



2025-12-28

2025-215240-0001

## SLUTRAPPORT

# Goda exempel på praktiska åtgärder för god luftkvalitet, minimerat värmebehov och rätt fuktförhållande i svenska kyrkor – Uppföljning och analys

Hans Bagge, Victor Fransson, Dennis Johansson, Kerstin Mundt,  
Petter Wallentén, Henrik Widmark

Energimyndighetens projektnummer pnr P2022-00213



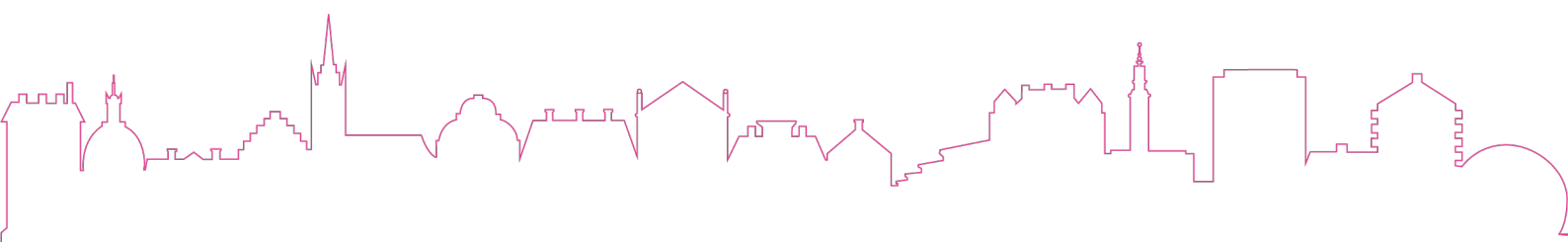
## FÖRORD

Spara och bevara är ett forsknings- och utvecklingsprogram som Energimyndigheten initierat för att öka kunskapen om energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader. Programmet syftar till att utveckla och förmedla kunskap och tekniklösningar som bidrar till en energieffektivisering i dessa byggnader utan att deras värden och inventarier förstörs eller förvanskas.

Den varsamma energieffektiviseringen ska uppnås genom interdisciplinära samarbeten, där teknik möter kulturvård. Målet är att skapa en bestående kunskapsgrund inom området energieffektivisering i kulturhistoriskt värdefulla byggnader och bidra till en långsiktig, hållbar förvaltning av det äldre fastighetsbeståndet.

Programmet samordnas av Uppsala universitet.

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten eller Uppsala universitet tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



## SAMMANFATTNING

Kyrkor, speciellt äldre, är ett viktigt kulturarv såväl som viktiga byggnader för dagens verksamhet. Energikostnaderna har ökat på senare år och det leder till behov att minska energianvändningen i kyrkorna runt om i landet. Under senare tid blev det påtagligt under 2022 när energipriserna, särskilt el, steg mycket. Höga uppvärmningskostnader innebär en risk att energieffektiviserande åtgärder görs utan ett tillräckligt helhetsperspektiv. Det kan innebära risker för byggnaden, kulturarvet, inventarier och innemiljön.

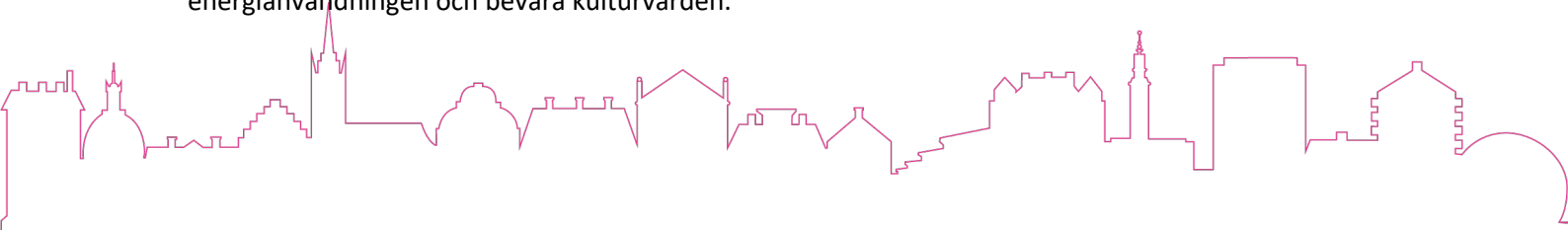
Projektet har studerat äldre kyrkor inom Roslagen östra pastorat. I flera av kyrkorna har energieffektiviserande åtgärder genomförts och det förekommer både kontinuerlig och intermittent uppvärmning. Åtgärderna har analyserats utifrån ett helhetsperspektiv med avseende på energi, fukt, kulturmiljö och innemiljö och bygger dels på mätdata på energianvändning och inneklimate, dels på information från olika yrkeskategorier som arbetar i eller med kyrkor för att få med erfarenheter från praktiken. I de studerade kyrkorna har den årliga energianvändningen varierat mellan cirka 75 och 240 kWh/m<sup>2</sup>. I de kyrkorna där det har gjorts åtgärder i form av att installera värmepumpar eller tilläggsisolera vind och montera energiglas har det också varit de lägsta energianvändningarna, vilket är förväntat med tanke på åtgärderna.

När olika åtgärder diskuteras tidigt i processen saknas ofta referensvärden på hur mycket olika åtgärder påverkar specifikt äldre kyrkor, som kan värmas både kontinuerligt och intermittent. För att ta fram generella riktvärden för storleksordningar på hur mycket olika åtgärder påverkar uppvärmningsbehovet har en stor mängd fall för en exempelkyrka simulerats. Fallen inkluderar olika fönstertyper, olika isolering av vindsbjälklag, olika luftomsättningar, olika uteklimat och alla olika kombinationer av dessa. Samtliga fall har även simulerats för olika driftsfall och för olika temperaturer vid kontinuerlig och intermittent drift. Åtgärder kan i simuleringarna visa på en stor potential att minska uppvärmningsbehovet men i de verkliga fallen som analyserats finns olika specifika behov med tanke på exempelvis fuktaspekter och antikvariska aspekter som har påverkat hur stor besparingen har blivit i de specifika studerade fallen.

Om man kombinerar flera åtgärder minskar nyttan med var och en av dem. Åtgärder såsom tilläggsisolering, uppdatering av fönster och värmepumpar kommer att i kWh ge störst besparing om kyrkan värms kontinuerligt jämfört med om det värms intermittent. Med intermittent uppvärmning som i de studerade fallen blir besparingen uttryckt i kWh ungefär hälften vilket innebär att återbetalningstider för dessa åtgärder blir längre i en intermittent uppvärmd kyrka.

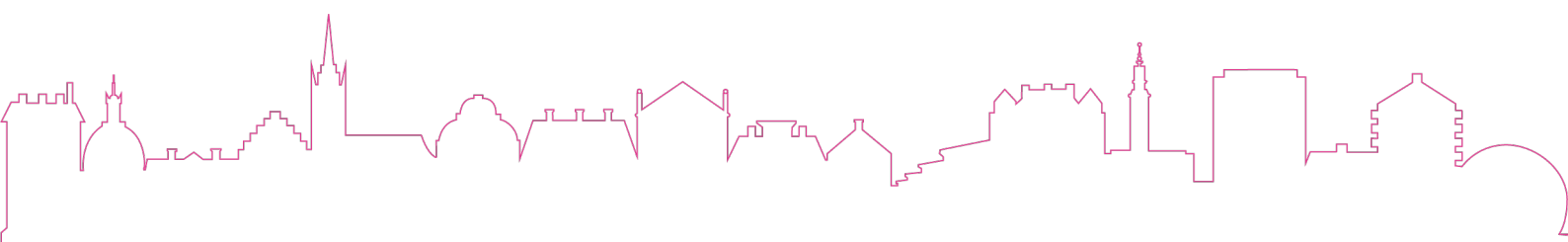
Det övergripande resultatet och exempel från genomförda och analyserade åtgärder samt riktvärden från simuleringarna har legat som grund för att ta fram en vägledning i form av ett diskussionsunderlag. Målet är att det ska underlätta för pastorat och församlingar att komma igång med processen och för att kunna ta nästa steg med en större medvetenhet om helhetsperspektiv på olika åtgärder. Kompetensen kan se olika ut i olika pastorat och diskussionsunderlaget ska kunna användas utan någon expertkompetens.

För att bevara kulturvärden bör det prioriteras att om åtgärder görs så ska de utföras så att det går att återställa. Under århundraden har olika åtgärder gjorts i kyrkorna och teknikutveckling kan framåt ge produkter och system som är anpassade för behoven i äldre kyrkor och både minska energianvändningen och bevara kulturvärden.



## INNEHÅLL

|          |                                          |           |
|----------|------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INLEDNING OCH BAKGRUND</b>            | <b>5</b>  |
| 1.1      | BAKGRUND                                 | 5         |
| 1.2      | SYFTE                                    | 6         |
| <b>2</b> | <b>GENOMFÖRANDE</b>                      | <b>7</b>  |
| <b>3</b> | <b>RESULTAT OCH ANALYS</b>               | <b>8</b>  |
| 3.1      | STUDERADE KYRKOR                         | 8         |
| 3.2      | SIMULERADE UPPVÄRMNINGSBEHOV OCH EKONOMI | 9         |
| 3.3      | VÄGLEDNING                               | 10        |
| 3.4      | INTERMITTENT UPPVÄRMNING OCH TEMPERATUR  | 11        |
| 3.4.1    | ENERGI UPPMÄTT                           | 11        |
| 3.4.2    | ENERGI – SIMULERAT UPPVÄRMNINGSBEHOV     | 19        |
| 3.4.3    | FUKT OCH KULTURMILJÖ                     | 22        |
| 3.5      | TILLÄGGSISOLERING AV VIND                | 23        |
| 3.5.1    | ENERGI                                   | 23        |
| 3.5.2    | FUKT                                     | 27        |
| 3.5.3    | KULTURMILJÖ                              | 27        |
| 3.6      | FÖNSTER OCH TÄTHET                       | 28        |
| 3.6.1    | ENERGI                                   | 28        |
| 3.6.2    | TÄTHET – MÄTNINGAR OCH SIMULERING        | 31        |
| 3.6.3    | FUKT                                     | 35        |
| 3.6.4    | KULTURMILJÖ                              | 36        |
| 3.7      | VÄRMEPUMPAR                              | 36        |
| 3.7.1    | BERGVÄRME                                | 36        |
| 3.7.2    | LUFT-LUFTVÄRMEPUMP                       | 40        |
| 3.7.3    | ENERGI                                   | 42        |
| 3.7.4    | FUKT                                     | 43        |
| 3.7.5    | KULTURMILJÖ                              | 43        |
| <b>4</b> | <b>DISKUSSION</b>                        | <b>45</b> |
| <b>5</b> | <b>SLUTSATSER</b>                        | <b>49</b> |
| <b>6</b> | <b>REFERENSER</b>                        | <b>50</b> |





# 1 INLEDNING OCH BAKGRUND

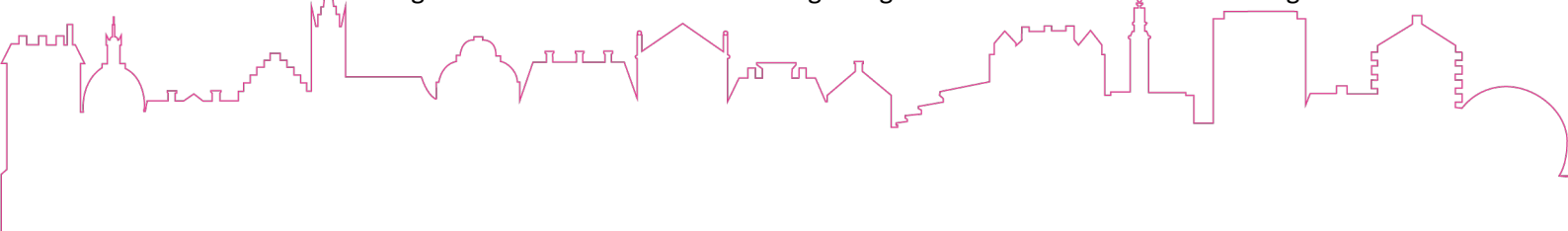
## 1.1 BAKGRUND

Kyrkor, speciellt äldre, är ett viktigt kulturarv såväl som viktiga byggnader för dagens verksamhet. Energikostnaderna har ökat på senare år och det leder till behov, bland annat i Svenska kyrkan, att minska energianvändningen i kyrkorna runt om i landet. Under senare tid blev det påtagligt under 2022 när energipriserna, särskilt el, steg mycket. Höga uppvärmningskostnader innebär en risk att energieffektiviserande åtgärder görs utan ett tillräckligt helhetsperspektiv. Det kan innebära risker för byggnaden, inventarier och inomhusmiljön.

Energi- och klimatmålen i Sverige, och internationellt, innebär ett stort behov av åtgärder på befintlig bebyggelse. År 2020 förvaltade Svenska kyrkan 3400 kyrkor varav 2955 var skyddade enligt kulturmiljölagen [1]. Kyrkor utgör en stor andel av kulturmiljön i Sverige både vad gäller själva byggnaderna och mer eller mindre fasta inventarier såsom orglar och väggmålningar men även vad gäller lösa inventarier i form av exempelvis konstverk. Kyrkornas byggteknik innebär ofta att de har klimatskal som ger stora värmeförluster och med stigande energipriser blir uppvärmningsposten i budgeten allt större vilket kan initiera att energieffektiviseringsåtgärder på klimatskalet, exempelvis vindsisolering och bättre fönster övervägs. Nyttjandegraden varierar mycket och det är ofta perioder när kyrkor inte används. Det kan därför finnas goda möjligheter att spara energi genom olika system för intermittent uppvärmning. Olika energieffektiviseringsåtgärder kan innebära risker och det måste göras bedömningar utifrån ett helhetsperspektiv för att undvika suboptimeringar. I kyrkorna finns ofta känsliga inventarier och känsliga delar i byggnadskonstruktionen som kan skadas. Skadorna kan orsakas av att temperatur och fukt varierar på korta tidsskalor men även av att fuktförhållandena blir sådana att mögelskador uppkommer [2]. Det kan i sin tur påverka inomhusmiljön och hälsan för kyrkans personal och besökare. Mögel har visat sig vara vanligt förekommande i kyrkor och klimatförändringarna riskerar att kunna påverka detta till det sämre [3, 4]. Val av rätt teknik för att energieffektivisera kyrkor måste utgå från ett helhetsperspektiv av kulturhistoriska och byggnadsantikvariska aspekter, energianvändning och effektbehov, fuktsäkerhet och inomhusmiljö samt drift och förvaltningsaspekter.

Erfarenheter från drift och förvaltningspersonal är att många kyrkor ofta har problem med fukt i varierande omfattning och att kyrkorna ofta kontinuerligt värms upp till 18-20°C för att ge termisk komforten för personal och besökare. Både uppvärmningssystem, ventilationssystem samt styr- och reglersystem är ofta äldre och i behov av uppdatering. Det är inte ovanligt att direktverkande el används och stigande elpriser har en stor påverkan samtidigt som ett högt effektbehov gör att avtalen blir dyra. Detta är ett generellt problem som landets alla församlingar står inför. Även med värmepump blir ofta effektbehovet ganska högt eftersom det inte alltid fungerar så bra med värmepump när det är som kallast.

I litteraturen finns olika exempel på studier av olika åtgärder och riktlinjer för att energieffektivisera kyrkor [5, 6, 7, 8]. Det är en brist att det ofta saknas exempel med erfarenheter av hur utförda åtgärder fungerar i praktiken och med praktiska erfarenheter från olika yrkesgrupper som arbetar med eller i kyrkan. Det kan exempelvis handla om hur driftspersonal upplever användarvänligheten och om hur kyrkomusiker upplever inneklimatet. Åtgärderna behöver analyseras i ett helhetsperspektiv och resultatet presenteras i en form så att det kan användas som ett diskussionsunderlag och som del i ett beslutsunderlag i tidiga skeden när man inom församlingar och



pastorat tittar på energiproblematiken i sina kyrkor. Det behövs resultat som presenteras i en form så att det både kan inspirera till energieffektiviserande åtgärder men även vara del i ett beslutsunderlag som skapar förståelse för behovet att välja rätt teknik i ett helhetsperspektiv för hela kollegiet, kyrkans politiker och kanske också församlingsmedlemmarna.

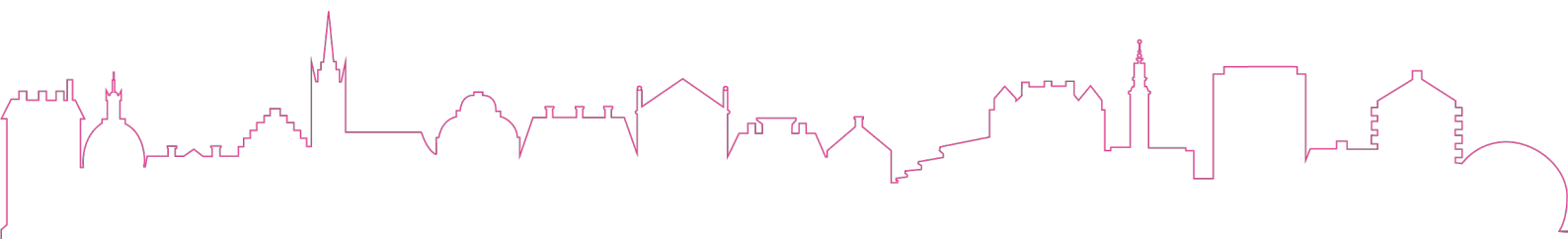
Med exempelvis modern styr- och reglerteknik för uppvärmning och ventilation eller genom att komplettera fönster med energiglas finns möjlighet att minska energianvändningen samtidigt som kulturvärden och inomhusmiljö bevaras. Det finns standarder och mer avancerade metoder för att inkludera ett helhetsperspektiv men de har inte de som arbetar och fattar beslut inom pastorat och församlingar som målgrupp [9, 10]. Därför finns en risk att beslut om åtgärder inte fattas eller att sämre beslut om åtgärder fattas när kyrkor energieffektiviseras. I diskussioner med fastighetsansvariga och driftspersonal inom Svenska kyrkan har det framkommit att det fattas lättillgängligt material som exemplifierar storleksordningar på energibesparingen för olika åtgärder. För bostadshus finns olika riktvärden och det generaliseras kring hur mycket man exempelvis sparar om man sänker temperaturen med en grad. Inom Spara och Bevara har det tidigare utvecklats en vägledning som del av ett beslutsunderlag för val av energieffektiviseringsåtgärder som riktar sig till bostadsrättsföreningar och förvaltare av kulturhistoriskt intressanta byggnader och som inkluderar ett helhetsperspektiv med fuktaspekter, inneklimat och riktvärden på energibesparingspotential. Det skulle behövas liknande material och med exempel på storleksordningar för äldre kyrkor anpassat till kyrkornas förutsättningar vad gäller isoleringsgrad och driftsfall. Det kan dels ge rimliga förväntningar på en energieffektiviserande åtgärd och dels ge underlag för att följa upp en genomförd åtgärd.

## 1.2 SYFTE

Det övergripande syftet med projektet är att kulturvärden i kyrkor i Sverige ska kunna bevaras samtidigt som energianvändningen kan minskas och kyrkorna erbjuder en bra inomhusmiljö för personal och besökare. Ett mål är att projektets resultat ska kunna användas för att inspirera och för att vara en del i ett beslutsunderlag som skapar förståelse för behovet att välja rätt teknik i ett helhetsperspektiv.

För att nå det övergripande syftet:

- Studeras äldre kyrkor inom ett pastorat avseende bland annat teknik för uppvärmning, energianvändning, fukt, inneklimat och praktiska erfarenheter.
- Analyseras genomförda och planerade åtgärder i ett helhetsperspektiv med avseende på energianvändning, fukt, kulturmiljö och praktiska erfarenheter.
- Tas ett material fram med simuleringar av för hur olika åtgärder påverkar uppvärmningsbehovet i en exempelkyrka för att ge riktvärden på storleksordningar på olika åtgärder.
- Ta fram en vägledning för pastorat/församlingar som kan fungera som diskussionsunderlag för många yrkeskategorier, kyrkopolitiker m.fl. för att utifrån ett helhetsperspektiv belysa olika åtgärder baserat på projektet övergripande resultat.



## 2 GENOMFÖRANDE

Projektet har för att samla in ett brett underlag använt flera olika metoder som analys och insamling av kvantitativa data i form av mätningar och storskaliga datorsimuleringar men även insamling av kvalitativa data i form av information från olika personer som, utifrån sina yrkesroller inom kyrkan, har olika erfarenheter och olika perspektiv på olika energieffektiviserande åtgärder i kyrkor.

Projektet utgår från fallstudier i äldre kyrkor i Roslagen östra pastorat. I de olika kyrkorna används olika teknik för uppvärmning och det har genomförts olika energieffektiviserande åtgärder i flera av kyrkorna. Det finns uppmätt data på energianvändning och inneklimat som analyseras kvantitativt. Olika yrkeskategorier har bidragit men kvalitativa data om hur olika åtgärder har fungerat och hur man ur olika perspektiv har erfarenheter av exempelvis kyrkornas teknik och inneklimat. För att samla in dessa erfarenheter har det hållits workshop och intervjuer med fastighetsansvariga, driftsansvariga, vaktmästare, kyrkomusiker, präster och ekonomer.

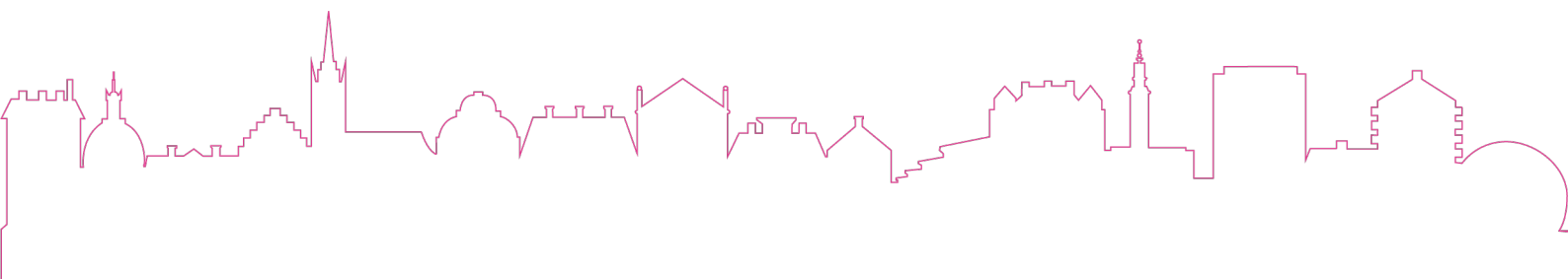
För att ta fram riktvärden på hur olika åtgärder påverkar uppvärmningsbehovet har simuleringar av en exempelkyrka utförts med energisimuleringsprogrammet IDA-ICE. Drygt 7000 simuleringar har genomförts för att täcka in olika åtgärder som kan genomföras i kyrkor som används på olika sätt och som finns i olika delar av landet. Resultatet har sammanställts för att kunna avläsas utifrån olika egenskaper på kyrkans teknik och vilka temperaturer som används vid kontinuerlig eller intermittent drift och så att jämförelser kan göras mellan olika fall.

Baserat på ovanstående och bredden inom den tvärvetenskaplig projektgruppen har olika praktiska energieffektiviseringsåtgärder utvärderats ur ett helhetsperspektiv som inkluderar både kvantitativa och kvalitativa aspekter av energianvändning, inomhusmiljö, fuktförhållanden, förvaltning och byggnadsantikvariska aspekter.

Det övergripande resultatet och exempel från genomförda och analyserade åtgärder samt riktvärden från simuleringarna har legat som grund för att ta fram en vägledning i form av ett diskussionsunderlag. Målet är att det ska underlätta för pastorat och församlingar att göra medvetna val utifrån ett helhetsperspektiv och att det ska ge förståelse för problematiken även hos personal, politiker och församlingsbor som inte tidigare är insatta i dessa frågor. Kompetensen kan se olika ut i olika pastorat och diskussionsunderlaget ska kunna användas utan någon expertkompetens. Materialet är utformat baserat på behov som har identifierats vid workshops/intervjuer med olika yrkeskategorier som arbetar i och med kyrkorna och de frågeställningar som har kommit upp för olika åtgärder.

Projektgrupp:

- Hans Bagge, Byggnadsfysik LTH
- Victor Fransson, Installationsteknik, LTH
- Dennis Johansson, Installationsteknik, LTH
- Kerstin Mundt, Roslagens östra pastorat
- Petter Wallentén, Byggnadsfysik, LTH
- Henrik Widmark, Konstvetenskapliga institutionen, UU



### 3 RESULTAT OCH ANALYS

Här presenteras projektets resultat och analyser samt hur resultaten kan komma till användning. Resultat finns även i bilagor som det hänvisas till i detta kapitel och som vissa av de olika analyserna utgår ifrån. I underkapitel presenteras och analyseras de olika studerade åtgärderna för att minska behovet av energi för uppvärmning utifrån bland annat energi-, fukt- och kulturmiljöaspekter.

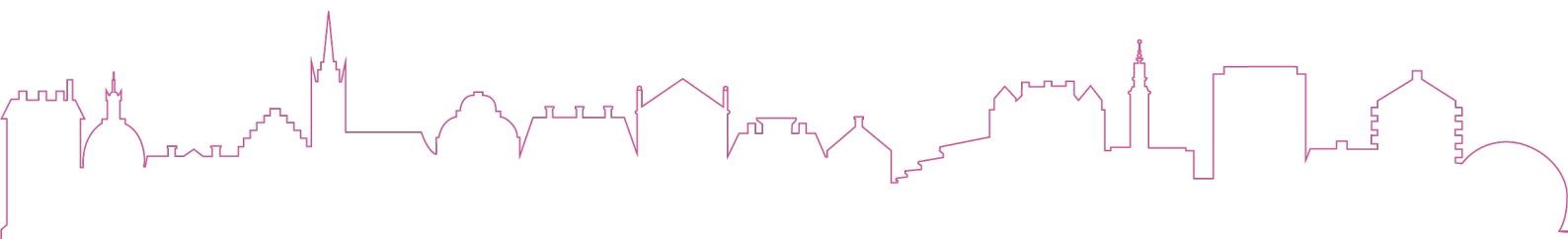
#### 3.1 STUDERADE KYRKOR

Roslagens Östra pastorat förvaltar 19 kyrkor (varav 17 kulturminnesmärkta) byggda mellan 1100-tal och fram till 1995. Nio är medeltida, fyra är stenkyrkor från 1700- och 1800-talet, tre är träkapell från 1900-talet, en är träkyrka från 1700 talet och två är modernare med kyrksal, församlingssal och kontor i samma byggnad. Ungefär hälften av kyrkorna används sällan. Övriga används normalt varje vecka och det förekommer både kontinuerlig och intermitterande uppvärmning. Uppvärmningen sker huvudsakligen med direktverkande el med äldre styrning men även bergvärmepump, pellets, fjärrvärme och luft-luftvärme-pump finns. I projektet har stenkyrkorna från medeltid till 1800-tal studerats. Den uppvärmda golvytan i kyrkorna varierar mellan 217 m<sup>2</sup> och 647 m<sup>2</sup>. Figur 1 visar några av dessa kyrkor.

I Bilaga 1 presenteras normalårskorrigerad energianvändning och inneklimat i de stenkyrkor som det finns tillgängliga mätningar för. Energianvändningen presenteras dels per år och dels per månad. Den årliga energianvändningen i de olika kyrkorna har varierat mellan cirka 75 och 240 kWh/m<sup>2</sup>. Elvärme används i kyrkorna Blidö, Estuna, Frötuna, Lohärd, Roslagsbro, Rådmansö, Vaddö och Vätö. I kyrkorna Rådmansö och Länna används bergvärmepump. Söderbykarl kyrka har luft-luft-värmepumpar och elvärme. Riala kyrka använder närvärme från en pelletspanna och Norrtälje kyrka värms med fjärrvärme.



Figur 1 Exempel på stenkyrkor från medeltid till 1800 tal i Roslagen östra pastorat som studerats i projektet (Roslagsbro, Vätö, Frötuna, Norrtälje, Vaddö, och Rådmansö).



### 3.2 SIMULERADE UPPVÄRMNINGSBEHOV OCH EKONOMI

I Bilaga 2 presenteras simulerade uppvärmningsbehov för en exempelkyrka. Exempelkyrkan har en golvyta på 253 m<sup>2</sup> och byggteknik som ska motsvarar en äldre stenkyrka. Simuleringar av uppvärmningsbehov har gjorts för olika fönstertyper, olika isolering av vindsbjälklag, olika luftomsättningar och alla olika kombinationer av dessa för att ta fram ett underlag som ska kunna vara representativt för många olika fall. Samtliga fall har simulerats för olika driftsfall, antal gånger per vecka som kyrkan värms (från kontinuerligt till en två gånger per månad), för olika temperaturer när kyrkan värms och för olika börvärden på temperaturen vid frånvaro. De olika fallen har simulerats för olika uteklimat inklusive ett framtidsscenario som avser 2050 från klimatsimuleringsprogrammet Meteonorm. Totalt innebär det drygt 7000 simuleringar av uppvärmningsenergiesenergi.

Simuleringsresultatet ger inte exakta uppvärmningsbehov i en specifik kyrka eftersom de avser en exempelkyrka utan exemplifierar storleksordningen och genom att jämföra olika fall kan energibesparingspotentialen för olika åtgärder jämföras. Exempelvis ger skillnaden mellan fallen med olika fönstertyper riktvärden för vilken besparing som kan göras vid en uppdatering av fönster och skillnaden mellan fall som vid intermitterent uppvärmning har olika börvärden för temperaturen vid frånvaro exemplifierar hur stor besparingen blir om den temperaturen sänks. I simuleringarna inkluderas inte energianvändning för att kontrollera och begränsa nivån på den relativ fuktighet i samband med intermitterent uppvärmning.

Att spara energi handlar i stor utsträckning om att påverka den ekonomiska situationen i pastorat och församlingar och det är ofta utifrån ett ekonomiskt perspektiv som det avgörs om en energieffektiviserande åtgärd genomförs. När man ska ta beslut om vad man ska göra eller inte göra för åtgärder kan man med tanke på den ekonomiska aspekten med fördel grunda det på livscykelkostnaden (LCC:n). Det är ett sätt att uppskatta summan av både kostnaden för energiåtgärdernas genomförande initialt och den minskade energikostnaden över energiåtgärdernas livscykel. Livscykeln kan antingen vara hur länge man tänker förvalta byggnaden eller hur länge energiåtgärden som analyseras bedöms hålla. Vad som också behövs är en kalkylränta som i praktiken är nominell ränta minus inflation, eller om det är energi, nominell ränta minus nominell energiprisökning. Nominell ränta kan ses som den alternativa ränta till vilken man kan investera pengar, och ofta låter man den innehålla ett visst mått av påslag för risk. Typiskt kan den antas vara några få procent om man ser saker på lång sikt. Inflationen har varit hög på senare år men har sedan 1990-talet annars varit ett par procent. Energiprisökningen har på senare tid varit högre än inflationen men ingen vet mycket om framtiden. Nominell innebär förändringen i absoluta termer. Om man har 100 kr i fonder och de förväntas stiga 5 % så är 5 % den nominella räntan. Då har man 105 kr efter ett år. Med bankränta är det helt förutbestämt medan man inte kan veta om det gäller fonder. Om man har låst bankräntan. Realränta är, vid små räntor, approximativt lika med nominell ränta minus inflationen. Kalkylräntan är realräntan alternativt, som sagts, nominell ränta minus nominell prisökning på energi. Om kalkylräntan är positiv, vilket är det normala, så är framtida kostnader värda mindre.

Oftast använder man nuvärdemetoden vid LCC-beräkningar. Då erhåller man den totala kostnaden över livscykeln omräknad till dagens värde. Antag en bankränta (nominell ränta) på 2 % och en inflation på 1 %, och en räkning som skulle vara på 100 kr men som inträffar om ett år. Då kommer



räkningen att vara på 100·1,01 kr = 101 kr. Samtidigt, om man sätter 100 kr på banken så kommer man att ha 102 kr efter ett år. Frågan är hur mycket man måste sätta undan i dag för att kunna betala räkningen om ett år. Det exakta beloppet i exemplet är 99,02 kr vilket är ungefär 99 kr.

Nuvärdet,  $PV_i$ , av en framtida kostnad  $i$ ,  $C_i$ , som inträffar efter  $N$  år, kan räknas ut med ekvationen nedan. Kalkylräntan är  $r_{di}$ .

$$PV_i = \frac{C_i}{(1+r_{di})^n}$$

Nuvärdet av flera framtida kostnader som inträffar i slutet av varje år under livscykeln  $N$  år kan räknas ut med ekvationen nedan.

$$PV_i = C_i \frac{(1+r_{di})^N - 1}{r_{di} \cdot (1+r_{di})^N}$$

Specialfallet om  $r_{di} = 0$ , vilket inte är helt orimligt och ett bra första överslag innebär att man bara kan multiplicera den årliga energikostnaden med antal år,  $N$ , se ekvationen nedan.

$$PV_i = C_i \cdot N$$

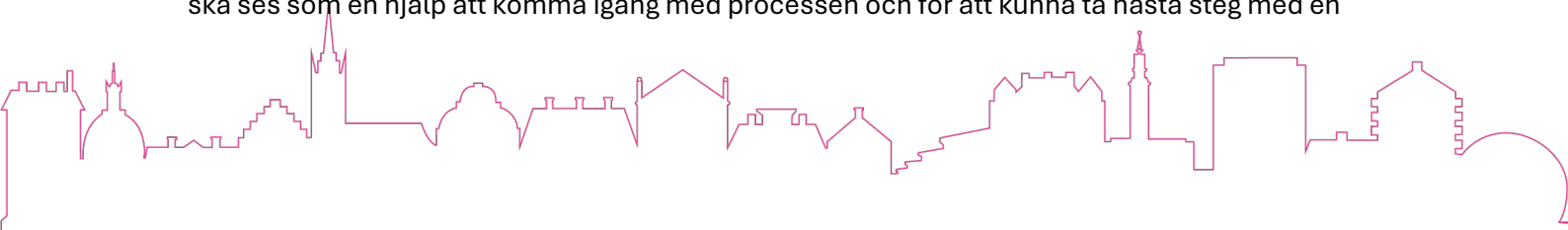
Payback-tid definieras som det antal år som behövs för att energikostnadsbesparingarna ska vara lika med den initiala kostnaden för energiåtgärden.

Den årliga energikostnaden kan man uppskatta med hjälp av egna energiberäkningar eller beräkningar som finns i Bilaga 2, samt det energipris man har. Initial kostnad är inte lika lätt. Det finns referensverk som Sektionsfakta från Wikells, men energiåtgärder i äldre kyrkor skiljer sig ganska mycket från det som Sektionsfakta har tagits fram för så här krävs egen erfarenhet, offerter eller andra pastorats erfarenhet. Här måste arbetsinsatser ingå och i vissa fall kanske pastoratet utför visst arbete i samband med energiåtgärder själva.

### 3.3 VÄGLEDNING

Vägledningen som presenteras i Bilaga 3 har tagits fram för att kunna fungera som ett diskussionsunderlag och som en del i ett beslutsunderlag tidigt i processen när man undersöker olika åtgärder för att minska uppvärmningsenergin i äldre kyrkor. Målet är att underlätta för pastorat och församlingar att göra medvetna val utifrån ett helhetsperspektiv. Kompetensen kan se olika ut i olika pastorat. Diskussionsunderlaget ska kunna användas utan någon expertkompetens. Materialet är utformat baserat på behov som har identifierats vid workshops/intervjuer med olika yrkeskategorier som arbetar i och med kyrkorna och de frågeställningar som har kommit upp för olika åtgärder. Olika åtgärder belyses utifrån energibesparing, funktssäkerhet, kulturmiljö, innemiljö och teknik.

Som bakgrund finns det övergripande resultatet från projektet och exempel i denna rapport. Diskussionsunderlaget ger inga slutgiltiga svar eller rekommendationer om specifika åtgärder eftersom det måste baseras på kunskap om och förståelse för den specifika kyrkan. Materialet ska ses som en hjälp att komma igång med processen och för att kunna ta nästa steg med en





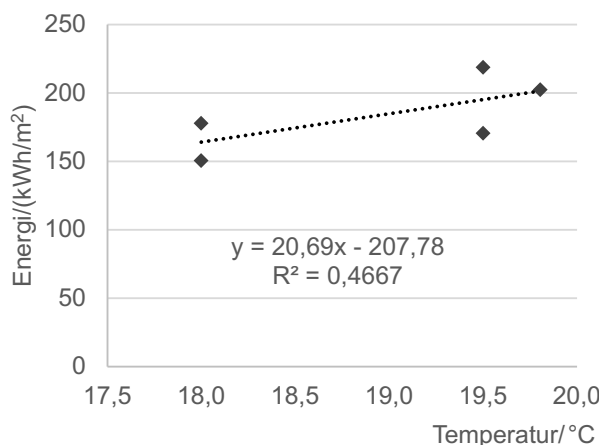
större medvetenhet om helhetsperspektiv på olika åtgärder. Det ger möjlighet till ett underlag för diskussioner med till exempel stiftsantikvarie, stiftingenjör, konsulter och entreprenörer. Skriften är tänkt att kunna läsas av såväl lekmän som personal eller förtroendevalda samt andra som på olika sätt är involverade i kyrkobyggnader.

### 3.4 INTERMITTENT UPPVÄRMNING OCH TEMPERATUR

Att sänka temperaturen eller att värma intermittent kan vara ett enkelt sätt att minska energianvändningen. Men innetemperaturen påverkar inte bara energianvändningen och i praktiken behöver olika aspekter vägas mot varandra, som att spara energi, erbjuda bra termisk komfort och bevarande av kulturhistoria. De kyrkor som studerats inom projektet och som använder intermittent uppvärmning används relativt frekvent, typiskt någon gång per vecka. Det handlar alltså inte om kallställning av kyrkor under längre tid.

#### 3.4.1 ENERGI UPPMÄTT

Fyra av de studerade kyrkorna (Länna, Roslagsbro, Söderbykarl och Vätö) har värmts intermittent under den tid som det presenteras energi- och inneklimatdata i Bilaga 1. Av de kyrkor som under den perioden värmts kontinuerligt och som värms med el utan användning av värmepumpar (Blidö, Estuna, Frötuna, Lohärd och Vaddö) har den årliga energianvändningen varierat mellan cirka 150 och 220 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> och baserat på tillgänglig uppmätt innetemperatur kan medeltemperaturen i kyrksalen under uppvärmningssäsongen uppskattas varit mellan 18,0 och 19,8 °C i de olika kyrkorna. I Figur 2 presenteras dessa kyrkors årliga energianvändning som funktion av innetemperaturen tillsammans med en linjär regression för sambandet mellan energianvändning och temperatur.



Figur 2 Årlig energianvändning i kontinuerligt uppvärmda kyrkor som funktion av innetemperatur under uppvärmningssäsong.

Baserat på regressionslinjen är det cirka 20 % lägre användning vid en innetemperatur på 18 °C jämfört med 20 °C vilket innebär cirka 10 % per grad Celsius vilket är något högre än motsvarande resultat från simuleringar i Bilaga 2 där procentsats är cirka 7% per grad Celsius. R<sup>2</sup> värdet indikerar att nästan 50 % av skillnaden i energianvändning mellan de olika kyrkorna förklaras av skillnaden i innetemperatur medan drygt 50 % av skillnaden beror på annat än innetemperaturen. I

simuleringarna är det skillnaden för samma kyrka som jämförs medan resultatet i Figur 2 är för olika kyrkor av olika storlek och olika specifika förutsättningar vad gäller det lokala klimatet etcetera samtidigt som mätobjekten för analysen är relativt få.

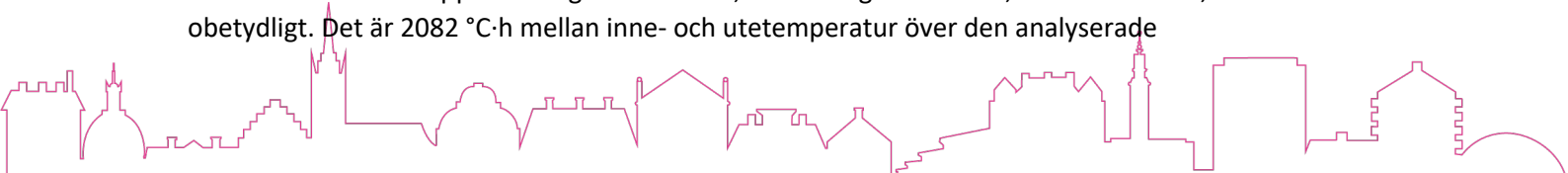
I de studerade kyrkorna som värmts intermittent har den årliga energianvändningen varit mellan cirka 75 och 240 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> under tider som det presenteras energi- och inneklimatdata för i Bilaga 1. Av dessa har Länna kyrka som värms med bergvärme den lägsta energianvändningen. Söderbykarl som har den näst lägsta användningen, kring 105 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>, använder luft-luft-värmepumpar i kombination med direktverkande el. Roslagsbro som har tilläggsisolerat vindsbjälklag och energiglas har en energianvändning kring 125 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> medan energianvändningen i Vätö är väsentligt högre kring 240 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>. Båda dessa kyrkor är medeltidskyrkor som värms med el och församlingarna använder kyrkorna på liknande sätt. Däremot skiljer sig kyrkorna åt när det gäller storleken där Roslagsbro kyrka har dubbelt så stor golvyta som Vätö kyrka och de värms till olika temperaturer vid verksamhet samtidigt som de använder olika börvärden för temperaturen vid frånvaro. I Vätö kyrka finns problem med fukt som gör att det används avfuktare i kyrksalen och sakristian värms upp kontinuerligt som en egen klimatzon för att möjliggöra förvaring av känsliga inventarier såsom textilier och böcker som är känsliga för hög relativ fuktighet. Med tanke på de olika förutsättningarna som gäller för dessa båda kyrkor vad gäller energieffektiviserande åtgärder, fuktproblematik mm samtidigt som de båda värmts intermittent och haft jämförbar användning (gudstjänster etc.) studeras de mer i detalj för att analysera hur den intermittenta uppvärmningen påverkat energianvändningen.

#### 3.4.1.1 ANALYS AV ENERGIANVÄNDNING I TVÅ KYRKOR MED INTERMITTENT UPPVÄRMNING

Data för variabelerna elanvändning, innetemperatur och utetemperatur under uppvärmningssäsongen 2023-2024 ligger som grund för analysen. Roslagsbro kyrka har en uppvärmd yta på 415 m<sup>2</sup> och Vätö kyrka på 247 m<sup>2</sup>. Roslagsbro kyrka som har tilläggsisolerat vindsbjälklag och energiglas har en betydligt lägre energianvändning om den uttrycks per uppvärmd golvyta.

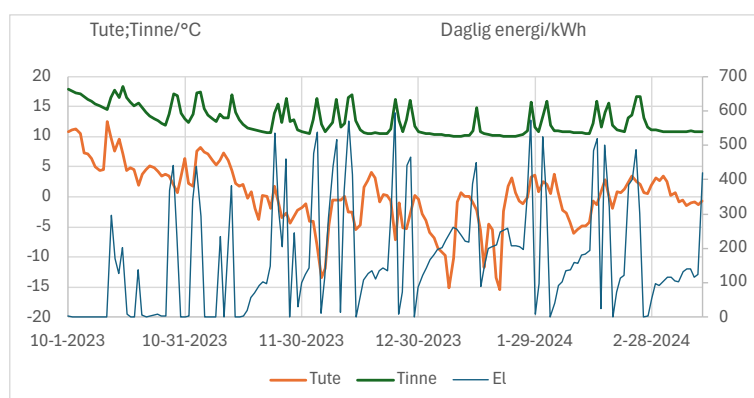
Figur 3 visar daglig elenergi till Roslagsbro kyrkas uppvärmning under den del av mätperioden som är uppvärmningssäsong, 2023-10-01 – 2024-03-12, 164 dagar, tillsammans med innetemperatur i kyrksalarna samt utetemperatur som funktion av tiden. Här ser man tydligt det cykliska styrsättet för uppvärmningen där temperaturbörvärdet ökas när kyrkan används. Figur 4 visar samma period för Vätö kyrka. I Roslagsbro kyrka syns cirka 20 tillfällen då värmen ökas medan det syns cirka 25 tillfällen i Vätö kyrka. I Vätö kyrka släpps temperaturen lägre ner än i Roslagsbro kyrka. I Vätö kyrka ser man knappt att värmesystemet verkar slå till innan det är dags för användning igen medan det är tydligt i Roslagsbro kyrka att värmesystemet ger energi mellan topparna i temperatur och att börvärdet är omkring 10°C vid frånvaro. I Roslagsbro kyrka kan man se hur värmebehovet ökar efter 2023-12-30 då temperaturen har gått ner till 10°C inne och temperaturen sedan sjunker ute.

I Vätö kyrka finns en bottenlast för elanvändningen som förklaras av att man värmer sakristian kontinuerligt och i kyrksalen används avfuktare. Om man tar bort dygnsmedeleffekter över 5 kW, vilket visas vara rimligt senare i Figur 6, så kan det antas att denna effekt går till uppvärmningen av sakristian och avfuktare. Detta svarar mot cirka 81 kWh/dag, eller en medeleffekt på 3,4 kW. Totala uppvärmningen av Vätö kyrka för denna period är 32 815 kWh, varav 3,4 · 24 · 164 kWh = 13 300 kWh kan antas vara uppvärmning av sakristian, avfuktning eller annat, alltså cirka 40%, vilket inte är obetydligt. Det är 2082 °C·h mellan inne- och utetemperatur över den analyserade

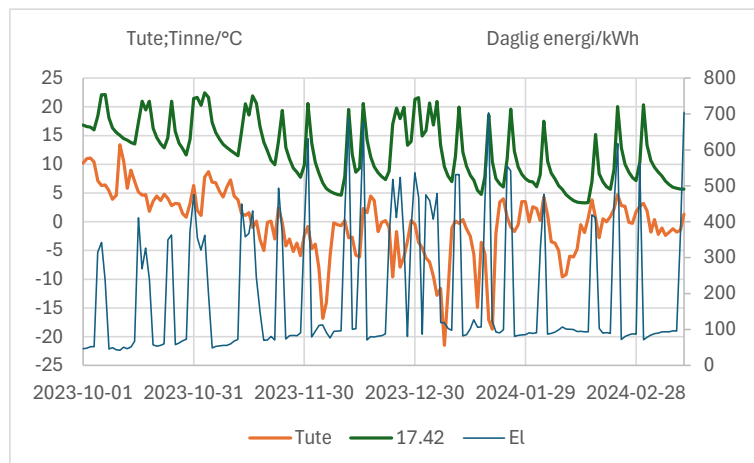




uppvärmningsperioden för kyrksalen. Om man hade värmt till 20 °C hela perioden hade det varit 3333 °C·h, vilket överslagsmässigt bör innebära att differensen mellan 32 815 och 13 300 borde bli 3333/2082 gånger större, det vill säga 31 241 kWh, för kyrksalen och därmed 44 541 kWh totalt. Det innebär en uträknad besparing med att sänka temperaturen vid frånvaro på 11 726 kWh under den analyserade delen av året. Motsvarande besparing för Roslagsbro, där inte sakristian värms, skulle uppskattas till 9 952 kWh, där den mätta användningen under den analyserade perioden var 28 191 kWh.



Figur 3 Temperatur inne och ute samt elanvändning i Roslagsbro kyrka.

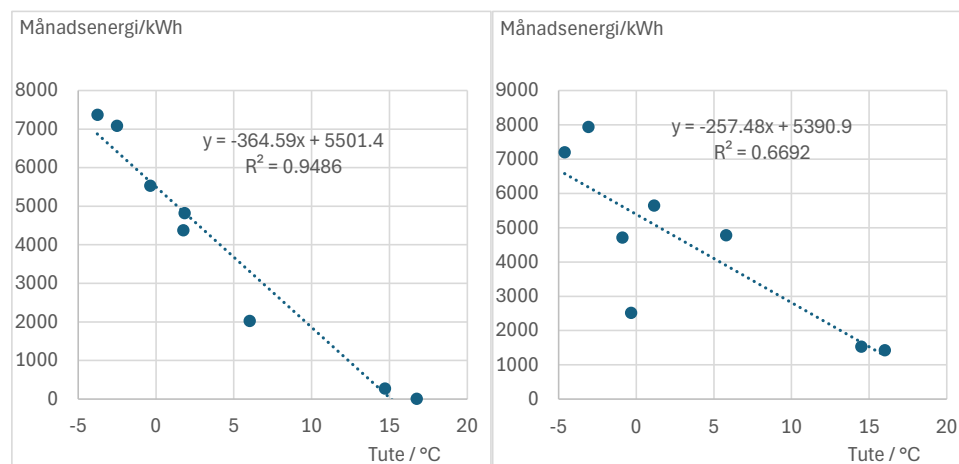


Figur 4 Temperatur inne och ute samt elanvändning i Vätö kyrka.

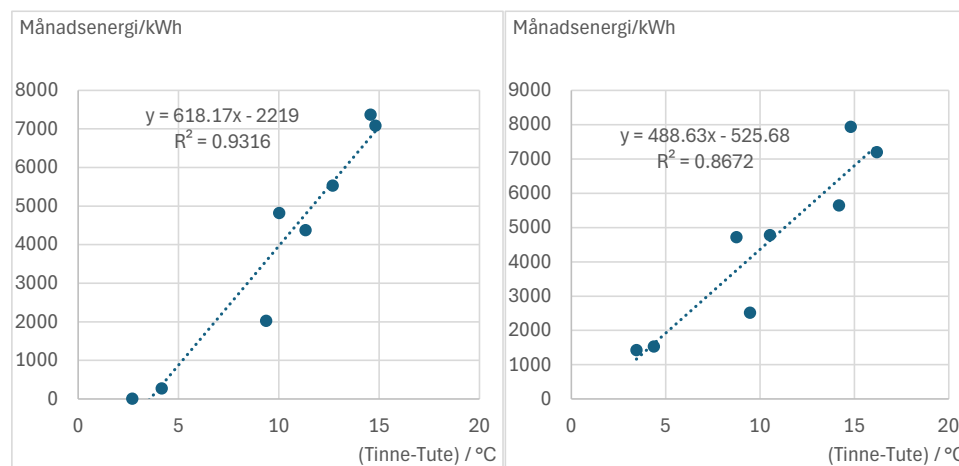
Om man skalar upp besparingssiffrorna som nämndes för att sänka temperaturen vid bortavaro linjärt till hela året skulle det innebära en uppskattad besparing på 15,8 MWh för ett genomsnittligt år i Roslagsbro kyrka, eller cirka 26%, respektive 18,0 MWh eller cirka 26% i Vätö kyrka.

Analys av data har gjorts för att redovisa effektsignaturer, dels på månadsnivå, dels på dygnsnivå. Man väntar sig att värmetrögheten och det cykliska driftsättet gör det svårt att se en tydlig effektsignatur om datans tidsupplösning är kort. Figur 5 visar kyrkornas effektsignatur på månadsnivå. Figur 6 visar samma sak men med temperaturdifferensen mellan inne och ute på x-

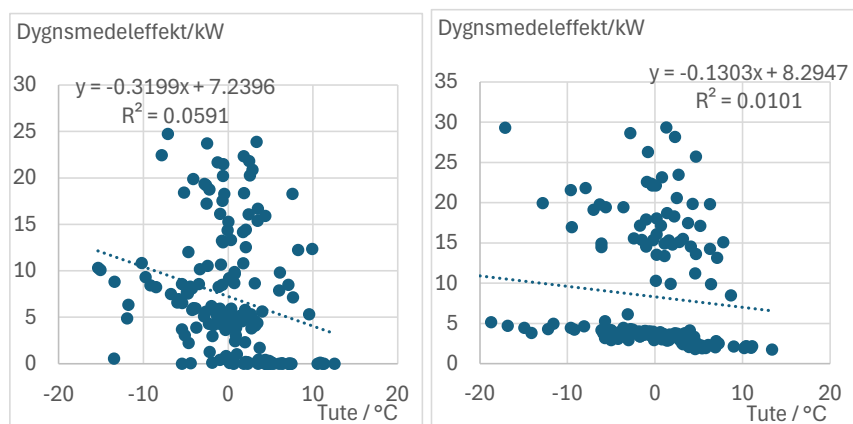
axeln. Man kan dra slutsatsen på trendlinjernas lutning att innetemperaturen i genomsnitt är lägre ibland när det är kallare ute eftersom lutningen är ungefär hälften om man relaterar till utetemperatur jämfört med differensen. Kyrkorna används så pass sällan att varierande användning leder till olika energibehov för månader med samma utetemperatur men den linjära trenden är ändå tydlig. Energianvändningen i Roslagsbro kyrka är mer utetemperaturberoende vilket bör förklaras av att frånvarotemperaturen är högre än för Vätö kyrka.



Figur 5 Effektsignatur med månadsupplösning för Roslagsbro kyrka till vänster och Vätö kyrka till höger.

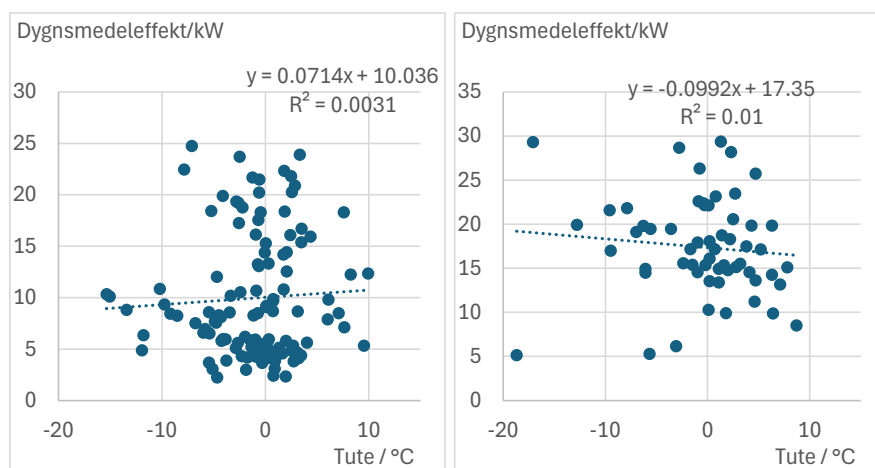


Figur 6 Effektsignatur med månadsupplösning för Roslagsbro kyrka till vänster och Vätö kyrka till höger uttryckt som funktion av skillnaden mellan in- och utetemperatur.

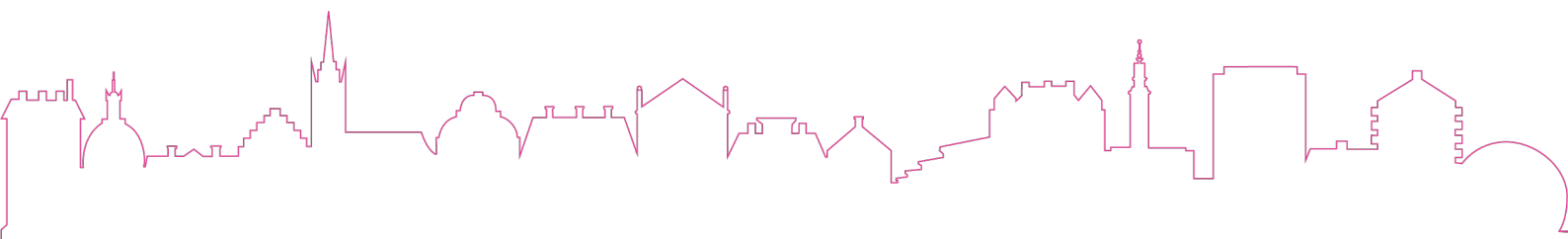


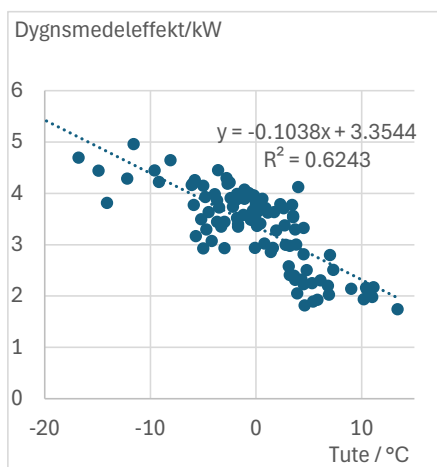
Figur 7 Effektsignatur med dygnsupplösning för Roslagsbro kyrka till vänster och Vätö kyrka till höger.

I Figur 7 ser man att det finns ett antal punkter där värmen är avstängd, i Roslagsbro kyrkas fall är effekten nästan 0 medan den har ett ganska konstant lågt värde i Vätö kyrka till följd av den konstant uppvärmda sakristian och avfuktare. Lutningen indikeras i Roslagsbro kyrka men som väntat mycket svagare och i Vätö kyrka ser man knappt trenden alls. Genom att bara ta med dygn då kyrksalen värms erhålls effektsignaturerna i Figur 8. Den linjära trenden är borta till följd av värmetrögheten och sättet att cykla ut värmen. Det innebär att effektsignaturer för tröga byggnader med varierande temperaturbörvärden måste göras med ganska långa tidsperioder.



Figur 8 Effektsignatur med dygnsupplösning för Roslagsbro kyrka till vänster och Vätö kyrka till höger. Dygn där uppvärmningen antas vara av är bortplockade.





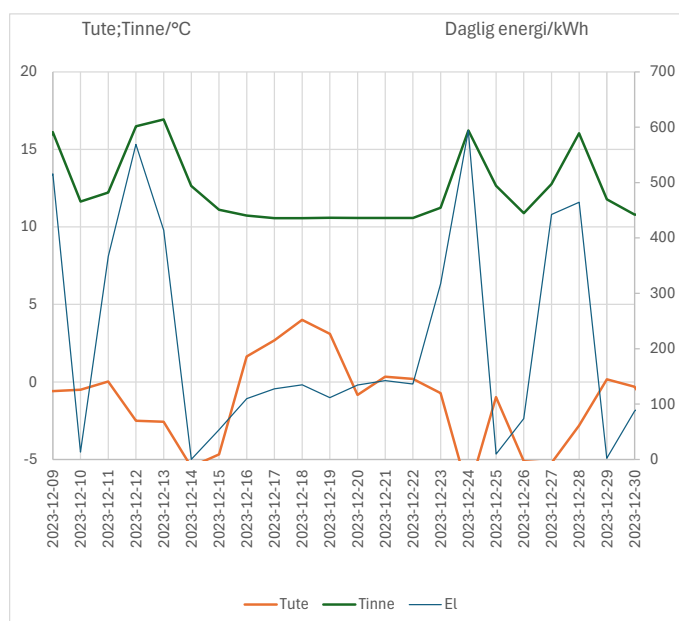
Figur 9 Effektsignatur med dygnsupplösning för Vätö kyrka. Dygn där troligen el i huvudsak används för uppvärmning av sakristian och eventuell avfuktning är de enda som är medtagna.

Figur 9 visar en effektsignatur för Vätö kyrka med dygnsupplösning för alla dagar med en medeleffekt under 5 kW, vilket med all sannolikhet svarar mot uppvärmningen av sakristian och avfuktning. Här är den linjära trenden mycket tydlig vilket den bör vara med konstant uppvärmning.

Regressionslinjens lutning är 104 W/°C, vilket jämförelsevis kan tänkas svara mot ett mindre småhus med någorlunda modern isoleringsstandard. Regressionslinjen korsar x-axeln vid 32 °C vilket är mer än rimlig innetemperatur men kan förklaras av två befintliga avfuktare som använder el.

Temperaturen i Sakristian är mätt till 17,4 °C i genomsnitt under den analyserade perioden. Anta att regressionslinjens värde vid 17,4 °C ger en konstant effekt som inte värmer sakristian. Då kan denna effekt uppskattas till 1,3 kW. Detta skulle innebära 5032 kWh under den 164 dagar långa perioden. Hela energin under perioden kopplad till sakristian bedömdes vara 13 300 kWh, och då skulle det kunna vara rimligt att uppvärmningen till sakristian är differensen, 8 268 kWh under perioden och om man skalar upp det till hela året med förhållandet 3333 °C·h mot 2082 °C·h skulle det indikera en årlig uppvärmning av sakristian på 13 236 kWh.

Genom att räkna ut temperaturdifferensen mellan genomsnittstemperaturen inne och ute varje dygn, alltså avståndet mellan temperaturkurvorna i Figur 1 och Figur 4, och multiplicera denna med U-värdet och mantelarean på kyrkan, erhålls värmeenergin som har lämnat kyrkan genom transmission. Den första delen är de gradtimmar som behövs för uppvärmning där man kan anta att internlasterna i en kyrka av detta slag är försumbara. Genom att jämföra med eldata kan man iterera sig till att det skulle motsvara ett U·A på 578 W/°C för Roslagsbro kyrka och ett på 657 W/°C för Vätö kyrka, som är väsentligt mindre, men inte tilläggsisolerad. Dessa värden är rimliga och tyder på att värmefflöde under uppvärmningssäsongen bara sker i en riktning genom skalet. Här noteras också att en större byggnad normalt har större kvot mellan mantelyta och golvyta än en mindre kyrka, vilket ger en fördel om energianvändning jämförs per uppvärmd golvyta. I detta fall innebär det att man väntar sig lite bättre siffror för Roslagsbro kyrka än för Vätö kyrka per uppvärmd golvarea, men större delen förklaras av bättre isolering, speciellt som den värms något mer än Vätö kyrka. Å andra sidan är närvarotemperaturen lite lägre för Roslagsbro kyrka.

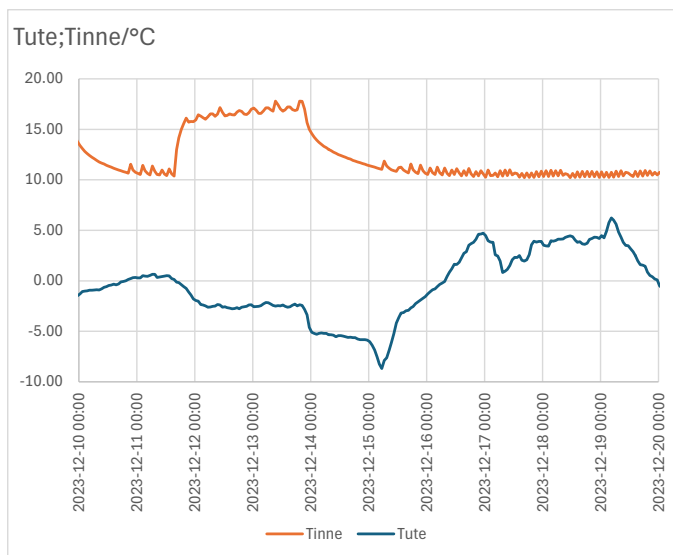


Figur 10 Temperatur inne och ute samt elanvändning i Roslagsbro kyrka.

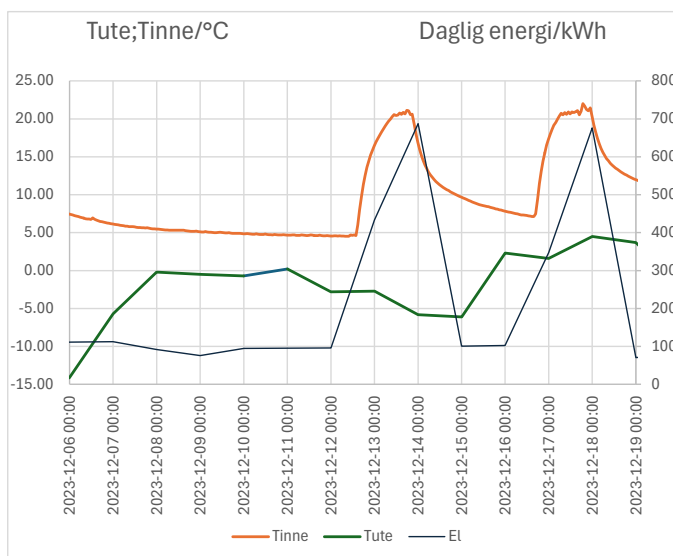
Figur 10 visar några dagar av mätdata för Roslagsbros kyrka. Här kan man se 2023-12-10 att värmen har varit av med 0 i dygnsanvändning. Temperaturen faller från föregående period. Värmen har slagits på och når cirka 17 °C 2023-12-13, vilket tyder på att det tar viss tid att få kyrkan varm. Temperaturen faller sedan under ett par dagar medan värmeeffekten sakta höjs, vilket tyder på att termostaten till uppvärmningen har någon form av hysteres. Annars skulle temperaturen falla helt ner till drygt 10 °C innan någon effekt förs in. Sedan tillförs en viss effekt för att hålla sig vid drygt 10 °C tills nästa användning inträffar. Uppvärmningarna är ungefär lika snabba som avkylningarna, vilket tyder på att effekten som lämnar kyrkan är i samma storleksordning som effektöverskottet som tillförs kyrkan. Figur 11 visar temperaturen för samma period för varje timme. Här ser man tydligt när värmesystemets reglering hoppar in och det blir on-off-reglering med en hysteres på knappt 1 °C och en periodtid på cirka 2 timmar. Mellan 2023-12-14 strax före midnatt och 2023-12-15 cirka kl. 04 på morgonen sjunker temperaturen utan att värmeeffekt tillförs. Detta är cirka 30 timmar för att gå från 17,5 °C ner till cirka 11,5 °C vid cirka -5 °C ute. Strax före midnatt 2023-12-12 ser man att temperaturen stiger med konstant effekttillförsel men under ganska kort tid, cirka 6 timmar, vilket tyder på gott om tillgänglig effekt. Här ska noteras att det i princip är lufttemperatur som har loggats, inte operativ temperatur. Man kan vänta sig att ytterväggar och andra ytor värms upp långsammare. Man ser också att temperaturen inne stiger 1 grad följande två dygn.

Figur 12 visar ett detaljförlopp ungefär samma period fast för Vätö kyrka. Här ser man att trots att temperaturen sjunker till nästan 5 grader, ökar inte eltilförseln över det värde på cirka 100 kWh/dag som antas gå till sakristian och avfuktning förrän på eftermiddagen 2023-12-12. Ungefär under förmiddagen 2025-12-13 verkar temperaturen göra att värmen i kyrksalen börjar reglera hysteretiskt. Uppvärmningsförloppet i Vätö är något långsammare vilket tyder på lägre värmeeffekt eller, som antyds av att energianvändningen per golvyta är högre, att värmeförlustfaktorn är större, vilket är rimligt med tanke på att den saknar tilläggsisolering av vind och energiglas. Nedkylningsförloppet är

betydligt snabbare i Vätö kyrka vilket också förklaras av den större förlustfaktorn. I Vätö kyrka ser den senare delen av nedkylningsförloppet inte riktigt ut att vara exponentiellt avtagande vilket tros förklaras av värmetransport från den uppvärmda sakristian till kyrksalen.



Figur 11 Roslagsbro kyrka. Timdata på temperaturer.

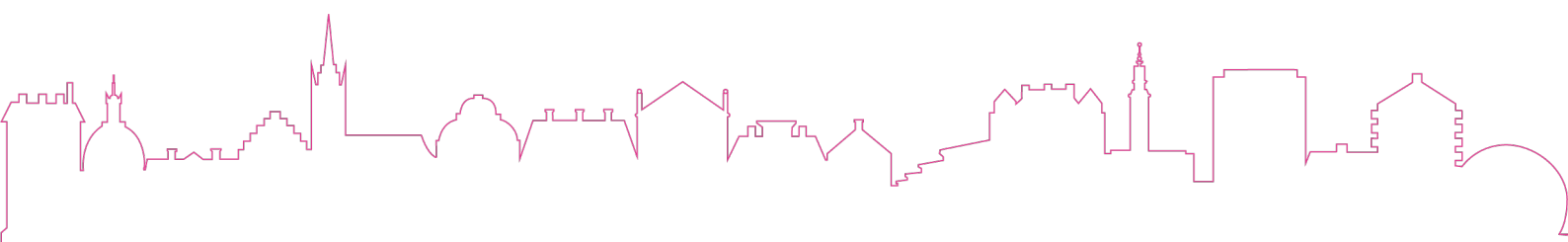


Figur 12 Vätö kyrka. Timdata på innetemperaturer samt dygnsdata på utetemperatur och el.

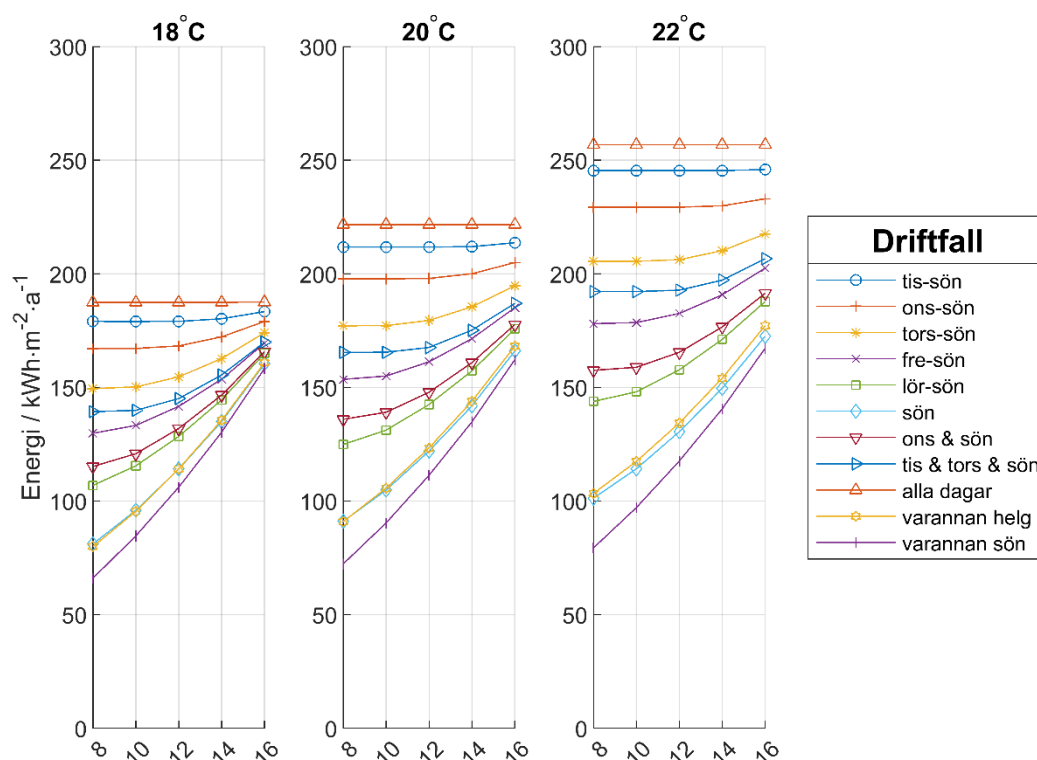
### 3.4.2 ENERGI – SIMULERAT UPPVÄRMNINGSBEHOV

Figur 13 visar exempel på simulerade uppvärmningsbehov från Bilaga 2 för en exempelkyrka och uteklimat som Norrtälje. De tre delfigurerna avser tre olika närvarotemperaturer, 18 °C, 20 °C och 22° C. X-axlarna visar börvärdet på frånvarotemperaturen. De olika kurvorna visar olika driftsfall baserat på kyrkans användning. Här finns alternativet "alla dagar" vilket är samma som konstant uppvärmning till, i det fallet med minst användning, "varannan sön". Om det hade varit ett teoretiskt fall helt utan värmetröghet, hade energianvändningen varit en tidsmässig vägning mellan den tid som kyrkans värms till närvarotemperatur och den som den värms till frånvarotemperatur. Med den verkliga värmetröghet sjunker temperaturen när användningen slutar och beroende på hur kallt det är ute kan temperaturen hinna sjunka till börvärdet på frånvarotemperaturen eller inte. Den temperatur som är potential i värmetransporten kan antas vara differensen mellan temperaturen inne och ute, och det innebär att under förloppet när innetemperaturen sjunker så minskar inte uppvärmningsbehovet i början men sedan alltmer när temperaturen sjunker.

Man kan göra tankeexperimentet att kyrkan används halva tiden, antingen varannan timme eller varannan månad, och att värmen helt stängs av vid frånvaro. Om den används varannan timme kommer inte temperaturen att sjunka märkbart men om den används varannan månad kommer energianvändningen ungefär att halveras eftersom det avtagande förloppet blir en nästan försumbar del av hela tiden. Vid beräkningarna som redovisas nedan så blir det olika mellanlägen beroende på hur långt temperaturen hinner sjunka, hur lågt den kan få sjunka och hur långa uppehåll det är i användningen. Man kan se detta tydligt på att minskningen avtar det vill säga lutningen på kurvorna blir mindre när kyrkan används frekvent och har låga börvärden för frånvarotemperaturen, till exempel i den högra delfiguren om man tar driftsfallet "tis-sön". Då används kyrkan 6 av 7 dagar och redan med ett börvärde på frånvarotemperaturen som går från 16 °C till 14 °C, sjunker knappt uppvärmningsbehovet alls, vilket innebär att temperaturen inte går ner till 14 °C ofta. Hade figuren haft med börvärde för frånvarotemperaturer upp till 22 °C hade alla punkter sammanfallit med punkten för "alla dagar". I den vänstra figuren med närvarotemperatur 18 °C och börvärde för frånvarotemperatur 16 °C ser man att dessa värden närmar sig varandra.

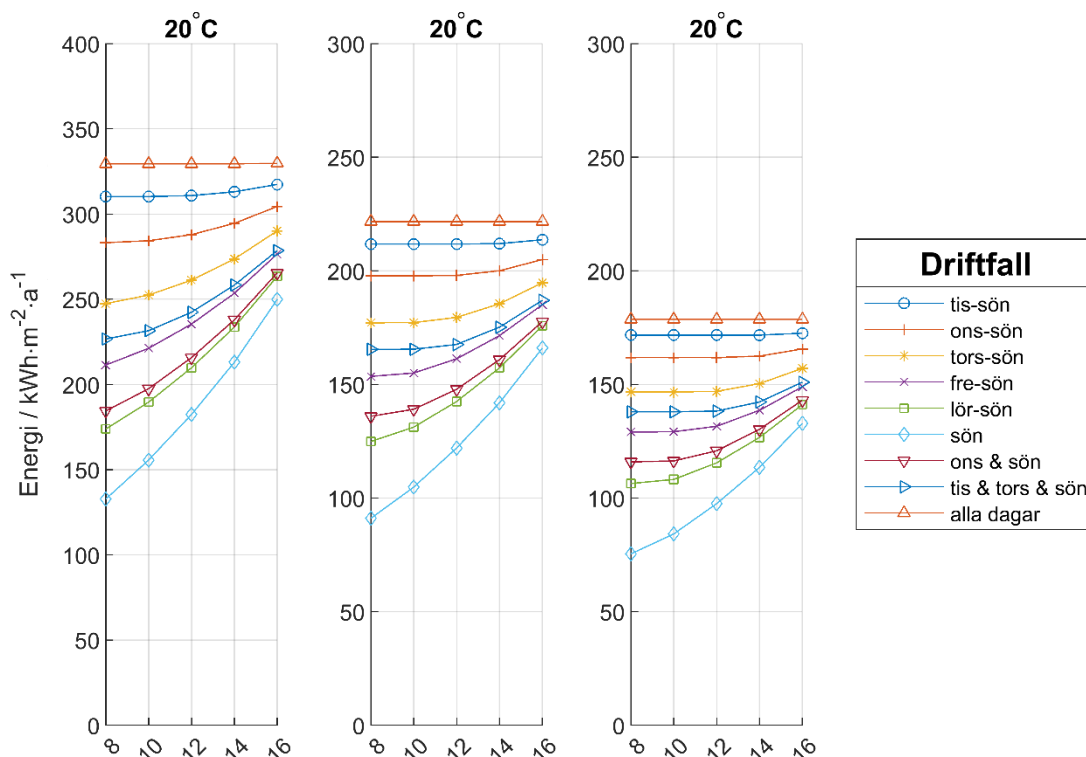






Figur 13 Exempel på årsenergi för uppvärmning som funktion av olika börvärden för temperaturen vid frånvaro (värden på x-axlar) och olika verksamhetstemperaturer (18, 20 och 22°C) för de olika driftfallen. Uteklimate som Norrköping och fönster med  $U=2,9 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ .

I Figur 14 visas exempel på årliga uppvärmningsbehov för tre olika nivåer på isolering baserat på resultat från Bilaga 2. En kyrka med högt U-värde på väggar (till vänster), en kyrka med tilläggsisolerad vind och energiglas (till höger) och i mitten är det samma som i Figur 13. Om kyrkans värmeförlusttal är större som i den vänstra bilden ser man att den absoluta nyttan med intermittent uppvärmning blir större men även den relativa nyttan blir något större, speciellt vid kortare frånvarotider. Detta kan förklaras med att värmetrögheten spelar större roll i en kyrka med lägre värmeförlusttal och därmed hinner inte temperaturen sjunka så mycket. Ett exempel är användningen "tors-sön" där man i den högra figuren ser att uppvärmningsbehovet nästan inte minskar när börvärdet för frånvarotemperaturen minskar under 12 °C. I den vänstra figuren fortsätter det med en tydlig minskning ändå ner till 8 °C.



Figur 14 Exempel på årligt uppvärmningsbehov för tre olika nivåer på isolering. Vänster ( $U_{vägg}=2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ). Mitten ( $U_{vägg}=1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ). Höger (Tilläggsisolerad vind och energiglas). Observera att det är olika skala på y-axlar i figuren.

I exemplet i Figur 13 framgår att när innetemperaturen vid kontinuerlig uppvärmning sänks inom temperaturspannet 18-22 °C minskar uppvärmningsbehovet med cirka 7 % per grads sänkning vilket i exemplet innebär drygt 15 kWh/m<sup>2</sup>. I ett uteklimat som i Norrtälje innebär det att om temperaturen vid kontinuerlig uppvärmning enligt exemplet sänks från 20 °C till 19 °C i en 300 m<sup>2</sup> stor kyrka skulle det under en 10 års period kunna innebära en besparing på cirka 45 MWh. Om det värms med direktverkande el och elpriset antas till 2 kr/kWh blir summan på 10 år 90 000 kr om kalkylräntan antas till 0 %. Med en positiv kalkylränta blir värdet av besparingen något lägre.

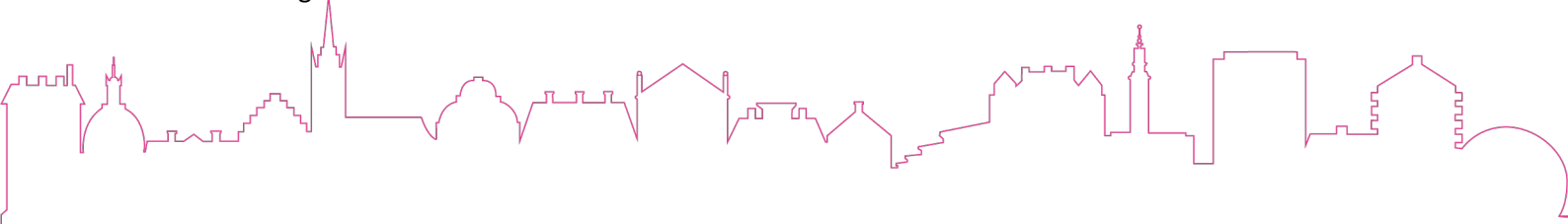
Om kyrkan istället värms intermittent till 20 °C varje söndag med börvärde för temperaturen vid frånvaro på 12 °C, och temperaturen vid uppvärmning sänks till 18 °C visar simuleringsresultatet i Figur 13 att uppvärmningsenergin minskar med cirka 7kWh/m<sup>2</sup><sub>Bra</sub> årligen. I detta exempel skulle det i en 300 m<sup>2</sup> stor kyrka under en 10 års period kunna innebära en besparing på cirka 20 MWh som med direktverkande el och ett antaget elpris på 2 kr/kWh under 10 år blir 40 000 kr med kalkylränta på 0%. Exemplet kan även uttryckas som att det i detta fall skulle kosta uppskattningsvis 4000 kr per år att intermittent värma till 20 °C istället för till 18 °C vid användning varje söndag, vilket kan förväntas ge en bättre termisk komfort. Samtidigt så kommer det att ta längre tid att värma upp till den högre temperaturen och med tanke på bevarandaspekter kan det bli sämre förutsättningar för kyrkans konstruktioner och inventarier.

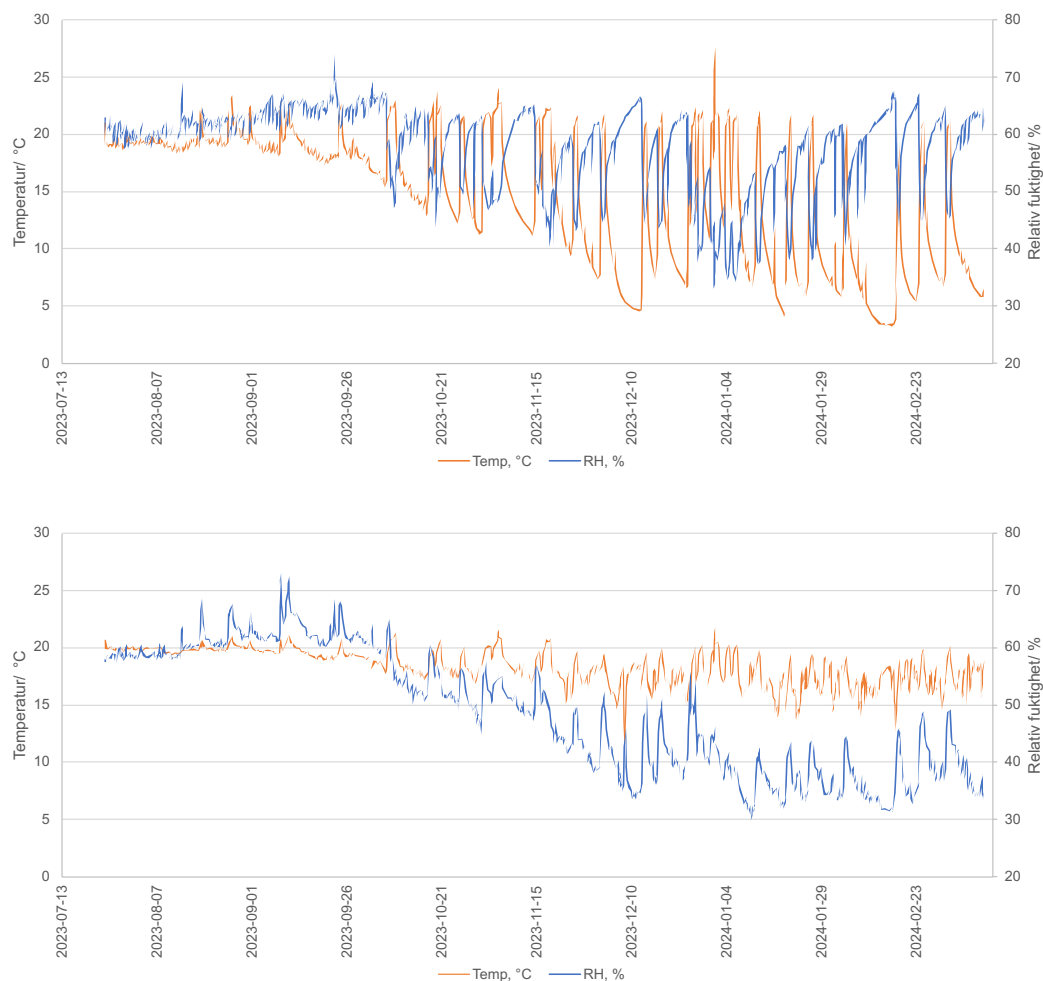
Med ett utgångsläge som är en till 20 °C kontinuerligt uppvärmd kyrka och det istället börjar värmas intermittent varje söndag med börvärde på 10 °C och om temperaturen vid närvaro samtidigt sänks till 18 °C innebär det enligt exemplet i Figur 13 att uppvärmningsbehovet minskar med drygt 50 % vilket med direktverkande el och ett antaget elpris på 2 kr/kWh under 10 års period blir motsvarande cirka 750 000 kr med kalkylränta på 0%.

### 3.4.3 FUKT OCH KULTURMILJÖ

Både aspekterna fukt och kulturmiljö är välutredda i relation till att värma intermittent och mycket av det som behöver beaktas vid en kallställning är även relevant att beakta i samband med intermittent uppvärmning [12, 13, 14]. Vid intermittent uppvärmning är fukt- och kulturmiljöaspekter tätt sammankopplade. Den relativa fuktigheten ökar med minskad temperatur samtidigt som kyrkans konstruktioner och material samt inventarier påverkas av temperatur och relativ fuktighet, såväl de absoluta nivåerna samt variationer på olika tidsskalor. Det handlar till exempel om att undvika kombinationer av temperatur och relativ fuktighet som innebär att det finns risk för mögel, för låg relativ fuktighet som kan innebära att trä torkar och spricker, samt variationer i temperatur och fukt på tidsskalor som innebär att trä sväller och torkar vilket kan leda till sprickor och färgbortfall. Vissa material och föremål såsom textilier, papper och målningar på duk kan vara extra känsliga och beroende på hur klimatet i kyrksalen påverkas av den intermittenta uppvärmningen kan det finnas behov av att värma exempelvis sakristian för att i en avgränsad del av kyrkan ha ett klimat med lägre relativ fuktighet där känsliga föremål kan förvaras. I de studerade kyrkorna förekommer både att sakristior värms och avfuktas för att det ska vara ett bra klimat för känsliga föremål och det förekommer även att textilskåp används. Figur 15 visar temperatur och relativ fuktighet uppmätt i kyrksalen och i sakristian i Vätö kyrka. Kyrksalen värms intermittent och där finns avfuktare medan sakristian värms för att hålla en lägre relativ fuktighet. Under uppvärmningssäsongen varierar den relativa fuktigheten i kyrksalen, där avfuktare har använts, mellan cirka 35 % och 65 %, medan den relativa fuktigheten i sakristian generellt legat lägre, särskilt från november. Däremot är den relativa fuktigheten hög även i sakristian under sommaren, strax över 60 %, och det tar ett tag in på hösten innan den faller under 50 %. I en kontinuerligt uppvärmd kyrka blir det under året stor skillnad i relativ fuktighet. Med intermittent uppvärmning och korta uppvärmningsperioder när kyrkan används så att temperaturändringen inte hinner påverka materialen kan det ur bevarandeperspektiv bli ett bättre klimat med jämnare relativ fuktighet under året. Med snabb uppvärmning kommer material i golv och väggar att fortfarande vara kalla när kyrkan används samtidigt som det finns ett fukttillskott från besökarna vilket kan ge kondens på kalla ytor.

Ändras klimatet i kyrkan kommer även klimatet på vinden och i krypgrunden, om sådan finns, att påverkas. Sänks temperaturen i kyrksalen är det till exempel troligt att kallvinden blir kallare och får ökad relativ fuktighet med nya risker som följd. Inför ändringar i temperatur behöver det utredas hur kyrkans olika konstruktioner, byggdelar och inventarier kommer att påverkas och följas upp hur de påverkas så att åtgärder kan ändras vid antydning om problem. I olika delar av kyrkan kan det uppstå mikroklimat där det kan bli kallare och fuktigare, till exempel bakom inventarier som tavlor och skulpturer, och i orglar. Dessa platser behöver identifieras så att de kan kontrolleras regelbundet. Det är viktigt att mäta fuktförhållanden på olika platser i kyrkan både före och efter att ändringar i temperatur görs för att förstå fuktförhållandena från början och för att kunna följa upp en förändring.





Figur 15 Temperatur och relativ fuktighet uppmätt i Vätö kyrka, i kyrksalen (överst) och i sakristian (nederst).

### 3.5 TILLÄGGSISOLERING AV VIND

Av kyrkans olika byggdelar är vindsbjälklaget oftast den enda där tilläggsisolering är praktiskt genomförbar. Värmeförlusten kan här minskas på en relativt stor yta som vetter mot uteklimatet.

Man ska vara ytterst försiktig vid vindsisolering eftersom vindens temperatur och fuktförhållande påverkas och skador kan uppstå. Det är mycket viktigt att konsultera expertkompetens inom fuktsäkerhet samt stiftsantikvarie. Vid ändrad isolering ändras även förutsättningarna för bjälklag och takvalv. Kyrkvinden är en del av kyrkans kulturhistoriska miljö och konstruktionen kan ha högt kulturhistoriskt värde.

#### 3.5.1 ENERGI

De studerade uppvärmda kyrkorna har ofta någon form av befintlig isolering på vinden som i dessa fall varierat mellan 5-12 centimeter och det är ofta inte känt när den tillkommit. I de fall som studerats har genomförd och planerad isolering därför handlat om att uppdatera redan isolerade

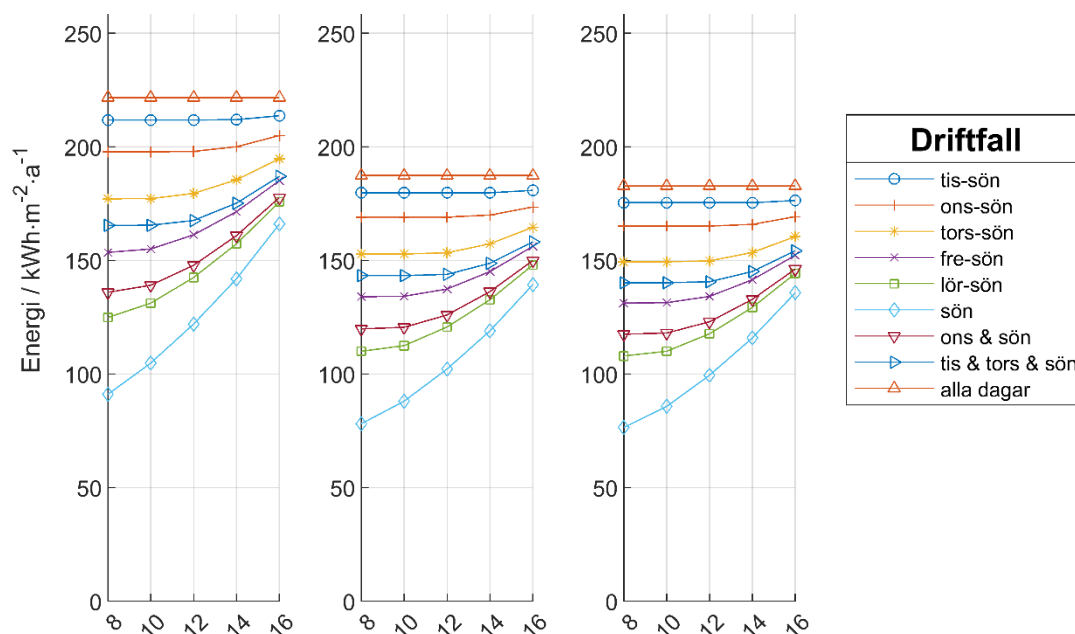
bjälklag och valv och i samband med det öka isoleringstjockleken för att minska uppvärmningsbehovet. Den befintliga isoleringen kan över tid ha minskat sin isolerande förmåga genom att den har sjunkit ihop eller att det bildats glapp när isoleringen glidit på valven eller att den har blivit smutsig. Sådana brister i den befintliga isoleringen tillsammans med att materialegenskaper för den befintliga isoleringen kan vara osäkra, gör att det kan vara svårt att bedöma det befintliga bjälklagets isoleringsförmåga. Därmed finns det även en osäkerhet i bedömningen av hur mycket en ny isolering faktiskt kommer att minska värmeförlusten. Ju mer befintlig isolering som finns, desto mindre energibesparing blir det med en viss mängd ny tillagd isolering.

Figur 16 visar den tilläggsisolerade vinden i Roslagsbro kyrka med isolering på valven. Roslagsbro kyrka har även fått energiglas som förbättrar energieffektiviteten. Under ett år värmdes kyrkan intermittent till cirka 20 °C vid användning under en fast tid per användning och annars till cirka 14-15 °C. Med användning som då varierade mellan 2 gånger per vecka till en gång varannan vecka var årsenergianvändningen (el) cirka 120 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>. Detta är lägre än andra jämförbara kyrkor inom pastoratet där det inte har tilläggsisolerats eller uppdaterats med energiglas.



*Figur 16 Vindsisolering i Roslagsbro kyrka där valven isolerats.*

I Bilaga 2 har simuleringar av vindsisolering av olika tjocklekar gjorts för ett antal olika driftsfall för att ta fram exempel på hur uppvärmningsenergin påverkas för olika fall. Vid en jämförelse mellan Roslagsbro och motsvarande fall från referensmaterialet finns en relativt god överensstämmelse i beräknad och uppmätt energianvändning även om det finns många osäkra parametrar som kan påverka att det blir så i detta fall.



Figur 17 Simulerad energianvändning i en exempelkyrka med olika nivå på isoleringen i vindsbjälklaget. 6 cm isolering ( $U=0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) till vänster, 25 cm isolering ( $U=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) i mitten, respektive 36 cm isolering ( $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) till höger.

Figur 17 presenterar exempel på simulerat uppvärmningsbehov från resultatet i Bilaga 2 för olika isoleringsnivåer på vindsbjälklaget och för olika driftsfall i en exempelkyrka. De tre isoleringsnivåerna är 6 cm isolering ( $U=0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ), 25 cm isolering ( $U=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) respektive 36 cm isolering ( $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ). Den lägre isoleringsnivån baseras på observerade befintliga isoleringsmängder i de studerade kyrkorna och de högre isoleringsnivåerna har valts för att exemplifiera ett par olika fall med olika totala isoleringstjocklekar. Om isoleringen från början är 6 cm och isoleringen ökas till 25 cm minskar värmeflödet genom vindsbjälklaget med 70 %. Om isoleringen från början är 6 cm och isoleringen ökas till 36 cm minskar värmeflödet genom vindsbjälklaget med 80 %. Hade isoleringstjockleken från början varit 12 centimeter skulle motsvarande minskningar i värmeflöde vid 25 cm respektive 36 cm isolering varit cirka 55 % respektive 65%. Detta exemplifierar att den befintliga isoleringens tjocklek har stor påverkan på hur ytterligare isoleringstjocklek kommer att påverka. Det är alltså viktigt med bra information om den befintliga isoleringstjockleken för att kunna ta fram relevanta underlag för hur ytterligare isoleringstjocklek kommer att påverka, men också att bedöma hur mycket tilläggsisolering som är rimligt.

Hur stor påverkan det minskade värmeflödet får på uppvärmningsbehovet kommer att bero på den specifika kyrkans byggdelar och hur väl de isolerar samt på hur kyrkan används. I exemplet i framgår att när isoleringstjockleken i vindsbjälklaget ökas till 25 centimeter respektive 36 cm minskar det beräknade uppvärmningsbehovet för driftsfallet där kyrkan är kontinuerligt uppvärmd till 20 °C med 15 % respektive 17 %, eller 34 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> respektive 38 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> årligen. Det är en förhållandevis stor minskning av uppvärmningsbehovet. Exempelvis skulle det i en 300 m<sup>2</sup> stor kyrka under en 10 års period kunna innebära en besparing på cirka 110 MWh. Om det värms med direktverkande el och



elpriset antas till 2 kr/kWh blir summan på 10 år 220 000 kr om kalkylräntan antas till 0 %. Med en positiv kalkylränta blir värdet av besparingen något lägre. I detta exempel motsvarar den ökade isoleringstjocklekens påverkan på uppvärmningsbehovet för en kontinuerligt uppvärmd kyrka av en sänkt innetemperatur med cirka 2-2,5 °C.

Om kyrkan istället värms intermittent varje söndag och temperaturen vid frånvaro sänks till 12 °C visar beräkningsexemplet i Figur 17 att uppvärmningsenergin vid tilläggsisolering minskar med samma procentsatser som för kontinuerligt uppvärmd kyrka medan den absoluta minskningen, som väntat, är mindre, 19 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> respektive 21 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> årligen. I detta exempel skulle det i en 300 m<sup>2</sup> stor kyrka under en 10 års period kunna innebära en besparing på cirka 60 MWh. Med direktverkande el och ett antaget elpris på 2 kr/kWh blir summan på 10 år 120 000 kr med kalkylränta på 0%. Den ökade isoleringstjocklekens påverkan på uppvärmningsenergin motsvaras i detta exempel av en sänkning av temperaturen vid frånvaro med cirka 2-3 °C.

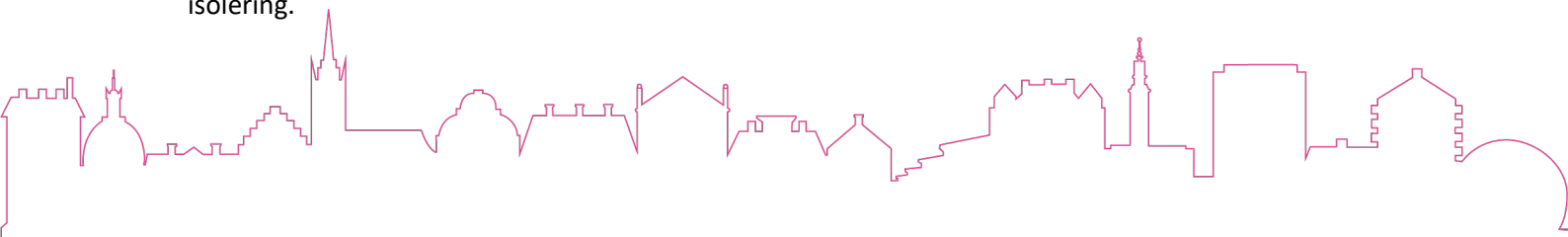
Resonemangen med exempel från referensmaterialets beräkningar ovan illustrerar behovet av inventering av befintlig konstruktion och kunskap om kyrkans användning för att kunna bedöma vilken energibesparing som en tilläggsisolering av bjälklaget kan förväntas ge. När det gäller kyrkans användning är det något som kan ändras över tid och den kan både öka och minska vilket kommer att påverka hur stor den faktiska energibesparingen över tid kommer att bli.

Med ett mer välisolerat vindsbjälklag kommer yttemperaturen på taket mot kyrksalen att bli högre och det ger i sin tur att det blir lägre relativ fuktighet på ytan. Den högre yttemperaturen på taket mot kyrksalen kan minska luftförluster och drag och därmed ge en bättre termisk komfort. Den högre temperaturen på ytan kan även göra att smuts fäster sämre.

I en av pastoratets kyrkor finns problem med smuts som fastnar på vägg- och takytor. Endast ett av takvalven ska enligt uppgift vara isolerat i denna kyrka och på det isolerade takvalvet upplevs att det är mindre smuts som fäster. Det skulle kunna förklaras av att isoleringen ger en högre yttemperatur.

När det handlar om intermittent uppvärmning är tiden det tar att värma upp kyrkan en aspekt som behöver beaktas både med tanke på att uppvärmningen ska starta i tid och med tanke på att det generellt är bättre med korta uppvärmningsperioder för att exempelvis inte trä ska torka och spricka. Ett bättre isolerat vindsbjälklag kommer att kunna göra att det går snabbare att värma upp med samma tillgängliga effekt. Med tanke på det minskade effektbehovet som extra isolering innebär kan det beroende på typen av uppvärmningssystem finnas behov av att anpassa temperaturkurvor för framledningstemperatur och injusterings.

När man inom pastoratet undersökt tilläggsisolering av vindar har återbetalningstider varit mellan 5 och 15 år. Det stora spannet har i huvudsak berott på olika isoleringstjocklekar på den befintliga isoleringen. På grund av de särskilda förutsättningarna på en kyrkvind kan kostnaden för åtgärden bli högre än för andra byggnader, vilket behöver beaktas vid kalkylering. Standardpriser, som exempelvis anges i Sektionsfakta, är inte nödvändigtvis tillämpbara. Åtgärden kan kräva extra utredningar, exempelvis av expertkompetens inom fuktsäkerhet och antikvarisk kompetens, byggnadsarkeologisk undersökning, anpassad projektering samt särskild kompetens hos entreprenörer både vid borttagning av befintlig isolering och rengöring inför installation av ny isolering.



### 3.5.2 FUKT

Stor försiktighet måste iakttagas eftersom tilläggsisolering av vinden medför förändrade temperatur och fuktförhållanden vilket ökar risken för skador. Det är därför mycket viktigt att konsultera expertkompetens inom fuktsäkerhet med erfarenhet av kulturhistoriska byggnader samt stiftsantikvarie.

Med ett mer välisolerat vindsbjälklag kommer temperaturen på vinden att bli lägre vilket resulterar i högre relativ fuktighet. För att kartlägga förhållandena innan en eventuell åtgärd bör temperatur och relativ fuktighet mätas under tillräckligt lång tid, minst ett år, för att täcka in olika säsonger. Detta ger även möjlighet att följa upp förändrade förhållanden efter genomförd åtgärd.

Eftersom diffusions- och lufttäthet kan vara svåra att uppnå i ett äldre bjälklag bör isoleringen vara hygroskopisk för att kunna hantera och buffra fukt. Annars finns risk för kondens i isoleringen och kondenserat vatten som kan rinna mot känsliga konstruktioner och material. Om befintliga material med hygroskopiska egenskaper täcks av isolering kan vindens fuktbuffrande egenskaper förändras. Detsamma gäller vindens värmetröghet, där tilläggsisolering kan påverka den termiska trögheten och därmed temperaturvariationerna på vinden.

I takbjälklaget och valven kan det finnas genomföringar för upphängning av ljuskronor samt andra öppningar, såsom gamla kaminspjäll och skvallergluggar. Öppningar mellan kyrkorummet och vinden kan påverka fuktförhållandena på vinden och behöver därför utredas. Om kyrkan ventileras med självdrag kan dessa öppningar vara en del av självdragsventilationen vilket innebär att även påverkan på kyrksalens ventilation måste utredas vid förändringar.

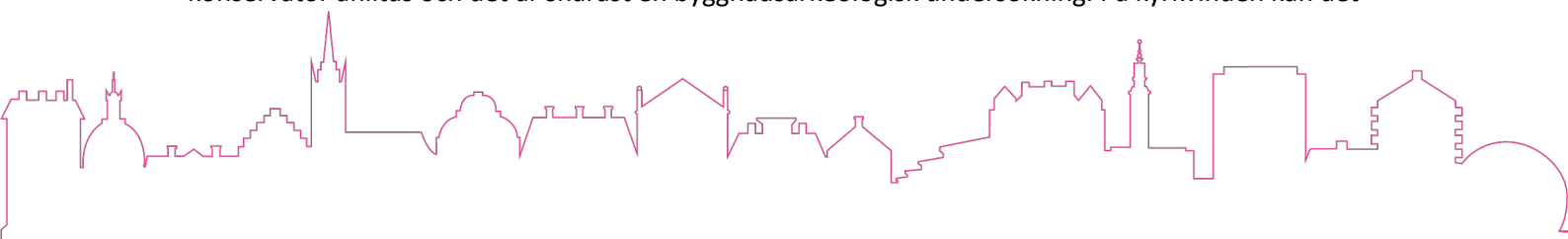
Vindens ventilation är avgörande för fuktsäkerheten eftersom den ska kunna föra bort fukt från vinden. Det måste säkerställas att ventilationsöppningar vid takfoten inte täpps igen av isolering och att övriga ventilationsöppningar. Monteringen av isolering behöver utföras så att en lämplig anslutning till murkrön uppnås, med bibehållen takfotsventilation och möjlighet till inspektion av känsliga material och konstruktioner.

Yttertaket måste vara tätt för att förhindra fukttillförsel från snö- eller regnläckage, och takavvattningens funktion (hängrännor och stuprör) behöver säkerställas. Beroende på vilket väderstreck slagregn typiskt kommer ifrån kan olika delar av taket vara mer känsliga för bristande regntäthet. Klimatförändringar kan innebära ökad mängd slagregn och större nederbördsmängder vilket påverkar både fuktbelastningen mot yttertaket och fuktnivån i kyrksalen.

### 3.5.3 KULTURMILJÖ

Kyrkvinden är ett kulturhistoriskt rum även om det kan ses som ett funktionsrum som har andra former av kulturkvalitet jämfört med kyrkorummet. På vinden är det generellt viktigt att den ursprungliga konstruktionen ska vara begriplig och att takstolars konstruktion är synlig samt att det finns möjlighet att förstå byggnadens stomme och dess historiska utveckling. Isolering kommer typiskt att dölja del av takets konstruktion. Om isolering kan följa de former som finns på vinden kan förståelsen för konstruktionen underlättas.

Vid eventuell städning inför isoleringsåtgärder behöver expertkompetens såsom timmerman eller konservator anlitas och det är snarast en byggnadsarkeologisk undersökning. På kyrkvinden kan det



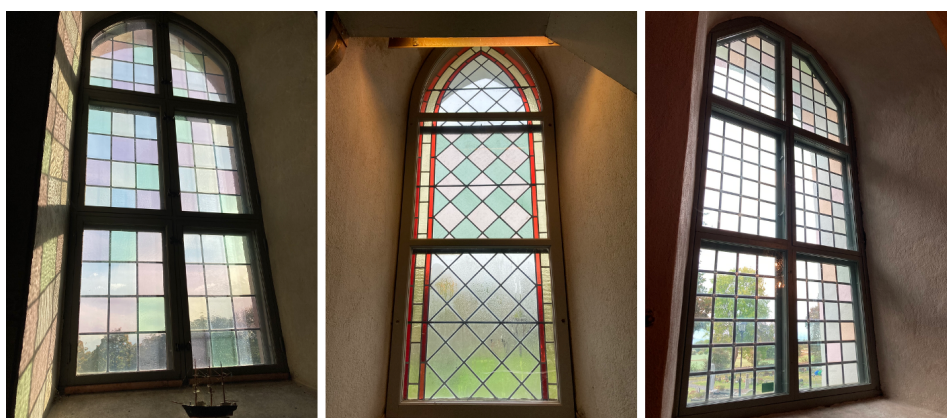


finnas sedan gammalt lagrade föremål med högt kulturhistoriskt värde såsom exempelvis äldre fönsterkarmar.

Isoleringslösningar som möjliggör inspektion av konstruktionerna och som gör det möjligt att återställa är att föredra. För att inspektera konstruktioner kan det vara fördelaktigt med isolering i form av skivor som går att lyfta bort för att exempelvis inspektera murkrön, takstolar och olika delar av konstruktionen. Tilläggsisoleringen bör vara utförd så att åtgärden går att återställa och att den inte förändrar den historiska konstruktionen. Det kan behöva göras en antikvarisk bedömning av hur ett ändrat klimat, temperatur och fuktförhållanden, påverkar de olika materialen och konstruktionerna på vinden.

### 3.6 FÖNSTER OCH TÄTHET

I de äldre uppvärmda kyrkor som har studerats i projektet har det funnits tvåglasfönster i form av kopplade fönster, karm med två bågar eller glas i extra karm. I Figur 18 visas några exempel. De inre konstruktioner har troligtvis tillkommit från 1940-tal och under några decennier framåt medan det yttre glaset ofta är äldre.

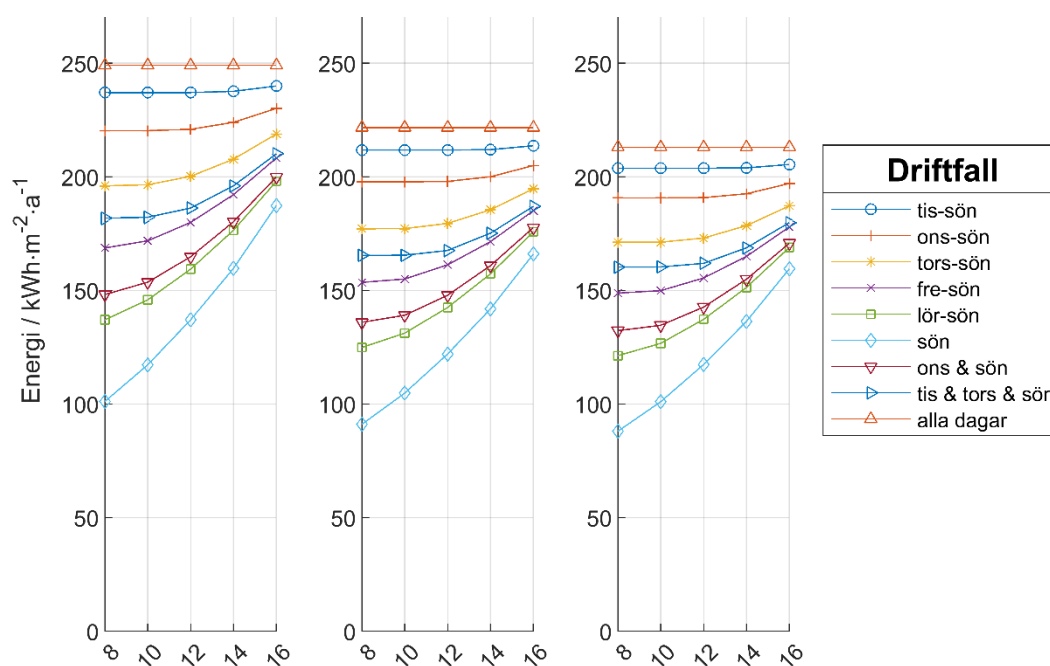


Figur 18 Exempel på olika fönsterlösningar. Roslagsbro kyrka (fönster med energiglas) till vänster. Riala kyrka (extra glas i separat karm) till höger. Estuna kyrka (karm med två bågar) till höger.

#### 3.6.1 ENERGI

Det är stor skillnad på hur bra isoleringsförmåga olika fönster med olika antal glas har. U-värdet, som anger hur mycket värme fönstret släpper igenom, är för ett englasfönster kring  $5,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  medan ett tvåglasfönster har ett U-värde kring  $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Ett treglasfönster har ett U-värde kring  $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  vilket även är ett ungefärligt U-värde för ett tvåglasfönster om ett av glasen är ett energiglas med lågenergibeläggning. U-värdet är direkt proportionerligt mot värmeflödet genom fönstret vilket innebär att med ett tvåglasfönster halveras energiförlusten genom fönster jämfört med ett englasfönster. Om ett tvåglasfönster uppdateras med ett energiglas eller ersätts med ett treglasfönster minskar energiförlusten genom fönster med cirka 35 %. Trots att en uppdatering av fönster kan ha en mycket stor påverkan på energiförlusten genom fönster så kan den relativa påverkan som den uppdateringen innebär för den totala energiförlusten för hela kyrkans klimatskal vara väsentligt mindre. Detta eftersom fönster är en relativt liten andel av den totala omslutande

arean och övriga byggdelar typiskt är av konstruktioner som inte är välisolerade. I medeltidskyrkorna är andelen fönster förhållandevis liten men det förekommer att fönsteröppningar i dessa förstörats i samband med renoveringar under 1700-talet. Störst absolut minskning av energianvändningen vid uppdatering av fönster blir det i kyrkor som är kontinuerligt uppvärmda och ju större fönsterarea desto större besparing, men det innebär också att det är mer fönster att åtgärda. För att kunna bedöma hur stor nytta man kommer att ha med tanke på att spara energi behöver det göras en analys utifrån förhållandena i den specifika kyrkan och dess användning, hur ofta den används och vilka temperaturer som är vid användning och vid frånvaro.



Figur 19 Exempel på beräknat uppvärmningsbehov för en kyrka med englasfönster (till vänster), med ett extra glas (tvåglasfönster, mitten) och med energiglas (till höger) för olika driftfall, uppvärmd till 20 °C vid användning och olika börvärden för temperaturen vid frånvaro (värden på x-axlar).

Figur 19 visar exempel på simulerade uppvärmningsbehov från Bilaga 2 för fall med olika fönster i uteklimat som Norrtälje. Om utgångsläget är englasfönster ( $U=5,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) så kan uppdatering med ett extra glas som är energiglas minska uppvärmningsbehovet med cirka 15% i en kyrka som kontinuerligt värms till 20 °C. Det är ungefär samma minskning i uppvärmningsbehov som en sänkning av inomhustemperaturen med 2 °C kan ge i en kontinuerligt uppvärmd kyrka. Motsvarande minskning för en uppdatering med ett extra vanligt glas är 11 %. Om utgångsläget i stället är att det redan finns två glas i fönstren ( $U=2,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ), vilket är vanligt i de studerade fallen, och fönster uppdateras genom att det inre glaset ersätts med ett energiglas ( $U=1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) minskas uppvärmningsbehovet med cirka 4 %. Fönsterandelen i simuleringarna är 14 % fönster i relation till golvytan i kyrkan. I en medeltida kyrka med ursprungliga fönsteröppningarna som inte förstörats vid

renoveringar kan fönsterandelen vara lägre och då kommer även genomslaget i minskat uppvärmningsbehov för kyrkan att bli lägre än procentsatserna i exemplen ovan.

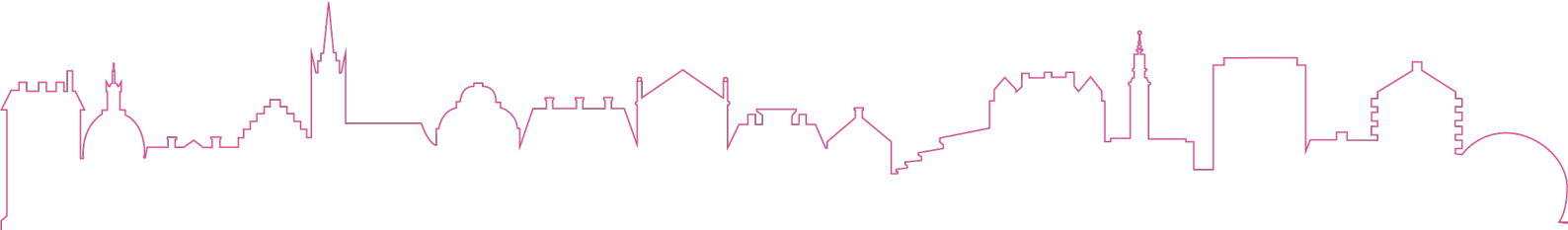
Om utgångsläget är ett englasfönster ( $U=5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) som uppdateras med ett extra glas som är energiglas ( $U=1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) och det värms kontinuerligt innebär uppdateringen av fönster enligt beräkningsexemplet att uppvärmningsenergin minskar med  $37 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BRA}}$  årligen. I en  $300 \text{ m}^2$  stor kyrka kan det under en 10 års period innebära en besparing på cirka 110 MWh. Om det värms med direktverkande el och elpriset antas till  $2 \text{ kr}/\text{kWh}$  blir summan på 10 år 222 000 kr med en kalkylränta på 0 %. Om kalkylräntan är positiv kommer värdet av besparingen bli något lägre. Erfarenheten är att det är ovanligt med englasfönster i befintliga kyrkor som är uppvärmda. Om det skulle finnas englasfönster i en uppvärmd kyrka så kan potentialen att minska uppvärmningsbehovet dock vara förhållandevis stor, särskilt om det är en kontinuerligt uppvärmd kyrka. Minskningen i uppvärmningsbehov motsvarar en sänkning av innetemperaturen med  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  vid kontinuerlig uppvärmning.

Om utgångsläget istället är en uppdatering från ett tvåglasfönster ( $U=2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) där ett befintligt innerglas byts ut till ett energiglas ( $U=1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) innebär uppdateringen att det beräknade uppvärmningsbehovet i exemplet minskar med  $9 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BRA}}$  årligen. I en  $300 \text{ m}^2$  kyrka kan det under en 10 års period innebära en besparing på cirka 27 MWh och om det värms med direktverkande el som antas kosta  $2 \text{ kr}/\text{kWh}$  blir summan på 10 år 54 000 kr med en kalkylränta på 0 %.

Vid intermittent uppvärmning till  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  varje söndag och  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  som börvärde vid frånvaro resulterar en ändring på fönsters U-värde från 2,9 till  $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  i beräkningsexemplet i Figur 19 att uppvärmningsenergin minskar med cirka  $4 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{BRA}}$  årligen. Under en 10 årsperiod innebär det att besparingen i detta exempel kan bli cirka 12 MWh i en  $300 \text{ m}^2$  kyrka. Med eluppvärmning och antaget pris på  $2 \text{ kr}/\text{kWh}$  blir det en summa på 24 000 kr under en 10 årsperiod med 0 % i kalkylränta.

Hur kyrkan används kommer alltså att spela stor roll för hur lång tid det tar innan en investering i fönster är återbetald utifrån besparingen i uppvärmningsenergi. Dock kan åtgärder på fönster genomföras av andra anledningar än att primärt spara energi. Det kan handla om att befintliga fönster har delar som är uttjänta och behöver bytas ut eller renoveras, eller att komfortproblem som drag i kyrksalen kopplas till fönster och att det föranleder en åtgärd. Att i samband med att åtgärder på fönster ändå behöver genomföras även se över om energieffektiva lösningar kan väljas kan göra det betydligt mer kostnadseffektivt. I de studerade kyrkorna finns redan äldre tvåglaslösningar som troligtvis tillkommit från 1940-talet och framåt vilket kan underlätta uppdatering med energiglas i befintliga bågar. De byggnadsantikvariska aspekterna och hänsyn till kulturmiljön kan innebära att det exempelvis krävs extra utredningar, anpassning till befintliga konstruktioner och andra speciallösningar som innebär att extra kostnader tillkommer som typiskt inte inkluderas i tillgängligkostnadsdata.

Förutom ett minskat energibehov kommer en uppdatering av fönster till ett lägre U-värde även innebära att det blir högre temperatur på glasets yta mot kyrksalen vilket kan påverka inneklimatet positivt genom mindre kallras, mindre luftrörelser, högre operativ temperatur och mindre upplevelse av drag. Vid en utetemperatur på  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  och en innetemperatur på  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  är ytemperaturen på ett



fönster med U-värde  $5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  kring  $5^\circ \text{C}$  medan ytemperaturen för ett fönster med U-värde  $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  är kring  $15^\circ \text{C}$  och för ett fönster mer U-värde  $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  kring  $12^\circ \text{C}$ .

### 3.6.2 TÄTHET – MÄTNINGAR OCH SIMULERING

Erfarenheten från de studerade kyrkorna är att det i flera kyrkor upplevs dragit i närheten av fönster och att stearinljus som är nära fönster ofta fladdrar och brinner ut snabbt. Del av dessa luft rörelser kan bero på att kalla ytemperaturer på fönsterytan ger kallras som resulterar i ökade luft rörelser men det har även identifierats att det kan saknas tillräcklig tätning i fönster samt mellan karm och vägg. I Figur 20 visas några exempel från tre av kyrkorna där det är otätt i eller i anslutning till fönster. Förutom drag från fönster är det även vanligt förekommande med drag från portar. I några kyrkor har extra dörrar monterats och i Norrtälje har en luftsluss byggts, Figur 21. I stenkyrkorna är det just i anslutning till fönster och portar som problem med drag upplevs.

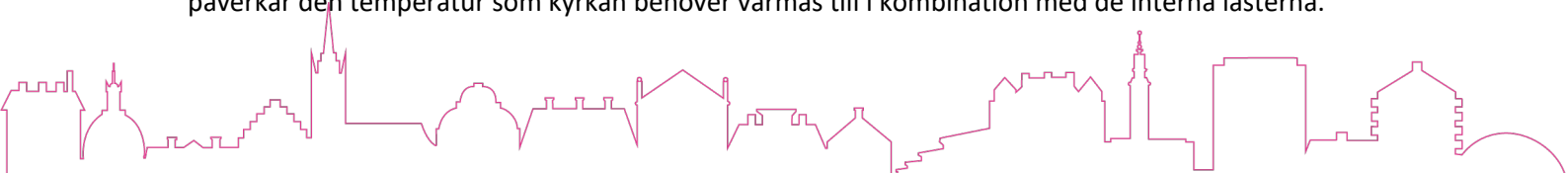


Figur 20 Exempel på läckage i eller i anslutning till fönster. Svärta vid läckage mellan karm och båg i Vätö kyrka (till vänster). Otätt mellan innerglas i egen karm och vägg i Riala kyrka (mitten). Tättningslist som släppt i fönster i Rådmansö kyrka (till höger).



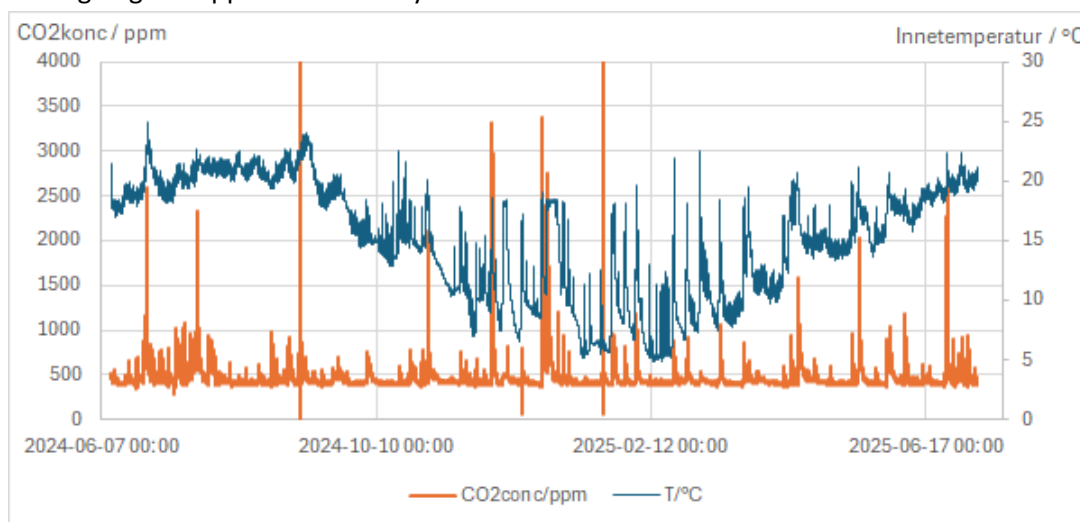
Figur 21 Luftsluss har byggts för att minska drag från porten i Norrtälje kyrka (till vänster)

I diskussioner med olika yrkeskategorier som verkar i kyrkorna kommer problematik med drag och täthetsåtgärder ofta på tal vilket visar att det är en problematik som är påtaglig för många som är i kyrkan. Dessutom spelar ursprunglig täthet in även på nyttan av andra åtgärder eftersom det påverkar den temperatur som kyrkan behöver värmas till i kombination med de interna lasterna.

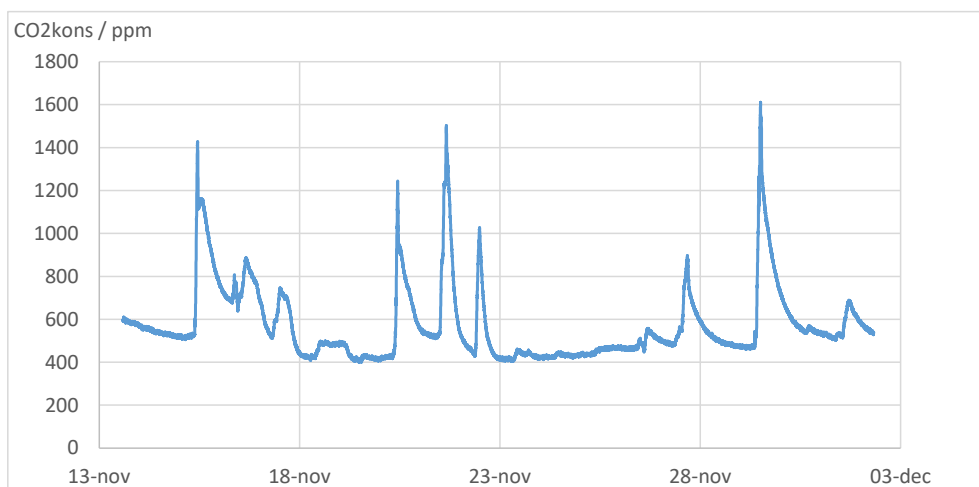


Äldre kyrkor har olika former av självdragsventilation där termik kan påverka och därmed är "blower door"-test inte helt enkla att genomföra eftersom man normalt då tätar befintliga ventiler. Det som däremot fungerar är att med passiv spårgas göra avklingningstest, med nackdelen att det görs för det specifika väderläget som råder. För en kyrka kan med fördel den koldioxid som kommer från besökare användas som passiv spårgas eftersom självdragsventilationen normalt bedöms vara låg i förhållande till antal personer som kan vistas i kyrkan och alla går ut förhållandevis plötsligt. Då kan koldioxiden antas vara blandad i kyrkan och källan antas upphöra plötsligt varvid luften ersätts med uteluft med en koldioxidkoncentration på cirka 400 ppm. Genom att studera det exponentiella avklingningsförlopp som blir kan man räkna ut luftomsättningen under detta försök. Detta kan göras för att ta vara på alla data under mätperioden genom att ta fram en regressionslinje för den naturliga logaritmen av differensen mellan koldioxidkoncentrationen inne och koldioxidkoncentrationen ute. Praktiskt kan det göras i Excel genom att lägga till en trendlinje och välja tidskala på z-axeln. Då ger lutningen direkt omsättningstalet i omsättningar per timme.

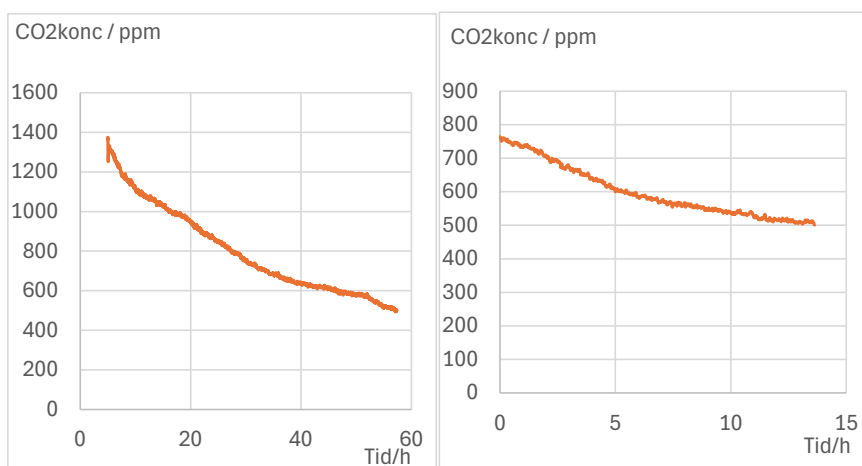
Kompletterande mätningar av CO<sub>2</sub> har genomförts i två skånska kyrkor för att ta fram exempel på luftomsättningar i självdragsventilerade kyrkor. Mätningarna har genomförts i Barkåkra kyrka i Barkåkra pastorat och Torekovs kyrka i Västra Bjäre pastorat, båda i Lunds stift. Koldioxidkoncentrationen loggades varje minut för att få med de relativt snabba förlopp som uppstår just under aktiviteter som kan vara ganska korta. Figur 22 visar hela mätförloppet i Torekovs kyrka medan Figur 23 visar hela mätförloppet i Barkåkra kyrka. Under dessa perioder har tre avklingningar valts ut. Figur 24 och Figur 25 visar avklingningsförloppen i Torekovs kyrka och Figur 26 visar avklingningsförloppet i Barkåkra kyrka.



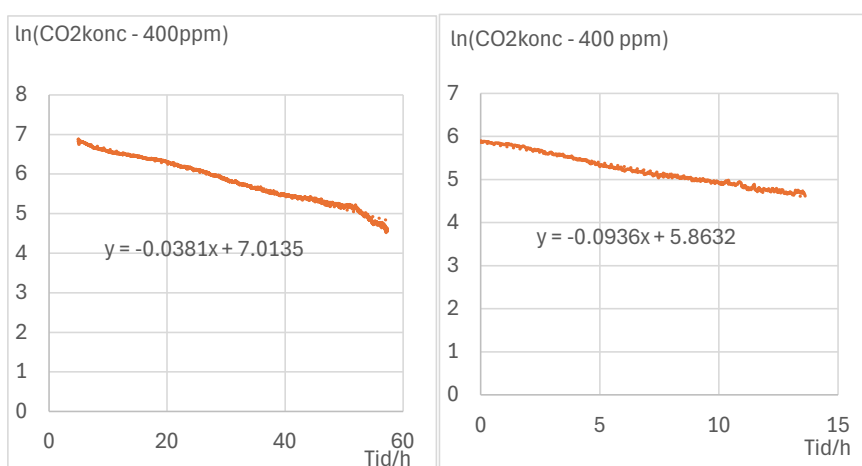
Figur 22 Koldioxidkoncentration och innetemperatur i Torekovs kyrka under mätperioden.



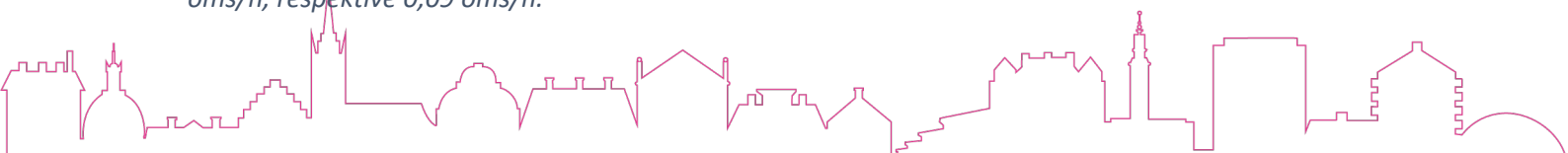
Figur 23 Koldioxidkoncentration Bakråkra kyrka under mätperioden.



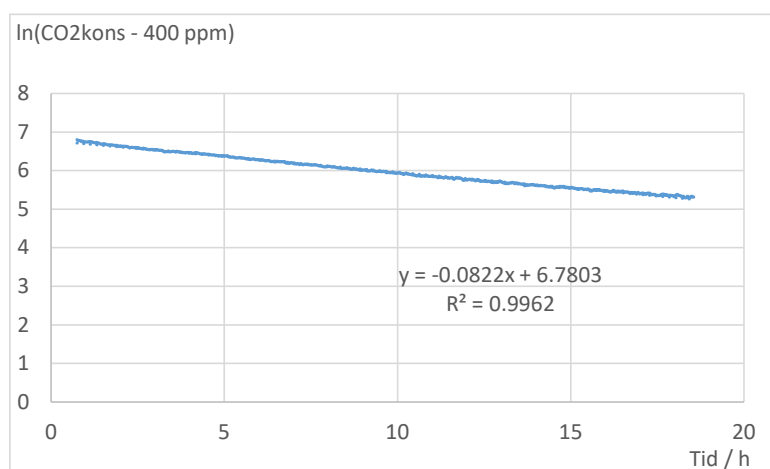
Figur 24 Avklingningar i Torekov kyrka, båda i juli, i absoluta tal.



Figur 25 Avklingningar i Torekov kyrka, båda i juli. Lutningar uttrycker luftomsättningstalen, 0,04 oms/h, respektive 0,09 oms/h.







Figur 26 Avklingning i Barkåkra kyrka. Lutningar uttrycker luftomsättningstalet, 0,08 oms/h.

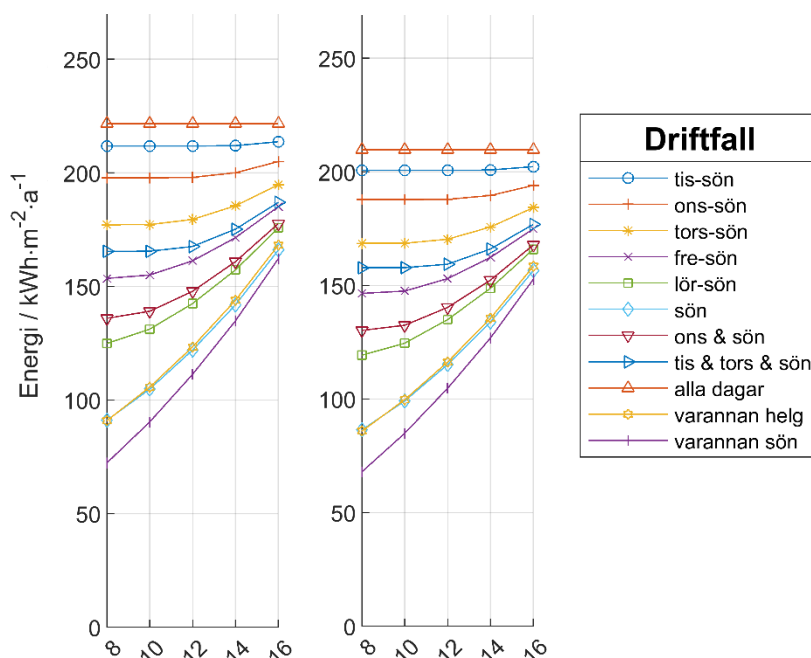
Luftomsättningstalen vid naturligt läckage, som är detsamma som vid användning eftersom mekanisk ventilation saknas är alltså, 0,04 oms/h, 0,09 oms/h respektive 0,08 oms/h, vilket är fult rimligt om man jämför med äldre bostäder eller lokaler samt andra mätningar i äldre stenkyrkor [11]. I Torekov togs också ett värde för julaften, 0,06 oms/h. Det lägsta skulle motsvara cirka 200 l/s och en läckagefaktor uttryckt som luftflöde per mantelyta vid mätförfarande med "blower door" vid 50 Pa tryckskillnad mellan inte och ute på 2,5 l/(s·m<sup>2</sup><sub>oms</sub>). Byggreglerna för 20 år sedan var 1,6 l/(s·m<sup>2</sup><sub>oms</sub>) för lokaler. För att ses som den enda ventilation i en byggnad med mycket folk är det dock väldigt lågt. Cirka 200 l/s är lämpligt för cirka 20 personer medan kyrkan rymmer nästan tio gånger så många. Detta syns också på att koldioxidkoncentrationerna blir höga vid aktiviteter med mycket folk i kyrkan. I Barkåkra visste man att det hade varit cirka 50 personer som mest medan kyrkan rymmer cirka 150 personer. Man ser dessutom att det inte är så att koldioxidkoncentrationen är nära att plana ut i ett jämviktsstillstånd innan aktiviteten plötsligt är slut och koldioxidkoncentrationen sjunker igen. Detta hade inte fungerat bra vid långvariga aktiviteter men är hanterbart vid aktiviteter på cirka en timme. Vid intervju av vaktmästarna uttrycker de att man bör öppna alla dörrar om det är fullt i kyrkan vilket ökar luftflödet många gånger jämfört med bara läckage. Vid mätningar har luftomsättningen i kyrkor kunnat öka i storleksordningen tio gånger när det ventilerats genom att kyrkporten öppnas [11].

I simuleringarna har luftomsättningarna som använts valts baserat på ovanstående mätningar samt [11]. Luftomsättningen 0,1 oms/h valdes för att representera luftomsättningen i en mindre tät självdragsventilerad kyrka medan luftomsättningen 0,05 oms/h valdes för att representera en tätare kyrka. Figur 27 visar exempel på simulerade uppvärmningsbehov från Bilaga 2 för fall med de båda luftomsättningarna och uteklimat som Norrtälje.

Vid kontinuerlig uppvärmning är uppvärmningsbehovet cirka 5 %, 12 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>, lägre med en luftomsättning på 0,05 oms/h jämfört med 0,1 oms/h. Om det antas att motsvarande ändring i luftomsättning blir resultatet av tätningsåtgärder kan detta exemplifiera storleksordningen på åtgärden. Jämfört med att skillnaden i uppvärmningsenergi med vanligt tvåglas och energiglas så är skillnaden större mellan en mindre tät och en tätare kyrka enligt exemplet. Om det istället handlar om intermittent uppvärmning varje söndag med börvärde för temperaturen vid frånvaro på 12 °C blir



uppvärmningsbehovet för det tätare fallet cirka  $6 \text{ kWh/m}^2_{\text{BRA}}$  vilket är hälften jämfört med vid kontinuerlig uppvärmning.



Figur 27 Exempel på simulerade uppvärmningsbehov för olika driftfall för en kyrka som vid användning värms till  $20^\circ\text{C}$  med luftomsättning  $0,1 \text{ oms/h}$  (mindre tät) till vänster och för en kyrka med luftomsättning  $0,05 \text{ oms/h}$  (tätare) till höger. Värden på x-axlar anger börvärde för temperaturen vid frånvaro.

### 3.6.3 FUKT

Om fönster med fler glas används, såsom tvåglasfönster, behövs det tätning mot inneluften för att det inte ska bli kondens mellan glasen. I några av de studerade kyrkorna har brister i denna tätning identifierats, se exempel i Figur 20. Tätning runt fönster kan minska luftläckage och drag, men i kyrkor med självdragsventilation kan ventilationen vara avhängig av just dessa läckage och om det tätas måste det säkerställas att ventilationen fortfarande är tillräcklig. Annars riskerar man försämrade luftomsättning som kan ge en ökad fuktbelastning i kyrkan.

Om en-glasfönster används kommer de under vintern att ha en mycket kall yta mot inneklimatet och med fuktbelastning från besökare i kyrkan kommer det att bli kondens på glaset och därför kan det ofta finnas äldre kondensuppsamlingstrågar eller liknande.

Om istället mycket välisolerade fönster används kan det vid vissa väderförhållanden när det är kallt, klart och fuktigt ute bli kondens på glasytan mot uteklimatet och i vissa fall även is. Det är i sig inget problem ur fuktsäkerhetsperspektiv men kan påverka genom att sikten genom fönster begränsas. Ofta är fönster i kyrkor placerade högt och detta problem bör inte ses som något stort.

Generellt gäller även att regntätning behöver beaktas. Exempelvis att fönsterbleck ansluter till fönster och vägg på rätt sätt så att regnvatten inte kan läcka in i konstruktionen.

### 3.6.4 KULTURMILJÖ

Åtgärder som förbättrar fönstrens energieffektivitet och höjer bruksvärdet kan samtidigt bidra till att stärka kulturvärdet. I fönster med mer än ett glas kan ofta innerdelen av fönstren betraktas som en funktionell komponent för att uppnå energieffektivitet och termisk komfort. Befintliga innerfönsterlösningar som tillkommit efter 1940-talet har ofta ett begränsat antikvariskt värde. Därför kan det finnas möjlighet att ersätta dem med lösningar som både förbättrar energieffektiviteten, inneklimatet och kulturmiljön.

Det största kulturhistoriska värdet och det som definierar kyrkorummets karaktär är oftast de yttre glasen och det är oftast dessa som är de äldsta glasen i fönstren. Ingrepp på dessa bör därför minimeras medan invändiga lösningar kan anpassas för att förbättra funktionaliteten utan att kompromissa med kulturhistoriska värden. Modern teknik kan exempelvis möjliggöra smäckrare bågar och större sammanhängande glasytor vilket ger bättre exponering av det yttre glaset och kan minska innerdelens visuella påverkan på kyrkorummet.

Vid val av nya glas bör aspekter som speglingar och färgskiftningar i relation till det äldre glaset beaktas. Montage och installation bör utföras med så liten som möjligt påverkan på de äldre konstruktioner som fönstren monteras mot och med hänsyn till möjligheten att återställa. Eftersom tekniken utvecklas kontinuerligt och kyrkorna kommer att stå under lång tid är det sannolikt att nya lösningar för energieffektiva och anpassade fönsterlösningar kommer att introduceras i framtiden.

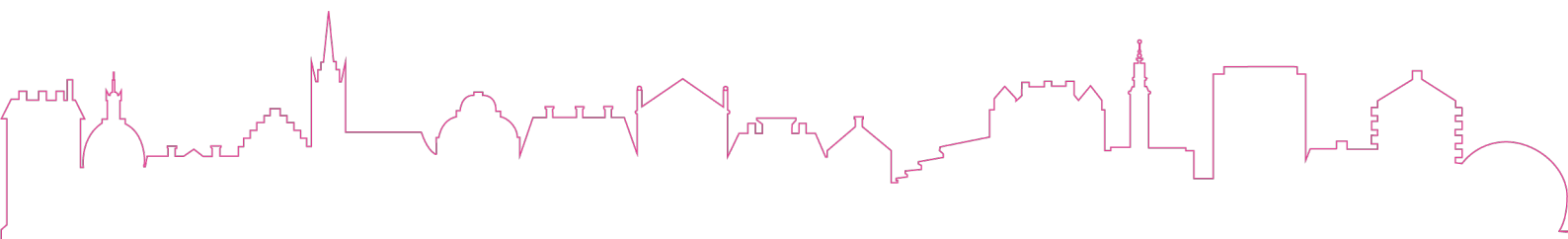
En fördel med uppdaterade fönster kan vara att minskade luftrörelser kan reducera problem med fladdrande stearinljus. Det ger positiva effekter för kulturmiljön genom mindre sotbildning som kan smutsa ner väggar och valv där kalkmålningar kan finnas vilket i sin tur minskar behovet av rengöring.

## 3.7 VÄRMEPUMPAR

I tre av de studerade kyrkorna används värmepumpar av något slag. I två av dessa används bergvärmepumpar och i en används luft-luftvärmepumpar. I kyrkorna som använder bergvärme har den ena använts med kontinuerlig uppvärmning medan den andra har värmts upp intermittent.

### 3.7.1 BERGVÄRME

Rådmansö kyrka som är byggd 1818 har 2015 genomgått en omfattande renovering med målet att öka användningen och möjliggöra fler typer av aktiviteter. Kyrkans inredning har anpassats för att möjliggöra olika aktiviteter förutom gudstjänst såsom bibelstudier, café och ungdomsverksamhet. Bänkrader har tagits bort i bakre delen av kyrkan för att ge plats för nytt möblemang och olika verksamheter, se Figur 28. Vatten och avlopp har installerats och kyrkan fick nya toaletter och ett pentry. I kyrkans kryppgrund används en avfuktare. Entrén har byggts om för att minska drag som tidigare var ett problem. Bergvärmepump har installerats och för anläggningen med bergvärmepumpen har det byggts ett nytt teknikrum under taket på vinden, se Figur 29.





Figur 28 Bänkrader har tagits bort för att möjliggöra olika typer av aktiviteter.



Figur 29 Bergvärmeanläggning i Rådmansö kyrka. Ett vattentätt rum har byggts på vinden.



Figur 30 Radiatorer under bänkar, på orgelläktare och under fönster.

När bergvärmepumpsystemet hade varit i drift ett par år uppmärksammades att systemet var inkopplat så att det på ett felaktigt sätt arbetade mot ackumulatortanken i stället för mot radiatorsystemet vilket gjorde att det blev många start och stopp. När systemet kopplades om på korrekt sätt minskade energianvändningen med nästan 30 %.

Efter att systemet kopplats in på korrekt sätt har årsenergianvändning (el) varit kring 90 kWh/m<sup>2</sup> när kyrksalen har varit uppvärmd till i medeltal 18,4 °C under uppvärmningssäsongen. De andra studerade kontinuerligt eluppvärmda kyrkorna som inte använder värmepump har i medeltal en årsenergianvändning på cirka 190 kWh/m<sup>2</sup>. Den totala elanvändningen i Rådmansö kyrka är alltså knappt hälften så stor jämfört med kyrkorna som värms upp kontinuerligt med el utan värmepump. All el som används går inte till att värma kyrkan. Om elanvändningen som finns under sommaren, när det inte finns något uppvärmningsbehov i huvudsak inte antas bidra till uppvärmningen (utebelysning, varmvatten, avfuktning av kryppgrund, etc.) och om den användningen antas vara konstant under året skulle årselanvändningen för uppvärmning i Rådmansö kyrka kunna uppskattas till cirka 55 kWh/m<sup>2</sup>. För de kontinuerligt eluppvärmda kyrkorna som inte använder värmepump blir

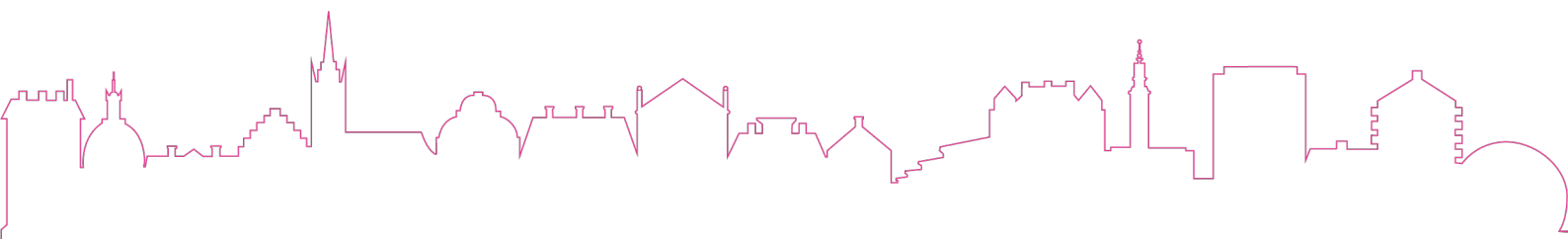
motsvarande uppskattning av elanvändning för uppvärmning i medeltal 160 kWh/m<sup>2</sup>. Om dessa båda energianvändningar jämförs så är elanvändningen i Rådmansö kyrka cirka en tredjedel så hög. Denna kvot på cirka 3 skulle kunna representera COP vilket med tanke på typiska COP för bergvärmepumpar är lägre än vad som vanligtvis marknadsförs men rimligt med tanke på eventuell spetsel och systemförluster. Samtidigt finns det osäkerheter i jämförelsen med de andra kyrkorna med tanke på enskilda förutsättningar i de specifika kyrkorna och antagandet om el som inte används för uppvärmning kan vara underskattat då exempelvis belysning i kyrksalen kommer att bidra till uppvärmningen.

Rådmansö kyrka har under andra perioder även värmts intermittent till 18 °C och med börvärde 16 °C vid frånvaro. Värmen och den intermittenta uppvärmningen styrs med ett system som ska värma till verksamhetstemperatur baserat på kalenderbokningar och styrsystemet ska automatiskt kunna anpassa starttiden för värmen utifrån att det ska vara uppvärmt i tid för bokningen. Erfarenheten har varit att det särskilt under kalla vinterdagar kan vara svårt att få upp värmen i tid inför bokningarna. Det drar från fönster och stearinljus som placeras vid fönster med mycket drag brinner ner snabbare och har en fladdrande låga. I flera fönster har tätningslister lossnat. Innetemperaturen på 18 °C vid verksamhet har kunnat upplevas som för kall vilket även kan påverkas av otäta fönster och drag från dessa. Normalt i bostäder vill människor ha omkring 22 °C i genomsnitt. Det finns mobila radiatorer och värmefläkt i kyrksalen samt äldre elradiator på orgelläktare (Figur 31) och dessa kan vara exempel på hur man i den lokala verksamheten löser problem med brister i byggtekniken med otäta fönster, värmesystem som inte värmer upp i tid eller val av innetemperatur som inte ger en önskad komfort. Denna extravärme kommer inte att delas med COP i och med att den inte kommer från värmepumpen, vilket innebär att det ur energi- och ekonomiperspektiv är bättre att använda värmepumpen till rätt temperatur förutsatt att värmepumpens effekt räcker till.



*Figur 31 Mobil radiator och värmefläkt i kyrksalen samt äldre elradiator på orgelläktare.*

I Länna kyrka har en bergvärmepumpsanläggning ersatt tidigare oljepanna. Bergvärmepumpsanläggningen har placerats i befintligt teknikutrymme i en separat byggnad som även rymmer en allmän WC som värms upp tillsammans med kyrkan, se Figur 32. Radiatorerna för den vattenburna värmen är en blandning av äldre och nyare modeller (Figur 33).





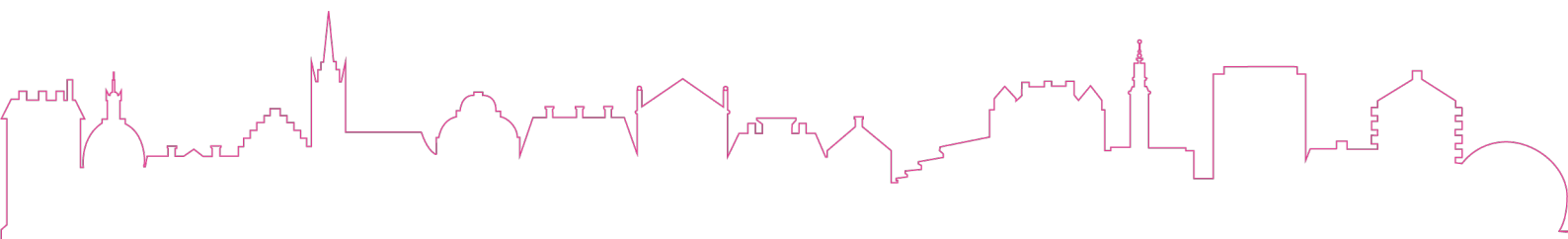
Figur 32 Bergvärmeanläggning för Länna kyrka i en separat byggnad som även rymmer en toalett.



Figur 33 Exempel på radiatorer av olika ålder i Länna kyrka.

Årsenergianvändningen har varit kring  $80 \text{ kWh/m}^2$  när kyrkan har varit intermittert uppvärmd till  $18^\circ\text{C}$  med börvärde för frånvarotemperatur på  $12^\circ\text{C}$  och användning en till två gånger per vecka då kyrkan värmts upp oftast mellan 1 och 2 dygn men det förekommer även uppvärmning upp till 6 dygn i sträck. Detta är den lägsta energianvändningen av alla de studerade kyrkorna. De andra studerade kyrkorna som använder intermittert uppvärmning men värms med el har årlig energianvändning mellan cirka  $125 \text{ kWh/m}^2$  (Roslagsbro) och  $240 \text{ kWh/m}^2$  (Vätö) medan Söderbykarl som värms intermittert och använder luft-luftvärmepumpar har en årlig energianvändning kring  $105 \text{ kWh/m}^2$ . Energianvändningen i Länna kyrka är en tredjedel jämfört med medelanvändningen för de andra tre kyrkorna som värms intermittert.

Den intermittenta uppvärmningen styrs med ett system som ska värma upp till verksamhetstemperatur baserat på kalenderbokningar och styrsystemet ska automatiskt kunna anpassa starttiden för värmen utifrån att det ska vara uppvärmt i tid för bokningen. Det förekommer att kyrkan upplevs som för kall då den inte alltid har hunnit värmas upp i tid. Det kan behövas intrimning av hur styrsystemet för värmen och värmepumpen samverkar. Kyrkan upplevs som att den har problem med drag och att det blir mycket lufts rörelser när värmen är påslagen vilket visar sig genom fladdrande stearinljus.







*Figur 34 Avfuktare i sakristia och på läktare bakom orgel i platsbyggd låda samt styrning av avfuktare.*

Mögel har hittats i orgeln i kyrkan. En trasig dräneringsledning tros vara en bidragande anledning till att det har blivit hög relativ fuktighet. Dräneringsledningen har reparerats och avfuktare har installerats bakom orgeln och i sakristian som styrs för att hålla en jämn relativ fuktighet i sakristian, se Figur 34. Avfuktaren bakom orgeln är inbyggd i en låda med riktade kanaler för bättre omblandning och den har kondensavledning. Avfuktaren i sakristian behöver tömmas manuellt.

### 3.7.2 LUFT-LUFTVÄRMEPUMP

Söderbykarl kyrka värms med luft-luft-värmepumpar, elradiatorer och bänkvärme. Det finns även kantorsvärmare i kyrkan. Kyrkan värms intermittent och det styrs med ett system som ska värma upp till verksamhetstemperatur baserat på kalenderbokningar och styrsystemet ska automatiskt kunna anpassa starttiden för värmen utifrån att det ska vara uppvärmt i tid för bokningen. Systemet mäter den relativa fuktigheten i kyrkan och kan även styra baserat på att den relativa fuktigheten. I Figur 35 - Figur 38 visas inredningar och utredningar för luft-luft-värmepumparna samt radiatorer av olika modeller, bänkvärme och kantorsvärmare som finns i kyrkan.



*Figur 35 Innerdelar till luft-luft-värmepumpar, på var sin sida om altarringen, har målats för att passa i kyrkans interiör.*



Figur 36 Utedelar till luft-luft-värmepumpar.



Figur 37 Exempel på olika elradiatorer i kyrkan.



Figur 38 Exempel på bänkvärme under kyrkbänkar och kyrkvärdsbänkar samt kantorsvärme vid orgelpedaler

Årsenergianvändningen har varit kring 105 kWh/m<sup>2</sup> när kyrkan har varit intermittent uppvärmd till 18 °C, med börvärde för frånvarotemperatur på 10 °C och användning en gång per vecka. Med tanke på den intermittenta uppvärmningen och att värmepumpar används skulle en lägre energianvändning kunna vara förväntad om man jämför med riktvärden för uppvärmningsbehov i referensmaterialet i Bilaga 1. I praktiken har det visat sig svårt att använda luft-luft-värmepumparna för att värma till låga börvärden som ligger under värmepumpens lägsta inställbara temperatur. Det handlar om att avfrostning av värmepumpens utedelar inte fungerar om temperaturer på den varma sidan är för låg. Värmepumparna har bytts ut under 2024 då de tidigare efter 15 års drift bedömdes uttjänta. Nya värmepumpar som ska kunna värma till lägre innetemperaturer har installerats men det har visat sig svårt att använda även dessa för att värma till lägre temperaturer då det har varit svårt att få det externa styrsystemet att fungera tillsammans med värmepumparnas behov av avfrostning.



Innedelarna är placerade på varsin sida om altarringen, se Figur 35, och målade för att passa i kyrkans interiör. Erfarenheten från kyrkor som värms med luft-luft-värmepumpar är att samband med aktiviteter i kyrkan, gudstjänster och förrättningar, stängs luft-luft-värmepumparna av manuellt eftersom ljuden från dem upplevs som störande. I praktiken innebär detta att avfrostningsproblematik tillsammans med ljudproblematik gör att användningen av värmepumparna begränsas till att värma upp från frånvarotemperatur till innetemperatur vid användning. Dock kommer denna energi- och effektintensiva uppvärmning att kunna göras med mindre energi jämför med om inga värmepumpar använts. Erfarenheten är även att det behövs förståelse och kunskap hos olika yrkeskategorier som verkar i kyrkan om hur systemet fungerar och hur det är tänkt att användas.

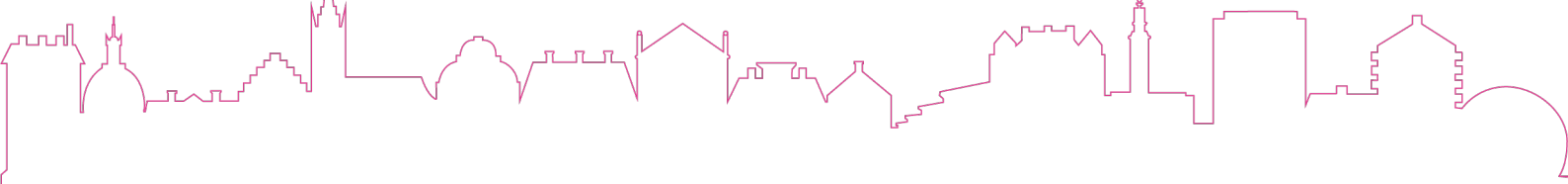
### 3.7.3 ENERGI

Baserat på exempel från referensmaterialet i Bilaga 2 kan det uppskattas hur stor potentialen att minska energianvändningen med värmepumpar är för olika fall. Värmepumpar förväntas kunna minska energi för uppvärmning i storleksordningen motsvarande deras COP som typiskt är inom ett intervall 3 - 5. I praktiken kan verkningsgraden påverkas av vilken täckningsgrad som värmepumpen dimensioneras för, vilket avgör hur mycket spetsel som behöver användas i det specifika systemet eller om kompletterande system för värme används som inte försörjs med värme från värmepump, samt vilka systemförluster som finns. En konservativ beräkning kan använda COP 3 som ett riktvärde. Störst effekt behövs när det är kallast ute, och det är då som värmepumpar ger lägst COP, speciellt luft-luft-värmepumpar och luft-vatten-värmepumpar, som dessutom båda, måste avfrostas. COP blir högre om de två temperaturområdena för primär- respektive sekundärsida är närmare varandra. De kallaste timmarna, eller ens dagarna, är inte så många så det påverkar energianvändning totalt över året måttligt, men speciellt maxeffektbehovet kan i värsta fall bli nästan lika stort som utan värmepump.

I en kontinuerligt uppvärmd kyrka som värms till 20 °C enligt exemplet i Figur 13 är uppvärmningsbehovet cirka 220 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> vilket kan förväntas minska med mellan 145-175 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> om berg- eller jordvärmepumpar med COP mellan 3 - 5 skulle användas. I en 300 m<sup>2</sup> kyrka kan det under en 10 års period innebära en besparing på mellan 435 MWh och 525 MWh. Om utgångsläget var eluppvärmning och om elen antas kosta 2 kr/kWh blir summan på 10 år mellan cirka 850 000 kr och 1 000 000 kr med en kalkylränta på 0 %. Om kalkylräntan är positiv kommer värdet av besparingen bli något lägre. Exemplet gäller för uteklimat som i Norrtälje. Om beräkningen i stället görs för ett uteklimat som i Skåne blir motsvarande summa på 10 år mellan cirka 680 000 kr och 820 000 kr med en kalkylränta på 0 %.

Det är enligt exemplen ovan en skillnad på i genomsnitt 175 000 kr på summan under en 10 års period beroende på om det är uteklimat som i Norrtälje eller Skåne. De stora investeringarna för en värmepumpsanläggning (bergvärme eller jordvärme) kan förväntas vara av samma storleksordning oberoende av uteklimatet medan ett kallare klimat kan kräva en lite dyrare värmepump för att möta ett högre effektbehov samtidigt som det kan behövas fler och större radiatorer i kyrkan för att få ut tillräckligt med värme i ett kallare klimat.

Åtgärder som minskar uppvärmningsbehovet såsom tilläggsisolering, sänkt temperatur och intermittent uppvärmning kommer att minska uppvärmningsbehovet och resultera i en lägre energianvändning utan värmepump och om värmepumpar används för uppvärmning kommer deras



COP att innebära att det blir en mindre besparing på den köpta energin på grund av värmepumpen. På samma sätt kommer en värmepump som installeras i en kyrka med högt uppvärmningsbehov att i absoluta tal minska energianvändningen mer jämfört med i en kyrka som från början har ett lägre uppvärmningsbehov, exempelvis på grund av tilläggsisolering eller intermittent uppvärmning.

En kyrka som värms intermittent till 20 °C varje söndag med ett börvärde för innetemperaturen vid frånvaro på 12 °C har enligt exemplet i Figur 13 ett uppvärmningsbehov på 120 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>. Om berg- eller jordvärmepumpar med COP mellan 3-5 skulle användas i detta fall blir minskningen mellan 80-95 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>. Under en 10 års period och om jämförelsen är för en tidigare eluppvärmd kyrka och ett antaget elpris på 2 kr/kWh blir den sammanlagda besparingen mellan 480 000 kr och 570 000 kr med 0 % i kalkylränta. Om det handlar om en kyrka som dessutom har tilläggsisolerat vindsbjälklag, enligt exemplet i Figur 17, och värms intermittent som beskrivet ovan, blir motsvarande summa mellan 400 000 kr och 480 000 kr. Återbetalningstiden kommer alltså i detta fall vara mer än dubbel så lång jämför med motsvarande kyrka utan tilläggsisolerad vind och konstant uppvärmd.

När man inom pastoratet undersökt alternativ med bergvärmepumpar har återbetalningstider angetts vara kring 10 år. Beroende på de specifika förutsättningarna som finns i olika kyrkor kan kostnaderna och behoven variera, exempelvis om det finns befintligt teknikrum som värmepumpar kan placeras i eller om behövs byggas ett nytt teknikrum, hur radiatorrör kan dras eller hur nya radiatorer och andra komponenter för värmedistribution behöver anpassas för kulturmiljön i kyrkan.

Om värmepumpar används kommer energibesparingen av att sänka innetemperaturen minska. Exempelvis kommer en sänkning från 20 °C till 18 °C i en kontinuerligt uppvärmd kyrka vid ett COP på 3 för värmepumpar innebära en minskning av energianvändningen för uppvärmning med cirka 10 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>, jämfört med cirka 30 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub> om värmepumpar inte hade använts. Om det handlar om en kyrka som värms intermittent varje söndag innebär motsvarande sänkning av temperaturen när kyrkan används en minskning i energianvändning på cirka 2 kWh/m<sup>2</sup><sub>BRA</sub>. Förutsatt att det finns tillräckligt med tillgänglig effekt för att värma kyrkan utan att spetsel används och att uppvärmningen startar i tid för att nå önskad innetemperatur i tid kan alltså en ökad termisk komfort som en innetemperatur på 20 °C ofta innebära erhållas med en förhållandevis liten ökning i energianvändning.

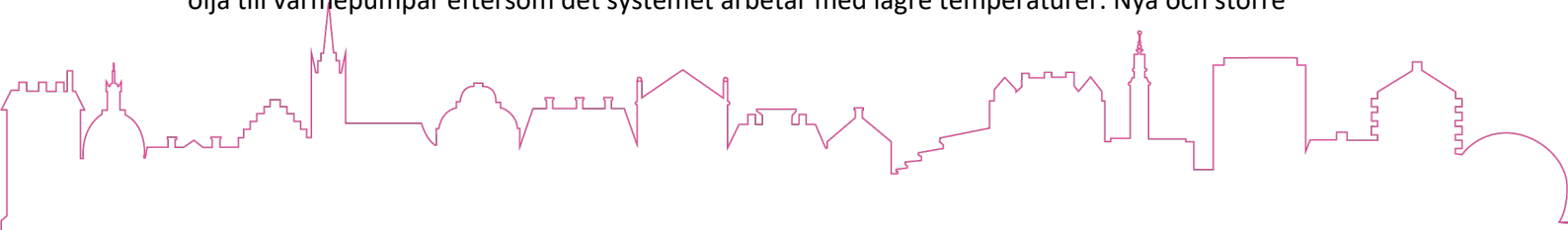
### 3.7.4 FUKT

Teknikrum behöver utformas med tanke på läckagesäkerhet för både värmepumpen och eventuella vatteninstallationer. Detta är särskilt viktigt om teknikrummet är i kyrkan där läckage riskerar att skada historiska byggdelar och värdefulla inventarier. Tillräcklig ventilation behövs om det finns fukttillskott i rummet.

För luft-luftvärmepumpar behöver kondenshantering beaktas. Utedelarna producerar kondensvatten, särskilt vid avfrostning, och det behöver säkerställas hur detta tas om hand så att det inte orsakar fuktproblem vid fasaden eller grunden. Även inredelarna kan ge kondens om de används för avfuktning eller kylning och kondensavledning behöver vara tät genom byggdelarna så att läckage inte riskerar att skada historiska byggdelar.

### 3.7.5 KULTURMILJÖ

Nya och större radiatorer eller andra komponenter för värmedistribution behövs vid övergång från olja till värmepumpar eftersom det systemet arbetar med lägre temperaturer. Nya och större



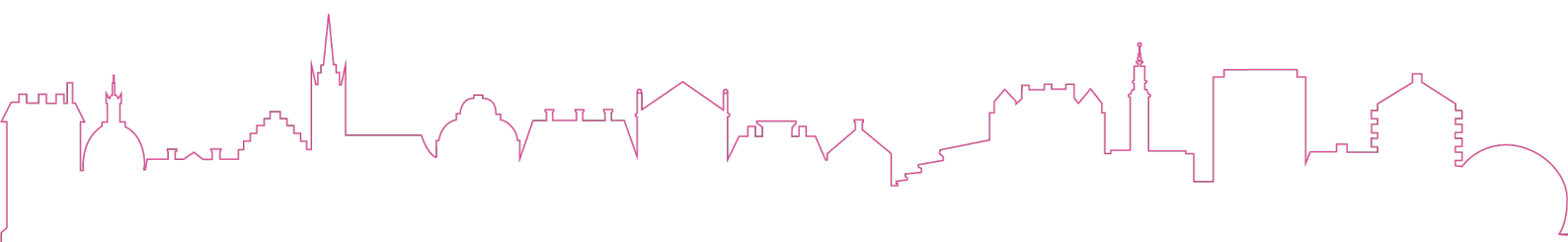
2025-12-28

2025-215240-0001

radiatorer kan påverka upplevelsen av kyrkorummet och nya radiatorer behöver monteras mot konstruktioner i kyrkan, såsom väggar. Även rördragningen till radiatorerna måste beaktas, eftersom antikvariska krav kan påverka hur den får utföras och vad som godkänns. I en av de studerade kyrkorna godkändes exempelvis inte synlig utanpåliggande rördragning. En berg- eller jordvärmepump kräver ett teknikrum. Beroende på kyrkans tidigare värmesystem kan det finnas ett lämpligt utrymme i kyrkan eller i en fristående byggnad. I en av de studerade kyrkorna från 1800-talet har ett teknikrum byggts på vinden. Det är då viktigt att en sådan konstruktion utformas så att den påverkar kyrkans befintliga byggdelar och konstruktioner så lite som möjligt.

I den studerade kyrkan med luft-luftvärmepumpar gör innedelarnas färgsättning och placering på varsin sida om altarringen att de smälter in relativt väl. Placeringen och anpassningen av färgen är exempel på hur luft-luftvärmepumpar kan anpassas till miljön och minimera påverkan på rumskvalitén. För utedelarna kan det vara fördelaktigt att placera dem så att de smälter in samtidigt som det bör vara tydligt att de är funktionella komponenter och inte en del av den historiska kyrkan. Eventuellt kan en anpassad inbyggnad användas under förutsättning att den inte påverkar värmepumparnas funktion. Håltagning behövs för ledningsdragning mellan innedelar och utedelar vilket kräver expertkunskap och kompetens kring de historiska konstruktionerna som påverkas.

Med tanke på det långa tidsperspektivet som finns för kyrkors användning och den ständiga teknikutvecklingen, som kan ge nya uppvärmningssystem anpassade för kyrkors behov, behöver det tänkas långsiktigt. Nya värmesystem bör utformas med så liten påverkan på kyrkans historiska byggdelar och konstruktioner som möjligt så att det går att återställa.



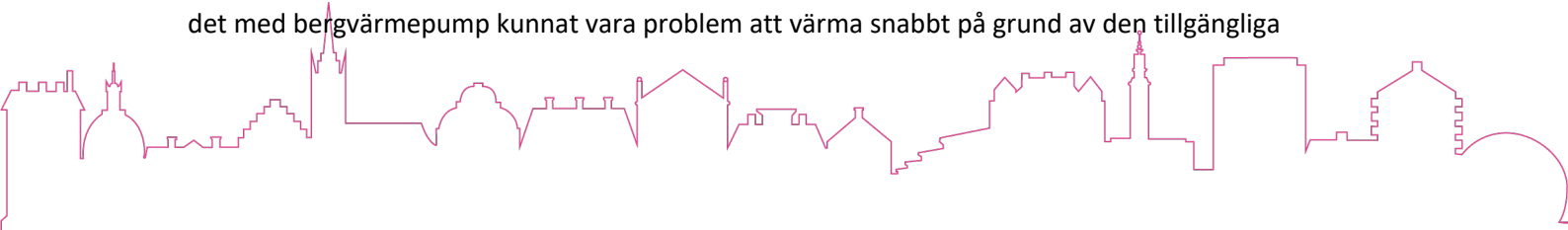
## 4 DISKUSSION

Att förstå nuläget är viktigt för att kunna fatta bra och medvetna beslut om energieffektiviserande åtgärder i äldre kyrkor. Kyrkorna och dess inventarier har ofta högt kulturhistoriskt värde och byggnadstekniska egenskaper med utmaningar som skiljer sig från moderna konstruktioner och andra byggnadstyper. Förändringar som görs för att minska energianvändningen påverkar även annat såsom fuktsäkerhet och klimat i olika delar av kyrkan vilket kan påverka både kyrkans konstruktioner och inventarier. Så är det även för andra byggnader, men kyrkorna har speciella förutsättningar och de är ofta olika för varje kyrka. Utan en noggrann nulägesanalys riskerar man att välja en åtgärd som kan leda till skador på kyrkan, försämrad inomhusmiljö eller förlust av kulturvärden. En nulägesanalys kan omfatta inventering av byggnadens klimatskal, tekniska system, energianvändning och inneklimat, samt dokumentation av kulturhistoriska aspekter. En del av en nulägesanalys bör vara att mäta och analysera temperatur och relativ fuktighet på olika platser i kyrkan för att identifiera riskzoner för fuktskador eller mögel.

Oavsett vilka åtgärder det handlar om är en viktig princip för att bevara kulturvärden att eventuella åtgärder utförs så att de går att återställa så långt det är rimligt. Under århundraden har olika åtgärder gjorts i kyrkorna och teknikutveckling kan framåt ge nya produkter och system som är anpassade för behoven i äldre kyrkor och som både minskar energianvändningen och bevarar kulturvärden.

I de studerade kyrkorna har det varit stor skillnad i uppmätt årlig energianvändning som varierat mellan cirka 75 och 240 kWh/m<sup>2</sup>. I de kyrkor där det har gjorts åtgärder i form av att installera värmepumpar eller tilläggsisolera vind och montera energiglas har det också varit de lägsta energianvändningarna, vilket är förväntat med tanke på åtgärderna. Det innebär inte nödvändigtvis att det har varit lönsamma åtgärder eller att de är lönsamma för en annan kyrka, utan en ekonomisk analys måste göras i varje fall med de förutsättningar som finns i det specifika fallet. Åtgärder kan i simuleringarna visa på en stor potential att minska uppvärmningsbehovet men i det verkliga fallet kan det finnas olika specifika behov med tanke på fuktaspekter och antikvariska aspekter som kommer att påverka hur stor besparing en åtgärd ger i det specifika fallet. Exempelvis indikerar simuleringsresultatet att intermittent uppvärmning med temperaturer och användning som i ett av de studerade fallen borde kunna halvera uppvärmningsbehovet jämfört med kontinuerlig uppvärmning. Analysen av mätdata visar istället på cirka 25 % energibesparing vilket i det specifika fallet kan förklaras av avfuktning i kyrksalen och uppvärmning av sakristian där textilier och känsliga föremål förvaras. Detta är exempel på behov som relaterar till fuktsäkerhet och bevarande av kulturmiljö, som innebär behov av energi, och som behöver utredas inför åtgärder i en specifik kyrka och som kommer att påverka utfallet av åtgärden. För andra fall är det relativt god överensstämmelse mellan de simulerade riktvärdena och de uppmätta energianvändningarna, exempelvis för kyrkan som har tilläggsisolerat vindsbjälklag, energiglas och som värms intermittently med en årlig energianvändning på cirka 125 kWh/m<sup>2</sup>.

Lägst användning har det varit i de båda kyrkor som har bergvärmepump varav den ena har värmts kontinuerligt. Den kyrkan har lägre total energianvändning, 90 kWh/m<sup>2</sup>, än andra kyrkor som har värmts intermittently en gång per vecka. Köpt energi för uppvärmning bedöms varit cirka en tredjedel så hög jämfört med de andra kontinuerligt uppvärmda kyrkorna. I intermittently uppvärmda kyrkor har det med bergvärmepump kunnat vara problem att värma snabbt på grund av den tillgängliga



effekten. Det har exempelvis gjort att det ibland har varit svårt att med precision värma i tid inför verksamhet även om det också kan handla om att man startar uppvärmningen för sent. Vid övergång till bergvärme kan det behövas nya och större radiatorer som kan påverka upplevelsen av kyrksalen. Även rördragningen till radiatorerna måste beaktas, eftersom antikvariska krav kan påverka hur den får utföras och vad som godkänns. Kyrkan som har luft-luft-värmepumpar värms intermittent och har en årlig energianvändning på cirka 105 kWh/m<sup>2</sup>. Användningen av luft-luft-värmepumparna har begränsats dels av den lägsta temperaturen de kan ställas in på med tanke på behov av avfrostning, dels av ljudproblematik som gör att de behöver stängas av manuellt för att inte störa under gudstjänster. Erfarenheter från verksamheten är att för båda typerna av värmepumpar kan det finnas dels behov av bättre integrering mellan värmepumparna och kyrkornas styrsystem och dels behov av intrimning. Det kan också finnas behov av värmepumpar som är lämpligare för förutsättningarna.

I de studerade uppvärmda kyrkorna används generellt tvåglasfönster. Ytterglaset är ofta de äldsta med högst kulturvärde och störst påverkan på upplevelsen av kyrkorummet medan den inre konstruktionen med karmar, bågar och inre glas oftast bedöms vara från 1940-tal och några decennier framåt. Ingrepp på de äldre yttre glasen bör minimeras medan invändiga lösningar bör kunna anpassas för att förbättra funktionaliteten utan att kompromissa med kulturhistoriska värden. Det kan finnas möjligheter att förbättra kulturvärdet om det yttre äldre glaset kan exponeras bättre och då kan ny teknik innebära möjligheter med större sammanhängande glasytor och mindre karm/båge för det inre glaset. Den energibesparing som en uppdatering där ett befintligt inre glas ersätts med ett energiglas (U-värde som sänks från 2,9 till 1,9 W/(m<sup>2</sup>·K)) innebär en förhållandevis begränsad energibesparing på cirka 4 % i en kyrka med relativt stora fönster. Att utifrån energibesparingen motivera kostnaden för en uppdatering kan vara svårt men att i samband med att åtgärder på fönster ändå behöver genomföras även se över om energieffektivare lösningar kan väljas kan göra det betydligt mer kostnadseffektivt. Om fönster ska bytas så är det i andra byggnader ofta lönsamt att välja nya fönster med lågt U-värde.

När det handlar om fönstren i kyrkorna har det i diskussioner ofta tagits upp att det förekommer problem med drag i anslutning till fönster vilket förutom att påverka den termiska komforten även gör att ljus fladdrar och sotar vilket kan smutsa ner väggar och valv där kalkmålningar kan finnas. Även om drag från otäta fönster kan ge sämre termisk komfort så kan dessa otätheter vara del i kyrkans självdragssystem och om det tätas utan att säkerställa att tillräcklig luftomsättning finns är det risk att en för låg luftomsättning kan leda till skador. Särskilt viktigt kan detta vara om temperaturen i kyrkan samtidigt sänks. I några av kyrkorna är det otätt mellan glas i tvåglasfönster då tätningsslistor har släppt vilket kan leda till att det blir kondens mellan glasen på grund av att inneluften kommer in. Riktvärden från simuleringarna visar på cirka 5 % lägre uppvärmningsbehov i en tätare kyrka jämfört med en mindre tät kyrka. Det är en storleksordning som motsvarar en sänkning av temperaturen med mindre än 1 grad.

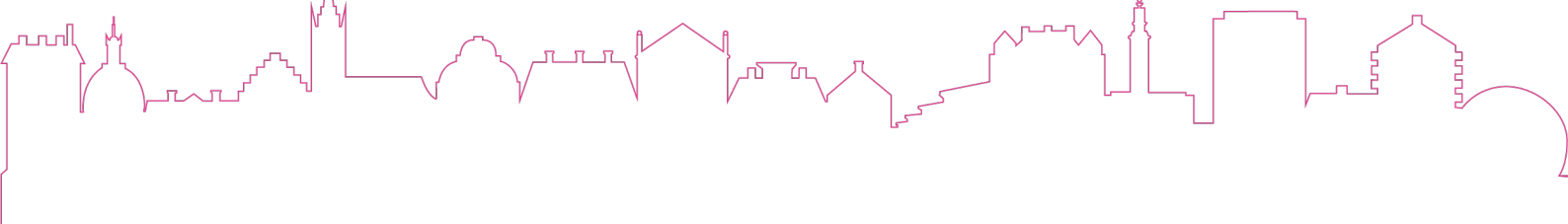
Tilläggsisolering av vindsbjälklag har i de studerade fallen handlat om att uppdatera befintlig isolering och då öka isoleringstjockleken, som från början kan variera mellan 5 och 12 centimeter i de olika kyrkorna. Åtgärden kan ge en betydande besparing, men det krävs stor försiktighet eftersom tilläggsisolering av vinden förändrar temperatur- och fuktförhållanden på vinden och i vindens konstruktioner, vilket ökar risken för skador. Därför är det mycket viktigt att anlita expertkompetens inom fuktsäkerhet med erfarenhet av kulturhistoriska byggnader samt stiftsantikvarie. När pastoratet



har undersökt tilläggsisolering av vindar har återbetalningstiderna legat på mellan 5 och 15 år där det stora spannet i huvudsak beror på skillnader i befintlig isoleringstjocklek, vilket påverkar den ekonomiska kalkylen ganska mycket. Varje ny cm tillagd isolering gör mindre nytta men kostar i princip lika mycket. Standardpriser är inte alltid tillämpbara eftersom det ofta tillkommer extra utredningar, såsom expertbedömning inom fuktsäkerhet och antikvarisk kompetens, byggnadsarkeologisk undersökning, anpassad projektering samt entreprenörer med särskild kompetens både för borttagning av befintlig isolering och rengöring inför installation av ny. Med tanke på de speciella förutsättningarna på en kyrkvind kan det finnas behov av utveckling av isoleringsprodukter för den tillämpningen. Ett exempel på en sådan produkt kan vara en skiva, för att möjliggöra enkel inspektion av underliggande konstruktioner och material, som är tillräckligt mjuk och följsam för att följa de befintliga konstruktionernas former och med hygroskopiska materialegenskaper för att kunna hantera fuktbuffring och undvika kondens. Den högre yttemperatur mot kyrksalen som isoleringen ger kan minska luftrörelser och strålningsassymetri vilket kan förbättra den termiska komforten. I en av de studerade kyrkorna där ett av valven är isolerat upplevs mindre nedsmutsning på just det valvet vilket skulle kunna förklaras av den högre yttemperaturen.

I de flesta av de studerade kyrkorna har temperaturen vid frånvaro och intermitterent uppvärmning inte varit lägre än 10 °C och i vissa av kyrkorna kring 15 °C. Det borde alltså finnas en potential att spara energi genom att sänka temperaturen ytterligare förutsatt att den relativa fuktigheten inte stiger till för höga värden. Simuleringarna av uppvärmningsbehov indikerar att en sänkning av börvärdet för temperaturen vid frånvaro från 15 °C till 10 °C i en kyrka som används varje söndag kan innebära cirka 30 % minskat uppvärmningsbehov. Det finns utvecklade styrstrategier för att styra utifrån mögelrisk, som beror på kombinationen av temperatur och relativ fuktighet, vilket möjliggör att en lägre temperatur kan hållas i kyrkan när den inte används utan att det finns risk för skador. Samtidigt så kan det då ta längre tid att värma upp från en lägre temperatur och hur ofta kyrkan används kan påverka om det är tillämpbart. Används den med litet mellanrum hinner inte temperaturen sjunka så lång. På senare tid har pastoratet installerat styrsystem som ska kunna möjliggöra att styra på fukt och att värma utifrån kalenderbokningar i flera kyrkor vilket kan möjliggöra ytterligare energibesparingar. I några av kyrkorna finns problem med fukt och mögel och system där det går att styra på fukt samtidigt som det går att avläsa fuktnivåer på distans har upplevts ge en bättre kontroll jämfört med där det behövs avläsning av fuktnivåer på plats. Samtidigt tar det inte bort behovet av regelbundna inspektioner av olika fuktkänsliga platser i kyrkan. Fuktgivare kan över tid driva och visa felaktiga värden, särskilt om de varit i en hög relativ fuktighet så med jämna mellanrum bör värden jämföras mot en referens.

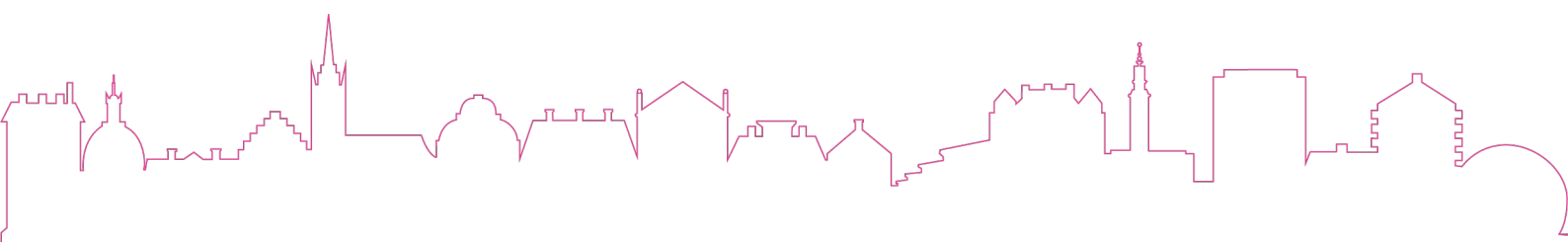
Generellt har börvärde på 18 °C grader börjat användas vid verksamhet vilket utifrån simuleringar som bygger på fysikaliska modeller innebär cirka 14 % lägre uppvärmningsbehov jämför med 20 °C vid kontinuerlig uppvärmning. En jämförelse av de studerade kyrkorna som värms kontinuerligt indikerar 20 % lägre uppvärmningsbehov för samma skillnad i temperatur men antalet objekt är få och det är olika stora kyrkor vilket påverkar analysen. I diskussioner har det framkommit att flera upplever 18 °C som för kallt och det har lyfts fram att god termisk komfort kan vara extra viktigt i samband med förrättningar då besökarna kan vara i ett känslomässigt utsatt läge men även att små barns termiska komfort behöver beaktas i samband med dop. Vid kontorsarbete har studier visat att 21,6 °C är vad människor i genomsnitt vill ha. I flera av kyrkorna finns det mobila elradiatorer på olika





platser såsom vid orgelkonsoler eller vid sittplatser och dessa kan vara exempel på hur man i den lokala verksamheten löser problem med brister i byggtekniken med otäta fönster, värmesystem som inte värmer i tid eller val av innetemperatur som inte ger en önskad komfort.

Med mer avancerade värmesystem, styrsystem och strategier för uppvärmning har det visat sig viktigt att det på bred front finns förståelse för systemen och hur det är tänkt att fungera generellt. Det är en förutsättning dels för att alla som behöver ska kunna använda tekniken på rätt sätt, dels för att det ska finnas förståelse och rätt förväntningar från olika yrkesgrupper som arbetar i eller med kyrkorna.



## 5 SLUTSATSER

Det övergripande syftet med projektet är att kulturvärden i kyrkor i Sverige ska kunna bevaras samtidigt som energianvändningen kan minskas och kyrkorna erbjuder en bra inomhusmiljö för personal och besökare. Val av rätt teknik för att energieffektivisera kyrkor måste utgå från ett helhetsperspektiv av kulturhistoriska och byggnadsantikvariska aspekter, energianvändning och effektbehov, fuktsäkerhet och inomhusmiljö samt drift och förvaltningsaspekter.

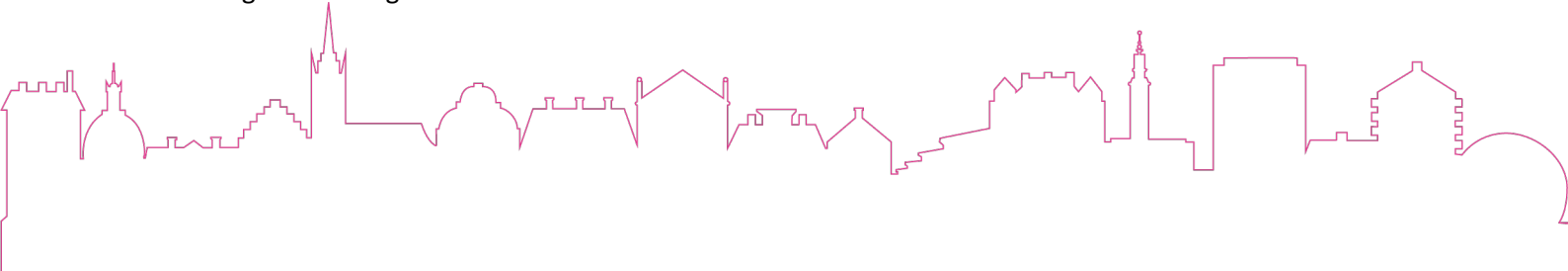
Projektet har studerat äldre kyrkor i Roslagen östra pastorat och energieffektiviserande åtgärder som genomförts. Åtgärderna har analyserats baserat på mätdata samt erfarenheter från yrkesverksamma som arbetar i eller med kyrkor. Simuleringar av uppvärmningsbehov för ett stort antal fall med olika åtgärder och kombinationer av dessa, samt olika driftsfall har gjorts för att ta fram riktvärden. Det övergripande resultatet med exempel på åtgärder har sammanställts i en vägledning i form av ett diskussionsunderlag som belyser helhetsperspektivet riktat till församlingar och pastorat.

I de studerade kyrkorna har den årliga energianvändningen varierat mellan cirka 75 och 240 kWh/m<sup>2</sup>. I kyrkorna där det har gjorts åtgärder har det också varit lägst energianvändning, vilket är förväntat med tanke på åtgärderna. Lägst användning har det varit i de båda kyrkor som har bergvärmepump varav den ena värmts kontinuerligt och med lägre total energianvändning, 90 kWh/m<sup>2</sup>, än andra kyrkor som värmts intermittent en gång per vecka. Köpt energi för uppvärmning bedöms varit cirka en tredjedel så hög jämfört med de andra kontinuerligt uppvärmda kyrkorna. I intermittent uppvärmda kyrkor har det med bergvärmepump kunnat vara problem att värma snabbt på grund av den tillgängliga effekten och med luft-luft-värmepumpar har avfrostningen begränsat användningen vid låga temperaturer. I båda fallen har man erfarenheten att det kan behövas bättre integrering mellan värmepumparna och kyrkornas styrsystem och att intrimning behövs.

Med intermittent uppvärmning och de temperaturer som använts i de studerade kyrkorna visar riktvärden från simuleringarna att uppvärmningsbehovet kan halveras jämfört med kontinuerlig uppvärmning. I ett av de studerade fallen har analysen i stället visat på cirka 25 % energibesparing vilket förklaras av avfuktning i kyrksalen och uppvärmning av sakristian där textilier och känsliga föremål förvaras. Detta är exempel på behov som relaterar till fuktsäkerhet och bevarande av kulturmiljö som behöver utredas inför åtgärder i en specifik kyrka och som kommer att påverka utfallet av åtgärden. Energianvändningen i kyrkan som har tilläggsisolerat vindsbjälklag, energiglas och som värms intermittent är cirka 125 kWh/m<sup>2</sup> vilket relativt väl överensstämmer med simuleringarnas riktvärden.

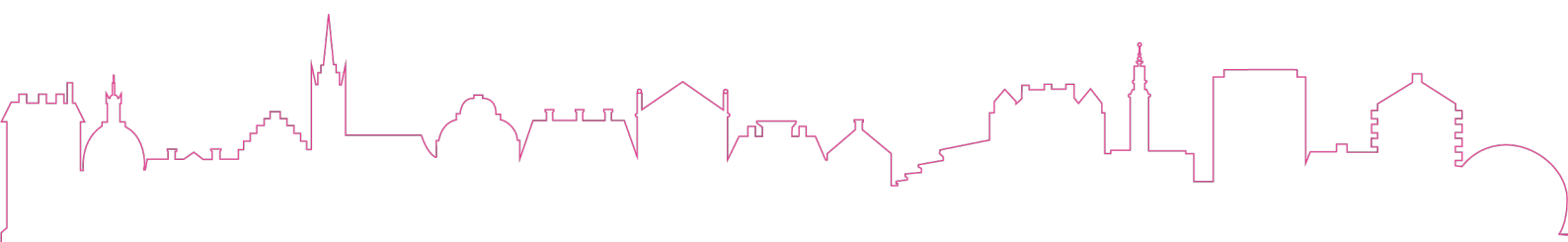
Åtgärder såsom tilläggsisolering, uppdatering av fönster och värmepumpar kommer att i kWh ge störst besparing om kyrkan värms kontinuerligt jämfört med om det värms intermittent. Med intermittent uppvärmning som i de studerade fallen blir besparingen uttryckt i kWh ungefär hälften vilket innebär att återbetalningstider för dessa åtgärder blir längre i en intermittent uppvärmd kyrka. Att kombinera flera åtgärder innebär alltså att var och en av dem blir mindre lönsam.

För att bevara kulturvärden bör det prioriteras att om åtgärder görs så ska de utföras så att det går att återställa. Under århundraden har olika åtgärder gjorts i kyrkorna och teknikutveckling kan framåt ge produkter och system som är anpassade för behoven i äldre kyrkor och både minskar energianvändningen och bevarar kulturvärden.



## 6 REFERENSER

1. <https://www.svenskakyrkan.se/statistik>
2. Bylund Melin, Charlotta (2018) Wooden objects in historic buildings: Effects of dynamic relative humidity and temperature. Doctoral thesis, Göteborgs universitet.
3. <https://www.svenskakyrkan.se/rapporter-kyrkoantikvarisk-ersattning>
4. Lankester & Brimblecombe (2012) The impact of future climate on historic interiors, Science of The Total Environment, p 248-254.
5. Wessberg, Broström & Vyhlídal, Tomas (2017) A method to determine heating power and heat up time for intermittent heating of churches. In: Energy Procedia.
6. Leijonhufvud (2016) Decision making on indoor climate control in historic buildings: knowledge, uncertainty and the science-practice gap. Doctoral thesis, Göteborgs universitet.
7. Leijonhufvud & Broström (2016) Standardizing the Indoor Climate in Swedish Churches: Opportunities, Challenges and Ways Forward. In: EECHB2016.
8. Napp, Wessberg, Kalamees & Broström (2016) Adaptive ventilation for climate control in a medieval church in cold climate. International Journal of Ventila
9. Arfvidsson J., Holtermann B.B., Mattsson J., Status determination and risk assessment of measures in historic buildings., The 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings, EEHB2018, Visby, Sweden
10. *EN 16883" Guidelines for improving nthe energy performance of historic buildings"*
11. Abolfazl Hayati, Magnus Mattsson, Mats Sandberg, Single-sided ventilation through external doors: Measurements and model evaluation in five historical churches, Energy and Buildings, Volume 141, 2017, Pages 114-124
12. Svalin Elisabeth (2004 ) Att vårda en kyrka. Riksantikvarieämbetet
13. Karlström Johan, Sunnebäck Alice (1998) Att sluta värma en kyrka. Riksantikvarieämbetet
14. Broström Tor, Legné Mattias (2014) Inneklimat i kyrkor förr och nu. In: Från Gutabygd, Gotlands Hembygdsförbunds förlag, s. 117-138

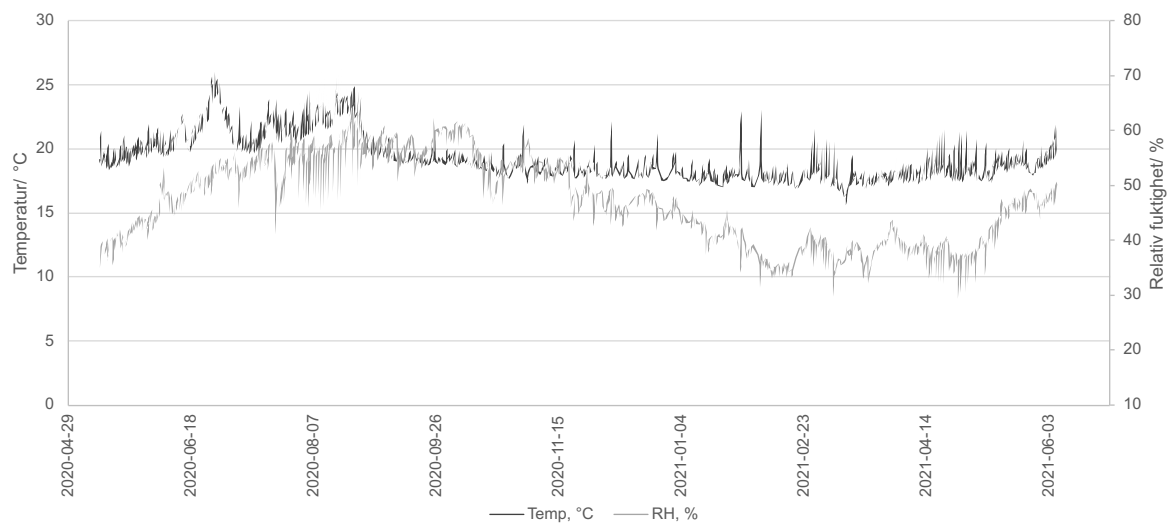
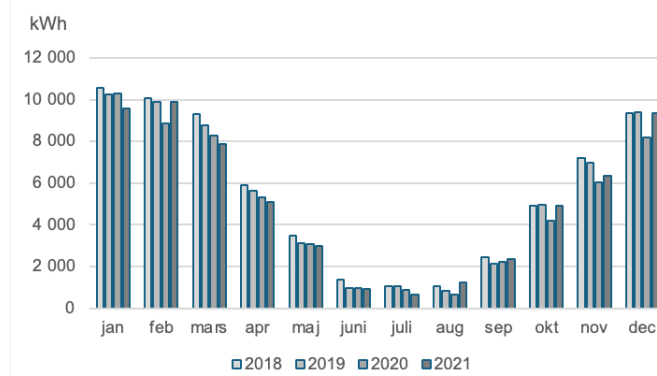
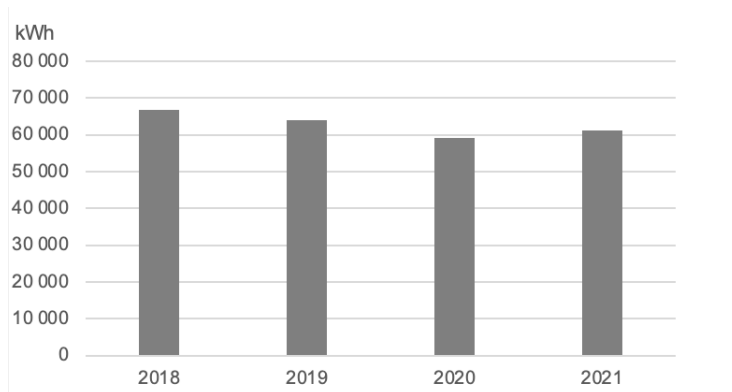


## Energi och inneklimat för äldre stenkyrkor i Roslagens östra pastorat



## Bilaga 1

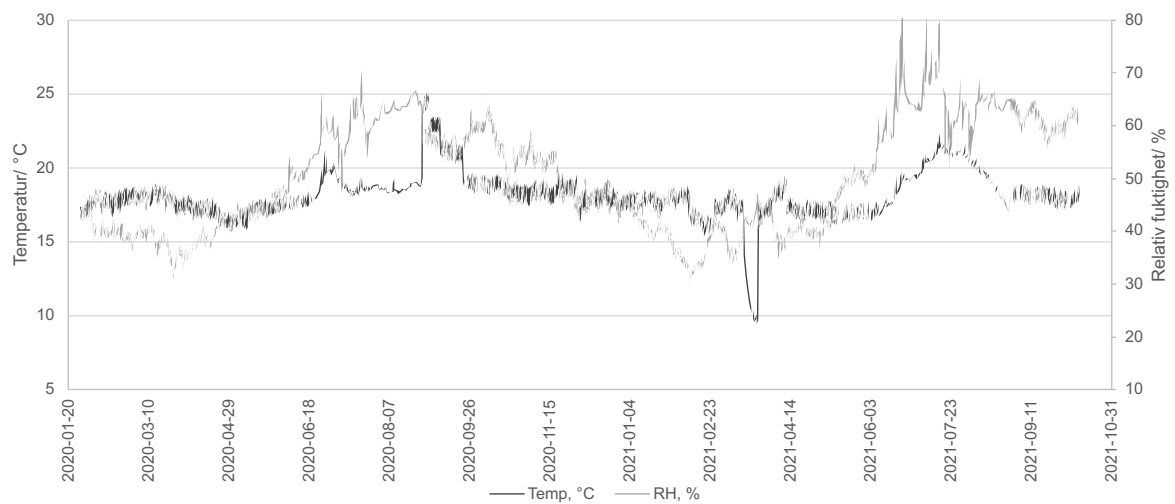
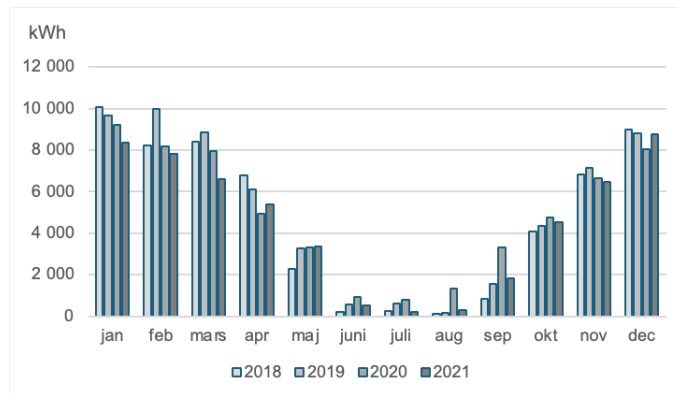
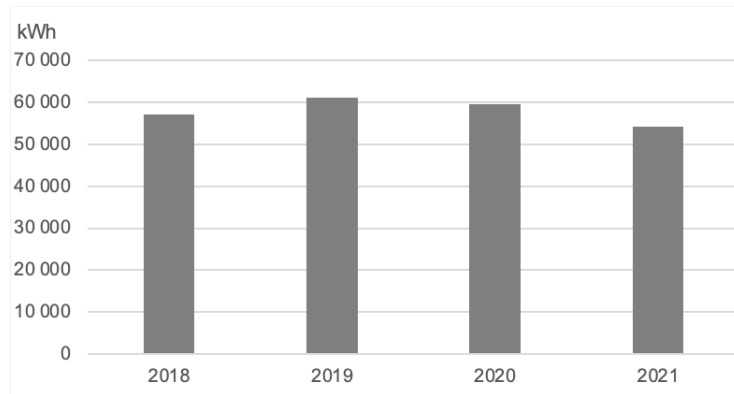
### Blidö kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 337 m<sup>2</sup>)



Temp och RF uppmätt i ljuskrona kan påverkas när ljuskronan är tänd.

# Bilaga 1

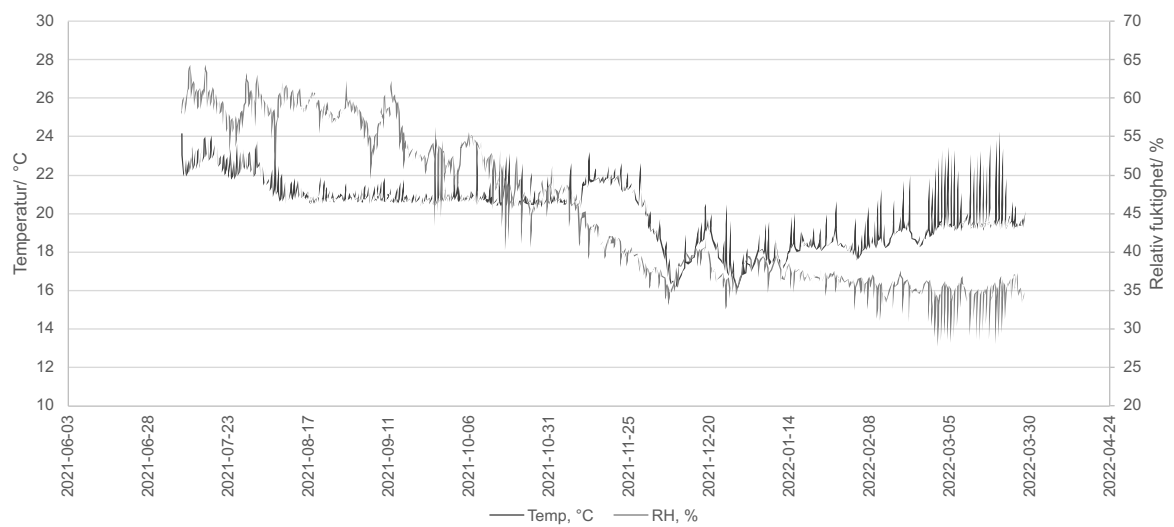
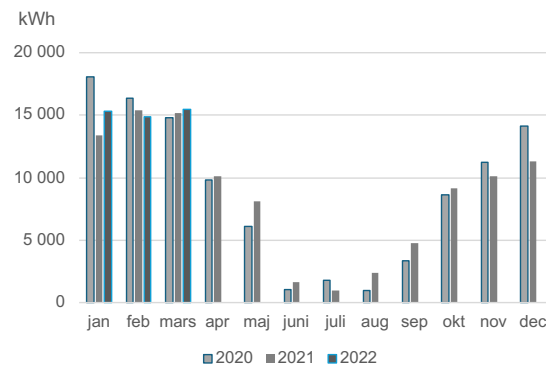
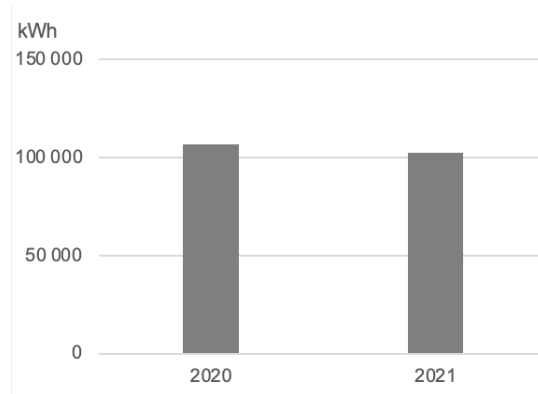
## Estuna kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 376 m<sup>2</sup>)





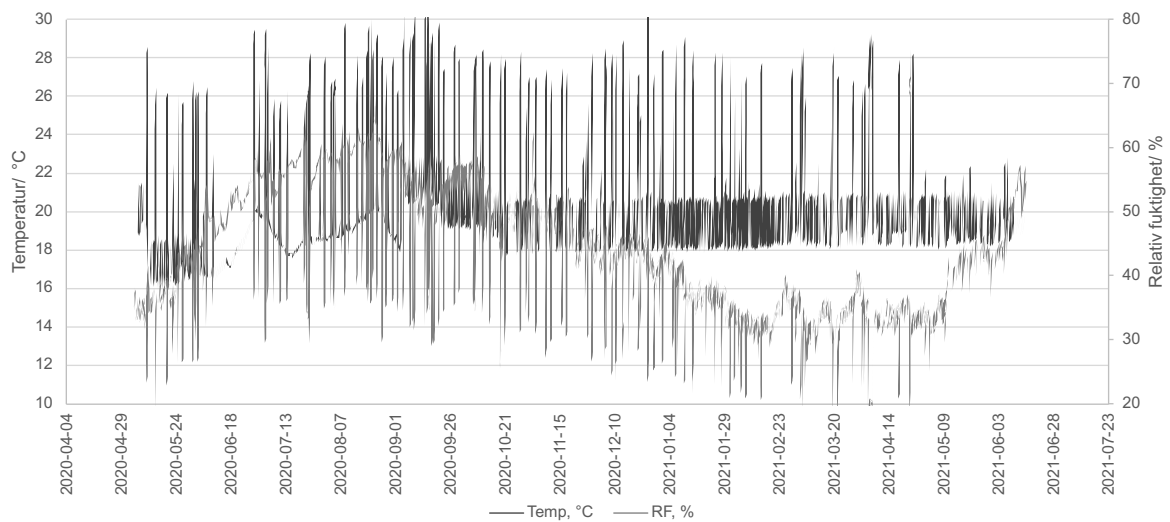
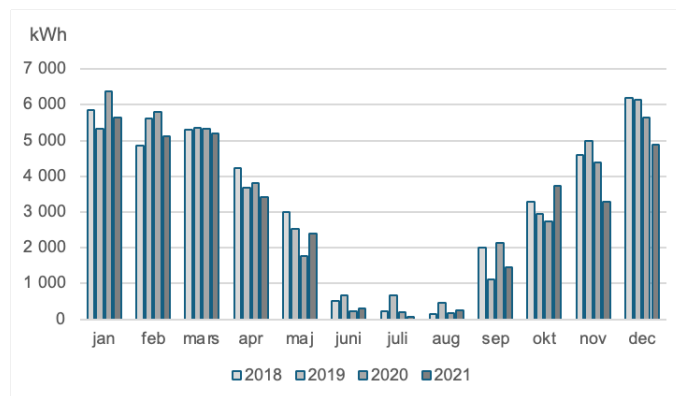
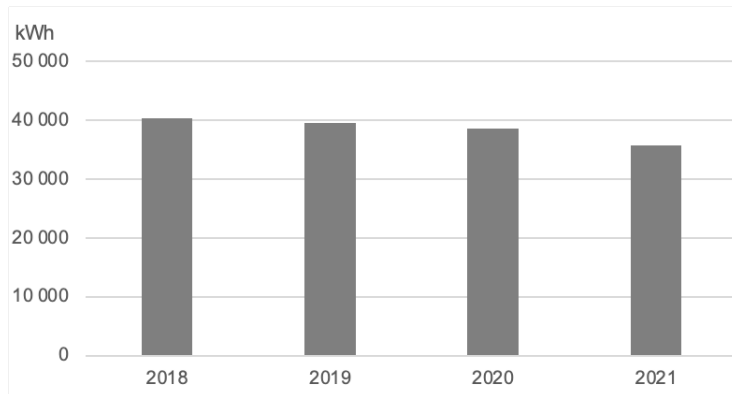
# Bilaga 1

## Frötuna kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 506 m<sup>2</sup>)



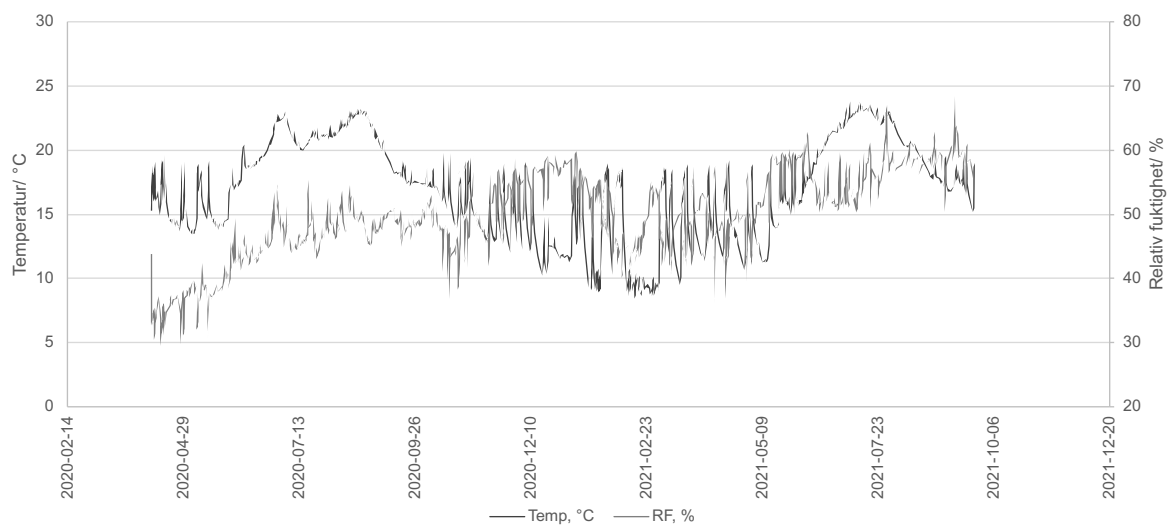
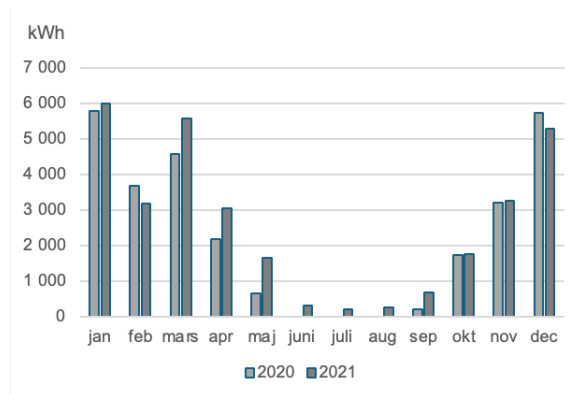
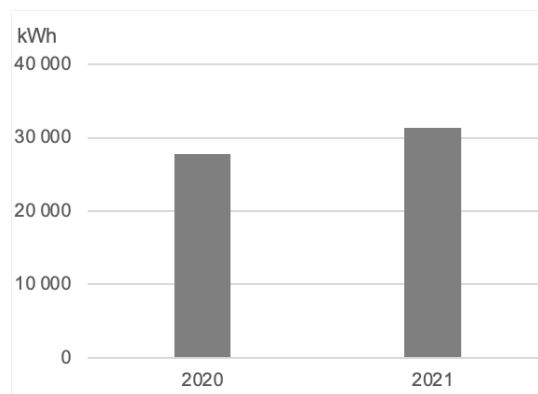
## Bilaga 1

### Lohärd kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 217 m<sup>2</sup>)



## Bilaga 1

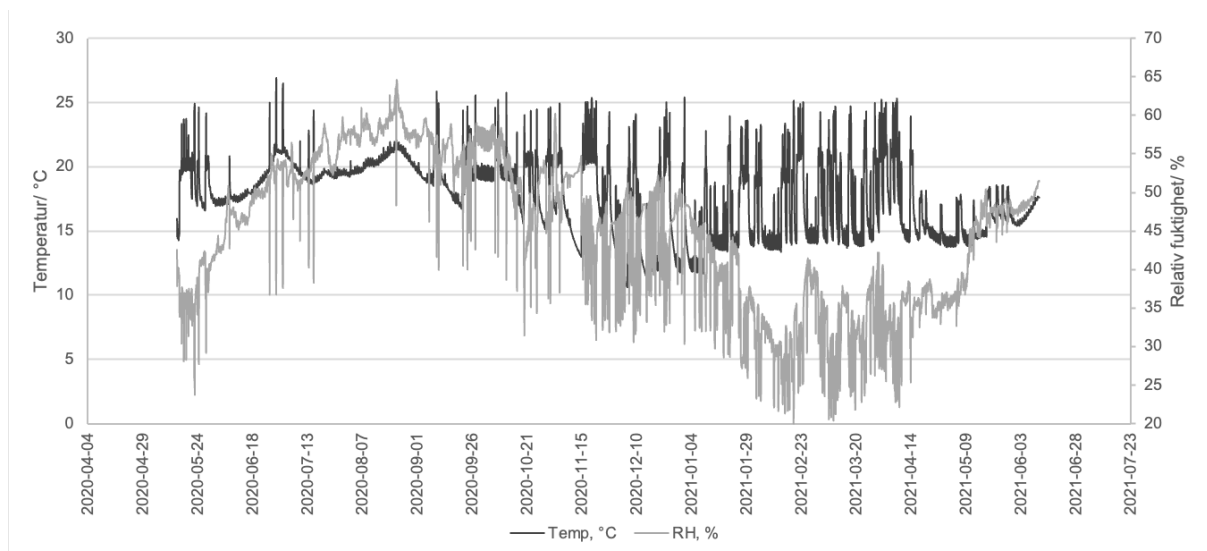
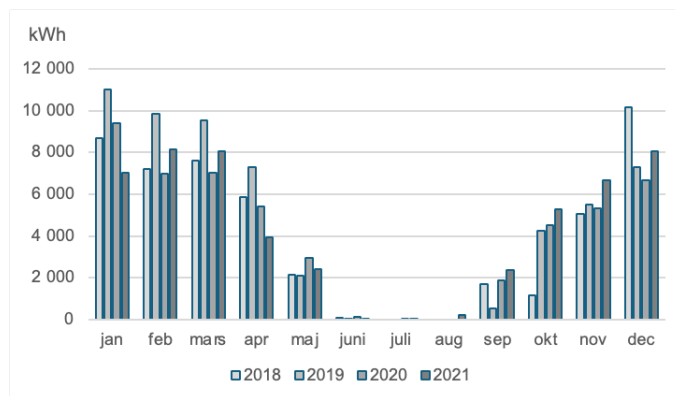
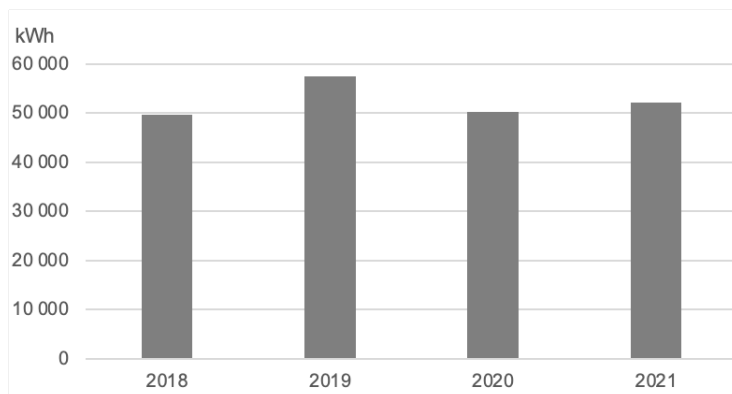
### Länna kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 379 m<sup>2</sup>)



Temp och RF uppmätt bakom tavla i kyrkans bakre del.

## Bilaga 1

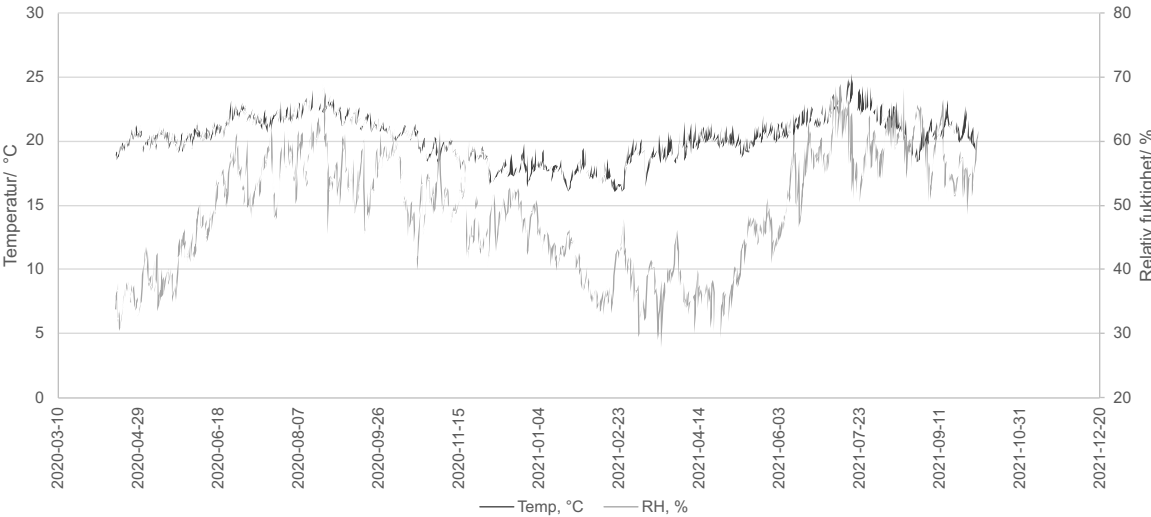
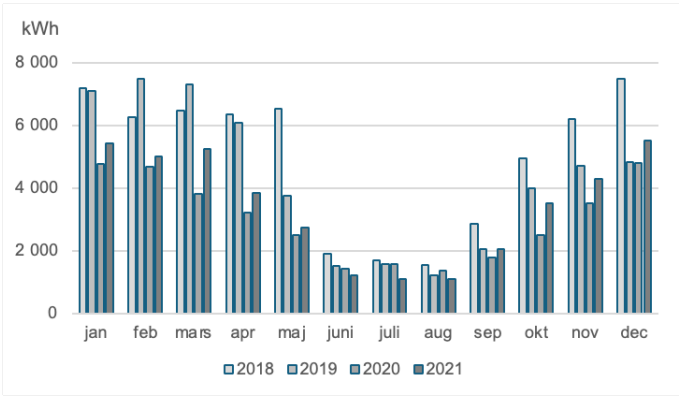
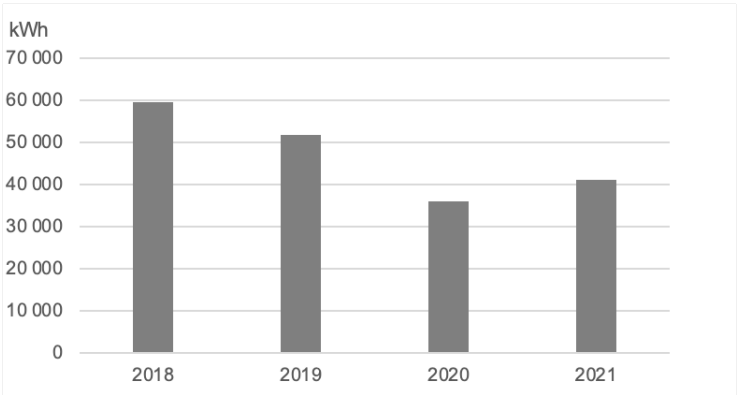
### Roslagsbro kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 415 m<sup>2</sup>)



Temp och RF uppmätt i ljuskrona kan påverkas när ljuskronan är tänd.

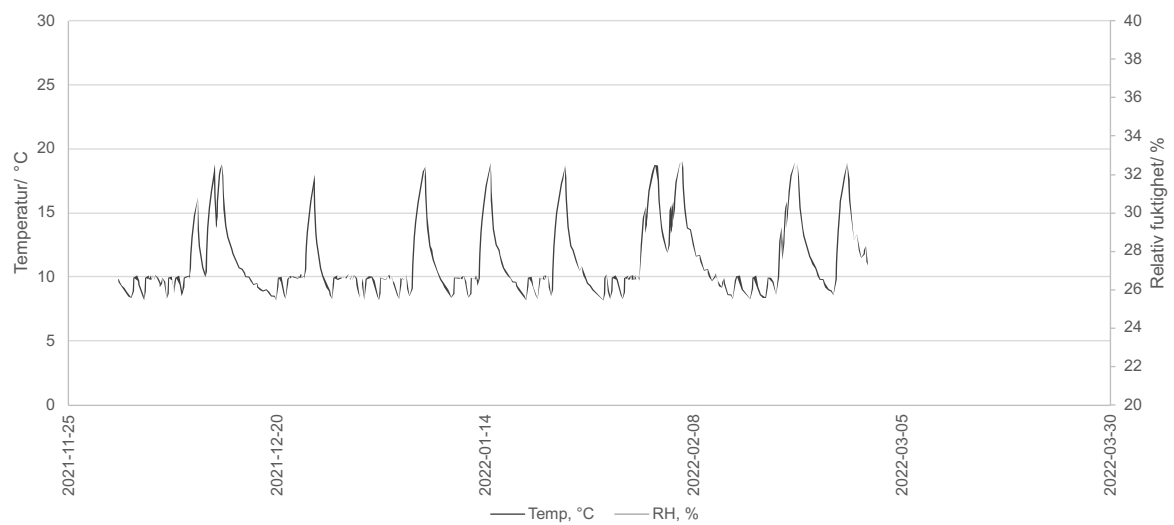
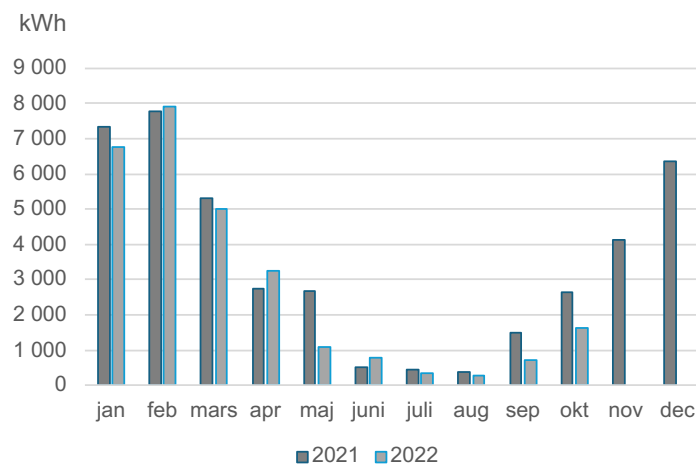
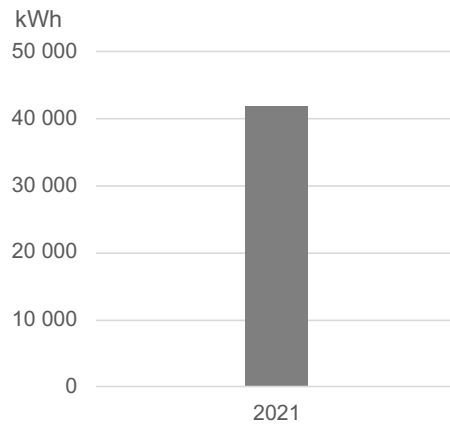
Bilaga 1

Rådman­­sö kyrka  
(Yta<sub>BRA</sub> 455 m<sup>2</sup>)



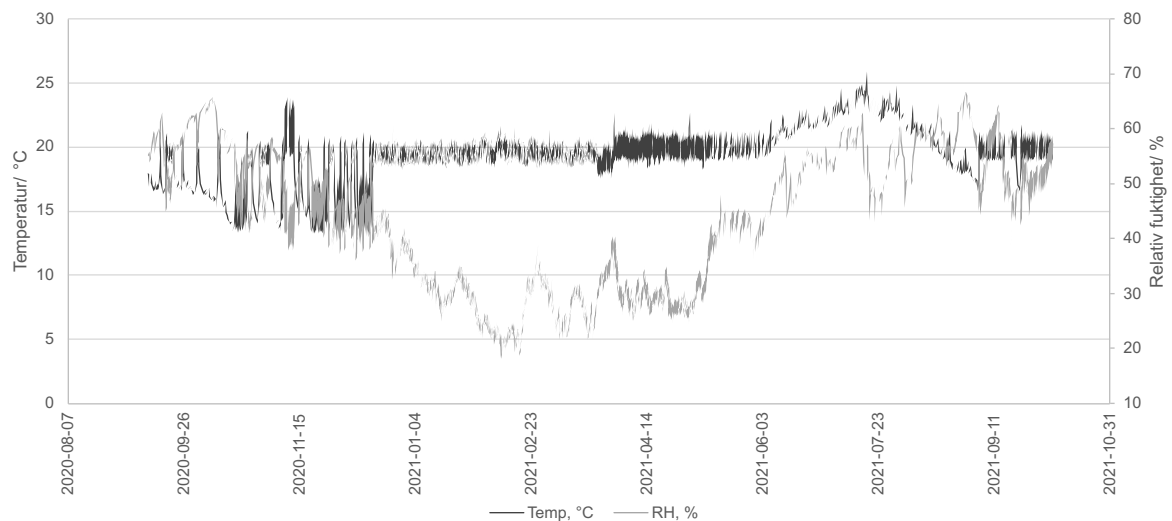
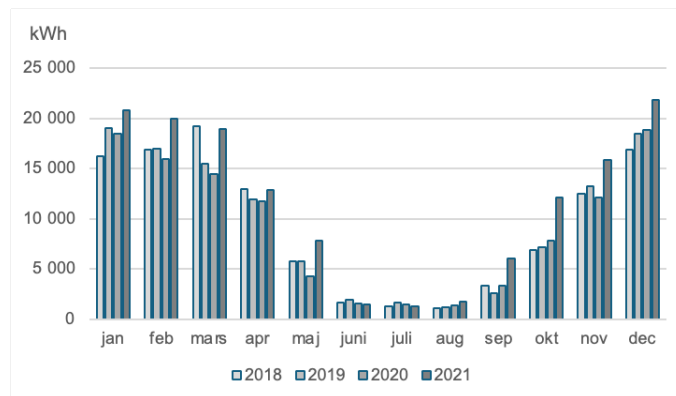
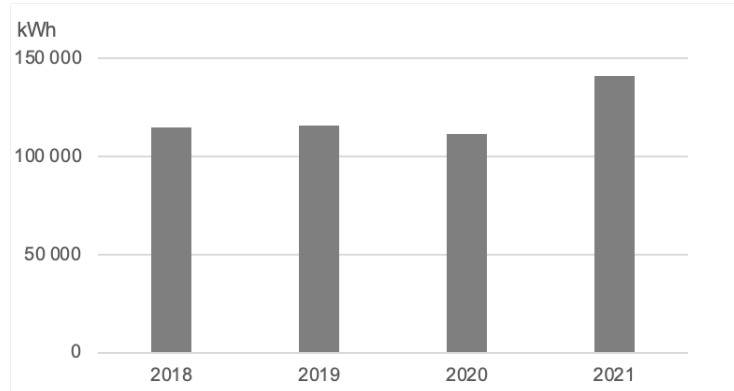
# Bilaga 1

## Söderbykarl kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 401 m<sup>2</sup>)



# Bilaga 1

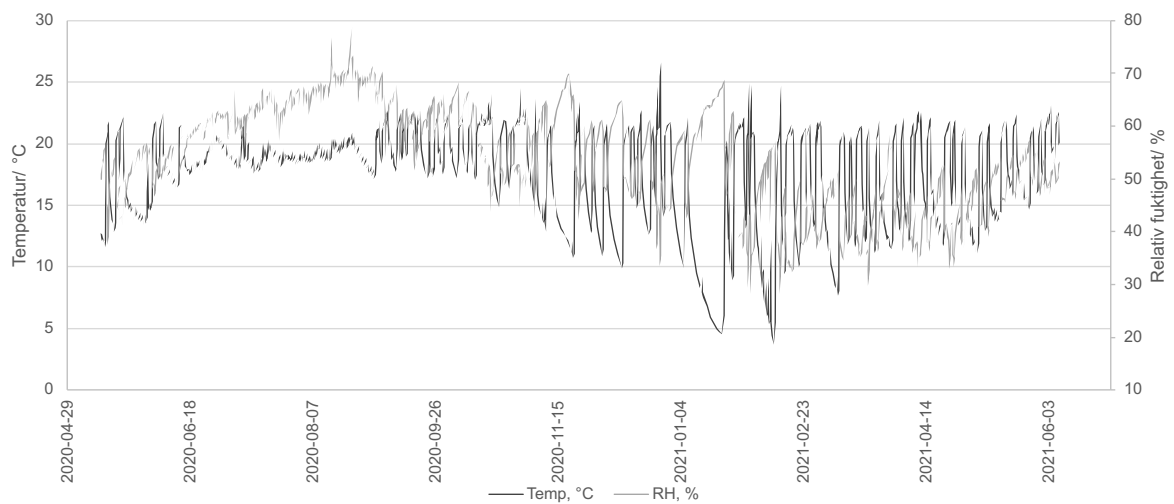
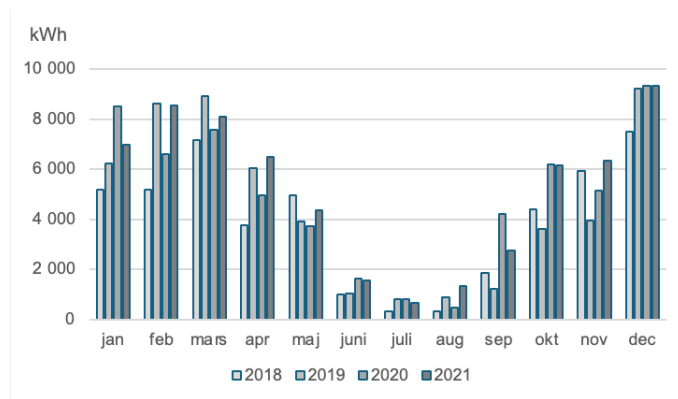
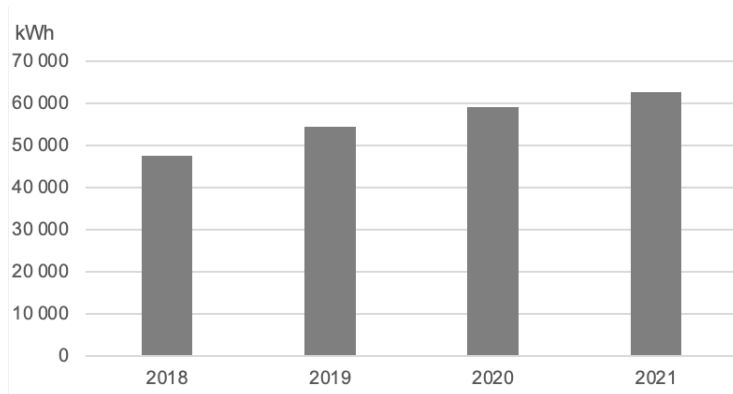
## Väddö kyrka (Yta<sub>BRA</sub> 642 m<sup>2</sup>)





# Bilaga 1

Vätö kyrka  
(Yta<sub>BRA</sub> 247 m<sup>2</sup>)



2025-12-28

2025-215240-0001

## Simulerade uppvärmningsbehov

Uppvärmningsbehov för en exempelkyrka, äldre i sten, har simulerats för ett antal olika driftsfall med olika användningsschema, för olika egenskaper på klimatskalet samt för olika uteklimat. För de olika driftsfallen sker uppvärmning under hela dygn.

Längder, areor och volym:

- Längd: 23 m
- Bredd: 11 m
- Höjd: 5 m (lägsta höjd till innertak) 7 m (högsta höjd till innertak)
- Volym: 1518 m<sup>3</sup>
- Fönster: 36 m<sup>2</sup> jämnt fördelade mot söder och norr
- Golv: 253 m<sup>2</sup>
- Vindsbjälklag: 270 m<sup>2</sup>

Uteklimat:

- Norrköping, normalår
- Lund, normalår
- Stockholm, normalår
- Stockholm, framtidsklimat som avser 2050 från klimatsimuleringsprogrammet Meteonorm.

Klimatskalets U-värden

- Golv, 0,34 W/(m<sup>2</sup>·K) (inklusive mark)
- Ytterväggar: 1 W/(m<sup>2</sup>·K) (tegel, sten)
- Vindsbjälklag: 0,54 W/(m<sup>2</sup>·K) (6 cm isolering), U= 0,16 W/(m<sup>2</sup>·K) (25 cm isolering), U=0,11 W/(m<sup>2</sup>·K) (36 cm isolering)
- Fönster: 5,8 W/(m<sup>2</sup>·K) (en-glas), U= 2,9 W/(m<sup>2</sup>·K) (två-glas), U=1,9 W/(m<sup>2</sup>·K) (energiglas)

Ventilation och läckage

- Självdrag, 0,1 oms/h (mindre tät)
- Självdrag, 0,05 oms/h (tätare)

## Innehållsförteckning

|   |                                |    |
|---|--------------------------------|----|
| 1 | Norrköping, normalår .....     | 3  |
| 2 | Lund, normalår .....           | 15 |
| 3 | Stockholm normalår .....       | 26 |
| 4 | Stockholm framtidsklimat ..... | 29 |

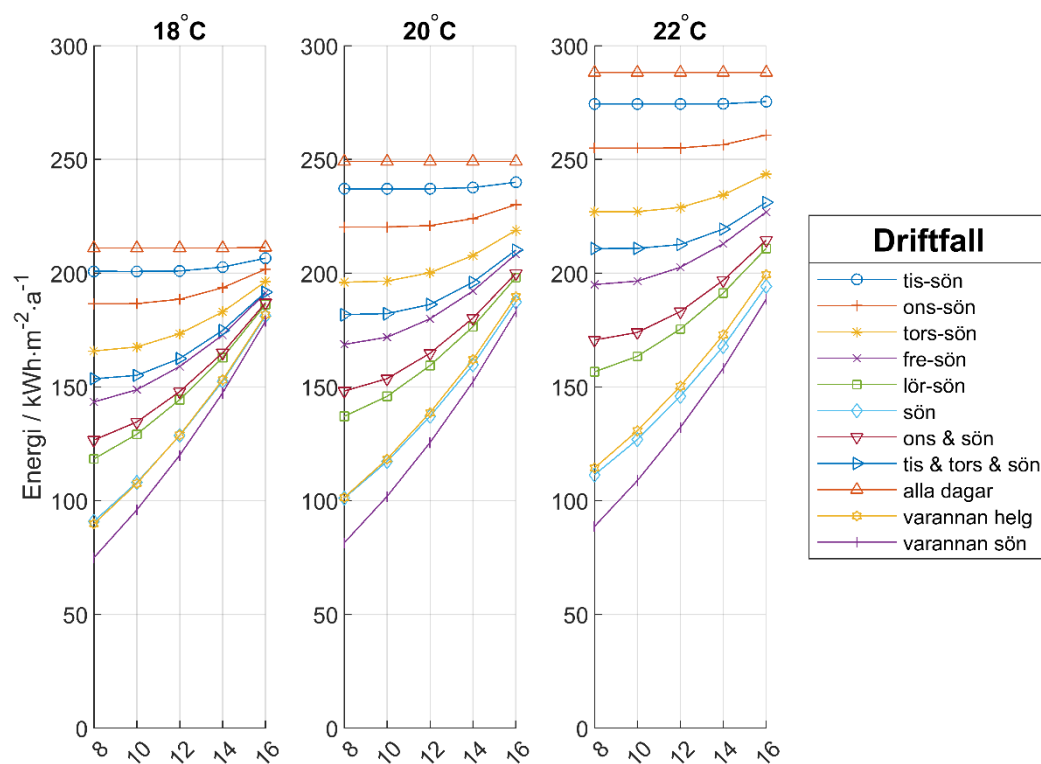
# 1 Norrköping, normalår

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 5,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  (en-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

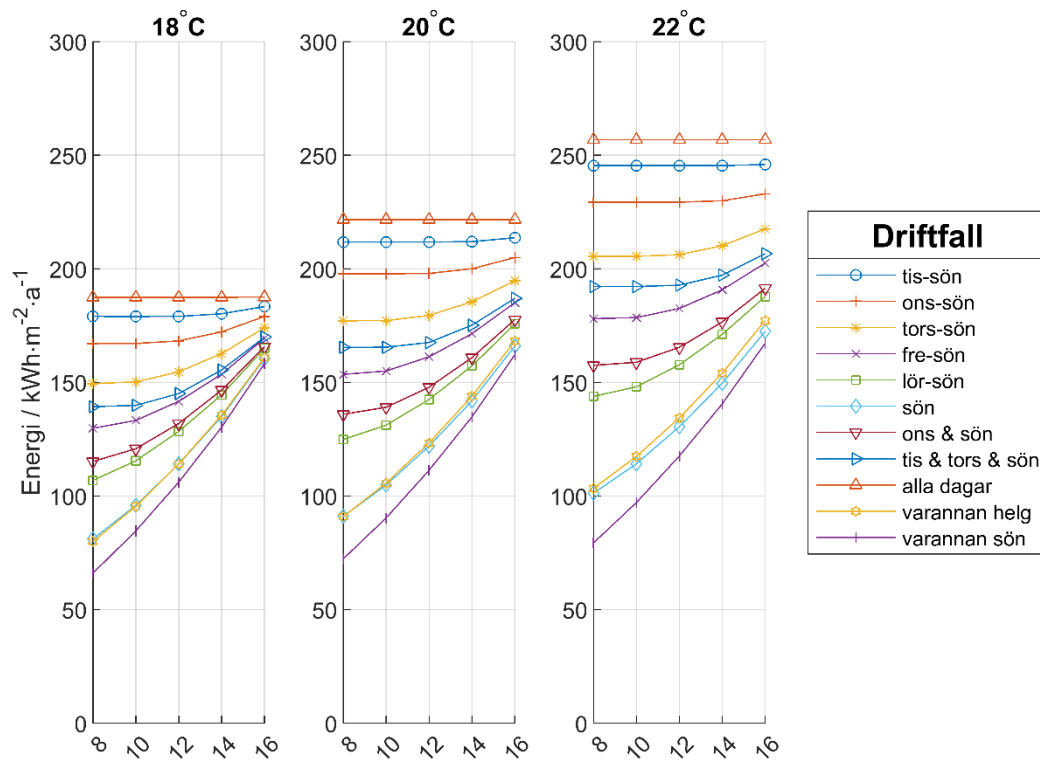
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (två-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

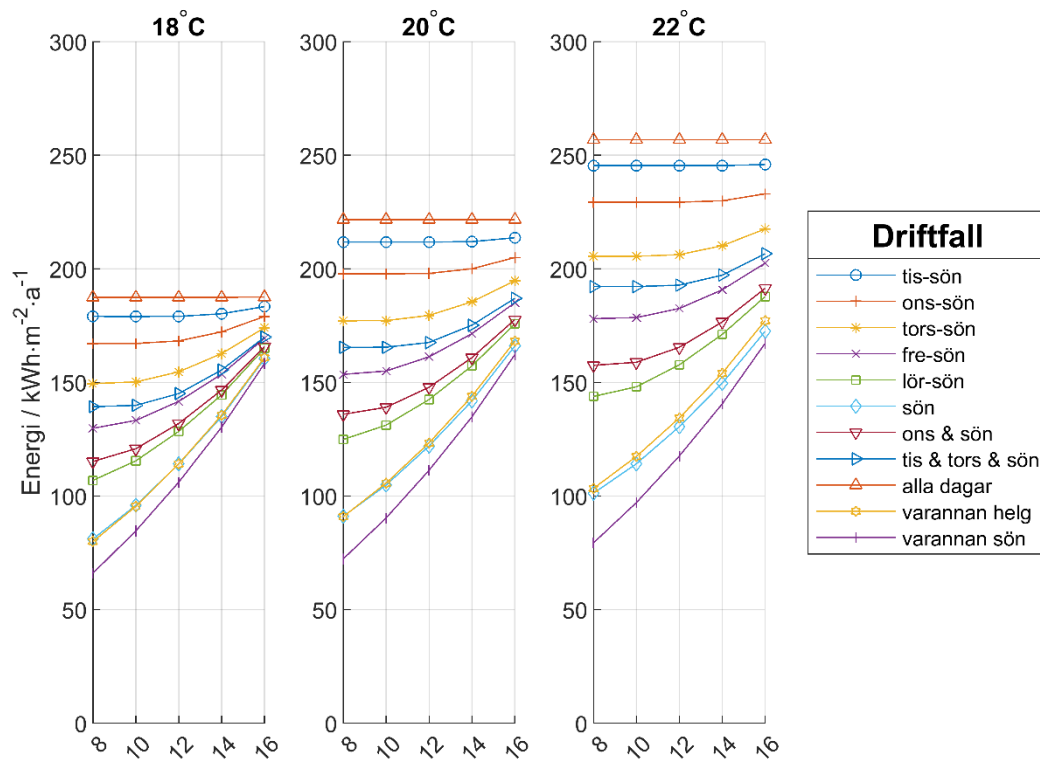
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

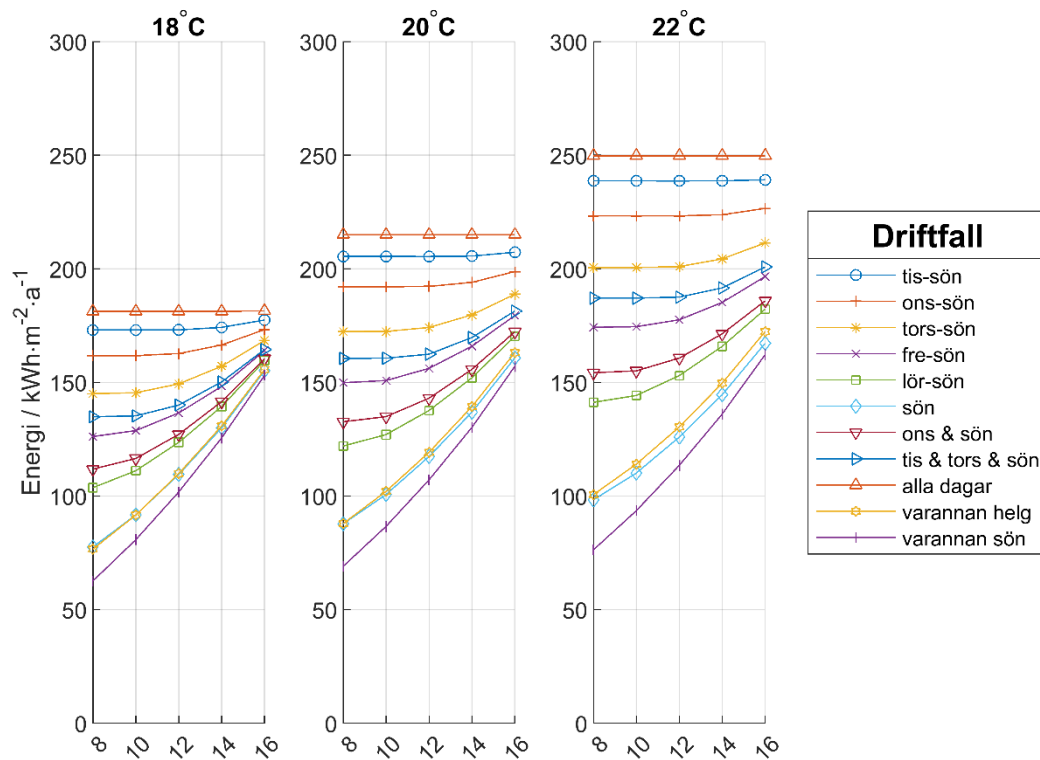
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 5,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (en-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

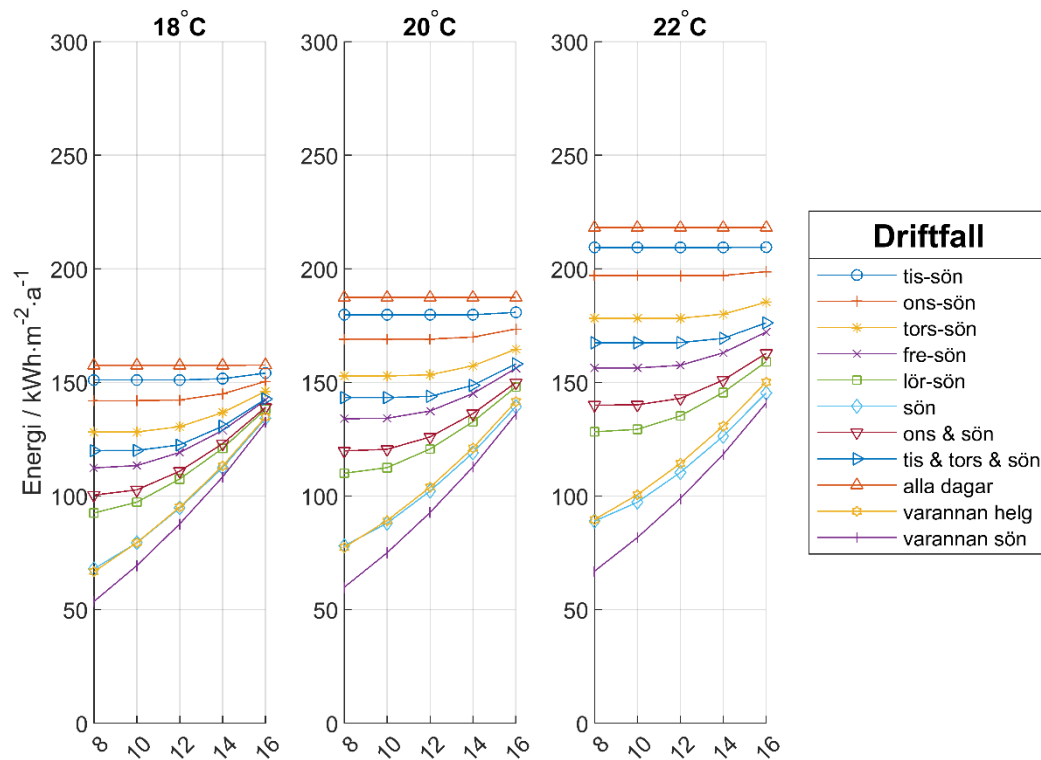


Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (två-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

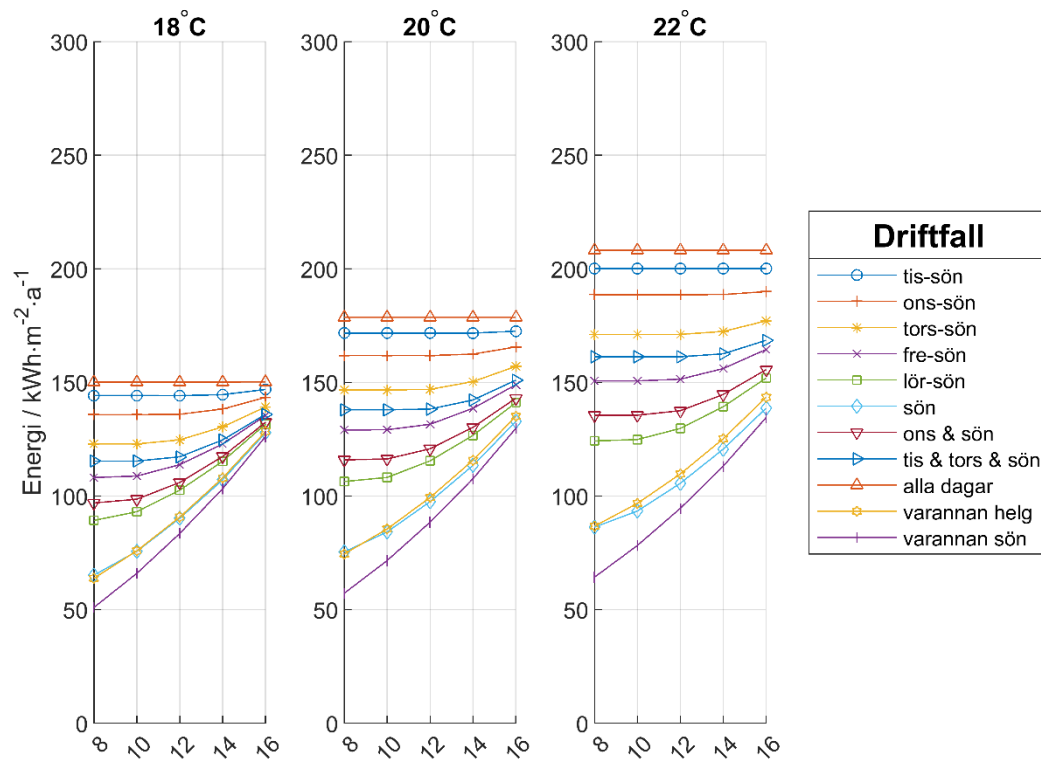
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

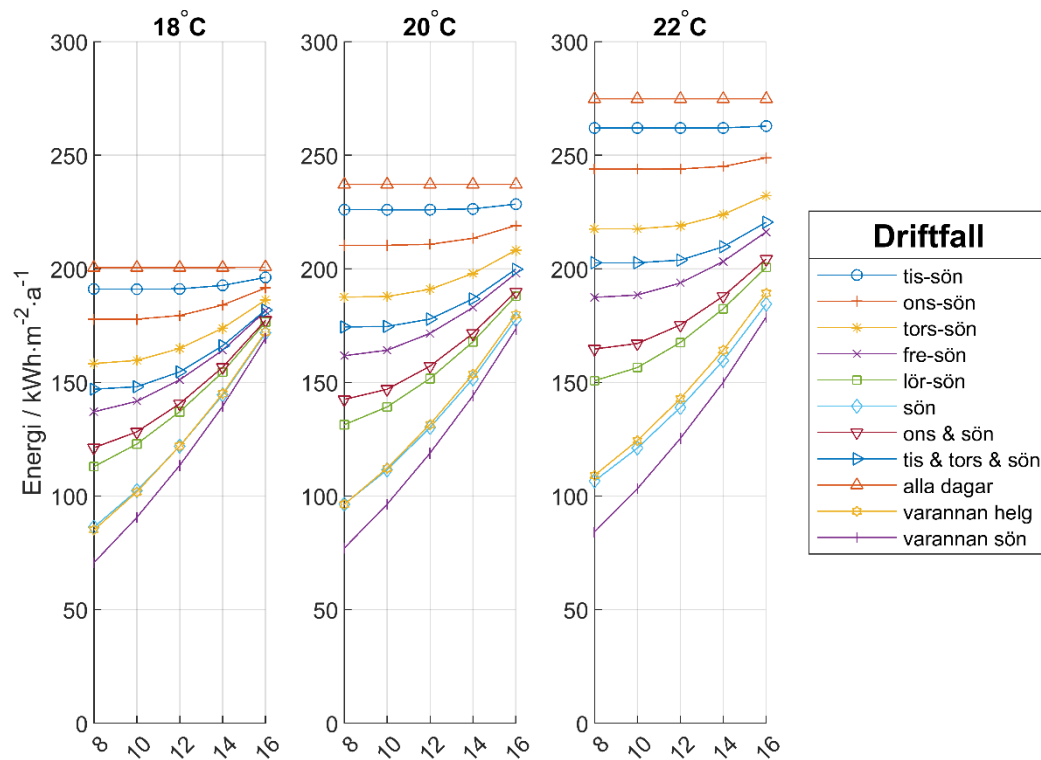
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (en-glas)



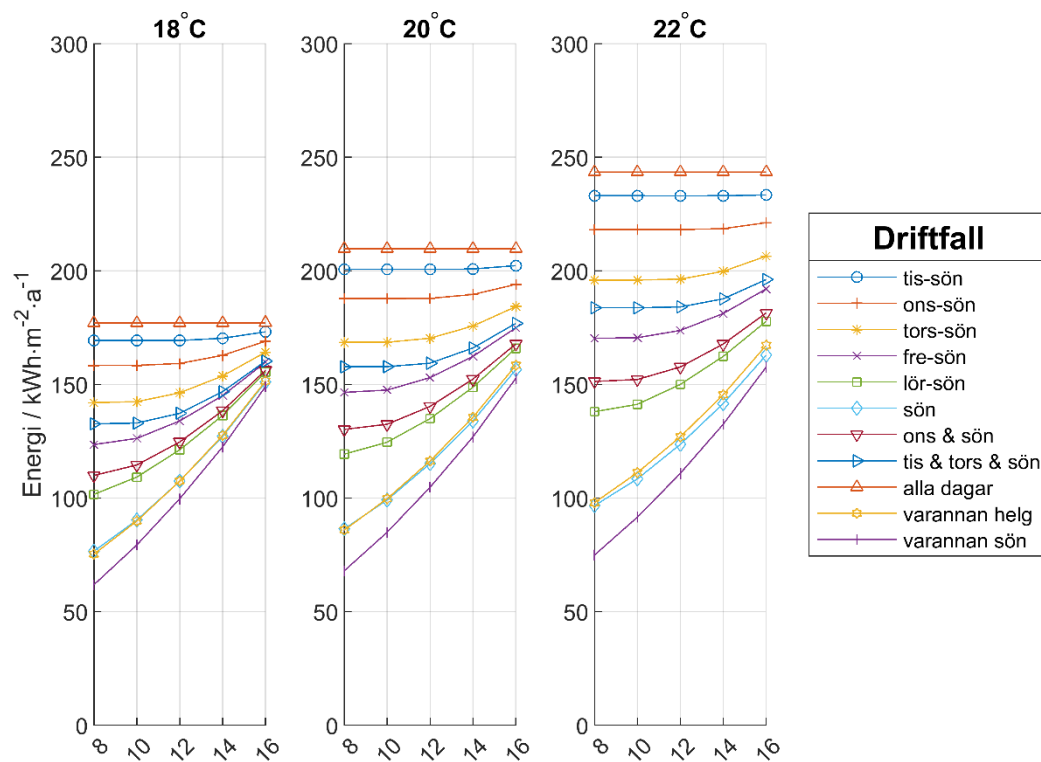
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (två-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

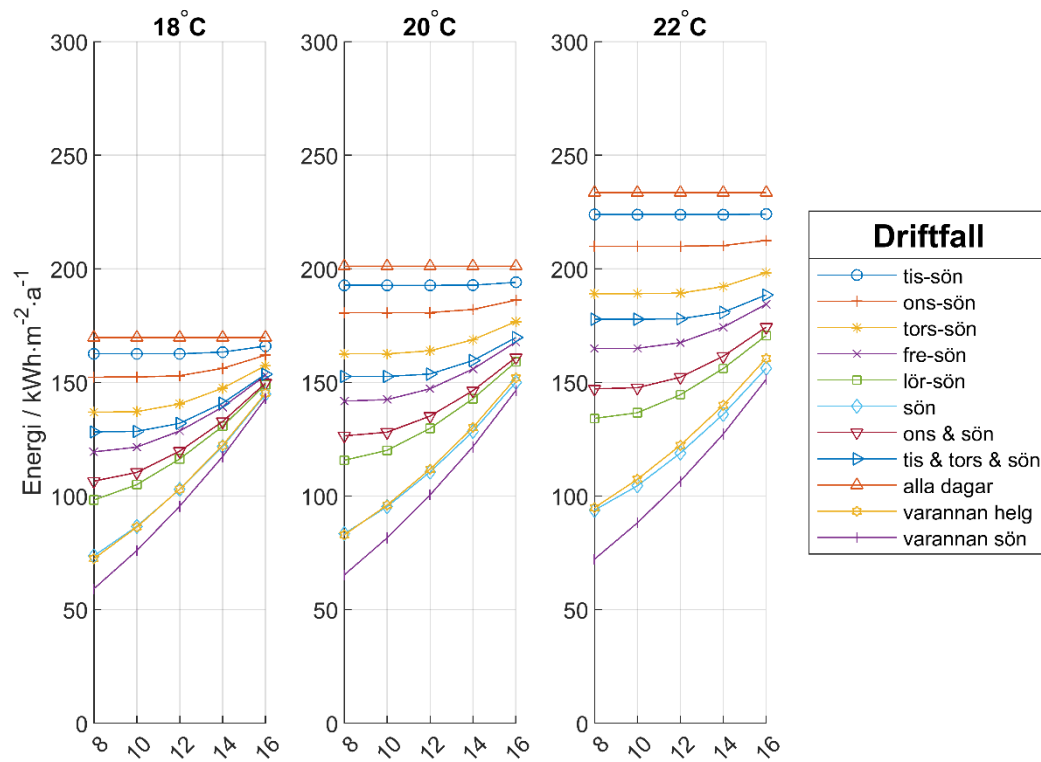
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

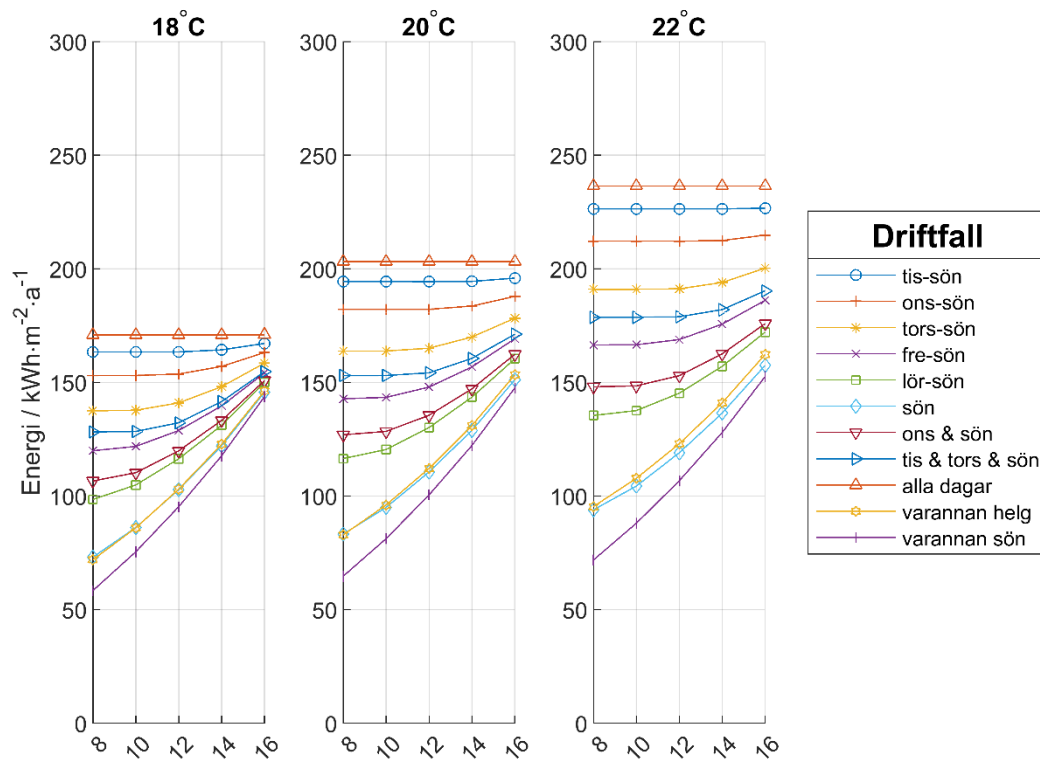
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



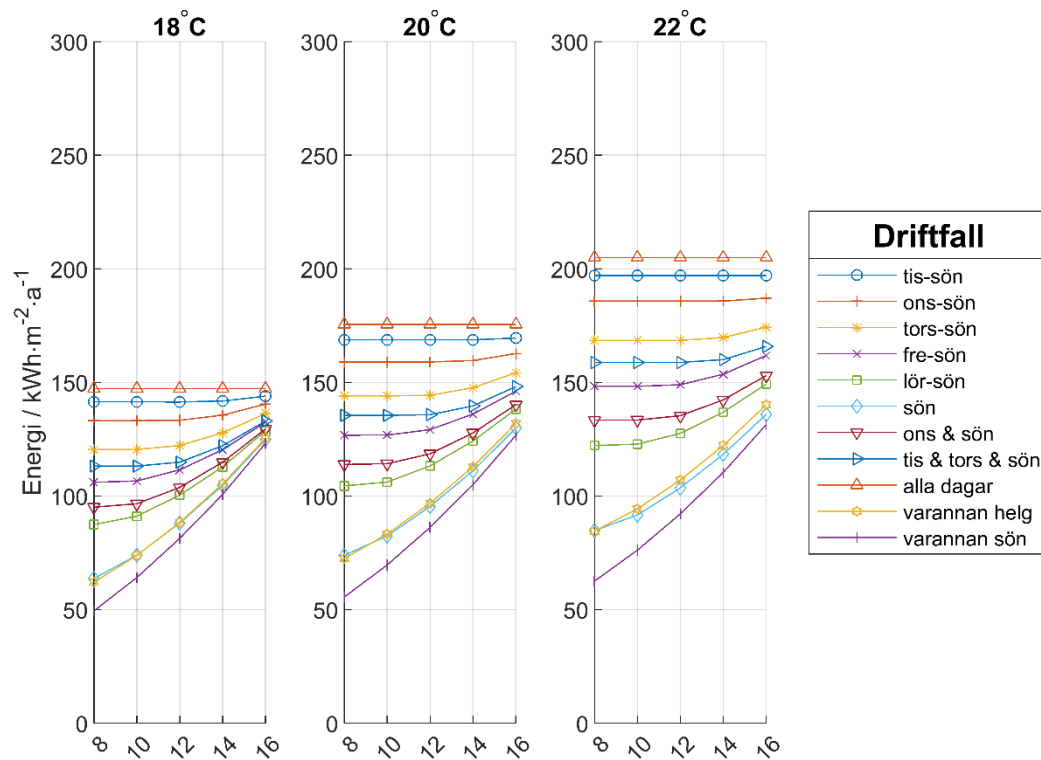
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

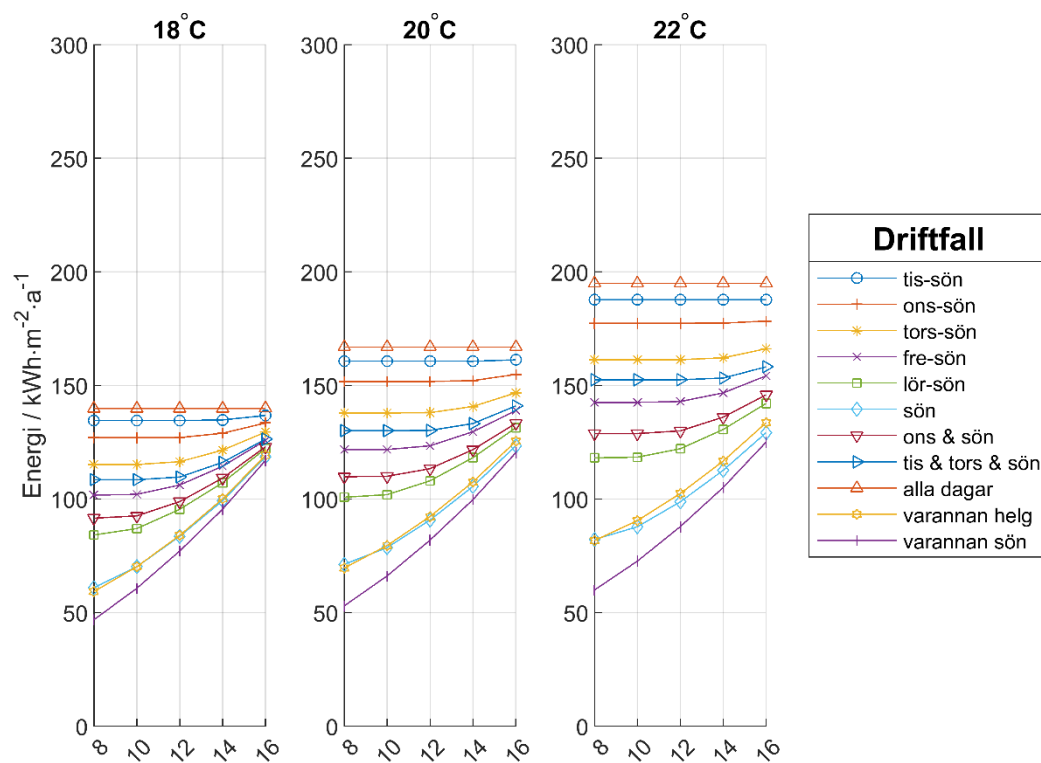
## Bilaga 2

Uteklimat: Norrköping, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.



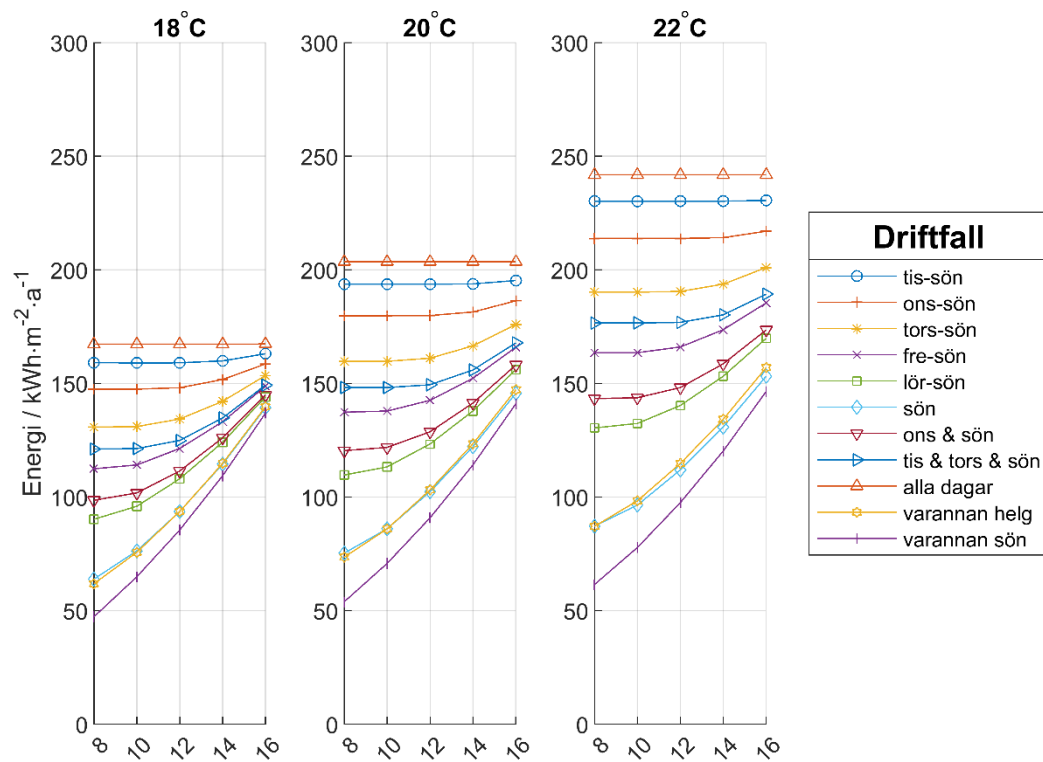
## 2 Lund, normalår

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 5,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  (en-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar

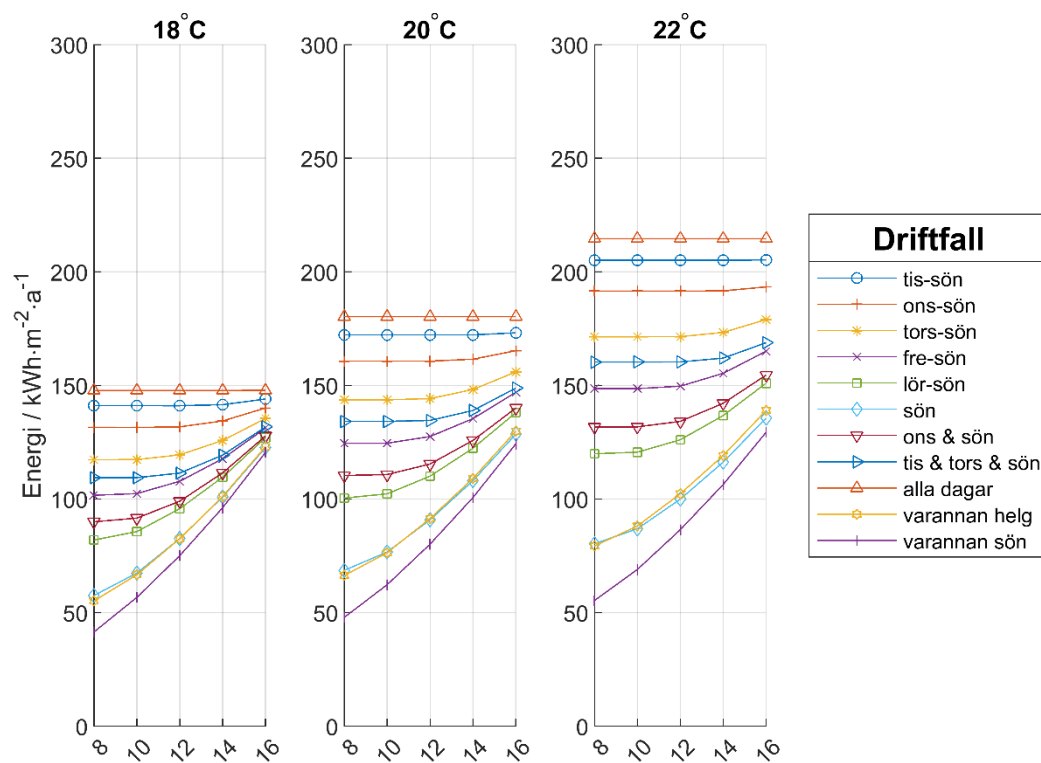
## Bilaga 2

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (två-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar

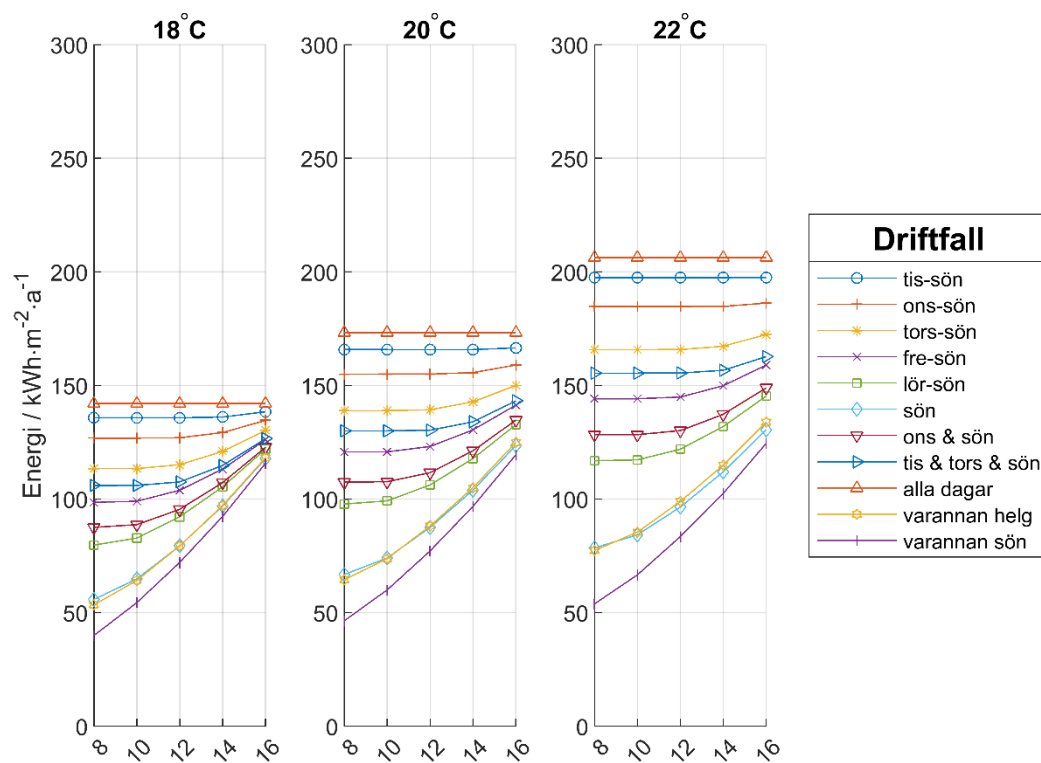
## Bilaga 2

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar

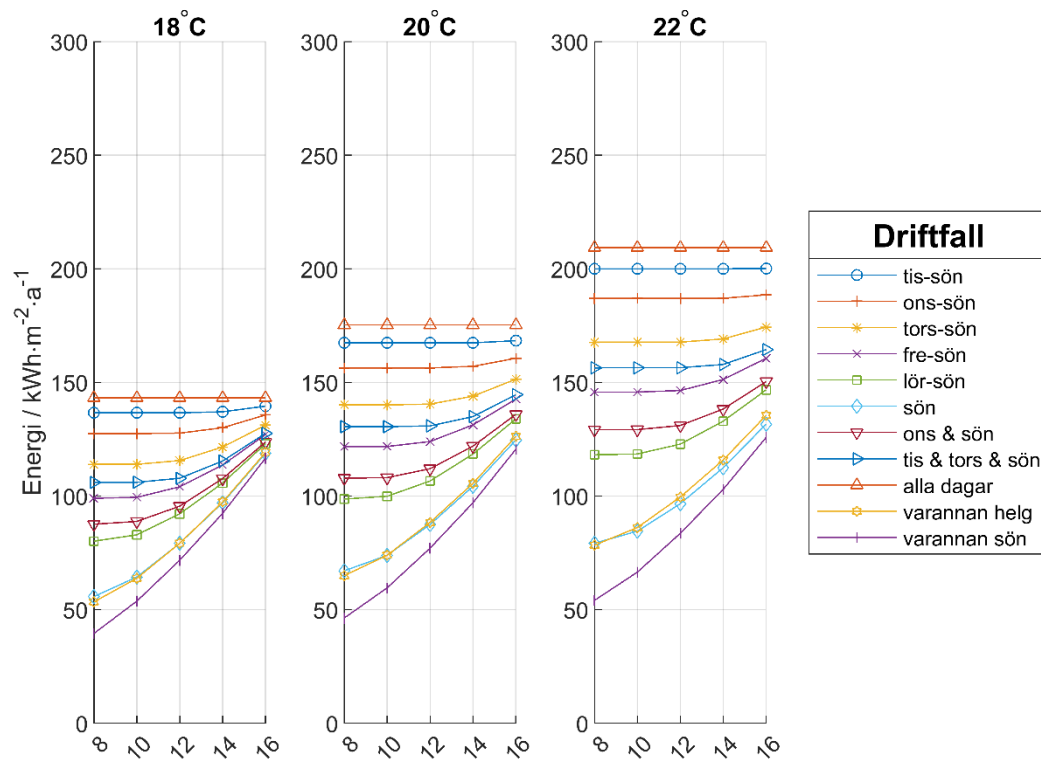
## Bilaga 2

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 5,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (en-glas)



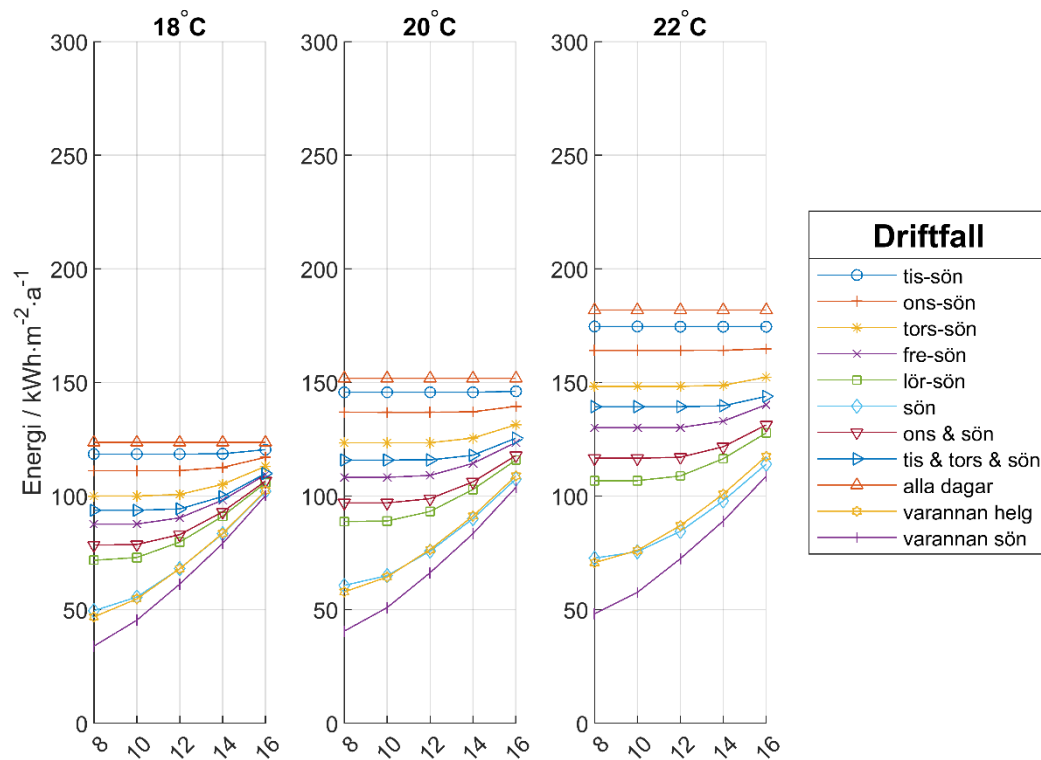
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (två-glas)



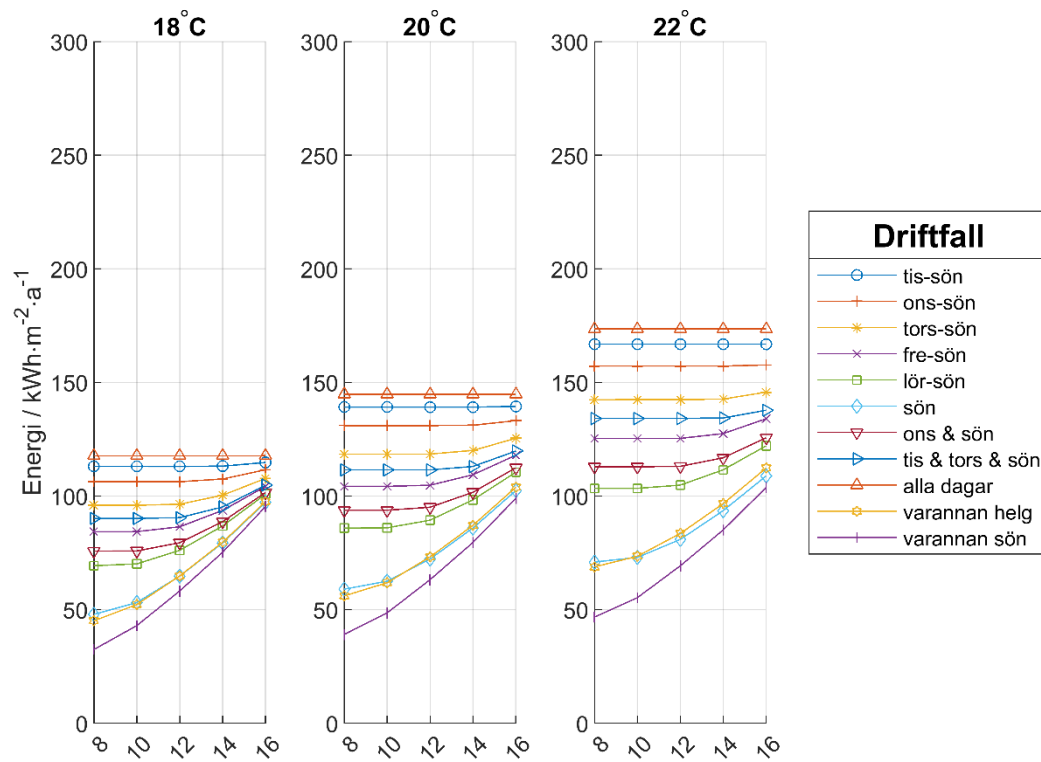
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

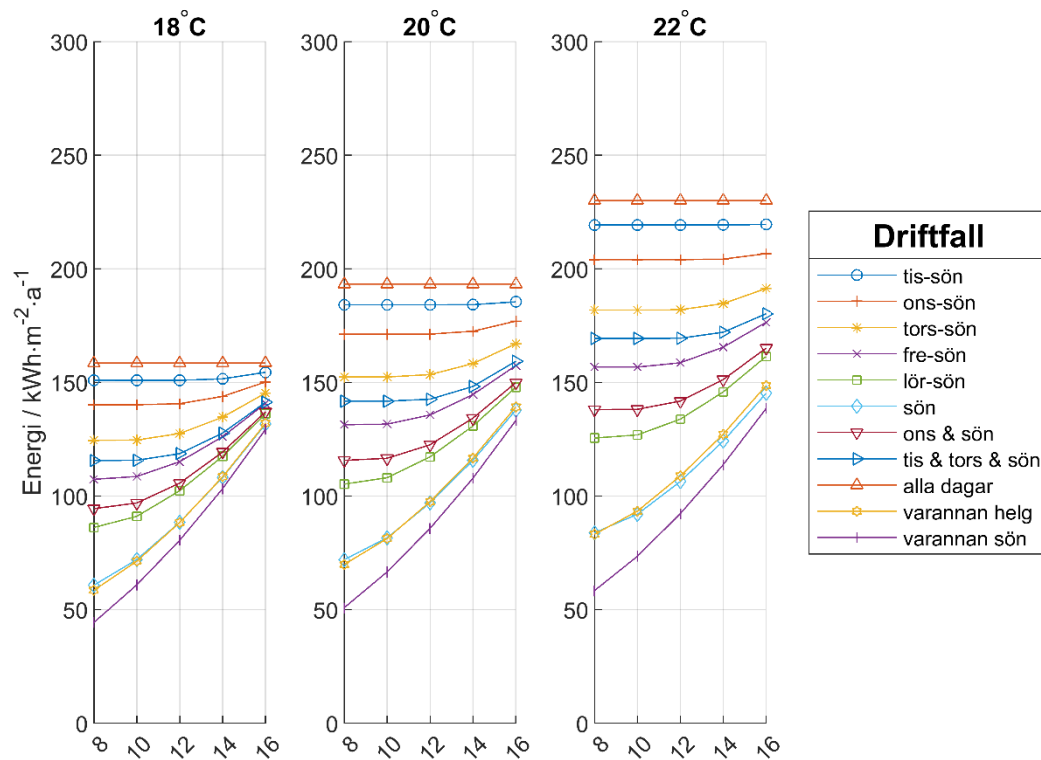
## Bilaga 2

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (en-glas)



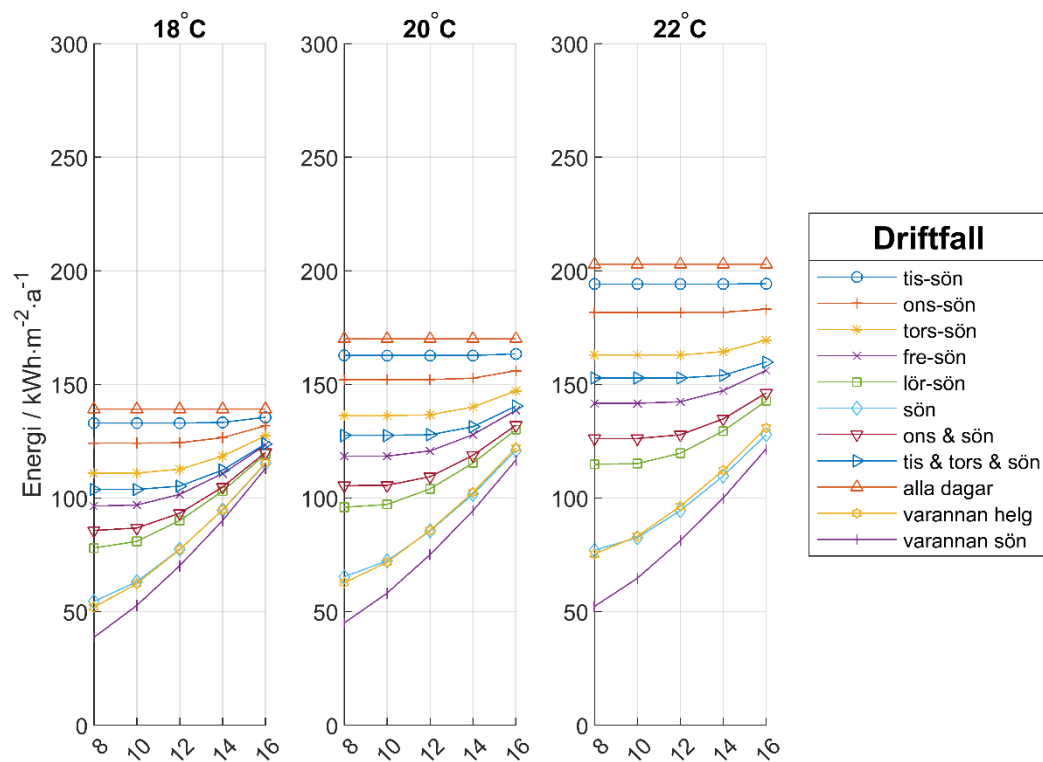
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (två-glas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

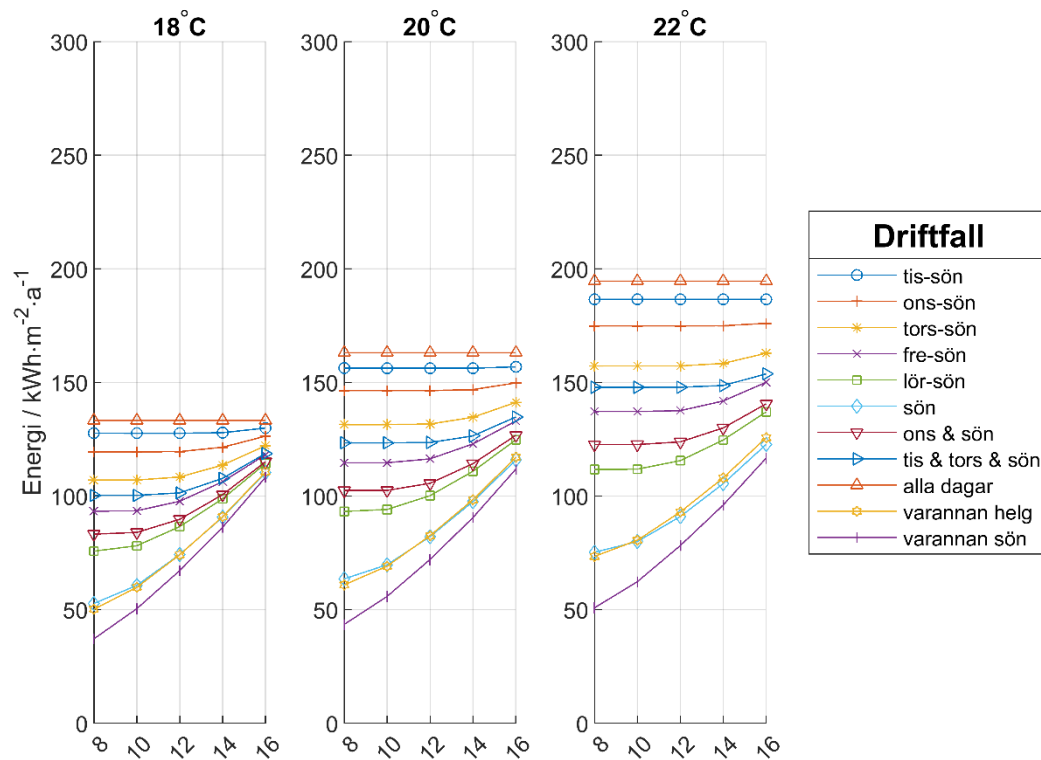


Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



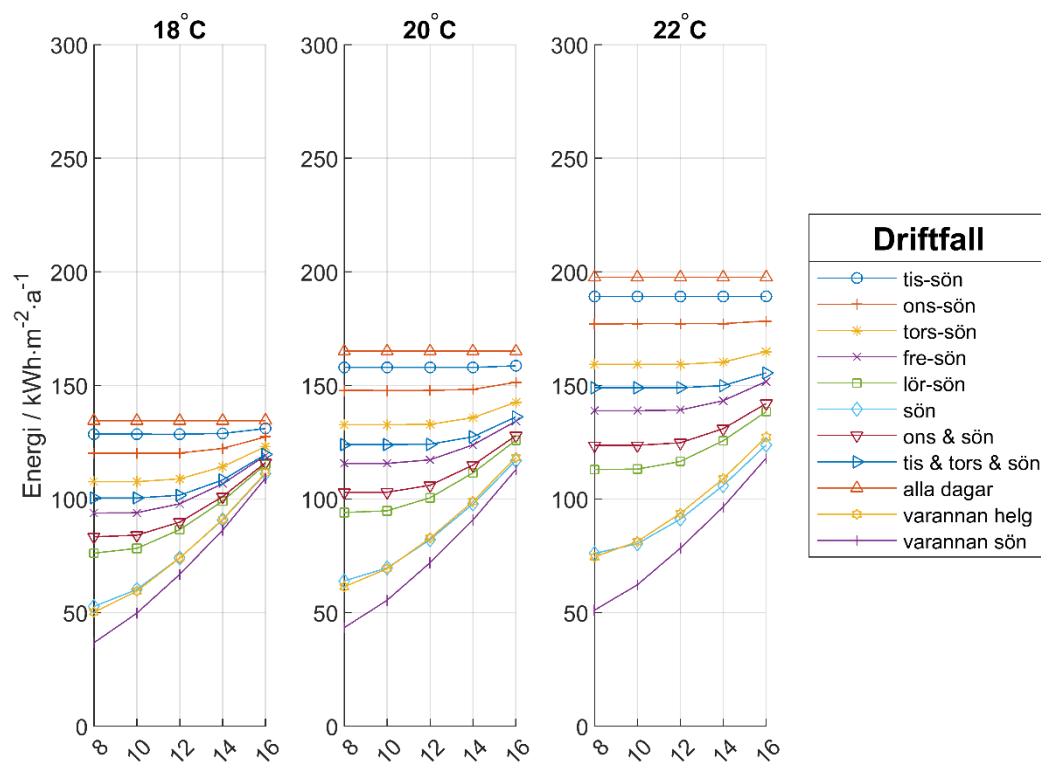
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

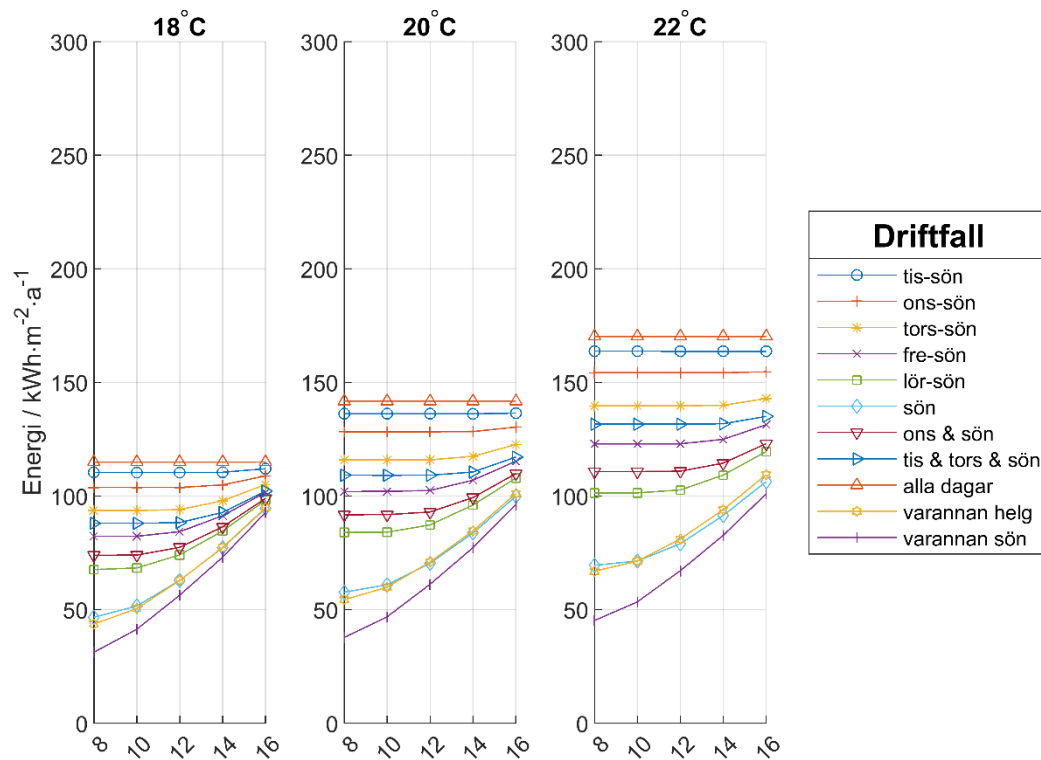
## Bilaga 2

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



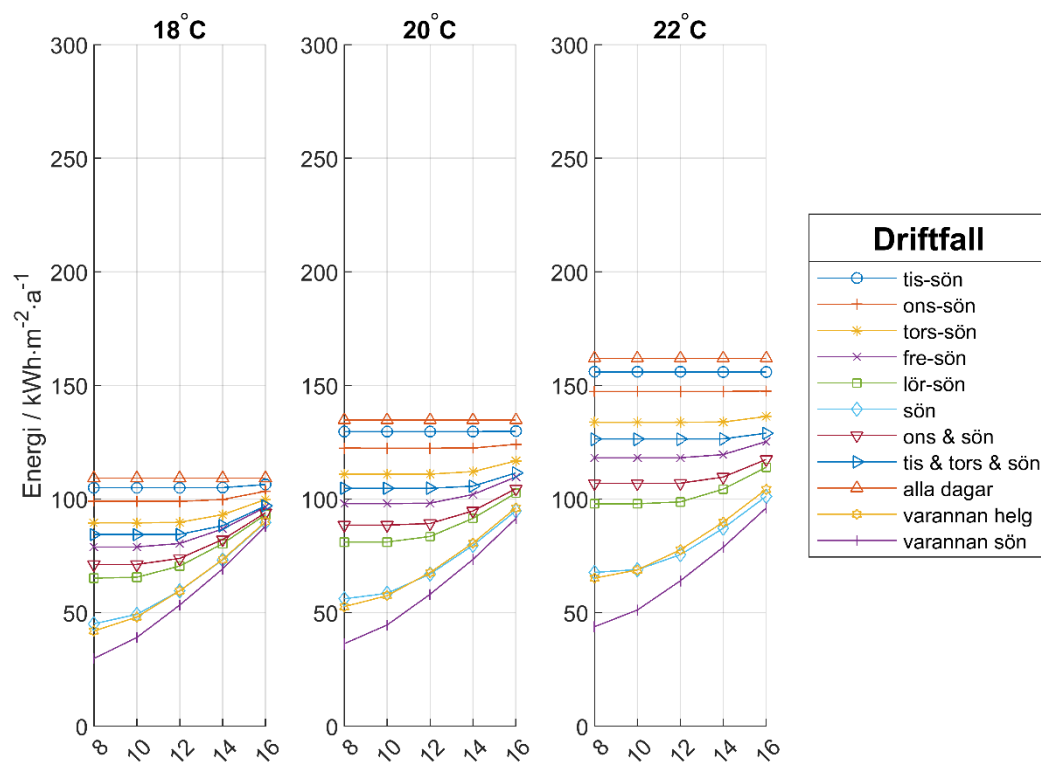
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Lund, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

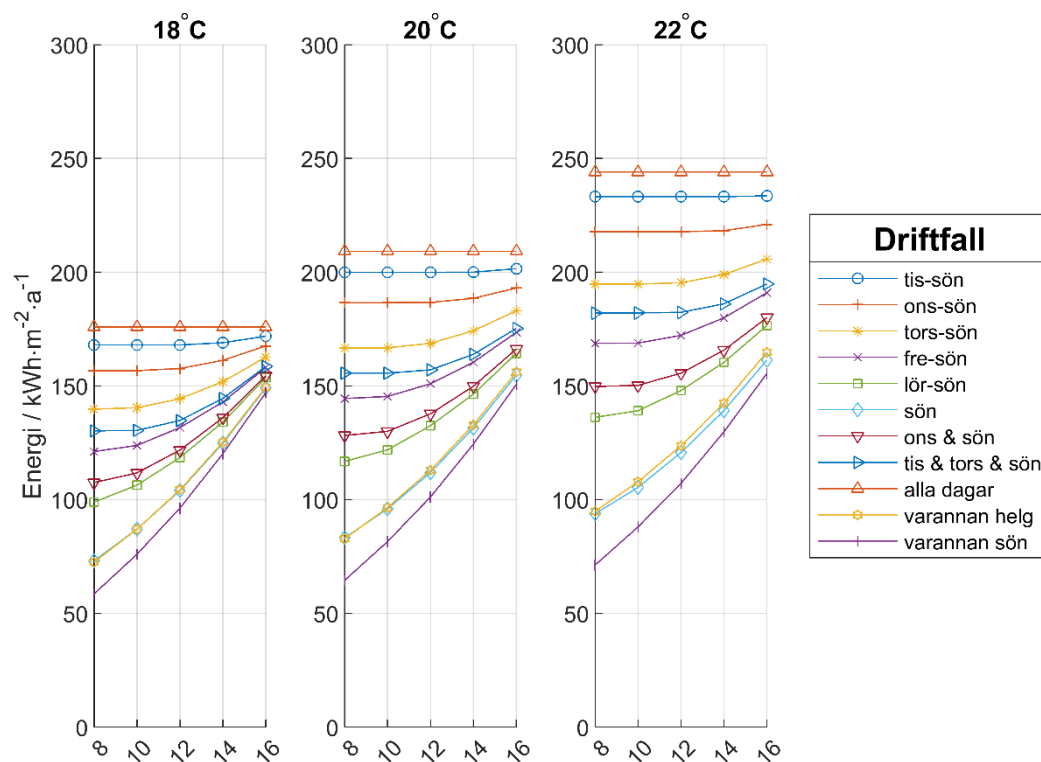
### 3 Stockholm normalår

Uteklimat: Stockholm, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (två-glas)



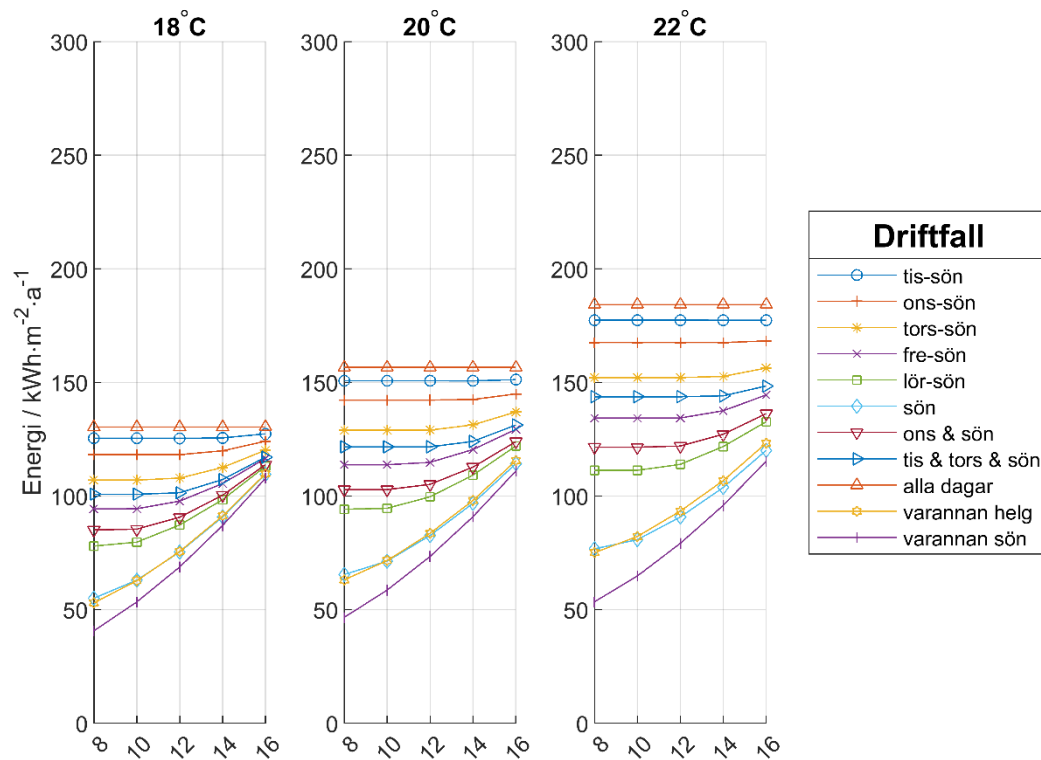
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Stockholm, normalår

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

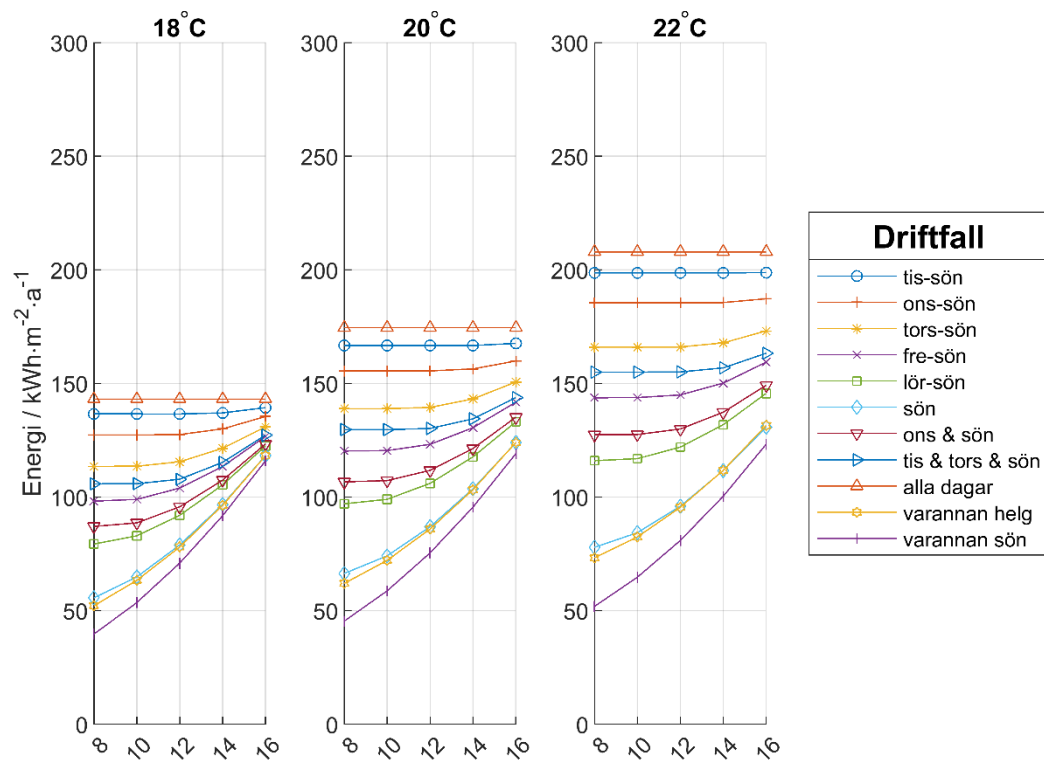
## 4 Stockholm framtidsklimat

Uteklimat: Stockholm, framtidsklimat

Vindsbjälklag:  $U = 0,53 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  (6 cm isolering)

Luftomsättning: 0,1 oms/h (mindre tät)

Fönster:  $U = 2,9 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  (två-glas)



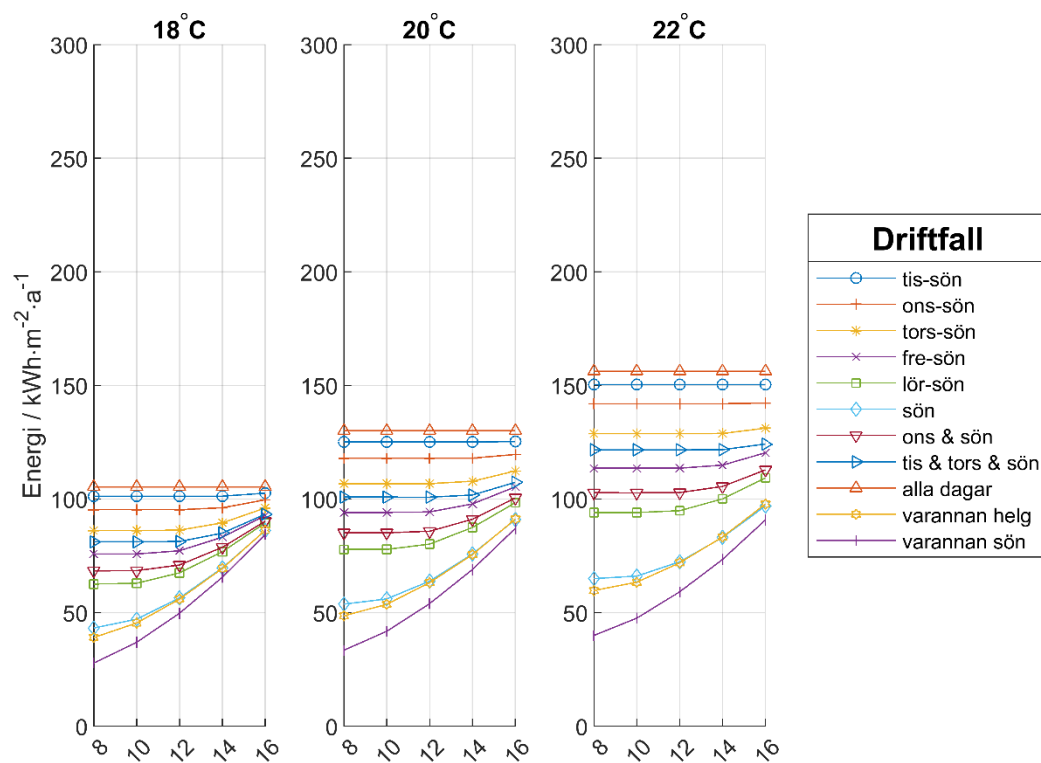
Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.

Uteklimat: Stockholm, framtidsklimat

Vindsbjälklag:  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (25 cm isolering)

Luftomsättning: 0,05 oms/h (tätare)

Fönster:  $U = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (energiglas)



Temperatur vid användning anges över diagram. Börvärden för temperatur vid frånvaro anges på x-axlar.