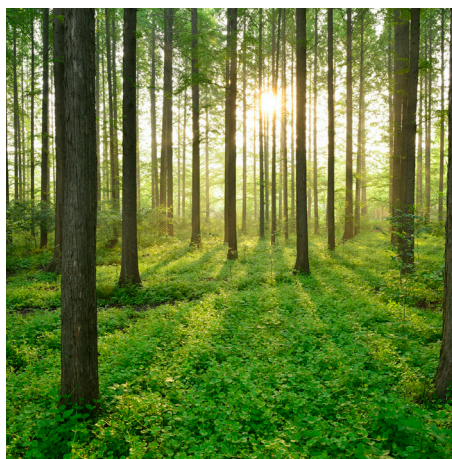


EFFEKTIVISERING AV TORKMASKINER

RAPPORT 2024:1065



SKOGSINDUSTRIELLA
PROGRAMMET



Effektivisering av torkmaskiner

JUSSI SEPPÄNEN, AFRY

ISBN 978-91-89919-65-5 | © Energiforsk dec 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Jussi Seppänen på AFRY har undersökt energiförbrukningen för ett antal torkmaskiner och identifierat parametrar som påverkar energiförbrukningen hos torkmaskiner. Energiförbrukning baserades på energiförbrukningsstatistik. Samtidigt utreddes vilka parametrar som påverkar energiförbrukningen med hjälp av data från styrsystemet.

Det finns stora möjligheter för svenska massa- och pappersbruk att göra åtgärder för att resurs- och energieffektivisera befintliga processer. I det här projektet får branschen en checklista över energieffektiviserande insatser, insatser som inte är så komplicerade att införa i befintlig verksamhet.

Marie Kofod-Hansen

Programansvarig för Skogsindustriella programmet

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Energiförbrukningen för fem torkmaskiner karterades baserat på energiförbrukningsstatistik. Samtidigt utreddes vilka parametrar som påverkar energiförbrukningen med hjälp av data från styrsystemet.

På torkmaskiner förbrukas ånga främst för avdunstning av vatten från massabanan i torkskåpet. Andra vanliga förbrukare av ånga är ånglådor, uppvärmning av olika typer av processvatten och maskinsalsventilation.

Ångförbrukningen i torkskåpet påverkas mest av torrhalten på massabanan efter presspartiet. Torrhalten efter presspartiet påverkas i sin tur av maskinkonfiguration och avvattningsegenskaper hos massabanan. Avvattningsegenskaper är en kombination av många parametrar så som fiberegenskaper, massatemperatur och pH.

I torkskåpet påverkas ångförbrukning av fuktkvot i frånluften och luftbalans i torkskåpet.

Ångförbrukningen var lägre på den enda maskinen som har en skopress i presspartiet. Övrigt ryms skillnader mellan ångförbrukningen av karterade torkmaskiner inom felmarginal för ångflödesmätningen.

De processparametrar som i högst grad påverkar ångförbrukningen identifierade i karteringen är temperatur på massabanan i presspartiet och luftbalans i torkskåpet. Ånglådor på karterade torkmaskiner presterade sämre än förväntat.

Största förbrukaren av el på en torkmaskin är cirkulationsfläktarna i torkskåpet följt av vakuumsystemet för vira- och presspartiet.

Elförbrukningen var lägst på torkmaskinerna som har ett torkskåp från de första generationerna. I modernare torkskåp har man prioriterat avdunstningskapacitet framför elförbrukning.

De främsta rekommenderade åtgärderna för reducerad ångförbrukning baserat på karteringen, är förbättrad uppvärmning av banan, speciellt med ånglådor som redan är installerade på maskinerna, och bättre styrning av ventilationen för torkskåpet vid olika produktionstakter.

Nyckelord

Torkmaskiner Torkskåp Energiförbrukning Energibesparingar Processparametrar

Summary

Energy consumption of five drying machines was mapped based on mill's statistics for energy consumption. Process parameters which affect energy consumption were studied with help of data from control system.

Most of the steam consumed on a drying machine is used for evaporation of water from the pulp sheet in an airborne pulp dryer. Other typical steam consumers are steam box, heating of different type of process water and machine hall ventilation.

Sheet dryness after press section has the biggest impact for steam consumption on a drying machine. Machine configuration and pulp dewatering properties affect the sheet dryness after the press section. Pulp dewatering properties are a combination of several parameters such as fibre quality, pulp temperature and pH.

In the airborne pulp dryer steam consumption is affected by moisture content of exhaust air and air balance in the dryer.

Steam consumption was lower on the only machine with a shoe press in the press section. Other differences in steam consumption between the mapped machines are within expected accuracy of steam flow measurement.

Process parameters identified in the study which affect steam consumption most are pulp sheet temperature in the press section and air balance in the dryer. Steam boxes on the studied machines were performing worse than expected.

Biggest consumer of electrical power on a drying machine are circulation air fans of the airborne pulp dryer, followed by vacuum system in forming and press sections.

Electrical power consumption was lowest on the machines with an older generation airborne pulp dryer. Evaporation capacity has been prioritized in more modern airborne pulp dryers instead of electrical power consumption.

Recommended actions for reduced steam consumption based on the study are improved sheet heating, especially with steam boxes already installed, and better control of exhaust and supply air flows in pulp dryer at different production levels.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Metodik	8
2	Kartering av energiförbrukning	9
2.1	Torkmaskiner som karterades	9
2.2	Energiförbrukning	9
3	Processparametrar som påverkar energiförbrukning	11
3.1	Allmänt om processparametrar	11
3.1.1	Maskinkonfiguration	11
3.2	Processparametrar identifierade i kartläggningen	13
3.2.1	Produktionstakt	13
3.2.2	Systemtemperatur i korta cirkulationen	14
3.2.3	Uppvärmning av bana med hetvattenlådor och ånglåda	14
3.2.4	Temperatur på massabanan i presspartiet	17
3.2.5	Filttemperatur i presspartiet	18
3.2.6	Torkskåpets ventilation	19
4	Andra identifierade energibesparingsmöjligheter	21
5	Slutsatser	22
6	Litteraturreferenser	25

1 Inledning

Skogsindustriella programmet inom Energiforsk har anlitat AFRY för att kartera energiförbrukningen för ett antal torkmaskiner och identifiera parametrar som påverkar energiförbrukningen hos torkmaskiner.

I studien karterades energiförbrukning av fem torkmaskiner baserat på energiförbrukningsstatistik. Samtidigt utreddes vilka parametrar som påverkar energiförbrukningen med hjälp av data från styrsystemet. En detaljerad studie av vakuumsystemet har inte ingått i omfattningen.

1.1 BAKGRUND

För att lyckas med energieffektivisering av torkmaskiner behöver man kunna jämföra energiprestandan av den egna maskinen med relevanta referenser. Samtidigt måste man också förstå vilka processparametrar som påverkar energiförbrukningen och hur.

Det finns inga tidigare utredningar som fokuserar på energiförbrukning av torkmaskiner och hur energiförbrukningen påverkas av olika driftsparametrar.

Det har gjorts regelbundna kartläggningar av energiförbrukning inom svensk massa- och pappersindustri på uppdrag av Skogsindustrierna, den senaste år 2012. Dessa har varit fokuserade på den totala energiförbrukningen inom branschen och på en specifik energiförbrukning för olika massa och papperskvaliteter. Energiförbrukning per avdelning har inte redovisats i dessa kartläggningar.

ÅF (nuvarande AFRY) har tagit fram en modell för ett hypotetiskt ointegrerat massabruk för barrved. Den senaste revisionen av modellbruket är från 2010 och är för tillfället under uppdatering. Energibalans för modellbruket bygger på följande specifika energiförbrukningar för en torkmaskin.

Tabell 1. Specifika energiförbrukningar för torkmaskin i energibalans för modellbruket.

	Ånga t ånga / t massa	El kWh / t massa
Eftersileri	-	45
Torkmaskin	1,0	125

Ångförbrukningen hos modellbruket är i linje med dimensionerad ångförbrukning för nya eller planerade torkmaskiner med samma massakvalitet. Elförbrukningen för eftersileriet är högre än typiskt för produktionsmaskiner med trycksilar i eftersileriet, som typiskt är <10 kWh/t massa.

I BAT reference dokument finns inga referensvärden för energiförbrukning av torkmaskiner.

Det finns så kallade tumregler om hur vissa processparametrar påverkar energiförbrukningen, som tas upp i denna rapport. Dessa tumregler bygger främst

på maskinleverantörernas erfarenhet från produktionsmaskiner och deras interna utvecklingsarbete, som inte har publicerats.

1.2 METODIK

Energiförbrukning av fem utvalda torkmaskiner karterades baserat på brukens uppföljning av ång- och elförbrukning.

Under bruksbesöken valdes ett antal driftsvärden i styrsystemet för vidare analys. Data för dessa taggar plockades ut ur styrsystemet för en period från och med 1:a januari 2023 till november eller december 2023. Historisk data för vissa utvalda driftsvärden var inte tillgänglig i styrsystemet. Samband mellan olika driftsparametrar och energiförbrukning analyserades i Excel med hjälp av driftsdata från styrsystemet.

Driftsdata från styrsystemet kompletterades med manuella mätningar för bantemperaturer i vira- och presspartiet, och fuktkvot i frånluften från torkskåpet. Det finns inte online instrumentering för mätning av bantemperaturer i vätändan på någon maskin. På en del maskiner finns det en mätning för fuktkvot i frånluften från torkskåpet men dessa brukar i regel visa grovt fel.

Bantemperatur mättes med en kontaktfri IR-termometer från gångbanorna på försidan i vätändan. Mätnoggrannhet för bantemperaturmätningar varierar beroende på hur nära massabanan man kan mäta, i vilken vinkel mot banan man kan mäta samt hur mycket dimma som finns i området. Mätnoggrannhet kan uppskattas vara i bästa fall 2 - 4 °C. Rimlighet av varje mätning har utvärderats direkt och mätpunkter där mätnoggrannheten ansågs vara för dålig har inte tagits med i analysen.

Fuktkvot i frånluft från torkskåpet mättes med hjälp av torr och våt temperatur av luften genom ett mätthål i frånluftskanalen. Temperaturer mättes med en PT-100 typ av temperaturgivare. Våt temperatur mättes med en fuktat tyg runt temperaturgivaren. En temperaturgivare av PT-100 typ har mätfel på <1 °C.

Det fanns också planer på att laborera med uppvärmning av banan med ånglådor eller hetvattenlådor under karteringsbesöken. Testerna blev tyvärr inte genomförda då en stabil produktion på torkmaskinerna prioriterades vid dessa tillfällen.

2 Kartering av energiförbrukning

2.1 TORKMASKINER SOM KARTERADES

Karteringen av energiförbrukningen gjordes på fem torkmaskiner på tre bruk, Södra Cell Mönsterås, Södra cell Mörrum och Billerud Karlsborg. De karterade torkmaskinerna är ursprungligen byggda mellan 60- och 90-talet men vissa av dem har delvis blivit uppgraderade senare. Alla förutom en av torkmaskinerna producerade under karteringen avsalumassa av barrved. En av de karterade torkmaskinerna producerar specialmassa.

2.2 ENERGIFÖRBRUKNING

På torkmaskiner förbrukas ånga främst för avdunstning av vatten från massabanan i torkskåpet. Andra vanliga förbrukare av ånga är ånglådor, uppvärmning av olika typ av processvatten och maskinsalsventilation. Dessa förbrukare diskuteras ytterligare senare i rapporten. Ångförbrukning i torkskåpet påverkas mest av torrhalten på massabanan efter presspartiet.

Den absolut största förbrukaren av el på en torkmaskin är cirkulationsfläktarna i torkskåpet följt av vakuumsystemet för vira- och presspartiet. Övriga elförbrukare är motorerna i sektiondrifterna, processpumparna, rotorerna i trycksilarna och omrörarna.

Energiförbrukning av de karterade maskiner visas i tabell 2.

Tabell 2. Energiförbrukning av de karterade torkmaskiner.

		TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5
Ånga	t ånga / t massa	1,33	0,97	1,25	1,12	1,12
El	kWh / t massa	126	125	150	119	110

Energiförbrukning som visas i tabellen bygger på brukens uppföljning av energiförbrukning. Energiförbrukning av de karterade maskiner är inte till 100 % jämförbara, speciellt vad gäller ångförbrukningen. Till exempel ingår uppvärmning av bakvatten eller färskvatten åt en annan avdelning på bruket i ångförbrukningen av torkmaskinen hos två av de karterade torkmaskinerna (torkmaskinerna 1 och 4). Det antas även vara en ganska stor felmarginal i siffrorna för ångförbrukningen på grund av mätnoggrannhet av ångflödesmätarna.

En av de karterade maskinerna har lägre ångförbrukning än de andra. Torkmaskinen med lägre ångförbrukning har en skopress i presspartiet som ger en högre torrhalt på massabanan in i torkskåpet och därmed minskad mängd vatten som avdunstar i torkskåpet.

Elförbrukningen är lägst på torkmaskinerna 4 och 5 som har ett torkskåp av de första generationerna. I nyare torkskåp är specifik avdunstningskapacitet högre än i de äldre. Under utvecklingen av effektivare torkskåp har man ökat blåshastighet av den varma luften mot massabanan som förbättrar värmeöverföringen men samtidigt ökar elförbrukningen.

Effekt av skopressen på torkmaskin 2 syns även i den låga elförbrukningen trots att torkskåpet på den maskinen har den högsta specifika elförbrukningen (kWh / m²) av alla karterade maskiner.

3 Processparametrar som påverkar energiförbrukning

3.1 ALLMÄNT OM PROCESSPARAMETRAR

Ångförbrukningen för en torkmaskin påverkas mest av torrhalt på massabanan efter presspartiet. Torrhalten efter presspartiet påverkas i sin tur av maskinkonfiguration och avvattningsegenskaper hos massabanan. Avvattningsegenskaper är en kombination av många parametrar så som fiberegenskaper (vedråvara, kokprocess, blekprocess), pH och temperatur.

I torkskåpet påverkas ångförbrukning av fuktkvot i frånluften, luftbalans i torkskåpet och hur sekundärvärme (genomblåsningång, kondensat) från torkskåpet utnyttjas.

3.1.1 Maskinkonfiguration

Eftersilerier

På torkmaskiner finns det två typ av eftersilerier. Äldre maskiner har typiskt haft ett eftersileri med virvelrenare och modernare maskiner har i sin tur oftast trycksilar. Eftersilerier har på många äldre maskiner blivit ombyggda till trycksilar.

I virvelrenarna pumpas massa i låg koncentration genom cykloner som avskiljer smutspartiklar från massan. Pumpning av ett stort flöde genom cykloner kräver mycket energi. I trycksilar pumpas massa i högre koncentration genom en silkorg som fångar smutspartiklar. Trycksilar har en lägre elförbrukning jämfört med virvelrenare.

Två av de karterade torkmaskiner hade ett eftersileri med virvelrenare. Dock syns inte den högre elförbrukningen av eftersileriet i den totala elförbrukningen.

Generellt gäller att specifika förbrukningen för pumpenergi för första steget i ett virvelrenarsystem med 1 % koncentration och 1,2 bars tryckfall blir 54 kWh/ton jämfört med pumpenergin för första stegs sil med 3% koncentration som är 7,5 kWh/ton. En sil har även elförbrukning för rotern som gör att skillnaden inte blir riktigt lika stor.

Viraparti

Fyra av de karterade maskinerna har en planvira som viraparti. På en planviramaskin avvattnas massan med hjälp av avvattningselement med olika vakuumnivåer. Skillnaderna i elförbrukning mellan olika planviramaskiner härrör främst från vakuumsystemet, vilken vakuumnivå som används i avvattningselementen och om de är kopplade till en vakuumfläkt eller en vakuumpump.

För de första vakuumassisterade avvattningselementen skapar vakuumfläktar tillräckliga vakuumnivåer. Vakuumfläktarna har en lägre elförbrukning än vattenringpumparna (NASH pumparna). Det är inte ovanligt att även de första

avvattningselementen med lägre vakuumnivå är ihopkopplade med de torra suglådorna i slutet av virapartiet, som kräver ett högre vakuum. På en av de karterade maskinerna var även avvattningselementen med låga vakuumnivåer kopplade till en vattenringpump.

En av de karterade maskinerna hade en annan typ av viraparti, en Sunds Pressformer. I en Pressformer finns det i slutet av virapartiet en dubbelvira med förpressar med en låg linjelast i stället för avvattningselement. I denna typ av viraparti behövs inget vakuum. Pressformer har dock upplevts ha en sämre tillgänglighet än andra typer av virapartier och många har blivit ombyggda till en konventionell planvira.

Det finns även andra typer av virapartier, främst levererade av Andritz, som inte kräver vakuum.

Elförbrukningen för vakuumsystemet för virapartiet är ändå låg i förhållande till den totala elförbrukningen för torkmaskinen och syns inte i förbrukningsstatistik.

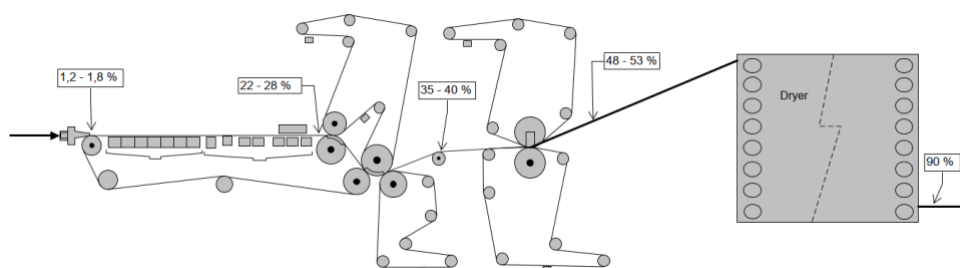
Torrhalten på massabanan efter virapartiet har bara en försumbar inverkan i torrhalt på massabanan efter presspartiet.

Pressparti

Torrhalten på massabanan efter presspartiet är den parameter som har störst påverkan på den totala energiförbrukningen för en torkmaskin eftersom allt kvarvarande vatten i massabanan ska avdunsta i torkskåpet.

De karterade torkmaskinerna hade olika konfigurationer i presspartiet. Bara en av maskinerna hade en skopress som det sista pressnypet. Enligt erfarenhetsbaserade teorier är det främst den sista pressen som påverkar den slutliga torrhalten på massabanan efter presspartiet då varje pressnyp halverar nyttan av en tidigare torrhaltsökning. Denna teori kunde tyvärr inte studeras eller bekräftas under karteringen då det inte fanns möjlighet att ta torrhaltsprover längs presspartiet. Hög torrhalt tidigare i presspartiet påverkar dock indirekt energiförbrukningen då den minskar risken för ett banbrott. Bild 1 visar det vanligaste konceptet för presspartiet på torkmaskiner byggda från mitten av 80-talet med typiska torrhalter på massabanan. Av de karterade torkmaskinerna hade maskinerna 2 och 3 detta koncept.

Bild 1. En typisk torkmaskin med typiska bantorrhalter.



Konceptet i presspartiet påverkar även elförbrukningen för vakuumsystemet. I olika typer av presspartier finns det olika antal sugvalsar som är kopplade till

vakuumsystemet. För varje pressfilt finns det en filtsuglåda kopplat till vakuumsystemet. Därmed påverkar antalet sugvalsar och pressfilter energiförbrukningen.

Ibland används ett onödigt högt vakuum i vissa sugvalsar. Det bör utredas om sugvalsar kan kopplas till en vakuumfläkt i stället för en vattenringpump.

Torkskåp

Ångförbrukningen för torkskåpet påverkas av torrhalten på massabanan in till torkskåpet, sluttorrhalt på massabanan och torkskåpets ventilation. Ventilationen i torkskåpet diskuteras senare i rapporten.

Torkskåp av de äldre generationerna har en lägre specifik elförbrukning än de senare. Under utvecklingen av torkskåp med högre kapacitet har man ökat blåshastighet av den varma luften mot massabanan som förbättrar värmeöverföringen, detta ökar dock samtidigt elförbrukningen.

För att öka avdunstringskapaciteten i ett torkskåp kan man på vissa torkmaskiner ökat varvtalet av cirkulationsfläktarna och därmed blåshastighet med hjälp av frekvensomriktare. Med ökat varvtal ökar även elförbrukningen av cirkulationsfläktarna kraftigt. På en av de karterade maskiner har man satt in varvtalsstyrning på cirkulationsfläktarna, effekten av detta diskuteras senare i rapporten.

3.2 PROCESSPARAMETRAR IDENTIFIERADE I KARTLÄGGNINGEN

3.2.1 Produktionstakt

Produktionstakt eller specifik produktion (produktion per maskinbredd) påverkar torrhalten på massabanan efter presspartiet. Enligt tumregler sjunker torrhalten på massabanan efter presspartiet med en traditionell valspress med 1 % vid en produktionsökning på 10 %. En skopress är inte lika känslig för en produktionsökning. Enligt tumreglerna ökar ångförbrukningen för ett torkskåp med 3,5 – 4 % vid 1 % lägre presstorrhalt.

Ångförbrukningen vid olika produktionstakter studerades med hjälp av data från styrsystemet. Tabell 3 visar förändringen av ångförbrukning i torkskåpet vid en 10 % högre produktionstakt.

Tabell 3. Ökning av ångförbrukning i torkskåpet vid 10% högre produktionstakt.

Torkmaskin 1	Torkmaskin 2	Torkmaskin 3	Torkmaskin 4	Torkmaskin 5
5 %	-4 %	2,3 %	4,7 %	2,7 %

Produktionstaktens inverkan på ångförbrukningen för de karterade maskinerna stämmer ganska bra överens med tumregeln, förutom för torkmaskin 2. Torkmaskin 2 med en skopress är inte lika känslig för en högre produktionstakt men en negativ effekt är omöjlig. Troligen visar ångflödesmätningen fel vid lågt

eller högt flöde. Enligt erfarenhet har ångflödesmätningen generellt ofta ett mätfel på upp till 10 %.

Produktionstakt är ingen körparameter men visar hur dimensioneringen av en torkmaskin påverkar ångförbrukningen.

När en torkmaskin byggs om till en högre kapacitet finns två möjligheter: antingen måste massabananans torrhalt efter presspartiet ökas eller så måste avdunstningskapaciteten i torkskåpet ökas. Avdunstningskapaciteten kan ökas, t.ex. med högre ångtryck eller med högre varvtal på cirkulationsfläktarna. På en av de karterade torkmaskinerna hade man satt in varvtalstyrning för cirkulationsfläktarna och ökat varvtalet från 1500 rpm till 1900 rpm. Fläktarna körs oftast med det högsta varvtalet. Ökning av varvtalet ökar elförbrukningen på den maskinen enligt effektvisningen i DCS med ca. 60% eller 550 kW.

3.2.2 Systemtemperatur i korta cirkulationen

På en av de studerade maskinerna varierar temperaturen i korta cirkulationen under normal drift mellan 58 – 68 °C på grund av driftsparametrarna för olika kvaliteter på en integrerad kartongmaskin.

Systemtemperaturens inverkan på ångförbrukningen i torkskåpet studerades med hjälp av data från DCS under en period på 11 månader. Endast värden vid samma produktionstakt (max. produktion) studerades eftersom produktionstakten påverkar bantorrhalt efter presspartiet och specifik ångförbrukning i torkskåpet.

Enligt data baserat på kriteriet ovan resulterade en 5°C högre systemtemperatur i en minskad ångförbrukning i torkskåpet med ca. 3 %. Detta var en större skillnad än förväntat baserat på tumregler. Enligt tumreglerna borde inverkan endast ha varit 1,75 – 2 %. Man ska dock inte dra för långtgående slutsatser baserat på resultat från endast en torkmaskin. Det kan också finnas andra parametrar som har påverkat avvattningssegenskaper av massan.

På de alla andra studerade torkmaskiner var temperaturen i korta cirkulationen stabil under normal drift och det gick därför inte att studera bakvattentemperaturens påverkan på ångförbrukningen.

3.2.3 Uppvärmning av bana med hetvattenlådor och ånglåda

De flesta torkmaskinerna har i slutet av virapartiet antingen hetvattenlådor eller en ånglåda för uppvärmning av massabanan. Av de studerade maskinerna hade två maskiner hetvattenlådor och två maskiner hade en ånglåda. I tabell 4 visas temperaturen på massabanan i olika positioner av vira- och presspartiet. Även filtemperaturer visas i samma tabell.

Tabell 4. Bantemperaturer.

	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5
	Inga	Ånglåda	Ånglåda	Hetvattenlådor	Hetvattenlådor
Bantemperatur efter inloppslåda	58 °C	56 °C	60 °C	50 °C	56 °C

	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5
Bantemperatur före hetvattenlådor / ånglåda		54 °C	52 °C	49 °C	55 °C
Bantemperatur efter hetvattenlådor / ånglåda	56 °C	73 °C	63 °C	68 °C	68 °C
Bantemperatur i presspartiet (ovan/under)	53/54 °C	67/60 °C	60/60 °C	50/51 °C	54/51 °C
Bantemperatur före torkskåpet (ovan/under)	51/51 °C	60/60 °C	58/58 °C	50/49 °C	62/61 °C (förvärmnings-cylindrar)
Filttemperatur före pressnypet	29 – 37 °C	39 – 43 °C	45 – 48 °C	40 – 45 °C	35 - 46 °C
Filttemperatur efter nypet	+3 – 11 °C	+ 6 – 10 °C	+ 2 – 5 °C	+ 2 - 4 °C	+ 5 - 12 °C
Ångflöde till ånglåda		0,11 t/t massa (11% av total ånförbr.)	0,10 t/t massa (9 % av total ånförbr.)		
Hetvattenflöde till hetvattenlådor				1,7 m3/t massa	1,4 m3/t massa
Hetvatten temperatur				90 °C	90 °C
Spritsvatten temperatur	40 °C	55 °C	56 °C	54 °C	46 °C

Uppvärmningseffekt av hetvattenlådor och ånglådor samt filtemperaturer diskuteras i nästa kapitlet.

Ånglåda

En ånglåda används för att värma upp massabanan för att förbättra avvattningen i presspartiet. I en ånglåda sprutar man ånga som är nästan mättad mot massabanan och ångan kondenserar då direkt i massabanan. Ånglådan placeras ovanför en torr suglåda där vakuemet i suglådan suger värmen från ångan även till undersidan av massabanan. Enligt leverantörer för ånglådor kan en ånglåda öka temperaturen på massabanan med upp till 30 °C.

Ånglådan förbrukar oftast färskånga. På vissa torkmaskiner har man använt delvis genomblåsningssånga från torkskåpet i ånglådan, dock med varierande resultat.

På två av de karterade maskiner fanns det en ånglåda i slutet av virapartiet. Båda ånglågorna upplevdes prestera sämre än förväntat. Båda ånglådorna använde färskånga.

På torkmaskin 2 mättes temperaturen från ovansidan direkt efter ånglådan och temperaturen på massabanan ökade med nästan 20 °C. När temperaturen på massabanan mättes på båda sidorna av banan efter combipressen såg man tydligt att ångan bara hade värmt upp ovansidan av massabanan. Temperaturen på undersidan banan var 7 °C lägre än på ovansidan trots att värmeprofilen redan hade jämnats ut i två pressnyp. Man såg också att all ånga inte absorberades av massabanan. I en välfungerande ånglåda kondenserar all ånga i massabanan.

Det finns med största sannolikhet två orsaker till att ånglådan presterade dåligt. Det finns ingen ångkylning för ångan till ånglådan och ångan var för överhettad för att all ånga skulle ha kondenserats i banan. Den mest troliga orsaken till att ångan inte når undersidan av banan är att massabanan har avvattnats för aggressivt på det korta virapartiet och att undersidan av banan är så tät/stängd att vakuumet inte får ångan att tränga igenom banan.

På torkmaskin 3 ökade temperaturen på massabanan endast med ca. 10 °C vid ånglådan efter justering av ångkylningen. Temperaturen var dock samma på båda sidorna av banan efter combi pressen. Inget läckage av ånga observerades.

På torkmaskin 3 finns det en ångkylning för ångan till ånglådan. I början av karteringen var börvärdet för överhettningsgrad av ångan till ånglådan 9 °C som är högre än rekommenderat. Det gjordes ett test där överhettningen först sänktes till 6 °C vilket ökade bantemperaturen med 3 °C. Ingen ökning av bantemperatur nåddes med sänkt överhettningsgrad till 4 °C.

Det finns inga tydliga orsaker varför ånglådan presterade dåligt även efter justering av överhettningsgraden. En möjlig orsak är att ångflödesmätningen visar ett alltför högt flöde och det egentliga flödet är för lågt.

Karteringen visar att ånglådor är känsliga för de driftsparametrar som diskuteras ovan och avvattningskurvan i virapartiet. Orsaker till dålig prestanda av ånglådorna borde utredas och åtgärdas.

Hetvattenlådor

I en hetvattenlåda läggs hett vatten på massabanan som värmer upp banan i slutet av virapartiet, precis som med i en ånglåda. Vattnet ska helst vara 90 – 95 °C. Hetvattenlådorna är inte lika känsliga som en ånglåda eftersom vattnet alltid rinner igenom massabanan. Typiskt finns det 1 – 3 hetvattenlådor, beroende på produktionshastighet. Hetvattenlådor kan värma upp banan med 20 – 30 °C. Driftsparametrar för hetvattenlådor är vattenflöde och vattentemperatur.

Vattnet som används i hetvattenlådor är oftast färskvatten. Det finns även bruk som använder bakvatten. Vattnet kan vara sekundärvärme från någon annan avdelning på bruket i form av varmvatten eller hetvatten. Alternativt värms vattnet upp med sekundärvärme i värmeåtervinningen och till önskad sluttemperatur med kondensat från torkskåpet eller färskånga. I hetvattenlådorna är det lättare att utnyttja sekundärvärme än i en ånglåda.

På två av de karterade torkmaskiner fanns det hetvattenlådor. Hetvattenlådorna presterade enligt förväntan baserat på vattenflöde och temperatur på vattnet. Uppmätta bantemperaturer på torkmaskin 5 är inte jämförbara med de övriga torkmaskinerna eftersom det finns förvärmningscylindrar före sista pressnypet. På båda maskinerna är vattnet till hetvattenlådorna färskvatten som förvärms med återvunnen värme. Vattnet värms till sluttemperatur på den ena maskinen med flashånga från torkskåpet och på den andra maskinen med en kombination av flashånga och färskånga.

Om sekundärvärme för uppvärmning av hetvatten finns, kan hetvattenflödet ökas och vilket borde förbättra avvattningen i presspartiet.

3.2.4 Temperatur på massabanan i presspartiet

Temperaturen på massabanan påverkar avvattningsegenskaper i presspartiet. Vid högre temperatur blir massabanan mer lättavvattnad. Detta beror på mäldens viskositet som är lägre vid högre temperatur. Enligt tumregler motsvarar en ökning med 10 °C i bantemperatur en ökning på 1% i presstorhalt. På grund av detta optimeras processen för att nå en hög temperatur på massabanan in i presspartiet.

Temperaturen på massan från lagringstornet mellan blekeriet och torkmaskinen har den absolut största inverkan på bantemperaturen. Denna temperatur påverkas av vilken typ av bleksekvens man använder och hur slutet blekeriet är. Utan uppvärmning med t.ex. ånga blir systemtemperaturen ungefär samma som massatemperaturen i lagringstornet. På moderna bruk ligger systemtemperatur oftast mellan 60 – 70 °C. På integrerade bruk med både pappers- eller kartongmaskiner och torkmaskiner är det vanligt att pappersmaskinen av olika skäl begränsar massatemperaturen när torkmaskinen och pappersbruket har ett gemensamt lagringstorn för massan efter blekeriet. På dessa bruk kan systemtemperatur vara så låg som 50 °C.

På de flesta torkmaskinerna har man möjlighet att värma upp bakvatten i viragrop med färskånga. Oftast värms bakvattnet med en tystkokare där ångan är i direktkontakt med vattnet. Uppvärmning av korta cirkulationen är ursprungligen avsedd för att förvärma systemet efter ett längre stopp. Dock är det ganska vanligt att man värmer upp korta cirkulationen kontinuerligt med färskånga för att nå en högre bantemperatur. Eftersom ingen av de studerade maskinerna använder färskånga kontinuerligt kunde parametern inte studeras i denna utredning. I andra, tidigare, energiutredningar som AFRY har utfört, har man kunnat dra slutsatsen att uppvärmning av korta cirkulationen förbrukar mer ånga än vad som sparas i torkskåpet.

Ett vanligt sätt att värma upp banan är med hetvattenlådor eller en ånglåda som är placerade i slutet av virapartiet. Nästan alla torkmaskiner har antingen hetvattenlådor eller en ånglåda. Vissa kan även ha en kombination av dessa. Hetvattenlådor och ånglådor har diskuterats tidigare i rapporten.

På äldre maskiner har man förvärmningscylindrar som värms upp med ånga före sista nypet i presspartiet. Syftet med dessa cylindrar har varit att värma upp banan före det sista pressnypet. På den tiden var massan efter blekeriet oftast kall, endast

40 °C, och förvärmningscylindrar värmdes upp banan effektivt. Med dagens massatemperaturer har verkningsgraden för förvärmningscylindrar blivit låg, speciellt i förhållande till dess ångförbrukning. Förvärmningscylindrar har även bidragit till sämre tillgänglighet och längre tid för spetsföring. Därför har man ofta plockat bort förvärmningscylindrar när maskiner har blivit ombyggda.

En av de karterade maskinerna har förvärmningscylindrar före sista pressnypet, dessa körs med det lägsta möjliga ångtrycket. Enligt mätningar ökar förvärmningscylindrarnas temperaturen på massabanan med ca. 10 °C men ångförbrukningen för förvärmningscylindrarna står för ca. 7 % av den totala ångförbrukningen.

Filtarna i presspartiet är ofta kallare än massabanan före nypet vilket innebär att de kyler massabanan i pressnypet. Vanligaste orsaken till de kalla filtarna är för låg temperatur på vattnet i lågtrycksspritsarna. Temperaturen på spritsvattnet diskuteras senare i rapporten. Även för högt luftflöde i filtsuglådorna kan ha en kylande effekt i filtarna. Detta har dock inte har utretts i denna studie eftersom en detaljerad utredning av vakuumsystemet inte har ingått i omfattningen.

Det är ovanligt med online mätning av torrhalt på massabanan efter presspartiet eftersom det är svårt att mäta torrhalt på en blöt massabana. Det har funnits utrustning för punktmätning av bantorrhalt på vissa torkmaskiner men mätnoggrannhet av dessa inte har varit tillräcklig. En av de studerade maskinerna har en mätram, likadan som man har efter torkskåpet, mellan presspartiet och torkskåpet. I mätramen fanns det sensorer för bantorrhalt och bantemperatur.

Temperaturmätningen i mätramen fungerade som förväntat och följde temperaturen på massan till inloppslåda bra. Tyvärr fångade torrhaltsmätningen inte in massatemperaturens inverkan på torrhalten på massabanan som dock syntes i ångförbrukningen i torkskåpet som förväntat.

3.2.5 Filttemperatur i presspartiet

På alla karterade torkmaskiner var pressfiltarna kallare än massabanan före pressnypen. Då har filtarna en kylande effekt på massabanan som är negativt för avvattning i presspartiet. Största inverkan på de låga filttemperaturerna hade temperaturen på spritsvattnet som i samtliga fall var lägre än systemtemperaturen. Även inställningarna i filtsuglådorna (för högt luftflöde) kan bidra till den låga filttemperaturen.

På tre av de karterade maskinerna värmdes spritsvattnet enbart med återvunnen värme i torkskåpets värmeåtervinning. På två maskiner användes även färskånga för uppvärmning av spritsvattnet. Karteringen av alla maskiner gjordes under kallaste vinterdagarna. Under varmare månader har spritsvattentemperaturerna varit 5 – 10 °C högre än vid tillfället för karteringen.

Om sekundärvärme finns tillgänglig bör spritsvattentemperaturen ökas på samtliga maskiner. Om bara primärenergi finns, krävs det tester för att utvärdera hur högre spritsvattentemperatur påverkar energiförbrukningen i torkskåpet.

3.2.6 Torkskåpets ventilation

Avdunstat vatten leds ut ur torkskåpet med hjälp av frånluft. Frånluftsflödet kompenseras med i värmeåtervinningen förvärmad tilluft och läckageluft från maskinsalen.

Den viktigaste parametern för torkskåpets ventilation är fuktkvot i frånluften dvs. vatteninnehållet i frånluften. Fuktkvot som har använts i dimensionering av torkskåpet varierar mellan 150 – 250 g H₂O / kg t.l. beroende på torkskåpets generation och ångtrycket som används i torkskåpet.

Vid en låg fuktkvot är luftomsättningen i torkskåpet är hög. Med en hög luftomsättning värms en större mängd av tilluft och läckageluft till frånluftens temperatur med färskånga vilket ökar energiförbrukningen jämfört med en låg luftomsättning. Om fuktkvot däremot är för hög absorberar den fuktigare luften i torkskåpet vattnet som avdunstat från massabanan sämre och minskar därför avdunstningskapaciteten i torkskåpet. Den optimala fuktkvoten är därmed en kompromiss mellan avdunstningskapacitet och energiförbrukning.

De flesta moderna torkmaskinerna har ett automatiskt styrsystem för torkskåpets ventilation som reglerar frånluftsflödet så att fuktkvot behålls konstant oavsett avdunstning i torkskåpet.

Den andra viktiga parametern är luftbalans i torkskåpet dvs. förhållandet mellan frånluft och förvärmad tilluft. Om andelen tilluft är för låg dras kall läckageluft från maskinsalen till torkskåpet som ökar ångförbrukningen ytterligare. Tilluftsmängden kan inte heller vara för stor för då blir torkskåpet övertrycksatt och varm och fuktig luft läcker ut till lokalen. På moderna torkskåp reglerar det automatiska styrsystemet även tilluftsflödet och behåller balans mellan frånluft och tilluft.

En av de karterade torkmaskinerna hade ett automatiskt styrsystem för luftbalansen som fungerade som det skulle. På de övriga maskiner fanns det manuella spjäll för reglering av från och tilluftsflöden som inte hade justerats på länge. På alla maskiner förutom en fanns det ingen mätning för fuktkvot och den mätningen som fanns visade fel.

Fuktkvot i frånluften mättes manuellt på fyra av de karterade torkmaskiner. På en av maskinerna var det inte möjligt att komma åt mätpunkter i kanalsystemet utan att bygga ställningar. Resultat av fuktkvotsmätningar visas i tabell 5.

Tabell 5. Fuktkvot frånluft torkskåp

	Torkmaskin 1	Torkmaskin 3	Torkmaskin 4	Torkmaskin 5
Låg produktionstakt	135 g H ₂ O / g t.l.			98 g H ₂ O / g t.l.
Mellan produktionstakt	180 g H ₂ O / g t.l.	146 g H ₂ O / g t.l.		
Max produktionstakt			170 g H ₂ O / g t.l.	150 g H ₂ O / g t.l.

Enligt mätningarna var fuktkvoten för låg på alla torkmaskiner, speciellt vid låg produktionstakt.

Som ett exempel, den låga fuktkvoten vid låg produktionstakt på torkmaskin 5 ökar ångförbrukning med ca. 0,06 t / t massa jämfört med rekommenderad fuktkvot.

De flesta av de karterade torkskåpen var för undertrycksatta. Tilluftsmängden var då för liten och andelen läckageluft från maskinsalen för stor vilket ökar ångförbrukningen.

Ett automatiskt styrsystem för torkskåpets ventilation rekommenderas för alla torkmaskiner som inte körs konstant med maximal kapacitet.

4 Andra identifierade energibesparingsmöjligheter

Utöver de processparametrar som har diskuterats tidigare i rapporten identifierades även andra ångbesparingsmöjligheter som diskuteras kort nedan.

På två av de karterade torkmaskinerna fanns det i vakuumsystemet flerstegs vakuumfläktar (s.k. Sulzer aggregat) i stället för vattenringpumpar. Frånluft från dessa aggregat har en högre temperatur och fuktkvot än frånluft från torkskåpet. Luften leddes ut i atmosfären. Frånluften från dessa aggregat kan användas i en värmeåtervinning för att t.ex. värma upp tilluft till torkskåpet eller spritsvatten.

Två av de karterade torkskåpen körs med mellantrycksånga även om trycket av lågtrycksånga skulle räcka vid lägre produktionstakt. På en av dessa maskiner kan man dock växla mellan mellantrycksånga och lågtrycksånga men möjligheten har sällan använts. En ångejektor som automatiskt justerar förhållandet mellan lågtrycksånga och mellantrycksånga kan utvärderas i dessa fall. Denna åtgärd minskar inte ångförbrukningen men är oftast lönsam i och med att den möjliggör en högre elproduktion i turbinen.

På två av maskinerna leddes en större mängd av flashånga till atmosfär på grund av ett designfel i kondensatsystemet. All flashånga kan i regel utnyttjas som sekundärvärme. På de övriga tre maskinerna leddes genomblåsningsånga från torkskåpets kondensattank till värmeåtervinningen för frånluft där bara en liten del av energin kan återvinnas. Detta var en standardlösning från Fläkt under 70 – 90 talet. Mängden genomblåsningsånga är typiskt minst 3 – 5 % av det totala ångflödet till torkskåpet. Det skulle finnas effektivare sätt att återvinna energin i genomblåsningsångan, till exempel för uppvärmning av tilluften till torkskåpet i ett ångbatteri.

På två av de karterade torkmaskinerna fanns det obalans mellan volym i utskottstornet och bakvattentornet. Om volymen i utskottssystemet är större än i bakvattensystemet behöver (oftast kallt) färskvatten tas in när utskottstornet fylls. Bakvatten behöver dumpas när utskotts används i mällden. När utskottstornet och bakvattentornet har samma volym, är systemet i balans och färskvatten behöver inte tas in eller bakvatten dumpas, vilket innebär energislöseri.

5 Slutsatser

Ångförbrukningen var lägre på den enda maskinen som har en skopress i presspartiet. Övrigt ryms skillnader i felmarginal för ångflödesmätningen. Elförbrukningen var störst på den torkmaskinen med modernaste torkskåp där man i designen har prioriterat specifik avdunstningskapacitet, och lägst på torkmaskiner med äldsta torkskåpen.

De processparametrar som identifierades som de med störst påverkan på ångförbrukningen är temperatur på massabanan i presspartiet och luftbalans i torkskåpet.

De åtgärder som rekommenderas främst baserat på karteringen för reducerad ångförbrukning är förbättrad uppvärmning av massabanan, speciellt med ånglådorna som är installerade på maskinerna, samt bättre styrning av ventilationen för torkskåpet vid olika produktionstakter. Även bättre användning av sekundärvärme bör utredas.

För reduktion av elförbrukningen rekommenderas en studie av vakuumsystemet och optimering av varvtalet på torkskåpets cirkulationsfläktar när maximala produktionskapaciteten inte behövs.

Sammanställning av identifierade energibesparingsobjekt finns i tabell 6.

Tabell 6. Identifierade energibesparingsobjekt.

Objekt	Energibesparingspotential	Investeringskostnad
Prestanda ånglåda	ca. 3 – 6 % av ångförbrukning	Intrimning
Spritsvattentemperatur	Kräver utredning	Kräver utredning
Luftbalans i torkskåpet	ca. 5 % vid lägre produktionstakt	Intrimning, eventuellt automatisk styrning ca. 200 - 800 kkr
Optimerat varvtal av cirkulationsfläktarna	ca. 7 % av elförbrukning	Optimering av körsätt
Lågtrycksånga i torkskåpet i stället för mellantrycksånga	Ökat elproduktion	Ångejektor, eventuellt en ny ångledning från turbinen
Utnyttjande av genomblåsningstånga från torkskåpet	ca. 1– 3 % av ångförbrukning	2000 – 5000 kkr

En del av de processparametrar som påverkar energiförbrukningen identifierade i denna kartläggning bör utredas vidare.

Driftsparametrar för ånglådorna bör trimmas in. Dessa parametrar är ångflödet till ånglådan, överhettingsgrad av ångan och vakuum i torra suglådan under ånglådan. Även avvattningsskurvan i virapartiet bör optimeras för att undvika att bottensidan av massabanan blir för tät/stängd före ånglådan eftersom ångan då inte tränger igenom massabanan. Effekten av ändrade driftsparametrar kan enklast utvärderas genom att mäta temperatur av massabanan på båda sidorna efter första pressnypet.

Det är också rekommenderat att studera hur vattenflödet i hetvattenlådorna påverkar bantemperatur och ångförbrukning i torkskåpet. Utvärdering kan göras på samma sätt som med ånglådorna eller genom att följa upp hur ångflödet till torkskåpet påverkas av ändrat hetvattenflöde.

Effekten av temperatur på spritsvattnet bör studeras om det finns möjlighet att öka temperaturen av spritsvattnet med ånga. Effekten av högre spritsvattentemperatur utvärderas genom att följa upp ångförbrukning av torkskåpet. Om högre spritsvattentemperatur har en positiv effekt bör det utredas om sekundärvärme finns tillgänglig för uppvärmning av spritsvatten.

En kartläggning av vakuumsystemet rekommenderas också. I kartläggningen av vakuumsystemet borde man utreda följande:

- Är det onödigt högt vakuum i avvattningselementen på virapartiet eller i sugvalsar i presspartiet?
- Är det onödigt högt luftflöde i dessa?
- Är förbrukare med olika vakuumnivåer kopplade till samma vakuumkälla?
- Kan några förbrukare kopplas till en vakuumfläkt i stället för en vakuumpump?
- Kan man sänka varvtalet av vakuumpumpar när vakuumnivån och luftflöden är optimerade?
- Är temperatur av ringvattnet tillräckligt låg?

I tabell 7 finns en allmän checklista för att hitta de mest typiska driftsparametrar som påverkar energiförbrukning. Driftsparametrar i vakuumsystemet diskuteras ovan.

Tabell 7. Allmän checklista för energibesparingar på en torkmaskin.

Objekt	Frågeställning
Ånglåda och hetvattenlådor	Värms massabanan effektivt med ånglådan eller hetvattenlådorna?
Uppvärmning av processvatten och bakvatten	Används färskånga kontinuerligt för uppvärmning av bakvatten eller spritsvatten.
Spritsvattentemperatur i presspartiet	Är temperatur på spritsvatten i presspartiet lägre än temperatur på massabanan? Skulle det finnas mera sekundärvärme för uppvärmning av spritsvattnet?
Torkskåp	Är fukthalt i frånluft från torkskåpet på rätt nivå? Om det finns en fukthaltsgivare, är den kalibrerad? Är det optimal luftbalans i torkskåpet dvs. förhållandet mellan från- och tilluft? Körs cirkulationsfläktarna med för högt varvtal?
Ånga och kondensatsystem	Leds genomblåsningsånga eller flashånga från någon kondensattank till atmosfären eller till värmeåtervinningstornet? Vad är temperatur på returkondensatet till pannhuset? Kan all energi i returkondensatet utnyttjas på pannhuset eller kan energin utnyttjas på torkmaskinen t.ex. för uppvärmning av tilluft till torkskåpet eller processvatten?

6 Litteraturreferenser

ÅF-Engineering, 2011. Energy consumption in the pulp and paper industry - Model mills 2010 Bleached kraft market pulp mill.

Arvidsson, J., Carlsson, A.-M., Tarantino, N., Wiberg, R., 2005. Kartläggning och analys av energianvändning inom skogsindustrin inför Programmet för energieffektivisering (PFE). Värmeforsk (929).

Wiberg, R., & Forslund, M., 2012. Energiförbrukning i massa- och pappersindustrin 2011. Skogsindustrierna.

Suhr, M, Klein, G, Kourti, I, Rodrigo Gonzalo, M, Giner Santonja, G, Roudier, S, Delgado Sancho, L., 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. European Commission.

-

EFFEKTIVISERING AV TORKMASKINER

I det här projektet har energiförbrukningen för fem torkmaskiner karterats baserat på energiförbrukningsstatistik. Samtidigt utreddes vilka parametrar som påverkar energiförbrukningen med hjälp av data från styrsystemet.

De främsta rekommenderade åtgärderna för reducerad ångförbrukning baserat på karteringen, är förbättrad uppvärmning av banan, speciellt med ånglådor som redan är installerade på maskinerna, och bättre styrning av ventilationen för torkskåpet vid olika produktionstakter.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.