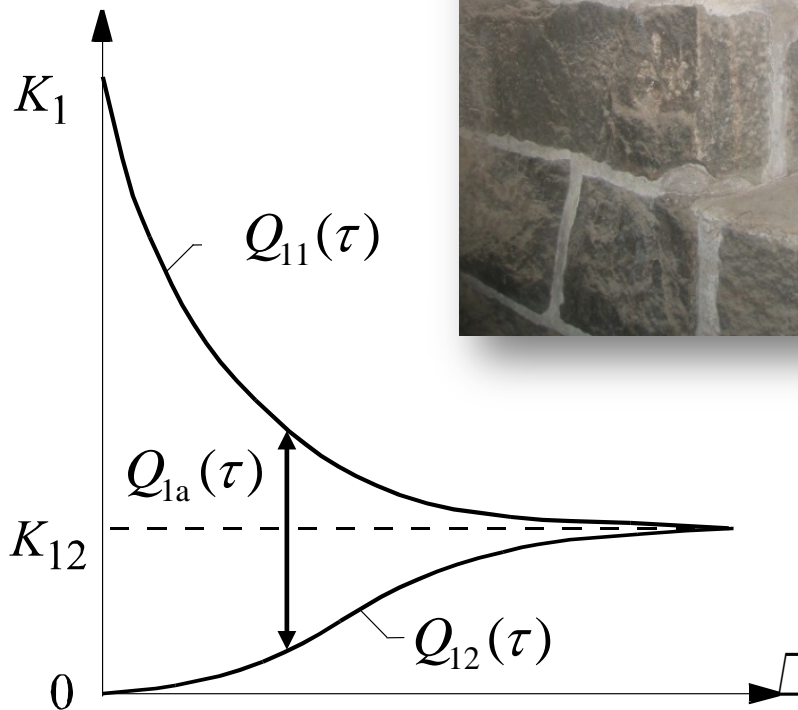


Inverkan av temperaturvariationens utseende för värmelagring och värmeförlust för en byggnad - En analys enligt teorin Dynamiska Termiska Nätverk

Eva-Lotta Kurkinen

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



Inverkan av temperaturvariationens
utseende för värmelagring och
värmeförlust för en byggnad - En analys
enligt teorin Dynamiska Termiska
Nätverk

Eva-Lotta Kurkinen

Abstract

The ability to calculate and simulate dynamic heat loss in buildings is important to find more energy efficient solutions. Normally mean temperatures for an extended period of time is used to calculate the heat loss through a buildings envelope. Most common is the use of a repeated cycle of 24 hours or a whole year. Using hourly values are also common. Selection of the time step in finding the mean temperature can affect calculations of the heat losses in a building.

The theory of Dynamic Thermal Networks is used to analyze the importance of different size of time step in calculating mean temperatures in a heat loss calculation. A small building with heavy thermal mass is used in the analysis. The aim was to find out how important the choice of time step is on the final calculation result. Time steps that have been used are 0.5 hours, 1 hour and 4 hours. A time step of 4 hours means that an average temperature during this period is used in the calculation. Effects of the thermal bridges and the air leakages are also discussed.

It turns out that a time step of 0.5 or 4 hours has very little significance. However, it is possible to see that the time step has some influences on the admittive heat flow, which is the flow into the interior surfaces of building. In the case studied, the difference could be as high as 4% of the heat transmission through the building envelope at certain times depending on the choice of the time step.

Key words: Termisk massa, tidssteg, dynamiska beräkningar, värmeförlust, tung byggnad

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Arbetsrapport 2012:12
ISBN
ISSN 0284-5172
Borås 2012

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	7
1.3 Utförande och begränsningar	7
2 Beräkningsteorin	8
3 Byggnaden och dess responsfunktioner	9
4 Analys över temperaturstegets betydelse	11
4.1 Beräkning av de viktade medeltemperaturerna	11
4.2 Slutsats av tidsstegets betydelse	15
5 Analys över köldbryggors inverkan	16
6 Analys över inverkan från luftläkage	16
7 Slutsatser	17
8 Fortsatt arbete	17
9 Referenser	18

Förord

Arbetet i föreliggande rapport är en liten delstudie till ett större forskningsprojekt, Energibesparing genom utnyttjande av tunga byggnaders termiska beteende baserat på nya material, konstruktioner och värmelagringssystem. Ronny Andersson på CEMENTA tog initiativet till projektet som har finansierats av CERBOF. Följande personer har arbetat aktivt med forskningsprojektet:

Ronny Andersson, CEMENTA AB och Konstruktionsteknik LTH
Victoria Bonath, Byggkonstruktion och -produktion LTU
Mats Emborg, Byggkonstruktion och -produktion LTU
Jonathan Karlsson, Byggnadsmaterial LTH
Eva-Lotta Kurkinen, SP Borås
Ulf Ohlsson, Byggkonstruktion och -produktion LTU
Anders Rönneblad, CEMENTA AB
Lars Wadsö, Byggnadsmaterial LTH
Mats Öberg, NCC Construction AB och Byggnadsmaterial LTH

Borås, November 2012

Eva-Lotta W Kurkinen

Sammanfattning

Att kunna beräkna och simulera dynamiska värmeförluster för byggnader korrekt är viktigt i strävan efter att hitta nya mer energieffektiva lösningar. Värmeförlusten genom en byggnads klimatskal räknas oftast på medeltemperaturer under en längre tidsperiod. Vanligast är att man använder en återkommande cykel på 24 timmar eller på ett helt år. Att man använder timvärden är också vanligt förekommande. Hur stor betydelse valet av medelvärdsbildande temperaturer har på en byggnads värmeförlust är inte alltid helt klart.

Med hjälp av teorin för Dynamiska Termiska Nätverk har betydelsen av olika medelvärdsbildande tidssteg analyserats för en mindre byggnad med tung stomme. Syftet har varit att ta reda på hur stor betydelse valet av tidssteg har på det slutliga beräkningsresultatet. Tidsstegen som har analyserats är 0,5 timmar, 1 timme samt 4 timmar. Ett tidssteg på 4 timmar innebär att ett temperaturmedelvärde under denna period används vid beräkningen. Effekt av köldbryggor och luftläckage diskuterats också.

Det visar sig att ett tidssteg på 0,5 eller 4 timmar inte har någon större betydelse för byggnadens värmeförlust. Det går dock att se att tidssteget har betydelse för det admittiva värmeflödet in i byggnadens innerytor. I det studerade fallet skulle skillnaden kunna bli så stor som 4 % på värmetransmissionen genom klimatskalet under vissa tider beroende på val av tidssteg.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Att minska energiförbrukningen är en viktig fråga för att skapa ett hållbart samhälle. Omkring 40 % av energianvändningen i Sverige är relaterad till byggnader (Energimyndigheten 2009) varav 85 % används under bruksskedet (Adalbert 1995). Energimodeller och andra analysverktyg är därför av stor vikt.

En byggnads energibalans omfattar värmeledning genom tak, väggar, golv samt omgivande mark, kopplad till ventilation, uppvärmningssystem och solstrålning etc. Den termiska processen i de homogena delarna (väggar, tak, golv och mark) beror på tidigare temperaturförhållanden. Där finns en minneseffekt med en karakteristisk tidsskala från ett par timmar för en lätt träregelvägg till många år för marken under husgrunden. Ventilationen och strålningen är mer eller mindre opåverkade av tidigare förhållanden medan uppvärmningssystemet kan ha en karakteristisk tidsskala på någon timme. Ett problem är att hantera dessa olika termiska processer på ett korrekt sätt vid beräkningar.

Temperaturen kan ibland variera mycket snabbt både på insidan och på utsidan av en byggnad. Detta beror på klimatet, solstrålning och olika aktiviteter inomhus. Värmeförlusten genom en byggnads klimatskal räknas oftast på medeltemperaturer under en längre tidsperiod. Vanligast är att man använder en återkommande cykel på 24 timmar eller på ett helt år. Att man använder timvärden är också vanligt förekommande. Hur stor betydelse valet av medelvärdsbildande temperaturer har på en byggnads värmeförlust är inte alltid helt klart.

En relativt ny metodologi kallad Dynamiska Termiska Nätverk är utvecklad av J Claesson (Claesson 2002a och 2002b). Teorin bygger på att sambanden mellan värmeflöden och temperaturer vid ränderna för tidsberoende värmeledningsförlopp i fasta material representeras på samma sätt som i ett vanligt termiskt nätverk. Metodologin som bygger på responsfunktioner¹ har en konceptuell enkelhet och en hög exakthet som gör den lämplig att tillämpa vid analyser av byggnaders termiska beteende och även inverkan av olika medelvärdsbildande temperaturer.

1.2 Syfte

Syftet med den här undersökningen är att med hjälp av teorin Dynamiska Termiska Nätverk ta reda på hur stor betydelse valet av medelvärdsbildandetemperaturer har på värmeförlusten för en byggnad med tung byggnadsstomme. Analysen omfattar även inverkan av köldbryggor. Ett resonemang över hur stor betydelse ett eventuellt luftläckage har förs men analyseras inte i detalj.

Ytterligare syfte är att svara på frågan över hur stort fel kan man göra genom att använda för grova uppskattningar på temperaturvariationerna?

1.3 Utförande och begränsningar

Med hjälp av teorin för Dynamiska Termiska Nätverk har betydelsen av olika tidsstegs längd analyserats för en mindre byggnad med tung stomme. Tidsstegen som har

¹ Responsfunktioner är de värmeflöden vilka initieras av ett temperatursteg från 0 till 1 vid en konstruktions ena sida. Temperaturen vid de övriga ytorna hålls konstant 0.

analyserats är 0,5 timmar, 1 timme samt 4 timmar. Ett tidssteg på 4 timmar innebär att ett temperaturmedelvärde under denna period används vid beräkningen.

Byggnadens responsfunktioner, vilka ligger till grund för hela värmeledningsproblemet har beräknats i tre dimensioner i det numeriska programmet HEAT 3 (Blomberg 1998). För att få med de riktigt långa tidsskalorna genom marken och de snabba för ytan har de numeriska beräkningarna kombinerats med analytiska lösningar (Wentzel 2005). Hänsyn till köldbryggor har tagits genom att dessa har inkluderats i den tredimensionella modellen.

Ingen hel energibalans är beräknad för byggnaden utan det är endast skillnaderna i utseendet för de viktade medeltemperaturerna som används i analyserna. Denna begränsning är gjord för att inte behöva ta hänsyn till effekten av olika regler- och uppvärmningssystem.

2 Beräkningsteorin

Enligt DTN kan den dynamiska värmeförlusten genom en byggnads klimatskal uttryckas enligt ekvation (1).

$$Q_1(t) = K_1 \cdot [T_1(t) - \bar{T}_{1a}(t)] + K_{12} \cdot [\bar{T}_{1t}(t) - \bar{T}_{2t}(t)] \quad (1)$$

$Q_1(t) =$ Dynamisk värmeförlust från sidan 1 (W)

$K_1 = A_1 \cdot \alpha_1,$ Ytan 1:s ytkonduktans dvs. ytans Area, A_1 multiplicerat med värmeöverföringskoefficienten α_1 (W/K)

$K_{12} = 1/R_{12}$ Stationära termiska konduktansen mellan de två ytorna 1 och 2 (W/K)

Konduktansen är inversen av värmemotståndet, R_{12}

$T_1(t) =$ Dynamiska temperaturen vid sida 1 (K)

$\bar{T}_{1a}(t) = \int_0^{\infty} \kappa_{1a}(\tau) \cdot T_1(t-\tau) d\tau$ Viktade medeltemperaturen tillbaka i tiden för det admittiva

värmeflödet vid sidan 1 (K). τ är förfluten tid (s) och κ_{1a} är byggnadens admittiva viktfunction, vilken är derivatan av responsfunktionen dividerat med ytans konduktans. Viktfunctionen är enhetslös (-).

$\bar{T}_{1t}(t) = \int_0^{\infty} \kappa_{12}(\tau) \cdot T_1(t-\tau) d\tau$ Viktade medeltemperaturen tillbaka i tiden för det transmittiva

värmeflödet vid sidan 1 (K). τ är förfluten tid (s) och κ_{12} är byggnadens transmittiva viktfunction, vilken är derivatan av responsfunktionen dividerat med byggnadens konduktans. Viktfunctionen är enhetslös (-).

$\bar{T}_{2t}(t) = \int_0^{\infty} \kappa_{12}(\tau) \cdot T_2(t-\tau) d\tau$ Viktade medeltemperaturen tillbaka i tiden för det transmittiva

värmeflödet vid sidan 2 (K). τ är förfluten tid (s) och κ_{12} är byggnadens transmittiva viktfunction, vilken är derivatan av responsfunktionen dividerat med byggnadens konduktans. Viktfunctionen är enhetslös (-).

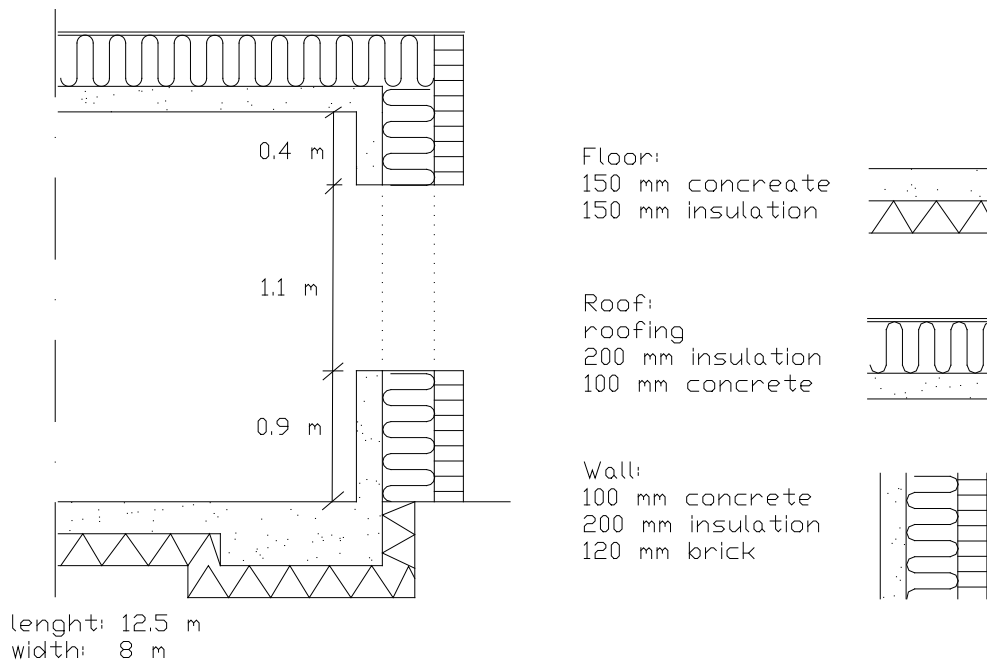
I det här fallet står 1 för inne och 2 för ute.

Temperaturerna $\bar{T}_{1a}(t)$, $\bar{T}_{1t}(t)$ och $\bar{T}_{2t}(t)$ är de temperaturer som byggnaden upplever som riktiga baserat på klimatskalets temperaturminne. Vi kallar dem för viktade medeltemperaturer tillbaka i tiden. Genom att studera hur dessa viktade medeltemperaturer ser ut för olika tidssteg kan vi bilda oss en uppfattning över vilken betydelse valet av tidssteg har på värmeförlusten.

En utförligare beskrivning över metodologin Dynamiska Termiska Nätverk återfinns i (Wentzel 2005). Där beskrivs också en speciell rutin som tillämpas för att kunna lagra och ta hänsyn till temperaturvariationer flera år bakåt i tiden.

3 Byggnaden och dess responsfunktioner

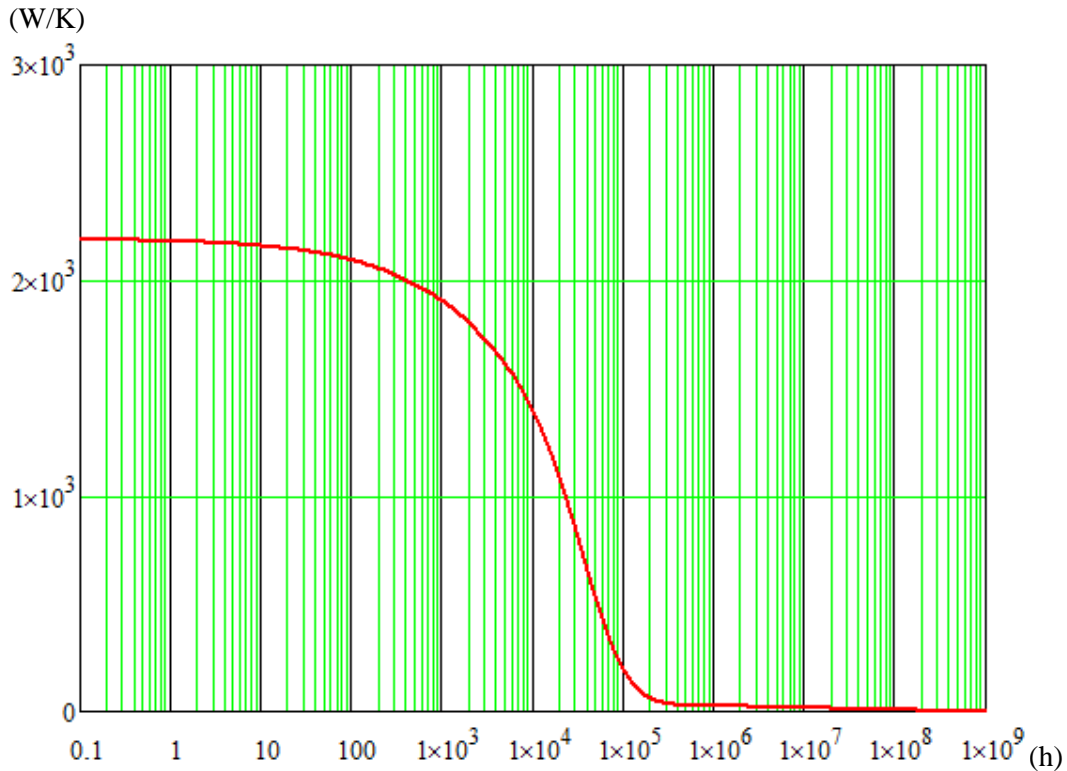
Studien har utförts för en enplansbyggnad med tung stomme, se figur 1. Markens hela värmelagrande effekt är medräknad. Marken är antagen att vara lera, vilket är vanligt i Göteborgsregionen. Byggnaden har en invändig golvyta på $8 \times 12,5 = 100 \text{ m}^2$. Invändig höjd är 2,4 m. Total fönsteryta är $17,6 \text{ m}^2$. Byggnadens totala värmegenomföringskonduktans, K_{12} , är 57 W/K , vilket motsvarar ett U_{medel} -värde på $0,28 \text{ W/(m}^2, \text{K)}$ då fönstren är exkluderade. Materialdata framgår av tabell 1.



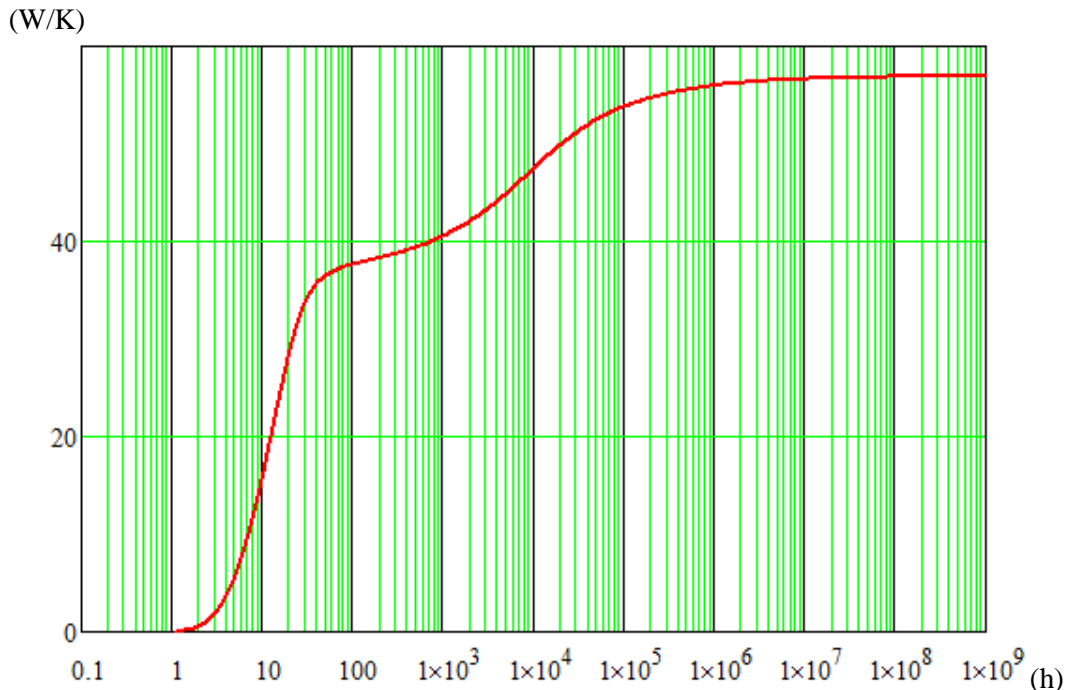
Figur 1 Byggnaden för vilken de viktade medeltemperaturerna tillbaka i tiden är beräknade.

Material	Materialdata	
	λ -värde (W/(m,K))	Värmekapacitet (MJ/(m ³ ,K))
Mark/lera	1,5	$4,39 \times 10^6$
Isolering	0,04	$4,32 \times 10^4$
Betong	1,7	$2,07 \times 10^6$
Tegel	0,6	$1,20 \times 10^6$

Byggnadens admittiva och transmittiva responsfunktion är beräknad med en kombination av numerisk beräkning i HEAT 3 och analytiska lösningar (Wentzel 2005). En analytisk lösning är använd för att få en större exakthet i det snabba värmeflödet in i ytan. En annan lösning används för att få med den extremt långa tidsskalen för värmeflödet genom marken. De admittiva respektive transmittiva responsflödet visas i figur 2 och 3.



Figur 2 Admittiva responsflödet in i byggnadens inrytor då temperaturen stiger från 0 till 1 °C inne i byggnaden medan temperaturen förblir konstant 0°C ute. Det admittiva flödet är skillnaden mellan den värme som absorberas i väggen och den som transmitterar ut på utsidan. När flödet blivit stationärt är det inte längre någon skillnad mellan det som absorberas och det som transmitteras därav sjunker funktionen mot 0 efter lång tid.



Figur 3 Transmittiva responsflödet ut från byggnaden då temperaturen stiger från 0 till 1 °C inne medan temperaturen förblir konstant 0°C ute. Efter lång tid blir flödet stationärt och motsvarar då byggnadens värmeöverföringskonduktans, $K_{12} = 57$ W/K.

Genom att studera de båda responsfunktionerna kan det konstateras att den största flödesförändringen sker de första 50 timmarna. Det admittiva flödet är som högst här samtidigt som lutningen på det transmittiva flödet är brantast. Funktionerna visar också att flödena inte är helt stationära förrän efter tiotals år.

4 Analys över temperaturstegets betydelse

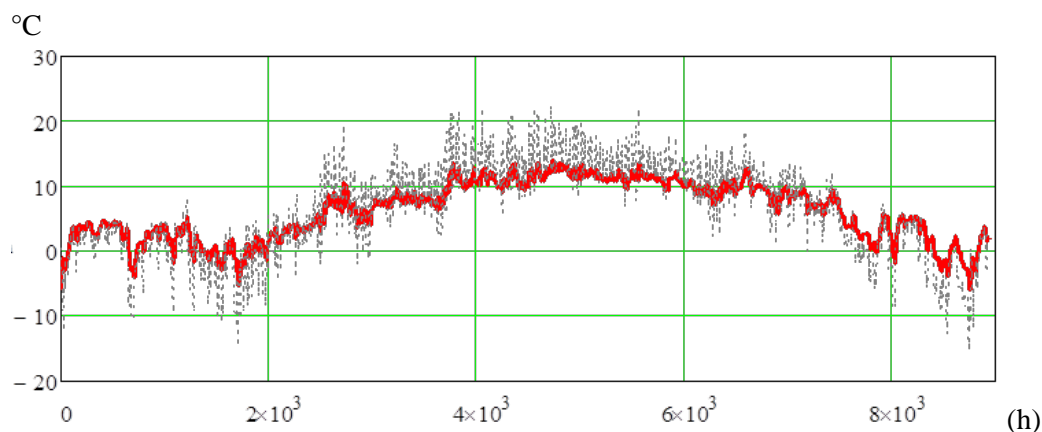
4.1 Beräkning av de viktade medeltemperaturerna

Som tidigare nämnts är temperaturerna $\bar{T}_{1a}(t)$, $\bar{T}_{1t}(t)$ och $\bar{T}_{2t}(t)$ de temperaturer som byggnaden upplever som riktiga baserat på klimatskalets temperaturminne. Genom att studera hur dessa viktade medeltemperaturer ser ut för olika tidssteg kan vi bilda oss en uppfattning över vilken betydelse valet av tidssteg har på värmeförlusten. Ser dessa temperaturer olika ut beroende på vilket tidssteg som används kan vi dra slutsatsen att tidssteget har betydelse.

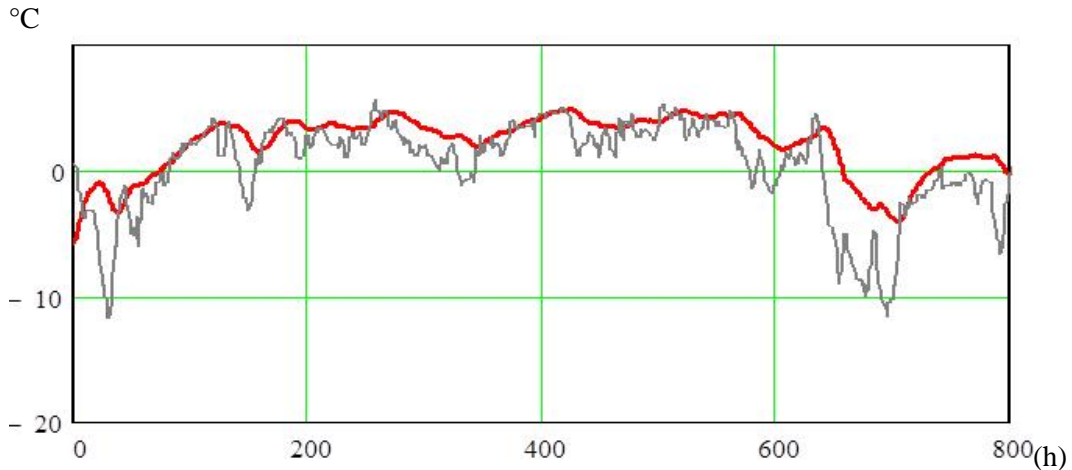
De viktade medeltemperaturerna är beräknade för tidsstegen 0,5 timmar, 1 timme och 4 timmar och jämförs med varandra i grafer, se figur 4-9.

Beräkningarna är utförda för Göteborgsklimat där hänsyn har tagits till solstrålning. En separat fil för innetemperaturens variation är använd. Innetemperaturen är beräknad med samma metod för samma byggnad och med samma klimat. Ett värmesystem höjer temperaturen till 20 °C, ingen kylning sker sommartid.

Nedan visas hur de viktade medeltemperaturerna ser ut för olika tidssteg och jämfört mot den verkliga temperaturvariationen.



Figur 4 Den viktade ute medeltemperaturen under ett år med avseende på den transmittiva funktionen, $\bar{T}_{2t}(t)$, röd heldragen linje. Ute temperaturen är grå och streckad. Tidssteget är 1 timme. Viktningen sker flera år tillbaka i tiden varav årsmedeltemperaturen ute får en viss betydelse.

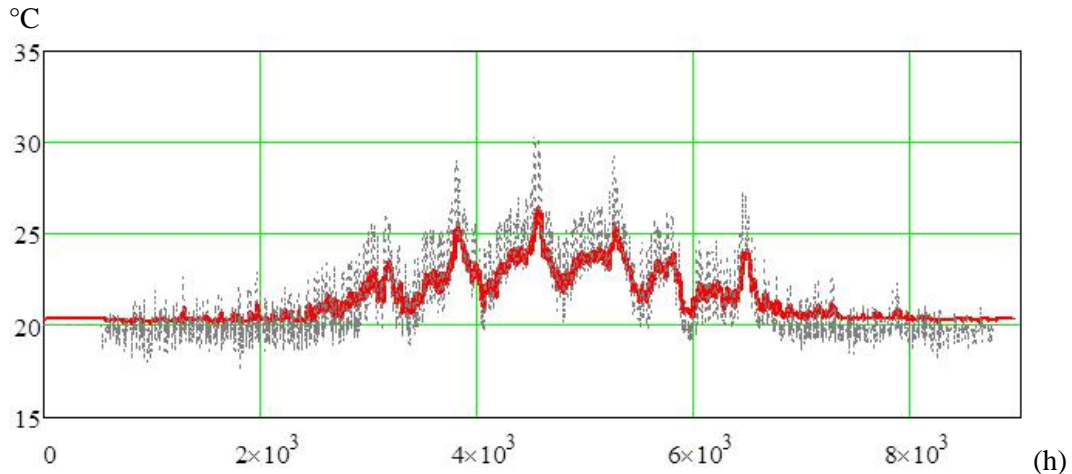


Figur 5 Den viktade ute medeltemperaturen under januari månad med avseende på den transmittiva funktionen, $\bar{T}_{2t}(t)$ (röd heldragen linje). Tidssteget är 1 timme, 0,5 timmar och 4 timmar. Ingen betydelse av tidsstegets längd kan urskiljas, värdena sammanfaller med varandra. Utetemperaturen är den grå tunnare linjen.

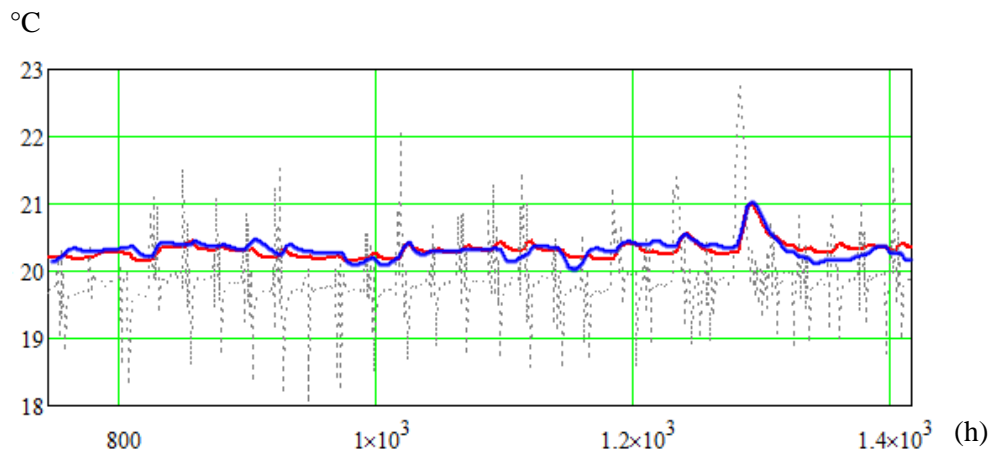
Genom att studera figur 5 kan det konstateras att tidsstegets längd inte har någon betydelse för temperaturen $\bar{T}_{2t}(t)$. Figuren visar hur temperaturen varierar då den är beräknad för de tre olika tidsstegen. Ingen skillnad går att se, linjerna sammanfaller med varandra, vilket kan tyckas vara lite märkligt eftersom faktiskt olika medelvärden används för temperaturen. En förklaring kan vara att värmeflödet genom konstruktionen förändras mycket långsamt beroende på dess termiska massa. Därför får medelvärdet över 1 eller 4 timmar ingen betydelse.

Figur 6 visar hur temperaturen $\bar{T}_{1t}(t)$ (röd heldragen linje) varierar tillsammans med den verkliga innetemperaturvariationen (grå streckad linje) då tidssteget är 1 timme. Figur 7 visar hur temperaturen, $\bar{T}_{1t}(t)$ varierar då tidssteget 0,5, 1 och 4 timmar används. Värdena för tidssteget 0,5 och 1 timme är identiska, det går inte att skilja linjerna åt i diagrammet. Anledningen är att innetemperaturen varierar med timvärden och antas vara linjär där emellan. Det är med andra ord samma temperaturer som används. Används tidssteget 4 timmar i stället (blå linje) går det att urskilja en liten skillnad. Skillnaden är inte är systematisk eller tidsförskjuten.

Båda temperaturerna $\bar{T}_{2t}(t)$ och $\bar{T}_{1t}(t)$ viktas tillbaka i tiden med avseende på den transmittiva viktfunktionen som är derivatan av det transmittiva responsflödet. De borde därför ha samma beteende beträffande betydelsen av tidsstegets längd. I figur 3 syns det att det transmittiva responsflödet är mycket lågt i början till och med 0 den första timmen. Låg lutning på linjen betyder att temperaturvariationer som sker i detta tidsintervall har liten betydelse på den viktade medeltemperaturen. Valet av tidssteget 1 eller 4 timmar borde därför inte ha någon betydelse. Att $\bar{T}_{1t}(t)$ får lite olika värden beroende på tidsstegets längd kan bero på att innetemperaturen fluktuerar ganska mycket och medelvärdesbildningen på fyra timmar kan komma att slå lite olika. Det kan förklara att det inte är någon systematisk skillnad mellan temperaturerna i figur 7.

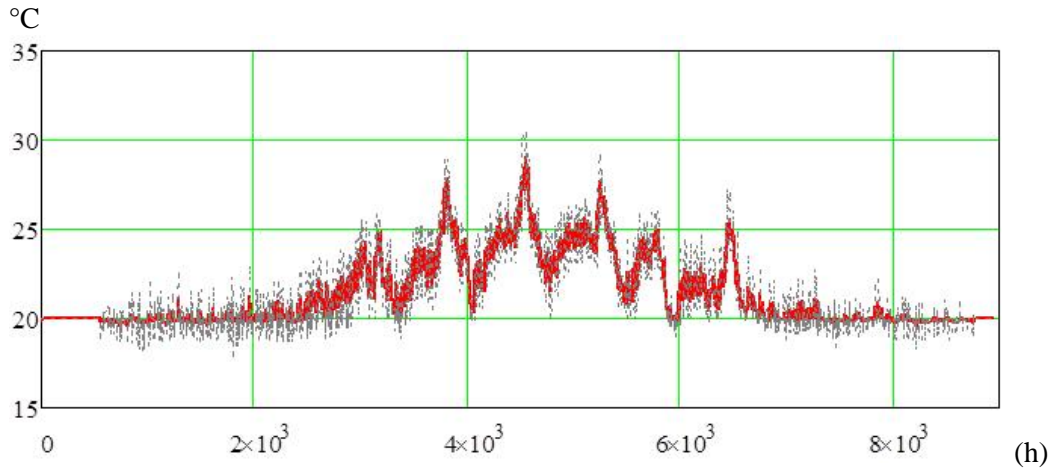


Figur 6 Den viktade inne medeltemperaturen, $\bar{T}_{1t}(t)$, under ett år med avseende på den transmitiva funktionen (röd heldragen linje). Den verkliga innetemperaturvariationen är grå och streckad. Tidssteget är 1 timme. Viktningen sker flera år tillbaka i tiden varav årsmedeltemperaturen ute får en viss betydelse.



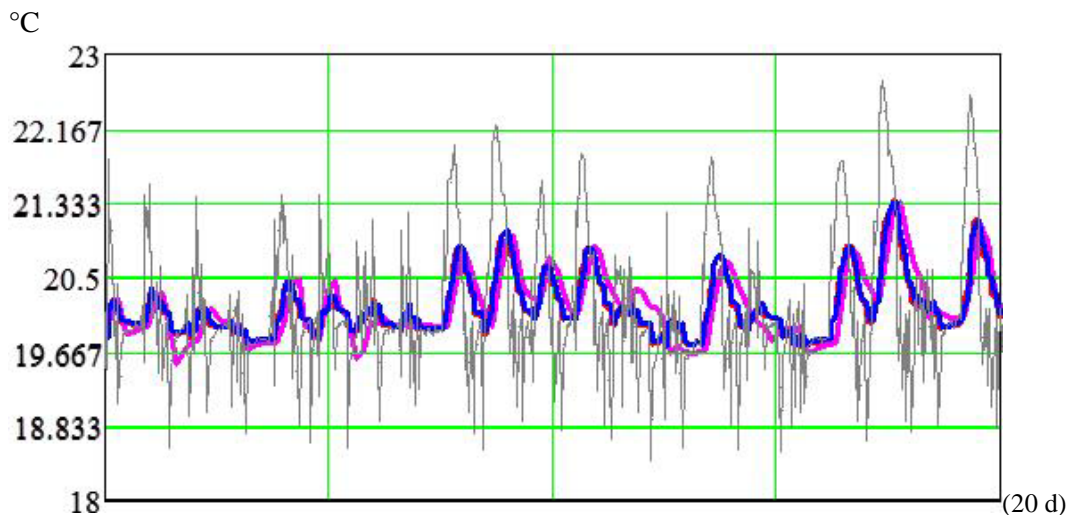
Figur 7 Den viktade inne medeltemperaturen under februari månad med avseende på den transmitiva funktionen, $\bar{T}_{1t}(t)$. Tidssteget är 1 timme (röd heldragen linje), 0,5 timmar (magenta) och 4 timmar (blå heldragen linje). Igen betydelse av tidsstegets längd för 1 timme och 0,5 timmar kan urskiljas, värdena sammanfaller med varandra och det är bara den röda linjen som syns. Utetemperaturen är den grå tunnare linjen.

Figurerna 8 och 9 visar hur $\bar{T}_{1a}(t)$, den viktade inne medeltemperaturen med avseende på den admittiva funktionen varierar över tiden. Eftersom denna temperaturen viktas mot det betydligt snabbare admittiva viktfunctionen så följer den också den verkliga temperaturvariationen bättre. Vi kan inte se att årsmedeltemperaturen har någon betydelse.



Figur 8 Den viktade inne medeltemperaturen under ett år med avseende på den admittiva funktionen (röd heldragen linje). Den grå streckade linjen är verklig innetemperatur variation. Tidssteget är 1 timme. Viktningen sker knappt ett år tillbaka i tiden.

I figur 9 nedan är temperaturen $\bar{T}_{1a}(t)$ ritad som funktion av tiden över 20 vårdagar mellan mars och april då tidsstegen, 0,5 timme, 1 timme och 4 timmar används. Nu är det lättare att se att tidssteget har en viss betydelse. För $\bar{T}_{1a}(t)$ då tidssteget 4 timmar används (magenta-linjen) skiljer sig lite från då tidssteget 1 timme och 0,5 timme används (blå och röd linje). Hör går det att urskilja en liten antydning till tidsförskjutning annars är det ingen större logik i skillnaderna. Att värdena för tidssteget 0,5 och 1 timme är identiska har kommenterats tidigare.



Figur 9 Den viktade inne medeltemperaturen under 20 vårdagar med avseende på den admittiva funktionen. Tidssteget är 1 timme (blå), 0,5 timmar (röd) och 4 timmar (magenta). Verklig innetemperatur är tunn grå linje. Viktningen sker knappt ett år tillbaka i tiden varav en viss skillnad kan märkas då tidssteget 4 timmar används. Att värdena för tidssteget 0,5 och 1 timme är identiska beror troligen på att inne temperaturen varierar med timvärden och antas vara linjära där emellan.

4.2 Slutsats av tidsstegets betydelse

Värmetransmissionen ut genom en byggnads klimatskärm kan beskrivas enligt ekvation (1).

$$Q_1(t) = K_1 \cdot [T_1(t) - \bar{T}_{1a}(t)] + K_{12} \cdot [\bar{T}_{1t}(t) - \bar{T}_{2t}(t)] \quad (1)$$

Den första biten av ekvationen, $K_1 \cdot [T_1(t) - \bar{T}_{1a}(t)]$, kallas den admittiva delen och den andra biten, $K_{12} \cdot [\bar{T}_{1t}(t) - \bar{T}_{2t}(t)]$, kallas den transmittiva delen. Ju sämre byggnaden är isolerad desto större betydelse får den transmittiva delen på värmeflödet, K_{12} ökar då i värde. Värdet på K_1 är oberoende av isoleringsgrad utan beror på ytans värmeöverföringskoefficient.

För den studerade byggnaden är värdena $K_1 = 2\,200$ K/W och $K_{12} = 57$ K/W. Skillnaden mellan $T_1(t)$ och $\bar{T}_{1a}(t)$ varierar från 0 °C till ca 3 °C med ett medel på ca 1 °C medan skillnaden mellan $\bar{T}_{1t}(t)$ och $\bar{T}_{2t}(t)$ varierar från 0 till upp mot 35 °C med ett medel på ca 12 °C. Således kan vi konstatera att den admittiva delen har större betydelse än den transmittiva. Notera att om innetemperaturen varit konstant hade den admittiva delen varit helt betydelselös ($T_1(t) - \bar{T}_{1a}(t) = 0$). Om värdet på $\bar{T}_{1a}(t)$ skiljer sig i snitt 0,5 °C beroende på om tidssteget 1 eller 4 timmar används betyder detta att de kan påverka det totala värmeflödet under ett år med knappt 4 %. Felet skulle med andra ord kunna bli upp till 4% om ett alltför stort tidssteg används (> 4 timmar).

5 Analys över köldbryggors inverkan

Köldbryggor brukar delas in i konstruktiva och geometriska. Konstruktiva köldbryggor är orsakade av extra reglar, pelare eller bjälkar som användas hållfasthetsmässigt för att foga samman olika konstruktionsdelar såsom tak, väggar, fönster och grund. Geometriska köldbryggor är orsakade av hörn och vinklar oberoende om där finns extra reglar eller inte. Det är skillnaden mellan längdmeter ytteryta och motsvarande längdmeter inneryta som ger upphov till extra värmeflödet.

Konstruktiva köldbryggor består vanligen av material som har hög densitet och därmed ofta goda värmelagrande egenskaper. Bortser vi från att konstruktiva köldbryggor höjer byggnadens U_{medel} -värde så bidrar dom till en ökad termisk massa. Geometriska köldbryggor bidrar inte till en ökad termisk massa.

I analysen över betydelsen av tidscykelns längd var köldbryggorna inkluderade i byggnadskonstruktionen dvs hänsyn till både geometriska och konstruktiva köldbryggor var tagen. Skulle köldbryggorna inte varit med skulle byggnaden fått ett lägre U -värde närmare bestämt $U_{\text{medel}} = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Responsfunktionernas utseende skulle troligen inte ändras nämnvärt eftersom innerytan är av betong och dämpar därmed ut lokala temperatur variationer som kan orsakas av köldbryggor. U -värdet är det som är avgörande över hur stora värmeförlusterna ska bli.

Köldbryggorna har ingen eller mycket liten möjlighet att påverka betydelsen av tidsstegets längd vid dynamiska värmeledningsberäkningar. Köldbryggorna påverkar istället U -värdet.

6 Analys över inverkan från luftläkage

Beroende på hur luftläkaget sker så påverkar det byggnaden olika. Antas en jämn inblåsning av uteluft genom hela konstruktionen kommer denna att förvärmas på sin väg in, ytterkonstruktionen kommer att kylas ned samtidigt som luften blir varmare. Detta fenomen kan förenklat kallas dynamisk isolering. Vi får en förvärmning av tilluften samtidigt som konstruktionens U -värde försämras.

Antas istället en eller flera punktformiga luftläkage, påverkas inte temperaturprofilen i konstruktionen i samma utsträckning. Inverkan sker då mycket lokalt i direkt anslutning till läkaget. Detta luftläkage som troligen är det vanligast förekommande framförallt i byggnader med tung stomme, med tanke på att betongen i sig är lufttät, har inget så kallat temperaturminne. Vid en energibalansberäkning adderas det separat till värmetransmissionerna i form av ett extra luftflöde.

Luftläkage är icke önskvärt ur många synpunkter. De orsakar drag, kan medföra fuktproblem och bidrar till en ökad energiförbrukning. Luftläkaget påverkar däremot inte val av tidsstegets längd vid en dynamisk värmeledningsberäkning.

7 Slutsatser

Det är visat att en viss skillnad finns för val av tidssteg framförallt på det admittiva värmeflödet. I det studerade fallet skulle skillnaden kunna bli så stor som 4 % på värmetransmissionen genom klimatskalet under vissa tider. Ett kortare tidssteg innebär en större exakthet. Avvikelsen med ett tidssteg på 4 timmar sker både uppåt och nedåt under ett år det vill säga värdet är både högre och lägre än motsvarande värden räknat med ett tidssteg på 1 timme. Detta medför att under ett år blir skillnaden betydligt mindre än 4%.

Konstruktiva köldbryggor inverkar på beräkningen i form av ökad termisk massa, vilket är gynnsamt ur ett värmelagringsperspektiv men påverkar U -värdet negativt. Färre köldbryggor skulle kunna ge lite snabbare responsfunktioner. Snabbare responsfunktioner innebär att snabba temperaturvariationer har större betydelse. Har snabba temperaturvariationer stor betydelse bör tidssteget vara litet. För den studerade byggnaden som har en inneryta av betong är påverkan av köldbryggor mycket liten.

Sker luftläckage punktvis kopplat till genomföringar har detta ingen betydelse för byggnadens termiska beteende eller valet av tidssteg vid en värmeledningsberäkning. Luftläckaget behandlas då som ett extra luftflöde som inte har något termiskt minne.

8 Fortsatt arbete

Studien har visat att valet av tidssteg kan ha en viss betydelse på det admittiva flödet. Det är detta flöde som har betydelse för byggnadens värmelagrande effekt. Analysen bör därför utökas med följande:

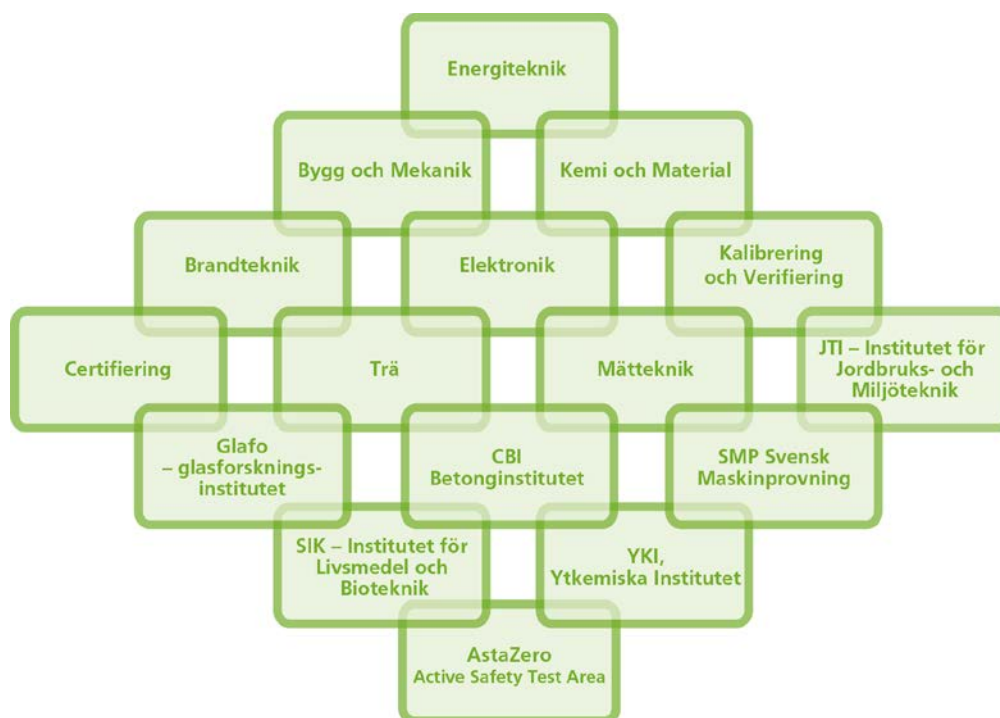
1. Fler tidsstegsvarianter.
2. Större storlek på byggnaden, dvs mindre effekt av marken
3. Andra stom- och fasadmateriell. tex en lätt konstruktion
4. Olika klimatdata och en stabilare innetemperatur
5. Studera byggnadsdelar var för sig. Betydelsen kan se olika ut för tex taket och grunden.

9 Referenser

- Adelbert K. (1995). Bygga Bruka Riva -Energianvändning i ett småhus ur ett kretsloppsperspektiv. Report TVBH-3027. Department of Building Technology, Building Physics. Lund University of Technology, Sweden.
- Blomberg T. (1998). HEAT 3 A PC-program for heat transfer in three dimensions. Manual with brief theory and examples. Department of Building Technology, Building Physics. Lund University of Technology, Sweden.
- Claesson J. (2002a). Dynamic Thermal Networks. Outlines of a General Theory. Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries Trondheim, Norway, p. 47-54. ISBN 82-91412-02-2
- Claesson J. (2002b). Heat Conduction in Composite Walls. Rapid Solutions Combining Fourier and Laplace Techniques. Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries Trondheim, Norway, p. 119-126. ISBN 82-91412-02-2
- Energimyndigheten (2009), Energistatistik. www.energimyndigheten.se
- Wentzel E-L. (2005). Thermal Modeling of Walls, Foundations and Whole Buildings Using Dynamic thermal Networks. Doktorsavhandling vid Chalmers Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsfysik. ISBN: 91-7291-686-9

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

Energiteknik

SP Arbetsrapport 2012:12

ISBN

ISSN 0284-5172