

Slutrapport för projektet: Övervakning och styrning av inneklimat i gotländska kyrkor



UPPSALA
UNIVERSITET



ENIKI



SAMFÄLLIGHETEN GOTLANDS KYRKOR

Svenska kyrkan 
VISBY STIFT

Datum: 2022-09-26

Författare:

Tor Broström - Professor vid Konstvetenskapliga institutionen, Kulturvård, Uppsala universitet

Pär Malmros - Fastighetssamordnare Visby stift

Dnr: SG 2020-0035

Foto framsida: Dalhem kyrka, Pär Malmros 2022.

Innehåll

Inledning.....	4
Genomförda installationer.....	4
Sensorer.....	5
Webbinterface.....	7
Analys av klimatdata	15
Riskanalys	15
Årlig analys av mätdata	17
Analys av effektbehov och uppvärmningstid.....	20
Slutsats och diskussion.....	20
Referenser	21
Bilaga 1: Exempel på årsanalys.....	22

Inledning

Under en generation har problemen med inneklimat och bevarande i kyrkor ändrats från för mycket värme och uttorkningsskador till för lite värme och fuktrelaterade skador. Den framtida utmaningen är nu att åstadkomma ett tillräckligt bra klimat för både bevarande och komfort med minsta möjliga energianvändning.

Samfälligheten Gotlands kyrkor har under 20 års tid arbetat aktivt med inneklimatfrågorna i de gotländska landsortskyrkorna. Utvecklingen har gått från enstaka försök med fuktstyrd grundvärme till att allt fler kyrkor har avfuktare. Det har sedan länge funnits rutiner för att identifiera fuktproblem och i många kyrkor har temperatur och relativ fuktighet loggats. Trots detta har det fortfarande varit alltför många fall av mögeltillväxt. De förväntade globala klimatförändringarna leder sannolikt till att fuktproblemen i kyrkorna förvärras inom en överskådlig framtid.

Det räcker inte med retrospektiv uppföljning i form av dataloggning och besiktning utan det krävs en proaktiv strategi där fastighetsansvariga får larm i realtid och kan agera när inneklimat når riskabla nivåer. Det finns också en omvänd risk, att ha för stora säkerhetsmarginaler vilket leder till onödigt höga kostnader för klimatstyrning. Med en insamling av mätdata kan också en expertbaserad analys göras för att ge förebyggande riktlinjer till fastighetsansvariga.

Norra Gotlands pastorat har varit tidigt ute och har sedan flera år en heltäckande installation i alla sina kyrkor. Det startade som ett gemensamt projekt med Vattenfall och togs senare över av GEAB och utvecklades till det nuvarande LoRa-nätet. Eftersom Norra Gotlands pastorat haft systemet längst har de också varit föregångare till hur det kan användas. De har inledningsvis varit delaktiga i utvecklingen av systemet, så att det kunnat anpassas för Gotlands kyrkors behov.

Detta är ett skadeförebyggande projekt som omfattar alla Gotlands medeltida kyrkor. Målet är att skapa ett långsiktigt hållbart och kostnadseffektivt system för skyddande av Gotlands 92 medeltida och kulturhistoriskt värdefulla kyrkointeriörer.

Genomförda installationer

Fjärruppkopplad övervakning med larmfunktioner för inneklimat och brand har installerats i 68 kyrkor. I dagsläget finns det i 64 kyrkor minst två sensorer för temperatur och relativ fuktighet (RH). Ytterligare sensorer kan enkelt läggas till. Via ett webinterface kan fastighetsansvariga, via mobil eller dator, i realtid kontrollera klimatet och larm sänds ut när klimatet överskrider riskgränser. Ett brandlarm med direktåtkomst för brandkåren har installerats i 64 kyrkor.

Den tekniska lösningen bygger på ett så kallat LoRa-nät vilket till en låg kostnad ger möjlighet till såväl mätdatainsamling som styrning av värme, avfuktare mm. LoRa tekniken är en av de snabbast växande kommunikationsstandarderna i världen. Det är en kostnadseffektiv lösning som är oberoende av tillverkare. Det finns ett stort utbud sensorer, inte bara för inneklimat utan även för brand, inbrott, registrering av besökare mm.

Gotlands Energi AB (GEAB) har installerat LoRa gateways i 68 kyrkor på mellersta och södra Gotland, som tillsammans med GEAB's övriga gateways ger ett heltäckande nät. I norra Gotlands pastorats kyrkor finns systemet installerat sedan tidigare.



Figur 2: Karta och lista över de sockenkyrkor där installationerna har gjorts. Färgerna anger pastoratsindelningen. Norra Gotlands pastorat (gulmarkerat) har sedan tidigare redan systemet installerat.

Sensorer

Minst två sensorer för RF och temperatur har installerats i 64 av de 68 kyrkorna.

De sensorer som har använts är Elsys ERS och ESM5K sensorer för temp/fukt mätning, se figur 3 och 4. Sensorerna skiljer i utseende men tekniska parametrar för temp/fukt mätning är samma för båda modellerna. De är båda batteridrivna och små i formatet (86x86x27mm respektive 60x35x20mm), vilket gör dem lätta att dölja i ett kyrkorum utan fasta installationer. Vanligtvis inlagda i textilskåpet i sakristian samt lagda i anslutning till predikstolen i kyrkorummet. Ofta kompletterade med ytterligare sensor i orgeln och i sakristian. I de fall det finns visningskåp finns det också sensorer i

dessa. Sensorernas placering i kyrkan styrs i hög grad av var de känsligaste föremålen finns. Textilier, bemålat trä och orgelinstrumentet är områden där mögel lätt uppstår.



Figur 3 och 4: Till vänster sensor ERS för mätning av temp/fukt och till höger ESM5K.

Sensors

Temperature

Resolution: 0.1 °C

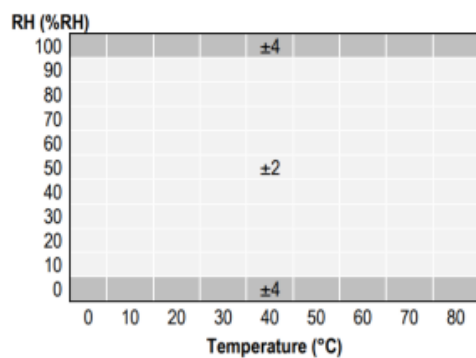
Accuracy: ± 0.2 °C (See figure 1)

Humidity

Resolution: 0.1 % RH

Accuracy at 25 °C: ± 2 % RH (See figure 2)

Accuracy of humidity over temperature: See below



Figur 5: Teknisk specifikation för temp/fuktmätare.

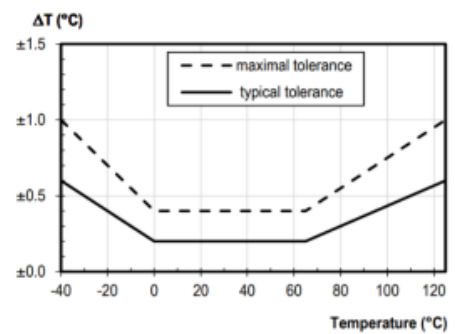


Figure 1

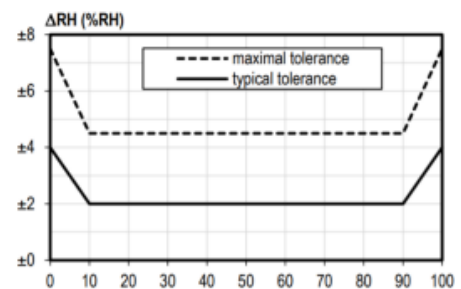


Figure 2

Webbinterface

Eniki AB har utvecklat och implementerat ett skräddarsytt webbinterface – en dashboard/informationspanel med presentation av mätdata, analys och larmfunktioner samt uppdatering av brandkårens insatsplaner. Webbinterfacet är anpassat för att visas i dator, telefon eller surfplatta. Uppsala universitet har bidragit med analys och larmfunktioner.

Dashboard/informationspanel

Webbinterfacet är möjligt att kundanpassa så att man får den presentation man vill ha. Figur 6 visar Fröjel kyrka som ett exempel på hur det kan se ut. Informationen presenteras i text, kartor och bilder för att på ett överskådligt sätt visa var fukt- /tempmätare samt brandlarm är placerade. Information visas om det finns några aktiva larm. Pastoratet har också möjlighet att lägga till kontaktpersoner till mobilnummer dit larm skall vidarebefordras.

Med en knapptryckning kan man få fram informativa diagram som visar RH och temperatur och ett mögelgränsindex över tid, se figur 7. Det gör det enkelt att analysera hur klimatet utvecklats över tid i kyrkorummet och om det behövs göras några insatser för att styra klimatet.


Brandevakueringsplaner

I samarbete med Räddningstjänsten på Gotland har en anpassad informationspanel tagits fram för att tillgängliggöra befintliga brandevakueringsplaner, se figur 8. I händelse av en brand kan räddningstjänsten få tillgång till data som ger information om platsen. Räddningstjänsten får här information om vägar in- och ut ur kyrkan och på kyrkogården, lämpliga platser att parkera fordon, kontaktuppgifter till personer på plats och framför allt vilka föremål det finns i kyrkorummet och hur de skall hanteras i händelse av en brand. De får också tillgång till de mätdata som temp/fuktmätarna levererar och vilka brandlarm som larmar. Med informationen kan räddningsledaren redan på väg till platsen påbörja arbetet med att göra en plan för insatsen och tidigt kunna prioritera var resurserna i första hand skall koncentreras och vad som är möjligt att göra.

Klinte pastorat > Fröjel kyrka Realtime - last 7 days Customer

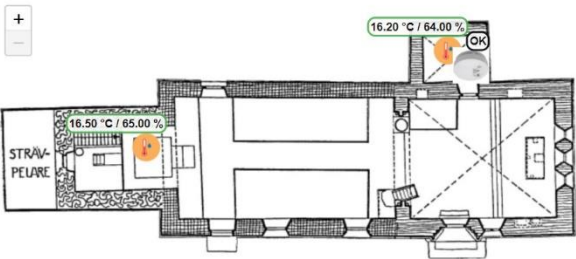
Välj fastighet från listan nedan

Fastighet ↑	Kontaktperson	Kontakttelefon	Aktiv larm
Eksta kyrka			NEJ
Fröjel kyrka			NEJ
Hamnkyrkan i Klinte			NEJ
Hejde kyrka			NEJ
Klinte kyrka			JA
Mästerby kyrka			NEJ
Sanda kyrka			NEJ
Sproge kyrka			NEJ
Västergarn kyrka			NEJ
Väte kyrka			NEJ

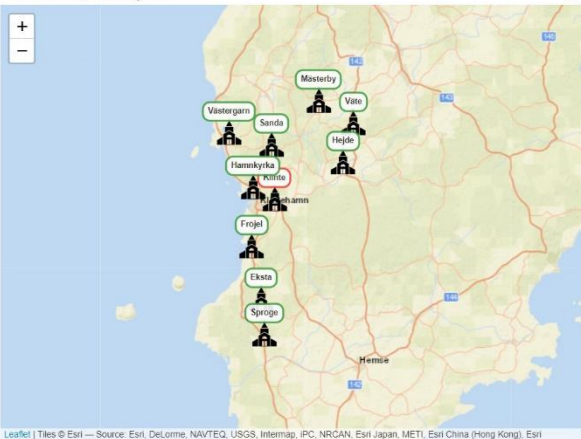


Info

Vald fastighet:
FRÖJEL KYRKA



Norra Gotlands kyrkor



Leaflet | Tiles © Esri — Source: Esri, DeLorme, NAVTEQ, USGS, Intermap, IPC, NRCAN, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri (Thailand), TomTom, 2012

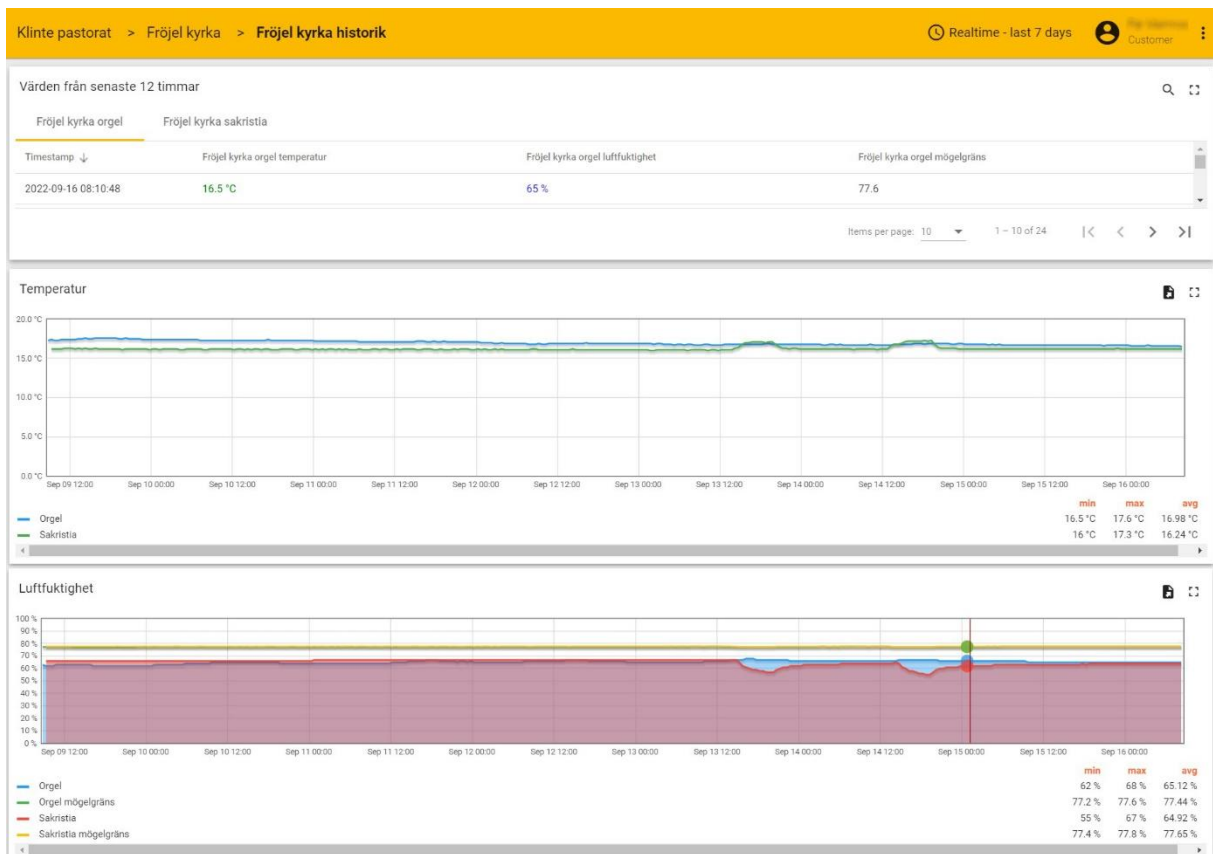
Larmlista 🔍 📄 🗨

Realtime - last 30 days

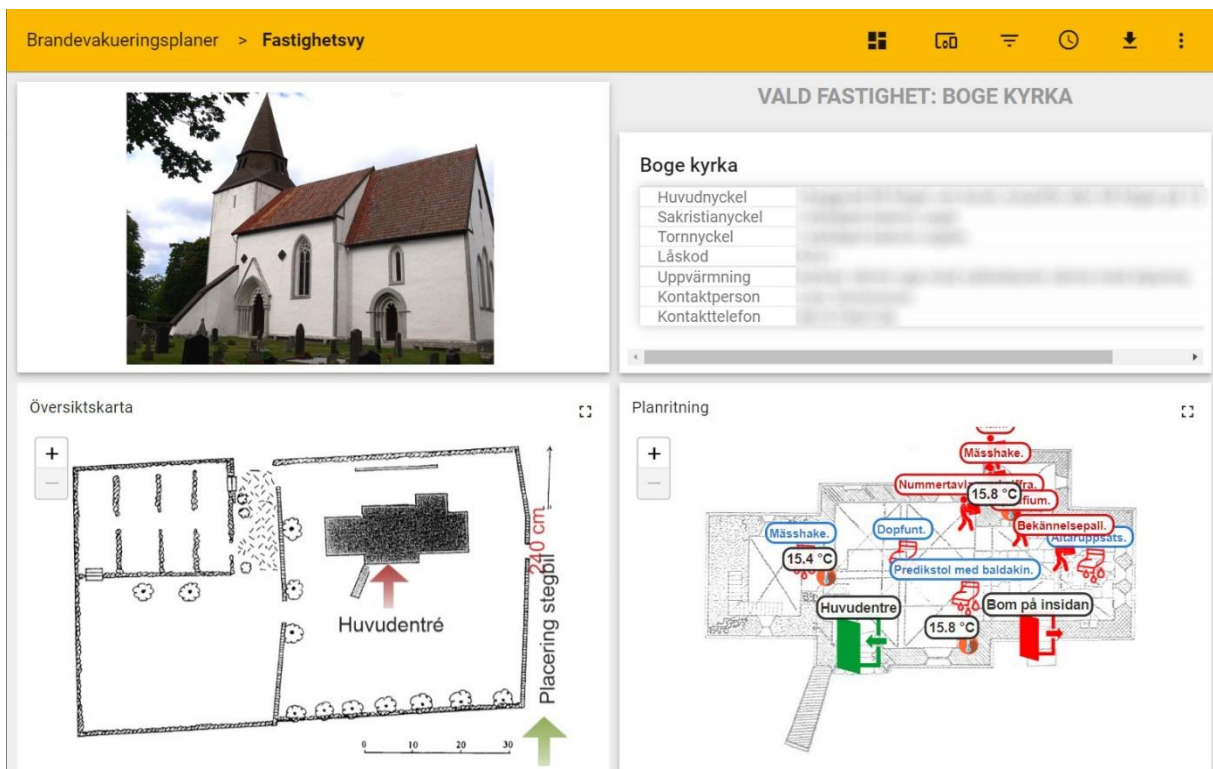
<input type="checkbox"/>	Skapad tid ↓	Källa	Typ	Allvarlighetsgrad	Status
No alarms found					

Items per page: 10 0 of 0 |< >|

Figur 6: Exempel på webbinterface/dashboard visande Fröjel kyrka.



Figur 7: Analysverktyg RF och temperatur samt mögelgränsindex och som visar förändringen över tid som grafer.



Figur 8: Informationspanel visande ett exempel på en brandevakueringsplan.

Brandvarnare

De brandvarnare som installerats är batteridrivna GlobalSat LS-134 (Diameter)120 mm x (Djup)53 mm och som löser ut för både värme och rök.



Figur 9: Brandvarnare tillverkade av GlobalSat.

Samarbetsprojekt med Riksantikvarieämbetet

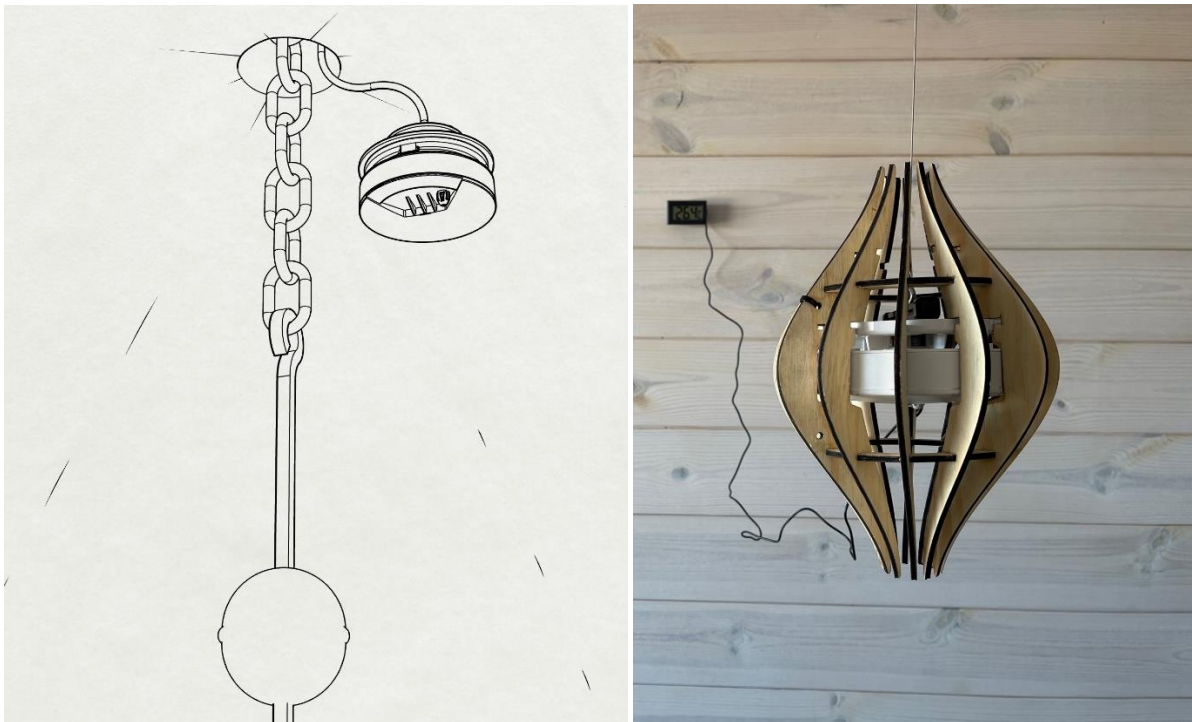
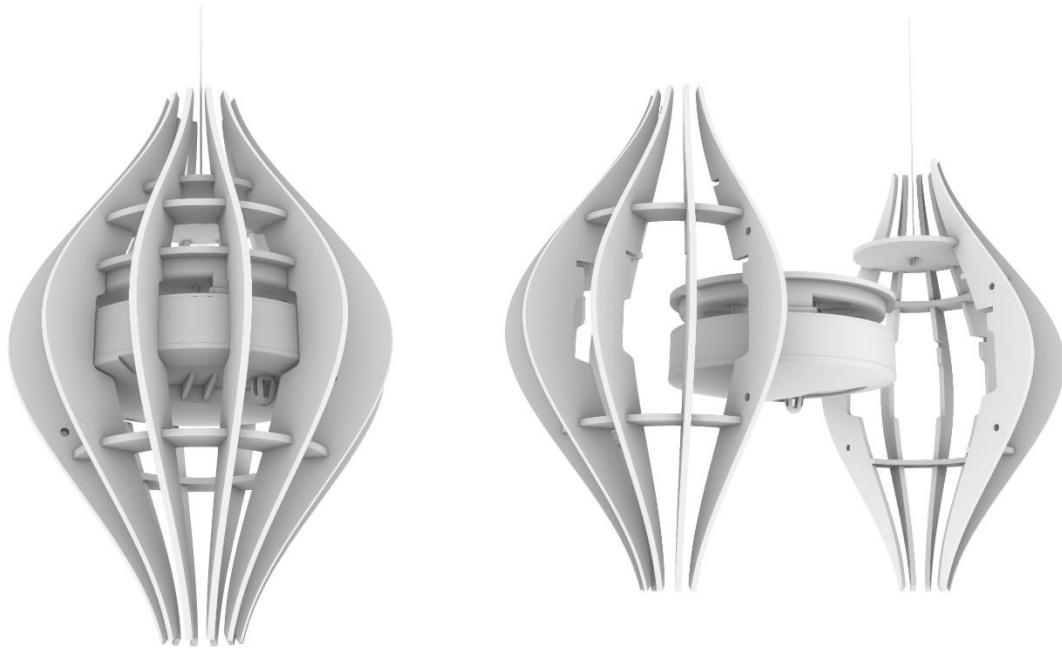
Som en del av projektet gjordes ett samverkande projekt med Riksantikvarieämbetet, Staffan Eriksson, för att hitta ett sätt att installera brandvarnare i kyrkorummet utan fasta installationer. Projektet gjordes i samverkan med Länsstyrelsen i Gotlands län för att hitta lösningar som kan installeras utan tillstånd.

Riksantikvarieämbetet bistod med kunskap och förslag på system för att dölja och montera brandlarm utan fasta installationer och att ta fram ritningsmaterial till de förslag som provades.

Övriga medverkande i delprojektet var GEAB, Eniki samt Visby stift i samråd med Länsstyrelsen i Gotlands län.

Delprojektet landade i följande lösningar:

För montering i medeltida stenvälv tillverkades en droppformad kapsling som, hängande fritt i en vajer, kan hissas upp och ned i valvet. Främst provades en modell där brandvarnaren kan hissas upp och ned via befintliga centrumhål i de medeltida stenvälv, i anslutning till befintliga ljuskronor. För att skapa en fri passage förbi ljuskronan monterades ett klen glödgat kopparrör genom hålet och böjt i sidled en bit från hålets centrum. Fler olika plastmaterial användes för att tillverka kapslingen, med olika färg och struktur. Flera av försöken fungerade bra men vi landade i att den bästa lösningen för de medeltida kyrkorna var att tillverka den i plywood. Material finns framtaget för att kunna maskintillverka delarna till en byggsats som monteras samman i samband med installationen. I samband med försöket användes en laserskärare. Digital information för produktion av kapslingen finns tillgängligt hos Riksantikvarieämbetet. För att utröna att kapslingen inte påverkar brandvarnarens funktion gjordes videodokumenterade tester av GEAB och Eniki för både rök och temperatur. Testen visade att kapslingen inte har någon mätbar fördröjande effekt eller påverkan på brandvarnarens funktion.

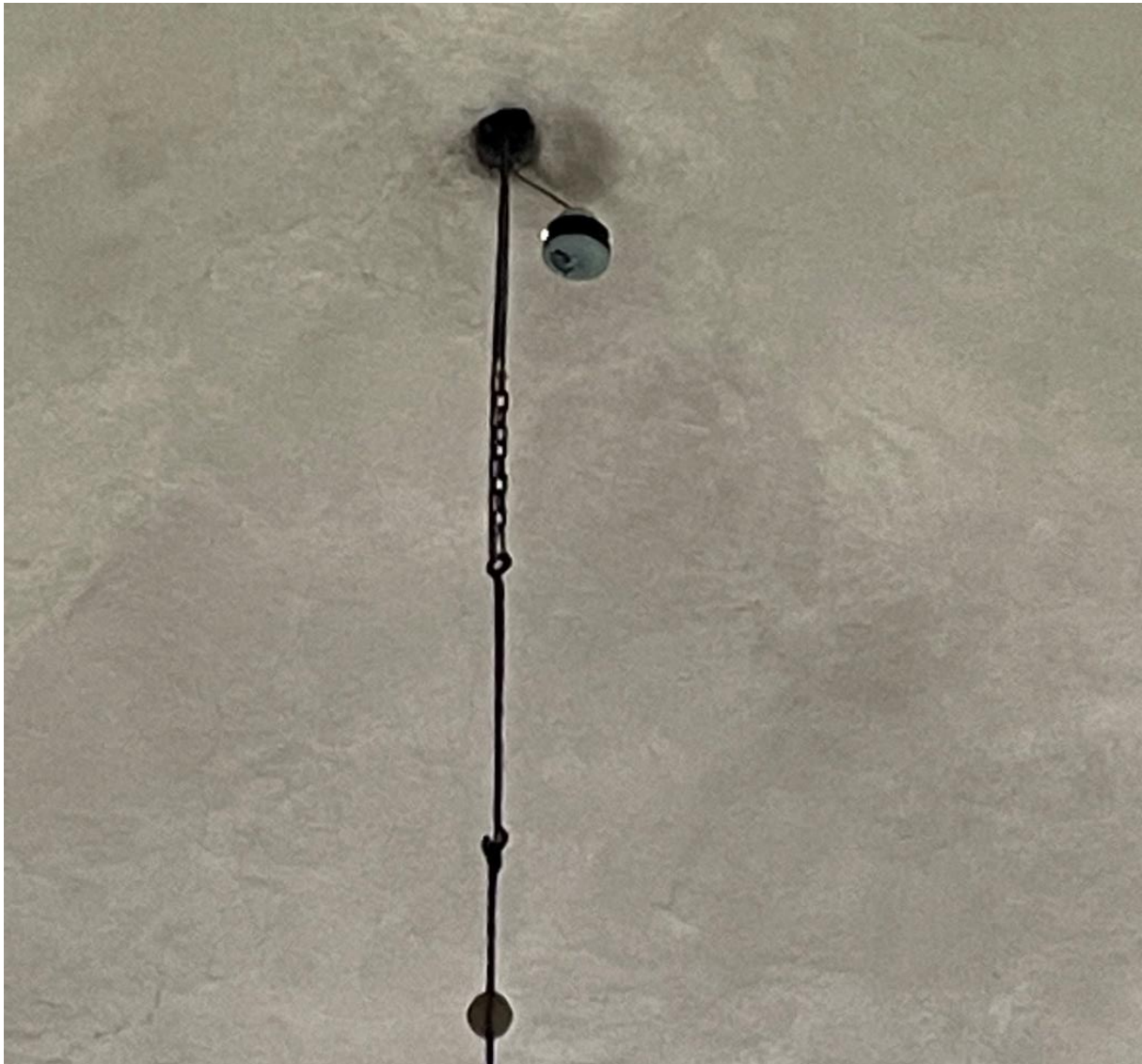


Figurer 10 till 12: Illustrationer på laserskuren kapsling till brandvarnare och principskiss för montering i valvet. Design Staffan Eriksson, Riksantikvarieämbetet. Figur13: Nedre bilden till höger visar den kapsling i plywood som vi valde att gå vidare med. Foto Indrek Saar.



Figur 14: Provmontage i Follingbo kyrkas korvalv. Droppformen fungerar mycket bra ihop med andra formelement i kyrkorummet.

I samband med projektet provades också att skriva ut ett nytt hölje i en annan färg än den vita som brandvarnaren levereras i. Vi noterade att man kan komma långt med en annan färgsättning men också att åtgärda ytans struktur så att blänk och speglingar inte blev lika framträdande. Vi valde att inte gå vidare med denna lösning då det hade krävt att tillverkaren skulle behöva ta fram nya serier med anpassade kulörer och ytstrukturer.



Figur 15: Försök med montering med utskrift av ett nytt hölje i svart färg.

Försök gjordes också med infästningar i brädtak. En fjäderbelastad stålplåt togs fram som på ett enkelt sätt kan klämmas fast i spontens springor. Brandvarnaren monteras på plåten med en magnet. Tanken är att man med ett teleskopskaft skall kunna demontera brandvarnaren för service även där det är högt i tak. Vissa försök med att foliera brandvarnarens skal gjordes också för att anpassa/kamouflera installationen. Det är möjligt att fotografera det område där du planerar att montera brandvarnaren, skriva ut fotot på en folie och sedan klistra folien på brandvarnarens hölje och på infästningen. Lösningen är fullt möjlig att genomföra men det är tidskrävande och besvärligt att montera folien på brandvarnaren. På Gotland kommer vi bara använda oss av den här metoden i undantagsfall.



Figur 16 till 18: Förslag till montering på ett panelat bräddtak.

Analys av klimatdata

Uppsala universitet har i projektet bidragit med

- Utveckling och tillämpning av riskanalyser
- Implementering av mögelriskfunktionen i webinterfacet
- Utveckling av ett verktyg för statistisk analys av mätdata från kyrkorna

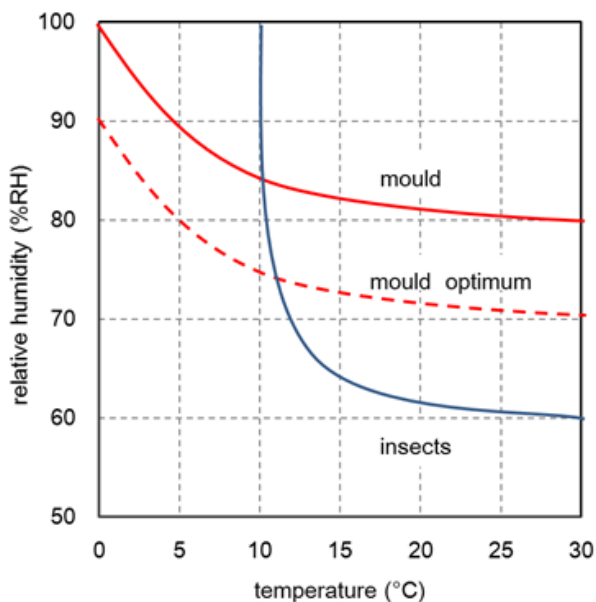
Mer allmänt har UU bidragit till att projektet bygger på den omfattande forskning och beprövade erfarenhet som finns inom området.

Risikanalyser

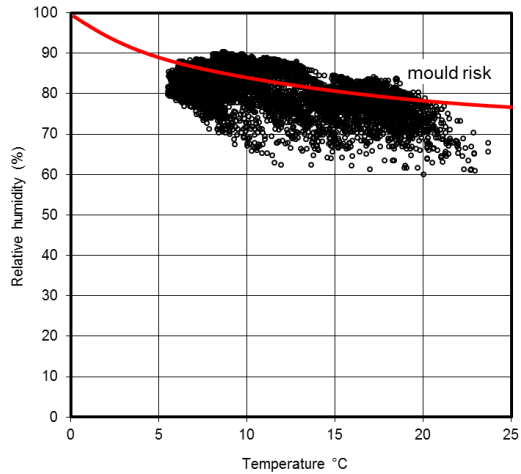
Risikanalyserna bygger på omfattande forskning kring inneklimate i byggnader med kulturhistoriskt värdefulla interiörer [EN 15759-1]. Risikanalyserna fokuserar på mögel och skador förknippade med variationer i relativ fuktighet.

Mögelrisk beror på en kombination av temperatur och relativ fuktighet (Sedlbauer, 2001), se fig 1 nedan. Mögelrisken bedöms genom att se hur mätdata ligger i förhållande till mögelriskkurvan, se fig 2.

Mögelindex är ett måttal för mögelrisk. Ett värde på 100 innebär att klimatet ligger på riskkurvan. Ju högre värde desto större risk.

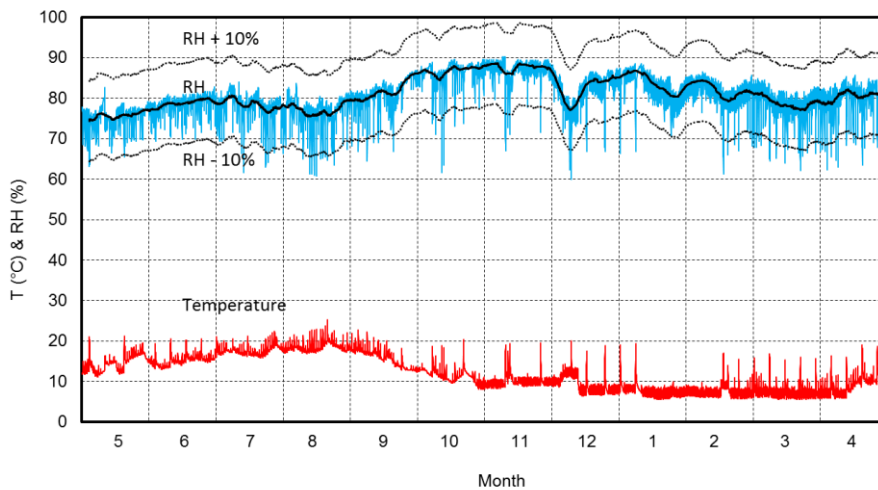


Figur 19: Mögelrisk beror på en kombination av temperatur och relativ fuktighet. Kurvan märkt "mould" representerar vanligt förekommande material/ytor. Kurvan "mould optimum" är ett värsta fall.



Figur 20: Diagrammet visar hur det uppmätta klimatet förhåller sig till mögelriskkurvan.

Risken för skador på bemålade träföremål och tavlor pga variationer i RH bedöms enligt den europeiska standarden EN 15757. Standarden definierar ett säkert intervall för korttidsvariationer i förhållande till månadsmedelvärden, se figur 3.



Figur 21: Riskbedömning enligt EN 15757. Den blå kurvan är timvärden för RH. Den svarta kurvan är glidande månadsmedelvärden. De streckade linjerna anger ett säkert intervall för korttidsvariationer.

Årlig analys av mätdata

Ett verktyg har tagit fram för att automatiskt analysera data som laddas ner från appen. I bilaga 1 ges ett exempel på hur analysen presenteras för en utvald kyrka. Likadana sammanställningar har gjorts för samtliga mätpunkter i samtliga kyrkor. Här följer en kortfattad beskrivning av de analyser som ingår i årssammanställningen.

Statistisk sammanställning över en given mätperiod

Min, max, medel och standardavvikelse tas fram för RH, temperatur, mögelindex, samt ångkvot.

	Min	Medel	Max	Std	Std-lång-tid
Relativfuktighet (%)	49.00	67.19	80.00	6.32	2.94
Temperatur (°C)	3.80	12.01	22.00	4.52	2.11
Mögelrisk (-)	63.78	83.87	102.09	8.50	2.65
Ångkvot (g/kg)	3.64	6.13	12.60	2.22	0.58

Största variation i RH över 12 timmar resp 7 dagar.

Korttidsvariationer är oftast förknippade med uppvärmning. Variationer som varar runt en vecka anses vara de mest skadliga vad gäller träföremål och målningar.

	Datum	Δ RH (%)
12 timmar	2021-11-05 14:15:42	9.00
7 dagar	2022-03-01 22:34:14	16.00

Sammanfattning av mögelrisktillfällen

Mögelrisken beror på hur länge och ofta klimatet ligger över mögelriskkurvan. Analysen presenteras i tabeller och ett diagram.

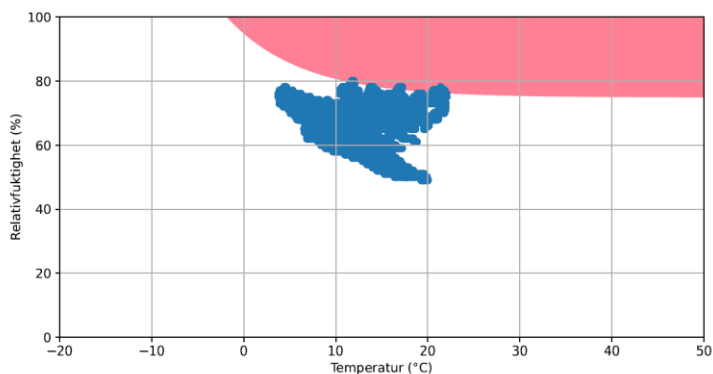
Antal händelsen	12
Andel av tiden (%)	1.04
Medel tidslängd av händelse (timme)	10.83
Total tidslängd av händelsen (timme)	130.00

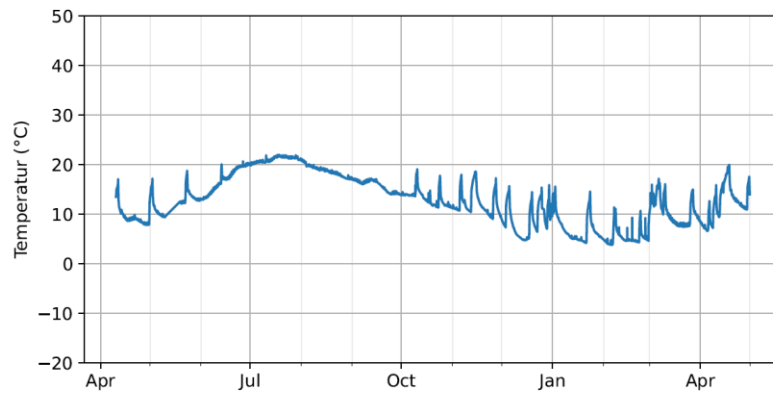
Datum	Tidslängd (timme)
2021-07-07 13:29:07	3.00
2021-07-10 09:28:47	7.00
2021-07-10 21:58:44	1.50
2021-07-11 01:28:44	0.50
2021-07-11 02:28:42	7.00
2021-07-14 01:58:22	0.50
2021-07-14 06:28:22	1.00
2021-07-14 07:58:20	9.50
2021-07-14 17:57:59	67.50
2021-09-12 12:51:26	20.50
2021-10-20 23:17:19	9.50
2021-10-21 14:17:17	2.50

Översikt av inneklimatet under mätperioden

Slutligen ges en översikt av inneklimatet under mätperioden omfattande följande diagram:

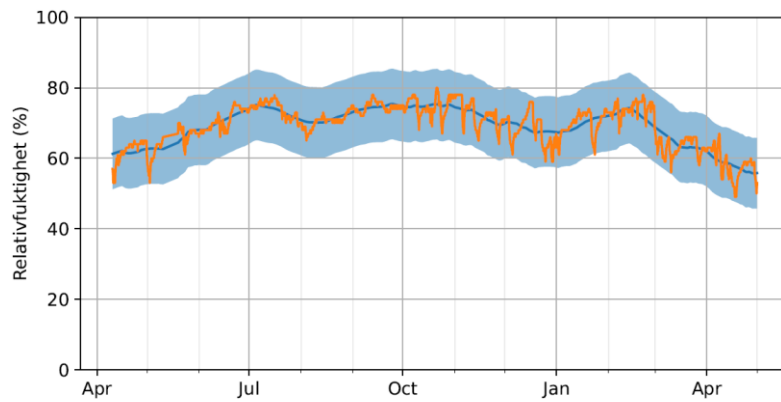
Temperatur och RH med mögelriskkurva



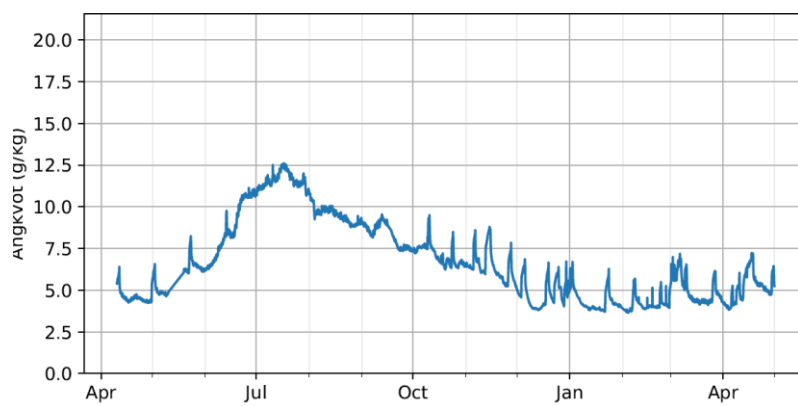


Temperatur

RH: Timvärden, månadsmedel och säkert intervall



Ångkvot





Analys av effektbehov och uppvärmningstid.

Intermittent uppvärmning kräver hög effekt vilket medför en hög fast kostnad. En lägre effekt ger längre uppvärmningstid och högre energiförbrukning per uppvärmningstillfälle. Uppvärmningstiden ska självklart anpassas så att det blir rätt temperatur vid rätt tid. Det finns teoretiska modeller som beskriver sambandet mellan uppvärmningstid och effekt men det är svårt att få korrekta indata. Uppsala universitet har tagit fram en metod som gör det möjligt att, utifrån mätdata, bestämma sambandet mellan uppvärmningstid och effekt. Den metoden kan användas dels för att bestämma uppvärmningstid inför en förrättning, dels för att bestämma nödvändig effekt vid byte av värmesystem.

Slutsats och diskussion

Med utbyggnaden av LoRa-nätet, webinterfacet och analysfunktionerna har Samfälligheten Gotlands kyrkor skapat en förutsättning för att arbeta långsiktigt och förebyggande med inneklimatet i de gotländska kyrkorna. Datainsamlingen fungerar bra rent tekniskt. Appen gör data tillgängliga och användbara i realtid för de personer som arbetar dagligen med kyrkorna, både genom en översikt och med larmfunktioner. Den sammanställda analysen ger underlag för jämförelser mellan kyrkorna och långsiktiga anpassningar. LoRa-nätet ger också möjlighet att, om så önskas, i en expertbaserad organisation centralt kunna utvärdera och styra inneklimatet. Systemet ger möjlighet till en mängd funktioner som är lätta att installera utan fasta installationer, vilket är en klar fördel i känsliga kulturmiljöer som Gotlands kyrkobyggnader. Inom projektets ramar har en installation av brandlarm påbörjats och förslag till anpassade installationer har tagits fram i samarbete med Riksantikvarieämbetet. LoRa-nätets sensorer är energisnåla vilket ger långa drifttider mellan varje batteribyte. Genom att förbereda systemet för en överflyttning av befintliga brandevakueringsplaner i Pdf till GEAB:s plattform ges det möjlighet för pastoraten att på ett enkelt sätt kunna uppdatera informationen i planerna.

För att den infrastruktur som nu skapats ska komma till långsiktig och bestående nytta krävs det att det finns rutiner för

- Daglig klimatuppföljning
- Åtgärder vid larm
- Årliga uppföljningar för varje kyrka i samråd med experter
- Att följa upp långsiktiga förändringar i hela beståndet, t ex pga minskat nyttjande och klimatförändringar
- Periodisk kalibrering och utbyte av givare/sensorer
- Introduktion och utbildning av ny personal
- Rutiner för uppdatering av brandevakueringsplaner

Referenser

EN 15759-1 Conservation of Cultural Property –Indoor climate – Part 1: Guidelines for heating churches, chapels and other places of worship.

EN 15757 Conservation of Cultural Property — Specifications for temperature and RH to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials

EN 15758 Conservation of Cultural Property — Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects.

EN 16242 Conservation of Cultural Property — Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchange between air and cultural property.

Sedlbauer, K. (2001). Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. Fraunhofer Institute for Building Physics, 75-141.

Väte Kyrka Orgel

Tabell 1: Tidserie sammanfattning.

	Min	Medel	Max	Std	Std-lång-tid
Relativfuktighet (%)	49.00	67.19	80.00	6.32	2.94
Temperatur (°C)	3.80	12.01	22.00	4.52	2.11
Mögelrisk (-)	63.78	83.87	102.09	8.50	2.65
Ångkvot (g/kg)	3.64	6.13	12.60	2.22	0.58

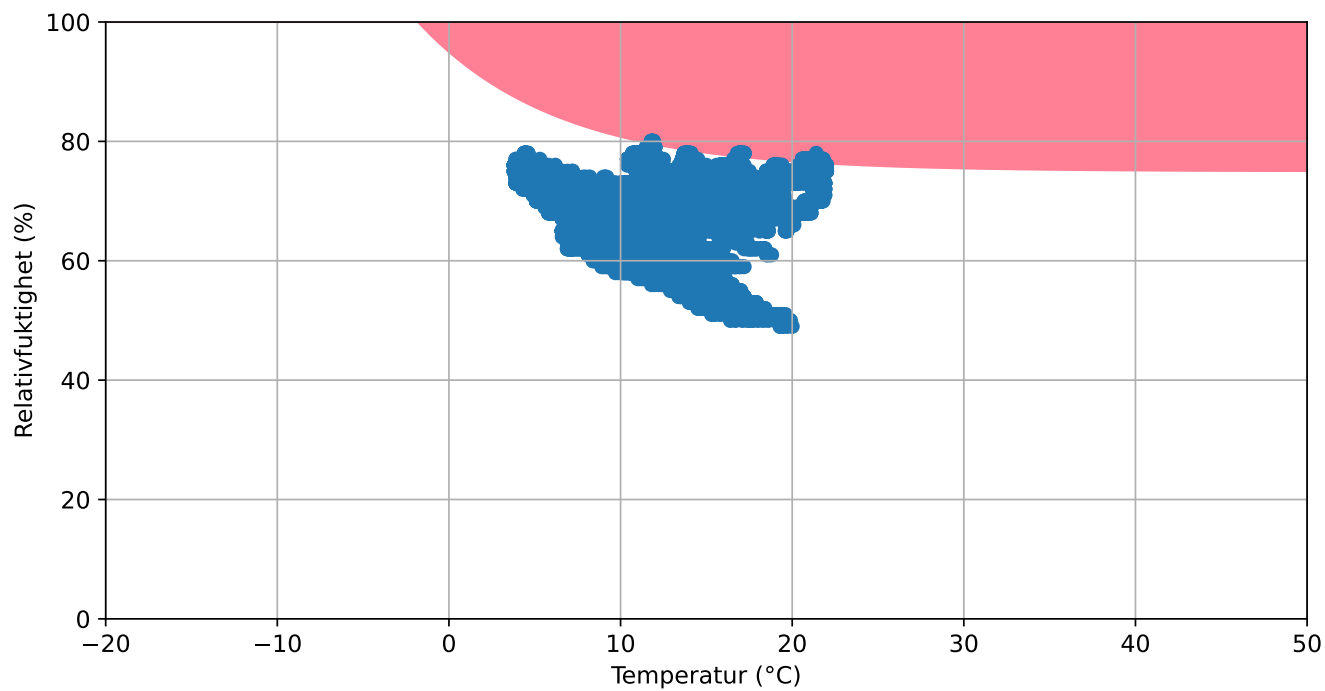
Tabell 2: Största variationer i relativfuktighet.

	Datum	Δ RH (%)
12 timmar	2021-11-05 14:15:42	9.00
7 dagar	2022-03-01 22:34:14	16.00

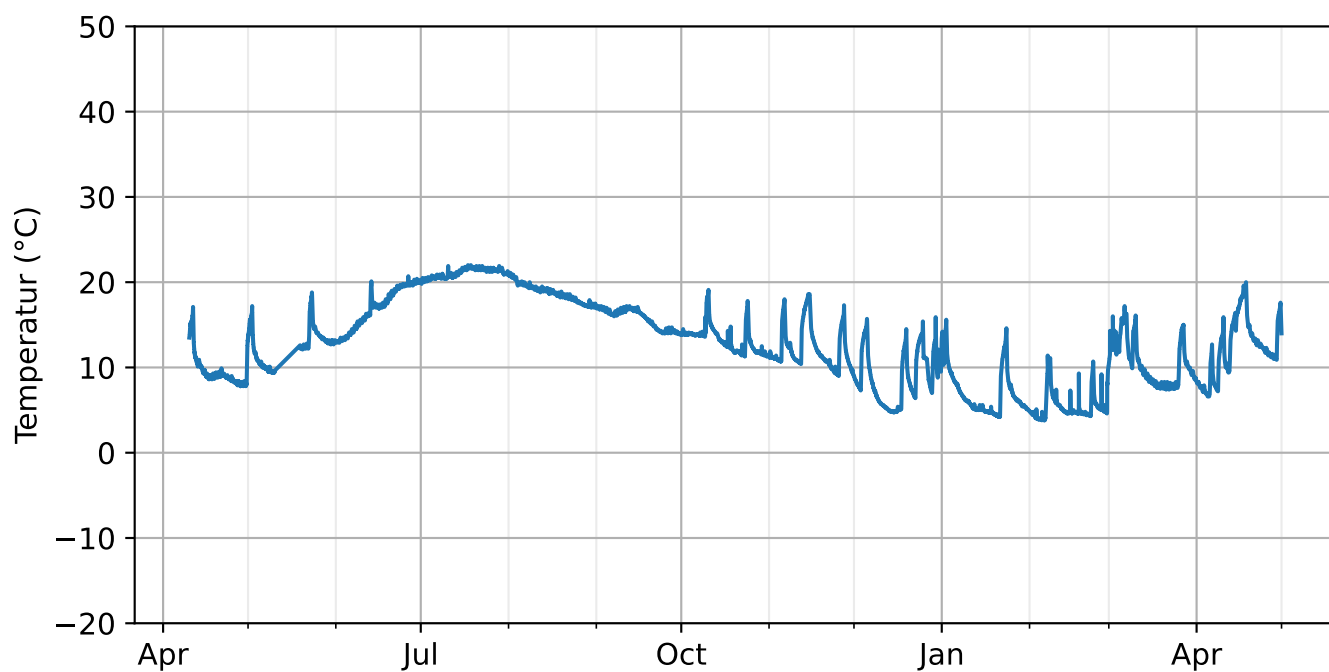
Tabell 3: Sammanfattningen av mögelrisk tillfällen.

Antal händelsen	12
Andel av tiden (%)	1.04
Medel tidslängd av händelse (timme)	10.83
Total tidslängd av händelsen (timme)	130.00

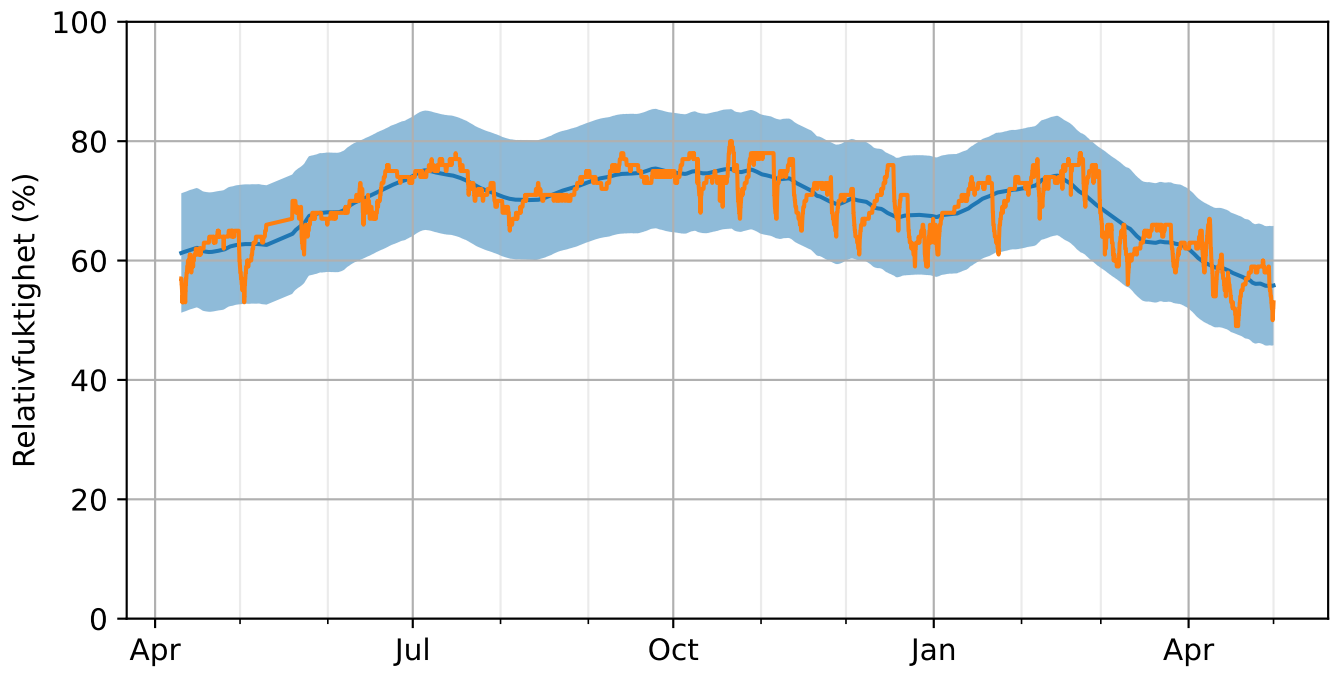
Datum	Tidslängd (timme)
2021-07-07 13:29:07	3.00
2021-07-10 09:28:47	7.00
2021-07-10 21:58:44	1.50
2021-07-11 01:28:44	0.50
2021-07-11 02:28:42	7.00
2021-07-14 01:58:22	0.50
2021-07-14 06:28:22	1.00
2021-07-14 07:58:20	9.50
2021-07-14 17:57:59	67.50
2021-09-12 12:51:26	20.50
2021-10-20 23:17:19	9.50
2021-10-21 14:17:17	2.50



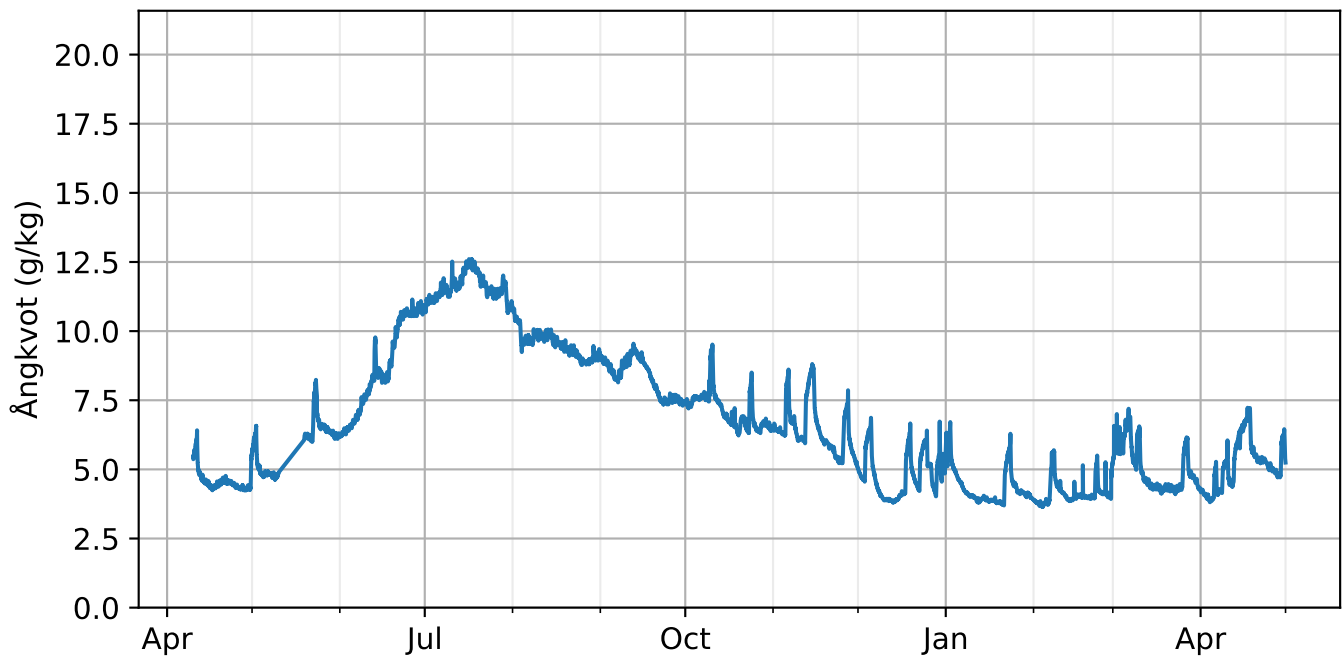
Figur 1: Temperatur-relativfuktighet diagram.



Figur 2: Temperaturs tidserie.



Figur 3: Relativfuktighets tidserie.



Figur 4: Ångkvots tidserie.



Figur 5: Mögelrisk tidserie.