



# Guideline till mätschema för energimätningar vid sågverk

Oskar Räftegård, Anders Lycken, Marcus  
Olsson, Thomas Wamming, Roger Nordman,  
Jan-Erik Andersson

# Guideline till mätschema för energimätningar vid sågverk

Oskar Räftegård, Anders Lycken, Marcus Olsson, Thomas Wamming, Roger Nordman,  
Jan-Erik Andersson

## **Abstract**

This report describes a guideline for energy audit measurements in saw mills. The guideline is based on the experiences gathered by doing measurements within the Energy Efficiency in the Sawmill Industry – EESI project. Measurement results from this project is reported in a separate report.

The measurement scheme presented in this report is based on the energy users in the saw mill.

The measurement scheme is developed in such a way that a plant operator not so experienced with energy audits should be able to perform the audit.

**Keywords:** Energy, Audit, measurement scheme,

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2011:45  
ISBN 978-91-86622-75-6  
ISSN 0284-5172  
Borås, Stockholm, Skellefteå 2011

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>4</b>
<b>Förord</b>	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>6</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2 Mätschema Såghus</b>	<b>8</b>
2.1 Dokumentering av mätpunkt	9
2.1.1 Loggning	10
2.1.2 <i>Byggnadsdata "Såghus":</i>	11
2.1.3 <i>Produktionsutrustning:</i>	11
2.2 Klimat	12
2.3 Produktion	12
<b>3 Mätschema Torkhus</b>	<b>13</b>
3.1 Dokumentering av mätpunkt	15
3.1.1 Mätpunkt Värme	15
3.1.2 Mätpunkt Elektricitet	16
3.1.3 Loggning av klimat i torken	16
3.1.4 Loggning Utomhustemperatur	17
3.2 Torkutrustning:	18
3.2.1 Evakueringsfläkt/ventilering frånluft:	18
3.2.2 Värmebatteri	18
3.2.3 <i>Torkens kondition (subjektiva bedömningar):</i>	20
3.3 Torkprogram	22
3.3.1 <i>Utvärdering av värmeåtervinning:</i>	23

## Förord

Denna rapport är en del i rapporteringen av Fas 1 av projekt EESI – Energieffektivisering i sågverksindustrin, som pågått från januari 2010 till juni 2011. Rapporten är skriven främst för sågverkens personal, både i ledning och operativa funktioner.

Rapporten beskriver en guideline för vilka mätningar som bör utföras vid sågverk vid en fullständig kartläggning av energianvändningen. Rapportens guideline baseras på erfarenheter som dragits vid mätningar av energianvändningen vid sågverk inom projektet ”Energieffektivisering i Sågverk – EESI”. Mätresultat från projektet redovisas i en separat rapport till detta projekt.

Projektet är finansierat av Energimyndigheten och deltagande industrier, som varit Bergs Timber AB, Bergkvist-Insjön AB, Norra Skogsägarna, Norrskog, SCA Timber AB, Blyberg Sveg Timber, AB Siljan Timber AB och Swedwood.

Arbetet har utförts av SP Energiteknik, SP Träteknik och de deltagande industrierna.

## **Sammanfattning**

Rapporten beskriver en guideline för vilka mätningar som bör utföras vid sågverk vid en fullständig kartläggning av energianvändningen. Rapportens guideline baseras på erfarenheter som dragits vid mätningar av energianvändningen vid sågverk inom projektet ”Energieffektivisering i Sågverk – EESI”. Mätresultat från projektet redovisas i en separat rapport till detta projekt.

Rapportens mätschema utgår från att mätningar utförs på användare av energi.

Mätschemat är utformat på ett sådant sätt att det skall kunna användas av sågverkspersonal som inte är energiexperter.

# 1 Inledning

Vid en fullständig energikartläggning av ett sågverk finns hundratals motordrifter, samt ett flertal användare av termisk energi. Att mäta alla dessa drifter kan te sig mer eller mindre omöjligt. Ofta grupperas drifter ihop i olika stationer, vilket gör att det inte alltid är självklart vilka drifter som ingår i vilken del av sågverket. Skulle man å andra sidan endast mäta ingående energier till sågverket tappar man upplösningen av var energin används inom verket, och därmed tappar man möjligheten att identifiera var effektiviseringspotentialen finns inom sågverket. I detta projekt har därför sågverket delats upp i ett antal zoner efter verksamhet. Dessa zoner är en bra utgångspunkt vid en kartläggning, då de ger en hygglig upplösning och samtidigt inte kräver orealistiskt mycket mätningar.

För vissa enskilda större drifter kan man utföra enskilda mätningar över driften, för att ge proportionerna av större drifter relativt den totala energianvändningen inom respektive zoner.

Dokumentationen av mätningar som görs bör innehålla bilder som visar dels de drifter som mäts, dels inkopplingen av mätutrustningen, då detta kan ge värdefull information ifall otydligheter uppstår vid utvärdering av mätdata. Likaledes viktigt är det att klargöra konditionen av den utrustning som mäts.

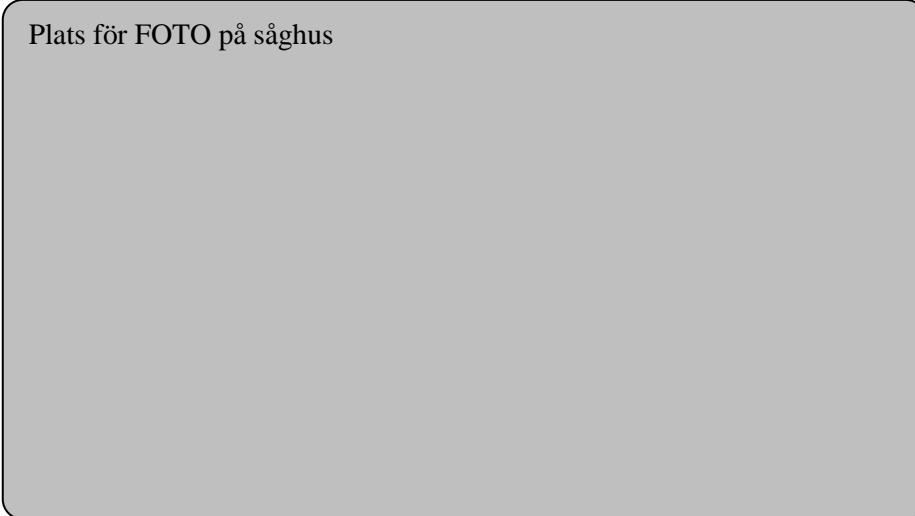
Mätscheman för mätning av energianvändning i denna rapport utgår från användarna, ej produktionsenheter.

I avsnitt 2 presenteras mätschema för såghus, och i avsnitt 3 mätschema för Torkhus.

## 2 Mätchema Såghus

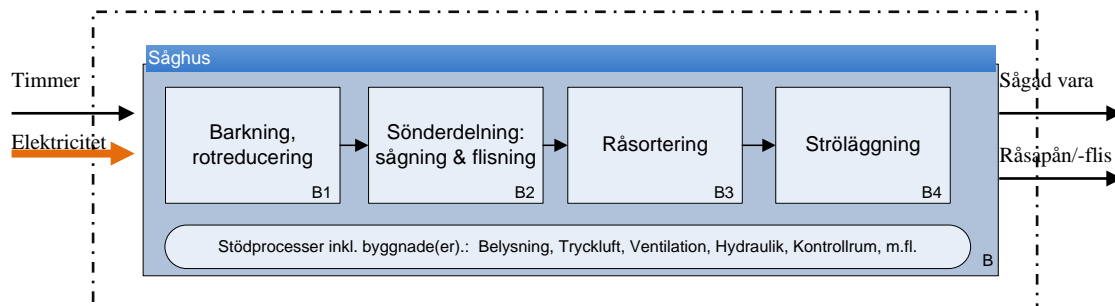
Företag/anläggning: \_\_\_\_\_

Plats för FOTO på såghus



### Syfte

Syftet är att logga den totala elanvändningen för hela ”såghus-zonen” genom att (om möjligt) endast mäta på en enda plats under en vecka. Eventuellt behövs mätningar på fler ställen för att räkna bort eller inkludera någon process. Energianvändningen skall därefter kunna jämföras med andra sågverk per intaget timmer, sågad vara, etc.



OBS! Målet är att EN ENDA loggning ska behövas, i vissa fall eller av eget intresse kan flera loggningar göras.

*KURSIV stil är över lag icke-obligatoriska uppgifter.*



## 2.1 Dokumentering av mätpunkt

Namn på viktigaste mätpunkt/grupp/fack: \_\_\_\_\_  
 Loggning startad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD) Loggning stoppad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD)

Namn på mätpunkt/grupp/fack: \_\_\_\_\_  
 Loggning startad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD) Loggning stoppad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD)

Namn på mätpunkt/grupp/fack: \_\_\_\_\_  
 Loggning startad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD) Loggning stoppad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD)

Namn mätpunkt/grupp/fack: \_\_\_\_\_  
 Loggning startad: : \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD) Loggning stoppad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD)

Fyll i namn på mätpunkten och fyll i vad som ingår i mätningen:  
 (De extra mätpunkterna används för av- eller tillräkning av energi)

**"Såghus-zonen"**

**Mätpunkt**

Elektricitet →

Mätpunkt

Elektricitet →

Mätpunkt

Elektricitet →

Mätpunkt

Timmer →

**Kryssa i det som ingår i såghus-zonen:**

- Barkmaskin
- Såg
- Råsortering (plank/bräder)
- Ströläggning (plank/bräder)
- Transportörer (Barkmaskin - Ströläggning)
- Flishugg
- Allmän- och processventilation
- Allmänbelysning
- Tryckluft (för såghusprocesser)
- Hydraulik (för såghusprocesser)
- Kontrollrum (om del av såghuset och inte i en egen fristående kontorsbyggnad)
- Elvärme för komfort (radiatorer, byggfläktar)

Följande ska helst inte ingå, om det ändå ingår fyll i kryss:

- Transformator(förluster)
- Panncentral
- Bevattningspumpar
- Strålkastare (utomhus)
- Justerverk
- Mätstation
- Fristående kontorsbyggnad(er), yta: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
- Hyvleri
- Uttag motorvärmare till truckar: \_\_\_\_\_ st
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

Elektricitet →

Mätpunkt

Elektricitet →

Mätpunkt

Plank+brädor →

### 2.1.1 Loggning

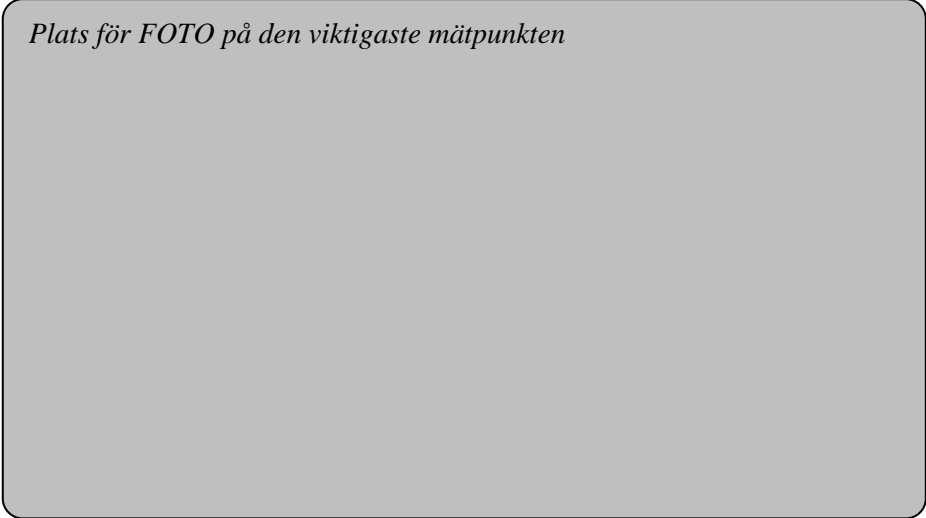
Total aktiv energi, kWh, per 15 minuter eller kortare intervall loggas. Alternativt kan t.ex. aktiv medeleffekt kWa per 15 minuter loggas. *Reaktiv energi kan loggas om så önskas.*

Detta innebär att ström och spänning mäts på samtliga tre faser samt nolledare.

Loggningen startas så nära hel kvart som möjligt! T.ex 13:00, 13:15, 13:30 eller 13:45.  
Mätperioden skall vara minst en vecka, d.v.s. minst 168 timmar och 00 minuter.

*Extra av- eller tillräkningspunkter som har en liten energianvändning behöver bra loggas ett dygn.*

*Plats för FOTO på den viktigaste mätpunkten*



DENNA SIDA ÄR FRIVILLIG ATT FYLLA I

### **2.1.2 Byggnadsdata "Såghus":**

Byggnad(er): \_\_\_\_\_

Byggår: \_\_\_\_\_

Bruttoyta(or) \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
(golvytor "innanför vägg" inkl källare/vind)

Takhöjd(er): \_\_\_\_\_ meter

### **2.1.3 Produktionsutrustning:**

Fabrikat barkmaskin(er): \_\_\_\_\_

Modell barkmaskin: \_\_\_\_\_

Tillverkningsår barkmaskin: \_\_\_\_\_

Plats för FOTO på barkhus

Fabrikat såglina/or: \_\_\_\_\_

Modell såglina: \_\_\_\_\_

Tillverkningsår: \_\_\_\_\_

Plats för FOTO på såglina

## 2.2 Klimat

Beskriv huvudsakligt klimat under loggningen, en till två val:

- Vinter, riktigt kallt
- Vinter, kallare än 0°C
- Gråtrist kring nollan, inte så soligt
- Vårvinter med kalla nätter och varma soliga dagar
- Sommar, grått, mulet, regnigt
- Sommar, soligt

## 2.3 Produktion

Parametrarna nedan loggas löpande med processövervakningssystemet, alternativt fylls i manuellt för varje skift.

*Om parametrarna inte bifogas loggningen antas att intresse saknas för närmare jämförelse av olika såghus. Ditt såghus kommer då enbart att ingå i den övergripande jämförelsen och du kommer inte heller att få tillgång till de mer detaljerade jämförelser som görs av andras såghus inom EESI.*

### Följande parametrar är av intresse:

- a. Postning
- b. Medellängd
- c. Timmerklass
- d. Hastighet, stockar/min; bitar/min
- e. Stocklucka
- f. Träslag
- g. Utbyte
- h. Fruset virke (ja/nej)
- i. Bevattnat (ja/nej)
- j. Öväntade händelser (fastkörning, klingbrott, ...)

I de allra flesta fall är det möjligt att logga data i processtyrningssystemet. Dessa kan sedan exporteras med tidskodade data till en tabb- eller kommaseparerad textfil (.csv) eller Excel.

Saknas denna möjlighet och det inte är möjligt att skaffa nödvändig mjukvara inom ramarna för projektet skrivs produktionen manuellt för varje skift i en tabell under mätperioden.

### 3 Mätschema Torkhus

Företag/Anläggning: \_\_\_\_\_

Torknamn/id: \_\_\_\_\_

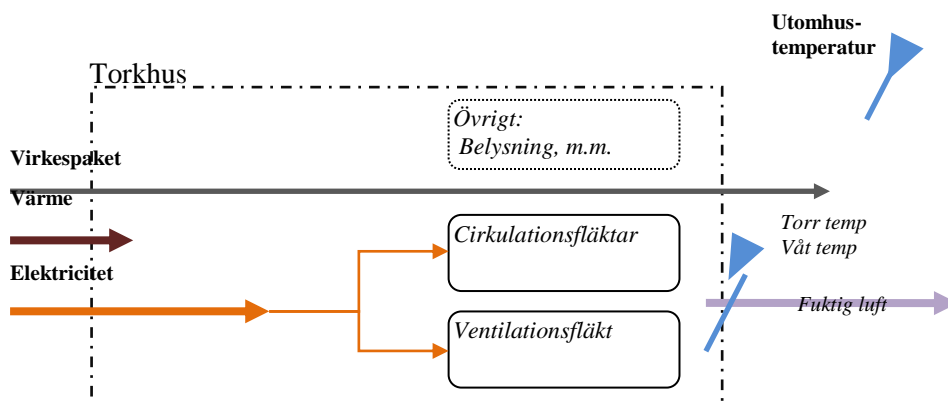
Plats för FOTO på torkhuset

#### Syfte

Huvudsyftet är att logga den totala elanvändningen och värmeanvändningen för en tork och minst ett torkprogram.

Loggning görs av el- och värmeenergi till torkhuset utomhustemperatur och klimat i torken. Loggningens längd beror på hur många torkprogram som skall loggas.

Möjlighet finns att mäta torkens värmeläckage och värmeåtervinningens prestanda.



*KURSIV stil är över lag icke-obligatoriska uppgifter.*

***Vad ska jämföras och mätas?***

Huvudsyftet är att jämföra olika torkar och torkprogramms värme- och elanvändning med varandra.

Nedan finns ett antal *FRIVILLIGA* förslag/önskemål för att öka möjligheterna att jämföra olika torkar och torkprogram med varandra.

***Olika torkprogram samma tork***

*Kör liknande dimensioner och ingående fuktkvot, men med olika torkprogram, för att jämföra korta med långa program, "pumpning", etc.*

***Enhetliga dimensioner***

*För att öka jämförbarheten mellan olika sågverk är det en fördel om liknande dimensioner torkats. I den mån det finns möjlighet att påverka vad som torkas är följande att föredra:*

- Grov plankdimension: 63x175*
- Normal plankdimension: 50x150*
- Klen plankdimension: 32x125*
- Bräder: 16-25x75-150*

***Energiläckage genom väggar och portar***

*Genom att köra torken tom i ca 2 timmar kan energiläcket genom klimatskalet bestämmas.*

*Körning görs med tom tork, avstängd ventilation och stängda portar, men med cirkulationsfläkt och värme inställd till en hög temperatur, t.ex. 80°C.*

*Kör ca 2 timmar och kontrollera att tillförd värmeeffekt har varit stabil sista 45 minutrarna.*

*Har du ingen värmemätning, stäng av värmen efter någon timme och låt torken gå ytterligare 2-3 timmar med enbart cirkulationsfläktar till dess att temperaturen är stabil.*

*Observera att intilliggande torkars temperatur påverkar resultatet*

***Värmeåtervinning***

*Beräkning av värmeåtervinningens prestanda.*

*Stäng av värmeåtervinningen i minst 1 timme och 00 minuter.*

*Upprepa 3-5 gånger med minst några timmars mellanrum.*

*Om våt- och torrtemperatur i/vid frånluften loggas kan väsentligt bättre beräkning genomföras.*

## 3.1 Dokumentering av mätpunkt

### 3.1.1 Mät punkt Värme

Värme: namn på mätpunkt/rör: \_\_\_\_\_  
Loggning startad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD) Loggning stoppad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD)

Mätutrustningen monteras **före** shunt till värmebatterier, INTE mellan shunt och batteri.

Helst ska hela värmemängden inklusive ev basning loggas (kWh) samt fram- och returledningstemperatur (°C). Intervallet bör vara 15 minuter (eller kortare).

Loggningen startas så nära hel kvart som möjligt! T.ex 13:00, 13:15, 13:30 eller 13:45.  
Mätperioden skall vara minst ett helt torkprogram, men beroende på vad som är intressant att jämföra är troligen 2-3 torkprogram mer troligt.

Se vidare lathund för flödesmätare.

Plats för FOTO på mätpunkten

KRYSSA i rutorna nedan för det som ingår i värme-loggningen

- Värmebatterier
- Basning
- Finns ingen basning
- Basning sker med ånga vilket inte ingår i denna loggning
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

### 3.1.2 Mätpunkt Elektricitet

Värme: namn på mätpunkt/fack/grupp: \_\_\_\_\_  
 Loggning startad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD) Loggning stoppad: \_\_\_\_\_ (ÅÅ-MM-DD)

Total aktiv energi, kWh, per 15 minuter eller kortare intervall loggas för hela fläkthuset. Alternativt kan t.ex. aktiv medeleffekt kWa per 15 minuter loggas. *Reaktiv energi kan loggas om så önskas.*

Detta innebär att ström och spänning mäts på samtliga tre faser samt nolledare.

Loggningen startas så nära hel kvart som möjligt! T.ex. 16:00, 16:15, 16:30 eller 16:45. Mätperioden skall vara minst ett helt torkprogram, men beroende på vad som är intressant att jämföra är troligen 2-3 torkprogram mer troligt.

Fyll i vad som ingår i mätningen och ev. extra till/avräkning som gjorts via extra loggning av elektricitet.

Kryssa i det som ingår i el-mätningen:

<input type="checkbox"/>	Cirkulationsfläktar, antal: _____
<input type="checkbox"/>	Ventilationsfläktar, antal: _____
<input type="checkbox"/>	Vagnsmatning
<input type="checkbox"/>	Portmavövrering
<input type="checkbox"/>	Styr och regler
<input type="checkbox"/>	Belysning
<input type="checkbox"/>	Övrigt tokhusinternyt

Följande ska helst INTE ingå i mätningen, men sätt kryss om det gör det i alla fall:

<input type="checkbox"/>	Motorvärmrutttag
<input type="checkbox"/>	Gårdsbelysning - Strålkastartorn
<input type="checkbox"/>	Kontorsbyggnad, yta: _____ m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>	_____
<input type="checkbox"/>	_____

Mätpunkt

Elektricitet

Elektricitet

Mätpunkt

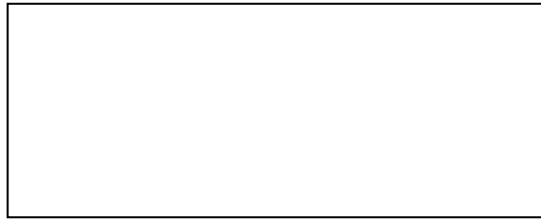
### 3.1.3 Loggning av klimat i torken

Loggning görs dels med fast befintlig utrustning som används av styr och regler systemet dels med TinyTag-logger. Följande loggas (om möjligt):

- våt- och torrtemperatur vid ventilationsfrånluft (befintlig fast utrustning)
- våt- och torrtemperatur efter värmebatterier (befintlig fast utrustning).
- Evakueringsfläktens styr/regler-signal [on/off eller frekvens] (bef. utrustning)
- TinyTag-logger placerad nära eller i ventilationsfrånluft. Helst ska givaren ge relevant värde även då evakueringsfläkt är avstängd
- TinyTag-logger placerad efter värmebatterierna och före inblandning av andra luftströmmar. Den bör dock inte placeras närmare värmebatteriet än 5 meter eller efter förändrad luftriktning, så att luften hinner blandas något (5 meter = 1-2 sekunder).



- Rita in luftriktningar, evakueringsfläktar, cirkulationsfläktar, värmebatterier och de fasta givare som används samt TinyTags. Sätt ut de beteckningar som används i loggfilerna.



Loggning görs med 15 minuters upplösning eller bättre. Loggning görs så att ett mätvärde erhålls per hel kvart, t.ex. 09:00, 09:15, 09:30, 09:45.

### **3.1.4 Loggning Utomhustemperatur**

Utomhustemperaturen mäts med hjälp av TinyTag eller motsvarande temperaturlogger. Även fukt mäts om loggern har denna funktion.

Loggern placeras utomhus på en skuggig plats där den ej blir störd av varma ångor, frånluft, värmeläckage genom tak, direkt soljus, påverkas av solvärmte svart tak, etc. Placering i tilluftintag fungerar utmärkt om fläkten alltid går, aldrig annars.

Intervallat bör vara 60 minuter eller kortare. 15 minuter är att föredra. Starta loggern så att den beroende på mätintervall mäter varje hel timme (om 60 min intervall) eller hel kvart om 15 min intervall.

Finns annan temperaturgivare i processdatorsystem kan denna användas OM och bara OM givaren bevisligen mäter  $\pm 1^\circ\text{C}$  eller bättre under HELA dygnet och oavsett solinstrålning.

## 3.2 Torkutrustning:

(kursiv stil = behöver EJ fyllas i)

**Huvudtyp:** kammar | kanal | flersteg tvärcirkulation

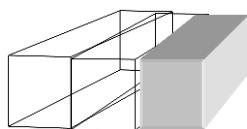
**Beskrivning:** \_\_\_\_\_ (t.ex. 3-steg tvärcirkulation, högtemperatur, etc.)

*Fabrikat:* \_\_\_\_\_ *Modell:* \_\_\_\_\_

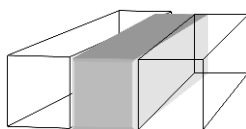
**Byggår:** \_\_\_\_\_ **Renoverad år:** \_\_\_\_\_

**Storlek** (längd x bredd x höjd): \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ meter

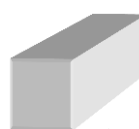
**Torkens placering i torkgruppen:**



Gavel  
(1 yttervägg)



Mitten  
(ingen yttervägg)



Fristående  
(2 ytterväggar)

**Byggmaterial:** Betong | Rostfritt | Aluminium | \_\_\_\_\_

*Väggisolering, material:* \_\_\_\_\_ *tjocklek:* \_\_\_\_\_ mm

*Takisolering, material:* \_\_\_\_\_, *tjocklek:* \_\_\_\_\_ mm

*Portisolering, material:* \_\_\_\_\_, *tjocklek:* \_\_\_\_\_ mm

*Bottenmaterial(+ev isolering):* \_\_\_\_\_

**Cirkulationsfläktar**

Antal: \_\_\_\_\_ Elmotor märkeffekt/st: \_\_\_\_\_ kW

*Fläkthjul fabrikat:* \_\_\_\_\_ *modell:* \_\_\_\_\_

*Elmotor fabrikat:* \_\_\_\_\_ *modell:* \_\_\_\_\_

### 3.2.1 Evakueringsfläkt/ventilering frånluft:

Antal: \_\_\_\_\_ Elmotor märkeffekt/st: \_\_\_\_\_ kW

*Fläkthjul fabrikat:* \_\_\_\_\_ *modell:* \_\_\_\_\_

*Elmotor fabrikat:* \_\_\_\_\_ *modell:* \_\_\_\_\_

### 3.2.2 Värmebatteri

*Antal:* \_\_\_\_\_ *Fabrikat:* \_\_\_\_\_

*Modellbeteckning:* \_\_\_\_\_

**Hur sker basning:** Nej | Hetvatten | Ånga

**Finns värmeåtervinning:** Ja/nej

*Fabrikat:* \_\_\_\_\_ *Modell:* \_\_\_\_\_

*Typ:* vätska | korsström/platt | annan

**Finns annan energisparande  
utrustning?** \_\_\_\_\_

---

---

---

\_\_\_\_\_

Detta kan t.ex. vara extra tjock isolering, kondenserande vägg, högeffektiva fläkthjul, energiklassade elmoterer, etc.

### 3.2.3 Torkens kondition (subjektiva bedömningar):

Hur bra är torken som tork på en skala 1-10: \_\_\_\_\_

- 1 = Ej duglig
- 5 = Knappast godkänd
- 7 = OK
- 8 = Bra
- 9 = Extremt bra
- 10 = Världsklass!

Väggarnas skick på en skala 1-10: \_\_\_\_\_

- 1 = Betydande hål och otätheter, isoleringen blöt och delvis upplöst
- 5 = Flertal mindre otätheter, isoleringen delvis blöt.
- 7 = Några små otätheter, delar av isoleringen är fuktig
- 10 = Helt tät vägg och torr isolering

Plats för FOTO på vägg

Portarnas skick på en skala 1-10: \_\_\_\_\_

- 1 = Buckligt portblad, kärvar väsentligt, sluter överhuvudtaget inte tätt.
- 5 = Portbladet skadat, betydande glipor, punkterad, tätlistor trasiga och/eller saknas
- 7 = Portbladet är helt med men sluter ej tätt med flertal glipor
- 10 = Fabriksnytt portblad som sluter 100% tätt mot mark och karm

Plats för FOTO på port

Flapsens skick och funktion på en skala 1-10: \_\_\_\_\_

- 1 = Flaps saknas helt och hållet
- 5 = Slitna och borde ha bytts
- 7 = OK
- 10 = Helt nya och tätar bra.

Hur bedömer du fläkthjulens skick på en skala 1-10: \_\_\_\_\_

1 = Skadade blad, kraftiga vibrationer som fortplantar sig i hela torken

5 = Skrovliga, gravrost som deformerat geometrin

7 = OK

10 = Nyskick

*Plats för FOTO på fläkt*



Hur bedömer du värmebatteriernas skick på en skala 1-10: \_\_\_\_\_

1 = Svårt försmutsade, korroderade, stora partier med skadade lameller

5 = Mycket smutsiga, begynnande korrosion på lameller, skadade lameller

7 = OK, delvis nästan blanka ytor, fåtal skadade lameller

10 = Nyskick

*Plats för FOTO på batteri*





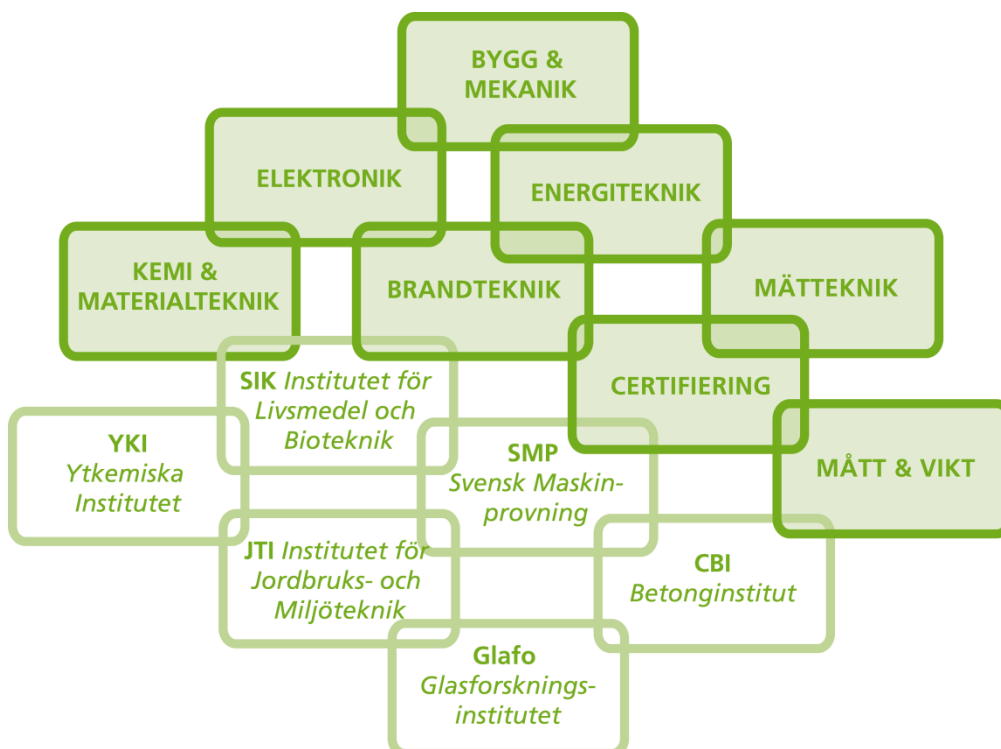
### **3.3.1 Utvärdering av värmeåtervinning:**

*Genom att stänga av värmeåtervinningen i minst 60 minuter kan återvunnen energi jämföras mot värdena före och efter stoppet. Detta bör genomföras vid minst 3 tillfällen, med minst 2 timmar mellanrum.*

<i>Nr</i>	<i>Datum</i>	<i>Stoppad klockslag (tt:mm)</i>	<i>Återstartad klockslag (tt:mm)</i>
<i>1</i>			
<i>2</i>			
<i>3</i>			
<i>4</i>			
<i>5</i>			

### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 9000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

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

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

Energiteknik

Bygg och Mekanik

SP Rapport 2011:45

ISBN 978-91-86622-75-6

ISSN 0284-5172