

Delrapport 2

Modellering av effektbehov

Alva Andersson, Elin Björklund, Elis Ekeberg, Marcus Linder, Josefin Lindström, Daniella Shima, Teo Trulsson & Alfred Ädel Kronberg

Inledning

För att modellera kyrkornas effektbehov användes en grey-box modell. En grey-box modell etableras genom att kombinera fysikalisk förkunskap med statistiska metoder, där information hämtas från uppmätta data (Bacher 2011).

De fysikaliska sambanden som används tar inspiration från en förenklad energibalansmodell för byggnaders termiska beteende som presenteras av Andersen, Madsen och Hansen (Andersen 2000).

Fysikalisk modell

Skillnaden i mängden lagrad värme i kyrkan är direkt beroende på den tillförda effekten och kyrkans effektförluster enligt ekvation (1).

$$\frac{d(\text{Lagrad värme})}{dt} = \Sigma \text{Tillförd effekt} - \Sigma \text{Avgiven effekt} \quad (1)$$

Genom att uttrycka energibalansen med temperatur och värmekapacitet erhålls sambandet i ekvation (2).

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = \Sigma \phi_{in} - \Sigma \phi_{ut} \quad (2)$$

Där C [J/K °C] är byggnadens värmekapacitet, T [°C] är temperaturen, och ϕ [W] är det effektförflöde som antas påverka byggnadens uppvärmning. Värmeförluster genom byggnadsdelar kan beskrivas enligt ekvation (3).

$$\Sigma \phi_{ut} = U_i (T_{inne} - T_{ute}) \quad (3)$$

Där U [W/°C] är värmeledningsförmågan för en specifik byggnadsdel och T_{inne} [°C], samt T_{ute} [°C] är temperaturerna på vardera sida av byggnadsdelen. Den totala effekten som tillsätts i byggnaden ges av ekvation (4).

$$\Sigma \phi_{in} = P \quad (4)$$

Genom att kombinera ekvationerna (2), (3) och (4) erhålls uttrycket i ekvation (5) för byggnadens energibalans.

$$C \frac{dT}{dt} = P - U (T_{inne} - T_{ute}) \quad (5)$$

Data

Från värmesensorer och energimätare i kyrkorna är data på tillförd effekt, innetemperatur och utetemperatur tillgänglig för varje timme. Med tillgång till innetemperatur varje timme kan den timvisa temperaturförändringen även erhållas. Totalt omfattar den tillgängliga datan ungefär två månader av ovan nämnd timdata.

Linjär regression

Genom att kombinera den uppmätta timdatan med de fysikaliska sambanden identifieras byggnadens värmekapacitet C [J/°C] och värmeöverföringskoefficient U [W/°C] med hjälp av linjär regression enligt härledningen nedan.

Genom en omskrivning av uttrycket i ekvation (5) erhålls det linjära sambandet i ekvation (6).

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P}{C} - \frac{U}{C} (T_{in} - T_{ut}) \quad (6)$$

Ekvation (6) kan skrivas om till en multipel linjär regressionsmodell enligt ekvation (7).

$$y = aP + b(T_{in} - T_{ut}) \quad (7)$$

Regressionen används för att identifiera parametrarna a och b , som därefter används för att beräkna värmekapaciteten och värmeöverföringskoefficienten enligt ekvation (8) och (9).

$$C = \frac{1}{a} \quad (8)$$

$$U = -b * C \quad (9)$$

Resultat

Genom omskrivning av energibalansen i ekvation (5) och användningen av de beräknade parametrarna C och U kan effektbehovet uttryckas enligt ekvation (10).

$$P = C \frac{dT}{dt} + U (T_{inne} - T_{ute}) \quad (10)$$

Modellen kan användas för att ta fram kyrkornas effektbehov vid olika temperaturförändringar och möjliggör en timvis simulering av effekten för olika tidsperioder.

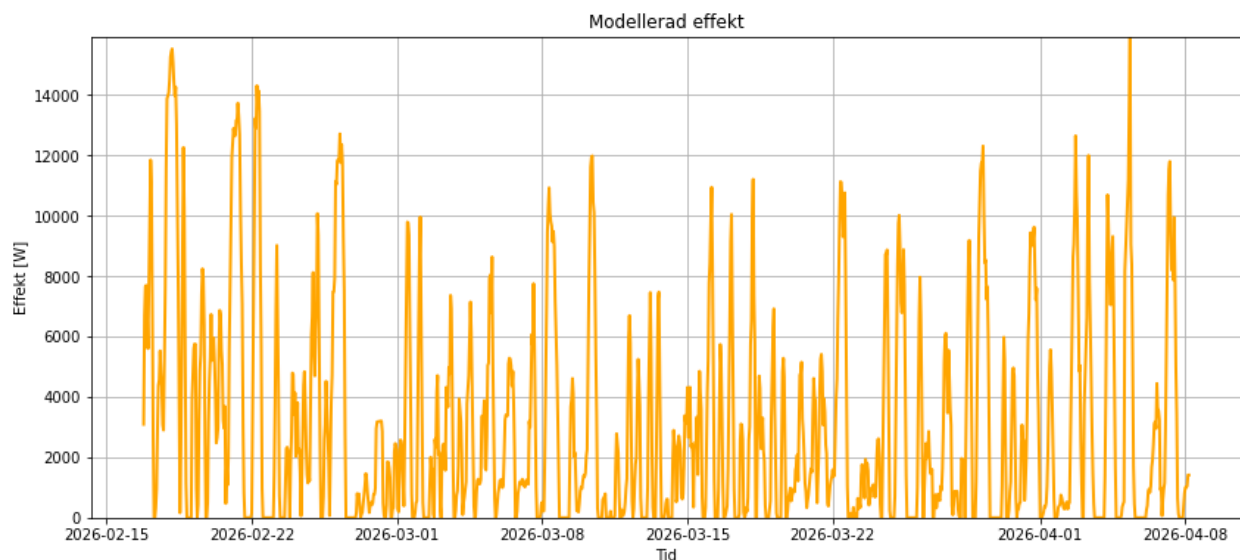
Validering av effektbehovet för kyrkan Norra Hestra

Efter tillämpning av linjär regression på timdata från kyrkan Norra Hestra erhålls värden för C och U enligt Tabell 1.

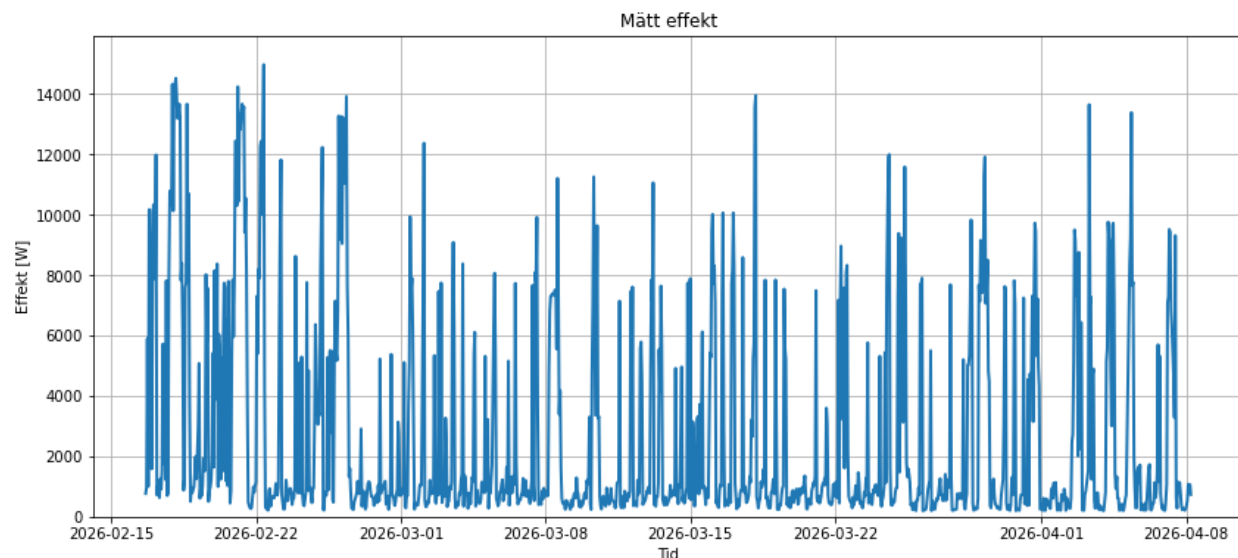
Tabell 1: Norra Hestras värmekapacitet och värmeöverföringskoefficient

C-värde	342
U-värde	39374194

Med värdena från Tabell 1 och två månaders timdata för innetemperatur, utetemperatur och temperaturförändring från Norra Hestra användes ekvation (10) för att simulera byggnadens effektbehov, vilket redovisas i Figur 1. Det verkliga effektuttaget under denna period redovisas i Figur 2.



Figur 1: Modellerat effektbehov Norra Hestra



Figur 2: Uppmätt effektbehov Norra Hestra

Vid jämförelse av Figur 1 och Figur 2 kan man se att den framtagna modellen reproducerar de övergripande variationerna i kyrkans effektbehov. Detta gäller både för perioder med lågt och högt effektuttag. Dock ser man att det sker vissa avvikelser vid snabba effekttoppar som medför att figuren skiljer sig en del. Den största anledningen till detta är till stor sannolikhet modellens simplicitet som därav inte kan fånga allt i verkligheten som påverkar behovet av uppvärmning i kyrkan, exempelvis uppvärmning från solinstrålning eller värme från människor. Men trots sin enkelhet anses modellen kunna ge en rimlig uppskattning av kyrkans effektbehov vid simulation.

Referenser

Andersen, K. Madsen, H. och Hansen, L. (2000) *Modelling the heat dynamics of a building using stochastic differential equations*. Energy and Buildings, vol. 31, pages 13-24.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778898000693> [2026-04-20]

Bacher, P. och Madsen, H. (2011) *Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings*. Energy and Buildings, vol. 43, pages 1511-1522.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811000491> [2026-04-10]