BELOK

Samordnad funktionskontroll

Fokusprojektet samordnad funktionskontroll

Utarbetad av
Göran Andersson, GICON Installationsledning AB

Göteborg, maj 2015

INNEHÅLL

1 BAKGRUND 5
1.1 Läsanvisningar 6
2 UPPDRAGET OCH MEDVERKANDE 8
2.1 Beskrivning av uppdraget 8
2.2 Medverkande 8
3 METODIK FÖR SAMORDNAD FUNKTIONSKONTROLL 9
3.1 Projektets olika faser/skeden 9
3.1.1 Totalprojektets etapper 9
3.1.2 Samordnad funktionskontroll – i det generella projektet 9
3.1.3 Förstudiefas och projektstart 10
3.1.4 Projektering 11
3.1.5 Upphandlingsfas - upphandling av entreprenörer 12
3.1.6 Produktionsfas 13
3.1.7 Slutskede 13
3.1.8 Uppföljning under drift-/garantitid 14
4 FUNKTIONSKONTROLLENS GENOMFÖRANDE 14
4.1 Allmänt 14
4.2 Planering och förberedande arbeten inför funktionskontroll 15
4.2.1 Driftsatt anläggning 16
4.2.2 Egenprovning 17
4.2.3 Injustering 17
4.2.4 Uppstarts- och startmöte 17
4.3 Genomförandet av funktionskontroll 19
4.3.1 Provningsprogram 19
4.3.2 Samordnad provning 19
4.3.3 Samordnad funktionskontroll 20
4.3.4 Hantering av avvikelser 21
4.3.5 Uppföljning under driftskedet 21
5 METODER FÖR MÄTNING OCH UPPFÖLJNING 22
5.1 Plan för mätning och uppföljning 22
5.2 Mätmetodik och val av mätare 23
5.2.1 Mätningens och mätutrustningens noggrannhet 23
5.2.2 Mätperiod och registrering av mätdata 25
5.2.3 Korrigering för avvikelser från dimensionerande förhållande 26
5.2.4 Mätning av elsystem 26
5.2.5 Mätning av temperatur 28
5.2.6 Mätning av värme- och kylenergi 29
5.2.7 Mätning av tappvatten 30
5.2.8 Mätning av tryck och luftflöden i luftbehandlingsaggregat och kanalsystem 30
5.3 Prestandamätning 30
5.3.1 Verifiering av inomhusklimat 30

5.3.2 Verifiering av temperaturverkningsgrad för värmeväxlare 31
5.3.3 Verifiering av SFP_v för luftbehandlingsaggregat 36
5.3.4 Verifiering av värmeeffekt 36
5.4 Uppföljning av energianvändningen för hela byggnaden och/eller enskilda system 37
6 LITTERATUR 38

BILAGOR

Bilaga 1 - Checklista för upphandling konsulter

Bilaga 2 - Mall "Checklista driftsatt anläggning"

Bilaga 3 - Mall "Kallelse till uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll"

Bilaga 4 - Mall "Protokoll uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll"

Bilaga 5 - Mall/exempel "Program samordnad funktionskontroll"

Bilaga 6 - Mall "Checklista - Underlag till teoretisk funktionskontroll"

Bilaga 7 - Mall/exempel "Plan för mätning och uppföljning"

Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06

Bilaga 9 - Exempeltexter till tekniska beskrivningar ”BELOK projekteringsanvisningar”

Bilaga 10 – Mall/exempel ”Protokoll kontroll av prestanda”

Bilaga 11 – Schema samordnad funktionskontroll

FÖRORD

Beställargruppen lokaler, BELOK, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning på kommersiella lokaler. BELOK initierades 2001 av Energimyndigheten och gruppen driver idag olika utvecklingsprojekt med inriktning mot energieffektivitet och miljöfrågor.

Gruppens målsättning är att energieffektiva system, produkter och metoder tidigare skall komma ut på marknaden. Utvecklingsprojekten syftar till att effektivisera energianvändningen samtidigt som funktion och komfort förbättras.

Gruppens medlemsföretag är:

Akademiska Hus
Castellum/Corallen
Diligentia
Fabege
Fortifikationsverket
Hufvudstaden
Jernhusen
Locum
Lokalförvaltningen - LF
Midroc
Skolfastigheter i Stockholm - SISAB
Specialfastigheter
Statens Fastighetsverk
Swedavia
Vasakronan
Västfastigheter

Till gruppen är även följande knutna:

Statens Energimyndighet
Boverket
Byggherrarna
CIT Energy Management

1 BAKGRUND

I befintliga lokalbyggnader ligger den ekonomiskt bärkraftiga potentialen för energibesparing i huvudsak på åtgärder i de tekniska installationerna, dvs. på utbyte och ombyggnad av styr- och regler-, ventilations-, belysnings-, kyl- och värmesystem. För att nå de förväntade besparingarna krävs det att dessa får den förväntade funktionen. Det visar sig dock alltför ofta att främst styr- och reglersystemen samt ventilationssystemen kan ur energisynpunkt ha betydande funktionsbrister, som upptäcks först efter idrifttagandet. Det kan sedan i praktiken bli väldigt omständligt att få dessa brister åtgärdade. Det kan även hända att funktionsbristerna inte upptäcks alls. I båda fallen innebär det att kostnadsbesparingen kan utebli under lång tid eller i värsta fall helt.

När Totalprojektet nu börjar tillämpas i större skala utanför BELOK-företagen, kan det nämnda bli ett stort problem, som riskerar att ge Totalprojektet i dess helhet vanrykte. En funktionskontroll bör således alltid ingå i Totalprojekten. Föreliggande projekt syftar till att utveckla en ekonomisk rimlig och praktiskt tillämpbar metodik för funktionskontroll i Totalprojekt, från energiutredning till uppföljning av driftsatt anläggning. Metodiken syftar till att säkerställa att önskad energiprestanda erhålls efter genomförd entreprenad, dvs. säkerställa beställarens krav samt beräknad besparingspotential. Funktionskontrollen genomförs innan slutbesiktningen och utgör en förutsättning för ett godkännande av entreprenaden.

Föreliggande metodik, vilken utgör en del i ett Totalprojekt, begränsar sig till att avse kontroll av i byggnaden ingående tekniska system såsom luftbehandlings-, värme-, kylsystem etc. Metodiken är naturligtvis användbar även i alla andra typer av projekt med komplexa installationstekniska system som nybyggnader, ombyggnader osv där man önskar följa upp energiprestandan hos genomförda projekt. I metodiken tas även hänsyn till skillnader i ansvarsgränser mellan olika entreprenadformer.

Som hjälp för att genomföra en funktionskontroll har detta huvuddokument upprättas tillsammans med ett antal bilagor, vilka skall vara till hjälp vid upprättande av tekniska beskrivningar, upphandling och funktionskontroll. I bilagorna ges bland annat exempel på program för kontroll av funktioner och prestanda för ett antal vanliga förekommande system, krav på mätmetodik för att säkerställa resultatets noggrannhet samt förslag på texter/formuleringar som arbetas in förfrågningsunderlaget.

1.1 Läsanvisningar

Till detta huvuddokument finns ett antal bilagor framarbetade som hjälpmedel till metodiken för samordnad funktionskontroll. Nedan följer en översiktlig presentation av samtliga dokument som ingår.

Huvuddokumentet – Metodik för samordnad funktionskontroll

Kapitel 1 Beskrivning av bakgrunden till projektet samt vikten av funktionskontrollen i ett projekt.

Kapitel 2 Genomgång av uppdraget och de medverkande.

Kapitel 3 Metodiken för hur den samordnade funktionskontrollen kommer in i projektets olika faser från förstudie till driftskedet.

Kapitel 4 Beskriver hur funktionskontrollens genomförande går till från planering, mötesupplägg till provning av prestanda.

Kapitel 5 Kapitlet beskriver den del i funktionskontrollen som har med mätning och uppföljning att göra. Det presenteras en modell för hur en ”Plan för mätning och uppföljning” byggs upp och vad som bör ingå. Det redovisas hur exempel på mätning av olika system och komponenter samt vilka krav som skall ställas på mätnoggrannhet.

Bilaga 1 - Checklista för upphandling konsulter”
Redovisning av vem som lämpligtvis är ansvarig för olika delar i den samordnade funktionskontrollen.

Bilaga 2 - Mall "Checklista driftsatt anläggning"
Redovisar en mall för checklistan ”Driftsatt anläggning” som kan användas och anpassas för respektive projekt.

Bilaga 3 - Mall "Kallelse till uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll"
Innehåller en mall för kallelse till uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll. Mallen anpassas till respektive projekt.

Bilaga 4 - Mall "Protokoll uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll"
Bilagan innehåller en mall för protokoll till uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll. Mallen innehåller förslag till programpunkter som kan anpassas till respektive projekt.

Bilaga 5 - Mall/exempel "Program samordnad funktionskontroll"
I denna bilaga redovisas ett exempel på ett program till en samordnad funktionskontroll. Programmet innehåller ett antal exempelsystem, i respektive projekt kan mallen användas och anpassas efter aktuella förutsärttningar.

Bilaga 6 - Mall "Checklista - Underlag till teoretisk funktionskontroll"
Redovisar en mall för checklistan ”Underlag till teoretiskt funktionskontroll”, innehåller en checklista för att säkerställa att kontrollanten får rätt underlag för att kunna göra en teoretisk funktionskontroll av system som ej är provningsbara innan slutbesiktning. Syftet är att så långt som möjligt kunna bedöma anläggningens funktion och prestanda inför slutbesiktningen.

Bilaga 7 - Mall/exempel "Plan för mätning och uppföljning"
Ett exempel på hur en plan för mätning och uppföljning kan utformas. I respektive projekt kan mallen användas och anpassas.

Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06
Redovisning av användbara exempeltexter till AF-delar och till projektörens beskrivningar som hanterar den samordnade funktionskontrollen, hantering av viten, incitament.

Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06
Redovisning av användbara exempeltexter till AF-delar och till projektörens beskrivningar som hanterar den samordnade funktionskontrollen, hantering av viten, incitament.

2 UPPDRAGET OCH MEDVERKANDE

2.1 Beskrivning av uppdraget

Uppdraget består i att ta fram en metodik för samordnad funktionskontroll, vilket skall genomföras i två steg.

Steg 1
Den tekniske sekreteraren skall tillsammans med medverkande BELOK-representanter och styrgruppen planera genomförandet i steg 2. I steg 1 identifieras problemställningar, avgränsningar samt erforderliga resurser för att i steg 2 kunna ta fram en metodik som säkerställer att Totalprojekten uppfyller ställda krav på funktion och prestanda.

Steg 2
Till Totalprojekt anpassad funktionskontrollmetodik utarbetas. Detta skall ske i samråd med de två Fokusprojekten ”Kravspecifikation styr- och övervakningssystem” och ”Säkerställande av energibesparing i framtida Totalprojekt”.

2.2 Medverkande

Arbetet med steg 1 har utförts av en arbetsgrupp i samverkan med styrgruppen. Arbetsgruppen har träffats vid två tillfällen i Stockholm. Vid det andra mötet deltog även styrgruppen.

Arbetsgruppen har utgjorts av följande företag och personer:

Magnus Kruså	Statens Fastighetsverk
Johan Edlund	Lokalförvaltningen
Niklas Dalgrip	SISAB
Per Linde	Midroc
Göran Andersson	GICON (teknisk sekreterare)

Styrgruppen har utgjorts av följande företag och personer:

Jan Danielsson	Jernhusen
Lennart Lifvenhjelm	Vasakronan
Per Erik Nilsson	CIT Energy Management

Samverkan har även skett med Svebyprogrammet.

3 METODIK FÖR SAMORDNAD FUNKTIONSKONTROLL

I detta kapitel beskrivs översiktligt ett projekts olika faser samt hur den samordnade funktionskontrollen knyter an i respektive fas. Under respektive rubrik behandlas bland annat viktiga aktiviteter, milstolpar och dokument som bör arbetas fram i respektive fas.

3.1 Projektets olika faser/skeden

3.1.1 Totalprojektets etapper

Totalprojekt delas in i tre etapper, vilka beskrivs översiktligt nedan:
(En mer ingående beskrivning av Totalprojektet återfinns i *BELOKs metodik Totalprojekt – Handbok för genomförande och kvalitetssäkring, Projekt 2012:5)*

Etapp 1 – Framtagning av åtgärdspaket
Analys av fastigheten för att hitta alla de energibesparingar som är möjliga att genomföra. För alla de identifierade tänkbara åtgärder för energieffektivisering utförs energiberäkningar och de kostnadssätts. Åtgärderna sammanställs i ett åtgärdspaket som i dess helhet skall uppfylla det av företaget ställda kravet på lönsamhet. Åtgärdspaketet läggs som underlag för beslut om genomförande.

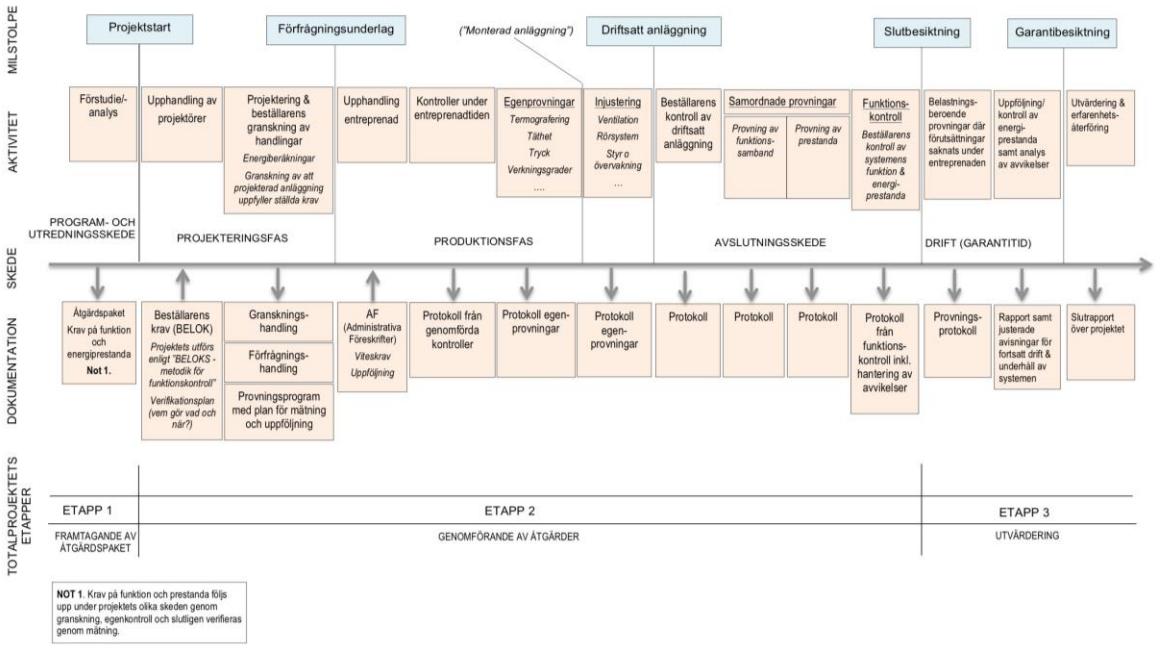
Etapp 2 – Genomförande av åtgärder
Alla de åtgärder som tillsammans är ekonomiskt lönsamma genomförs. En del åtgärder kan vara så pass okomplicerade att de kan genomföras utan speciella förberedelser. Andra måste detaljprojekteras och realiseras i en entreprenad. Genomförandet avslutas med en funktionskontroll. Detta är viktigt bland annat för att säkerställa att de åtgärder som genomförts fungerar rätt. Om exempelvis ett ombyggt ventilationssystem inte fungerar på avsett sätt, kan en stor del av energibesparingen och därmed kostnadsbesparingen förloras.

Etapp 3 – Utvärdering
Utfallet efter åtgärder bör följas upp med åtminstone månatliga registreringar av energianvändningen. Uppföljningen är en viktig del av Totalprojektet och bör pågå under minst ett år och därefter kontrolleras utfallet mot underlaget som togs fram i Etapp 1.

3.1.2 Samordnad funktionskontroll – i det generella projektet

Metodiken är anpassad för att användas i Totalprojekt med kan även ses som en generell metodik att använda i alla typer av projekt där man önskar säkerställa att ställda krav på effektiv energianvändning följs upp och kvalitetssäkras.

Nedanstående figur visar de olika aktiviteterna i ett projekt där metodiken för samordnad funktionskontroll tillämpas. Dokumenten som redovisas under tidsaxeln är i metodiken ingående styrande dokument och/eller aktiviteter. Fortsättningsvis benämns samordnad funktionskontroll som funktionskontroll.



Figur 1 Schema/tidplan som redovisar aktiviteter i metodiken för Samordnad funktionskontroll. Projektets skeden är redovisat för både ett generellt projekt samt ett Totalprojekt. Se även Bilaga 11.

3.1.3 Förstudiefas och projektstart

Projektet initieras av en inledande förstudie eller energianalys där det inom beställargruppen beslutas att ett projekt skall genomföras. Vid kommande kontakt med projektledning eller projektörer hänvisas till att projektet skall utföras och följas upp i enlighet med BELOKs metodik för samordnad funktionskontroll. I och med detta ställs också särskilda krav i projektet. Det handlar i stora drag om krav på hur arbetet i projektet skall utföras, krav på dokumentation, kontroller under projektets gång, krav på kompetensnivå hos de inblandade samt en utökad funktionskontroll av samtliga berörda system.

Det är nu även lämpligt att man utser den person som skall ansvara för funktionskontrollen och vilka kompetenskrav som erfordras för det aktuella projektet. Om det finns en energisamordnade utsedd för projektet så kan det vara samma person som ansvarar för funktionskontrollen.

I och med att funktionskontrollen syftar till att beställaren vill säkerställa att samtliga krav efterlevs bör den som ansvarar för funktionskontrollen vara utsedd av beställaren. Personen som utför själva mätningen av exempelvis energiprestanda eller utför

kontroller av funktioner kan dock vara någon annan, men självklart under överseenden av den ansvarige.

3.1.4 Projektering

I och med att man ställt kravet att BELOKs metodik för samordnad funktionskontroll skall följas i projektet, ställs det också krav på att projektören förhåller sig till en viss kvalitetsnivå på sina handlingar. Detta är något som är viktigt att man fångar upp i upphandlingen av projektörer, och det kan handla om:

Den tekniska beskrivningen som arbetas fram skall under respektive system inkludera en tydlig funktionsbeskrivning/orienterade texter som beskriver hur systemen skall fungera. Detta underlättar dels samordningen mellan de inblandade projektörerna men också vid granskningen av dokumentationen. Det är viktigt att detta görs på ett tydligt och välarbetat sätt då tanken är att dessa texter skall leva vidare i hela projektet under projektering, granskning, funktionsprovning och även under driftskedet i DU-pärmar mm. I *Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06* kan ett exempel på ett antal funktionsbeskrivningar återfinnas.

För att säkerställa att de krav som ställs i projektet går att verifiera och följa upp skall en plan för mätning och uppföljning arbetas fram av projektören. Det är en plan som innehåller vilka system och hyresgäster som förses med undermätning för värme, el och kyla, samt hur mätvärden skall presenteras för att underlätta utvärdering. Den skall också användas för att säkerställa att samtliga ingående komponenters prestanda kommer till sin rätt, detta genom att säkerställa rätt placering av givare och dylikt. I projekt med ett överordnat styr- och övervakningssystem kan en sådan plan också inkludera avvikelselarm för energi. Dessa larm medför att drift- och underhållspersonal i tidigt skede kan upptäcka om ett system använder för mycket energi, vilket medför att små funktionsfel såsom läckande ventiler eller bristfälligt injusterade system kan upptäckas. I dessa fall beräknar projektören eller energisamordnaren gränsvärden för avvikelselarm. I kapitel 5 beskrivs vad en plan för mätning och uppföljning bör innehålla och i *Bilaga 7 - Mall/exempel "Plan för mätning och uppföljning"* kan ett exempel återfinnas.

Under projekteringen arbetas ett preliminärt provningsprogram för funktionskontrollen fram. Fördelen med detta är att de idéer som ligger till grund för systemuppbyggnaden inte misstolkas, samt att det säkerställs att alla viktiga funktioner provas. I kapitel 3 beskrivs hur funktionskontrollen fungerar, och vad som bör ingå. Exempel på program för den samordnade funktionskontrollen återfinns i *Bilaga 5 - Mall/exempel "Program samordnad funktionskontroll"*.

Krav kan också ställas på att projektören upprättar en checklista med särskilda punkter som anses viktiga att kontrollera löpande under driftsperioden. Dessa skall i så fall biläggas till DU-instruktionerna. Det gäller punkter som är av vikt för energianvändningen, att rätt bör- och ärvärden upprätthålls, att samtliga komponenter innehar sin funktion etc.

I de fall då projektören hanterar mer komplexa anläggningar skall en systemmanual sammanställas. Detta dokument beskriver systemuppbyggnaden samt de idéer som ligger till grund för denna. Manualen skall användas för att underlätta driften och användas vid framtida ombyggnationer för att minska risken för att dessa idéer motarbetas och bör minst innehålla:

- Funktionsbeskrivning av samtliga ingående system
- Driftinstruktioner för hur respektive system skall styras för att uppnå god funktion och energieffektiv drift
- Övergripande scheman så som principschema, flödesbilder med funktionstexter, huvudledningsschema, nätschema etc.
- Sammanställning av inställningsvärden (börvärden, tidkanaler etc.)
- Sammanställning av mätare och givare som används för energi- och prestandauppföljning
- Rekommenderat schema för kalibrering av givare och ställdon.

I tidplanen bör tid för beställarens och eventuellt verksamhetens granskning av handlingar vara schemalagd. Det rekommenderas att en presentation görs i respektive skede i projektet vilket medför en delavstämning för t ex program-, systemhandlings- och bygghandlingsskede. Anpassning görs efter det aktuella projektets omfattning och komplexitet. Syftet är att säkerställa att den projekterade produkten uppfyller kundens förväntningar på funktion och prestanda. Eventuellt kan också krav ställas på att projektören presenterar systemen muntligt för beställaren. Det är också att rekommendera att den person som skall ansvara för funktionskontrollen medverkar vid presentationen.

I *Bilaga 1 - Checklista för upphandling konsulter* återfinns en checklista på punkter som bör finnas med i upphandlingen av projektörer och vem som ansvarar för vilken del.

3.1.5 Upphandlingsfas - upphandling av entreprenörer

Vid upphandling är det viktigt att det i de Administrativa föreskrifterna tydligt framgår vad som gäller för entreprenaden avseende samordnad funktionskontroll. Det är av stor vikt att det framgår kritiska tider eller aktiviteter, dvs. vilka aktiviteter som skall vara klara innan funktionskontrollen kan (eller får) påbörjas samt att det finns tillräckligt med tid i projektet för att detta skall vara möjligt. Exempelvis kan det vara att en viss tid innan slutbesiktningen skall anläggningen vara driftsatt och klar för att funktionskontrollen skall få påbörjas för att det skall finnas möjlighet att verifiera anläggningens prestanda. Samt att det framgår att funktionskontrollen ligger till grund för godkänd slutbesiktning.

I de Administrativa föreskrifterna bör det också tydligt framgå att en avslutningstidsplan skall kunna uppvisas för beställaren i god tid före avslutningsskedet, för att säkerställa att samtliga aktiviteter har den tid som erfordras. Risken med att inte avsätta tillräckligt

med tid för funktionskontrollen är bristande prestanda och uteblivna funktioner i anläggningen.

Under upphandlingen bör man också hantera frågorna kring vad som händer om de ställda kraven inte uppfylls, om förseningar uppkommer mm. Krav på viktiga deltider bör arbetas in i AF. Då funktionskontrollen förutsätter att systemen är driftsatta och avprovade så bör krav ställas på tidpunkt för driftsatta anläggning och då samordnad provning är klar. Anpassning görs efter det aktuella projektets storlek och komplexitet.

I *Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06* återfinns ett exempel på beskrivningstexter för de administrativa föreskrifterna.

3.1.6 Produktionsfas

Innan produktionen påbörjas kallar den person som är ansvarig för den samordnade funktionskontrollen till ett möte där samtliga egenkontroller och egenprovningar som skall utföras diskuteras. Under mötet tydliggörs också vilken dokumentation som skall vara framtagen innan den samordnade funktionskontrollen kan starta, dokumentation så som protokoll från samtliga egenprovningar, injusteringar, kontroller, DU-pärmar etc.

Produktionsfasen skall avslutas med att samtliga punkter i checklistan ”Driftsatt anläggning” för det specifika projektet uppfylls, för exempel se *Bilaga 2 - Mall "Checklista driftsatt anläggning"*.

3.1.7 Slutskede

I god tid innan funktionskontrollen påbörjas kallar den ansvarige till ett uppstartmöte. Under mötet diskuteras de resultat från de provningar och egenkontroller som entreprenören utfört, samt den dokumentation som skall vara framtagen innan funktionskontrollen kan påbörjas. Entreprenörens provningar kan omfatta kontroll av funktion, täthet, verkningsgrader, temperaturer, flöden, tryck, ljud etc. Funktionskontrollen samordnas med övriga besiktningar inom projektet och besiktningsmannen informeras om att en funktionskontroll kommer att genomföras och vilken betydelse den har för entreprenadens godkännande.

Vid funktionskontrollen kontrolleras styrfunktioner och prestanda på ingående system och komponenter i omfattning enligt det tidigare framtagna programmet. Kontrollen omfattar såväl samordnade funktioner över entreprenadgränserna som funktioner inom respektive entreprenad (installationsentreprenad). Belastningsberoende provningar utförs under entreprenadtiden i de fall då förhållandena är tillräckligt nära de som systemen dimensionerats för. För vissa system kan dimensionerande förhållanden skapas genom att internlaster, fuktlaster etc. tillförs byggnaden. Då det inte är möjligt att genomföra de belastningsberoende provningarna i det ordinarie avslutningsskedet så utförs dessa under den efterföljande garantitiden. Preliminärt datum för dessa provningar förs in i slutbesiktningsprotokollet. Men för att den samordnade

funktionskontrollen skall godkännas i det här skedet utförs en ”teoretisk funktionskontroll” av de icke provningsbara systemen.

Mätningar som är beroende av systemens belastning, så som ljudmätningar, bör utföras i samband med belastningsberoende provningar.

Den person som ansvarar för och/eller utför samordnad funktionskontroll medverkar vid entreprenörens utbildning av drift- och underhållspersonal för att säkerställa utbildningens kvalitet och att kunskaper rörande energieffektiv drift förs över till brukaren.

3.1.8 Uppföljning under drift-/garantitid

Då samtliga funktioner och prestanda oftast inte är möjligt att säkerställa vid funktionskontrollen följs dessa upp genom ytterligare provningstillfällen under garantitiden. Under garantitiden bör även funktionskontrollen fortsätta vid ett antal tillfällen, för att kontrollera exempelvis prestanda av kritiska komponenter, energianvändning och inomhusklimat (temperaturer, RF, lufthastigheter i vistelsezonen mm).

Ett antal protokollförda uppföljningsmöten bör även planeras in där avvikelser som upptäcks under provningar, genom avvikelselarm på installerade givare och mätare, samt avvikelser som drift- och underhållspersonalen upptäckt diskuteras. Till garantibesiktningen skall den ansvarige sammanställa en rapport med resultatet från kontrollen under garantitiden där det ingår en utvärdering av uppmätta värden. I rapporten redovisas också eventuella åtgärder som utförts (eller rekommenderas) och samtliga avvikelser som uppkommit.

Den systemmanual samt de drift- och underhållsinstruktioner som tidigare framarbetas bör uppdateras kontinuerligt med eventuella justeringar som avvikelser under garantitiden ger upphov till. Det som är mest lämpligt är om detta även fortsätter under den fortsatta drifttiden för att hålla informationen om anläggningen uppdaterad och användas som underlag för framtida åtgärder .

4 FUNKTIONSKONTROLLENS GENOMFÖRANDE

4.1 Allmänt

Som tidigare nämnts syftar funktionskontrollen till att säkerställa att samtliga komponenter och system innehar avsedd prestanda. Men också att de samtidigt uppfyller samtliga funktioner som projektören avser.

För att säkerställa att de krav som beställaren ställt uppfylls, för exempelvis energi, krävs det normalt också att kontroller utanför de tekniska systemen utförs. Kontroller

avseende exempelvis klimatskärmens isolering, köldbryggor och lufttäthet. Detta kommer inte behandlas närmare i denna rapport, men det är mycket viktigt att det finns rutiner för att följa upp dessa punkter i projektet.

Kvalifikationer för att utföra den samordnade funktionskontrollen
Personen som ansvarar för funktionskontrollen utses normalt av beställaren. Mätningarna av exempelvis energiprestanda och kontroll av komponenters och systemens funktion kan dock utföras av annan person, dock alltid under ledning av den ansvarige.

Beroende på projektets storlek och komplexitet ställs olika grad av kvalifikationer på den ansvarige. Personen i fråga skall ha god förståelse och kunskap om samtliga i projektet ingående system och dess funktioner, dessutom skall personen ha dokumenterad erfarenhet från tidigare provningar av likartade projekt. Det ställs också krav på att personen skall inneha (eller införskaffa sig) en god kunskap i:

- Övergripande kompetens inom byggteknik
- BELOKs metodik för Totalprojekt
- BELOKs metodik för Samordnad funktionskontroll
- Hur komponenters och systems prestanda verifieras
    - Val av mätmetod och förväntat metodfel
    - Driftsfall för verifiering

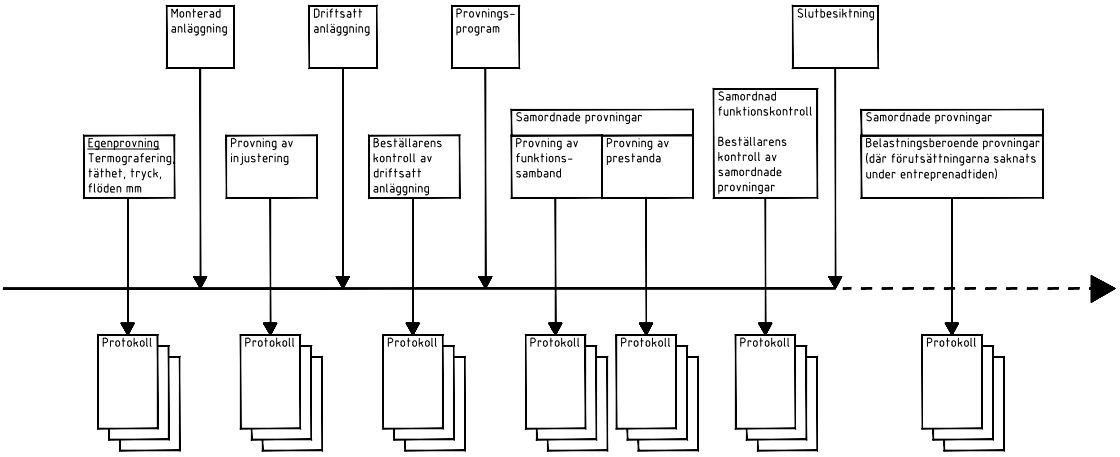
Utöver detta skall personen i fråga också
- Inneha en teoretisk relevant utbildning, gärna en ingenjörsexamen.
- Ha en viss pondus, tydlighet och beslutsamhet. Vilket kan underlätta då man representerar beställaren och utför en kontroll av andras arbete.
- Vara strukturerad och noggrann i sin dokumentation och redovisning.

Men kanske viktigast av allt är att personen i fråga verkligen förstår vikten av en riktigt utförd funktionskontroll, och den påverkan som brister på system- och komponentnivå ger projektet.

4.2 Planering och förberedande arbeten inför funktionskontroll

För att ge rätt förutsättningar i slutskedet är det viktigt att tidsplaneringen fungerar. I slutskedet är det viktigt att säkerställa att systemen är klara för provning i tid och att tillräcklig tid finns för själva provningen.

Entreprenörens produktionstidplan skall innehålla en detaljerad planering av de avslutande aktiviteterna i projektet, i en avslutningstidplan. I Figur 2 visas en principiell tidplan för avslutningsskedet med kritiska aktiviteter. Denna biläggs med fördel som underlag för upphandlingen och aktiviteterna och tiderna arbetas in i entreprenörens produktionstidsplan.



Figur 2 Plan över avslutningsskedet. Respektive milstolpe redigeras i respektive projekt med tidpunkt för färdigställande.

För att kunna säkerställa att samtliga funktioner och funktionssamband är provningsbara är det ett antal punkter som skall vara uppfyllda då den samordnade funktionsprovningen startar. Följande skall vara uppfyllt och dokumentation som styrker detta skall finnas framme:

- Driftsatt anläggning
- Samtliga egenprovningar och egenkontroller
- Injustering av samtliga system
- Samordnade provningar

4.2.1 Driftsatt anläggning

Innan den samordnade provningen påbörjas skall anläggningen vara driftsatt, vilket innebär att:

- Allt material är levererat och monterat inklusive alla anslutningar samt att märkning och skyltning är utfört
- Elanslutna apparater är spänningssatta, motorer kontrollerade avseende rotationsriktning
- Alla rörsystem är fyllda
- Rörsystemen är avluftade
- Isolering utfört
- Styr- och övervakningsanläggningen är monterad och avprovad
- Genomföringar skall vara tätade
- Grovstädning är klar
- Egenkontroll och egenprovning är utförd (protokoll skall finnas framme)
- Säkerhetsbesiktningar är utförda (hiss, tryckkärl mm)
- Rör- och luftsystem är injusterade (protokoll skall finnas framme)

- Underlag för relationshandlingar finns framme
- DU-instruktioner skall finnas framme

Se *Bilaga 2 - Mall "Checklista driftsatt anläggning"* för förslag till utformning av checklistan.

4.2.2 Egenprovning

Med egenprovning avses här de provningar som respektive entreprenör genomför under projektets gång för att säkerställa funktion och kvalitet.

Egenprovningarna kan exempelvis innefatta:

- Kontroll av funktion
- Täthet
- Verkningsgrader
- Isolationsmätning
- Temperaturer
- Flöden
- Tryck
- Ljud
- Etc.

Omfattningen av de olika entreprenörernas egenprovningar skall vara väl genomarbetat i de tekniska beskrivningarna och tydligt framgå i förfrågningsunderlaget. Samtliga egenprovningar skall protokollföras och överlämnas innan samordnad provning.

4.2.3 Injustering

Samtliga rör- och luftsystem skall innan den samordnade funktionskontrollen vara fullt injusterande avseende flöden, tryck etc. Metod och omfattningen av injusteringen skall tydligt framgå i de tekniska beskrivningarna till förfrågningsunderlaget.

Samtlig injustering skall protokollföras och överlämnas innan den samordnad funktionskontrollen påbörjas.

4.2.4 Uppstarts- och startmöte

Den person som är utsedd för att ansvara för funktionskontrollen kallar till ett uppstartsmöte där punkter inför slutskedet behandlas. Förslag till punkter att gå igenom under mötet:

- Tidplan för slutskedet
- Checklistor för driftsatt anläggning, utformning och innehåll

- Avsnitt i AF-del och tekniska beskrivningar som den samornade funktionsprovningen
- Avsnitt i AF-del och tekniska beskrivningar som behandlar funktionskontrollen
- DU-instruktioner samt utformningen av dessa
- Relationsunderlag
- CE-märkning
- OVK-besiktning
- Boka startmöte för funktionskontrollen
- …

I god tid före funktionskontrollens genomförande kallas samtliga inblandade till ett nytt möte, ett startmöte för funktionskontrollen. Syftet med mötet är att gå igenom följande:

- Tidplan för funktionskontrollen
- Beskrivning av genomförandet av funktionskontrollen
- Genomgång av provningsprogrammet som är upprättat för det specifika projektet
- Avsnitt i AF-del och tekniska beskrivningar som behandlar funktionskontrollen
- Genomgång av följande färdigställd dokumentation:
    - Checklista driftsatt anläggning
    - DU-instruktioner
    - Egenkontroller och egenprovningar
    - Injusteringsprotokoll samtliga system
    - Relationsunderlag
    - CE-märkning
    - OVK-besiktning
    - Nödutrymningsbelysning
    - Anläggarintyg för brandlarmanläggning
    - Intyg för utrymningslarm
    - Intyg för utförda brandtätningar
    - Driftsättningsprotokoll luftbehandlingsaggregat, värmepumpar etc.
- Eventuella hinder för start av funktionskontrollen
- Bokning av tider för belastningsberoende provningar för sommar- respektive vinterfallet.
- Om en teoretisk funktionskontroll behöver genomföras för något eller några av systemen och att det i sådant fall finns erforderliga underlag framme från entreprenören

Se *Bilaga 3 - Mall "Kallelse till uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll"*, *Bilaga 4 - Mall "Protokoll uppstartsmöte inför samordnad funktionskontroll"* för förslag till utformning av dessa dokument samt *Bilaga 12 - Mall "Checklista - Underlag till teoretisk funktionskontroll"*

4.3 Genomförandet av funktionskontroll

När anläggningen är monterad och kraven för driftsatt anläggning uppfylls påbörjas provningar där bland annat kontroll av funktionskedjor över entreprenadsgränserna och prestanda hos komponenter och system utförs. Utförandet sker systematiskt efter det provningsprogram som upprättats och uppmätta värden och eventuella brister dokumenteras. I första hand eftersträvas att felen avhjälps direkt, och i de fall som detta ej är möjligt hanteras det som fel i samband med slutbesiktningen. Hur detta skall hanteras för det aktuella projektet anges i Administrativa föreskrifter (se *Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06* för förslag på formuleringar).

4.3.1 Provningsprogram

I programmet för funktionskontrollen skall det tydligt framgå vad som skall provas och hur det skall ske (metod och vilka hjälpmedel som krävs).

Provningsprogrammet omfattas av:

- Tider för kontroll av respektive system
- Uppgifter om vem som skall deltaga vid kontrollen
- Avstämning om anläggningen är driftsatt
- Driftkort med tillhörande funktionsbeskrivning för respektive system
- Provning av viktiga funktionssamband i respektive system
- Provning av prestanda för respektive system
- Belastningsberoende provning för respektive system
- Teoretisk funktionskontroll för system som inte går att prova på grund av att dimensionerande förutsättningar inte går att åstadkomma vid provningstillfället.

Provningsprogrammet är alltid projektspecifikt vilket innebär att omfattningen alltid måste anpassas till respektive projekt.

I samband med funktionskontrollen noteras energiprestanda och att rätt funktioner och prestanda erhålles. Från tidpunkten för funktionskontroll fram till slutbesiktning skall anläggningen vara i drift och relevanta data för systemen skall loggas för utvärdering innan slutbesiktningen. Den som ansvarar för funktionskontrollen ges tillgång till det överordnade styr- och övervakningssystemet och kontrollerar att förväntade värden (temperaturer, tryck, flöden mm) och reglerförlopp erhålles.

4.3.2 Samordnad provning

Nedan presenteras övergripande det som kan tänkas ingå i den samordnade provningen, som alltså utförs innan den samordnade funktionsprovningen. I normala fall är det entreprenören som utför dessa provningar.

Provning av funktionssamband

Syftet med provningen är att säkerställa att hela funktionskedjan uppfylls från början till slut oberoende av entreprenörs- eller beställargränssnitt. Provningen utförs under normal drift där hela anläggningen provas. Innehållet under provningen bestäms utifrån vilka system och funktioner som finns, och redovisas i ett för projektet specifikt provningsprogram.

Provning av prestanda
Det är inte bara funktionskedjan som är av stor vikt att kontrollera, utan det är också viktigt att det sker en provning där hela installationens prestanda kontrolleras. Det kan exempelvis handla om att kontrollera eventuell reservkraftsanläggning eller insvängningsförlopp hos ett luftbehandlingsaggregat.

Belastningsberoende provning
Tiden för när anläggningen är driftsatt och provningen äger rum sammanfaller sällan med samtliga av de driftsfall som installationerna är dimensionerade för. Därför är det viktigt att den belastningsberoende provningen utförs vid annan tidpunkt efter slutbesiktning. Tidpunkten för provningen beror på vad det är som skall provas, det viktiga är att det är så nära de dimensionerande förhållandena som möjligt, vilket kan handla om rätt entalpi i uteluften, rätt intern värmealstring från verksamheten etc.

4.3.3 Samordnad funktionskontroll

När väl den samordnade provningen är utförd och samtliga system anses inneha samtliga av de funktioner som avses, kan funktionskontrollen ta vid. Som tidigare nämnts utförs kontrollen av en för projektet kvalificerad person, utsedd av beställaren. Kort sagt är detta alltså beställarens kontroll av anläggningen.

Den samordnade funktionskontrollen syftar till att kontrollera att rätt funktioner och prestanda erhålles för samtliga system och komponenter. I vissa fall blir det delvis en upprepning av den samordnade provningen, men på en något mer detaljerad nivå. Exempelvis kontrolleras inte enbart att respektive komponent har rätt funktion och styrs på rätt sätt, utan att hela kedjan av funktioner uppfylls och att exempelvis rätt inneklimat erhålles.

I mindre projekt kan man tänka sig att detta samordnas och görs samtidigt som den samordnade provningen. I första hand skall man dock alltid eftersträva att funktionskontrollen utförs efter den samordnade provningen då samtliga system fungerar som de skall.

Belastningsberoende funktionskontroll
I största möjliga mån skall man eftersträva att uppnå de dimensionerande förhållandena för att möjliggöra all funktionskontroll innan slutbesiktning. Men alla funktioner och prestanda kommer inte vara möjliga att testa innan denna tidpunkt då rätt förhållande inte kan återskapas på ett rimligt vis. I dessa fall utför kontrollanten en ”teoretisk funktionskontroll”, detta innebär att personen i fråga kontrollerar att det är projekterat och byggt för att uppfylla de funktioner och den prestanda som efterfrågas. För att detta

skall vara möjligt ställs det krav på att kontrollanten får till sig allt nödvändigt underlag som finns för projektet. Se *Bilaga 6 - Mall "Checklista - Underlag till teoretisk funktionskontroll"*.

I samband med slutbesiktningen bestäms när den riktiga belastningsberoende funktionskontrollen skall genomföras.

4.3.4 Hantering av avvikelser

Vid avvikelse från de krav som är angivna i förfrågningsunderlaget kommer energiprestandan att påverkas. Exempelvis att tryckfallet i anslutande kanalsystem är högre än vad som anges i entreprenadhandlingarna eller att verkningsgraden för värmeväxlaren inte uppnår uppsatta krav. I projektet är det viktigt att det finns en rutin för hur avvikelser från projekterad prestanda hanteras. Avvikelserna kan bland annat bero på:

- Brister i beställarens projektering
- Fel orsakade av entreprenören
- Fabrikationsfel på utrustningen
- Felaktig produktinformation från leverantören
- Brister i användningen av anläggningen
- …

I största möjliga mån skall de fel som upptäcks åtgärdas innan slutbesiktningen godkännes. Det är inte alltid detta är möjligt, i dessa fall måste det finnas en rutin för hur det hanteras. I *Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06* finns förslag till AMA-texter för att hantera delar av ovanstående.

4.3.5 Uppföljning under driftskedet

För att nå ytterligare en nivå bör uppföljningen inte enbart ske under garantitiden, utan fortsätta in i driftskedet. Under driftskedet är det lämpligt om en analys och optimering av byggnaden utförs kontinuerligt med hjälp av installerade energimätare.

De installerade mätarna används dels för att logga värden för utvärdering, men det är också lämpligt om det sätts larmgränser så att driftspersonalen får tidiga signaler om att systemen inte går optimalt. Larmgränserna kan sättas på såväl enskilda givare som för hela system och byggnaden i helhet. Exempelvis kan den faktiska energianvändningen enligt de installerade energimätarna jämföras kontinuerligt med prognostiserat värde, för att på så vis få en effektiv kontroll på systemens funktion. Fördelen med detta är som sagt att driftspersonalen kan agera tidigt om det visar sig att något är fel.

Hur uppföljningen skall ske, och vilka gränsvärden bör redovisas redan under projekteringsskedet. Detta skall också ingå i planen för mätning och uppföljning.

5 METODER FÖR MÄTNING OCH UPPFÖLJNING

Mätning av verklig energianvändning och energiprestanda hos system och komponenter har en central roll funktionskontrollen. Det vill säga att en förutsättning för att säkerställa att de krav som blivit uppsatta för projektet verkligen uppfylls är att samtliga system är mät- och uppföljningsbara. Behovet av mätare samt hur mätningen skall utföras skiljer sig från projekt till projekt, därför skall projektören i respektive projekt arbeta fram en ”plan för mätning och uppföljning”. Detta dokument ligger även till grund för provningsprogrammet då prestandaprovning i verklig drift sker.

Grundtanken är att planen skall innehålla vilka system och hyresgäster som skall förses med undermätning för exempelvis värme, el och kyla, samt hur mätvärden skall presenteras. I planen skall det också framgå vilken typ av mätare som skall användas, hur utvärderingen av ingående komponenter sker, hur komponenternas prestanda säkerställs bland annat med rätt antal mätpunkter och rätt placering av givare etc. Det handlar om att säkerställa och mäta bland annat:

- Temperaturer
- Vätskeflöden över pumpar
- Luftflöden över fläktar
- Elenergianvändning
- Tryckuppsättning

För att med än mer säkerhet garantera att samtliga komponenter har rätt prestanda och används på avsätt vis kan planen också inkludera avvikelselarm för exempelvis energi. Detta medför att drifts- och underhållspersonalen tidigt kan se om energianvändningen inte är enligt prognos och upptäcka funktionsfel såsom läckande ventiler, bristfälligt injusterade system etc. Gränsvärden för när larmer skall utgå beräknas exempelvis av energisamordnaren under projekteringen och sammanställs i planen för mätning och uppföljning.

5.1 Plan för mätning och uppföljning

Under projekteringen identifieras vilka system i projektet som är berörda och vilka krav som är uppsatta. Beroende av projektets storlek och grad av komplexitet anpassas omfattningen av bland annat energi-, el- och temperaturmätare. Det väsentliga med planen är att det skall vara möjligt att verifiera prestandan hos samtliga system och viktiga komponenter, dels inför slutbesiktningen, men även under driftskedet.

Projektören skall under projekteringen, och till planen för mätning och uppföljning, redovisa omfattningen av energimätare i schemaform för samtliga system. I ett mindre projekt resulterar det i en enklare version och i samband med t ex LEED- eller BREEAM-certifieringar resulterar det i en mer omfattande version.

I planen för mätning och uppföljning är det viktigt att inte bara energimätare redovisas, utan samtliga mätpunkter både för fasta mätare men också för portabla mätare framgår. Det skall framgå vilka punkter som är fast installerade mätare, samt vilka punkter som är för portabla mätare och också vad för typ av mätare som skall användas. Det skall också tydligt framgå vilka mätare eller mätpunkter som används för kontinuerlig mätning och uppföljning av energiprestanda, samt vilka som används vid funktionsprovet.

5.2 Mätmetodik och val av mätare

Beroende på vilken storhet som skall mätas finns olika mätutrustning och mätmetoder att använda sig av. Beroende på typ av projekt bland annat med avseende på storlek, komplexitet och typ av styr- och övervakningssystem kommer det bli aktuellt med antingen fast installerade mätare eller portabel mätutrustning. Det är sällan lönsamt att placera ut undermätare och givare och göra precis hela systemet mätbart, vilket gör att det ofta blir en kombination av fast och portabel utrustning.

Nedan presenteras mätmetoder för ett antal storheter och olika typer av mätare som är aktuella i de flesta installationssystem men också vilken mätosäkerhet som är accepterad.

I *Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06* återfinns texter till de tekniska beskrivningarna avseende mätning.

5.2.1 Mätningens och mätutrustningens noggrannhet

Mätnoggrannhet hos mätare
Beroende på mätarnas onoggrannhet vid mätningen kategoriseras de ofta i olika klasser. Detta regleras av ett antal olika standarder beroende på vilken typ av mätare det gäller.

I tabellen nedan återfinns en översiktlig sammanställning av rekommenderad noggrannhet för respektive mätare. Under respektive mätkapitel (kapitel 5.2.4 till 5.2.8) nedan redovisas något mer utförligt kraven.

System	Maximal tillåten onoggrannhet		Kommentar
	Fast installerad utrustning	Portabel utrustning	
Elsystem	±1%	±1%	-
Temperatur	±0,3°C	±0,3°C	-
Värme- och kylenergi	±3%	-	-
Tappvatten	±5%	-	-
Flöde och tryck i ventilationssystem	±5%	±5%	Metodfel angivet, ej mätarens noggrannhet.
Totalt sannolikt fel för respektive mätning	±10%	±10%	

Kalibrering av mätutrustning
Samtliga av de instrument som används (fast installerade såväl som handinstrument) skall genomgå regelbunden kalibrering av ett ackrediterat företag.
Kalibreringsintervallet skall enligt EN 3006:1997 väljas beroende på typ av givare, hur den används, dess noggrannhet och tillåten mätosäkerhet, i enlighet med internationella standarder.

De instrument som skall användas för funktionskontrollen och för mätning och uppföljning skall kalibreras minst en gång per år. Samtliga kalibreringsrapporter eller kalibreringscertifikat skall kunna uppvisas i samband med redovisningen av resultaten från mätningarna.

Mätosäkerhet och accepterat sannolikt fel
Exakta mätningar går aldrig att utföra, det kommer alltid finnas olika faktorer som påverkar resultatet. Det handlar bland annat om:

- instrumentfel så som exempelvis fel i kalibreringen
- fel i mätmetoden så som felaktigt valda mätpunkter
- fel pga av felaktig avläsning på instrumentet

Respektive osäkerhet i sig resulterar alltså i en än större total osäkerhet för hela mätningen, denna osäkerhet benämns i AMA för utvidgad mätosäkerhet. Ofta är det fler än en parameter som mäts för att bedöma exempelvis prestandan hos en komponent. För att resultatet från mätningarna inte skall avvika i allt för stor grad från verkligheten skall mätinstrument och mätmetod därför väljas så att det sannolika felet för hela mätningen uppgår till maximalt ±10%.

Vid respektive mätning skall en felanalys genomföras och den utvidgade mätosäkerheten inklusive beräkningar av denna skall redovisas.

Enligt AMA gäller att den utvidgade mätosäkerheten (U) beräknas enligt:

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \ldots} \quad , \quad \%$$

där

U_1 = mätinstrumentets utvidgade mätosäkerhet, %
U_2 = mätmetodens utvidgade osäkerhet, %
U_3 = sannolik utvidgad osäkerhet vid avläsning av instrument, %

<u>Exempel beräkning av totalt sannolikt mätfel vid verifiering av SFP</u>
Genom en fältmätning skall aktuellt SFP_v-värdet för ett ventilationssystem bestämmas.

SFP_v definieras enligt:

$$SFP_v = \frac{\dot{W}_t^{Tilluft} + \dot{W}_t^{Frånluft}}{\dot{V}_{Max}} \quad , \quad \left[\frac{kW}{m^3/s}\right]$$

$\dot{W}_t^{Tilluft}$ = aktiv eleffekt till tilluftsfläkten (kW)
$\dot{W}_t^{Frånluft}$ = aktiv eleffekt till frånluftsfläkten (kW)
$\dot{V}_{Max}$ = det maximala luftflödet av från- och tilluft (m^3/s)

För att bestämma det aktuella SFP_v-värdet måste tre mätningar utföras, dvs. aktiv eleffekt till tilluftsfläkt, aktiv eleffekt till frånluftsfläkt samt det största luftflödet av till- och frånluft. Respektive mätning i sig har en mätosäkerhet.

Den utvidgade mätosäkerheten för mätning av aktiv eleffekt för tilluftsfläkten beräknas enligt:

$$U_{W,tilluft} = \sqrt{U_{W,tilluft_1}^2 + U_{W,tilluft_2}^2 + U_{W,tilluft_3}^2} \quad , \quad \%$$

Den utvidgade mätosäkerheten för mätning av aktiv eleffekt för frånluftsfläkten beräknas enligt:

$$U_{W,frånluft} = \sqrt{U_{W,frånluft_1}^2 + U_{W,frånluft_2}^2 + U_{W,frånluft_3}^2} \quad , \quad \%$$

Den utvidgade mätosäkerheten för mätningen av luftflödet beräknas enligt:

$$U_V = \sqrt{U_{V_1}^2 + U_{V_2}^2 + U_{V_3}^2} \quad , \quad \%$$

Det totala sannolika felet för hela mätningen beräknas enligt:

$$U_{SFP} = \sqrt{U_{W,tilluft}^2 + U_{W,frånluft}^2 + U_V^2} \quad , \quad \%$$

Kravet är då att det totala sannolika felet för U_{SFP} ej skall överstiga ±10%. Därför måste val av mätare och mätmetod för respektive delmätning väljas så att detta uppnås.

5.2.2 Mätperiod och registrering av mätdata

Beroende på vad det är som skall mätas krävs av naturliga skäl olika lång mätperiod, vissa mätare används för att mäta momentana värden andra för att logga under hela året. Nedan följer ett antal exempel över loggningsfrekvensen för ett antal storheter i funktionskontrollen:

- Energi – loggas kontinuerligt över hela året
- Temperatur – mäts momentant
- Effekt fläktar – mäts momentant
- Luftflöden – mäts momentant
- Tryck – mäts momentant
- Tappvattenanvändning – loggas kontinuerligt över hela året

För energi- och tappvattenanvändningen är det lämpligt om driftspersonalen varje månad gör en kontroll att värdena verkar rimliga, och att loggningen fungerar. Om det avviker för mycket, eller inte fungerar som det är tänkt skall fastighetsägaren kontaktas, och felet avhjälpas omgående.

När det kommer till registreringen av mätdata används med fördel det överordnade styr- och övervakningssystemet om sådant finns. I annat fall kan krav ställas på driftspersonalen att vid uppsatta datum gå ut och avläsa samtliga mätare och manuellt föra in det i protokoll.

I planen för mätning och uppföljning skall det framgå vid vilka intervall samtliga mätare avläses, och hur registreringen sker, antingen via styr- och övervakningssystemet eller manuellt.

5.2.3 Korrigering för avvikelser från dimensionerande förhållande

Då de dimensionerande förutsättningarna ofta avviker från verkligenheten bör det alltid finnas en plan för vilka korrigeringar som skall göras för uppmätta värden. Det handlar om korrigeringar som beror på avvikelser för exempelvis:

- Inomhustemperatur
- Utomhustemperatur
- Tappvarmvattenanvändning
- Vädring
- Uteluftsflöden
- Internlaster så som kontorsutrustning, belysning, antal arbetsplatser etc.
- …

5.2.4 Mätning av elsystem

Vid mätning av elsystem för uppföljning av prestanda och energianvändning hos komponenter och system är det i stor grad just energi och effekt som skall vara mätbart. Nedan presenteras olika typer av mätare för dels fasta mätpunkter samt mätning via portabel utrustning.

Fast installerad mätutrustning
När det kommer till fasta elmätare så skiljs det mellan huvudmätare och submätare (undermätare). Huvudmätaren är den mätare som nätbolaget använder för debitering till

kund, normalt sätt kan denna mätare användas för att som kund få ut energianvändning och effekter.

Submätare för el används för att göra det möjligt mäta flera poster under samma huvudmätare, exempelvis el till hissar, till olika hyresgäster, till apparatskåp mm Dessa bör utformas så att det går att avläsa dem på plats på mätarens display samt att möjlighet till att bläddra mellan mätvärden finns. Skall mätaren ha möjlighet att leverera sina mätvärden är det viktigt att den är försedd med M-busutgång för att kunna leverera flera olika typer av mätvärden. Normalt skall mätaren kunna mäta och visa följande parametrar:

- Energi
- Effekt
- Cos fi
- Strömmar
- Reaktiv effekt

Dessa elmätare klassas i enlighet med mätinstrumentdirektivet (MID) samt International Electrotechnical Commission (IEC). Elmätare som används i funktionskontrollen rekommenderas inneha klass B enligt MID (EN504 70-3) eller klass 1 enligt IEC (EN 62053-21) dvs. en onoggrannhet som understiger ±1%.

Används frekvensomformare kan dessa oftast fås med energi- och effektmätare som dels kan avläsas direkt på plats men också anslutas till det överordnade styr- och övervakningssystemet. Nackdelen med dessa är att de oftast inte är certifierade mätare och att mätnoggrannheten inte kan säkerställas, i vissa produktblad för denna typ av utrustning anges det att noggrannheten är kring ±5% men att tillverkaren inte kan garantera att det stämmer.

Portabel mätutrustning
I de fall då fasta mätare inte installeras finns ett flertal olika typer av portabel utrustning att använda sig av. För portabel mätutrustningen finns det ingen standard eller klassning på samma sätt som för de fasta mätarna, däremot anges alltid vilken mätnoggrannhet de levererar. För den portabla mätutrustningen rekommenderas en onoggrannhet som understiger ±1%.

<u>Multimeter</u>
Finns olika typer men de flesta mäter bland annat

- Spänning
- Strömmar
- Frekvens
- Resistans
- Kapacitans

Tångampermeter
Portabel utrustning som placeras runt kabeln i fråga. Även här finns olika typer med bland annat följande kan de mäta:

- Spänning
- Strömmar
- Frekvens
- Effekt

Eleffekt-/energilogger
Vid mätning under en längre tid används en logger som sparar uppmätta värden. Dessa finns i olika typer men de brukar vara försedda med möjlighet för mätning av följande:

- Strömmar
- Spänning
- Effekt
- Energi
- Cos fi

5.2.5 Mätning av temperatur

Generellt är det två olika metoder som används för mätning av temperatur, insticks-/doppmätning eller lufttemperaturmätning, men det går också att använda sig av exempelvis anliggningsmätning.

Vid temperaturmätning skiljer man mellan vilken givartyp mätaren använder (teorin för funktionen hos dessa redovisas ej i denna rapport):

- Termoelement, dessa finns i olika typer med olika mätområden och noggrannhet och regleras i standarden EN 60584-1.
- Motståndssensorer (PT100), även dessa utförs med olika noggrannhet vilket regleras i standarden EN 60751.
- Termistorer (NTC), finns ingen standard som reglerar noggrannheten på dessa givare.

Dessa tre har olika snabb respons, noggrannhet och mätområde därför skall typ av givare väljas utefter den mätning som skall utföras. Generellt kan sägas att utrustningens noggrannhet blir bättre om mätområdet inte är allt för stort, och om den är anpassad för de temperaturer som avses mätas. Det vill säga att är det temperaturer i området -25°C till +35°C som är intressanta skall utrustningen man använder sig av anpassas för det spannet.

I system för ”vanliga fastigheter” så som kontor, handelslokaler, skolor etc. skall utrustning fast såsom portabel väljas så att mätinstrumentets noggrannhet ej överstiger ±0,3°C.

5.2.6 Mätning av värme- och kylenergi

Klassningen på värmemängdsmätare styrs av europastandarden SS-EN 1434.

Enligt *Svebyprogrammets Projektrapport "Verifiering av byggnaders energiprestanda genom mätning"* skall värmemängdsmätare samt mätare för kylenergi maximal ha en onoggrannhet på ±3% vid nominellt flöde. De mätare som används för funktionskontrollen samt mätning och uppföljning rekommenderas de följer SS-EN 1434 samt har en maximal onoggrannhet på ±3% vid nominellt flöde.

Fast installerad mätutrustning
Mätartyp väljs för att uppnå ovanstående mätnoggrannhet enligt SS-EN 1434.

Fjärrvärme
I de fall då fastigheten använder fjärrvärme används med fördel energibolagets abonnemangsmätare på inkommande ledning. Denna mätare kan beställas med extra utgångar för att ha möjlighet till egen avläsning.

Olja, biobränsle mm
Levererad volym eller vikt av bränslet mäts och omvandlas till kWh med hjälp av bränsletypens värmevärde.

Värme genererad av el
Separat elmätare installeras för mätning av levererad energi till värmeproduktionsanläggning så som värmepump eller likvärdigt (för elmätare se under kapitel 5.2.4).

Undermätning av värmeenergi
För en komplett bild av värmeanvändningen placeras värmemängdsmätare på ledningar till exempelvis värmebatterier, fläktluftvärmare mm

Fjärrkyla
I de fall då fastigheten använder fjärrkyla används med fördel energibolagets abonnemangsmätare på inkommande ledning. Denna mätare kan beställas med extra utgångar för att ha möjlighet till egen avläsning.

Kyla genererad av el
Separat elmätare installeras för mätning av levererad energi till kylproduktionsanläggning så som värmepump eller likvärdigt (för elmätare se under kapitel 5.2.4).

Undermätning av kylenergi
För en komplett bild av kylenergianvändningen placeras kylenergimätare på ledningar till exempelvis kylbatterier, kylbaffelsystem till olika hyresgäster mm

5.2.7 Mätning av tappvatten

Enligt *Svebyprogrammets Projektrapport "Verifiering av byggnaders energiprestanda genom mätning"* skall mätare för tappvatten maximal ha en onoggrannhet på ±5% vilket också är det som rekommenderas för mätare i funktionskontrollen.

5.2.8 Mätning av tryck och luftflöden i luftbehandlingsaggregat och kanalsystem

Fast installerad mätutrustning
När det handlar om mätning av totalflöden och tryck för ett aggregat skall det i första hand eftersträvas att använda de av tillverkaren installerade givarna i aggregatet. I dessa fall bör man ställa krav på tillverkaren att metodfelet uppgår till maximalt ±5%.

Portabel mätutrustning
Mätning av luftflöden skall utföras enligt skriften *T2:2007 - Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer*. För flödesmätning i kanaler skall någon av metoderna i grupp A användas i och med detta kan ett metodfel på ca ±5% förväntas.

Generellt rekommenderas det att systemet förbereds med fasta mätuttag i den mängd som erfordras för projektet.

5.3 Prestandamätning

Vid kontroll av prestandan hos projektets system eller komponenter kommer det bli aktuellt med dels den fast installerade mätutrustningen, men också med portabel utrustning och beräkningar.

Ett annat alternativ som kan vara aktuellt när det kommer till kontroll av prestanda hos enskilda komponenter är att beställarens kontrollant medverkar vid laboratorietester hos leverantörer.

5.3.1 Verifiering av inomhusklimat

Det primära med de tekniska systemen är ofta att skapa ett termiskt klimat som uppfyller de krav som är relevanta för verksamheten. Det kan handla om speciella krav på exempelvis lufttemperatur, yttemperaturer, lufthastighet eller relativ fuktighet.

För att göra det möjligt att verifiera att de ställda kraven uppfylls är det viktigt att det i kravställningen för inomhusklimatet framgår vid vilka förhållande det gäller. Det kan vara punkter så som:

- Definition av vistelsezon
- I vilka utrymmen gäller vilka krav
- Vid vilket utomhustillstånd gäller kraven

- Vid vilken internlast gäller kraven
- Hur länge skall mätning utföras för att verifiera kraven?
- Etc

Vid verifikationen av inomhusklimatet sker mätningar av respektive storhet i representativa utrymmen. I första hand skall mätningar utföras så nära dimensionerande förhållande som möjligt om detta ej är möjligt görs eventuella korrigeringar för avvikelser från dimensionerande förhållande.

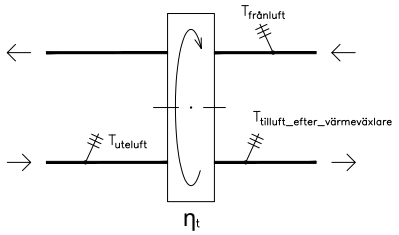
5.3.2 Verifiering av temperaturverkningsgrad för värmeväxlare

Värmeväxlaren har en stor betydelse för energieffektiviteten hos ett luftbehandlingssystem och bör kontrolleras avseende verkningsgrad vid funktionskontrollen. Funktionen hos värmeväxlaren bör också alltid övervakas via i luftbehandlingsaggregatet inbyggda givare.

För att uppnå så korrekta värden som möjligt skall det alltid eftersträvas att utföra samtlig prestandaprovning så nära dimensionerande förhållande som möjligt. I och med att det är svårt att uppnå rätt förhållande på samtliga ingående parametrar är det nödvändigt att värmeväxlaren levereras med diagram, tabeller eller motsvarande där det går att utläsa hur prestandan varierar med exempelvis lufttillståndet på uteluften.

Redovisning av produktdata
Redovisning av produktdata från tillverkarna skall ske enligt SS-EN 308:1997. Utöver detta bör också ett diagram, tabeller eller motsvarande enligt stycket ovan bifogas.

Definition av temperaturverkningsgrad
Temperaturverkningsgraden för en värmeväxlare beräknas enligt:



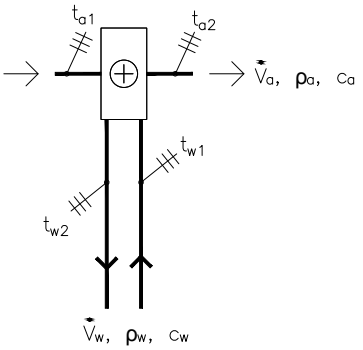
$$h = \frac{T_{tilluft_efter_värmeväxlare} - T_{uteluft}}{T_{frånluft} - T_{uteluft}} \quad , \quad \%$$

Lufttemperaturhöjning över tilluftsfläkten
Temperaturhöjningen över tilluftsfläkten är direkt proportionell mot tillförd eleffekt och beräknas enligt:

$$\Delta t = \frac{\dot{W}}{\dot{V}_a \cdot r_a \cdot c_{p,a}} \quad , \quad [°C]$$

$\dot{W}$ = aktiv eleffekt till fläkten (kW)
$\dot{V}_a$ = luftflöde över fläkten (m^3/s)
r_a = rådande densitet i luften (kg/m^3)
$c_{p,a}$ = luftens specifika värmekapacitet (J/kgK)

Lufttemperaturhöjningen över värmebatteriet
Temperaturhöjningen av luften över värmebatteriet kan beräknas enligt formeln nedan.



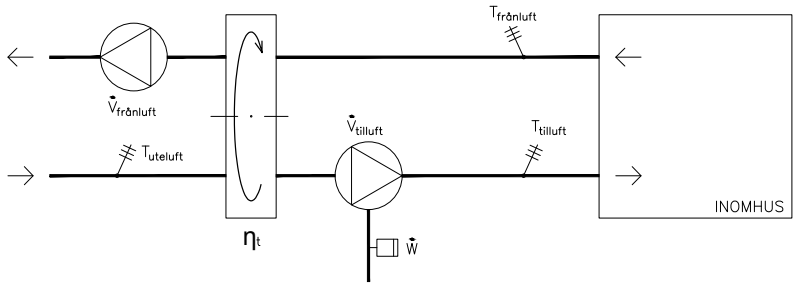
$$\Delta t_a = \frac{\dot{V}_w \cdot r_w \cdot c_{p,w} \cdot \Delta t_w}{\dot{V}_a \cdot r_a \cdot c_{p,a}} \quad , \quad [°C]$$

$\Delta t_a = t_{a2} - t_{a1}$ (°C)
$\Delta t_w = t_{w1} - t_{w2}$ (°C)
$\dot{V}_a$ = luftflöde över fläkten (l/s)
$\dot{V}_w$ = vätskeflöde i batteriet (l/s)
r_a = luftens densitet (kg/m^3)
r_w = vätskans densitet (kg/m^3)
$c_{p,a}$ = luftens specifika värmekapacitet (J/kgK)
$c_{p,w}$ = vätskans specifika värmekapacitet (J/kgK)

Verifiering av prestandan
Enligt definitionen av värmeväxlarens temperaturverkningsgrad så verkar det i en första anblick ganska enkelt att verifiera prestandan. Hade det funnits bra mätpunkter innan och efter värmeväxlaren i luftbehandlingsaggregatet, hade det också varit relativt enkelt. I praktiken blir det dock mer komplicerat då det vare sig är kostnads- eller yteffektivt att bygga luftbehandlingsaggregat med dessa förutsättningar.

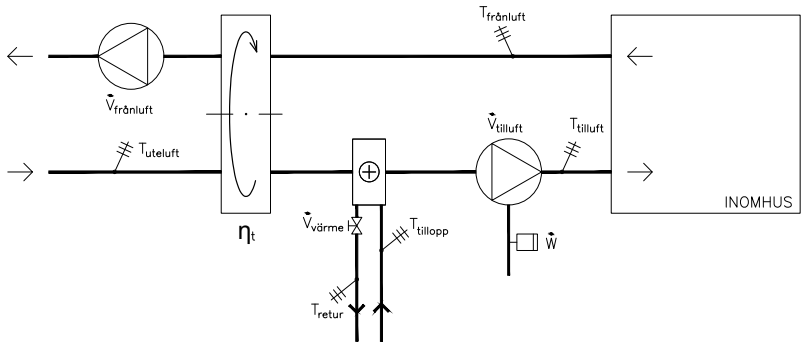
Idag finns ingen standard för hur mätning och verifiering av prestandan hos värmeväxlare skall utföras. I europastandarderna *”SS-EN 305 Värmeväxlare – Definition av prestanda för värmeväxlare och generell provningsrutin för att fastställa prestanda för alla typer av värmeväxlare”* och *”SS-EN 306 Värmeväxlare – Metoder för att mäta de nödvändiga parametrarna för att fastställa prestanda”* återfinns metoder för att mäta ingående parametrar var för sig, men inte hur prestandan hos värmeväxlaren som helhet verifieras. Med vetskapen om att det är komplicerat att verifiera prestandan i fält för en värmeväxlare i ett luftbehandlingsaggregat presenteras nedan ett antal förslag till hur detta trots allt kan genomföras. Efter metodförslagen presenteras också det förväntade metodfelet som beräknas uppträda.

<u>Alt 1. Kontroll av temperaturverkningsgrad i ett luftbehandlingsaggregat utan värmebatteri</u>



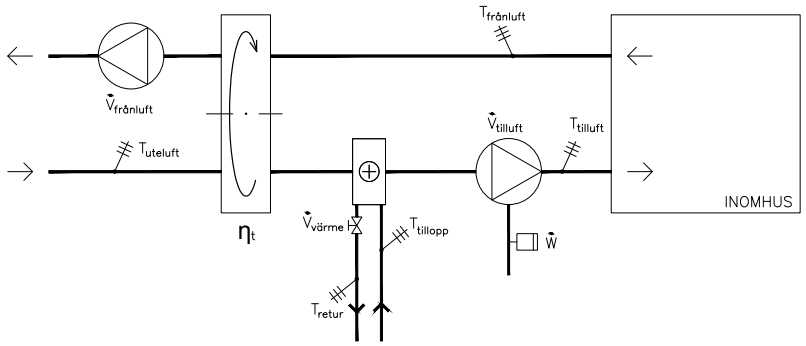
1. Luftflödet i till- och frånluft mäts.
2. Temperaturen mäts i till-, från- och uteluftskanalen.
3. Eleffekten tillförd till tilluftsfläkt mäts.
4. Temperaturhöjning över tilluftsfläkt beräknas enligt ovan.
5. Temperaturverkningsgraden för värmeväxlaren med ett avdrag för höjning över fläkt beräknas enligt ovan.

Alt 2a. Kontroll av temperaturverkningsgrad i ett luftbehandlingsaggregat med värmebatteri innan fläkt



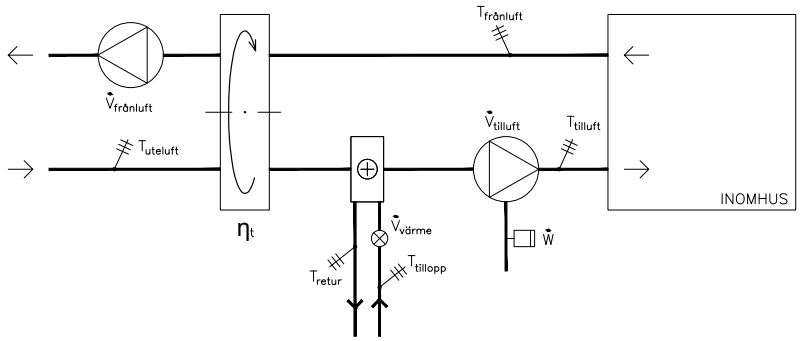
1. Vätskeflödet till värmebatteriet stryps till 0 l/s och vänta till batteriet är svalt.
2. Luftflödet i till- och frånluft mäts.
3. Temperaturen mäts i till-, från- och uteluftskanalen.
4. Eleffekten tillförd till tilluftsfläkt mäts.
5. Temperaturhöjning över tilluftsfläkt beräknas enligt ovan.
6. Temperaturverkningsgraden för värmeväxlaren med ett avdrag för höjning över fläkt beräknas enligt ovan.

Alt 2b. Kontroll av temperaturverkningsgrad i ett luftbehandlingsaggregat med värmebatteri innan fläkt



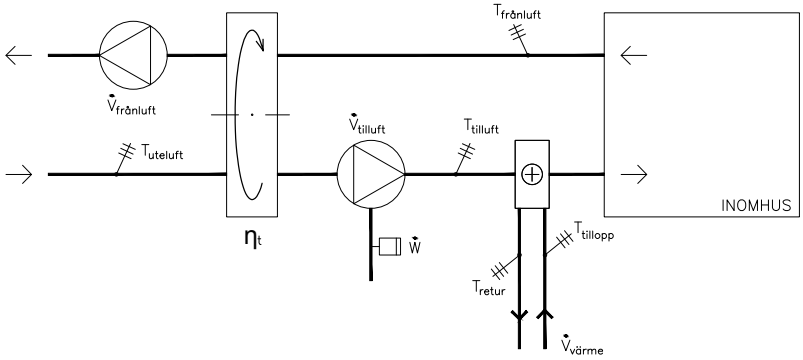
1. Vätskeflödet över värmebatteri bestäms utifrån injusterat värde.
2. Temperatur tillopp och retur till värmebatteri mäts.
3. Luftflödet i till- och frånluft mäts.
4. Temperaturen mäts i till-, från- och uteluftskanalen.
5. Eleffekten tillförd till tilluftsfläkt mäts.
6. Temperaturhöjning över tilluftsfläkt beräknas enligt ovan.
7. Temperaturverkningsgraden för värmeväxlaren med ett avdrag för höjning över fläkt och värmebatteri beräknas enligt ovan.

Alt 3. Kontroll av temperaturverkningsgraden i luftbehandlingsaggregat värmebatteri innan fläkt samt värmemängsmätare/flödesmätare på ledning till värmebatteri



1. Vätskeflödet över värmebatteri mäts upp.
2. Temperatur tillopp och retur till värmebatteri mäts.
3. Luftflödet i till- och frånluft mäts.
4. Temperaturen mäts i till-, från- och uteluftskanalen.
5. Eleffekten tillförd till tilluftsfläkt mäts.
6. Temperaturhöjning över tilluftsfläkt beräknas enligt ovan.
7. Temperaturverkningsgraden för värmeväxlaren med ett avdrag för höjning över fläkt och värmebatteri beräknas enligt ovan.

Alt 4. Kontroll av temperaturverkningsgraden i luftbehandlingsaggregat värmebatteri efter fläkt



1. Luftflödet i till- och frånluft mäts.
2. Temperaturen mäts i till-, från- och uteluftskanalen.
3. Eleffekten tillförd till tilluftsfläkt mäts.
4. Temperaturhöjning över tilluftsfläkt beräknas enligt ovan.
5. Temperaturverkningsgraden för värmeväxlaren med ett avdrag för höjning över fläkt beräknas enligt ovan.

Metodfel
Det förväntade metodfelet för dessa mätningar kan förväntas bli xxxx %.

Korrigeringar
Som tidigare nämndes kan det bli aktuellt att korrigera de uppmätta och beräknade värdena då de inte motsvarar de dimensionerande värdena. Det handlar om korrigeringar med avseende på:

- Ej balans mellan till- och frånluftsflöde
- Avvikelse i luftdensitet, temperatur, RF
- Avvikelse i varvtal hos värmeväxlare
- …

5.3.3 Verifiering av SFP_v för luftbehandlingsaggregat

SFP_v definieras enligt:

$$SFP_v = \frac{\dot{W}_t^{Tilluft} + \dot{W}_t^{Frånluft}}{\dot{V}_{Max}} \quad , \quad \left[\frac{kW}{m^3/s}\right]$$

$\dot{W}_t^{Tilluft}$ = aktiv eleffekt till tilluftsfläkten (kW)
$\dot{W}_t^{Frånluft}$ = aktiv eleffekt till frånluftsfläkten (kW)
$\dot{V}_{Max}$ = det maximala luftflödet av från- och tilluft (m^3/s)

För att verifiera SFP_v mäts luftflödet och eleffekten till berörd fläkt samt att värdena korrigeras med avseende på avvikelser från dimensionerande värden. Utförandet av verifieringen av SFP_v skall följa europastandard SS-EN 13779, där även metod för mätningarna finns beskriven.

5.3.4 Verifiering av värmeeffekt

Mätningen för värmesystem skall ske under den kallaste sjudagarsperioden under året.

<u>Värmeeffekt och specifik värmeeffekt värmesystem</u>
Temperaturer i tillopp och retur mäts och jämförs med projekterat värde för aktuell utomhustemperatur.

Tillförd effekt bestäms genom att tillförd energi till värmesystemet, inom- och utomhustemperaturer mäts under den kallaste sjudagarsperioden.

Värmeeffekt och specifik värmeeffekt beräknas sedan enligt:

$$\text{Tillförd värmeeffekt} = \frac{\text{Uppmätt energi}}{\text{Mätperiod}} \frac{[Wh]}{[h]}, [W]$$

$$\text{Specifik värmeeffekt} = \frac{\text{Tillförd värmeeffekt}}{\text{Medelutomhustemperatur}} \frac{[W]}{[°C]}, \left[\frac{W}{°C}\right]$$

De uppmätta och beräknade värdena jämförs med projekterade värden för samma utomhustemperatur.

5.4 Uppföljning av energianvändningen för hela byggnaden och/eller enskilda system

Där energimätare installeras så bör även larm erhållas vid avvikelser från beräknat börvärde i realtid. Systemet beräknar en prognos för årsenergin och jämför med aktuell energibudget. Energisamordnaren i projektet bestämmer vid vilka gränsvärden som larm skall utgå.

Under projekteringen bestäms hur uppföljningen under garantitiden skall ske. Exempelvis kan det se ut som följande:

> ”Under garantitiden skall det varje år vid lämpliga yttre förutsättningar utföras prov för att verifiera att ställda mätbara krav uppfylls. Mätperioden skall vara i sju dygn där timvärden registreras. Varje år när mätningen är utförd redovisas resultatet i en skriftlig rapport.
>
> Prestandaprovning av ingående komponenter utförs en gång per år under garantitiden. Vid de fall då speciella yttre förhållande krävs utförs provningen på en tidpunkt då dessa förhållanden (eller så likna som möjligt) erhålls, i annat fall utförs provningen första onsdagen i oktober.”

Det är viktigt att entreprenören är med på vad som gäller då denne handlas upp. Hur uppföljningen kommer gå till, vilka mätmetoder som skall användas och hur mätvärdena analyseras och utvärderas. Som ytterligare incitament för att få de önskade effekterna kan beroende av resultatet från de årliga mätningarna antingen vite eller belöning betalas ut till entreprenören. Se *Bilaga 8 - Exempeltexter till AF, AB04 och ABT06*.

6 LITTERATUR

Sammanställning av litteratur som det hänvisats till.

Föreningen V – Beräkning och kontroll av SFPv-värden

SS-EN 13779

R1

Svensk ventilation - Temperaturverkningsgrad i värmeväxlare för till- och frånluftssystem. Riktlinjer för redovisning av produktdata.

Svebyprogrammet – Verifiering av byggnaders energiprestanda genom mätning - Handledning

T2:2007