

Simulering av värmepumpsystem

Martin Forsén
Per Lundqvist
KTH, Inst. För Energiteknik
Avd Tillämpad termodynamik och kylteknik
100 44 Stockholm

Sammanfattning

Trots att värmepumpen idag är att betrakta som ett konventionellt uppvärmningssystem råder det fortfarande delade meningar om hur värmepumpen skall dimensioneras. En av orsakerna till förvirringen kan tillskrivas att det förekommer olika uttryck för att definiera storleken. Ett mycket kärnfullt sätt att beskriva värmepumpens dimensionering är begreppet balanstemperatur. Balanstemperaturen anger den utetemperatur då värmepumpens levererade värmeeffekt precis motsvarar husets värmebehov. Då utemperaturen understiger balanstemperaturen erfordras tillsatsvärme och då utemperaturen överstiger balanstemperaturen krävs att kapaciteten nedregleras. Styrkan i begreppet ligger i att det på samma gång ger en viss information om energitäckningen. Även en lekman inser att en värmepump med en balanstemperatur kring -5°C för södra Sverige ger en relativt god energitäckning. Nackdelen är att det inte ger någon direkt information om vilken nominell effekt som skall väljas. Ett annat sätt att definiera värmepumpens dimensionering är att som i denna artikel ange värmepumpens avgivna värmeeffekt i förhållande till husets dimensionerande värmebehov.

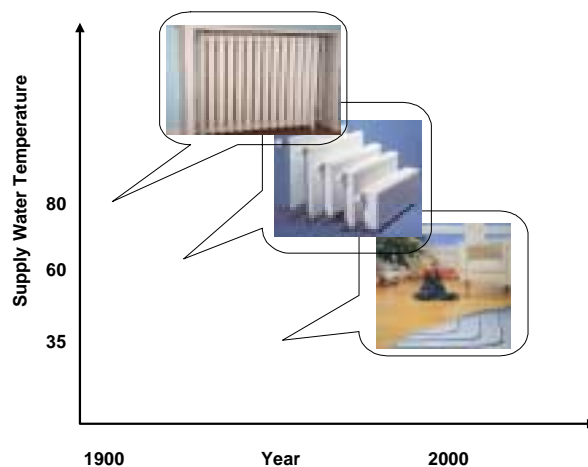
Till skillnad från andra konventionella uppvärmningssystem är värmepumpens effektivitet beroende av dess omgivning. Utomhusklimatet utgör i de allra flesta fall grunden för värmekällans temperaturnivå emedan systemet för värmedistribution utgör värmesänkans temperaturnivå. En korrekt dimensionering av en värmepump innefattar omfattande beräkningar av tekniska och ekonomiska faktorer. I den följande artikeln visas att det är möjligt att beräkna en tekniskt optimal storlek på en värmepump utifrån givna förutsättningar. Det visas också att detta tekniska optimum är relativt okänsligt för små kapacitetsskillnader.

Introduktion

Även om klimatskärmen för våra byggnader radikalt förbättrats under de senaste årtiondena, så utgör kostnaden för uppvärmning fortfarande en stor andel av våra levnadskostnader. I valet av värmesystem måste många alternativ undersökas. En värmepump utgör ofta en möjlighet att spara mycket energi om dimensionering och installation utförs korrekt. Traditionella uppvärmningsformer innebär ofta användande av fossila bränslen eller elektricitet. Värmepumpen utgör ett mer miljövänligt alternativ i jämförelse med dessa och mycket arbete har lagts ner för att påvisa denna fördel (Gilli *et al.*, 1992), (Granryd och Jonsson, 1996). Till skillnad från många andra uppvärmningsformer är värmepumpens effektivitet starkt beroende av de temperaturnivåer som värmedistributionssystemet arbetar inom.

Utvecklingen av vattenburna värmesystem

Den övervägande delen värmedistributionssystem i Sverige är vattenburna radiatorsystem. För att möjliggöra självcirkulation var de tidiga radiatorsystemen dimensionerade för en väldigt hög framledningstemperatur. Framledningstemperaturer kring 80-90°C vid dimensionerande utetemperatur är inte ovanligt för dessa system. När cirkulationspumpar introducerades och radiatorerna blev effektivare fanns det inte längre något egentligt behov av de höga temperaturnivåerna. Gradvis har temperaturerna reducerats och numer anges till och med maximal framledningstemperatur för nya vattenburna värmesystem i byggreglerna (BBR94, 95). Idag ser vi en trend att lågtemperatursystem i form av golvvärme och konvektorer allt vanligare. Dessa system jobbar med temperaturnivåer kring 30°C och erbjuder mycket fördelaktiga förhållanden för en värmepump.

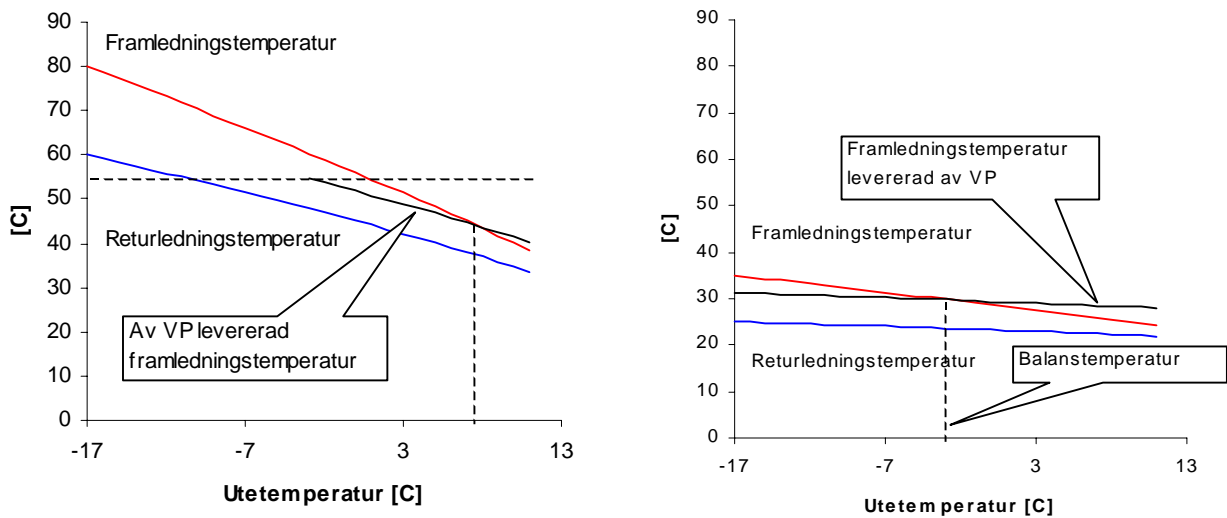


Figur 1 Temperatur trend

Temperaturnivåns inverkan på värmepumpens prestanda

Följande diskussion är tillämplig på en värmepump där förångaren är ansluten till en brinekrets och kondensorn är kopplad till ett vattenburet värmesystem. Värmesystemet antas arbeta med kurvstyrning och tillsatsvärme tillförs samma system för värmedistribution. Det skall nämnas att det vore mer fördelaktigt om man tillförde tillsatsvärmen till ett parallellt system istället (Granryd, 1975). En viktig egenskap för en värmepump är att dess kapacitet är mer eller mindre indirekt proportionell mot temperaturlyftet. Ett annat fenomen orsakat av att det för varje värmepump existerar en maximal trycknivå. Beroende på köldmediet kommer detta att medföra att det finns en maximal kondenseringstemperatur som därmed begränsar den maximala framledningstemperaturen. För moderna värmepumpar ligger denna gräns omkring +55°C.

Ett radiatorsystem karakteriseras av dess fram- och returledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur. När utetemperaturen är högre än denna temperatur minskar den erforderliga framledningstemperaturen och därmed också returledningstemperaturen. Figur 2a,b visar variationen av fram- respektive returledningstemperatur i ett idealt "35/25" och ett "80/60" system.



Figur 2a, b Inverkan av temperaturnivåer

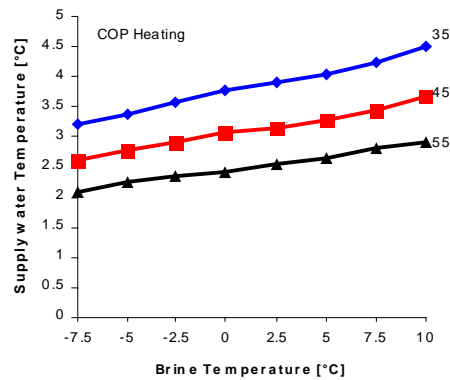
Radiatorvattnets temperaturlyft i kondensorn hänför sig till värmepumpens kapacitet. För ”80/60” systemet som visas i figur 2a är returtemperaturen vid DUT högre än värmepumpens maximala arbetspunkt och värmepumpen kan överhuvudtaget inte startas. Tillsatsvärmen måste därmed dimensioneras för hela värmebehovet. Värmepumpen kommer inte att kunna startas förrän returledningstemperaturen har sjunkit till ett så lågt värde att den maximala arbetstemperaturen inte kommer att överträffas. I exemplet givet i figur 2b är returledningstemperaturen 25°C vid DUT och den av värmepumpen levererade framledningstemperaturen är 31°C. Detta är otillräckligt eftersom värmesystemet vid denna utetemperatur kräver 35°C. Tillsatsvärmen kommer då att säkerställa att erforderlig framledningstemperatur erhålls. När utetemperaturen sedan stiger kommer värmepumpen gradvis att täcka en större andel av värmebehovet på egen hand. Vid balanstemperaturen kommer värmepumpen precis klara av hela det aktuella värmebehovet och tillsatsvärmen är inte längre nödvändig. Vid utetemperaturer över balanstemperaturen kommer värmepumpens levererade effekt att överstiga erforderligt behov och kapaciteten måste regleras ned. Detta görs oftast genom ”on/off” reglering.

Beskrivning av simuleringsprogram

I syfte att beräkna energibesparing och bestämma den tekniskt optimala storleken har ett simuleringsprogram utvecklats. Programmet simulerar ett värmepumpsystem bestående av en värmepump, värmekälla, system för värmedistribution, byggnadskarakteristik och klimat. Programmet beräknar inte energibehov för beredning av tappvarmvatten

Värmepump

Värmepumpen betraktas som en svart låda där hänsyn endast tas till inkommande brinetemperatur och levererad framledningstemperatur. Testvärden från en på marknaden existerande värmepump har använts för att beräkna kapacitet och prestanda.



Figur 3 Prestanda för simulerad VP

Värmepumpens totala energibehov består av tillförd energi till kompressor och brinepump. Prestanda för värmepumpen är given i figur 3. Värmepumpen antas maximalt kunna leverera en framledningstemperatur av 55°C. Tillsatsvärme antas tillföras av en elpatron efter värmepumpen.

Värmekälla

I beräkningarna antas värmekällan leverera en konstant brinetemperatur under hela uppvärmningssäsongen. I detta fall är den antagen till -2.5°C.

System för värmedistribution

Endast vattenburna värmesystem är behandlade i programmet. Fyra olika temperaturnivåer används i beräkningarna "80/60", "60/40", "55/45" och "35/25". Talen indikerar fram- respektive returledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur.

Byggnadskarakteristik

Byggnadens värmebehov antas vara linjärt beroende av temperaturdifferensen mellan ute- och inomhustemperatur

$$\dot{Q}_{\text{värme}} = K (t_{\text{inne}} - t_{\text{ute}}) - \dot{Q}_{\text{int}} \quad (1)$$

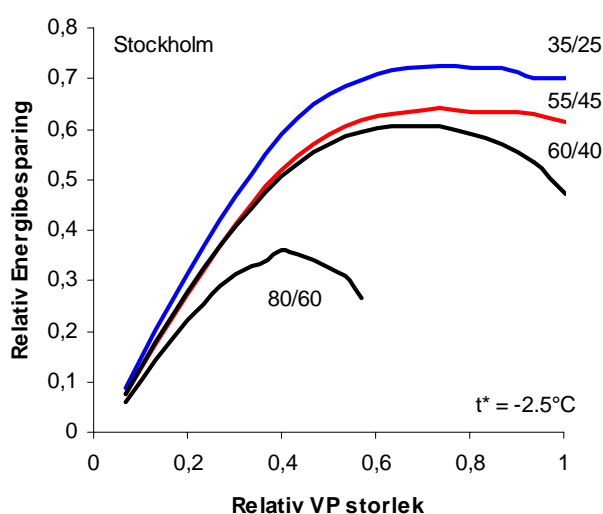
Erforderlig innetemperatur antas vara konstant under hela uppvärmningssäsongen och är ansatt till 20°C. Intern värmelast antas motsvara en temperaturökning av 3 K (Peterson, 1984). Värmebehovet antas vidare upphöra då utetemperaturen överstiger +11°C. Detta baserar sig på ett antagande om att tillskottet från solinstrålning då är tillräckligt stort för att tillsammans med internlasten garantera erforderlig inomhustemperatur (Peterson, 1984). -17°C har använts som dimensionerande utetemperatur i beräkningarna.

Klimat

Klimatet för beräkningarna representeras av data för utetemperaturens varaktighet. Varje beräkning utförs med ett temperatursteg om 1 K. Solinstrålning beaktas endast på det sätt som anges angående byggnadens karakteristik. Inverkan av vind beaktas ej.

Exempel av beräkningsresultat

Relativ energibesparing har beräknats och visas i figur 4. Syftet med beräkningarna har varit att visa att det är möjligt att finna ett tekniskt optimum för värmepumpens dimensionering och antyda karaktären av detta optimum.



$$\text{Relativ energibesparing} = 1 - \frac{E_{vp} + \text{Tillsats}}{Q_{hus}} \quad (2)$$

$$\text{Relativ VP storlek} = \frac{\dot{Q}_{vp(t^*/45)}}{\dot{Q}_{husDUT}} \quad (3)$$

Figur 4 Relativ energibesparing

Av figur 4 framgår att det är möjligt att identifiera en optimal värmepumpstorlek som resulterar i maximal energibesparing. I figuren framgår även fördelen av ett lågtempererat system för värmedistribution. Anledningen till att den relativa energibesparingen minskar då värmepumpen överdimensioneras beror på att kapacitetsregleringen antas ske genom att köra pumpen "on/off". Det skulle emellertid vara mer fördelaktigt att använda en varvtalsstyrd kompressor. Denna typ av styrning är ännu inte vanlig i små villavärmepumpar och har därför inte behandlats i detta arbete. En ytterligare iakttagelse som kan göras i figur 4 är att kurvan nära tekniskt optimum är relativt flack åtminstone om man bortser från de högt tempererade radiatorsystemen. I tabell 1 nedan visas vad tekniskt optimal storlek motsvarar i form av total årsvärmefaktor (SPF). Den totala årsvärmefaktorn är definierad som husets totala värmebehov dividerat med totalt tillförd energi till kompressor och tillsatsvärme.

<i>Distribution System</i>	<i>SPF Stockholm</i>
35/25	3.65
55/45	2.78
60/40	2.54

Ekonomiska aspekter

Eftersom investeringskostnaden för en värmepump ofta är väsentligt högre än för konventionella uppvärmningssystem kan det endast bli ekonomiskt attraktivt om driftskostnaden blir väsentligt lägre. Noggranna ekonomiska jämförelsestudier mellan värmepumpen och exempelvis en oljepanna eller den utomlands så vanliga gasbrännaren måste utföras för att avgöra värmepumpens konkurrenskraft. En indikation om konkurrenskraften kan erhållas av gällande energiprisrelationer mellan el/olja och el/gas. Dessa relationer utgör ett lägsta värde på den årsvärmefaktor som värmepumpen måste uppnå vid lika investeringskostnader för att överhuvudtaget vara intressant att studera utifrån ett ekonomiskt perspektiv. I tabell 2 nedan anges genomsnittliga energiprisrelationer för hushållskunder under 1996.

Country	Electricity/Oil	Electricity/Gas
Austria	4.30	4.8
Denmark	3.0	3.2
France	3.8	4.1
Germany	5.6	4.8
Greece	2.0	n.a
Italy	2.0	2.8
Japan	5.4	2.1
Netherlands	3.8	4.7
Norway	1.5	n.a
Spain	5.5	3.6
Sweden	1.8	n.a
Switzerland	6.2	3.7
UK	4.9	4.5
USA	3.1	3.7

n.a (not applicable)
HPC Analysis AR7

Referenser

1. Gilli, P.V, Streicher, W, Halozan, H., 1992, The Impact of Heat Pumps in the Greenhouse Effect, *Analysis Report, HPC-AR 1*
2. Granryd, E. 1977, Analys av värmepumpsystem för lokaluppvärmning, *Int. J. Scandinavian Refrigeration, no. 6.*
3. Granryd, E. 1975, Energibesparing med värmepump i bostäder, *VVS, no. 4, p. 129-142.*
4. Granryd, E., Jonsson, M.E., 1996, Heat Pumps and Three Important "E:s": Energy, Environment and Economy, *Proc. Melbourne Conf., IIF/IIR: p. 13-22.*
5. Peterson, F. 1984. *Värmebehovsberäkningar, Uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm, p. 50.*
6. Swedish Board of Housing, Building and Planning, 1995, *Boverkets Byggregler, BBR94, §9:233.*