

# KA

## Oppvarming med bergvarme Utredning inneklima og energibruk

Risør kirke





Risør kirke

Ny vannbåren oppvarming med bergvarme, el-kjele og akkumulatortanker

Utredning og evaluering av inn klima og energibruk

**Utgiver:** KA Arbeidsgiverorganisasjon for kirkelige virksomheter

**Opplag:** Utgitt kun som pdf-dokument

**Utgitt:** August 2018

**Postadresse:** Postboks 1034, 0104 Oslo

**Web/e-post:** [www.ka.no](http://www.ka.no), [ka@ka.no](mailto:ka@ka.no)

**Telefon:** 23 08 14 00

**Ansvar:** KA har utarbeidet denne rapporten etter beste viten og vilje, men tar forbehold om eventuelle feil eller mangler.

**Undersøkelser og rapport:** Miljø & ResursDrift

**Foto forside:** Risør kirke, Foto: Ulf Christensen

**Øvrige foto:** KAs Kirkebyggdatabase

## Forord

I snart 1000 år er det bygget kirker i Norge. Norges 1 635 kirkebygg representerer uerstattelige nasjonale kulturminner. Fram til godt ut på 1800-tallet ble kirkene ikke varmet opp. Ved- og koksfyring ble i begynnelsen av 1900-tallet byttet ut med hovedsakelig elektrisk oppvarming. Over mange tiår ble det installert rørovner på gulvet under benkene. Disse har i hovedsak fungert bra, men de har vært vanskelig å rengjøre og høy overflatetemperatur har vært utfordrende. Nye benkevarmere som monteres opp under benkene har i større grad overtatt som hovedoppvarmings-system for kirkebygg.

I tillegg er det i de senere årene montert ulike typer varmpumper i kirkene og kirkene er noen steder koblet til lokalt fjernvarmenett. En økende del av kirker installerer vannbåren oppvarming med radiatorer og konvektorer. Det monteres også akkumulatortanker for lagring av energi i form av varmt vann. På denne måte reduseres høy elektrisk effekt som igjen reduserer brannfare og bedrer brukeres inneklimaopplevelse. Videre hindrer dette utvidelse av inntakskabel og sikringsskap. En akkumulatortank mellomlagrer termisk energi \*) og gir langt høyere oppvarmingseffekt (kW) og dermed raskere oppvarming.

Lav oppvarmingseffekt og lave strømpriser har ført til jevn og lang oppvarming av kirkebyggene. Dette har igjen ført til store tørkeskader på treverk og uerstattelig kirkekunst. KA har i ulike veiledere belyst dette temaet og utga blant annet i 2009 «Kirkeoppvarming og inneklima» som belyste riktig bevaringsmiljø, energibruk og forsvarlig oppvarming i kirkebygg og «Klang og kvalitet - Innføring i investeringer og vedlikehold av orgel», som blant annet også tar for seg riktig inneklima i kirkerommet. KA anbefaler *brukstilpasset oppvarming* med 5-8°C hviletemperatur og 16-19°C brukstemperatur. Dette krever mellom 27 og 35W/m<sup>3</sup> oppvarmingseffekt i kirkerommet, noe som på ulikt vis kan være utfordrende. Derfor kan en løsning være å bytte fra elektrisk til vannbåren oppvarming.

For KA er det viktig å følge med på utvikling og innføringer av nye oppvarmingssystemer for å vurdere deres nytteverdi i kirkebygg. I denne undersøkelsen har KA undersøkt hvordan bygningsmessige forbedringer i Risør kirke sammen med *ny vannbåren oppvarming* med bergvarmepumpe med økt kapasitet, øker *effektiv brukstilpasset drift* og gir andre positive effekter. Dette er utført gjennom aktiv oppfølging av kirkens oppvarming, bruk, energibruk og inneklima gjennom to vintre (2016 og 2017).

KA vil takke Risør kirkelige fellesråd v/kirkeverge Ingvar Lillehammer og Risør menighet for tilrettelegging og deltagelse i undersøkelsen.

\*) Termisk energi er energien som kan avgis som varme. I denne rapporten er termisk energi ment avgitt varme fra det vannbårne oppvarmingssystemet.



## Innhold

Oppsummering etter to års drift .....	9
Bakgrunn og formål .....	10
1. Kirkens tidligere tilstand .....	11
2. Anbefalte og gjennomførte forbedringer.....	13
Tiltak 1 - Montering av varevinduer med ett-lags vanlig glass.....	13
Tiltak 2 - Isolering av himling mot kaldt loft over hele kirkerommet.....	14
Tiltak 3 - Ny vannbåren oppvarming med bergvarmepumpe.....	14
Tiltak 4 - Varmestyringssystem.....	17
Tiltak 5 - Oppdeling i to abonnement og målere .....	18
3. Kostnader og støtte .....	19
Pris på alternativ ny klassisk helelektrisk oppvarming.....	19
4. Oppnådde resultater og erfaringer etter to års drift .....	20
Kontinuerlige målinger av kirkens oppvarming og det termiske inneklime .....	20
Oppnådde resultater ved effektiv brukstilpasset oppvarming.....	21
Oppvarmingssystemet har ikke tilstrekkelig kapasitet i kalde vinterperioder ...	21
Kirkens brukere i kirkerommet er stort sett fornøyd med inneklimeet.....	22
Akseptabel luftfuktighet og bevaring av interiør og bygning.....	23
Kirkens energibruk er mer enn halvert.....	24
Notater.....	26





## Oppsummering etter to års drift

Risør kirkelige fellesråd gjennomførte i 2014 følgende tiltak i Risør kirke:

- ♦ Montering av varevinduer innenfor alle eksisterende vinduer med 1-lags glass
- ♦ Isolering av himling mot kaldt loft over hele kirkerommet
- ♦ Ny vannbåren oppvarming med bergvarmepumpe med varmelagring og el-kjele
- ♦ Installering av lokalt varmestyringssystem

Hensikten med å installere varmestyring var å få en mer *effektiv brukstilpasset oppvarming* av Risør kirke, med lav hviletemperatur og med kortest mulige oppvarmingsperioder. Kirken som er oppført i 1647 er fredet og best mulig bevaring av bygg og interiører, i tillegg til reduksjon i det årlige energiforbruket har vært viktige anliggender i prosjektet.

### Oppnådde resultater og erfaringer

KA ga firmaet Miljø og RessursDrift oppdraget om å vurdere hvordan de utførte tiltakene har påvirket kirkens termiske inneklima, energibruk og andre viktige forhold ved normal drift. Det er gjennomført kontinuerlige målinger av kirkens oppvarming og inneklima gjennom vintrene 2016 og 2017. Videre er det utført termografering for nærmere kontroll av de bygningsmessige tiltak og de enkelte varmekilders varmepåvirkning på interiør og besøkende. Det ble også gjennomført en enkel spørreundersøkelse blant kirkens brukere under gudstjenester. I tillegg er kirkens energibruk før og etter gjennomføring av forbedringer registrert. Følgende resultater og erfaringer er dokumentert:

- ♦ Bygningsmessige tiltak er fagmessig godt utført både funksjonelt og estetisk
- ♦ Det er påvist luftlekkasjer mellom eksisterende karm og vegg rundt noen av vinduene
- ♦ Ny vannbåren oppvarming og varmestyring oppnår *effektiv brukstilpasset drift*
- ♦ Riktig gjennomført *brukstilpasset oppvarming* med lav hviletemperatur hever luftfuktigheten og bidrar til akseptabelt bevaringsmiljø for interiør og bygning
- ♦ Rask oppvarming til ønsket brukstemperatur (19-20°C) oppnås i kirkens hovedskip. For kor og alterområde er ikke effekten like optimal på vinterstid. Gjennomført spørreundersøkelse viser at brukerne opplever akseptable termiske forhold
- ♦ Utført termografering av stillesittende personer viser at denne type strålevarme bidrar til akseptable termiske forhold også i områder med lavere lufttemperatur
- ♦ Kirkens samlede energibruk er redusert med **over 50%**
- ♦ Kirkens årlige samlede klimagassutslipp er redusert mellom **18-20 tonn CO<sub>2</sub>**

Effektiv *brukstilpasset drift* krever betydelig økt oppvarmingskapasitet. Bruk av tradisjonelle elektriske oppvarmingsløsninger vil gi store negative økonomiske konsekvenser. Det ville ha ført til endring til en dyr nettariff med avregning etter både energiforbruk og maksimaleffekt. Det vil si at man må betale mer for energien fordi man i perioder bruker mer. I tillegg vil dette kunne føre til at man må øke kapasiteten på nettinntaket til kirken. En slik kapasitetsutvidelse ville ha gitt en energikostnadsøkning på mellom **30.-35.000** kr/år ekskl. mva. sammenlignet med tidligere oppvarmingsløsning og en økning på **70.-80.000** kr/år ekskl. mva. sammenlignet med kostnadene nå etter ombygging. Investeringskostnadene for en elektrisk kapasitetsutvidelse ville utgjøre mellom **50.-100.000** kr. ekskl. mva.

***Forbedringer og tiltak har med dette langt på vei svart til forventningene og bidratt til godt inneklima for interiør og brukere. Energiforbruk er betydelig reduserte og det er oppnådd en miljø- og ressursmessig riktig drift.***

## Bakgrunn og formål

Basert på forprosjekt gjennomført i Risør kirke, Frydendal kirke og Sønedeled kirke i 2013 ble det anbefalt både bygningsmessige forbedringer og omlegging til vannbåren oppvarming for alle tre kirker. Da alle kirkene har vernestatus, ble søknader sendt til både Biskop og Riksantikvar for godkjenning. Etter en del kontakt og felles befarung mellom de involverte ble det gitt godkjennelse. En viktig forutsetning var at tiltakene skulle gi bedre *effektiv brukstilpasset oppvarming* med lave hviletemperaturer sammen med kortest mulige perioder med moderat brukstemperatur. Erfaringsvis ville dette kunne føre til en mer akseptabel bevaring av kirkens verdifulle interiør kombinert med gode termiske forhold for de som oppholder seg i kirken under bruk. Det ble også gitt tydelige føringer på at den vannbårne oppvarmingen skulle installeres og utføres så skånsomt som mulig for å ivareta et visuelt og estetisk akseptabelt uttrykk.

KA har gjennom dette oppfølgings- og evalueringsprosjektet for Risør kirke ønsket å dokumentere resultater fra denne type tiltak og spesielt denne type oppvarming og drift over tid. Det ble under evalueringsprosjektet lagt opp til aktiv oppfølging av *brukstilpasset oppvarming* gjennom målinger av termisk inneklima gjennom to vintersesonger fra 2015 til 2017. Som et supplement ble det gjennomført en enkel spørreundersøkelse i løpet av vinteren og senvinteren i 2017 for nærmere å kartlegge hvordan kirkens brukere opplever de termiske forhold under opphold i kirkerommet. Kirkens samlede energibruk er også innhentet fra regionalt nettselskap før og etter gjennomføring av forbedringer og tiltak.



## 1. Kirkens tidligere tilstand

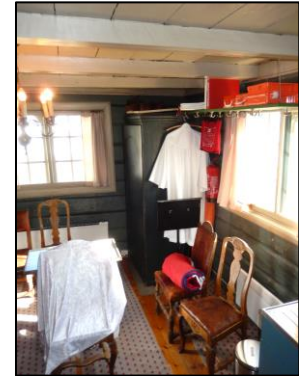
**Risør kirke** ble oppført som korskirke i 1647 og senere restaurert innvendig i 1928 med et samlet oppvarmet bruksareal på **335 m<sup>2</sup>**. Kirkens samlede oppvarmede nettovolum (eksklusiv kaldt loft) utgjør rundt **1 280 m<sup>3</sup>**. Kirken har høy vernestatus (automatisk fredet før 1650). Kirkerommet består av tre gallerier – et i hovedskip og et i hvert sideskip. De øvrige bruksareal består av et oppvarmet sakristi (se foto nedenfor til høyre) og et våpenhus med hovedinngang mot vest som ikke blir oppvarmet.



Kirke med nærliggende bygg/anneks



Kirkerom med kor



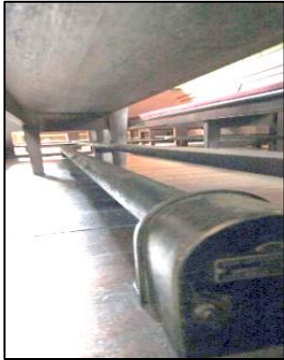
Sakristi med sideinngang

Senere ble det nær kirken oppført en mindre sidebygning, et anneks som besto av toaletter, en større bod og et loft som vist på foto til venstre ovenfor.

**Bygningsmessig** fremstår kirken energimessig på det normale for denne type bygning og alder. Kirkens yttervegger er oppført i laftet tømmer med utvendig panel uten nevneverdig isolasjon. Kirken hadde stort sett vinduer med karm og ramme av tre med 1-lags vanlig glass. Alle ytterdører besto av treverk i uisolert utførelse. Buet himling over kirkerommet mot kaldt loft besto av grovt bjelkelag med en tynn isolasjonsmatte delvis sammensunket. Gulvet i kirkerommet med grovt bjelkelag over relativt lav krypkjeller ble isolert med mineralull for en del år siden.

**Kirkens oppvarming** ble tidligere utført kun direkte elektrisk av eldre rørovner installert under omtrent annenhver benk nede i kirkerommets hoved- og sideskip, mens eldre panelovner langs vegger og rørovner sørget for varme i kirkens kor og alterområde, se foto til venstre på neste side. Disse varmekildene ble styrt av en felles termostat for hele kirkerommet. Sakristiet var også utstyrt med elektrisk konvektor/luftgjennomstrømningsovn på gavlvegg under vindu, mens våpenhuset ikke ble varmet opp.

Basert på mottatte oversikter og tidligere elektriske kursfortegnelse tyder dette på en samlet installert kapasitet til oppvarming i kirken mellom **20-25 kW** lik **60-75 W/m<sup>2</sup>** eller **16-20 W/m<sup>3</sup>**. Denne kapasiteten er ikke høy nok til å gjennomføre *brukstilpasset oppvarming* i kaldere vinterperioder, hvor særlig oppvarming av kirkerommet vil være utfordrende (KA anbefaler mellom **27-35 W/m<sup>3</sup>**). **Resultatet var at det ble gjennomført kontinuerlig oppvarming ved høy brukstemperatur stort sett gjennom hele fyringssesongen.**



Eldre rørovn under kirkebenk



Elektrisk hovedinntak/-fordeling



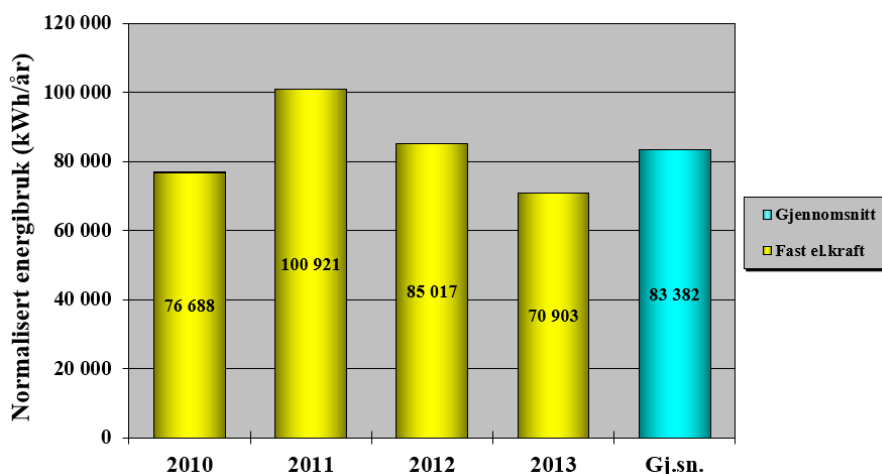
Belysning i kirkerommet med glødelamper og halogen

**Kirkens øvrige elektriske anlegg** er i relativt god teknisk og sikkerhetsmessig stand ut i fra gjennomført kirkekontroll utført i 2009/2010. Kirken hadde et elektrisk hovedinntak og -tilførsel med en kapasitet på 3x160 A, men med hovedsikringer på kun 3x100 A i henhold til den utførte kirkekontroll, se foto i midten ovenfor.

**Belysningen i kirken** besørges hovedsakelig av en kombinasjon av gløde/halogenlamper. Belysningen i kirkerommet blir utført av større lysekroner i kombinasjon med lampetter på vegg og utenpåliggende lysarmaturer under gallerihimling. Belysningen blir hovedsakelig slått av og på manuelt uten noen form for automatisk styring. Kirken har også noe utebelysning som styres automatisk etter lysnivået ute.

**Kirkens bruk og aktivitetsnivå** ble oppgitt å utgjøre 1 til 3 aktiviteter gjennom en normaluke. De fleste aktiviteter består av gudstjenester, begravelser og konserter med øving og forberedelser. Spesielt i ukene før jul er aktivitetsnivået stort og av lengre varighet. Det gjennomføres ingen faste daglige aktiviteter i kirken.

**Kirkens samlede årlige energibruk** varierte en god del fra 2010 til 2013 basert på registreringer fra det regionale nettselskapet Agder Energinett AS. Selv med såkalt graddagskorrigering eller normalisering for å ta hensyn til kalde og varme år, har kirkens energibruk variert en del, som vist i diagrammet nedenfor. Det er kun energibruken til oppvarming som er normalisert og som utgjør rundt 85 % av samlet energibruk.



Samlet normalisert energibruk for Risør kirke for 2010-2013

Samlet normalisert energibruk utgjorde for disse årene i snitt **83.400 kWh/år** lik **249 kWh/m<sup>2</sup>år** eller **65 kWh/m<sup>3</sup>år** som erfaringsvis er relativt høyt sammenlignet med kirker av samme type, alder og bruk, og som gjennomfører effektiv *brukstilpasset oppvarming* med lav hviletemperatur.

## 2. Anbefalte og gjennomførte forbedringer

Risør kirkelige fellesråd ønsket å gjennomføre forbedringer for å oppnå mer energieffektiv og miljøvennlig drift av sine kirkebygg. Lokal faglig ekstern ekspertise ble kontaktet for å gi anbefalinger til forbedringer. Firmaet Stærk AS og firmaet Siv.ing. Øivind Berntsen AS ble engasjert for planlegging, prosjektering og assistanse under gjennomføring for henholdsvis byggeteknisk og VVS.

Målet med utbedringene var å redusere varmetap betydelige og å oppnå mer energieffektiv og miljøvennlig varmesystem. Etter godkjenning av Biskopen og Riksantikvaren og gjennomført anbudskonkurranse med kontraktsinngåelse, ble arbeidet igangsatt høsten 2014. Ferdigstillelse og drift ble iverksatt i begynnelsen av 2015.

### Tiltak 1 - Montering av varevinduer med ett-lags vanlig glass

Kirken hadde to-rams vinduer i malt treverk med ett-lags vanlig glass med anslått u-verdi mellom 4-5 W/m<sup>2</sup>°C som gir betydelige energitap ved høy brukstemperatur i kalde vinterperioder. Det ble derfor montert varevinduer innvendig festet på foring og karm i alle eksisterende vinduer i kirkerommet, som vist nedenfor.



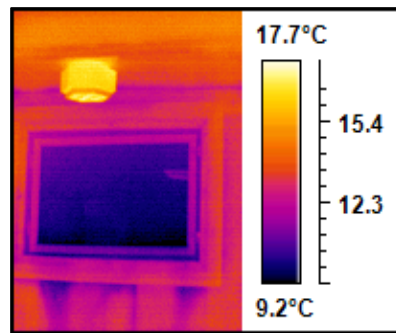
Nye varevinduer i sideskip



Varevindu med 1-lagsglass



Kontroll av mindre varevindu



Termofoto viser noen mindre luftlekkasjer rundt ramme og karm

Det ble under gjennomført befaring på en kald vinterdag utført en mindre kontroll med termografering av noen vinduer, som viste at det var mindre luftlekkasjer mellom varevinduets ramme og opprinnelig foring/ karm og det samme mellom opprinnelig karm/ listverk og yttervegg, se termfoto over.

***Montering av varevinduene fremsto som godt fagmessig utført og estetisk akseptabelt og vil bidra til betydelig redusert energibruk for kirken.***

### Tiltak 2 - Isolering av himling mot kaldt loft over hele kirkerommet



Isolert kaldt loft



Isolering ned mot raft

Himling over kirkerommet var kun isolert med en tynn eldre isolasjonsmatte som var delvis nedsunken. Det førte til betydelige varmetap. Det ble derfor lagt to lag med mineralull-isolasjon, med en tykkelse på 2x10 cm, krysslågt opp på eksisterende isolasjon mot kaldt loft over hele kirkerommet. Dette ble nøyaktig ned mot raftene slik at dette ikke hindrer god lufting av yttertakk og takteking.

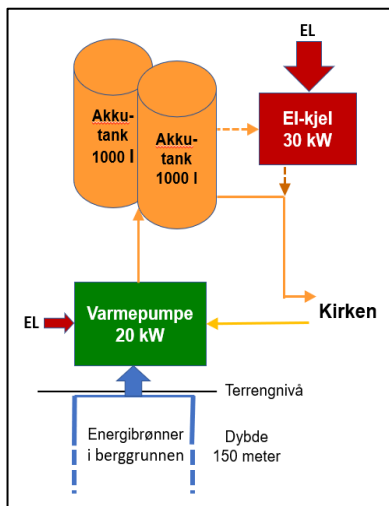
Under isoleringsarbeidet ble det etablert enkle gangbaner slik at isolasjonen ikke blir tråkket på og ned under inspeksjon og utførelse av annet nødvendig arbeid.

***Etterisoleringen av himlingen fremsto som godt fagmessig utført og vil bidra til betydelig redusert energibruk for kirken.***

### Tiltak 3 - Ny vannbåren oppvarming med bergvarmepumpe

Kirken ble tidligere kun oppvarmet ved bruk av elektrisitet. For å oppnå akseptabelt bevaringsmiljø for kirkens verdifulle interiør var det et viktig poeng at det måtte gjennomføres en mer *effektiv brukstilpasset oppvarming* med lav hviletemperatur, når kirken ikke er i bruk. For å få til en rask oppvarming fra lav hviletemperatur til ønsket brukstemperatur var det nødvendig å øke kapasiteten betydelig. Tidligere erfaringer viser at korte oppvarmingsperioder, på **under 5-6 timer** opp til høy brukstemperatur med lav luftfuktighet, har liten negativ påvirkning på bevaring av interiør og bygning. Det ble også lagt vekt på en oppvarmingsløsning som vil være mest mulig miljø- og ressursmessig riktig.

Et system for vannbåren oppvarming basert på bergvarmepumpe i kombinasjon med el-kjele ble valgt og installert. Kirkens sakristi blir fortsatt varmet opp ved elektrisitet. Det vannbårne varmesystemet som er installert i kirken består av en energisentral for produksjon og distribusjon av varmt vann via et rørsystem til varmekilder plassert i kirkerommet. Energisentralen består av en varmepumpe som henter opp «gratisvarme» (geovarme) fra nærliggende berggrunn. Det er opparbeidet to energibrønner med en gjennomsnittlig dybde på 150 meter ned i berggrunnen. Energibrønnene er plassert på baksiden av nærliggende bygning som vist på foto til høyre nedenfor. Denne «gratisvarmen» sammen med tilført elektrisk energi til jevn drift av varmepumpen, blir videre lagret i akkumulatortanker for å bidra til mellomlagring av energi og for hurtig og rimeligere oppvarming til ønsket brukstemperatur. Den installerte el-kjelen sikrer for det første levering av nødvendig varme når behovet i kaldere perioder er større enn det varmepumpen alene kan levere. Den fungerer også som en nødoppvarming ved en eventuell driftsstans av varmepumpa, se prinsippskissen nedenfor.



Systemskisse energisentral+energibrønner



El-kjele, VP og akkumulatortanker



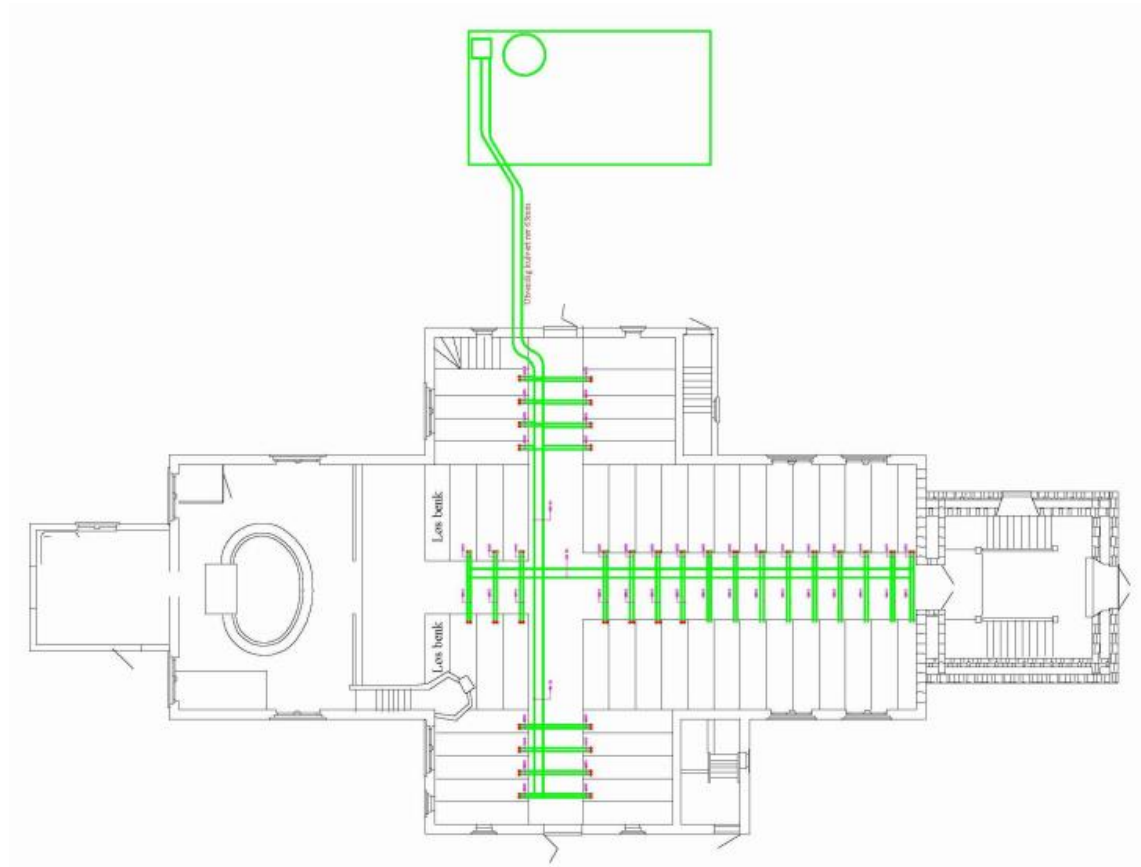
Bygg m/energisentral og energibrønner

I et nærliggende bygg/ annekset ble det tilrettelagt for et teknisk rom for plassering av varmesystemets energisentral, se fotoet ovenfor. Bergvarmepumpen har en samlet kapasitet på **20 kW**. Av 20kW er 20-30% (4-6kW) strømeffekt, mens 70-80% er effekt som hentes ut av energibrønnene. Dette vil erfaringsvis være nok til å opprettholde en hviletemperatur i kirkerommet på rundt 5°C i kaldere vinterperioder, og samtidig være nok til å varme opp raskt og effektivt til moderat og ønsket brukstemperatur på opptil 19°C i mildere vinterperioder.

I kalde perioder kan i tillegg el-kjele på **30 kW** kobles inn for å oppnå rask oppvarming til brukstemperatur. Dermed leverer det nye oppvarmingssystemet en samlet kapasitet på **50 kW**, dvs. **39 W/m<sup>3</sup>**. I tillegg produserer varmepumpen varmt vann som mellomlagres i store akkumulatortanker og bidrar til enda større kapasitet med rask og rimelig oppvarming. Det gjelder særlig i første del av oppvarmingsfasen.

Rørnett mellom energisentralen og kirken er lagt i samme trace som tidligere elektriske kabler. Rørnett består av såkalte isolerte kulvertrør som føres gjennom

tidligere opparbeidet åpning i kirkens grunnmur. Rørnettet er videre ført frem i den lave krypkjelleren under kirkerommet og montert under bjelkelaget med oppstikk til den enkelte radiator, se skisse nedenfor til venstre. Rørnettet består av stålrør med mineralullisolasjon med aluminium folie og spesialmantel for å hindre fiberavrivning og skader fra mus og rotter. Synlige uisolerte rør og radiatorer under kirkebenker i skip og langs vegger i kor er malt i farger som harmonerer godt med interiør og bygningsdeler, se høyre foto under. Enkelte steder hvor rørnettet ikke kan føres under gulv i krypkjeller som eksempelvis nær inntil tykk gråsteinsmur, er dette montert over gulv. Rørene er videre bygget inn og skjult med trepanel og -plank som er malt i samme farge som gulv og annet interiør. Røranlegget er fylt med en vann-glykolblanding for å hindre frost.

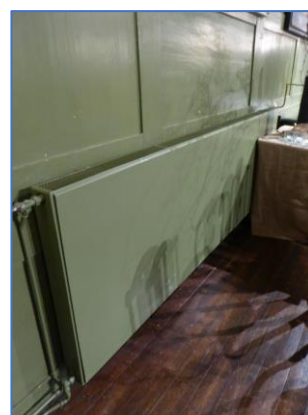


Rør- og kabelnett mellom energisentralen og i kirken





Radiator under kirkebenk



Eldre radiator i kor

***Ny vannbåren oppvarming basert på bergvarmepumpe med nødvendig utstyr og komponenter i energisentral, rørnett og varmekilder er faglig installert og meget godt utført med hensyn til funksjon og estetisk utforming.***

#### **Tiltak 4 - Varmestyringsystem**

Et enkelt lokalt varmestyringssystem ble i første omgang installert og satt i drift for å kunne gjennomføre *brukstilpasset oppvarming*. Ønsket oppvarming og temperaturnivå bestilles av varmestyringssystemets sentralenhet med betjeningspanel plassert i egen tavle i energisentralen, se foto nedenfor til venstre. Dette kan imidlertid overstyres av kirkens brukere ved hjelp av et korttidsur eller såkalt «timer» plassert inne i kirken ved eventuelle behov for oppvarming på kort varsel. I den senere tid er systemet utvidet med mulighet for mer brukervennlig varmestyring via internett med aktiv kontroll og oppfølging av kirkens inneklima og etter hvert kirkens samlede energibruk.



Betjeningspanel varmestyring



Tempgivere varmekrets kirke



Temperaturgiver i kirkeskip



Energimåler varme til kirken

Nytt varmestyringssystem er utstyrt med en rekke følere/givere for temperatur på sirkulert varmtvann for å sikre levering av riktige varmemengder til rett tid, se foto ovenfor. Den vannbårne varmefordelingen og rørnettet med radiatorer er bygget opp som en felles varmesone samlet for hele kirkerommet. Dette systemet gir **ingen** mulighet for individuell styring og regulering av temperaturen i kirkeromets forskjellige brukerområder (eksempelvis i kor, hovedskip og sideskip). I stedet har

man under planlegging og under igangsettelsen forsøkt å oppnå riktig tilført varmemengde for å oppnå så jevnt temperaturnivå i alle deler av kirkerommet som mulig. Det er plassert følgende type **følere/givere** i kirken via signalkabler til varmestyringssystemets sentralenhet.

- Temperatur og fuktighet i kor/ alter og på galleri ved organistplass for å overvåke bevaringsmiljøet rundt verdifullt interiør
- Utetemperatur og innetemperatur i fremre og bakre (under galleri) del av hovedskip. Den fremre benyttes for styring av temperaturnivå i kirkerommet, se foto over
- Luftfuktighet på kaldt loft og i krypkjeller

***Varmestyringssystemet bidrar til relativt enkel gjennomføring av ønsket brukstilpasset oppvarming som er en viktig forutsetning for å oppnå energieffektiv og inneklimaliktig drift fremover.***

### **Tiltak 5 - Oppdeling i to abonnement og målere**

Sammen med den vannbårne oppvarmingen ble det samtidig foretatt et annet og nytt strategisk grep. Kirkens elektriske abonnement og hovedmåler ble delt opp i to abonnement og målere. En måler for lys og annet el-utstyr og en måler for den vannbårne oppvarmingen. Videre ble det installert og satt i drift en intern termisk energimåler for tilført vannbåren varme, se foto til høyre over.

***Oppdelingen i to abonnement og en ekstra termisk energimåler tilkopleet varmestyringssystemet vil gi muligheten for god kontroll og oppfølging av kirkens vannbårne oppvarming og varmepumpesystemets funksjon og drift.***

### 3. Kostnader og støtte

Under forprosjektet ble det utarbeidet en kostnadskalkyle for alle anbefalte tiltak. Det ble inndelt i følgende kostnadsposter:

**Bygningsmessige tiltak og tilpasninger** består av montering av varevinduer på kirkens vinduer og etterisolering av himling mot kaldt loft over kirkerommet (tiltak 1 og 2). Videre omfatter denne kostnadsposten alle bygningsmessige arbeider og nødvendige tilpasninger for etablering av teknisk rom for energisentralen. Opparbeidelse av grøfter til rørnett og annet uforutsett arbeid er også inkludert i denne kostnadsposten.

**System for vannbåren oppvarming og varmestyring** omfatter komplett installasjon og i driftsettelse av energisentral med varmepumpe. Dette innbefatter rørsystem for energibrønner, akkumulatortanker og el-kjele sammen med rørnett frem til og under kirken til radiatorer/ konvektorer. Denne kostnadsposten omfatter levering av lakkerte/ malte varmekilder i ønsket farge. Videre tilretteleggelse av automatisk varmestyring for *brukstilpasset drift* og oppfølging av inneklima og energibruk.

**Elektriske og tekniske hjelpearbeider** omfatter frakopling og fjerning av alle gamle elektriske varmekilder, omlegging til to nye elektriske måleranlegg og fremføring av el- og signalkabler til alt utstyr og komponenter til energisentral. Videre er det gjort mindre bygningsarbeider for fremføring av rørnett gjennom grunnmur inn i krypkjeller og over gulv med nødvendig innbygging og maling.

**Planlegging og prosjektering** omfatter kostnader i forbindelse med gjennomføring av forprosjekt, klargjøring av prisinnhentingsunderlag, kontrahering og nødvendig prosjektering før og under gjennomføring.

Planlagt og forventet kostnad	Beløp kr (eks.mva.)
Bygningsmessige tiltak og tilpasninger	470.000
System for vannbåren varme og varmestyring	920.000
Elektriske/tekniske hjelpearbeider	210.000
Planlegging og prosjektering samlet alle fag	120.000
<b>Kostnad for gjennomføring av alle tiltak</b>	<b>1.720.000</b>
Tilskudd fra Enova	137.000
<b>Utgifter etter fratrukk av tilskudd fra Enova</b>	<b>1.583.000</b>

Basert på mottatte opplysninger fra Risør kirkelige fellesråd ble den samlede kostnaden for gjennomføring og igangsettelse av anbefalte tiltak **1.720.000 ekskl. mva.** som var noe lavere eller som ventet. Enova ga tilskudd til gjennomføring av tiltak i alle tre kirker i Risør på til sammen 548.136 kroner. Av dette var cirka 137.000 kroner tilskudd til Risør kirke.

#### **Pris på alternativ ny klassisk helelektrisk oppvarming**

Alternativ ny helelektrisk oppvarmingsløsning med økt kapasitet på hovedtilførsel, ville ha kostet mellom **450.-600.000 kr. ekskl. mva.** Det innebærer at den valgte vannbårende løsningen har kostet ca. 1 mill. kroner mer enn en helelektrisk løsning.

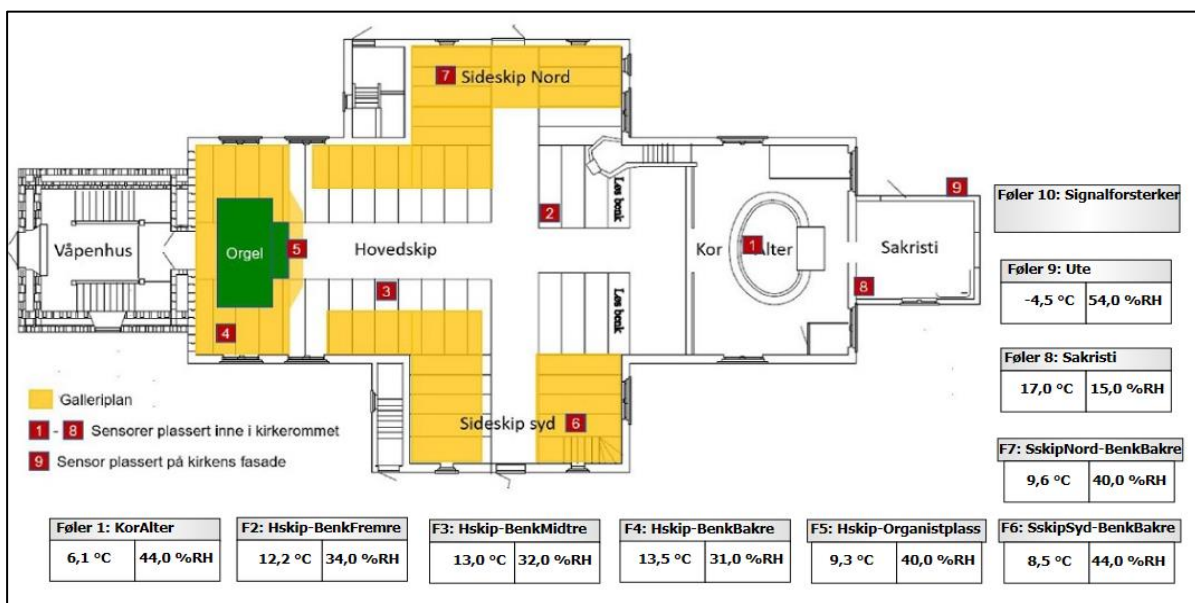
## 4. Oppnådde resultater og erfaringer etter to års drift

Oppfølgingsprosjektet skulle kartlegge og dokumentere om oppnådde resultater er innfridd i henhold til oppsatte mål.

Oppfølgingsprosjektet er aktivt fulgt opp i perioden fra januar 2017 til og med medio mars 2018. Dette tilsvarer oppvarming gjennom nesten to hele vintersesonger i tillegg til en vår- og en høstsesong. I perioden er det gjennomført kontinuerlige målinger av kirkens og primært kirkerommets inneklima. Videre er det utført supplerende målinger med termografering av både bygningsmessige og oppvarmingstekniske forhold. Det ble også gjennomført en enkel spørreundersøkelse for å ytterligere kartlegge hvordan kirkens brukere og besøkende opplever de termiske forhold under opphold i kirkerommet under noen gudstjenester vinteren og senvinter 2017. Det er også samlet inn oversikt over årlig energibruk både før og etter gjennomført tiltak. I tillegg har det vært viktig å vurdere hvordan den vannbårne oppvarmingen er installert både ut i fra en funksjonell og en estetisk synsvinkel.

### Kontinuerlige målinger av kirkens oppvarming og det termiske inneklima

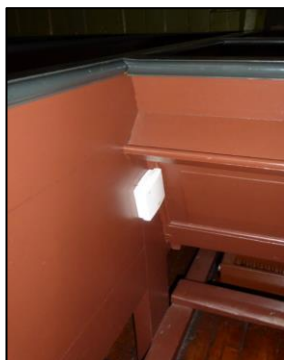
De utførte målinger over tid gir en god indikasjon av hvordan inneklimate varierer. KA stilte utstyr til disposisjon for logging av klima med fjernavlesning via internett. Det ble montert ni dataloggere for både lufttemperatur og luftfuktighet i de viktigste brukerområder, se plassering nedenfor.



Plassering av dataloggere for måling av lufttemperatur og luftfuktighet både inne i og utenfor kirken



Logger bak altertavle



i fremre hovedskip



i bakre hovedskip



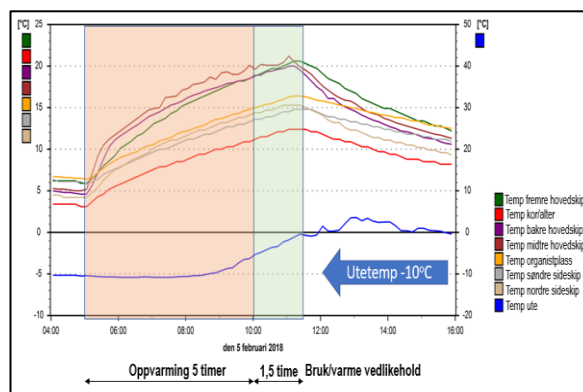
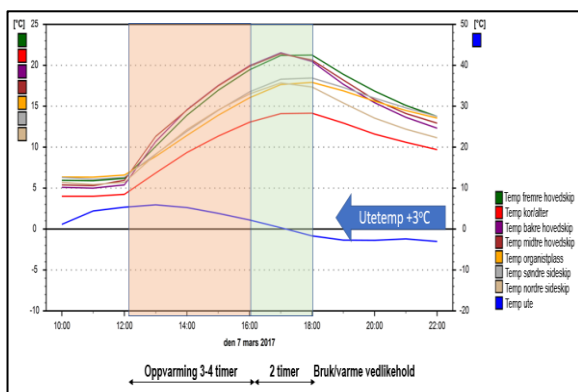
på galleri/orgel

### Oppnådde resultater ved effektiv brukstilpasset oppvarming

Det ble allerede ved oppstart og drift av den vannbårne oppvarmingen lagt opp til gjennomføring av *brukstilpasset drift*. Dette er godt dokumentert gjennom de kontinuerlig målinger av inn klimaet som eksempelvis vist nedenfor.

### Oppvarmingssystemet har ikke tilstrekkelig kapasitet i kalde vinterperioder

I oppfølgingsperioden er det gjennomført *brukstilpasset oppvarming* med lav temperatur i hvileperiodene. Dette ga mange oppvarminger fra hviletemperatur opp til ønsket brukstemperatur under varierende utetemperatur.



Oppvarming fra 5°C til 20°C på 3-4 timer ved +3°C ute

Oppvarming fra 5°C til 20°C på 3-4 timer ved +3°C ute

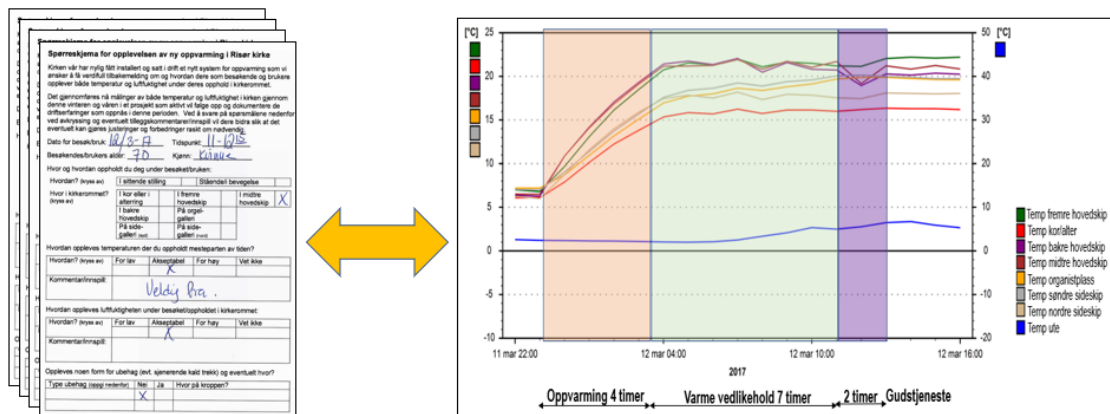
I milde til moderate vinterperioder for dette typiske kystklimaet oppnås det en tilstrekkelig rask oppvarming fra lav hviletemperatur (5°C) opptil en brukstemperatur (20°C) nede i kirkerommet i løpet **3-4 timer**. Derimot oppnås ikke innstilt brukstemperatur i sideskip og på galleri og organistplass (17-18°C). Videre er temperaturen i kirkens kor- og alterområde enda lavere (14-15°C), se over nederste kurve i diagrammet til venstre.

I kaldere vinterperioder oppnås innstilt brukstemperatur (20°C) nede i kirkerommets hovedskip etter oppvarming ved full kapasitet ved oppvarming i **5 timer**. Samtidig ble det oppnådd en temperatur mellom 14-16°C nede i sideskipene og på hovedgalleri nær organistplassen og kun 12-13°C i kirkens kor- og alterområdet, se over nederste kurve i diagrammet til høyre.

***Dette viser at ønsket og innstilt brukstemperatur oppnås raskt nede i hele kirkens hovedskip, mens ønsket temperaturen nede i sideskip og på hovedgalleri nær organistplass ikke oppnås verken i moderate eller kaldere vinterperioder. I kirkens kor- og alterområde er det enda lavere registrert temperaturnivå.***

### **Kirkens brukere i kirkerommet er stort sett fornøyd med innklimaet**

Det ble gjennomført en enkel spørreundersøkelse for å kartlegge hvordan kirkens brukere opplever de termiske forhold i kirkerommet. Dette ble utført ved fire gudstjenester (26/2, 12/3, 26/3 og 9/2) fra slutten av februar og frem mot påske i 2017. Etter gudstjenesten ble besøkende oppfordret til å fylle ut et enkelt spørreskjema om kjønn, alder, hvor de oppholdt seg og hvordan de opplevde de termiske forhold. Det var mellom 10-15 besøkende som fylte ut skjemaet ved hver gudstjeneste med en jevn fordeling mellom begge kjønn med en alder stort sett mellom 60-80 år, se eksempel på utfylt spørreskjema nedenfor.

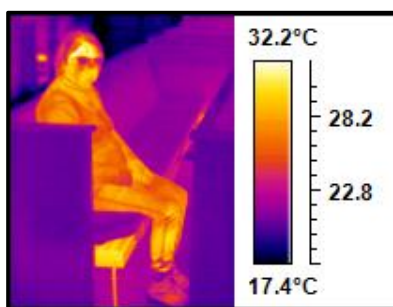


Eksempel på utfylt spørreskjema og utført oppvarming til brukstemperatur for gudstjenesten 12/3-2017

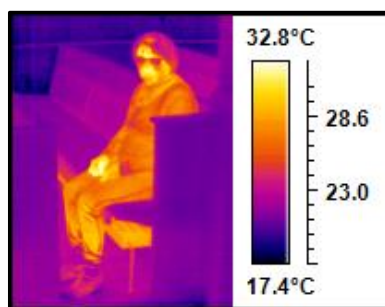
Ved en enkel statistisk bearbeiding av mottatte spørreskjemaer viser resultatet at

- Over 95% av brukerne oppholdt seg i fremre, midtre og bakre hovedskip
- 90-95% av brukerne opplever gode og akseptable termiske forhold
- Alle brukere opplever luftfuktigheten som akseptabel
- En bruker oppga kald trekk fra vindu og en litt for lav temperatur ved gulv

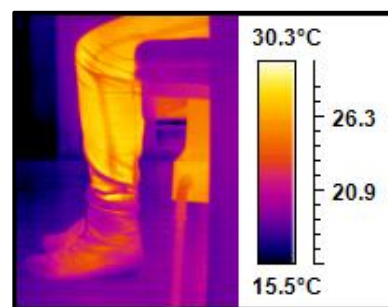
Under gudstjenestene hvor det ble gjennomført spørreundersøkelser lå utetemperaturen rundt 0°C eller noe høyere med en relativt lang oppvarmingstid før bruk, se eksempelvis diagrammet ovenfor til høyre. Dette bidrar til at innnetemperaturen lå rundt 20°C og noe over i kirkerommets hovedskip, der de fleste oppholdt seg. Det er ikke gjennomført spørreundersøkelser i siste fyringssesong, men det er heller ikke mottatt klager fra kirkens brukere på de termiske forhold. For å dokumentere hvordan de termiske forhold oppleves av kirkens brukere ble det også gjennomført en termografering som viser hvordan varmen fra radiatorer påvirker personer som oppholder seg nede i kirkebenkene.



Varmepåvirkning fra radiator på person som sitter i kirkebenk i bakre hovedskip



Varmepåvirkning fra radiator på person som sitter i kirkebenk i nordre sideskip



Varmepåvirkning og bidrag til legg og fot fra radiator under benk i hovedskip

Utført termografering av person sittende i kirkebenk viser at påkoblet radiatoren under vedlikeholdsfasen (gudstjenesten), med nesten oppnådd brukstemperatur, gir et viktig bidrag og tilførsel av varme både til føtter og legger.

**Denne type nærvarme ved lav til moderat strålevarme oppleves som behagelig og akseptabel for kirkens brukere ved stillesittende opphold. Antagelig gjelder dette også for de steder i kirkerommet som oppnår noe lavere temperaturnivå enn innstilt brukstemperatur.**

Det ble ikke dokumentert hvorvidt brukerne opplevde strålevarmen som behagelig eller ubehagelig i kalde vinterperioder.

### Akseptabel luftfuktighet og bevaring av interiør og bygning

Det er gjennomført effektiv brukstilpasset oppvarming med relativt korte oppvarmingsperioder til ønsket brukstemperatur gjennom hele utredningsfasen.

Diagrammet viser at temperaturen i kirkerommet har ligget ned mot 5°C (som innstilt) i lengre hvileperioder og ved lavere utetemperaturer, mens den ikke har kommet helt ned til ønsket lavt nivå i mer moderate og mildere perioder. Bestilt og ønsket brukstemperatur ble også oppnådd i de fleste brukerområder i overgangsperioden vår/ høst, mens dette viste seg mer vanskelig å oppnå i kaldere vinterperioder.

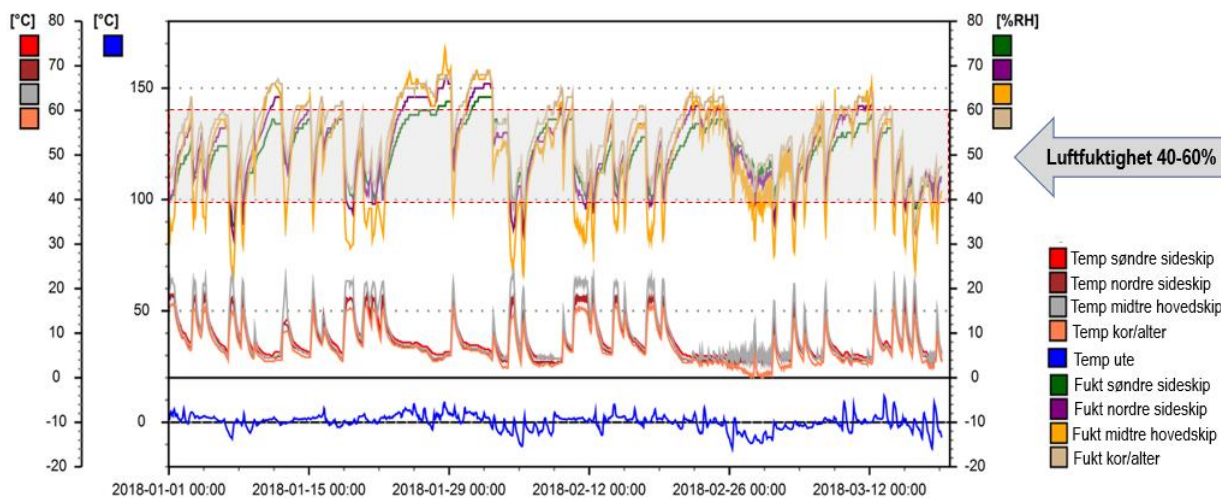


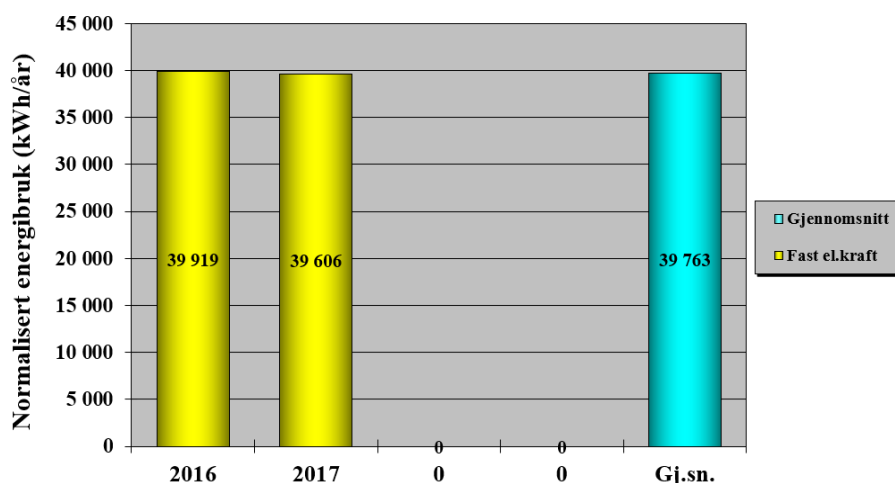
Diagram med både registrert lufttemperatur og -fuktighet i forskjellige områder i kirkerom og ute for januar-mars 2018

Diagrammet over viser resultatet av gjennomført *brukstilpasset oppvarming* med lange perioder hvor den relative luftfuktighet stort sett ligger mellom **40-60% RF** de fleste steder i kirkerommet. Riktignok synker luftfuktigheten ned mot 30% RF og noe lavere ved oppvarming til ønsket brukstemperatur i kortere perioder, og da særlig når det er kaldt ute. Diagrammet viser også noen perioder med høyere luftfuktighet inne i kirkerommet enn 60% RF. Varmestyringssystemet er innstilt slik at kirkens oppvarming skulle heve temperaturen, når dette inntreffer for å bringe luftfuktigheten ned under 60% RF. **Dette ser ikke helt til å funksjonere som ønsket.**

**Utførte målinger viser tydelig at gjennomført brukstilpasset oppvarming stort sett bidrar til høy og riktig luftfuktighet i kirkerommet som gir et akseptabelt bevaringsmiljø i store deler av fyringssesongen.**

### Kirkens energibruk er mer enn halvert

Høsten 2014 ble forbedringer og tiltak gjennomført og satt i normal drift i løpet av første kvartal 2015. Derfor er samlet energibruk lagt til grunn og normalisert for årene 2016 og 2017 etter innføring av normal drift. Energiandelen til oppvarming har vært 65% av kirkens samlede elektriske energibruk.



Samlet normalisert energibruk for Risør kirke etter gjennomførte tiltak i 2016 og 2017

For årene 2016 og 2017 er det oppnådd en betydelig energireduksjon. Ny årlig gjennomsnittlig energibruk er **39.800 kWh/år** lik 118 kWh/m<sup>2</sup> år eller 31 kWh/m<sup>3</sup> år. Dette må karakteriseres som meget lavt sammenlignet med kirker av samme alder og bruksmønster og som gjennomfører *effektiv brukstilpasset oppvarming*. Samlet energibruk før gjennomføring av tiltakene utgjorde hele **83.400 kWh/år**.

**For 2016 og 2017 gir dette en årlig energibesparelse på hele 43.600 kWh som utgjør en reduksjon i kjøpt elektrisk energi på 52%.**

Dette har gitt en betydelig økonomisk årlig gevinst på mellom **40.-45.000 kroner ekskl. mva.** basert på dagens energipriser og dette uten å måtte endre kirkens nettabonnement som fremdeles kun har avregning etter energibruk.

I motsetning til en tradisjonell elektrisk oppvarming ville det resultert i langt større elektrisk hovedtilførsel og -inntak og tvungen omlegging til et mer økonomisk



ugunstig nettabonnement med avregning etter både energibruk og maks uttatt effekt (såkalt maksimaleffekttariff). I den forbindelse ville en økning fra 20-25 kW opp til 50 kW føre til en ekstra årlig nettleiekostnad på rundt **30.-35.000 kr/år ekskl. mva.**

En kapasitetsutvidelse av strøminntaket ville ha gitt en energikostnadsøkning på årlig mellom **70.-80.000 kroner ekskl. mva.** sammenlignet med energikostnadene som Risør kirke har nå etter utbedringene. En nødvendig kapasitetsutvidelse ville også ha ført til installering av ny inntakskabel og nytt hovedinntak i kirken. Dette ville anslagsvis ha ført til en ekstrakostnad mellom **50.-100.000 kr. ekskl. mva.**

Risør kirkes betydelige reduksjon av elektrisk energibruk har gitt en stor miljømessige gevinst gjennom et redusert CO<sub>2</sub>-utslipp på mellom **15-20 tonn/år.**

***Forbedringer og tiltak har med dette langt på vei svart til forventingene og bidratt til godt inneklima for interiør og brukere. Energiforbruk er betydelig reduserte og det er oppnådd en miljø- og ressursmessig riktig drift.***

# Notater

A series of horizontal dotted lines for taking notes, spanning the width of the page.

# Notater

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



For KA er det viktig å følge med på innføringer av nye oppvarmingssystemer og å vurdere deres nytteverdi i kirkebygg. I denne undersøkelsen har KA sett på hvordan vannbåren oppvarming med bergvarmepumpe, el-kjele og akkumuleringstanker er egnet i kirkebygg.



*Postboks 1034 Sentrum, 0104 Oslo  
Besøksadresse: Rådhusgt. 1-3, 0151 Oslo  
Telefon 23 08 14 00  
Epost: [ka@ka.no](mailto:ka@ka.no)  
[www.ka.no](http://www.ka.no)*