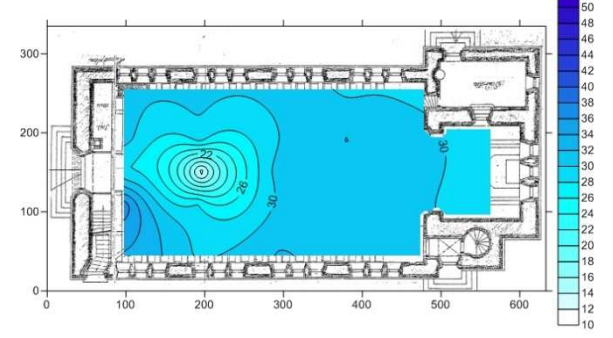
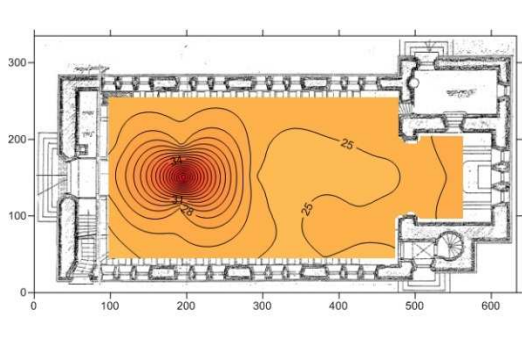
Mappning 2, kl 9.15



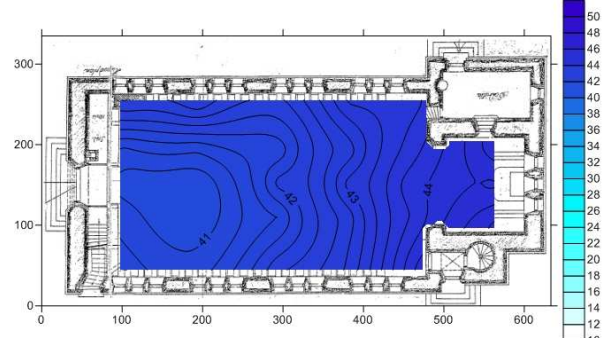
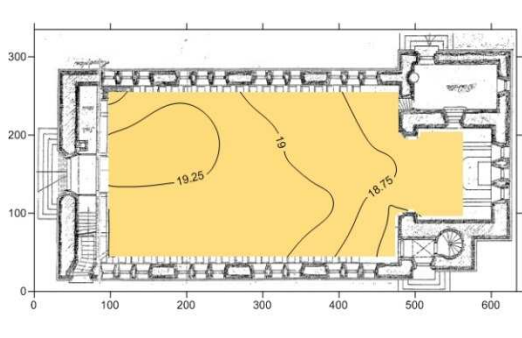
Mappning 3, kl 10.20



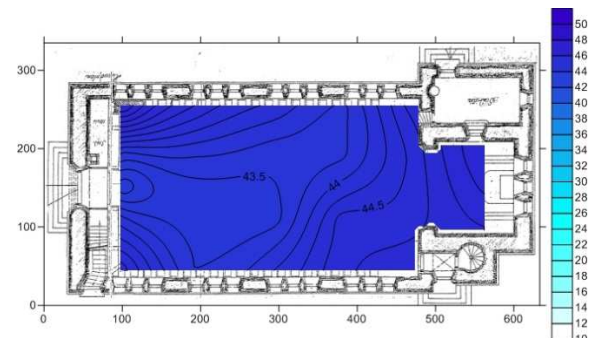
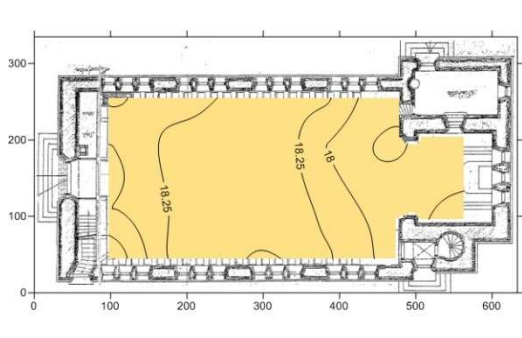
Mapping 4, kl 11.30



Mapping 5, kl 13.00



Mapping 6, kl 14.05



Mapping 7, kl 15.00

3.1 Luftrörelser

Mellan kl. 8.30 och 11.00 stod luftrörelsemätaren i mittgången ca 5 m från luftutsläppet. Där varierade lufthastigheten mellan ca 1-3 m/s. Det är en nivå som är störande för besökare. Kl 11.00 flyttades mätaren till främre delen av kyrkan ca 10 m från varmluftutsläppet. Då minskade hastigheten till ca 0,2 m/s. Detta visar att i stort sett stannar den horisontella luftströmmen någonstans mellan 5 och 10 m från utblåset för att därefter sakta stiga uppåt.

Den andra luftrörelsemätaren var placerad intill den västra väggen under hela försöket. Där var lufthastigheten ca 0,1 m/s då värmeaggregatet va igång, och sjönk till nivåer under 0,1 m/s efter det att värmeaggregatet stängts av. Ur komfortsynvinkel använder man ofta 0,15 m/s som ett gränsvärde, men med konventionella värmesystem i kyrkor uppmäts ofta betydligt högre nivåer.

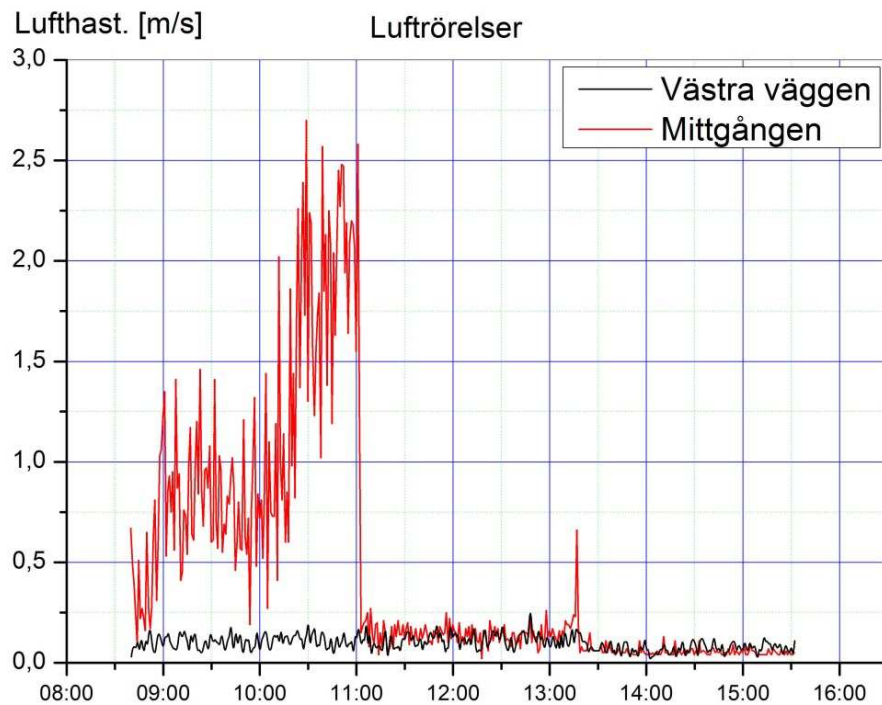


Bild 14: Resultatet av luftrörelsemätningarna.

Testet med såpbubblor visade att luften rörde sig snabbt framåt, sedan uppåt ca 5-6 meter framför inblåset, längre fram i rummet och längs rummets sidor rörde sig luften mycket lite.

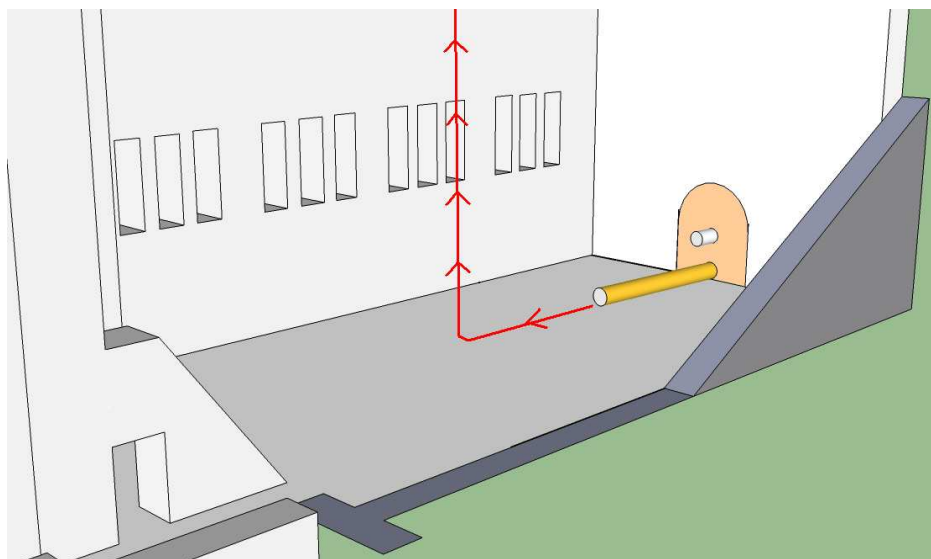


Bild 15: En illustration över hur varmluften rörde sig i kyrkorummet.

3.2 Energiförbrukning och effektbehov

Värmeaggregatets effekt är 84 kW, det gick under 4 timmar och 40 minuter vilket ger en energiförbrukning om ca 390 kWh. Under den tiden förbrukades ca 36 l diesel.

Vid ett temperaturökningstest (temperatursteg) som detta kan effektberäkningar enkelt utföras. Genom att göra en kurva av lufttemperaturen och väggtemperaturerna i samma graf (bild 16) kan temperaturdifferens mellan vägg och luft samt temperaturökningen tas fram. Temperaturen ökar proportionellt mot kvadratroten ur tiden i en stenkyrka (Broström 1996). Ur grafen kan ökningstakten samt temperaturdifferensen tas fram och i detta fall är ökningstakten $2,1 \text{ }^\circ\text{C}/\sqrt{t}$. I grafen är en tidsenhet 10 minuter. Differensen mellan vägg- och lufttemperatur är $8,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Den höga effekten på värmeaggregatet gör att temperaturdifferensen mellan luft och vägg är ovanligt hög.

På grund av energibolagens avgift för högt strömutfog (över 63A) har de installerade radiatorernas eleffekt begränsats till ca 40 kW dvs. ca hälften mot värmeaggregatet. Om den installerade eleffekten skulle ha använts i stället för dieselvärmaren skulle uppvärmningstiden enligt Broströms modell ha varit ca 22 timmar. Energiförbrukningen hade då varit $22\text{h} \cdot 40\text{kW} = 880\text{kWh}$, dvs. mer än dubbla energimängden.

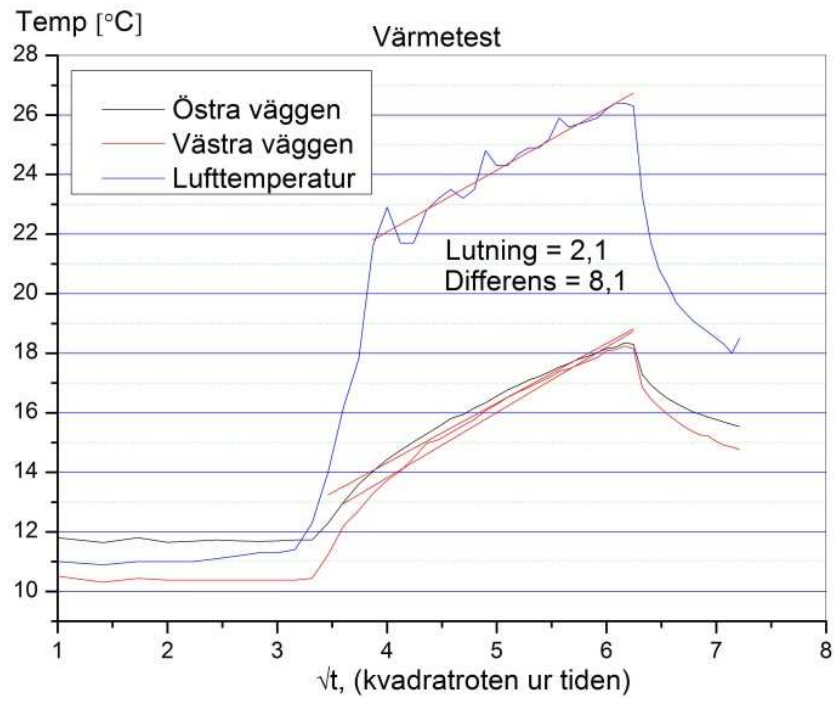


Bild 16: Lufttemperatur och väggtemperatur visas i denna graf, med hjälp av den har effektbehovet beräknats.

4 Slutsatser

Det går snabbt att värma kyrkan med hjälp av varmluften. På bara några timmar når man normala komforttemperaturer. Under förrättning är tanken att man slår av varmluftspannan och använder det befintliga värmesystemet för att hålla en konstant temperatur. Eftersom väggarna fortfarande är relativt kalla kräver detta en betydande effekt. Här återstår en del arbete med att se till att den övergången fungerar samt att man hittar rätt effekt och styrning för varmhållning.

Den horisontella värmefördelningen i rummet är jämn, med undantag för en begränsad zon runt utblåset. Det innebär att luftströmmen måste riktas så att inga känsliga ytor eller föremål direkt berörs av den.

Den vertikala temperaturfördelningen är mer problematisk. Det uppstår stora övertemperaturer under taket vilket är ett problem både energi- och bevarandemässigt. Dels medför detta att kyrkan värms onödigt mycket i de övre delarna. Dels innebär det att mycket låga RF-nivåer vilket kan vara skadligt för känsliga ytor och föremål.

Med undantag för zonen kring inblåset är luftrörelserna i rummet måttliga. Luftrörelserna i kyrkan är inte större än vad man normalt har med konventionell uppvärmning.

Energiförbrukningen är väsentligt lägre jämförd med konventionell uppvärmning. Under förutsättning att kostnaden för den portabla värmeanläggningen kan delas mellan flera kyrkor blir också effektkostnaden betydligt lägre.

4.1 Förslag till fortsatt arbete

Prova med en högre luftgenomströmning. Det ger en lägre tilluftstemperatur och möjligen mindre temperaturskiktning i rummet.

På sikt bör filter användas, det gör att risken för svärtning av väggar inte ökar, sannolikt kommer den att minska jämfört med konventionell uppvärmning.

Gör mätningar av luft- och väggtemperatur samt effekt under övergång från varmluftspanna till befintligt värmesystem.