



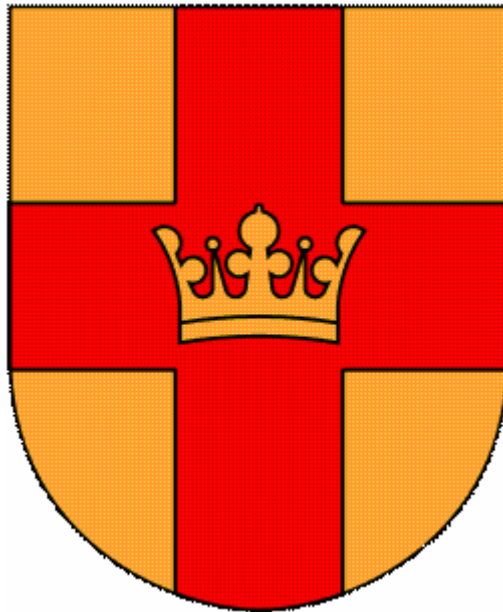
Högskolan i Halmstad

Sektionen för Ekonomi och Teknik
Energiingenjör- förnybar energi

Energieffektivisering

– *Laholms kyrkliga samfällighets kulturhistoriska byggnader.*

Emil Nilsson 841104



Examensarbete med projektledning 22.5 hp

Handledare på Högskolan i Halmstad: Sven Werner
Uppdragsgivare: Anticimex i Halmstad
Handledare på Anticimex: Sune Andersson
Examinator: Sven Werner

Vt. 2008
2008-05-26

Sammanfattning

I dag när energipriserna är höga och klimatförändringarna är aktuella, är det viktigt att vara energieffektiv, speciellt vid uppvärmning av byggnader. Många byggnader är gamla och byggdes under en tid då energi var billigt och termen "energieffektivitet" var ett okänt begrepp. Genom att applicera dagens teknik på dessa, väldigt ofta, uppvärmningsineffektiva byggnader, finns det stor potential att reducera energikonsumtionen och kostnaderna.

Bland dessa byggnader återfinns bland annat våra kyrkor och kapell. Kyrkor och kapell är ofta mycket gamla byggnader med, i många fall, ineffektiva värmesystem och konsumerar därför mer energi än nödvändigt. Detta gör att en stor del av församlingarnas resurser går åt till uppvärmningen, resurser som istället kunde ha använts till andra ändamål. En annan aspekt är att om uppvärmningen sker på fel sätt kan det leda till skador på byggnaden och dess inventarier.

Laholms och Skummeslövs kyrka samt Skogaby och St. Gertruds kapell är byggnader vars uppvärmningssystem bör ses över. Byggnaderna hör till Laholms kyrkliga samfällighet och är en del av Göteborgs stift. Dessa kyrkor och kapell använder onödigt mycket energi till uppvärmning. Främst på grund av att majoriteten av värmesystemen är uppbyggda med olika former av direktverkande el, oljefyllda elradiatorer och el patron till vattenburet värmesystem.

Målet var att utföra följande:

- Energikartläggning av energianvändningen för uppvärmning av byggnaderna i förhållande till byggnadernas storlek, ändamål och behov.
- Utredda alternativa energieffektiva åtgärder på värmesystemen med fokus på miljöanpassade system.
- Presentera konkreta förslag till nya, alternativt kompletterande energivärmekällor, kostnader för dessa samt kalkyler och pay off tider.

Syftet med examensarbetet var att undersöka och ge församlingen en inblick av vad för alternativ som skulle passa vid installation av nya eller kompletterande energivärmekällor. Att sträva mot mer miljöanpassade system samt att ge en överblick av miljöpåverkan från nuvarande värmesystem och efter energieffektiviseringsåtgärderna. Samtidigt skall det vara ett uppvärmningssystem som är mer skonsam mot de kulturhistoriska värdena.

De åtgärder som tycks passa för kyrkorna och kapellen är olika slags värmepumpar med ett reglersystem som har givare för relativ fuktighet, så kallad kyrkstyrning.

Efter föreslagna åtgärder reduceras energianvändningen för uppvärmning totalt med 50-83 % av nuvarande förbrukning och CO₂-utsläppen reduceras också med 50-83 %.

Abstract

Energy efficiency is today more important than ever, mainly due to the high energy prices and the approaching climate changes. Heating of buildings is an essential area within energy efficiency. Many buildings are old and were built at a time when the energy prices were low and the term “energy efficiency” was unheard of. By applying today’s broad range of energy saving actions on these old, and thereby often, heating ineffective buildings, this area has a large potential in reducing energy consumption and costs.

Churches and chapels are generally old buildings with, in many cases, ineffective heating systems and therefore consume much more energy than needed. Significant part of the means of the parish goes to the heating of such a church/chapel, resources that could be used for other purposes instead. Another aspect is that if the heating is not performed properly, it could lead to major damages to the building and its fixtures.

The churches of Laholm and Skummeslöv and the chapels of Skogaby and St. Gertrud are all buildings with heating systems that should be looked into. The buildings belong to Laholm Church Communion and they are a part of Gothenburg Diocese. These churches and the chapels are observed to consume a unnecessary large amount of energy at heating, primary because of that the majority of the heating systems are built up by different types of direct electricity, oil filled electric radiators and immersion heaters acting on a waterborne heating system.

The aim of this candidate thesis was to investigate and introduce to the parish alternative for new or complementary heat sources for the churches and the chapel of the Laholm Church Communion. The following presents in short terms the aim of this candidate thesis:

- Make a survey of energy usage for heating of the churches and the chapel in relation to the size, purpose and requirements of the buildings.
- Investigate alternative energy effective actions upon the heating systems with focus on environmentally suitable systems. The heating system shall also be more lenient to the culture-historical values in the buildings.
- Introduce tangible proposal for new, alternatively complementary, heat sources; present cost estimates and pay-off calculations.

Final conclusions:

The actions suitable for the churches and the chapel are usage of different kinds of heat pumps with control system including sensors for relative humidity.

After proposed actions, the energy consumption for heating will be reduced by 50-83 % of today’s consumption and the CO₂-emission will also be reduced by 50-83 %.

Förord

Den här rapporten är ett resultat av ett examensarbete som utfördes vid Högskolan i Halmstad och under Sektionen för Ekonomi och Teknik.Handledare och examinator på högskolan var Sven Werner, professor i energiteknik. Uppdragsgivare för examensarbetet var Anticimex i Halmstad och objekten som studerades var Laholms och Skummeslövs kyrka samt Skogaby och St. Gertruds kapell. Handledare på Anticimex var Sune Andersson, energibesiktningsman och mottagare av beställningsuppdraget från Laholms kyrkliga samfällighet.

Jag vill härmed ta tillfälle att tacka:

- Sven Werner som varit till stor hjälp vid vägledning och som finansiär av dataloggrar.
- Anticimex i Halmstad samt Sune Andersson som givit mig detta uppdrag, utlåning av ytterligare dataloggrar och finansiering av graddagsdata från SMHI.
- Margaretha Borgström för utlåning av värmekamera.
- Laholms kyrkliga samfällighets personal som har bidragit med data kring kyrkorna och kapellen.
- Tor Broström som har skickat sin inte ännu publicerade Handbok för energieffektivisering i kyrkor.

Innehållsförteckning

<i>Sammanfattning</i>	2
<i>Abstract</i>	3
<i>Inledning</i>	6
<i>Teori</i>	7
Restriktioner	7
Lämpligt inneklimat för kyrkor	7
Skadedjur	9
Svärtning	9
Fuktteori	10
Uppvärmningsstrategier	11
Uppvärmningssystem	12
Påverkan och uppfattning av inneklimatet	13
Fuktutbyte i en kyrka	14
Miljöpåverkan	14
<i>Nulägesbeskrivning och besiktning</i>	15
Laholms kyrka (St. Clemens kyrka)	15
Skummeslövs kyrka	17
Skogaby kapell	19
St. Gertruds kapell	21
<i>Genomförande</i>	23
Analys av nuvarande energianvändning för uppvärmning	23
Mätningar med dataloggers för RH och Temp.	30
Riskbedömning: Variationerna av relativ fuktighet under ett år	31
Klimatskalsberäkningar	34
Besiktning av klimatskalen med värmekamera	35
Dimensionering av nya system	36
Nytt effektbehov	38
Ny energianvändning för uppvärmning	39
Investering och återbetalningstider	40
<i>Resultat och diskussion</i>	40
<i>Slutsats</i>	41
<i>Referenser</i>	42
<i>Bilagor</i>	I

Inledning

För att kunna reducera den globala uppvärmningen, på grund av de mänskliga utsläppen av växthusgaser, måste vi försöka energieffektivisera på alla håll och kanter i samhället. Lagen om energideklaration av byggnader, som infördes i Sverige år 2006, är ett bra redskap för att minska våra utsläpp. Men det finns också byggnader som inte omfattas av denna lag men som har ett stort behov att ses över. Det är bland annat kulturhistoriska byggnader som kyrkor och kapell. På senare tid har Svenska kyrkan inlett stora satsningar på att energieffektivisera sina byggnader och som gjorde att detta uppdrag blev till.

Syftet med detta projekt är att utföra ett beställningsuppdrag för Anticimex i Halmstad åt Svenska kyrkan i Laholm. Uppdraget är att energieffektivisera Laholms kyrkliga samfällighets kulturhistoriska byggnader vilket är två kyrkor och två kapell.

Målet med uppdraget är att minska energianvändningen för uppvärmning av fastigheterna och värmesystemens miljöpåverkan. Skapa ett bra inneklimat genom att hålla temperatur och relativ fuktighet inom skonsam gräns för byggnaden och dess inventarier. Detta för bevaring av de kulturhistoriska värdena som orglar, målningar och krucifix. Det ska också vara ett inneklimat som är behagligt för besökarna/användarna av lokalerna.

Avgränsningar

Jag har valt att inte gå in på dimensionering av uppvärmningstid eller radiatorer med olika fram- och returledningstemperaturer. Det skulle bli allt för mycket då jag har fyra byggnader att titta på detta arbete. Har därför valt att inrikta uppdraget mot val av värmeproduktionsanläggning, reglersystem och besiktning av byggnadernas inneklimat.

Metod

Genom att införskaffa data och besikta byggnaderna, inventarierna och nuvarande värmesystem samt att utföra mätningar, avgöra vilka åtgärder som skulle passa bäst och dimensionera dessa.

Teori

Restriktioner

Kyrkor är mycket speciella byggnader där både byggnaden i sig själv och dess inventarier innehar stora kulturhistoriska värden. Detta gör att många restriktioner finns. Vad som får göras styrs bland annat av Lag (1988:950) om kulturminnen mm.[1] I Kap 4 §2 sägs bl.a. att ”Kyrkobyggnader och kyrkotomter skall vårdas och underhållas så att deras kulturhistoriska värde inte minskas och deras utseende och karaktär inte förvanskas”, och §3 i samma kapitel säger att ”Kyrkobyggnader som är uppförda och kyrkotomter som har tillkommit före utgången av år 1940 får inte på något väsentligt sätt ändras utan tillstånd av länsstyrelsen”. Den första paragrafen innebär att man måste värma upp kyrkan på rätt sätt så att den inte skadas, vilket leder till att dess kulturhistoriska värde minskas. Den andra av paragraferna innebär att tillstånd från länsstyrelsen krävs vid byte av uppvärmningssystem som är ett stort ingrepp i en kyrka.

Länsstyrelsen är den regionala myndighet som ansvarar för frågor som rör kulturmiljö och kulturarv, bland annat kyrkor. Riksantikvarieämbetet har ett nationellt ansvar för kulturmiljö och kulturarvsfrågorna i landet, men är sällan inblandat i frågor om enskilda kyrkor.

En genomgående linje i restriktionerna är att så länge hänsyn tas och att de kulturhistoriska värdena inte skadas och att nuvarande situation inte förvärras ligger det större rimlighet att tillstånd beviljas vid modifikation av byggnad eller värmesystem.

Bland det viktigaste att tänka på vid byte av värmesystem och uppvärmningssätt är att undersöka hur inomhusklimatet i kyrkan/kapellet ser ut med nuvarande system och hur det kommer att se ut efter modifikationerna. Detta då en felaktig uppvärmning kan skada de kulturhistoriska värdena.

Lämpligt inneklimat för kyrkor

För att inte kyrkobyggnaden och dess inventarier skall skadas är det viktigt att inomhusklimatet är rätt. En för hög relativ fuktighet, RF, kan leda till fuktskador med mögel och röta som följd, men det kan även leda till att lim och färger mjukas upp. Den relativa fuktigheten bör inte överstiga 80 % för att förhindra detta [2]. En för låg RF leder däremot till uttorkning och kan orsaka sprickor i trä. Detta kan medföra stora skador på inventarier så som träsniderier, träfigurer, träbänkar mm. Skadorna i träet beror på de volymförändringar som uppstår när träet avger respektive tar upp fukt. För att förhindra detta samt för att vara på den säkra sidan och undvika de vanligaste skadorna bör RF hållas mellan 50-70 % [2].



Bild 1:
Uttorkningsskada eller sprickbildning på grund av för stora variationer av RF.

Förutom trämaterial påverkas även sten och metall av den relativa fuktigheten. Kyrkans väggar är ofta av sten och även dessa tar skada av främst hög RF som kan göra att färgen lossnar och att väggen vittrar sönder. Även metall påverkas och kan korrodera vid hög RF. [3]

En av de viktigaste och värdefullaste inventarierna i en kyrka är orgeln. För att den skall fungera bra bör den relativa fuktigheten hållas mellan 55 % och 75 % [2]. Samtidigt stäms orgeln efter temperatur som gör att det inte bara går att styra inomhusklimatet efter så den relativa fuktigheten tillfredställs.

Temperaturen i kyrkan bör inte överstiga 16-18°C när kyrkan är uppvärmd [3]. Detta kan tyckas vara en låg inomhustemperatur men är oftast tillräcklig då kyrkobesökarna behåller ytterkläderna på när de kommer in i kyrkan. När ingen aktivitet råder i kyrkan och endast grundvärmen används bör temperaturen hållas så låg som möjligt. Men inte så låg att frysrisk föreligger, eller att den låga temperaturen ger en för hög relativ fuktighet.

Den relativa fuktigheten i en byggnad beror på temperaturen, uteklimatet samt fuktillskott i byggnaden. Uteklimatet har grundläggande betydelse genom att den luft som finns ute, med en viss luftfuktighet, är den luft vi tar in genom ventilationen. Under sommaren tar vi in luft utan att behöva värma den, RF ute och inne blir då ungefär samma. Under vintern måste vi värma tilluften vilken oftast ger en låg relativ fuktighet.

I en permanent uppvärmd kyrka i Sverige kommer RF att variera kraftigt under året, från en vinternivå på 20-30 % till en sommarnivå upp till 70-80 %. Detta medför stora påfrestningar på det trä som finns i byggnaden. Som sagt sväller och krymper träföremål med fuktkvoten. För ett bemålat konstföremål kan denna säsongsvariation vara katastrofal, genom att färgen kan lossna och föremålet spricka. Man bör därför försöka se till att den relativa fuktigheten varierar så lite som möjligt, helst inte mer än 30 % av årsmedelvärdet [2]. Det är också bland det viktigaste att dimensionera efter vid uppvärmning av kyrkor.

Man kan se här att det inte finns något enkelt svar på vad som utgör ett skonsamt inneklimat för kyrkobyggnaden och dess inventarier. Enligt Tor Broströms doktorsavhandling [2] om uppvärmning i kyrkor och som forskar inom detta område, klarar de flesta material en relativ fuktighet inom 40-70 %. Men då bör variationerna vara så små som möjligt.

Sammanfattningsvis ihop med en ytterligare aspekt, uppkomsten av skadedjur på nästa sida, bör inneklimatet i en kyrka eller ett kapell med känsliga inventarier se ut enligt följande:

- Relativ fuktighet inne bör ligga inom 40-60 % för uppfyllning av tillräckligt skonsamt klimat, helst i det övre spektrat.
- Variationen av relativ fuktighet inomhus bör vara så liten som möjligt och inte överskrida mer än 30 % av årsmedelvärdet.

Skadedjur

En faktor som man vanligtvis inte tänker på vid förändring av inneklimat är uppkomsten av skadedjur. Det är viktigt att undersöka vilka skadedjur som kan förekomma och är vanliga i det geografiska området. I kyrkor och kapell består inventarierna till stor del av trä. Trä som skadedjur i främjande miljöer gärna vill bosätta sig i. Detta kan till följd leda till att föremålen förstörs i extrema fall helt eller delvis. Det skadedjur som i huvudsak bidrar till problem är den strimmiga trägnagaren (*Anobium punctatum*). Den är fortfarande allmän i gamla trähus i södra Sverige. Centraluppvärmning av byggnader bidrar genom det torra inomhusklimatet till



Figur 1:
Strimmig
trägnagare

att arten försvinner men i kyrkor är det just det torra inneklimatet som är ett problem för inventarierna av trä och målningar. Uppvärmning av kyrkor uppkom dels för att eliminera skadedjurspåverkan och fuktskador men också för att få ett behagligt inneklimat. Dessvärre bidrar det till andra problem som uttorkning och sprickbildning i de känsliga inventarierna. Den strimmiga trägnagaren vill ha en hög luftfuktighet mellan 60 till 70 % för sin utveckling och det finner man ofta vid stora sjöar eller nära kusten [4]. Enligt tidigare nämnt så vill man att klimatet i kyrkor på grund av orgel och träföremål ha en hög relativ fuktighet mellan 50 % till 70 %. Här ser vi då att det inte är att föredra och ligga i det högre spektrat på grund av risken för uppkomst av skadedjur. Men detta är just för södra Sverige och i samtal med Nicklas Holmberg på skadedjursavdelningen på Anticimex i Halmstad är den strimmiga trägnagaren det största hotet. Då man pratar om trämask eller mask i möbler rör det sig främst om den strimmiga trägnagaren.

Svartning

Luften inne i kyrkan innehåller alltid partiklar, t ex damm och sot från ljus. Partiklarna svävar i luften och fastnar på de ytor som de kommer i kontakt med. Ett fenomen kallat termodiffusion gör att man får en koncentration av partiklar vid kallare ytor. Svärtningen blir därför märkbart värre på kalla ytor. Ovanför värmeelementen, där luftströmmarna är starka och det är en stor temperaturskillnad mellan luft och vägg, får man ofta en kraftig och väl synlig svartning. Ett större problem är dock den långsamma och jämnt fördelade svartning man får på väggarna. Varje gång en kalkmålning görs rent förstör man lite av originalmaterialet. Invändig rengöring av en kyrka är dessutom väldigt dyrt.

Svärtningen pågår hela tiden och hur fort det går beror på hur mycket och hur länge kyrkan är uppvärmd, luftförelserna i kyrkan samt mängden partiklar i luften.

Det går inte helt bli av med svartningen i en uppvärmd byggnad, men man kan lindra effekten genom att dammsuga golven ofta, vara återhållsam med levande ljus, minimera luftförelser i kyrkorummet, ha en måttlig uppvärmning och leda bort varm luft från kalla väggar, t.ex. med ledskenor ovanför radiatorerna [3].



Bild 2: Svärtning på väggarna över radiatorerna i Laholms kyrka

Fuktteori

Den relativa fuktigheten (RF) är ett mått på hur mycket vatten luften innehåller i förhållande till hur mycket den maximalt kan innehålla vid rådande temperatur. När den relativa fuktigheten når 100 % är luften mättad på vattenånga och vatten fälls ut som kondens på kalla ytor. Mollierdigramet, diagram 1, nedan visar hur den relativa fuktigheten varierar beroende på temperatur. När luft värms utan fukttilförsel rör sig punkten i diagrammet lodrät uppåt från 2 till 1 och den relativa fuktigheten minskar från 80 % till 43 %. Skulle luftens temperatur istället sänkas 10°C utan avfuktning, sker förflyttningen lodrät neråt i diagrammet från 1 till 2. Om luftens temperatur skulle sänkas ytterligare nås till slut mättnadslinjen och vattenångan kondenserar, den så kallade daggpunkten. Kyls luften sedan ytterliggare förflyttas punkten inte längre lodrät utan den följer nu mättnadslinjen neråt mot lägre temperatur. Den relativa fuktigheten ökar då temperaturen sänks och sjunker då temperaturen ökar.

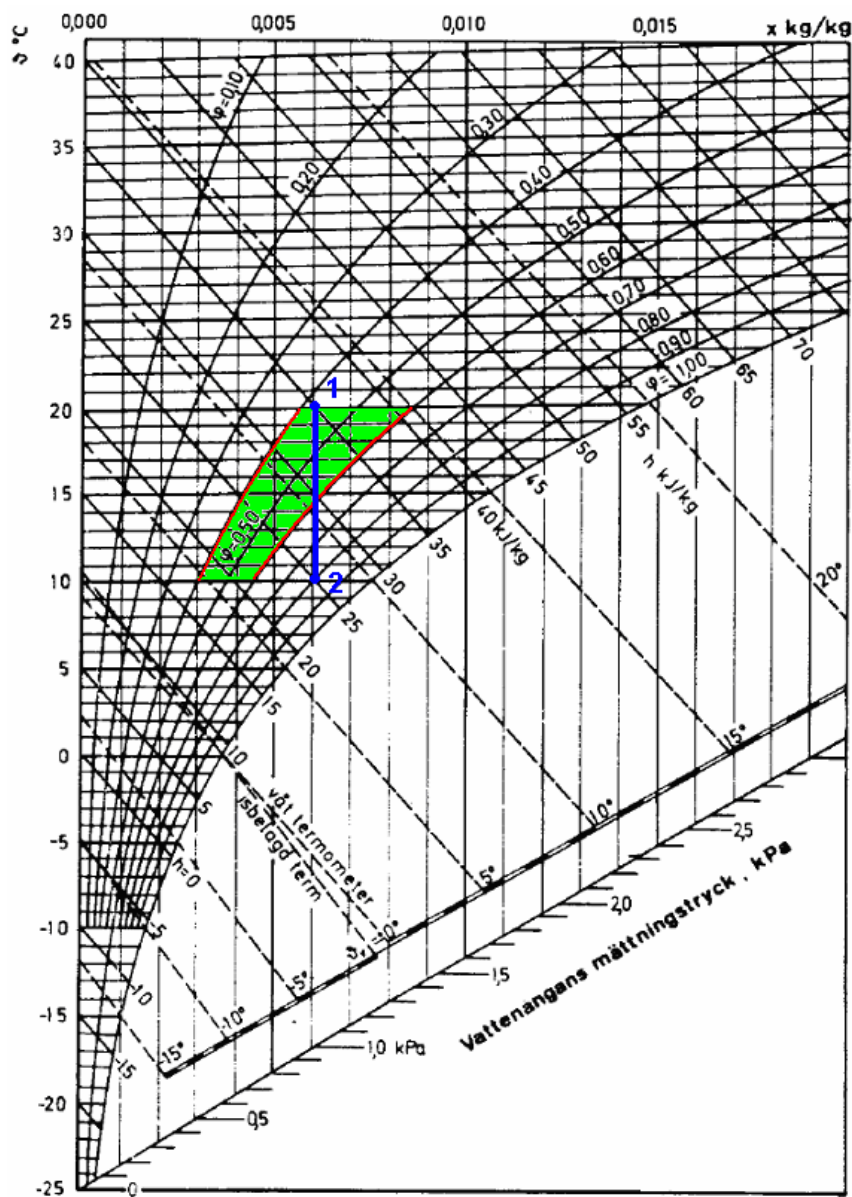


Diagram 1: Mollierdigram som visar hur den relativa fukthalten varierar med temperaturen. Linjen från punkt 1 till 2 visar en sänkning av temperatur, vilket resulterar i ökad relativ fukthalt. Det markerade området visar inom vilket område temperatur och fukthalt bör ligga för ett lämpligt inneklimat i kyrkor.

Uppvärmningsstrategier

Det finns olika strategier för hur en byggnad värms upp. Här nedan presenteras några som är vanliga att använda vid uppvärmning av kyrkor.

Ingen uppvärmning:

Som namnet antyder finns med denna strategi ingen uppvärmning alls. Detta innebär att klimatet i kyrkan beror av utomhusklimatet. Med denna strategi är kyrkan och dess inventarier helt oskyddade från skadliga temperaturer och relativa fukthalter vilket leder till stor risk att kulturvärden blir förstörda. Fördelen med denna strategi är att den är billig, förutsatt att inga skador uppkommer.

Skyddsvärme:

Målet med denna strategi är att ha en grundvärme som håller temperatur och fukthalt på en sådan nivå att byggnaden och dess inventarier inte skadas. Temperaturen i ett grundvärmesystem hålls så låg som möjligt, eftersom uppvärmningskostnaderna ökar med ökad grundtemperatur. Det får däremot inte föreligga risk för fukt- eller frysskador.

Kontinuerlig uppvärmning:

Denna strategi håller alltid temperaturen i kyrkan på en komfortabel nivå. Detta leder till kraftiga variationer i RF under året och svärtning av väggar. Kontinuerlig uppvärmning är ett mycket dyrt sätt att värma upp på och används främst då kyrkan nyttjas så ofta att en sänkning av innetemperaturen mellan aktiviteterna inte är meningsfull.

Intermittent uppvärmning:

Vid intermittent uppvärmning värms kyrkan upp vid förrättningar. Mellan förrättningarna värms kyrkan inte alls upp eller så används grundvärme. Denna typ av uppvärmning är mycket energieffektiv då den tid som kyrkan är uppvärmd minskar och den energi som åtgår för att hålla den uppvärmd beror av tiden den är uppvärmd. Däremot kräver intermittent uppvärmning större installerad effekt hos värmesystemet för att kunna värma upp under en kortare tid. Ju större differens mellan innetemperatur vid grundvärme och förrättning desto större effekt behövs. Eftersom uppvärmningen varar så kort tid är riskerna för uttorkningsskador små. Tiden för uppvärmning brukar ligga mellan 6-12 timmar [3]. Vid intermittent uppvärmning värms luften upp snabbare än väggar, golv och inventarier. Detta kan göra att kyrkobesökarna upplever diskomfort då olika delar av kroppen utsätts för olika temperaturer. Exempelvis kan det vara kallt vid golvet. För att minska denna diskomfort kan det vara bra att placera bänkvärme under kyrkbänkarna.

Lokal uppvärmning:

Det kan vara bra att dela in kyrkan i olika zoner som kan värmas var för sig beroende på var besökarna finns. Detta är energieffektivare än att värma upp hela byggnaden. Exempelvis kan uppvärmningen ske lokalt runt kantorn när han övar, eller bara i bänkraderna där besökarna befinner sig.

Allmän uppvärmning:

Detta är det vanligaste sättet att värma upp en byggnad. Allmän uppvärmning innebär att man värmer upp hela kyrkorummet till ungefär samma temperatur, det kan vara kontinuerligt eller intermittent. En mer godtycklig uppvärmning.

Uppvärmningssystem

En byggnad kan värmas upp med olika system. Några vanliga system för uppvärmning i byggnader och kyrkor är vattenburen värme, luftburen värme och elvärme.

Vattenburen värme:

I ett vattenburet värmesystem finns en central värmekälla, exempelvis en oljepanna eller elpanna. Värmeenergin transporteras från värmekällan i rör med vatten som energibärare. Värmen avges sedan i byggnaden via radiatorer, konvektorer eller andra varma ytor eller rör. En radiator avger värmeenergi främst genom strålning medan en konvektor avger sin värmeenergi främst genom konvektion. En konvektor kan därmed ofta vara att föredra då den värmer luften, vilket är det avgörande för besökarnas komfort. Ett vattenburet system är ett ganska trögt system och det tar tid innan det når sin drifttemperatur. En fördel är att värmekällan lätt kan bytas ut utan ingrepp i resten av systemet i byggnaden. Det är också lättare att använda olika bränslen beroende på vilket som är mest ekonomiskt fördelaktigt under en period.

Luftburen värme:

Vid luftburen värme är luft det värmebärande mediet. Oftast finns en central varmluftspanna där luften värms och sedan leds genom kanaler till olika tilluftsdon i byggnaden. Ett sådant system kan avge buller, och klimatet i kyrkan kan upplevas dragigt. Ett annat system är att använda en luft/luftvärmepump där värmen i uteluften utvinns och blåses in i byggnaden.

Elvärme:

I ett elvärmesystem avges värmeenergin från elradiatorer eller elkonvektorer. Det är också vanligt med strålningsvärme driven av el. De värmeavgivande konstruktionerna i ett elvärmesystem har oftast högre yttemperatur än i ett vattenburet system. Det finns således en stor risk för uttorkningsskador, brand, och brännskador på människor. Fördelen med elvärme är att det är ett mycket snabbt system som inte behöver lång tid för att nå sin drifttemperatur.

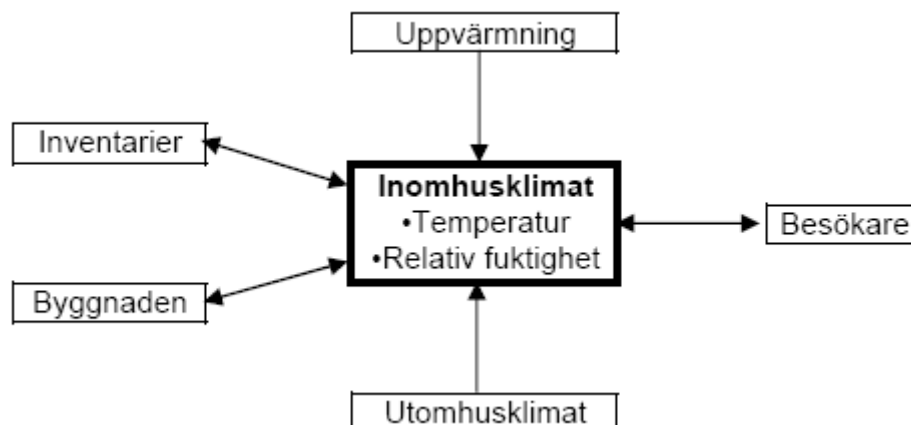
Värmepumpar:

En värmepump hämtar värme från till exempel uteluften, ventilationsluften, berget, jorden, grundvattnet eller ur en sjö. Värmepumpar för värmeutvinning från luften kan tillämpas för ett vattenburet värmesystem, med en luft/vattenvärmepump, eller utan och då med en så kallad luft/luftvärmepump. För vissa typer av värmepumpar är investeringskostnaden relativt hög men det kan ändå vara lönsamt eftersom de rörliga värmekostnaderna för elanvändningen blir låga. En värmepump kan halvera elförbrukningen till värme och varmvatten i ett eluppvärmt hus. För en byggnad med låg energianvändning kan uteluft vara ett alternativ som värmekälla till värmepumpen. Men för en byggnad med en hög energianvändning kan värmekällan vara mark, berg, grundvatten eller sjö.

Påverkan och uppfattning av inneklimatet

Det finns ett antal olika faktorer som påverkar inneklimatet i kyrkor [2]:

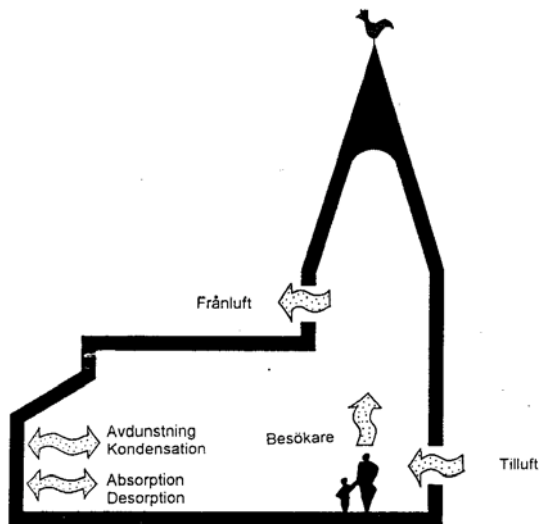
- Uppvärmning påverkar givetvis temperaturen inomhus och därmed den relativa fuktigheten.
- Utomhusklimatet påverkar temperatur och fuktighet inomhus genom transmission och ventilation.
- Byggnaden, dvs klimatskalet, har till funktion att minska utomhusklimatets inverkan på inomhusklimatet. Dessutom lagras värme och fukt i byggnaden. Byggnaden kan påverkas av inomhusklimatet då felaktiga nivåer eller för kraftiga variationer i temperatur och relativ fuktighet kan ge upphov till skador.
- Inventarierna, t ex träföremål och textilier, kan lagra värme och fukt vilket gör att de också är beroende av ett visst inneklimat för att inte skadas.
- Besökarna styr till viss del inomhusklimatet genom sina krav på värmekomfort. Värmekomforten beror huvudsakligen på lufttemperatur, yttemperaturer och lufrörelser. Besökarna har en oftast liten inverkan på inomhusklimatet genom att de avger värme och fukt.



Figur 2: Inomhusklimatet i en kyrka beror på uppvärmningen, utomhusklimatet, byggnaden, inventarierna samt besökarna. Inomhusklimatet påverkar besökarna, inventarierna och byggnaden.

Fuktutbyte i en kyrka

Ångkvoten, g vattenånga per kg torr luft, i en kyrka beror på fuktutbytet mellan byggnadens väggar och inventarier, ventilationen samt fuktillskottet från besökarna. Detta illustreras i figur 3. Det finns ett tydligt samband mellan ångkvot och temperatur inomhus. När kyrkan värms upp ökar ångkvoten då en del av fukten i byggnadsdelarna och inventarierna avdunstar och ger ett fuktillskott till inneluften. I verkligheten är alltså inte ångkvoten inomhus under ett uppvärmningsintervall konstant utan ökar lite. Detta märks tydligast vid intermittent uppvärmning [3]. Hur mycket ångkvoten ökar beror på vad för material byggnaden och inventarierna är gjorda av och hur mycket fukt de innehåller.



Figur 3: Fuktutbyte i en kyrka [3].

Miljöpåverkan

I detta fall så används bara el till uppvärmning. Detta gör att det blir mycket enkelt att uppskatta utsläppen från nuvarande system och utsläppsreduktioner vid modifiering av värmesystemen. Utsläppsreduktionen är direkt proportionell till elförbrukningsreduktionen. Alltså en reduktion av elförbrukningen på 50 % motsvarar också en reduktion av miljöpåverkan med 50 %. Det finns olika sätt att uppskatta hur mycket koldioxidutsläpp en kilowattimme el ger upphov till. Vanligast är att man räknar med "nordisk mix" (ca: 90 g CO₂/kWh) som är ett genomsnitt av koldioxidutsläppen från all elproduktion i Norden och med "marginalel" (ca: 950 g CO₂/kWh) som är den elproduktion som sker vid toppbelastning, när el behöver köpas in från t.ex. dansk eller tysk kolkraft. [5] Jag har valt att generellt ansätta att en förbrukad kWh genererar ett kilo koldioxid i utsläpp.

Koldioxid

Koldioxid (CO₂) är en gas som finns naturligt i atmosfären och är en del av fotosyntesen. Både fossila bränslen och bibränsle innehåller kol som frigörs vid förbränning och bildar koldioxid. Eftersom nytt bibränsle produceras i ungefär samma takt som det förbrukas och koldioxiden upptas igen i växternas fotosyntes sker inget nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Däremot ger förbränning av fossila bränslen ett nettotillskott, eftersom fossila bränslen används i snabbare takt än de nybildas. Koldioxid är ofarligt för människor, men är skadlig genom att vara en av de mest betydelsefulla växthusgaserna.

Nulägesbeskrivning och besiktning

Laholms kyrka (St. Clemens kyrka)



Bild 3: Laholms kyrka från söder en solig vinterdag

Historik och beskrivning

Laholms kyrka är den största i Laholms pastorat och är högt belägen i de centrala delarna av Laholm. Den ursprungliga kyrkan uppfördes i tegel troligen omkring år 1225. Det befintliga västtornet är sannolikt från 1400-talet. År 1802 drabbades kyrkan av en förödande brand där det medeltida långhuset ödelades. Partier av västgaveln bevarades och större delen av tornet, vilket integrerades i en ny kyrkobyggnad. Den nuvarande kyrkan uppfördes mellan 1808 och 1820. Kyrkobyggnaden utgörs av ett rektangulärt långhus och västtorn. Den är uppförd av natursten och försedd med en hög frilagd naturstenssockel. Fasaderna är vitputsade och murarna genombryts av 17 st stora rundvälvda fönsteröppningar med 2-glas isolerglas typ termofönster. Den tresidiga altarnischen och inbyggnaderna i öster tillkom 1894-98. Takmålningarna som är målade av konstnären Einar Forseth tillkom 1933. Kyrkorummet innehåller äldre inventarier som påvisar kyrkans långa kontinuitet, bl.a. ett krucifix i sen gotisk stil från 1400-talet. I interiören speglas flertalet olika tids skikt. Dominerande är omgestaltningen av koret och vindfång (1894-98), takmålningarna (1933) och korfönstrens glasmålningar (1959). Kvar från den nyklassicistiska epoken är predikstolen och orgelfasaden. [6]

Vyer över kyrkan inomhus:

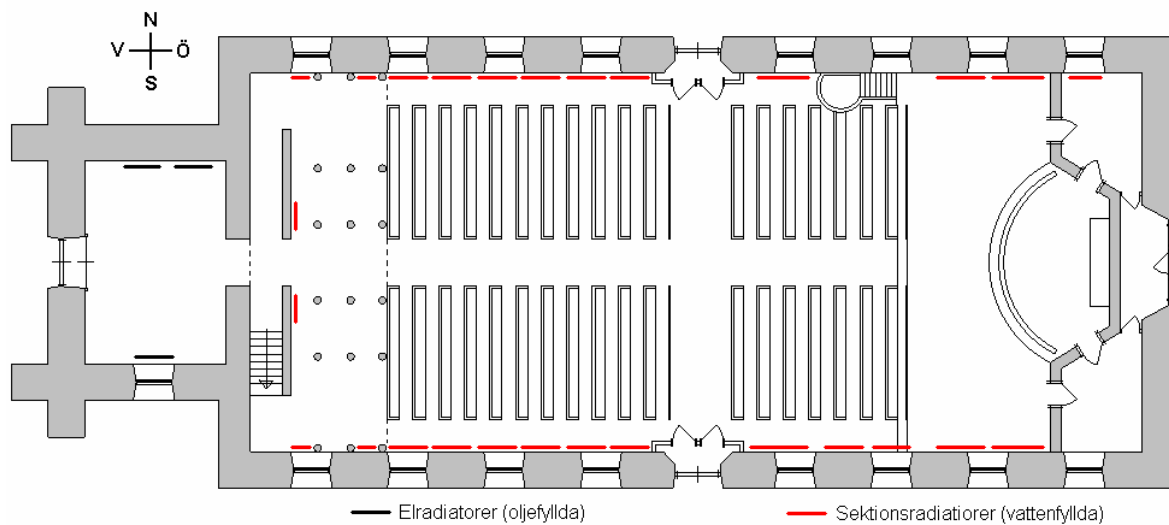


Bild 4 Kyrkans insida mot väster



Bild 5: Kyrkans insida mot öster

Planritning



Figur 4: Planritning över Laholms kyrka med radiatorernas placering

Byggnadens användning

I Laholms kyrka firas huvudgudstjänst varje söndag och helgdag. Var tredje söndag firas högmässa och veckomässa har hittills firats 1-2 ggr/månad. Speciella musikgudstjänster och mässor förekommer liksom konserter och är särskilt sommartid och adventstid välbesökta. Dopgudstjänst firas en lördag i månaden. Under senare år har en ökning av vigslar skett. Begravningar förekommer några gånger per år då begravningskapellet St. Gertruds kapell inte räcker till med tanke på antalet begravningsgäster. Laholms kyrka används nästan dagligen av samfällighetens kontor då övning och upplärning av elever sker samt att han har sitt arbetsrum bakom orgeln på läktaren. Sammanfattningsvis används Laholms kyrka näst intill varje dag mer eller mindre.

Inneklimat

Inomhusklimatet i Laholms kyrka har undersökts med hjälp av mätningar med dataloggrar som mäter temperatur och relativ fuktighet. Till mätningarna i Laholms kyrka användes HOBO dataloggrar. Loggningen ägde rum under nästan 7,5 veckor, se bilaga A1. Mätningarna visar att medeltemperaturen inomhus vid altaret var 18,5 °C och vid orgeln på läktaren 19 °C. Det är alltså knappt någon temperaturskiktning i höjddled som tyder på en kontinuerlig uppvärmning. Vapenhuset värms till 19 °C. Den relativa fuktigheten i Laholms kyrka låg under mätintervallet mellan 30-35 %.

Värmesystem och reglering

Kyrkan värms upp av en 40,5 kW elkassett för vattenburen värme med 2-rörs system. Elkassetten installerades 1982 och regleras genom en kontrollpanel som styr på utetemperatur och innetemperatur en trevägs motoriserad ventil. Den äldre varmvattenberedaren finns kvar och med gamla rör med asbest i böjar. Utöver 27 st vattenradiatorer med varierande dimensioner i långhuset och sakristian finns det också tre stycken oljefyllda elradiatorer på 1200W som värmer upp vapenhuset. Nuvarande värmesystem se bilaga B1.

Ventilation

Kyrkobyggnaden har inget speciellt ventilationssystem, utan använder ventilationsprincipen självdrag.

Skummeslövs kyrka



Bild 6: Skummeslövs kyrka från sydost

Historik och beskrivning

Skummeslövs kyrka härstammar från äldre medeltiden. Byggnaden är helt uppförd i huggen gråsten. Skummeslövs kyrka är en av Hallands äldsta och bäst bevarade medeltida kyrkobyggnader med bevarat långhus, kor och halvrund absid från 1100-talet. I väster har kyrkan ett något senare tillkommet medeltida västtorn av samma bredd som långhuset. Kyrkan är uppförd i romansk stil men försågs under 1800-talet med spetsbågeformade gjutjärnsfönster. Byggnadens medeltida planform och arkitektoniska uttryck är bibehållna, men har påverkats av ett fåtal förändringar. På 1840-talet revs ett senmedeltida vapenhus vid långhusets nordvästra sida. Interiören har påverkats av en rad renoveringsinsatser, men har bevarat de medeltida huvuddragen. Det nuvarande utseendet härstammar till stor del från en omfattande renovering 1991-92 under ledning av arkitekter, med syfte att återskapa den medeltida karaktären. Då fick läktaren nytt räcke, läktarunderbyggnader tillkom och ett mycket föråldrat vattenburet värmesystem ersattes med ett elektriskt. Inredningen ersattes med ny i äldre stil sluten bänkinredning, altarring och förvaringsskåp. Koret avgränsas från det vitputsade långhuset av en rundvälvd triumfbåge. Långhuset täcks av ett flackt brädtak och koret av ett plant brädtak, troligen tillkomna under 1700-talet. Kalkstengolvet utgörs av äldre framtagna stenar kompletterade med ny Ölandskalksten. I kyrkan finns äldre inventarier bevarade som påvisar den långa historiska kontinuiteten, bl.a. medeltida Mariaskulpturer i trä samt en tärningsformad, medeltida dopfont (1100-talet). Altarskåpet är en kopia (1946) av ett senmedeltida altarskåp som förvaras på Historiska museet i Lund. Predikstolen har delar från 1600-talet och kommer ursprungligen från Östra Karups kyrka. [6]

Vyer över kyrkan inomhus:

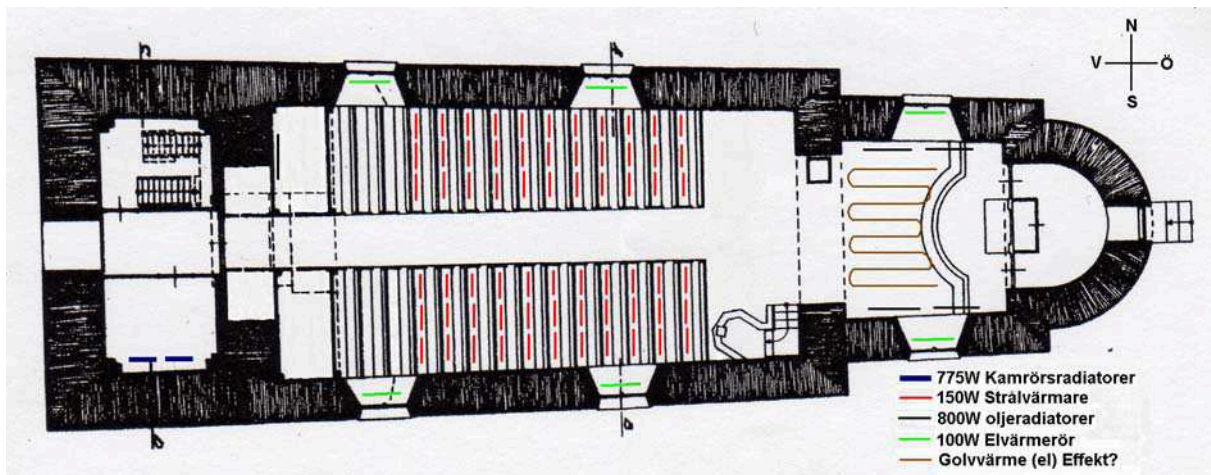


Bild 7: Kyrkans insida mot öster



Bild 8: Kyrkans insida mot väster

Planritning



Figur 5: Planritning Skummeslövs kyrka med värmesystemets placering

Byggnadens användning

Varje söndag och helgdag firas huvudgudstjänst och högmässa var fjärde söndag. Temagudstjänster, musikaler, musikgudstjänst och konserter samlar många besökare, särskilt sommartid. Dopgudstjänst förrättas en lördag varje månad. Vigsel och begravningstjänster sker också vanligen. Skummeslövs kyrka används i stort sett bara på helgerna under vinterhalvåret och kan därför använda sig av intermitterent uppvärmning.

Inneklimat

Skummeslövs kyrka har ett lite mildrare inomhusklimat än de andra byggnaderna. Mellan förrättningarna värms kyrkorummet till 14-15 °C som grundvärme och vid förrättningarna till 18-19 °C. Detta gör att den relativa fuktigheten ligger ca: 10 % över medelvärdet på en konstant uppvärmd byggnad som Laholms kyrka. Vid mätning av inomhusklimatet med dataloggrar var medelvärdet för den relativa fuktigheten under mätningsintervallet vid predikstolen 41,5 % och vid orgeln på läktaren 44,5 %. Medeltemperaturen utomhus var 4,3 °C och den relativa fuktighetens medelvärde var 92 %. Se bilaga A2.

Värmesystem och reglering

I Skummeslövs kyrka används intermitterent uppvärmning. Värmesystemet består av ett antal olika värmeproduktionsanläggningar, se utplacering i figur 5. I kyrkan finns 4 st 775W kamrörsradiatorer i vapenhuset, 66 st 150W strålvärmare under bänkarna i långhuset, 6 st 100W elvärmerör, ett i varje fönster för att motverka kondens, 4 st 800W oljefyllda elradiatorer vid altaret och en i sakristian samt att det ligger eldriven golvvärme, okänd effekt, i stengolvet vid altaret. Se bilaga B2. Totalt installerad effekt förutom golvvärmen är 16,8 kW. Vid grundvärme används alla värmeproduktionsanläggningar utom bänkvärmen som spetsas med vid aktivitet i kyrkan. Uppvärmningen regleras med tre givare, en i vapenhuset och en på var sin sida i långhuset, som sedan styr värmesystemet genom en elcentral uppe på vinden i tornet. Regleringen har två lägen, låg vid grundvärme och hög vid aktivitet, som kan styras både manuellt eller genom en auto funktion där förinställd tid på ett tidur startar uppvärmningen.

Ventilation

Kyrkobyggnaden har inget speciellt ventilationssystem, utan ventilationsprincipen är självdrag.

Skogaby kapell



Bild 9: Skogaby kapell från nordost

Historik

Skogaby kapell uppfördes 1916 och ligger ca: en mil öster om Laholm. Fram till 1938 var kapellet privatägt då kappellet överlämnades till Laholms kyrkliga samfällighet. Vapenhuset i väster uppfördes år 1935 och sakristian i öster år 1959. En grundlig restaurering av kapellet genomfördes 1937-38 och då ersattes också en järnkarmin som värmt upp kapellet med ett vattenburet värmesystem. Väggarna i kapellet uppfördes enligt arkivhandlingar i betong, men är förmodligen uppförda i tegel. Kapellet saknade från början begravningsplats och kyrkogård runt kapellet anlades först år 1955. Orgeln är från 1957 då också orgelläktaren byggdes till i den västra delen av långhuset. [6]

Vy över kapellet inomhus:

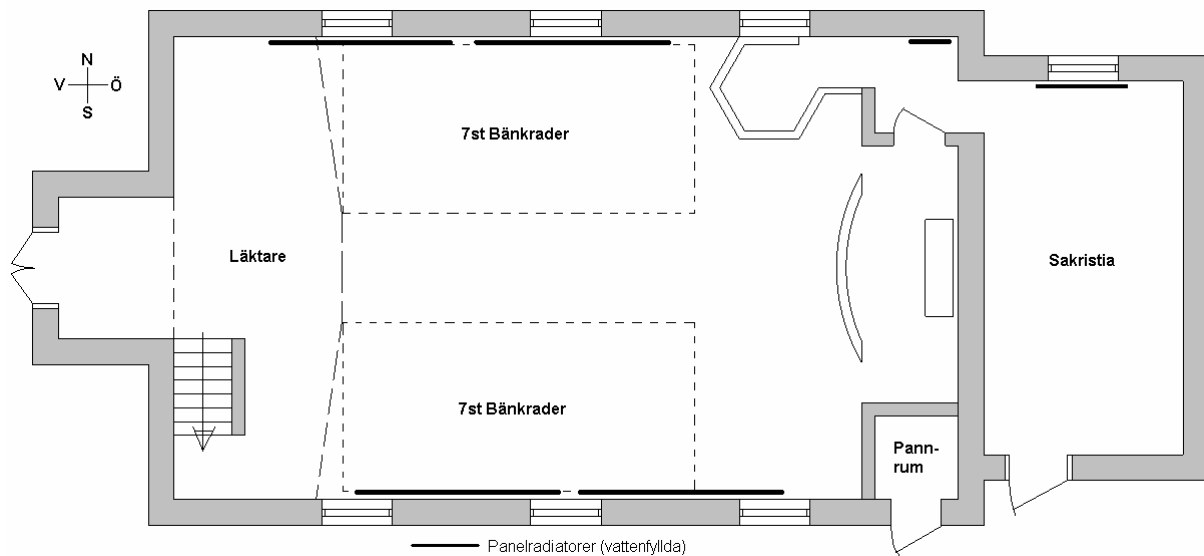


Bild 10: Kapellets insida mot öster



Bild 11: Kapellets insida mot väster

Planritning



Figur 6: Planritning Skogaby kapell samt radiatorernas placering

Byggnadens användning

Skogaby kapell används en till ett par gånger i månaden vid gudstjänster på söndagar. Kapellet används också vid begravning, vigslar och vid barndop.

Inneklimat

Inneklimatet är överlag mycket torrt med en relativ fuktighet på 30-35 % och en innetemperatur runt 17°C. De gjorda mätningarna redovisas i bilaga A3.

Värmesystem

Skogaby kapell har ett vattenburet värmesystem med panelradiatorer placerade enligt planritningen på föregående sida. Värmeproduktionsanläggningen är en elpanna med installerad effekt på 9 kW. Se bilaga B3.

Det vattenburna värmesystemet i Skogaby kapell är byggt från början som ett självcirkulerande 2-rörs system där flödet drevs fram av temperaturskiktningen i ledningarna. Senare har termostatventiler installerats på panelradiatorerna för att få ett mer kontrollerbart vattenflöde. Framledningarna går upp i taket och delas upp och förs ner vid vart hörn i långhuset för att leverera radiatorerna, sedan går returledningarna tillbaka till elpannan under golvet i krypprunden. Efter en ytterligare tid installerades en central termostat vid altaret som har i uppgift att styra flödet i ledningarna med en cirkulationspump i pannrummet. När den centrala termostaten inte avläser något värmebehov skall cirkulationspumpen stanna och inget flöde kvarstår i ledningarna. Vanligtvis används en shuntventil eller strypning av eltillförseln till elpannan vid liknande system.

Ventilation

Kapellet har inget speciellt ventilationssystem, utan här används principen självdrag.

St. Gertruds kapell

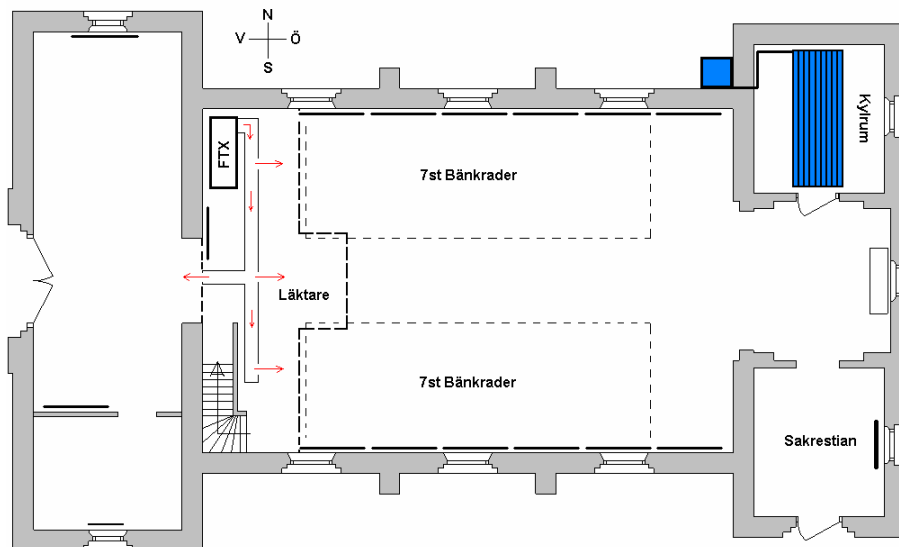


Bild 12: St. Gertruds kapell från norr

Historik

St. Gertruds kapell uppfördes 1903 på Laholms begravningsplats. Kapellet är av nygotisk stil med murar av tegel vilande på en sockel av natursten. På 1940-talet tillbyggdes troligtvis den östra delen av kyrkan och 1976 byggdes vapenhuset i väster till. Orgel och orgelläktaren tillkom år 1957. Interiören präglas framförallt av den senaste restaureringen som utfördes på 1970-talet då den nuvarande färgsättningen och heltäckningsmattorna tillkom. [6]

Planritning



Figur 7: Planritning över St. Gertruds kapell samt kyl och värmesystemets placering

Vyer över kapellet inomhus:



Bild 13: Kapellets insida mot väster



Bild 14: Kapellets insida mot öster

Byggnadens användning

St. Gertruds kapell används som begravningskapell. Här förrättas de flesta av pastoratets begravningsgudstjänster. I St. Gertruds kapell finns ett kylrum för tillfällig förvaring av de avlidna i väntan på begravning. Kapellet används flera gånger i veckan.

Inneklimat

Kapellet värmdes kontinuerligt till runt 19°C under mätintervallet med en relativ fuktighet på runt 35 %. Se bilaga A4.

Värmesystem

Värmesystemet består av 15st 1200W oljefyllda elradiatorer, totalt 18 kW, och ett FTX - aggregat med eftervärmare med hjälp av ett el-batteri på tilluften. Se bilaga B4.

Kylanläggning och FTX -aggregat

Laholms församling har inte några dimensioneringspapper på kylanläggningen. Det är därför svårt att ta med denna i mina beräkningar. Samt att FTX -aggregatet styrs med timer men stängs av ibland då fläktarna inuti aggregatet låter för mycket.

Reglering

De oljefyllda elradiatorerna regleras med hjälp egna termostater på radiatorerna men också med en central termostat på väggen under läktaren.

Ventilation

Kapellet varierar mellan ventilation i form av självdrag och styrd ventilation då FTX - aggregatet är igång. Det finns också en frånluftsfläkt i sakristian som sätts på med en manuell strömbrytare men det är mycket sällan den används.

Tabell A: Överskådliga dimensioner för kyrkorna och kapellen

Byggnad	Golvyta (A_{temp}) [m ²]	Luftvolym inne [m ³]	Yttre omslutningsarea (A_{om}) [m ²]
Laholms kyrka	615	6055	2300
Skummeslövs kyrka	195	1150	1100
Skogaby kapell	110	460	444
St. Gertruds kapell	125	695	603

Genomförande

Analys av nuvarande energianvändning för uppvärmning

Fastställandet av nuvarande energianvändning för de olika byggnaderna har varit ett försenande moment som tagit mycket tid av detta arbete. Detta på grund av att det tog lång tid innan jag fick tag i korrekt elförbrukningsdata. Vanligtvis är detta ett moment som inte alls tar lång tid, utan är uppgifter som finns klargjorda vid projektets början. Uppgifter om byggnadernas elförbrukning fanns vid start av detta projekt med, men som visades vara felaktiga vid underlag för energieffektiviseringsåtgärder. Elförbrukningen såg i vissa fall mycket suspekt ut, vilket det också visade sig vara. De första uppgifterna som jag fick om elförbrukning för uppvärmning av Skogaby kapell var 57 MWh/år, vilket är nästan lika mycket som tre normalvillor förbrukar på ett år (20 MWh/år, st). Det visade sig att i den beräknade årsförbrukningen av el ingick gamla förbrukningsdata av olja, då kapellet hade en oljepanna för uppvärmning tidigare. Detta var uppgifter om beräknad årsförbrukning från kraftleverantörerna Södra Hallands Kraft. Den beräknade årsförbrukningen av el var inte heller normalårskorrigerad så det tog också lång tid innan uppgifter om antalet graddagar för valt referensår kunde införskaffas.

På grund av vissa misstänksamma defekter i energistatistiken och för att fastställa vilken elförbrukning som används för uppvärmning samt om den är trovärdig, har en analys gjorts på nästföljande sidor. Jag ansätter att begreppet fastighetsel är all den elen som förbrukas utöver den som används för uppvärmning.

Energianvändning av Laholms kyrka

Det vattenburna värmesystemets elförbrukning mäts av en separat elmätare. Däremot är det inte säkert att de oljefyllda elradiatorerna i vapenhuset går på samma elmätare, utan registreras på mätaren för fastighetselen. Osäkerheten kring detta kan leda till en mindre elförbrukning för uppvärmning. Då svårigheter med att uppskatta elförbrukningen från de oljefyllda elradiatorerna antar jag att elmätaren för det vattenburna värmesystemet också registrerar de oljefyllda elradiatorernas elförbrukning.

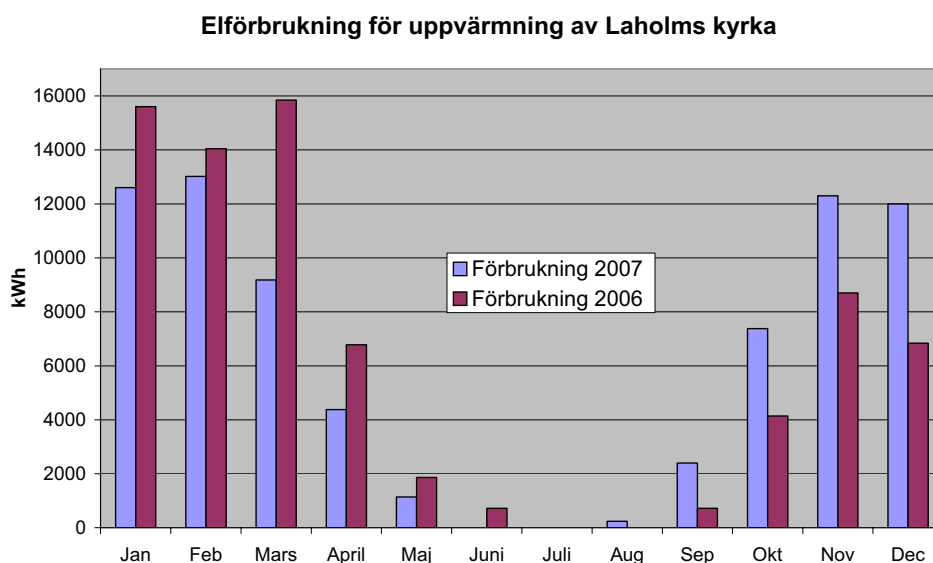


Diagram 2: Elförbrukning för uppvärmning av Laholms kyrka år 2006 och 2007.

För uppvärmning av Laholms kyrka förbrukades 2006 75,24 MWh och 2007 74,64 MWh. Både år 2006 och 2007 förbrukades ungefär 26 MWh i fastighetsel. Jag har valt att använda 2007 års elförbrukning för uppvärmning som referens. I diagram 3 nedan ser vi elförbrukningen per månad ihop med antalet graddagar för samma år. Energianvändningen varierar väl bra överens med värmebehovet, graddagarna, över året. Det visar att reglersystemet fungerar bra.

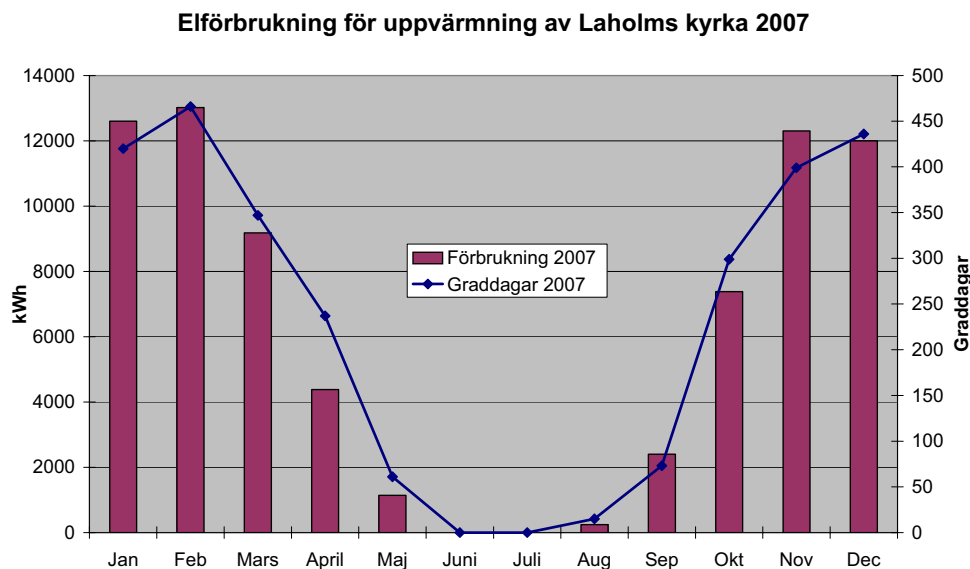


Diagram 3: Elförbrukning för uppvärmning av Laholms kyrka samt variationen av antalet graddagar 2007.

Energianvändning av Skummeslövs kyrka

I detta fall registreras all elförbrukning genom samma elmätare. Detta gör att det är svårt att veta hur mycket av elförbrukningen som går till uppvärmning och vad som går till fastighetsel. Att anta en generell förbrukning per månad av fastighetsel är svårt i detta fall. Om vi tittar på diagram 4 på nästa sida ser vi att elförbrukningen i juni och juli borde vara ren fastighetsel, då det inte var något värmebehov, illustrerade i antalet graddagar. Hur ofta och hur byggnaden används gör att förbrukningen av fastighetsel kan variera stort mellan månaderna. Samtidigt varierar elförbrukningen för uppvärmning med hur ofta byggnaden värms upp och hur länge, då byggnaden värms intermittent. Genom att göra en uppskattning av förbrukningen av fastighetsel i jämförelse med de övriga byggnaderna, per kvadratmeter golvyta, användningsgrad och antalet graddagar kan en uppskattning av elförbrukningen för uppvärmning göras. Jag gör också en jämförelse med Boverkets författarsamling, BED1, tabell 9: Uppskattad fastighetsel för lokaler [7], där medelförbrukningen av fastighetsel för teater, konsert, samling är $50 \text{ kWh/m}^2 (A_{\text{temp}})$, år. De höga staplarna i juni och juli kan i och för sig vara att golvvärmen är på året om så det även på sommaren inte ska bli kallt på korets golv. Det kan också bero på att vinterkylan ligger kvar i de tjocka gråstensväggarna som då kyler inneklimatet och bildar ett värmebehov. Samtidigt kan sommarvärmen ackumuleras i ytterväggarna som gör att värmebehovet blir mindre på hösten. Detta kan man se en tendens av i diagram 4 om man tittar på våren respektive hösten. Jag kommer därför inte anta att hela elförbrukningen juni och juli är fastighetsel.

Elförbrukning Skummeslövs kyrka 2007

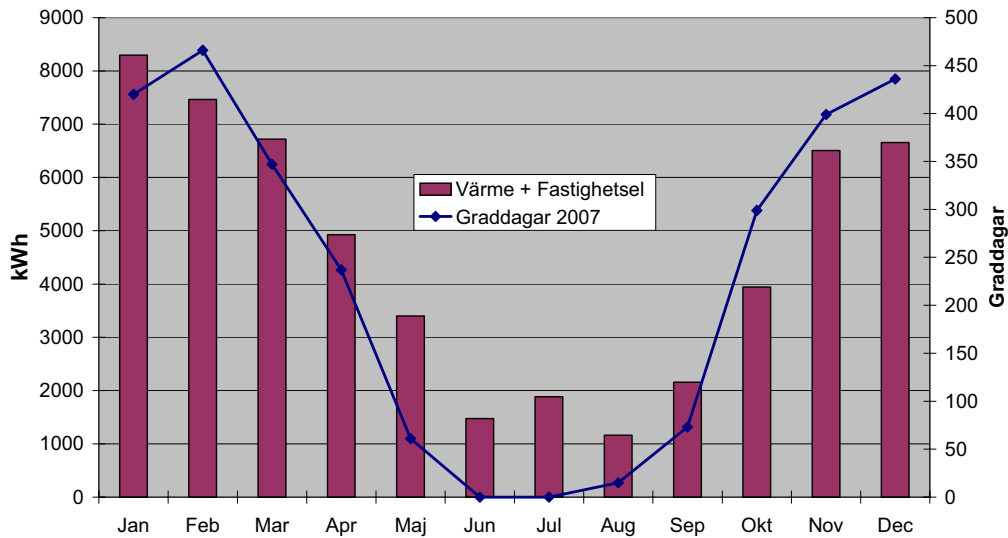


Diagram 4: Total elförbrukning för Skummeslövs kyrka ihop med antalet graddagar 2007.

Elförbrukning av Skummeslövs kyrka 2007

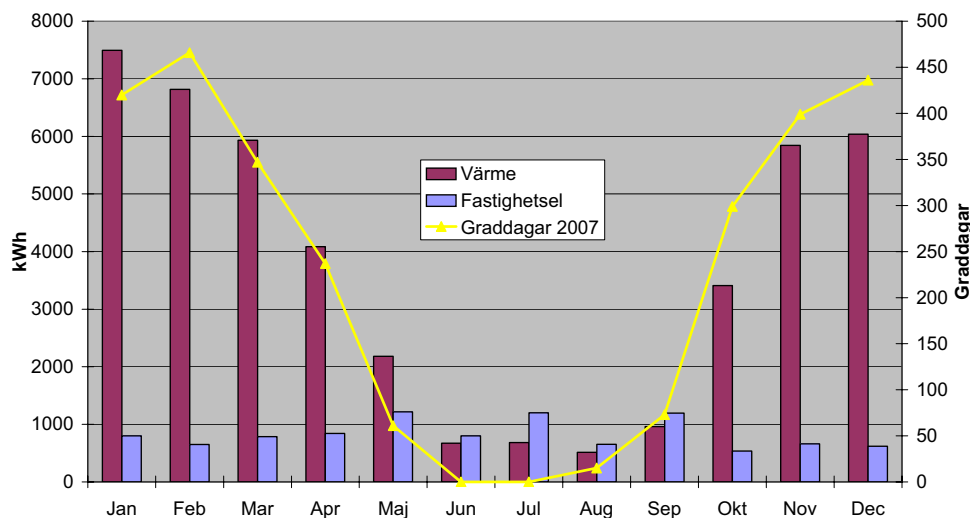


Diagram 5: Elförbrukning av Skummeslövs kyrka 2007 efter uppskattning av fastighetsel.

Efter den uppskattningsvis beräknade korrigeringen blev elförbrukningen för uppvärmning för Skummeslövs kyrka 44,6 MWh år 2007 och förbrukningen av fastighetsel blev 9,95 MWh.

Energianvändning för Skogaby kapell

För uppvärmning av Skogaby kapell förbrukades 39,7 MWh för 2006 och 34,8 MWh för 2007. Både år 2006 och 2007 förbrukades ungefär 2,8 MWh i fastighetsel. Jag har valt att använda 2007 års elförbrukning för uppvärmning som referens. I diagram 7 nedan ser vi elförbrukningen per månad ihop med antalet graddagar för samma år. Energianvändningen varierar förvånansvärt bra med värmebehovet, graddagarna, över året.

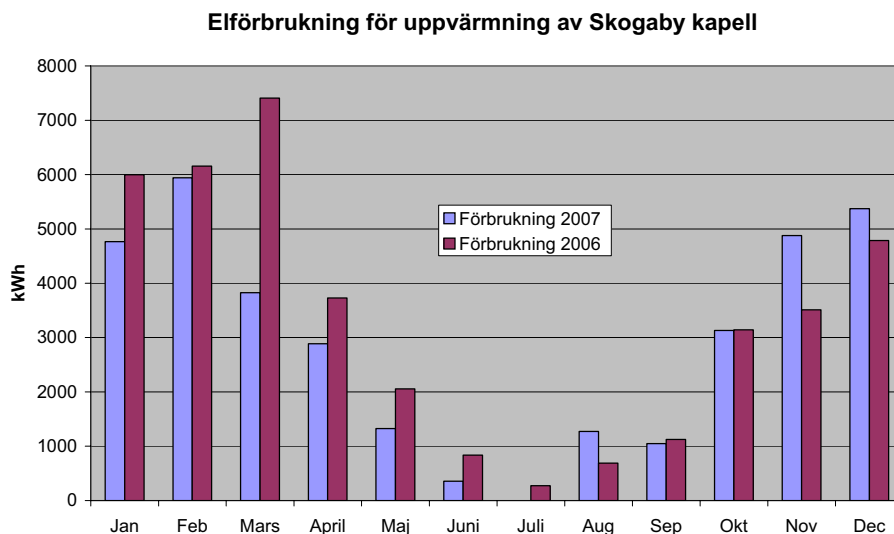


Diagram 6: Elförbrukning för uppvärmning av Skogaby kapell år 2006 och 2007.

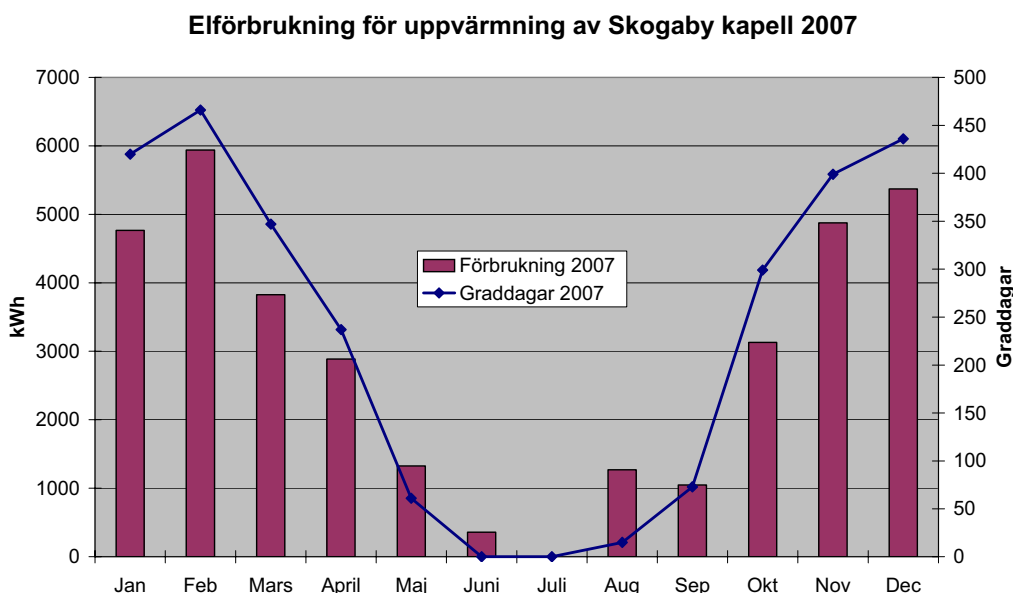


Diagram 7: Elförbrukning för uppvärmning av Skogaby kapell samt variationen av graddagar 2007.

Vid besiktning av kapellet upptäcktes att en av de fyra panelradiatorerna i långhuset saknade termostat. Samtidigt såg energistatistiken suspekt ut, då kapellet förbrukar mycket el för uppvärmning. Med den saknade termostaten vill radiatoren ha högsta framledningstemperatur hela tiden året om. Med att systemet är byggt som ett självcirkulerande värmesystem hindrar inte cirkulationspumpen framflödet till radiatoren utan det varma vattnet slinker igenom. Det enda som hindrar flödet är när värmeutbytet mellan radiatoren och rummet inte är så stort vilket leder till en minskning av temperaturskiktningen i ledningarna och därmed flödet. När detta sker hinner elpannan värma upp pannvattnet till maximal inställd framledningstemperatur, 60° C i detta fall, och stänger därmed av sig själv. Men så fort pannvattnet sjunker i temperatur eller att värmeutbytet med rummet ökar sätter elpannan igång igen. Förutom att en termostat saknades var också resterande termostater inställda olika

på radiatorerna, två stycken nästan avstängda, vilket resulterade i detta fall att bara två av fyra radiatorer värmer kyrkorummet. Detta ger en längre uppvärmningstid då värmeutbytet med radiatorerna blir mindre totalt än vad det kunde ha varit om alla termostater var inställda på samma nivå. Det leder också till att en högre framledningstemperatur måste hållas för att kompensera för de två radiatorer som knappt var på vilket gör att elpannan går på hög effekt längre tider som inte är energieffektivt. Värmesystemet blir underdimensionerat.

Diagram 7 på föregående sida visar en jämförelse mellan elförbrukningen för uppvärmning och antalet graddagar 2007. Det syns mycket tydligt att då det inte är något värmebehov, inga graddagar, går elpannan ändå. Men även då det är få graddagar som i augusti. När det är stort värmebehov, många graddagar, överensstämmer elförbrukningen bättre med verkligheten.

Genom att räkna ut byggnadens U-värde, för varje månad, ur formeln $Q_{\text{mån}} = U * A_{\text{om}} * \text{Graddagar}_{\text{mån}} * 24\text{timmar}$ kan man se variationerna av U-värdet över året. Om man tar ut medelvärdet över året och sätter in det i formeln igen kan vi få en uppskattning om hur elförbrukningen skulle sätt ut med en mer korrekt fungerande reglering av flödet till radiatorerna. Detta har gjorts och illustreras i diagram 8.

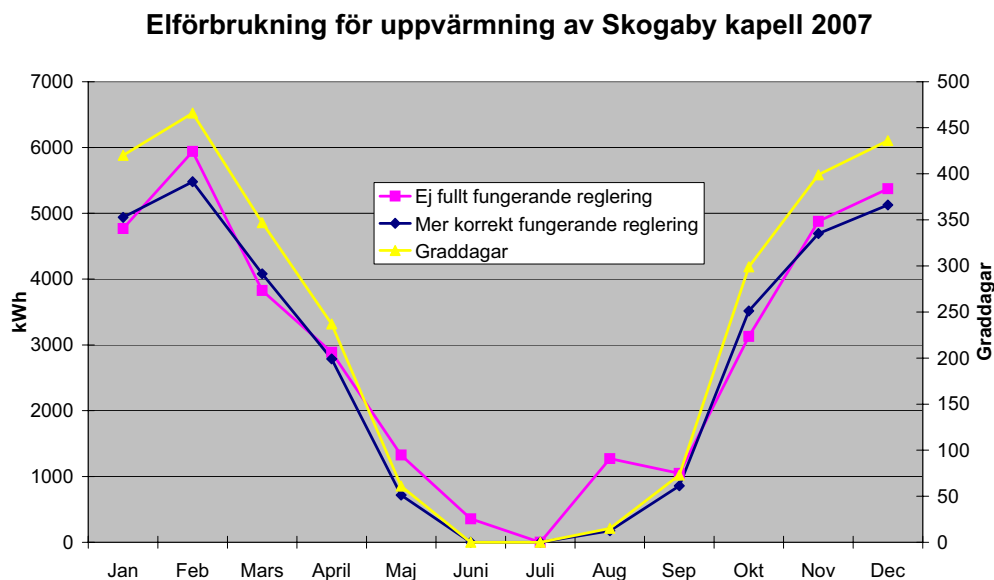


Diagram 8: Elförbrukning för uppvärmning av Skogaby kapell 2007 vid nuvarande reglering och vid mer korrekt reglering av värmesystemet

I diagram 8 här ovan syns det nu tydligt vilka förluster som skett på grund av band annat den trasiga termostaten, vilket gav upphov till själv-cirkulation i värmesystemet. Till slut blev det mer korrekta värmebehovet för Skogaby kapell 32,4 MWh för år 2007. Energiförlusterna i form av för varmt inomhus blev 2400 kWh.

Energianvändning för St. Gertruds kapell

För St. Gertruds kapell är det samma problem som för Skummeslövs kyrka. Elförbrukningen för uppvärmning och fastighetselen registreras på samma mätare. Men här har vi också med elförbrukning för kylning av en sektion i byggnaden. Detta ställer till en hel del då det blir ännu svårare att avgöra hur mycket el som förbrukas av de olika delarna. Enligt samma metod som utfördes på Skummeslövs kyrka uppskattas fastighetselen i jämförelse med de övriga

byggnaderna per kvadratmeter golvyta och användningsgraden. Detta ger en förtydning av förbrukningen för uppvärmning och kylning. Resultatet blir enligt diagram 9 nedan.

Elförbrukning för St:a Gertruds kapell 2007

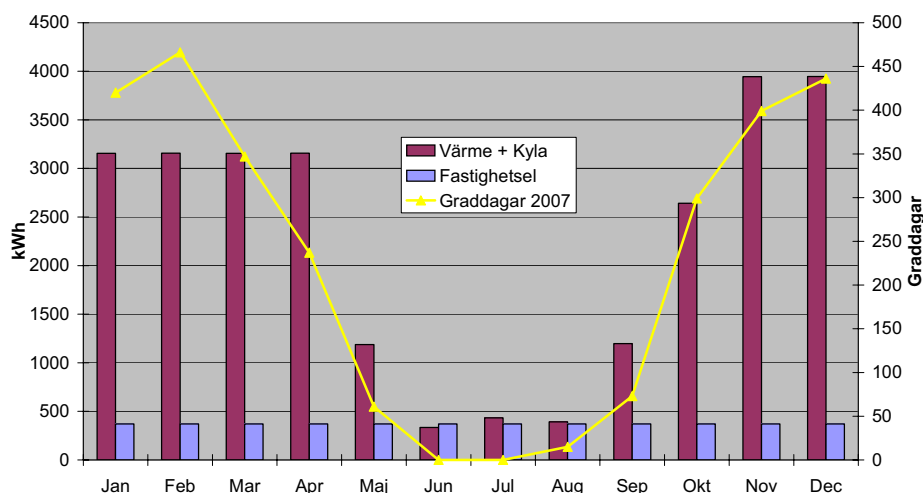


Diagram 9: Uppdelad elförbrukning för St. Gertruds kapell

Genom att titta på elförbrukningen i diagram 9 ovan under sommaren, kan vi se att elförbrukningen för kylning visar sig tydligt. Vi kan också se att januari till april har ett beräknat värde för elförbrukningen som fakturerats och inte ett uppmätt. Detta spelar inte så stor roll då det ser ut som att aprilens beräknade elförbrukning väger upp den relativt låga beräknade elförbrukningen i januari och februari. Då det inte finns dimensioneringsuppgifter för kylanläggningen och osäkerhet för drifttid hos FTX –aggregatet med eftervärmare har jag antagit att anläggningarnas kylande och värmande verkan på inneklimatet tar ut varandra. Elförbrukningen för uppvärmning av St. Gertruds kapell 2007 blev 26,7 MWh och den uppskattade fastighetselen blev 4,5 MWh.

Sammanfattning

Som referensvärde för energianvändning för uppvärmning använder jag data från en utredning gjord av Statistiska centralbyrån i uppdrag från Statens energimyndighet [8]. Detta för att kunna få en uppfattning om hur mycket energi kyrkorna och kapellen använder för uppvärmning i förhållande till andra kyrkor och kapell. Referensbyggnaden är kyrkor och kapell uppförda fram till år 1940. Referensvärdet är 149 kWh per m² uppvärmd golvyta för år 2004. Men för att kunna jämföra referensvärdet med mina kyrkor och kapell måste en normalårskorrigerings göras. Enligt SCB:s utredning var det år 2004 3010 graddagar samt under ett normalår 3232 graddagar i södra Sverige. Elförbrukningen för uppvärmning av byggnaderna i detta arbete måste också normalårskorrigeras för att kunna jämföras med referensvärdet. Antalet graddagar för år 2007 samt normalår i Laholm har införskaffats från SMHI [9]. Graddagsdata för Laholm: 3304 graddagar ett normalår och 2753 graddagar år 2007.

Normalårskorrigerings

$$Q_N = Q_A * (G_N / G_A)$$

Q_N = Energianvändningen för normalår

G_N = Antalet graddagar ett normalår

Q_A = Energianvändningen för aktuellt år

G_A = Antal graddagar för aktuellt år

Graddagar

Beskrivning om graddagar är från Energistatistik för lokaler 2004. [8]

Antalet graddagar för ett år är summan av skillnaderna från normaltemperaturen. Normaltemperaturen är olika för varje månad. Ett genomsnitt av graddagar för åren 1970-2000 har gett ett normalår som används för att värdera det aktuella årets energianvändning.

Graddagtalet beräknas av SMHI som skillnaden mellan $+17\text{ °C}$ och aktuell dygnsmedeltemperatur (td) summerad över jan - mars samt nov - dec, de dygn i april då $td < +12\text{ °C}$, de dygn i maj - juli då $td < +10\text{ °C}$, de dygn i augusti då $td < +11\text{ °C}$, de dygn i september då $td < +12\text{ °C}$, de dygn i oktober då $td < +13\text{ °C}$, samt november-december. Multiplicerar man antalet graddagar med 24h så får man antalet gradtimmar.

Energisammanställning och analys

Tabell 1: Samanställning av elförbrukning för uppvärmning

Byggnad	Elförbrukning för uppvärmning 2007 [MWh]	Elförbrukning för uppvärmning, normalår [MWh]	$A_{temp.}$ [m^2]	Jämförelsevärde [kWh/m^2 , normalår]
Laholms kyrka	74,6	89,6	615	145,7
Skummeslövs kyrka	44,6	53,5	195	274,4
Skogaby kapell	32,4	38,9	110	353,6
St. Gertruds kapell	26,7	32,0	125	256,0

Normalårskorrigerat referensvärde enligt SCB: $160\text{ kWh}/m^2$ uppvärmd golvyta, normalår.

Jämförelsevårdets avvikelse från referensvärdet [%]	Byggnadernas inneslutna volym [m^3]	Elförbrukning för uppvärmning förhållande till innesluten volym [kWh/m^3 , normalår]	Medeltemperatur inomhus över ett år. [$°C$]
-9,8	6055	14,8	19
71,5	1150	46,5	15
121	460	84,6	18
60	695	46,0	19

Fastighetsel [$MWh/år$]
26
9,95
2,8
4,5

I jämförelse med referensvärdet ligger Laholms kyrka mycket bra till med 9,8 % lägre energianvändning för uppvärmning än medelvärdet i Sverige. Samtidigt ligger Skogaby kapell långt över referensvärdet med 121 %. Detta beror främst på hur byggnaderna värms upp men också på dess klimatskal.

Mätningar med dataloggers för RH och Temp.

För att få tillstånd till att byta värmesystem och reglering får inte nuvarande inneklimat försämrats. Därför är en mycket viktig del, i energieffektivisering av kyrkor, att undersöka hur nuvarande inomhusklimat ser ut som samtidigt blir en utgångspunkt i hur det nya värmesystemet med reglering bör se ut. Mätning av klimaten i kyrkorna och kapellen har gjorts med ett antal dataloggrar som har två kanaler och mäter temperatur och relativ fuktighet. Resultaterande diagram över mätvärdena, under loggningsintervallet, för de olika byggnaderna redovisas i bilaga A (A1-A4).

Repetition av önskvärt inneklimat:

För ett skonsamt inneklimat skall relativ fuktighet inne ligga inom 40-60 % , helst i det övre spektrat. Variationen av relativ fuktighet inomhus bör vara så liten som möjligt och inte överskrida mer än 30 % av årsmedelvärdet.

Sammanfattning av loggningen:

Laholms kyrka (se bilaga A1)

Den relativa fuktigheten inne under mätintervallet låg mellan 25-37 % med ett medelvärde på runt 32 %. Variationen i förhållande till medelvärdet var mellan 15-22 %. Detta då temperaturen inne låg mellan 18-22 °C och med ett medelvärde på nästan 19 °C. Utetemperaturen under mätintervallet låg mellan -7-10 °C med ett medelvärde på nästan 4 °C. Den relativa fuktigheten ute under mätintervallet var mellan 34-100 % med ett medelvärde på 79 %.

Skummeslövs kyrka (se bilaga A2)

Den relativa fuktigheten inne under mätintervallet låg mellan 31-54 % med ett medelvärde på runt 44 %. Variationen i förhållande till medelvärdet var mellan 23-30 %. Detta då temperaturen inne låg mellan 13-21 °C och med ett medelvärde på runt 16 °C. Utetemperaturen under mätintervallet låg mellan -7-13 °C med ett medelvärde på drygt 4 °C. Den relativa fuktigheten ute under mätintervallet var mellan 39-100 % med ett medelvärde på 91 %.

Skogaby kapell

Den relativa fuktigheten inne under mätintervallet låg mellan 19-57 % med ett medelvärde på runt 36 %. Variationen i förhållande till medelvärdet var mellan 47-58 %. Detta då temperaturen inne låg mellan 12-23 °C och med ett medelvärde på runt 18 °C. Utetemperaturen under mätintervallet låg mellan -7-13 °C med ett medelvärde på drygt 4 °C. Den relativa fuktigheten ute under mätintervallet var mellan 39-100 % med ett medelvärde på 92 %.

St. Gertruds kapell

Den relativa fuktigheten inne under mätintervallet låg mellan 24-48 % med ett medelvärde på runt 36 %. Variationen i förhållande till medelvärdet var 33 %. Detta då temperaturen inne låg mellan 17-22 °C och med ett medelvärde på runt 19 °C. Utetemperaturen under mätintervallet låg mellan -7-14 °C med ett medelvärde på drygt 4 °C. Den relativa fuktigheten ute under mätintervallet var mellan 39-100 % med ett medelvärde på 92 %.

Slutsatsen av mätningarna är att samtliga byggnader förutom Skummeslövs kyrka inte klarar kraven för ett skonsamt inneklimat under mätintervallet. Styrning av uppvärmningen med givare för relativ fuktighet kan vara nödvändigt för att få kontroll på variationerna, även för Skummeslövs kyrka.

Riskbedömning: Variationerna av relativ fuktighet under ett år

I diagram 10 visar hur den relativa fuktigheten i en permanent uppvärmd byggnad varierar under året förutsatt att inget fuktillskott sker inomhus. Uppvärmningen orsakar en stor och långvarig variation i den relativa fuktigheten inomhus, från 25 % upp till över 60 %. Årsmedelvärdet för RF inomhus är ca: 40 % och variationerna i förhållande till årsmedelvärdet ligger mellan 37 % och 57 %. Det bör inte variera mer än 30 % för ett skonsamt inneklimat. Att värma en kyrka permanent ser vi här att det inte är att föredra men i vissa fall går det inte att undgå då byggnaden används ofta. Det man då kan göra är att sänka grundtemperaturen på vintern för att öka den relativa fuktigheten och på sommaren, vid för hög RF, öka innetemperaturen även då det inte är något särskilt värmebehov. På de sättet kan minskning av variationerna i relativ fuktighet göras i förhållande till årsmedelvärdet.

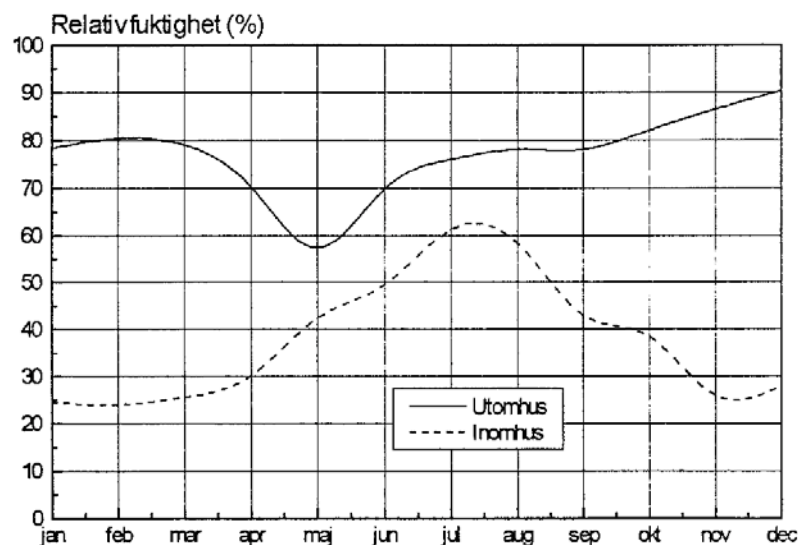


Diagram 10: Ett exempel från Tor Broströms doktorsavhandling, Uppvärmning av kyrkor [2], på hur den relativa fuktigheten varierar i en byggnad uppvärmd till 20°C då inget fuktillskott sker inomhus.

Då mätintervallet bara var några månader vid loggning av klimatet för kyrkorna och kapellen är det relevant att ta fram vilka variationer som sker över ett år. För att kunna göra detta utgår jag ifrån att inget fuktillskott sker i byggnaden. Ångkvoten är då i stort sett den samma inne som ute. Med hjälp av frekvenstabeller för hur ofta värden på lufttemperatur och ångkvot inträffar, kan en uppskattning göras av hur ångkvoten varierar över ett år [10]. Frekvenstabellerna är för Torslanda flygplats och det kan tyckas vara lite långt ifrån Laholm, men enligt samtal med en klimatanalytiker på SMHI så är Torslandas frekvenstabell väl tillämpbar för hela västkusten. Tillsammans med medeltemperaturen per månad kan uppskattning av den relativa fuktighetens variation över ett år tas fram. Både ångkvot och temperatur varierar från år till år. Jag har valt att använda medeltemperaturen per månad för år 2007 i Halmstad [11]. Dels då jag har år 2007 som referens i energianvändningen för byggnaderna och då jag inte tycker att ett normalår (1970-2000) inte motsvarar framtidens temperaturer på grund av den globala uppvärmningen.

Laholms kyrka

I diagram 11 och 12 nedan illustreras medelklimatet över år 2007 ute och i Laholms kyrka. Temperaturen ansätts i kyrkan för nuvarande uppvärmning till 19°C. Man kan snabbt se att Laholms kyrka inte håller sig inom gränsvärdena för ett bra inneklimat. Bara två femtedelar av tiden är den relativa fuktigheten inom gränsvärdena 40-60 %. Detta är samtidigt på sommaren då nästan inget behov av uppvärmning finns. Enligt tidigare teori så bör inte RF variera mer än 30 % av årsmedelvärdet. Laholms kyrka ligger på 41 % relativ fuktighet i årsmedelvärde inomhus och har en variation i förhållandevis till årsmedelvärdet på mellan 46-60 %. Laholms kyrka har alltså inget skonsamt inneklimat för byggnaden och dess inventarier.

Relativ fuktighet Laholms kyrka 2007

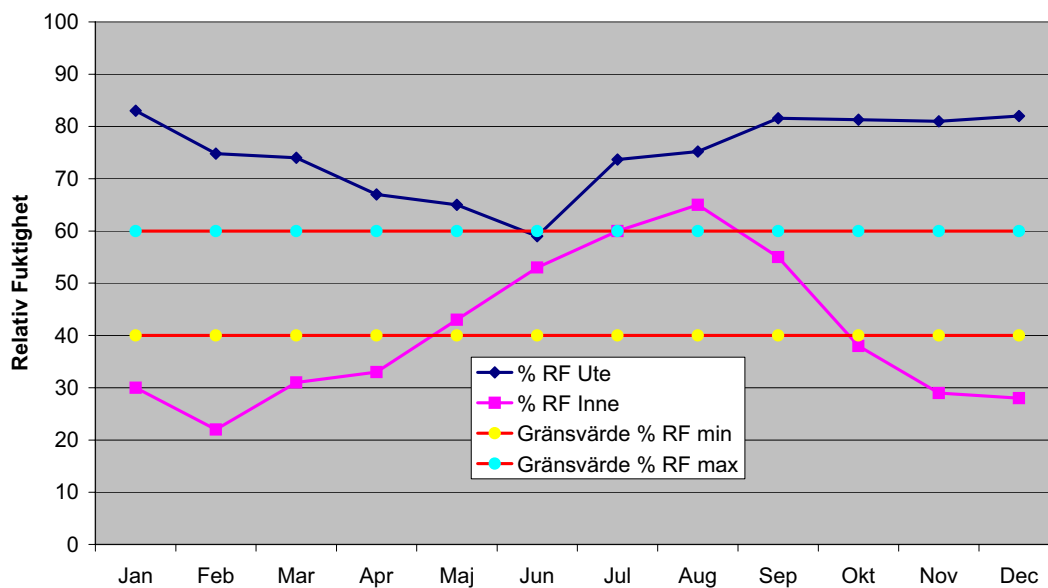


Diagram 11: Den relativa fuktighetens variation ute och i Laholms kyrka för 2007.

Årsmedeltemperatur Laholms kyrka 2007

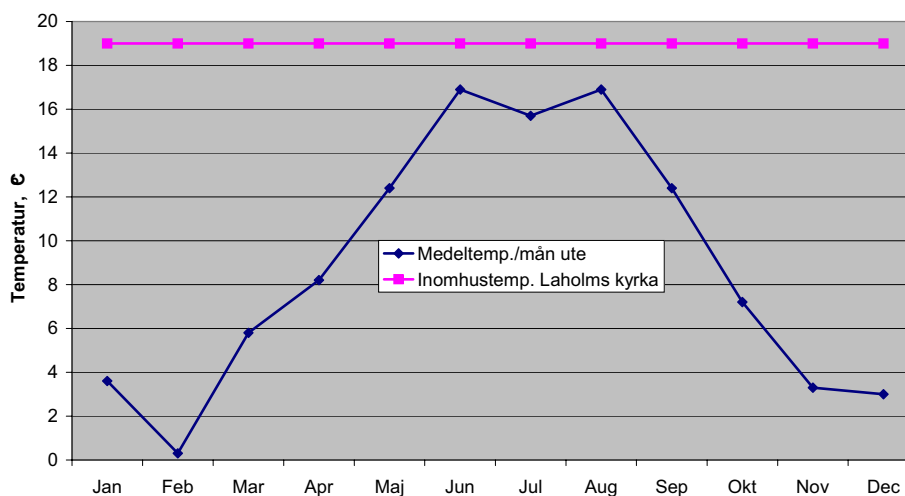


Diagram 12: Årsmedeltemperatur ute och inne för Laholms kyrka 2007.

Skummeslövs kyrka

Då Skummeslövs kyrka använder intermittent uppvärmning antar jag medelvärdet på grundtemperaturen vid loggningsutförandet som konstant inomhustemperatur, vilket var 14°C. Förutom då medeltemperaturen ute överskrider grundtemperaturen inne. Då är temperaturen och den relativa fuktigheten samma som ute. I diagram 13-14 illustreras medelklimatet 2007 för Skummeslövs kyrka. På grund av den lägre grundtemperaturen i kyrkan ligger den relativa fuktighetens årsmedelvärde på 52 % vilket är bra, men med variationer mellan 42-44 % i förhållande till årsmedelvärdet som inte ligger innanför gränsen för ett skonsamt inneklimat. Skummeslövs kyrkas relativa fuktighet inomhus är nästan två tredjedelar av året inom gränsen för ett skonsamt inneklimat men har däremot för hög relativ fuktighet på sommaren vilket kan leda till kondens på de tjocka ytterväggarna av sten och kan därmed leda till fuktskador.

Relativ Fuktighet Skummeslövs kyrka 2007

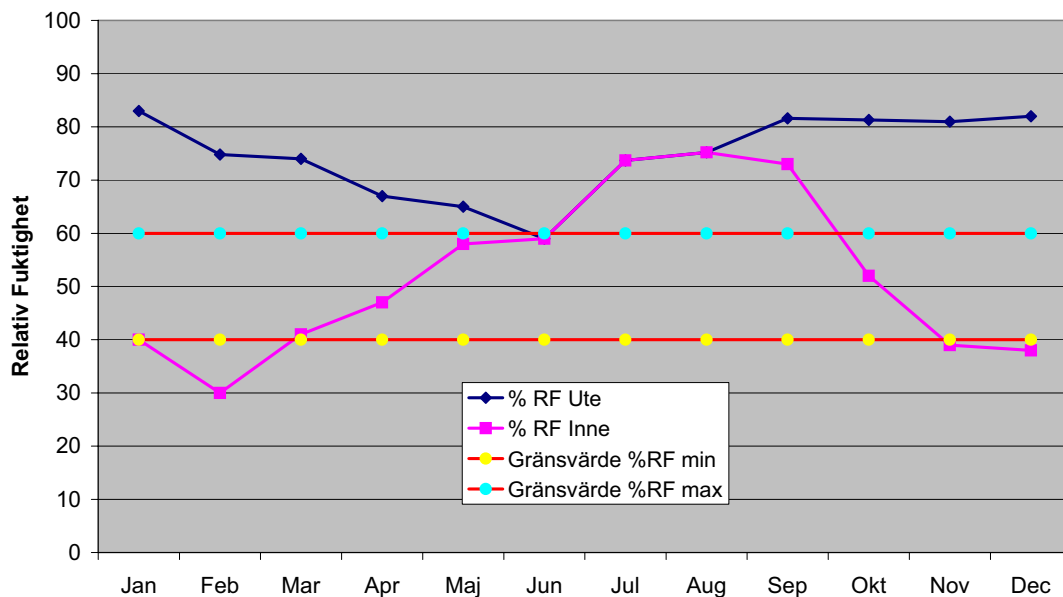


Diagram 13: Variation av relativ fuktighet för Skummeslövs kyrka 2007.

Årsmedeltemperatur Skummeslövs kyrka 2007

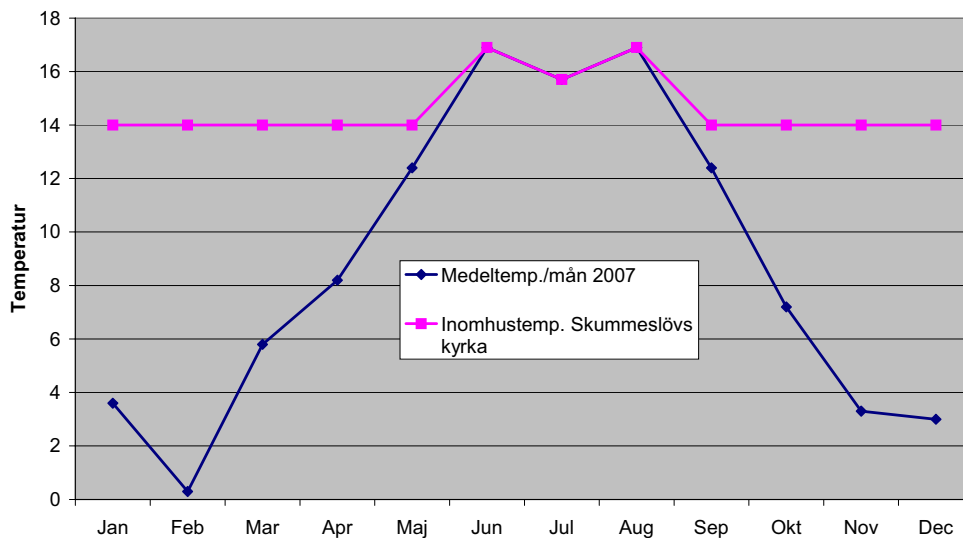


Diagram 14: Skummeslövs kyrkas årsmedeltemperatur ute och inne 2007.

Skogaby och St. Gertruds kapell

Skogaby och St. Gertruds kapell har liknande årsmedelklimat som Laholms kyrkas variationer. Detta då jag har antagit att inget fuktutbyte sker mellan inneluften och byggnaden/inventarierna samt att liknande uppvärmning till medelgrundtemperatur 18-19 °C sker.

Klimatskalsberäkningar

För att kunna dimensionera nya värmeproduktionsanläggningar behöver man räkna ut byggnadens transmissions och ventilationsförluster. Då dokumenteringen av klimatskalen som jag kunde få tag i var ofullständig samt att luftomsättningen inte är känd i kyrkorna och kapellen. Istället räknar jag ut byggnadernas totala värmeförluster genom att räkna baklänges med elförbrukningen från värmeproduktionsanläggningarna och antalet gradtimmar. I detta fall är inte antalet gradtimmar lika för alla kyrkorna och kapellen. Antalet gradtimmar varierar med vilken gränstemperatur, T_g , värmesystemet stängs av vid då ingen aktiv uppvärmning behövs. Värmebehovet mellan inomhustemperaturen och gränstemperaturen täcks upp av solinstrålning, internt värmetillskott och personvärmetillskott.

Byggnadernas gränstemperaturer:

- Laholms kyrkas $T_g = 15^\circ\text{C}$
- Skummeslövs kyrka $T_g = 15^\circ\text{C}$
- Skogaby kapell $T_g = 19^\circ\text{C}$
- St. Gertruds kapell $T_g = 18^\circ\text{C}$

Antalet gradtimmar, G_t , får man ut genom en tabell över antalet gradtimmar i förhållande till normalårstemperatur och gränstemperatur. [12] Normalårstemperaturen för Halmstad är 7,2°C.

Antalet gradtimmar:

- Laholms kyrkas $G_t = 75560^\circ\text{Ch}$
- Skummeslövs kyrka $G_t = 75560^\circ\text{Ch}$
- Skogaby kapell $G_t = 104880^\circ\text{Ch}$
- St. Gertruds kapell $G_t = 97120^\circ\text{Ch}$

Byggnadernas yttre omslutningsarea:

- Laholms kyrkas $A_{om} = 2300 \text{ m}^2$
- Skummeslövs kyrka $A_{om} = 1100 \text{ m}^2$
- Skogaby kapell $A_{om} = 444 \text{ m}^2$
- St. Gertruds kapell $A_{om} = 603 \text{ m}^2$

Beräkning av medelvärdet för byggnadernas totala U-värde ett normalår, U_{tot} , görs genom följande formel: $Q_{n,\text{år}} = U_{tot} * A_{om} * G_t$.

$Q_{n,\text{år}}$ = Normalårskorrigerad energianvändning för uppvärmning, se tabell 1.

A_{om} = Byggnadens yttre omslutningsarea

Till slut byggnadernas totala U_{tot} -värde:

- Laholms kyrkas $U_{tot} = \underline{0,516 \text{ W/m}^2, \text{ K}}$
- Skummeslövs kyrka $U_{tot} = \underline{0,644 \text{ W/m}^2, \text{ K}}$
- Skogaby kapell $U_{tot} = \underline{0,835 \text{ W/m}^2, \text{ K}}$
- St. Gertruds kapell $U_{tot} = \underline{0,546 \text{ W/m}^2, \text{ K}}$

Alla utom Skogaby kapells U_{tot} -värde ser relativt bra ut.

Besiktning av klimatskalen med värmekamera

Att få tag i ritningar och dokumentering av klimatskalen visade sig vara svårt. Det enda jag fick tag i var överskådliga planritningar till alla byggnader förutom Skogaby kapell. Detta var VVS och el-ritningar där det inte beskrivs hur klimatskalet är uppbyggt mer än överskådliga dimensioner på byggnaden. Detta har gjort att jag inte kan se vad som finns i väggarna och tak och räkna på vad möjliga åtgärder hade gjort för förbättring på klimatskalet.

För att få en överskådlig bild av hur bra byggnadernas klimatskal är och om möjliga köldbryggor finns har jag använt mig av en värmekamera och analyserat bilderna. Värmekameran har jag fått låna utav Halmstad Högskola och är en InfraCAM som tillverkas av FLIR Systems.



Bild 0: InfraCAM

Att ta kort på klimatskalet med en värmekamera får man en översikt om hur bra byggnaden håller värmen. Det är avgörande att temperaturdifferensen mellan inom och utomhus är minst 10°C, för att defekter ska kunna synas. Det jag vill få ut av denna undersökning är att se om det finns några avgörande brister i isoleringen eller så kallade "köldbryggor". Att återgå till klimatskalens brister är svårt i dessa fall då det handlar om kulturhistoriska byggnader. Nästan det enda man kan få tillstånd att tilläggsisolera är vindarna/taken. Då det gäller ytterväggarna är det mycket svårt att få tillstånd för att tilläggsisolera. Men det är inte så farligt då den mesta värmeförlusterna går genom taket. Efter besiktningen av Skogaby kapells klimatskal kraschade värmekamerans minne och kameran lämnades in på reparation. Detta skedde då det fortfarande fanns ett värmebehov på dagen och temperaturdifferensen mellan ute och inomhus var över 10°C. Då värmekameran kom tillbaka från reparation hade utomhusklimatet blivit varmare. Detta gjorde att resterande byggnader besiktigades en kall vårnatt istället. Nackdelen med att ta på natten var att det fanns tendenser till dis som kan störa bilderna. Det var också svårt att ta kort på taken då avståndet blev för långt för att få ett bra kort.

Slutsatsen från besiktning med värmekameran är att Laholms och Skummeslövs kyrka inte har några avgörande defekter i klimatskalet. Att Skogaby kapells klimatskal inte är så bra som också styrks av det höga framräknade U-värdet. Det kan man se på bilderna 2C3 i bilaga C3 där radiatoren är precis innanför väggen med maximal framledningstemperatur. Man kan nästan se konturerna av radiatoren på utsidan på väggen då värmen går igenom. St. Gertruds kapells klimatskal är lite bättre. På ett antal bilder tagna med värmekameran kan man tro att potentiella köldbryggor syns i olika hörn på byggnaden. Men att här handlar det istället mer om stillasittande luft. På bilderna syns också att kylrummets vägg är över 1,5°C kallare än övriga väggar vilket inte är konstigt, men att det rummet bör tilläggsisoleras. Taken var inte möjliga att ta kort på med värmekameran vilket då utelämnas. Men att möjliga effektiviseringsåtgärder för att minska värmeförlusterna är att tätta runt fönsterrutorna och att tilläggsisolera taken men behövs tittas närmare på då värmekamerans bilder inte behöver vara helt korrekta. Bilderna finns med i bilaga C.

Dimensionering av nya system

Laholms kyrkliga samfällighets önskemål är att värmesystemen skall vara självständiga och behovet för underhåll och service av värmeproduktionsanläggningen minimal. Valet av värmeproduktionsanläggning hamnar därför på olika slags värmepumpar. Det finns inte än något fjärrvärmenät i Laholm, däremot finns det gasledningar. Värme från förbränning av gas är ofta mycket kostnadseffektivt men väljs bort då samfälligheten vill ha ett mer miljöanpassat värmesystem. För att minimera brandrisken, då byggnaderna inte har ständig översyn, väljs alla förbränningsanläggningar som t.ex. pellets och naturgas bort. Dessa anläggningar kräver också ett högre underhåll och service.

Detta arbete har tagit lång tid och förseningar har skett på grund av olika orsaker. Därför har jag tittat på vad för värmesystem och reglering som finns tillämpat mot kyrkor ute på marknaden. Jag hittade då att IVT värmepumpar har i många år installerat värmepumpssystem i ett stort antal kyrkor. De har också tagit fram ett reglersystem för uppvärmning av kyrkor. Detta har de gjort i samarbete med riksantikvarieämbetet vilket är mycket bra då förslag av detta system förmodligen är lättare att få tillstånd för att installera. Reglersystemet kallas för kyrkstyrning. Kyrkstyrningen är en styr och reglerenhet speciellt utvecklad för att styra IVT värmepumpar för kyrkornas behov. Den styr automatiskt temperatur och inställd fukthalt. Den kan programmeras att höja eller sänka värmen efter församlingens behov. Det är också ett självlärande system som efter några uppvärmningar har lärt sig byggnadens värmetröghet. För kyrkstyrningen kan man ställa in upp till 8 st olika uppvärmningsalternativ med önskad innetemperatur och relativ fuktighet. Det går också att skicka meddelande med mobilen till kyrkstyrningen så en av de för inställda alternativen efterföljs. Detta är mycket smidigt då man slipper åka ut till byggnaden för att ställa om uppvärmningen. Samtidigt kan man också skicka ett meddelande till kyrkstyrningen så att man får en lägesrapport om vilken rådande temperatur och relativ fuktighet det är. Om man styr efter relativ fuktighet i första hand kan temperaturen inne variera en hel del och kan leda till för höga eller för låga temperaturer än önskad komfort eller problem för orgeln. Men genom att vid aktiv användning av lokalen styra temperaturen som främsta börvärdet kan för låga och för höga temperaturer undvikas. Men att då ingen aktiv användning av lokalen sker ställa den relativa fuktigheten som främsta börvärde. Även byggnader som inte kan använda intermittert uppvärmning med låg grundtemperatur på 8-10 °C kommer i princip också värmas intermittert men med en högre grundtemperatur.

Reglersystemet kyrkstyrning och installation av olika slags värmepumpar är mitt förslag till samtliga kyrkor och kapell i detta arbete. På de sättet kan man bara ställa in önskad temperatur och relativ fuktighet som man vill ha och reglersystemet ser till att värmeproduktionsanläggningen producerar den värmen som behövs för att uppfylla kraven. Däremot blir det svårare att räkna ut hur mycket el som värmeproduktionsanläggningen kommer att förbruka. Detta då uppvärmning kan ske på sommaren då den relativa fuktigheten är över önskat värde. Här är det också en fördel med värmepump då verkningsgraden är högre vid högre utetemperatur. Jag har därför bara räknat ut på ett ungefär hur mycket mindre elförbrukning en installation av värmepump kommer att göra för de olika byggnaderna.

Val av typ av värmepump och vilken önskvärd täckningsgrad den ska ha för de olika byggnaderna redovisas på nästa sida.

Laholms kyrka

För Laholms kyrka passar det bäst med att installera bergvärme. Detta då värmebehovet är stor på vintern som en luft/vattenvärmepump har svårt att täcka då värmeuttaget från luften vid låg utetemperatur är liten och man måste få effekttillskott med en extra elpanna eller med nuvarande elpanna för att tillgodose värmebehovet. Huvudsäkringarna måste då också dimensioneras upp för en större installerad effekt vilket leder till en dyr fast kostnad. En luft/luftvärmepump måste också sitta på väggen eller nära intill byggnaden vilket kan skada byggnadens estetiska utseende.

I närheten av Laholms kyrka finns en parkering där man kan göra borrhålen för bergvärmen. Val av effekttäckningsgrad för Laholms kyrka är 100 % och val av dimensionerad innetemperatur är 17 °C. En minskning av innetemperaturen under vinterhalvåret är ett måste för att en ökning av den relativa fuktigheten ska ske. För tillfället sker uppvärmning till ca: 19 °C och det är främst för att tillfredsställa kantorns behov och då orgeln är stämd efter den temperaturen. Enligt Tor Boströms handbok för uppvärmning av kyrkor [2] bör inte en uppvärmning ske till mer än 16-18 °C då besökarna oftast har på sig ytterkläderna. Här anser jag att man skulle kunna sänka temperaturen ett par grader till en grundtemperatur på 17°C vilket fortfarande är en behaglig temperatur. För varje grad man sänker grundtemperaturen med kan man räkna med en 5 % minskning av energianvändningen för uppvärmning [3]. Men för att tillfredsställa också kantorns önskemål kan man installera strålvärmare på läktaren vid orgeln och ett el-element i hans arbetsrum. Denna lilla minskning av temperatur kan kantorn själv stämma orgeln efter, så det blir inte några stora kostnader för omställning då vid stor förändring i temperatur leder till att en orgelstämmare måste hyras in.

Skummeslövs kyrka

Val av värmepump till Skummeslövs kyrka är en luft/luftvärmepump med effektbehov för att hålla uppvärmningen till grundtemperaturen 12 °C. Resterande effektbehov för uppvärmning vid förrättning sköts med nuvarande värmesystem.

Skogaby kapell

För Skogaby kapell har jag valt att dimensionera efter en luft/vattenvärmepump med 100 % effekttäckningsgrad. Detta då det är en liten fastighet och ett lägre värmebehov då den inte används så ofta. Här kan då en lägre innetemperatur hållas mellan förrättningarna kanske ända ner till runt 10 °C för att sedan värmas upp till 17 °C vid förrättning.

St. Gertruds kapell

För St. Gertruds kapell väljer jag en luft/luftvärmepump då inget vattenburet värmesystem finns. Tanken är att ersätta kapellets FTX - aggregat och blåsa ut luften under läktaren som innan. Effekttäckningsgrad är också här 100 % då kapellet används ofta. Vald dimensionerande temperatur är 17 °C.

Nytt effektbehov

Energistatistik och information om byggnaderna har tagit lång tid att få fram samt att analysera. Detta har gjort att liten tid har kunnats lägga på just dimensionering av de nya värmesystemen. Jag har därför begränsat dimensioneringen till val av värmeproduktionsanläggning och typ av reglersystem som passar de olika byggnadernas behov och en överskådlig uppskattning av de nya värmeproduktionsanläggningarnas effekt och täckning av värmebehovet.

För att kunna veta vilken effekt värmepumpen ska ha måste byggnadens effektbehov räknas ut. Det görs med formeln: $P_{dim} = U_{tot} * A_{om} * (t_{rum} - DUT_{20} - \Delta t_{int})$

DUT_{20} = Dimensionerande utetemperatur, är en temperatur som förekommer ett dygn vart 20år. Vilken DUT_{20} man ska välja är beroende på vart i landet byggnaden ligger och hur tung byggnaden är, dess tidskonstant [13]. Då jag inte vet vilken tidskonstant byggnaderna har gör jag ett antagande att Laholms och Skummeslövs kyrka är tunga byggnader vilket ger en $DUT_{20} = -7^{\circ}\text{C}$. Skogaby och St. Gertruds kapell antar jag är medeltunga byggnader vilket ger en $DUT_{20} = -10,5^{\circ}\text{C}$. Detta dels genom att titta på hur temperaturen inne och ute varierar i resultatet av loggningen och hur tjocka byggnadernas väggar är.

Δt_{int} = det interna värmetillskottet, ansätts ofta till 3°C . I en kyrka är värmetillskottet från övriga installationer mm mycket litet, sätter den därför till 0°C .

Tabell 2: Beräkning av dimensionerande effekt för värmepumparna

Byggnad	U_{tot} [$\text{W}/\text{m}^2, \text{K}$]	A_{om} [m^2]	t_{rum} [$^{\circ}\text{C}$]	DUT_{20} [$^{\circ}\text{C}$]	P_{dim} [W]
Laholms kyrka	0,516	2300	17	-7	28483
Skummeslövs kyrka	0,644	1100	12	-7	13460
Skogaby kapell	0,835	444	17	-10,5	10195
St. Gertruds kapell	0,546	603	17	-10,5	9054

Med ett antal antaganden avrundas den dimensionerade effekten för värmepumparna uppåt:

Byggnad	P_{dim} [W]
Laholms kyrka	28500
Skummeslövs kyrka	13500
Skogaby kapell	10200
St. Gertruds kapell	9100

Ny energianvändning för uppvärmning

För att kunna uppskatta den nya energianvändningen för uppvärmning av byggnaderna använde jag mig av antalet gradtimmar, G_t , ett normalår för olika gränstemperaturer då aktiv uppvärmning inte sker längre och normalårstemperaturen för Halmstad [12]. Jag antar att inget uppvärmningsbehov finns då temperaturen ute är över dimensionerad innetemperatur, även då kyrkstyrningen kan ge upphov till att det gör det på sommarhalvåret. Jag antar också att värmepumparna har en medelverkningsgrad på 300 % över ett år. För varje instoppad kWh el ger värmepumpen ut tre kWh värme. Alltså minskas elförbrukningen för uppvärmning med ungefär två tredjedelar.

$$Q_{n,\text{år}} = U_{\text{tot}} * A_{\text{om}} * G_t$$

Laholms kyrka

$$T_g = 17^\circ\text{C} \Rightarrow G_t = 89660^\circ\text{Ch}$$

$$Q_{n,\text{år}} = 0,516 * 2300 * 89660 = 106,4 \text{ MWh/år}$$

Elförbrukningen för uppvärmning per år blir då: $106,4 / 3 = 35,5 \text{ MWh/år}$

Skummeslövs kyrka

$$T_g = 12^\circ\text{C} \Rightarrow G_t = 56740^\circ\text{Ch}$$

$$Q_{n,\text{år}} = 0,644 * 1100 * 56740 = 40,2 \text{ MWh/år}$$

Då intermittent uppvärmning kräver högre effekter och då nuvarande värmesystem skall täcka den intermittenta uppvärmningen räknar jag med att tidigare energianvändning för uppvärmning är den samma nu. Drar därefter bort värmepumpens elförbrukning och då får vi elförbrukningen för uppvärmning per år.

Elförbrukning för uppvärmning per år: $53,5 - 40,2 + (40,2 / 3) = 26,7 \text{ MWh/år}$

Skogaby kapell

$$T_g = 17^\circ\text{C} \Rightarrow G_t = 89660^\circ\text{Ch}$$

$$Q_{n,\text{år}} = 0,835 * 444 * 89660 = 33,24 \text{ MWh/år}$$

Mellan förrättningarna räknar jag med att en grundtemperatur på 10°C hålls. Förrättningar i Skogaby kapell sker ca: 1-2ggr i månaden. Räknar därför med att bara 1/15 av året är önskad innetemperatur 17°C .

$33,24 * 1/15 = 2,216 \text{ MWh/år}$ för att ha en innetemperatur på 17°C 2ggr/mån över ett år.

Detta läggs på energianvändningen för uppvärmning mellan förrättningarna till 11°C .

$$T_g = 10^\circ\text{C} \Rightarrow G_t = 45740^\circ\text{Ch}$$

$$Q_{n,\text{år}} = 0,835 * 444 * 45740 = 16,96 \text{ MWh/år}$$

Total energianvändning för uppvärmning av Skogaby kapell är då:

$$16,96 + 2,216 = 19,2 \text{ MWh/år}$$

Elförbrukningen för uppvärmning per år blir då: $19,2 / 3 = 6,4 \text{ MWh/år}$

St. Gertruds kapell

$$T_g = 17^\circ\text{C} \Rightarrow G_t = 89660^\circ\text{Ch}$$

$$Q_{n,\text{år}} = 0,546 * 603 * 89660 = 29,52 \text{ MWh/år}$$

Elförbrukningen för uppvärmning per år blir då: $29,52 / 3 = 9,8 \text{ MWh/år}$

Investering och återbetalningstider

Investering och återbetalningstider har inte hunnits med under tiden för detta arbete. Arbetet med att göra dessa beräkningar kommer att lämnas över till Anticimex.

Resultat och diskussion

Resultatet av detta arbete är att samtliga byggnader inte klarar kraven för ett skonsamt inneklimat. Därför borde ett reglersystem för styrning av den relativa fuktigheten installeras, en så kallad kyrkstyrning. Samtidigt bör installation av värmepumpar göras, vilket är den typen av värmeproduktionsanläggning som passar bäst för kyrkorna och kapellen. Detta kommer att minska elförbrukningen för uppvärmning med mellan 50-83 %, se tabell 2 nedan. För Skogaby kapell bör också en termostat på radiatoren som saknade en installeras. Det skulle i dagsläget minska elförbrukningen per år med ungefär 2400 kWh. I St. Gertruds och Skogaby kapell sitter bänkraderna tätt intill radiatorerna på långväggarna. Detta hindrar värmeutbytet mellan radiatorerna och inneluften. Man bör därför försöka flytta bänkraderna en liten bit ut från väggen vilket kommer att minska uppvärmningstiden då större värmeutbyte med inneluften kommer att ske. Kylrummet i St. Gertruds kapell bör också tilläggsisoleras för att minska energianvändningen för kylning av rummet.

Målet och syftet med detta projekt var att göra en energikartläggning över kyrkorna och kapellen. Därefter föreslå effektiviseringsåtgärder för att minska elförbrukningen för uppvärmning och därmed miljöpåverkan. Med en del motgångar har arbetet mer hamnat på energikartläggning och besiktning av inneklimaten och klimatskalen samt att reda ut grunderna så att bra energieffektiviseringsåtgärder ska kunna skapas.

Tabell 3: Elförbrukning för uppvärmning före och efter installation av värmepump.

Byggnad	Elförbrukning per år före åtgärder [MWh/normalår]	Elförbrukning per år efter åtgärder [MWh/normalår]	Procentuell minskning av elförbrukningen för uppvärmning [%]
Laholms kyrka	89,6	35,5	60,4
Skummeslövs kyrka	53,5	26,7	50,1
Skogaby kapell	38,9	6,4	83,5
St. Gertruds kapell	32,0	9,8	69,4

Elförbrukning för uppvärmning fördelat på antalet kvadratmeter golvyta (A_{temp}) och normalår, efter installation av värmepump [kWh/m ² ,år]
57,7
136,9
58,2
78,4

Efter installation av värmepumparna ligger samtliga kyrkor och kapell i detta arbete väl under tidigare referensvärde/börvärde för uppvärmning av kyrkor och kapell på 160 kWh/m²,år.

Slutsats

Detta examensarbete visade sig vara ett uppdrag med många motgångar. Införskaffning av energistatistik var mycket omständligt vilket tog lång tid och statistik som visade sig vara fel. För Skogaby kapell låg förbrukningen för år 2007 för uppvärmning först på 57 MWh vilket är tok för mycket. Detta gav en stark larmsignal vilket gjorde att en stor fokus riktades på Skogaby kapell och med förhoppningar om att hitta det stora felet. Men det visade sig att i energistatistiken från Södra Hallands Kraft låg det kvar gamla förbrukningsvärden för den tidigare oljepannan. Den verkliga förbrukningen för år 2007 hamnade istället på 34,8 MWh. Det har också varit svårt att få fram korrekt information runt byggnaderna. Dokumentering av klimatskalen var bristande. På grund av det gick det inte att räkna ut transmissions och ventilationsförlusterna förutom med energistatistiken. Men då den också var bristfällig samt att inte alla komponenter i värmesystemen fanns dokumenterade med installerad effekt hamnade jag i ett dilemma om att behöva uppskatta energianvändningen för uppvärmningen. Alla dessa motgångar gjorde att jag ha hamnade längre och längre bak i tidsplanen för arbetet, vilket resulterade i att dimensioneringen av nya värmeproduktionsanläggningar blev mer en översikt om vad som finns på marknaden samt hur mycket lägre elförbrukning blir med installation av värmepump. Det har också varit svårt att motivera inblandade personer att ta fram relevant nödvändig information. Det som jag har lärt mig mest av i detta arbete är att jag har fått en bra inblick av hur verkligheten kan ser ut.

Referenser

Källförteckning

- [1] Lag om kulturminnen m.m., www.riksdagen.se/Webbnav/index.aspx?nid=3911&bet=1988:950 , 2008-05-14
- [2] Broström, Tor, Uppvärmning i kyrkor, Doktorsavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 1996
- [3] Broström, Tor, Handbok för energieffektivisering i kyrkor, utkast 2008-01-14, ej publicerad
- [4] Axelsson, Ehnström, Insekts gnag i bark och ved, ArtDatabanken SLU, 2002
- [5] CO₂-utsläpp per förbrukad kWh, utslappsratt.se/hjalp-med-berakning-av-hur-mycket-koldioxid-du-slapper-ut-2.html, 2008-05-30
- [6] Vård- och underhållsplan för kyrkor och kapell i Laholms kyrkliga samfällighet, Göteborgs stift, Laholms kommun, Restaurator AB, 2004-06-23
- [7] Boverkets författarsamling, BFS 2007:4, BED 1, tabell 9
- [8] Sveriges officiella statistik, Statistiska meddelanden EN 16 SM 0503, Energistatistik för lokaler 2004, Tabell 12b
- [9] SMHI, Graddagar i Laholm för år 2007 och normalår, bekostat av Anticimex Halmstad
- [10] Taesler, Roger, Klimatdata för Sverige, 1972, Torslanda flygplats, tabell a1, ISBN 91-540-2012-3
- [11] SMHI, Väder och Vatten 2/2007-1/2008
- [12] Adalberth, Wahlström, Energibesiktning av byggnader –flerbostadshus och lokaler, SIS förlag, 2007, tabell 3-4
- [13] Petersson, Bengt-Åke, Tillämpad byggfysik, Studentlitteratur, Lund 2004

Referenslitteratur

- Abel, E, Elmroth, A, Byggnaden som system, Forskningsrådet Formas 2006, ISBN 91-540-5974-1
- Broström, Tor, Handbok för energieffektivisering i kyrkor, utkast 2008-01-14, ej publicerad
- Frederiksen, S, Werner, S, Fjärrvärme – Teori, teknik och funktion, Studentlitteratur 1993, ISBN 91-44-38011-9
- Nyström, Lars, Energihushållning - System och installationer i byggnader med tonvikt på att spara energi, 1992

Bilagor

BILAGA A: LOGGNING AV TEMPERATUR OCH RELATIV FUKTIGHET	II
A1: LAHOLMS KYRKA	II
A2: SKUMMESLÖVS KYRKA	VII
A3: SKOGABY KAPELL	X
A4: ST. GERTRUDS KAPELL.....	XIII
BILAGA B: NUVARANDE VÄRMESYSTEM.....	XVI
B1: LAHOLMS KYRKA	XVI
B2: SKUMMESLÖVS KYRKA.....	XVII
B3: SKOGABY KAPELL	XVIII
B4: ST. GERTRUDS KAPELL.....	XIX
BILAGA C: BESIKTNING AV KLIMATSKAL MED VÄRMEKAMERA	XXI
C1: LAHOLMS KYRKA	XXI
C2: SKUMMESLÖVS KYRKA.....	XXII
C3: SKOGABY KAPELL	XXIII
C4: ST. GERTRUDS KAPELL.....	XXIV

Bilaga A: Loggning av temperatur och relativ fuktighet

För att undersöka inneklimatet har två olika dataloggrar använts:

- 4 st HOBO onset computer corporation
- 5 st Tinytag Plus2 TGP-4500



Bild: HOBO

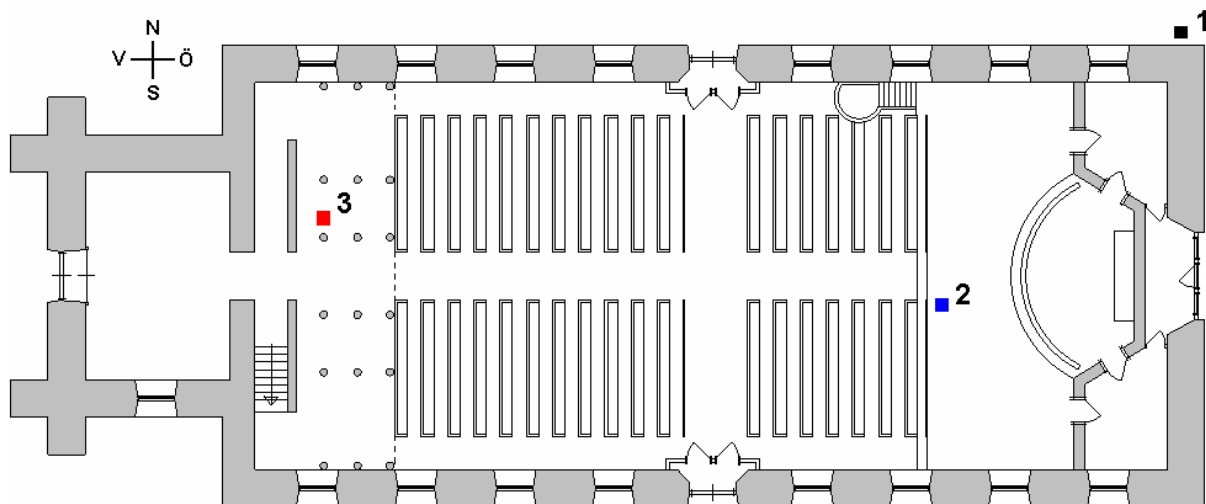


Bild: Tinytag

Båda dataloggarna mäter temperatur och relativ fuktighet. HOBO dataloggen registrerar också luftfuktigheten g vattenånga per kg torr luft.

Vid analysering av mätvärdena har jag använt programmet EasyView från INTAB Interface-Teknik AB.

A1: Laholms kyrka



Figur A1: Dataloggarnas placering. Färgkod enligt de utförda mätningarna.

Mätvärden över Laholms kyrka loggades med hjälp av 3 st HOBO dataloggrar. Dataloggarna var placerade enligt figur A1, en ute vid nordöstra gaveln (nr: 1 svart), en inne vid främre bänkraden på talstolen (nr: 2 blå) och en uppe på läktaren inuti orgeln (nr: 3 röd). Mätningarna ägde rum över nästan 7,5 veckor, från 21/1 till 13/3 2008.



Bild 1A1: Loggning utomhus, nordöstra gaveln.

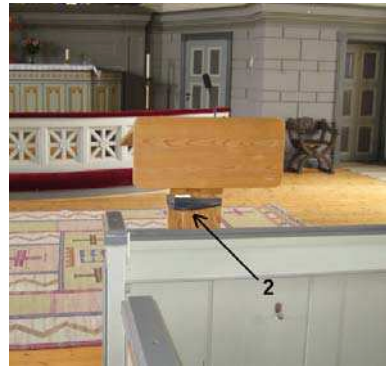
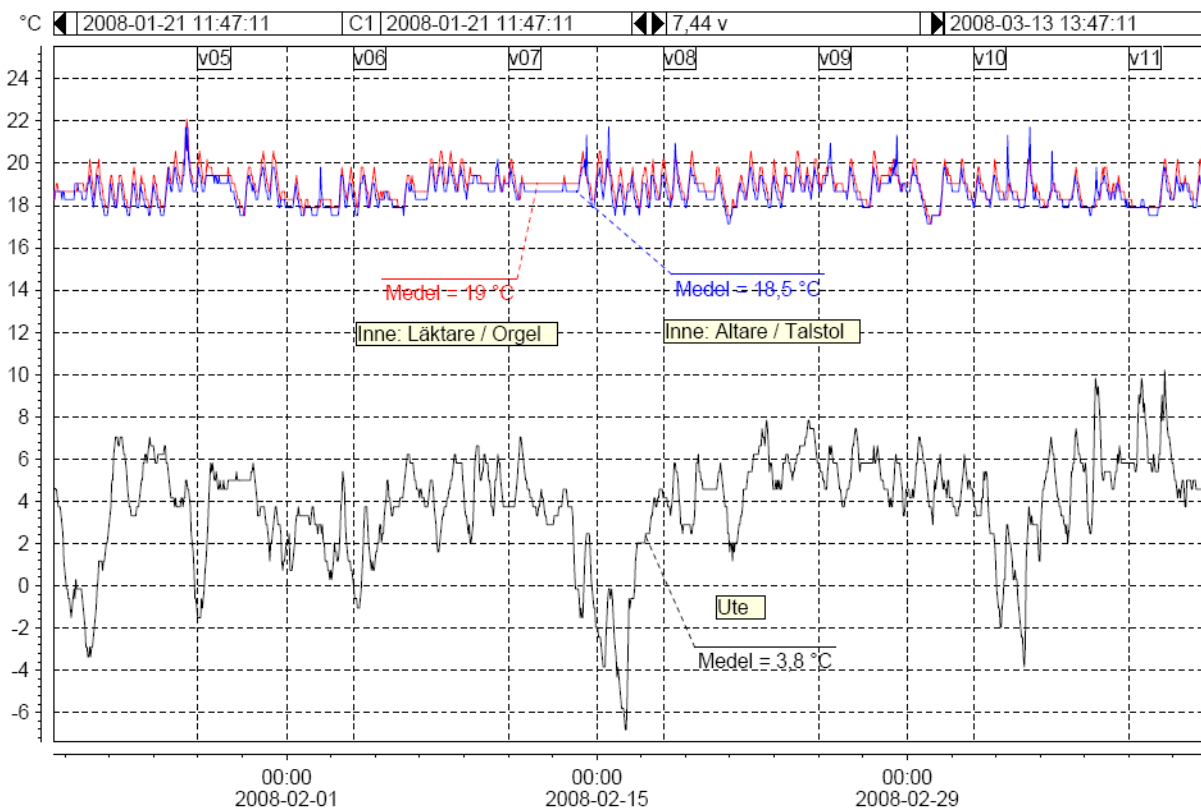


Bild 2A1: Loggning inne vid altaret/talstol.



Bild 3A1: Loggning inne på läktaren, inuti orgeln.

Laholms kyrka värms upp konstant till 19°C vilket vi ser i diagram 1A1 på nästa sida. Detta gör att den relativa fuktigheten under uppvärmningssäsongen är låg, enligt utförd mätning mellan 30-35 %. Detta torkar ut träföremålen i kyrkan vilket leder oftast till sprickbildning. Då byggnaden är en mycket tung byggnad kommer väggarna kyla inomhusluften även då inget behov av uppvärmning finns. Det kan leda till kondens på väggarna som i sin tur kan leda till fuktskador, vilket inte är positivt. Här ligger det till stor vikt att försöka höja den relativa fuktigheten under vinterhalvåret och sänka under sommarhalvåret. För att höja den relativa fuktigheten finns det bara ett alternativ, att sänka inomhustemperaturen. På grund av att byggnaden används ofta går det inte att tillämpa intermittert uppvärmning. Det som man kan göra är att sänka grundtemperaturen från 19°C till 17°C vilket fortfarande är en behaglig temperatur för användarna och besökarna. Sänkningen skulle resultera i att den relativa fuktigheten under vinterhalvåret hamnar upp mot 40-45 %, vilket är inom önskad nivå för RF 40-60 %.



Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
■	°C	Inne: Orgel	18,92	17,14	22,09	2008-01-21...	2008-03-13...	1 t
■	°C	Ute	3,78	-6,82	10,21	2008-01-21...	2008-03-13...	1 t
■	°C	Inne: Altare	18,64	17,14	21,71	2008-01-21...	2008-03-13...	1 t

Tabell 1A1: Resultat vid loggning av temperatur.

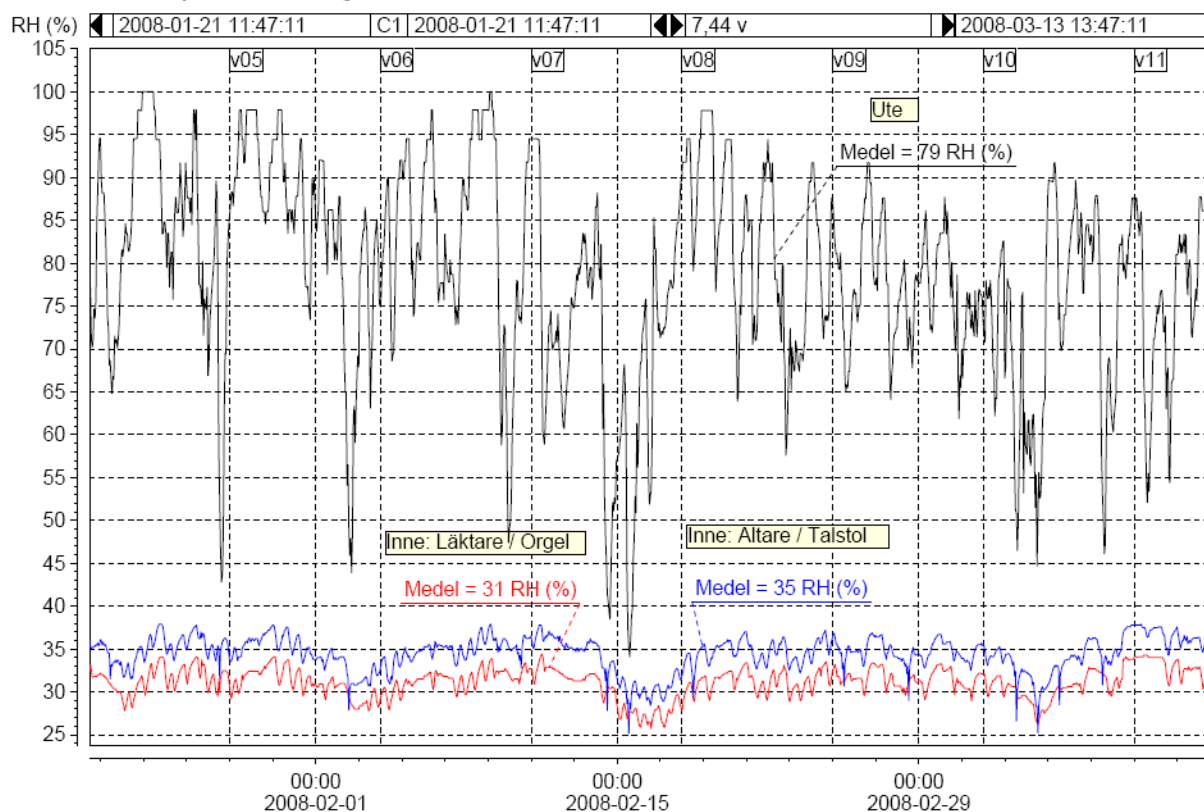


Diagram 2A1: Variationerna av relativ fuktighet under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
■	RH (%)	Ute	78,86	34,10	100,...	2008-01-2...	2008-03-13 ...	1 t
■	RH (%)	Orgel	31,17	25,70	34,40	2008-01-2...	2008-03-13 ...	1 t
■	RH (%)	Altare	34,48	25,20	37,90	2008-01-2...	2008-03-13 ...	1 t

Tabell 2A1: Resultat vid mätning av relativ fuktighet.

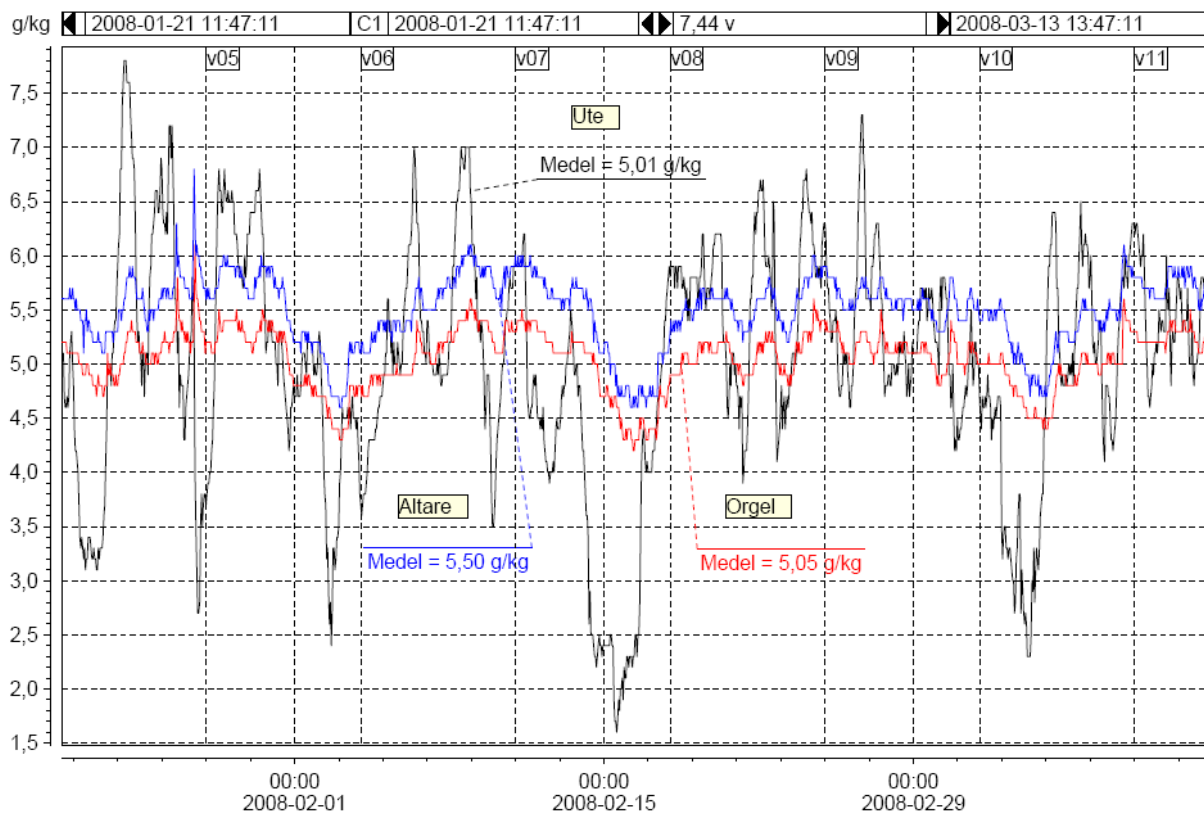
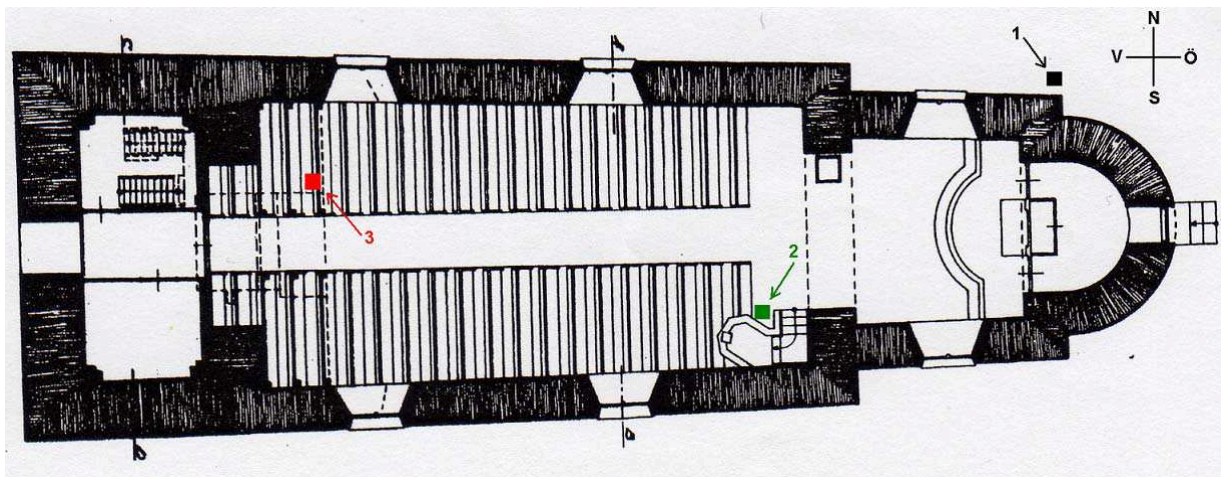


Diagram 3A1: Luftfuktighetens variation under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
■	g/kg	Ute	5,01	1,60	7,80	2008-01-2...	2008-03-1...	1 t
■	g/kg	Orgel	5,05	4,20	6,10	2008-01-2...	2008-03-1...	1 t
■	g/kg	Altare	5,50	4,60	6,80	2008-01-2...	2008-03-1...	1 t

Tabell 3A1: Resultat vid loggning av luftfuktigheten.

A2: Skummeslövs kyrka



Figur A2: Loggarnas placering. Färgkod enligt de utförda mätningarna nedan.

Mätvärden över Skummeslövs kyrka loggades med hjälp av 1 st HOBO och 2 st Tinytag dataloggrar. Loggarna placerades enligt bilden ovan. En Tinytag var placerad vid orgeln på läktaren (nr: 3 röd) och en utomhus på nordostliga stuprännan (nr: 1 svart). En HOBO datalogger placerades också vid predikstolen (nr: 2 grön). Mätningarna varade under 8,5 veckor, från 15/2 till 15/4 2008.



Bild 1A2: Loggning ute vid nordöstra stuprännan.



Bild 1A2: Loggning inne vid predikstol.



Bild 2A2: Loggning inne vid orgeln på läktaren.

Man kan tydligt se på resultaten av mätningarna (pikarna) nedan i diagram 1A2 att Skummeslövs kyrka värms upp intermittent. Grundtemperaturen inomhus ligger mellan förrättningarna på 14 °C som sedan värms till 18 °C vid förrättning. Vid en medeltemperatur på 16 °C inomhus var medel för den relativa fuktigheten nästan 45 %. Här finns det inte någon anledning att ändra uppvärmningsstrategin mer än att tillsätta givare för styrning av relativ fuktighet.

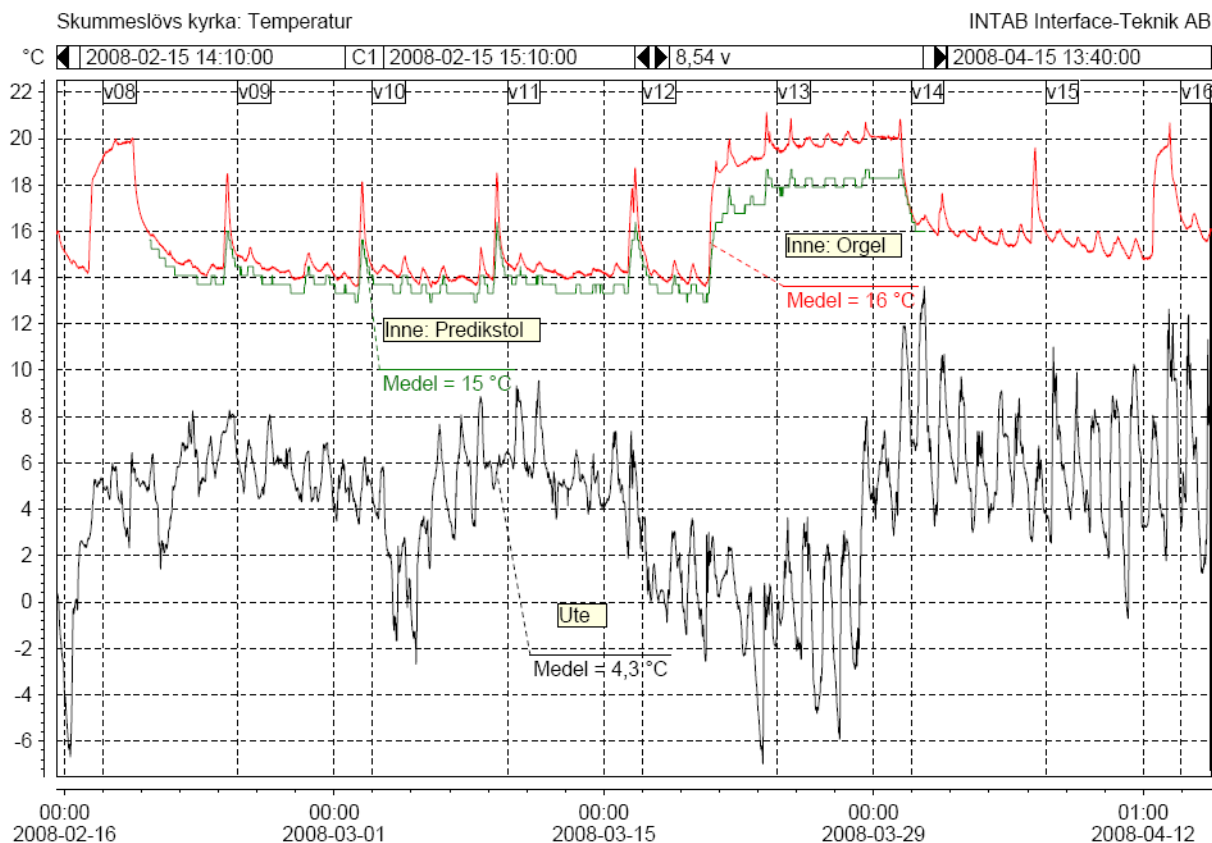


Diagram 1A2: Temperaturvariationerna under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
■	°C	Ute	4,29	-6,99	13,61	2008-02-15 ...	2008-04-1...	30 m
■	°C	Orgel	16,02	13,57	21,12	2008-02-15 ...	2008-04-1...	30 m
■	°C	Predikstol	14,88	12,93	18,66	2008-02-20 ...	2008-03-3...	30 m

Tabell 1A2: Resultat vid loggning av temperatur.

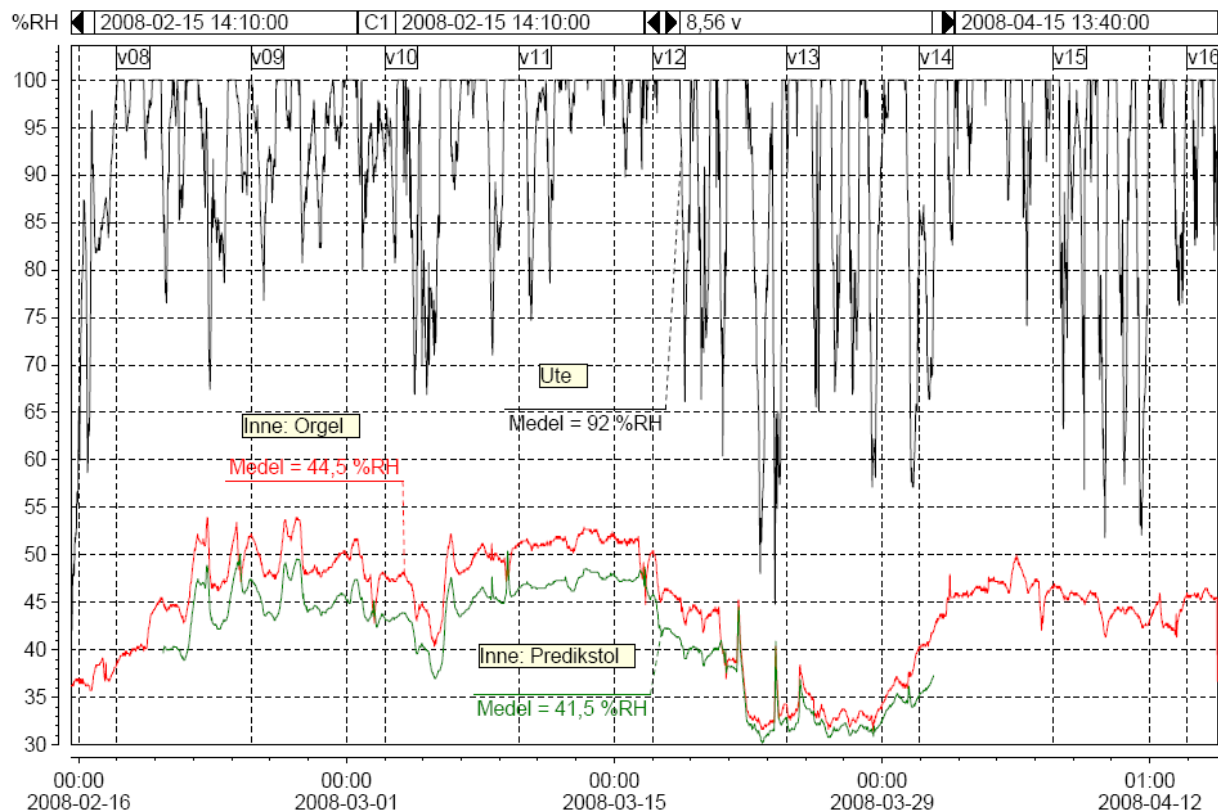
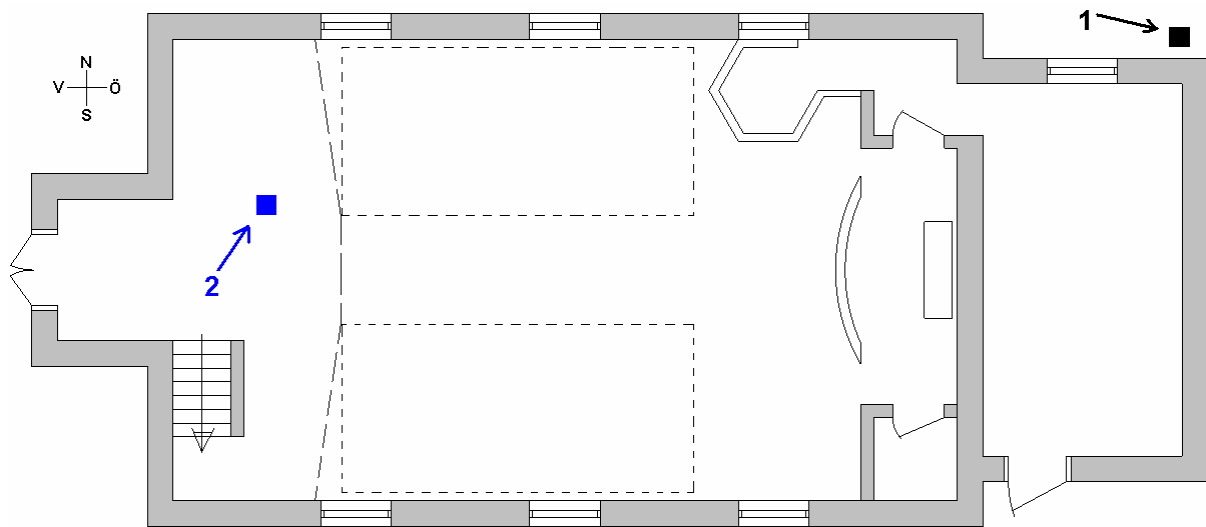


Diagram 1A2: Variationerna av relativ fuktighet under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
■	%RH	Ute	91,96	39,37	100,00	2008-02-15...	2008-04-15...	30 m
■	%RH	Orgel	44,55	31,41	53,94	2008-02-15...	2008-04-15...	30 m
■	%RH	Predikstol	41,54	30,20	50,40	2008-02-20...	2008-03-31...	30 m

Tabell 1A2: Resultat vid loggning av relativ fuktighet.

A3: Skogaby kapell



Figur A3: Loggarnas placering. Färgkod enligt de utförda mätningarna nedan.

Mätvärden över Skogaby kapell loggades med hjälp av 2 st Tinytag dataloggrar. En Tinytag var placerad vid orgeln på läktaren (nr: 2 blå) och en utomhus på nordöstra gaveln på stuprännan (nr: 1 svart). Mätningarna ägde rum över drygt 8,5 veckor, från 15/2 till 15/4 2008.



Bild 1A3: Loggning ute vid nordöstra gaveln.



Bild 2A3: Loggning inne vid orgeln på läktaren

Av mätvärdena från loggningen av temperatur, diagram 1A3, kan man se att innetemperaturen i Skogaby kapell har en tendens till att vara lite instabilt. Något direkt sammanhang mellan inomhus och utetemperatur syns knappt samt att variationerna inte har något klart mönster. Det man kan se är då kapellet används vilket är de pikar som går över 21 °C. Det ser ut som att en temperatur på runt 19 °C försöks hållas av värmesystemet, men är svårt att anta då användarna av kapellet justerar den centrala termostaten efter vilken temperatur som önskas för stunden. Samtidigt med att en termostat på en av radiatorerna saknas är det svårt att avgöra om det är brister i värmesystemet eller klimatskalet som bidrar med de relativt kraftiga variationerna av innetemperaturen.

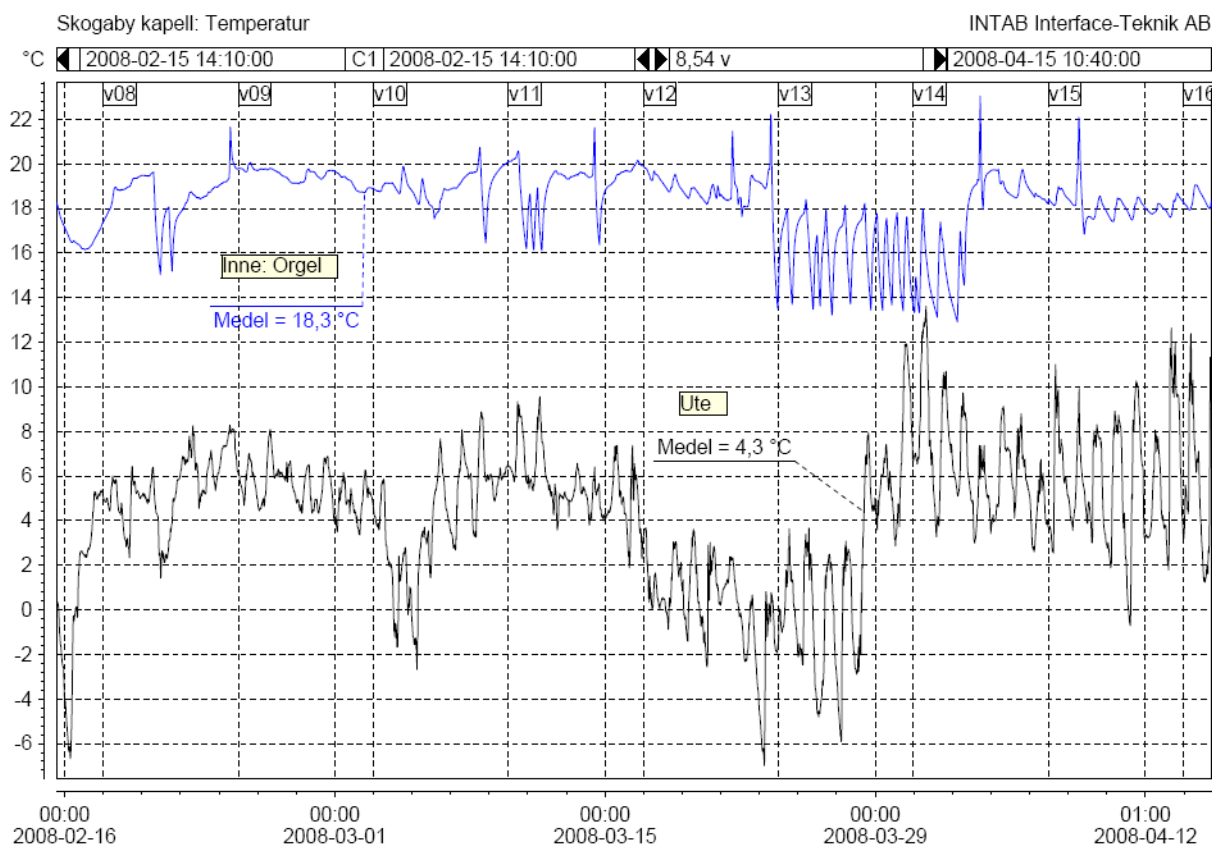


Diagram 1A3: Temperaturvariationerna under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
■	°C	Ute	4,28	-6,99	13,61	2008-02-15...	2008-04-15...	30 m
■	°C	Inne: Orgel	18,25	12,90	23,03	2008-02-15...	2008-04-15...	30 m

Tabell 1A3: Resultat av loggning av temperatur.

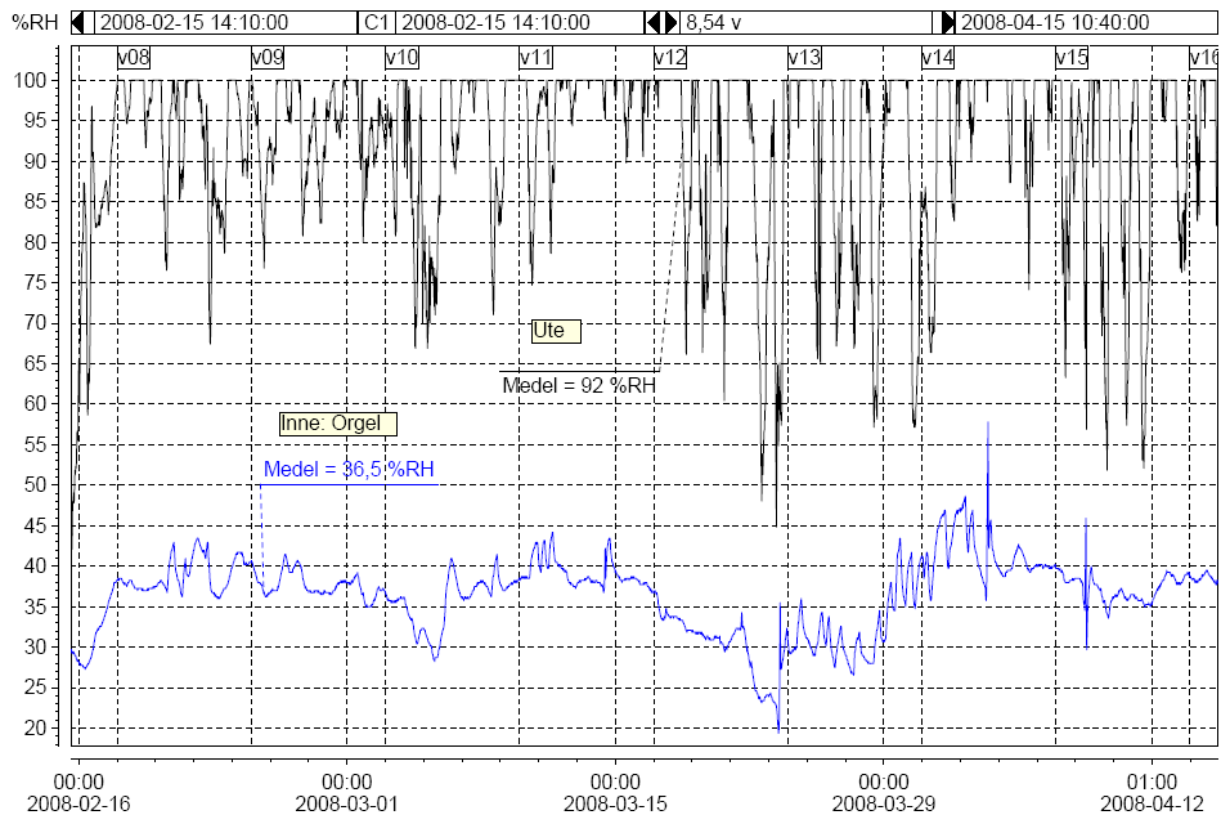
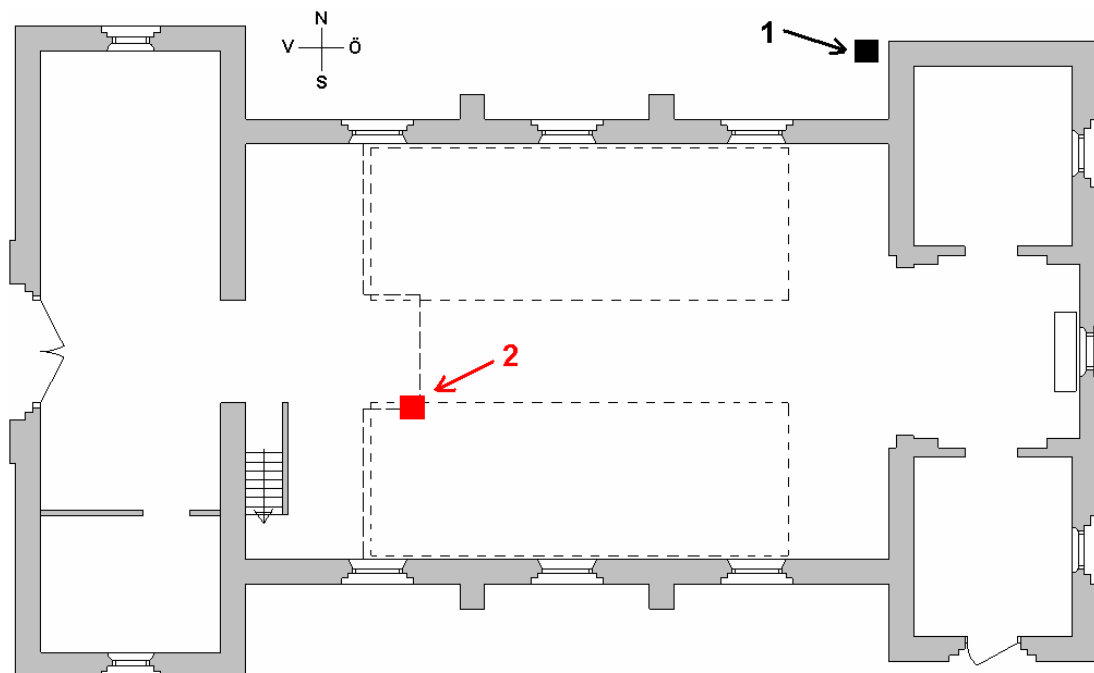


Diagram 2A3: Variationerna av relativ fuktighet under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
	%RH	Ute	91,96	39,37	100,...	2008-02-15...	2008-04-15...	30 m
	%RH	Inne: Orgel	36,46	19,35	57,80	2008-02-15...	2008-04-15...	30 m

Tabell 2A3: Resultat vid loggning av relativ fuktighet.

A4: St. Gertruds kapell



Figur A4: Loggarnas placering. Färgkod enligt de utförda mätningarna nedan.

Mätvärden över St. Gertruds kapell loggades med hjälp av 2 st Tinytag dataloggar. En Tinytag var placerad vid orgeln på läktaren (nr:2 röd) och en utomhus på nordöstra stuprännan (nr:1 svart). Mätningarna ägde rum över drygt 7,5 veckor, från 15/2 till 8/4 2008.

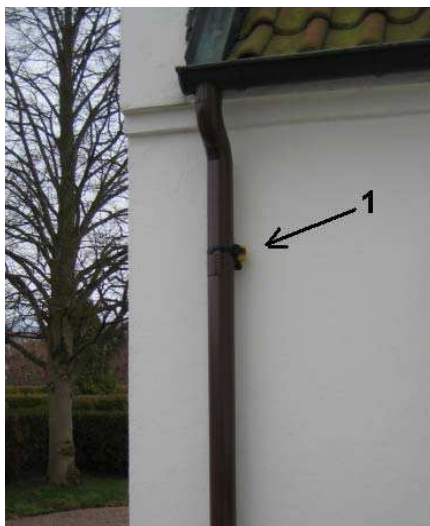


Bild 1A4: Loggning ute vid nordöstra stuprännan.

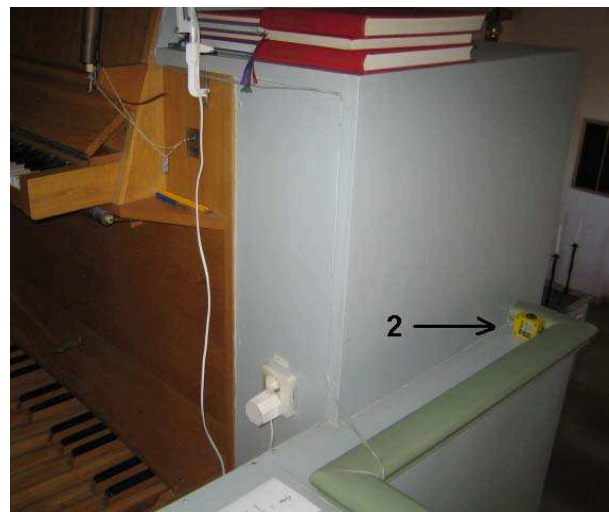


Bild 2A4: Loggning inne vid orgeln på läktaren

I diagram 1A4 nedan ser man att en relativt konstant uppvärmning hålls till runt 19°C under mätintervallet i St. Gertruds kapell. Inneklimatet liknar Laholms kyrkas som också värms upp konstant till 19°C.

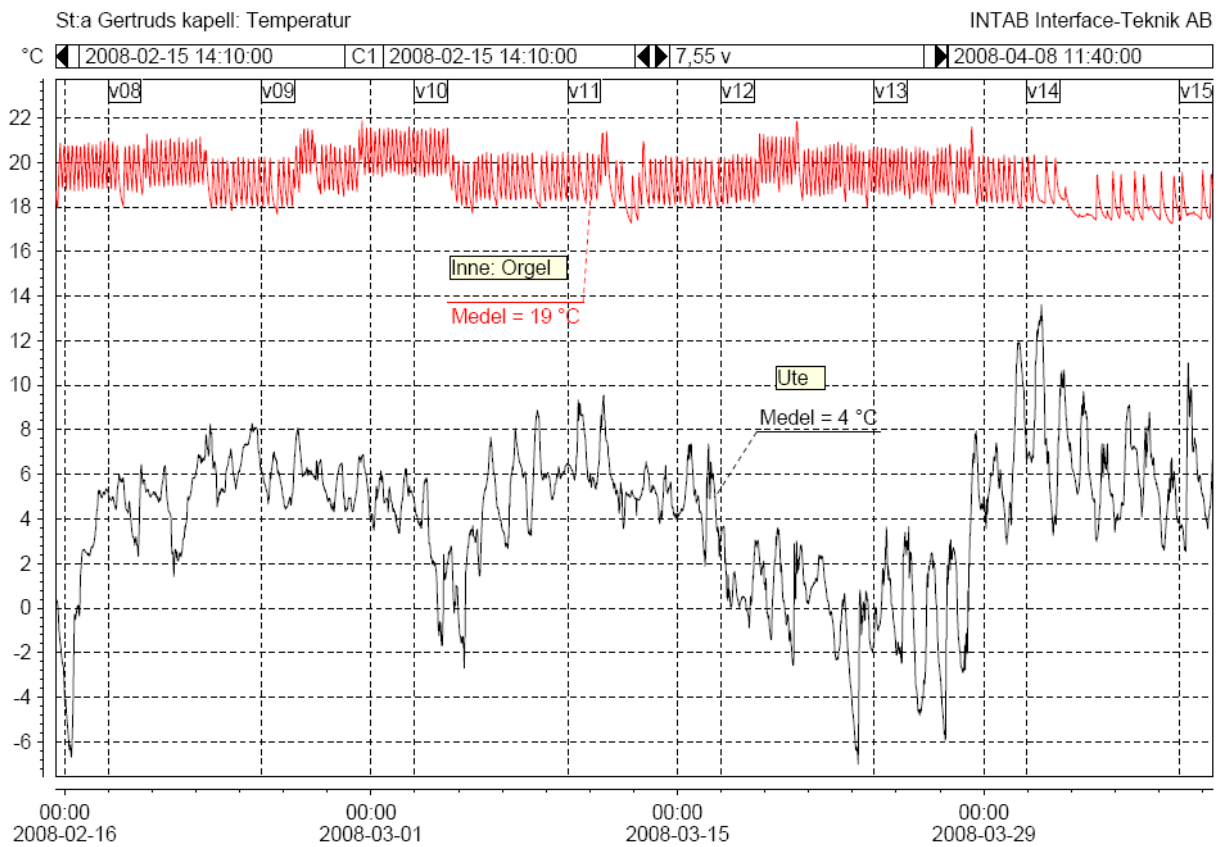


Diagram 1A4: Temperaturvariationerna under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
	°C	Ute	4,08	-6,99	13,61	2008-02-15...	2008-04-08...	30 m
	°C	Inne: Orgel	19,25	17,25	21,86	2008-02-15...	2008-04-08...	30 m

Tabell 1A4: Resultat vid loggning av temperatur.

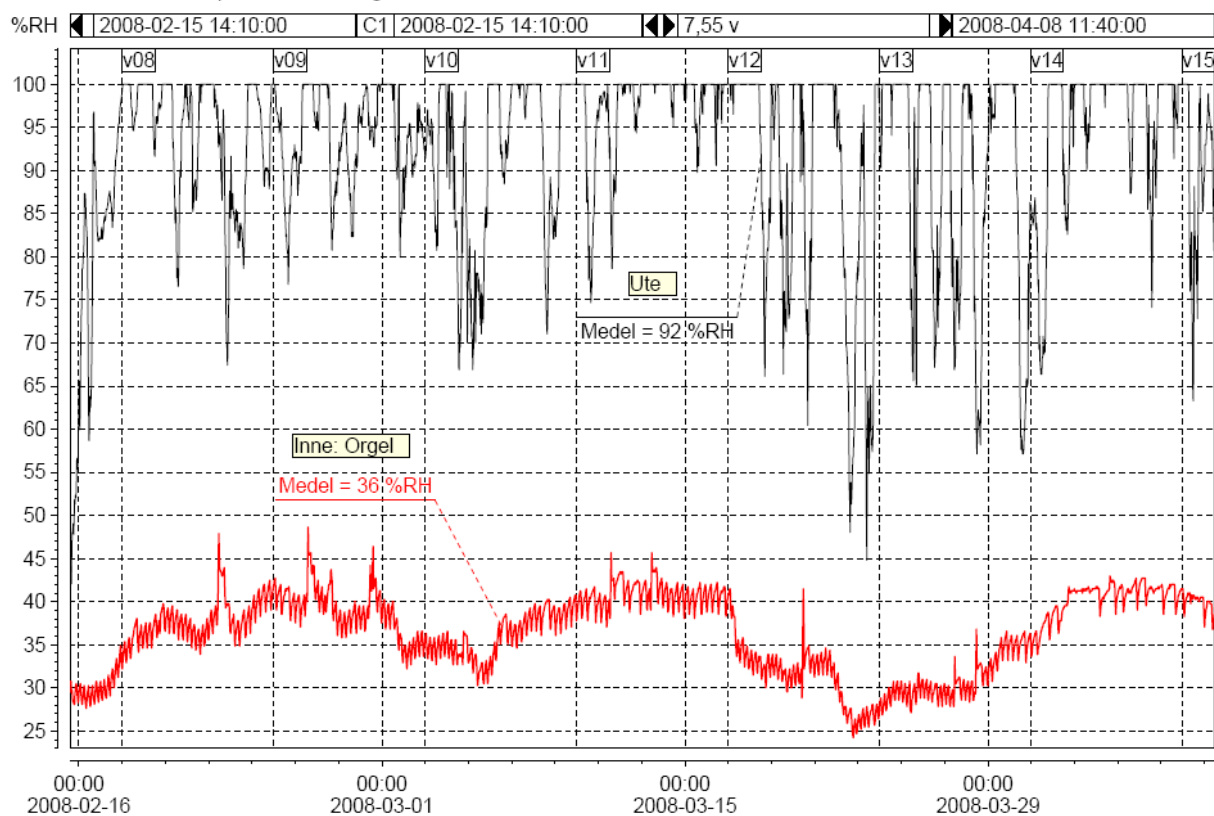


Diagram 2A4: Variationerna av relativ fuktighet under mätintervallet.

Färg	Enhet	Benämning	Med	Min	Max	Början	Slut	Intervall
■	%RH	Ute	92,22	39,37	100,00	2008-02-15 ...	2008-04-08 ...	30 m
■	%RH	Inne: Orgel	36,41	24,23	48,64	2008-02-15 ...	2008-04-08 ...	30 m

Tabell 2A4: Resultat vid loggning av relativ fuktighet.

Bilaga B: Nuvarande värmesystem

B1: Laholms kyrka

I källaren på den östra kortsidan ligger pannrummet. Värmeproduktionsanläggningen ser vi nere till vänster vilket är en 40,5 kW elkassett. I mitten ser vi shuntventilen och cirkulationspumpen samt till höger ackumulatortanken.



Reglering av uppvärmningen sker med en reglercentral med både givare utomhus vid den nordöstra gaveln och inomhus framme vid altaret.



Radiatorerna längs väggarna i långhuset är 27 st sektionsradiatorer av varierande storlekar. En av dem är på bilden till vänster. I vapenhuset är det däremot 3 st 400W elradiatorer med separata termostater för uppvärmning.



B2: Skummeslövs kyrka

Framme i golvet vid altaret ligger det golvvärme med tyvärr okänd installerad effekt. På var sida av altaret hänger 2 st 800W oljefyllda elradiatorer på väggen, se bilden till höger.



Bilden till vänster ser vi ett elvärmerör på 100W som står i kyrkans alla 6 st fönster. Till höger ser vi strålvärmare på 150W som sitter under bänkarna, totalt 66 st.



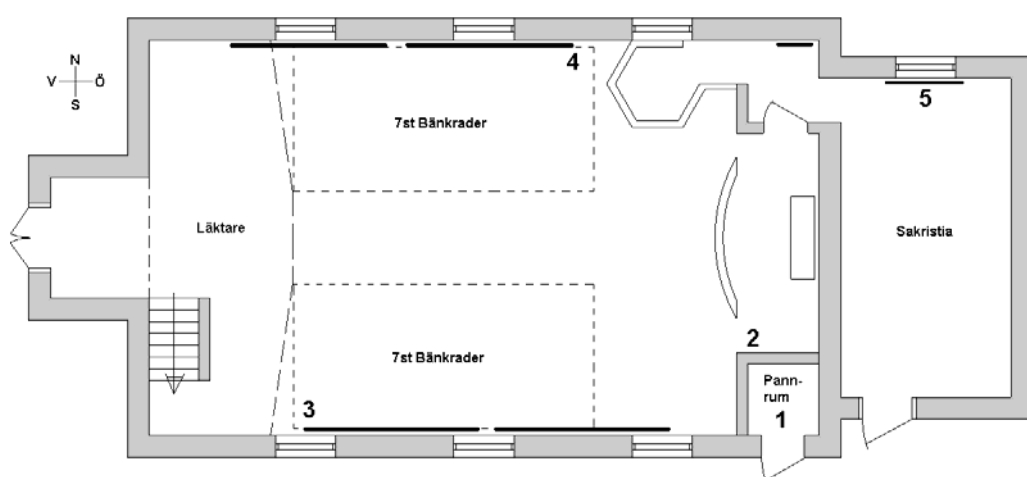
I vapenhuset används 4 st kamrörsradiatorer på 775W för uppvärmning. Bilden nedan är en utav de fyra.



Värmesystemet regleras genom en reglercentral uppe på vinden i tornet och med hjälp av två stycken givare, en vid altaret och en under läktaren.

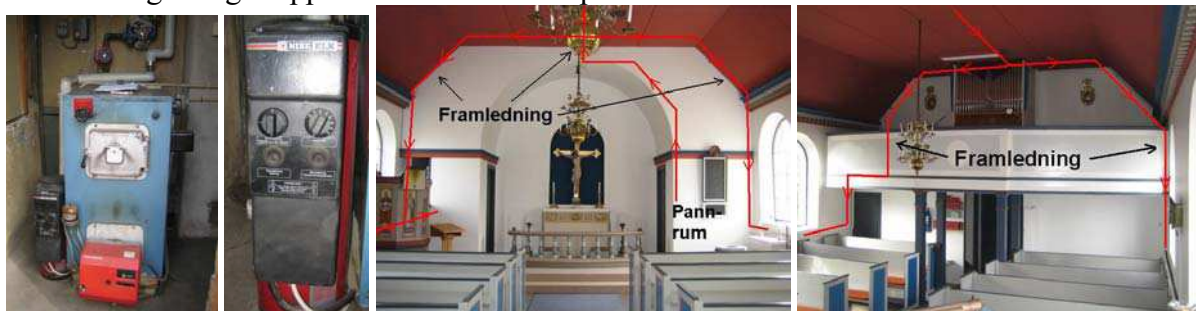


B3: Skogaby kapell



Figur B3: Planritning över Skogaby kapell samt värmesystemets utplacering. Siffrorna i figuren är detsamma som förklaringarna till bilderna.

1: Undertill är bilder på elpannan ihop med den gamla oljepannan till vänster samt hur framledningarna går upp i taket och leds ner på sidorna till radiatorerna.



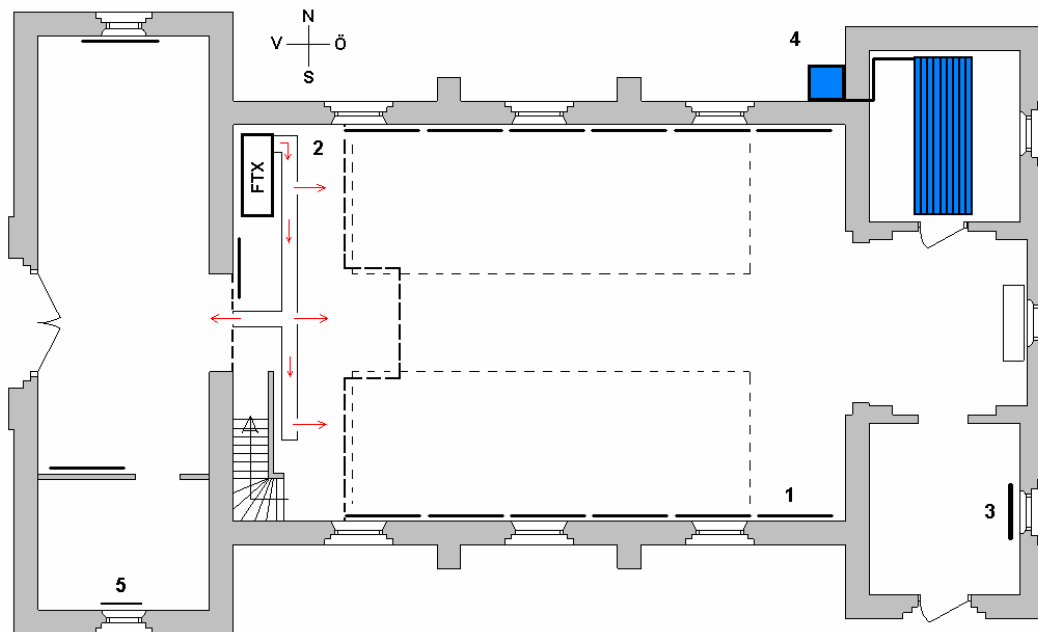
2-4: Till vänster är en bild på den centrala termostaten som reglerar flödet i ledningarna med en cirkulationspump i pannrummet. I mitten en bild på den termostaten som var borta samt till höger panelradiator med termostaten som hänger på långväggarna i kyrkorummet.



5: Sektionsradiator bakom skrivbordet i sakristian.



B4: St. Gertruds kapell



Figur B4: Planritning över St. Gertruds kapell samt värmesystemets och kylanläggningens utplacering. Siffrorna i figuren är detsamma som förklaringarna till bilderna.

1: Till vänster är en bild på de oljefyllda elradiatorerna (panelradiatorer) med separata termostater på varje radiator, fördelade enligt figur B4, totalt 15st på 1200W vardera. I mitten är en bild på en av de separata termostaterna samt till höger den centrala termostaten.



2: Överst är två bilder på FTX - aggregatet på läktaren och under dem två bilder på luftkanalerna med tilluftsdon för utblås under läktaren. Längst ner till höger är en bild på en frånluftsfläkt som sätts på manuellt vid behov.



3: Bild på panelradiatorn i sakristian.



4: Kylanläggningen till kylrummet för tillfällig förvaring av kistorna innan begravning. Till vänster är en bild på produktionsanläggningen för kyla och i mitten kylflänsarna i taket inne i kylrummet samt till höger termostaten till kylanläggningen.



5: Direktverkande elradiator i ett kontor i södra vapenhuset, okänd effekt.



Bilaga C: Besiktning av klimatskal med värmekamera

C1: Laholms kyrka

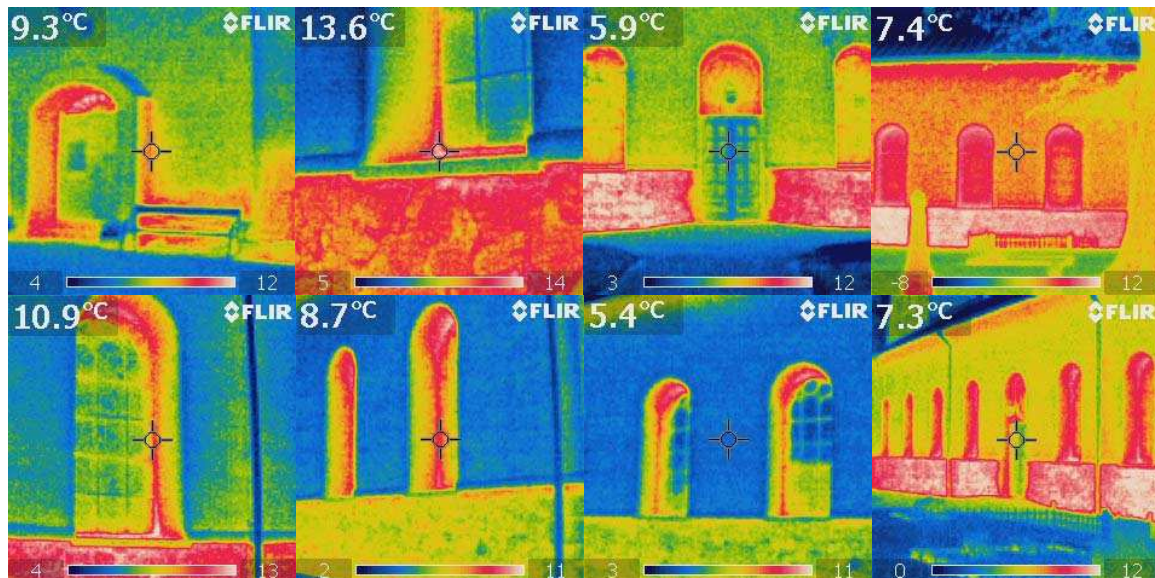


Bild 1C1: Laholms kyrka mot söder.



Bild 2C1: Laholms kyrka mot norr.

Laholms kyrkas bilder med värmekameran ser bra ut. Det finns inte några avgörande defekter i klimatskalet förutom runt fönster. Tätning av dessa är ett alternativ till förbättring.



Bilder C1: Värmekamerabilder tagna på Laholms kyrka.

C2: Skummeslövs kyrka

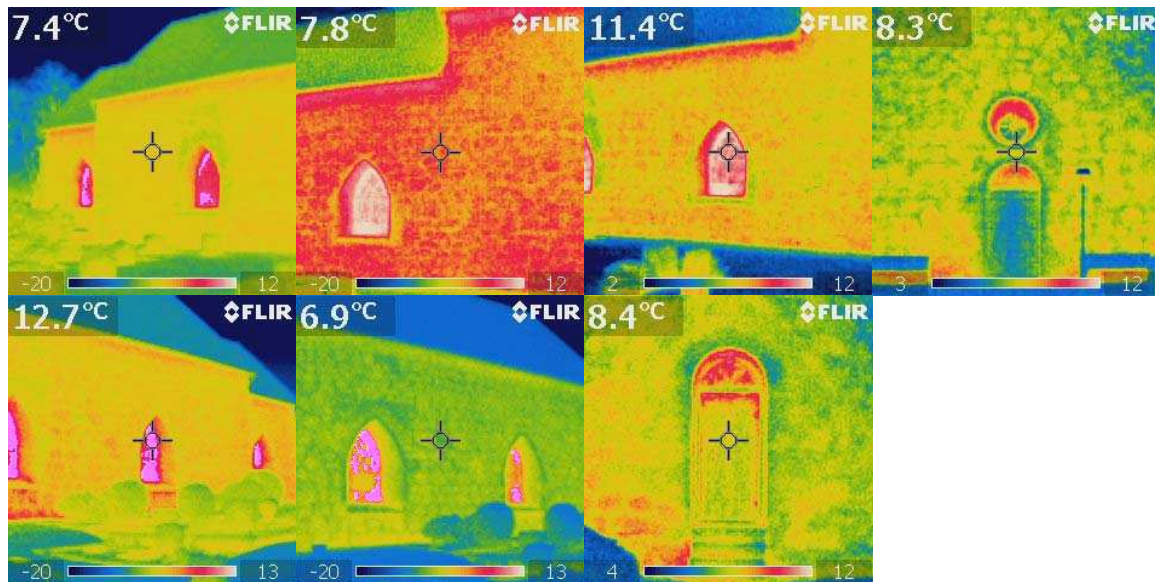


Bild 1C2: Skummeslövs kyrka mot norr.



Bild 2C2: Skummeslövs kyrka mot söder.

Om man tittar på bilderna C2 tagna med värmekamera syns inte några avgörande köldbryggor. Det ser ut att vara ett mycket tätt och bra klimatskal. Bilderna är tagna på natten då en lägre temperatur hålls i kyrkan. Det kan göra att brister i klimatskalet inte syns på grund av den lägre temperaturskillnaden mellan ute och inne.

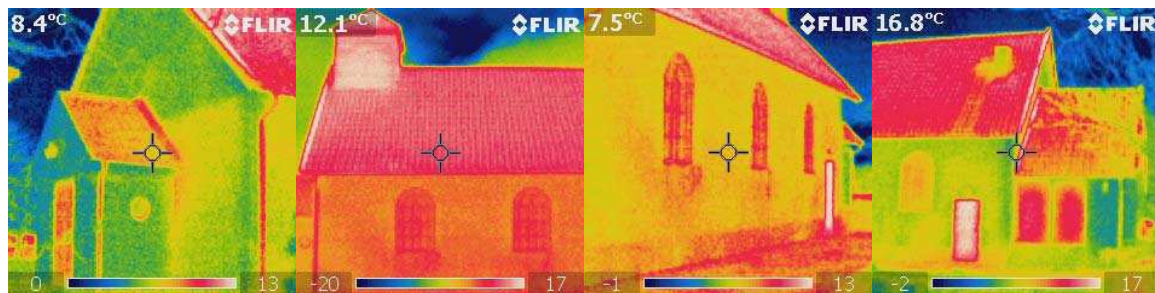


Bilder C2: Värmekamerabilder tagna på Skummeslövs kyrka.

C3: Skogaby kapell



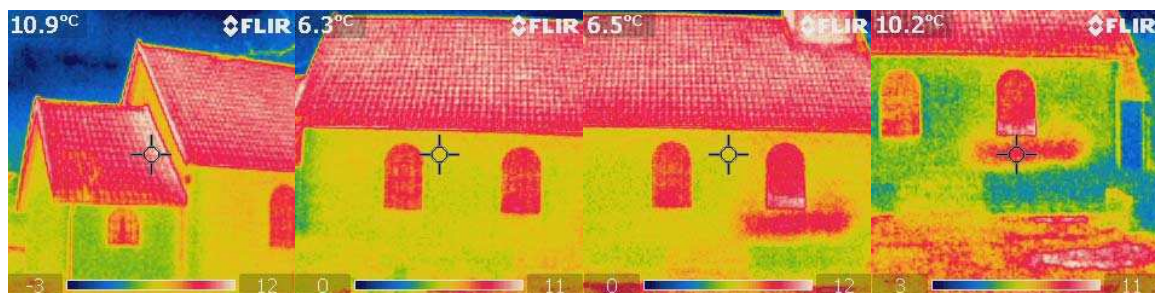
Bild 1C3: Skogaby kapell mot söder.



Bilder 1C3: Värmekamerabilder tagna på kapellets södra sida.



Bild 2C3: Skogaby kapell mot norr.



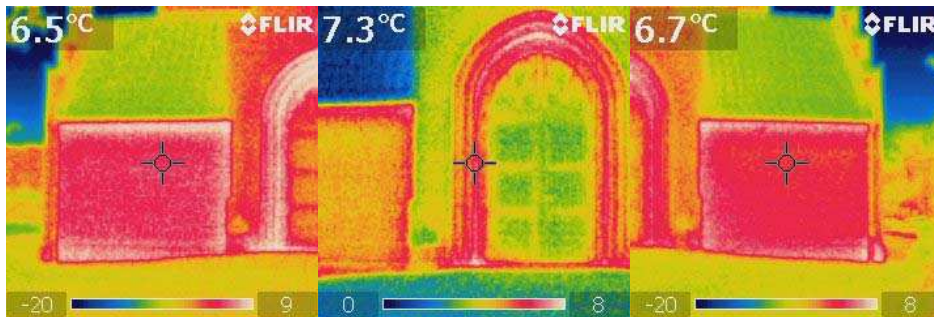
Bilder 2C3: Värmekamerabilder tagna på kapellets nordliga sida.

Bilderna med värmekameran togs på dagen då temperaturskillnaden mellan ute och inne var över 10°C. Då användes bara en radiator fullt ut och resterande var av eller på med mycket låg temperatur. Detta syns mycket väl på bilderna 2C3, de två till höger, där den långa röda randen under en av fönsterrutorna är den radiatoren som användes fullt ut. Detta är ett tecken på bristande isolering i väggen.

C4: St. Gertruds kapell



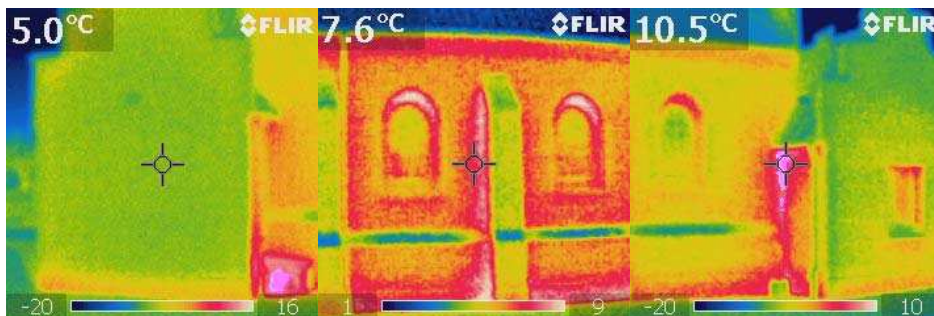
Bild 1C4: Kortsida mot väster.



Bilder 1C4: Bilder med värmekameran på västra väggen.



Bild 2C4: Långsida mot norr.

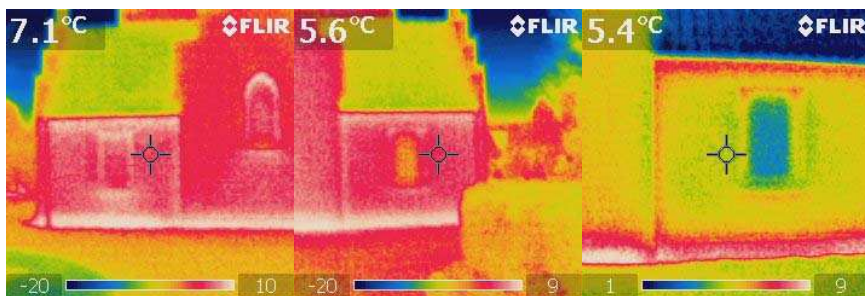


Bilder 2C4: Bilder med värmekameran på den nordliga väggen.

På bilder 2C4 ovan ser vi kylrummet till vänster vars vägg är kallare än övriga byggnaden. Detta rum bör tilläggisoleraras för att minska kylbehovet. Till höger och i mitten ser vi misstänksamma köldbryggor men där det förmodligen är varmare på grund av att hörnen ligger i lä och har två värmande väggar.



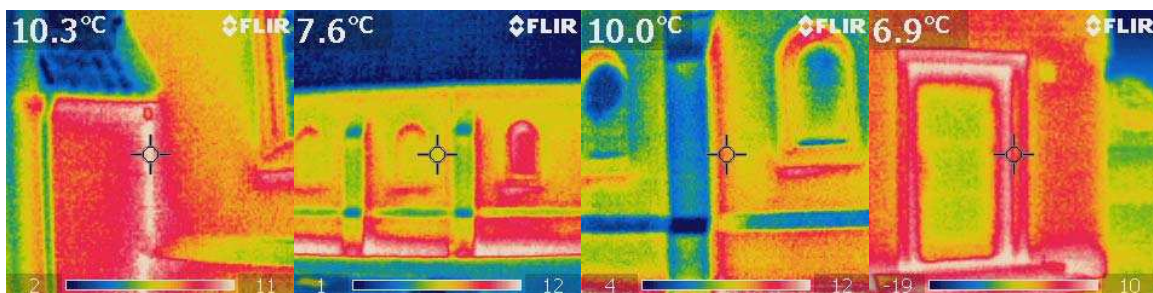
Bild 3C4: Kortsida mot öster.



Bilder 3C4: Bilder på väggen mot öster med värmekamera.



Bild 4C4: Långsida mot söder.



Bilder 4C4: Bilder med värmekamera på södra väggen.

Om man bedömer St. Gertruds kapell efter värmekamerans bilder ser det ut som att kapellet har ett mindre bra klimatskal med många otätheter. Men om man jämför med de övriga byggnaderna och deras U-värde så borde kapellet inte vara så dåligt isolerad.