

Praktisk vägledning och enkel förklaringsmodell

Byggnadsutformning och värmekapacitet

Atskilliga FoU-projekt har under åren genomförts inom området byggnaders värmekapacitet. Resultaten har dock sällan kommit till praktisk användning. Detta beror bland annat på frågans komplexitet och teoretiska svårighetsgrad samt beräkningsnoggrannhet relativt de stora variationer som inverkan faktorer och delposter normalt företer.

Detta projekt, som finansierats av SBUF och genomförts i samarbete med Peab, har tagit fasta på nämnda förhållanden. Med inriktning på praktisk användning och helhetssyn för byggnaden som energisystem skisseras en enkel förklaringsmodell för analys av värmekapacitetens betydelse. Projektet innefattar en begränsad litteraturstudie, förhållandevis av nyare litteratur samt förslag till en praktisk vägledning som i olika situationer ska underlätta för projektörer och marknadsförare i valet mellan lätt och tungt byggeri. Vägledningen baseras på en relativt enkel förklaringsmodell för sambanden energi - effekt - innetemperatur - tid. Exempel på råd ges i form av frågor/svar. Därvid kommenteras olika i litteraturen lämnade uppgifter och tillrättalägg vid behov.

Projektet omfattar bruksskedet och avser periodlängden dygn, som till exempel med hänsyn till klimatvariationer och elnätets belastning är en av de viktigaste perioderna när värmekapaciteten har betydelse. Livscykelfrågor lämnas till en framtida etapp. Värmekapacitetens inverkan konkretiseras och kommenteras för ett antal vanligt förekommande praktiska fall till exempel periodiska temperatursänkningar nattetid eller dagtid.

Byggnader utformas bland annat för god inomhusmiljö samt lågt effekt- och energitagg till låga årskostnader, dvs sum-

man av bygg-, drift- och underhållskostnader. Sedan oljekrisen 1974 har värmeförlusterna från byggnader huvudsakligen minskats genom ökad isolering och förbättrad täthet. Värmekapacitetens betydelse för inneklimatet, effekt- och energianvändningen diskuteras ofta vid ny- och ombyggnad. Tidigare lades större vikt vid stommens värmekapacitet i Boverkets byggregler. Detta görs fortfarande i länder med stenhustradition.

Värmekapacitetsfrågan är komplex. Många olika faktorer inverkar på byggnaders energianvändning. Värmebehovet och den totala energianvändningen för en byggnad varierar kraftigt i tiden och mellan olika byggnader. Värme lagras i byggnadsstommen, värmesystemet och inredningen. Dessa värmemängder kan ha stor betydelse för effektuttaget under kalla perioder och för möjligheten till minskat effektbehov vid periodvisa temperatursänkningar. Åtskilliga undersökningar har genomförts utan att man i praktiken blivit så mycket kunnigare om värmekapacitetens betydelse bland annat beroende på nämnda faktorer samt på grund av att frågan är svår från teoretisk/matematisk synpunkt.

Av olika energisparåtgärder är inverkan av varierande innetemperatur bland de minst studerade, såväl i experimentella som teoretiska undersökningar. Instationära värmeströmningsförlopp betyder nämligen komplicerade och omfattande beräkningar och mätningar. Husets stomkonstruktion, inredning, värme- och reglersystem samt brukarvanor är faktorer som har stor betydelse för hur mycket energi som kan sparas.

Behovet av ökade kunskaper om effekt- och energibesparingar vid periodvisa temperatursänkningar har accentuerats genom;

- nya el- och fjärrvärmesystem,
- ökad andel elvärme,
- ökad användning av värmepumpar,
- utveckling av system för temperaturreglering,
- ökat intresse för luft- och golvvärme-system.

Export av trähus, ofta till länder med djupt rotad stenhustradition, tillsammans med den pågående debatten om lätt eller tungt byggeri, ställer krav på ökade kunskaper om värmekapacitetens betydelse för effekt- och energibehovet i byggnader.

I debatten om värmelagringens betydelse har man hittills baserat sina uttalanden på att en alltför stor del av stommen medverkar i förloppet. Även Boverkets modifierade metod för bestämning av dimensionerande värmeeffektbehov överskattar värmekapacitetens betydelse.

Tunga konstruktioner har större förutsättningar att lagra värme än lätta. Det finns emellertid även möjligheter att förbättra/öka värmekapaciteten hos befintliga traditionella trähus. Valet av ytskikt och beklädnadsmaterial kan starkt påverka värmelagringens möjligheter i såväl lätta som tunga hus. En förutsättning för att man ska kunna utnyttja värmelagring är att materialens och ineluftens temperatur tillåts variera. Om innetemperaturen inte får ändras är byggnadens värmekapacitet ofta utan betydelse. Beräkningar visar att värmekapaciteten i bostäder med konstant innetemperatur i stort sett saknar betydelse för årsenergianvändningen. Värmekapaciteten har dock betydelse för det maximala effektuttaget. För kortperiodiska temperaturvariationer, till exempel under dygn, inverkar värmekapaciteten på såväl effekt- som energitagg.

Sedan oljekrisen 1974 har värmebehovskravet successivt skärpts, vilket medfört minskat behov av inköpt energi samt ändrade förhållanden mellan olika förlust- och tillskottsposter i effekt- och energibalansen. Ju energisnålare huset i sig är utformat desto större andel utgör gratisvärmets av det totala behovet för byggnadsuppvärmning. Gratisvärmets utgör därmed en relativt större del av den totala energianvändningen med ökade svårigheter att ta tillvara detta för byggnadsuppvärmning utan besvärande övertemperaturer.

Frekvensen klagomål på grund av övertemperaturer inne i nya byggnader har kraftigt ökat. Större och rumshöga glasytor har accentuerat övertemperaturproblemen. De allt större svårigheterna med att undvika övertemperaturer i nya byggnader har ökat intresset för att skapa ett jämnare inneklimat och effektivare energianvändning till exempel med hjälp av kylanläggningar och byggnadstekniska åtgärder som olika solavskärmningar och värmelagring i byggnadsstommen.

Sammanfattningsvis är således behovet stort av en praktisk vägledning och enkel förklaringsmodell för att beskriva

Artikelförfattare är professor **Christer Harrysson**, Örebro Universitet.



värmekapacitetens inverkan på inneklimatet, effekt- och energianvändningen samt för att underlätta förståelsen av det fysikaliska förloppet. De kraftigt ändrade relationerna mellan olika förlust- och tillskottsposter i energibalansen liksom användningen av nya konstruktioner och ökad andel golvvärme accentuerar detta behov.

Utkast till praktisk vägledning

Nedan presenteras utkast till praktisk vägledning för val av lätt eller tungt byggeri samt en checklista som underlag för värderingen. Utkastet ska ses som diskussions- och beslutsunderlag för fortsatta FoU-satsningar. Vägledningen är avsedd för projektörer och marknadsförare. Avsikten med vägledningen är att på ett praktiskt och pedagogiskt tilltalande sätt konkretisera värmekapacitetens inverkan på inomtemperatur, effektuttag och energianvändning. I rapporten exemplifieras vägledningen med ett par relevanta frågor/svar.

När är lätt eller tungt byggeri att föredra med hänsyn till effekt, energi och termisk komfort?

Variationerna hos tillskotts- och förlustposterna i byggnaders effekt- och energibalans har vanligtvis endast beaktats genom skillnaderna mellan medelvärdena under vissa tidsperioder, månader. Effekt- och energiuttaget påverkas av värmekapaciteten hos byggnadsstommen, värmesystemet, inredningen och inomhusluften. Dessutom har reglerutrustningens utformning, funktion och användning stor betydelse. Temporärt stora effektuttag kan vålla problem för elverken. Installation av effektregulatorer kan minska dessa problem och ge husägarna möjlighet att skaffa sig en lägre abonnemangskostnad.

Samspelet klimat - byggnad - värmesystem - reglerutrustning - brukare avgör möjligheterna att spara energi. Detta samspel är särskilt betydelsefullt för avsvlnings- och uppvärmningsfasernas längd. Valet av material, konstruktioner och installationer blir allt mer betydelsefullt om de förväntade besparingarna ska kunna uppnås i praktiken och för att man inte ska få för stora avvikelser mellan beräknat och verkligt effektuttag.

Utgångspunkt för att behandla olika

frågor/svar är det i *figur 1* principiellt redovisade fysikaliska förloppet. Bedömning av värmekapacitetens inverkan avser oftast samvariationen mellan temperatur, effekt, energi(-besparing) och tid. För att kvantitativt bestämma olika egenskapers och faktorerens inverkan behövs en sammanställning av olika formeluttryck, *Harrysson* (2004). Speciellt behövs kvantitativa uppgifter om värmekapaciteten hos olika byggnadsdelar, inneluften, möbler/inredning, innerväggar, klimatskärm etc. Mineralulls-, lättbetong- och betongkonstruktioners värmekapacitetsegenskaper har systematiskt studerats och sammanställts av bland annat *Harrysson* (1981, 1988). En del av dessa uppgifter återges dessutom i *Harrysson* (2004).

Hur inomtemperaturen varierar med effekttillförseln eller omvänt jämte inverkan på energibesparing och termisk komfort inne.

Vid denna typ av problem är det nödvändigt att betrakta effekt-tidsdiagrammet, *figur 1*, under en tillräckligt lång period eftersom den värmemängd som uttas från värmelagret måste återföras under uppvärmningsfasen för att på nytt uppnå stationära förhållanden. Om stommens totala värmekapacitet ska kunna utnyttjas krävs en lång period vid sänkning eller höjning av temperaturen. Ju större temperaturvariation som kan accepteras och ju större värmebehovet är, desto snabbare och effektivare kan stommens värmeinnehåll utnyttjas.

De temperaturvariationer som normalt förekommer under ett dygn på grund av varierande klimatförhållanden (temperatur, vind och sol) eller genom periodvisa temperatursänkningar såväl dag- som nattetid är av sådan varaktighet och storlek att endast en del av stommens totala värmekapacitet kan utnyttjas. Ju större värmekapacitet som kan utnyttjas desto längre tid tar det innan stationära förhållanden åter uppnås efter avsvlnings- respektive uppvärmningsfasen, till exempel vid nattsänkning eller tillfälligt avbrott i energitillförseln till värmesystemet. Detta kan vara fördelaktigt eftersom gratisvärmets då hinner bidra till att reducera behovet av tillförd energi via värmesystemet. Nackdelen med en hög värmekapacitet är bland annat att det tar längre tid att nå den högre temperaturnivån och stationära förhållanden.

Av särskild betydelse för energibesparings storlek vid periodvisa temperatursänkningar är hur snabbt och hur låg temperatur som kan uppnås samt hur snabbt den högre temperaturnivån på nytt kan uppnås. Värmekapaciteten möjliggör en förskjutning av värmeuttaget i tiden, vilket kan reducera effektuttaget från värmesystemet beroende på värmekapacitetsegenskaperna, dvs om man valt lätt eller tungt byggeri. Andra viktiga förutsättningar avser gratisvärmets storlek, stomkonstruktion, transmissions- och ventila-



Figur 1: Principiella samband mellan temperatur, effekt och tid vid periodvisa temperatursänkningar, Harrysson (1981, 1985). Konstant utetemperatur har därvid förutsatts. Byggnaden antas ha direktverkande termostatreglerade elradiatorer. Sänkningen är tänkt vara reglerad med ett tidur och kontaktorstyrd rumstermostat.
a (överst): Temperatur - tid. b: Effekt - tid.

tionsförluster, direkta förluster till exempel genom glas och ventilation respektive tidsfördröjda förluster genom opaka (ej genomsynliga) byggnadsdelar. Dessutom inverkar vilka inneklimatkrav som ställs.

Effekt- och energibalanser upprättas för klimatskärmens insida med hänsyn till värmelagring och värmeomgång. Ju energisnålare huset i sig är desto viktigare blir värmekapaciteten för att uppnå ett så jämnt inneklimat och små innetemperaturvariationer som möjligt. Det blir även desto viktigare att värmesystemet kan reglera värmeförlusterna snabbt.

Värmesystemets värmekapacitetsgenskaper till exempel golvvärme kontra radiatorer inverkar. Olika värmesystem medför i sig olika temperaturgradienter och termisk komfort inne. Även valet av ventilationssystem inverkar till exempel frånlufts- kontra frånlufts-/tilluftssystem. Med den senare ventilationstypen kan tilluftstemperaturen höjas.

Checklista

Förhållandena och valet av lätt eller tungt byggeri påverkas bland annat av förutsättningar beträffande:

Byggnadens termiska egenskaper och verksamhet

- byggnadens användning/verksamhet,
- gratisvärmets storlek i relation till förluster respektive övriga tillskottsposter,
- komfortkrav,
- termiska egenskaper hos klimatskärm, inre byggnadsdelar, inredning och möbler samt typ av ventilation. Värme-strömmar som är direktverkande till exempel genom glasytor och ventilation respektive har viss tidsförskjutning till exempel genom opaka (ej genomsynliga) byggnadsdelar.

Innetemperatur

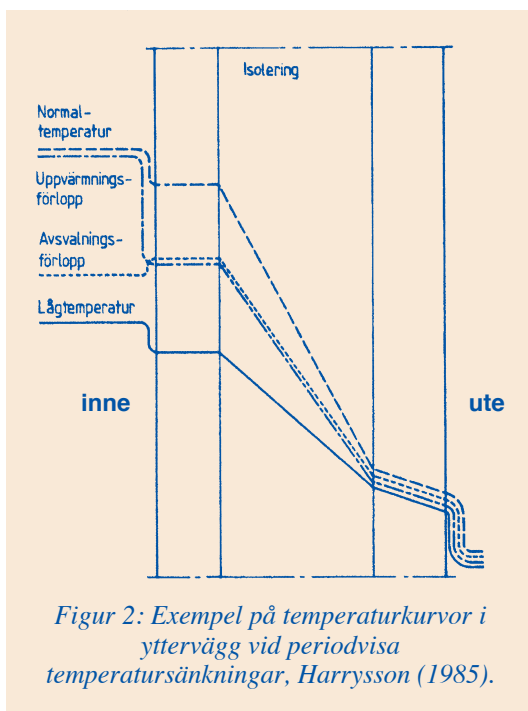
- konstant,
- variabel,
- periodisk sänkning och/eller höjning,
- begränsning uppåt respektive nedåt,
- avsvalnings-/uppvärmningsförlopp,
- temperaturvariationens (sänkning, höjning), periodicitet, längd och storlek.

Effektillförsel

- konstant,
- variabel,
- begränsning uppåt till exempel av värmepump eller totalt effektbortfall (rent avsvalningsförlopp).

Det fysikaliska förloppet vid periodvisa temperatursänkningar åskådliggörs i figurerna 1 och 2. De skisserade sambanden mellan effekt, energi, temperatur och tid har beräknats enligt teorin för endimensionell instationär värmeströmning, Harrysson (1981).

Sammanfattningsvis behöver man för att närmare kunna bedöma/studera olika frågor kring lätt eller tungt byggeri uppgifter om värmekapaciteten (överslags-



Figur 2: Exempel på temperaturkurvor i yttervägg vid periodvisa temperatursänkningar, Harrysson (1985).

mässiga uppgifter) för inneluften, inre byggnadsdelar, inredning och möbler samt för värmeförluster genom transmission och ventilation. Dessutom erfordras uppgifter om respektive tillskotts- och förlustandelar samt om dessa är direktverkande eller dämpade och tidsfördröjda.

Exempel på frågor - svar

Vägledningen exemplifieras här med tre ofta förekommande frågor och svar jämte kommentarer och tillrättslägganden av felaktiga uppgifter i litteraturen:

Energibesparing genom periodiska temperatursänkningar

- Uttalanden kan bero på kunskap, vilka intressen man företräder osv:

Citat "Det lönar sig inte att sänka innetemperaturen. Den energi som sparas vid sänkningen (nattsänkning) går förlorad när man höjer temperaturen och ska återgå till ursprunglig nivå".

Kommentar: Man sparar alltid energi genom att sänka innetemperaturen.

- Besparingsuppgifter anges utan hänsyn till husets värmekapacitet för att framhäva nyttan av olika regelsystem.

- Behöver el tillföras via elpatron till exempel i kombination med frånluftsvärmepump kan det vara mindre lönsamt med periodiska temperatursänkningar, eftersom tillsatselen då är cirka tre gånger dyrare än "värmepumpselen".

De temperatursänkningar som i praktiken är möjliga bestäms i första hand av vilka nivåer och variationer på temperaturer samt lufrörelser som människor kan acceptera. Därtill ska, som framgår av figur 1, läggas byggnadens uppvärmningsbehov, värmekapacitet, klimatvariationer ute och inne samt gratisvärmets storlek. Stora innetemperatursänkningar ökar risken för fukt, mögel och dålig lukt som kan begränsa temperatursänkningens

storlek. Med hänsyn till nämnda risker är kanske +15 °C en praktisk lägsta sänkingsnivå i bostäder.

Byggnadsutformning och termiskt inneklimat

Byggnader utformas bland annat med hänsyn till;

- inneklimatets egenskaper,
- energianvändning,
- effektuttag,
- årskostnader (summan av bygg-, drift- och underhållskostnader).

I första hand måste valet av lösning ske från hälsosynpunkt utifrån människans behov och upplevelse av inneklimatet. Den termiska komforten inne bestäms primärt av människans känslighet för absolutnivå och variationer i luft- och strålningstemperaturer samt lufrörelser. Material och konstruktioner som minimerar temperaturvariationer och lufrörelser är därför att rekommendera. Ju energisnålare huset i sig är desto större relativ betydelse har

värmekapaciteten för att man maximalt ska kunna utnyttja gratisvärmets storlek samtidigt skapa så jämn innetemperatur som möjligt. Hög värmekapacitet minskar dessutom kylbehovet.

Det termiska inneklimatet definieras huvudsakligen av parametrarna;

- lufttemperatur,
- strålningstemperatur,
- lufthastighet,
- relativ luftfuktighet (anm. sekundärparameter i bostäder).

Begrepp som används för att karakterisera det termiska inneklimatet (termisk komfort) är till exempel operativ temperatur (sammanvägt värde av luft- och strålningstemperatur). Ett annat mer relevant begrepp är ekvivalent temperatur, dvs den temperatur man upplever och är den sammanvägda inverkan av luft- och strålningstemperaturer samt lufrörelser. Hur mycket kläder man har på sig respektive aktiviteten beror naturligtvis på vilken temperatur som anses vara trivsam och komfortabel.

Byggandet blir allt mer komplicerat. Nya material och konstruktioner med delvis ökade egenskaper används i ökad utsträckning. Bättre isolerade tak, väggar, fönster och golv tillsammans med större glasytor medför större komfortskillnader mellan olika delar i rummet och huset. Golvvärmsystem med hög värmekapacitet i kombination med mindre lämplig placering av uteluftsdon (väggventiler) och tilluftsdon har accentuerat nämnda problem.

Ofta väljs lösningar som medför låga byggkostnader utan vederbörlig hänsyn till drift- och underhållskostnader. Erfarenheter visar att det ofta är enkla, beprövade och lättskötta lösningar som i realiteten ger bäst inneklimat, har störst energisparpotential och som med högst tillförlighet ger utlovad energibesparing.

Skärpta värmehushållningskrav har medfört nya hus med andra värmetekniska egenskaper än äldre. Relationerna mellan olika förlust- och tillskottsposter i energibalansen är, jämfört med tidigare, kraftigt förändrade. Andelen momentant verkande värmebelastningar har ökat relativt sett med ökad risk för inneklimatproblem och större variationer i innetemperatur som följd. Byggnaders värmetröghet måste beaktas i ökad utsträckning om man vill uppnå god inomhusmiljö och effektiv energianvändning. Ju mer innetemperaturen tillåts variera desto högre blir gratisvärme- och värmekapacitetsutnyttjandet. Människan är känslig för komfortskillnader till exempel med avseende på temperaturer och luftfuktigheter.

Trenden att bygga hus med allt större fönster och glasytor och som går ända ner till golv har lett till ökad frekvens klagomål på komforten i hus med golvvärme jämfört med radiatorsystem, oavsett om huset har frånluftsventilation eller frånlufts-/tillluftsventilation. I förstnämnda fallet förstärks inverkan av kallras från väggventiler (uteluftsdon), vilket de boende ofta kompenserar med höjd innetemperatur. I andra fallet klagas man ibland på kalla golv genom att husen primärt värms med ventilationsluften på grund av att tilluftstemperaturen är för hög samtidigt som värmeförlusten till golvslingorna reglerats ner eller stängts av. Några entreprenadföretag har också förbjudit golvvärme i flerbostadshus.

Resultaten från Nuteks småhustävling visar att radiatorer med termostater ger den jämnaste innetemperaturen samt att värmesystemet ska vara placerat inomhus för att uppnå hög energieffektivitet. Man ifrågasätter också om så extremt tröga värmesystem som golvvärme är lämpliga för energieffektiva småhus med litet effektbehov och i vilka den okontrollerbara andelen gratisvärmekostnader från processer, personer och solinstrålning kan ge ett mycket stort bidrag. Hur stor andel av dessa tillskott som kan tillgodogöras beror i hög grad på hur snabbt värmesystemet kan anpassa sig till det aktuella behovet.

Genom relativt sett större gratisvärmeandelar i allt energisnålare hus kan man med fog påstå att de blivit mer känsliga för människans beteende. Problemen med den stora värmekapaciteten förstärks naturligtvis av trenden mot allt större glasytor.

Sammanfattningsvis bör man i första hand eftersträva bygg- och installationsystem med bland annat följande egenskaper:

- Minimerar komfortskillnader inne.
- Har snabbreglerat värmesystem placerat på klimatskärmens insida.
- Minskar klimatpåverkan inne av variationer i uteklimat och gratisvärme.
- Skikt i byggnadsstommen med hög värmekapacitet placeras så nära inneluften som möjligt.

Beräkningsmetoder och exempel

Stora skillnader i förutsättningar kräver studier av värmekapacitetsfrågor

Med beräkningar baserade på ett deterministiskt synsätt (delposter med exakta numeriska värden) samt avancerade numeriska metoder och datorprogram, som relativt noggrant kan modellera inverkan faktorer, när man trots betydande arbetsinsatser sannolikt inte bättre överensstämelse än plus minus tio procent mellan beräknad och uppmätt energianvändning. Svårigheter föreligger att steg för steg följa beräkningarna och bedöma olika faktorer inverkan på det fysikaliska förloppet. Ett stort antal beräkningsfall måste dessutom genomföras för att resultaten ska innefatta normala variationer hos inverkan faktorer och kombinationer av dessa. Detta är ur tillförlitlighetssynpunkt för resultatens användbarhet mindre lämpligt då skillnaden i till exempel energianvändning mellan två beräkningsfall eller konstruktionsalternativ kan vara av samma storleksordning, som uppges för skillnaden i energianvändning mellan byggnader med olika teknisk lösning till exempel radiatorer och golvvärme respektive mellan olika golvvärme konstruktioner.

En genomgång har gjorts av principiellt olika beräkningsmetoder uppdelat på

stora datorprogram och överslagsmetoder. För ökad förståelse av det fysikaliska problemet är överslagsmetoder lämpligast vid parameterstudier liksom för lösning av delproblem. Metoder som möjliggör analys av beräkningsresultat i mellansteg och har hjälpmedel som diagram ger stora fördelar i form av ökad förståelse etc.

Föreslagen beräkningsmetodik

Modellering enligt TS-metoden och tidsmässiga variationer

Av nämnda skäl och för att underlätta förståelsen vid lösandet av värmekapacitetsproblem föreligger ett stort behov av att utveckla och uttesta en enkel förklaringsmodell/beräkningsmetod. Därvid är det i sammanhanget viktigt att vid behov kunna beakta ingående delposters tids- och slumpmässiga variationer, dämpning, tidsfördröjning, värmekapacitet med mera. En framkomlig väg kan inledningsvis vara att utgå från olika begrepp som används vid stationära förhållanden och vedertagna begrepp och successivt modifieras/utvidgas dessa. Exempel på detta kan vara att använda genomgångsfaktorn J , dynamiska U -värdet som komplement till värmegenomgångskoefficienten (U -värdet) samt lagringsfaktorn L (aktiva värmekapaciteten vid periodiska svängningar) som komplement till den totala värmekapaciteten, *Harrysson* (1988, 2004).

Olika delposter i effekt- och energibalansen behandlas särskilt med hänsyn till värmekapacitetens inverkan. Utifrån grunderna för värmetransport vid stationära förhållanden belyses värmekapacitetens inverkan vid instationära förhållanden.

Med den skisserade överslagsmodellen för effektbalansens förlust- och tillskottsposter kan värmekapacitetens inverkan på förloppet relativt enkelt bedömas. Därvid har bland annat en uppdelning gjorts i olika delposter; direktverkande till exempel genom glasytor respektive tidsfördröjda och dämpade exempelvis genom opaka (ogenomsynliga) ytor. Utifrån dessa samband kan man exempelvis beräkna värmeförlusterna genom transmission eller ventilation liksom behovet av inköpt energi.

Varje delpost i effekt- och energibalansen kan exakt beskrivas genom fourieranalys med en konstant term och ett oändligt antal cosinustermer, figur 3. För dygnssvängningsförlopp kan man som tidigare nämnts med god noggrannhet beskriva delposterna med en konstant term och en cosinusterm med fasförskjutning (lika med tidpunkt då högsta värdet uppträder). Analysen sker i två steg:

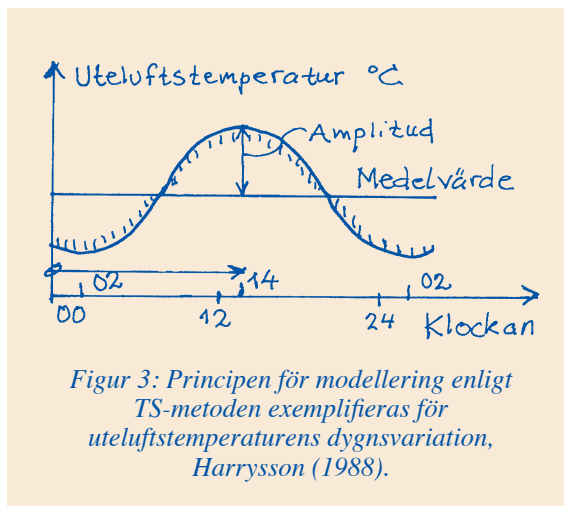
- stationär del (aritmetisk summering av delposterna),
- instationär del (vektoriell summering av delposterna, jämför principen för kraftpolygon).

Beräkningsexempel redovisas i rapporten för ett vanligt småhus med konstruktioner från tre epoker (början 1900-talet, SBN67 och dagens) samt med tre olika stomsystem (mineralull, lättbetong och betong). Därmed kan inverkan kvantifieras av olika relationer mellan värmekapacitet, gratisvärme samt förlust- och tillskottsposter till exempel transmissions- och ventilationsförluster. Uppgifter har sammanställts och redovisas i rapporten, Harrysson (2004) för olika materials och konstruktioners värmelagringsegenskaper. Som framgår av rapporten kan värmeövergångsmotståndet mellan rumsluften och stommen beroende på ytskikt kraftigt påverka möjligheterna att lagra energi i stommen.

Slutsatser

Framtidens byggande måste inriktas på miljöriktiga, enkla, billiga och lättskötta lösningar för att man med hög lönsamhet och tillförlitlighet ska uppnå god inomhusmiljö och effektiv energianvändning. Noggrant arbetsutförande, torrt och rent byggande under kontrollerade förhållanden samt installationer med rena och korta kanaler, speciellt för tilluft, är betydelsefulla faktorer i sammanhanget.

Bruksskedet är dominerande vad gäller energianvändning och miljöbelastning. Ju energisnålare huset i sig är desto mindre inverkar bruksstadiets energianvändning på energianvändningen under hela livs-



Figur 3: Principen för modellering enligt TS-metoden exemplifieras för uteluftstemperaturens dygnsvariation, Harrysson (1988).

längden. Ju större inomtemperaturvariationer som tillåts desto större inverkan har stommens värmekapacitet. Acceptabla temperaturnivåer och intervall måste därför närmare preciseras. Andra inverkan parametrar på valet av lätt eller tung stomme är bland annat gratisvärmets storlek relativt värmeförluster genom transmission och ventilation.

Extremt tröga värmesystem som vissa golvvärmekonstruktioner är mindre lämpliga för energieffektiva byggnader med litet effektbehov och i vilka den okontrollerbara andelen gratisvärmestillskott från processer, personer och solinstrålning relativt sett kan ge ett mycket stort bidrag till byggnadens uppvärmningsbehov. Hur stor del av dessa tillskott som kan tillgodogöras beror i hög grad på värmekapaciteten, reglersystemets noggrannhet och hur snabbt värmesystemet kan anpassa sig till det aktuella behovet. Relativt sett större gratisvärmeandelar i allt energisnålare byggnader medför att de blir mer känsliga för människans beteende. Problemen förstärks naturligtvis av trenden mot allt större fönsterytor.

Om man ska kunna hålla jämn inomtemperatur och dra maximal nytta av gratisvärmets i energieffektiva byggnader måste ha ett följsamt värmesystem. Värmesystemet ska vara placerat inomhus för att ha hög energieffektivitet. Ju energi-

snålare huset i sig är desto mindre värmeförbehåll måste värmesystemet ha. Detta för att värmeförbehåll ska kunna styras så noggrant och snabbt som möjligt. Golvvärme i energisnåla byggnader passar bäst i kombination med tung stomme (lika med hög värmekapacitet). Undersökningar visar att radiatorer med termostater ger den jämnaste inomtemperatur. Golvvärme i byggnader med liten värmekapacitet måste utformas så energieffektiv och komfortabel som möjligt, dvs med så liten värmekapacitet som möjligt samt vara försedd med noggrann rumsreglering. Ju större inomtemperaturvariation som kan accepteras och ju mer gratisvärme som förekommer desto mer intressant är det med tung stomkonstruktion, dvs med hög värmekapacitet.

Rapporten avslutas med sammanfattande slutsatser jämte förslag till framtida satsningar inom området. ■

Rapporten avslutas med sammanfattande slutsatser jämte förslag till framtida satsningar inom området. ■

Artikeln baseras på rapporten

Harrysson, C (2004). *Byggnadsutformning och värmekapacitet*. Förstudie och Litteraturinventering. SBUF och Örebro universitet.

Övriga referenser

Harrysson, C (1981). *Effekt- och energibehov vid periodvisa temperatursänkningar i småhus. Teoretisk beräkning av värmekapacitetens betydelse för vanliga förekommande konstruktioner och värmesystem*. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Arbetsrapport 1981:20, Göteborg.

Harrysson, C (1985). *Energibesparing vid temperatursänkning nattetid – Fältmätningar i småhus med trä- alternativt betongstomme*. TräteknikCentrum, Rapport nr 78, Stockholm.

Harrysson, C (1988). *Småhusets energisättning. Analys med särskild hänsyn till inverkan av delposters variationer*. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Publ 88:2, Göteborg. (Doktorsavhandling).