



Industriell  
Energianalys AB

A Chalmers Industriteknik company

2002-04-15

# Förekomst av industriellt spillvärme vid låga temperaturer

CIT Industriell Energianalys  
Chalmers Industriteknik  
412 88 Göteborg  
Telefon: 031 772 45 65

Ingrid Nyström  
Per-Åke Franck

<b>Uppdraget .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Inledning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Industrins energianvändning.....</b>	<b>4</b>
2.1 Industrins totala energianvändning.....	4
2.2 Utnyttjande av spillvärme från industrin .....	5
<b>3 Spillvärmepotential utifrån övergripande energibalanser.....</b>	<b>6</b>
3.1 Princip och generella antaganden.....	6
3.2 Grov uppskattning av spillvärmepotentialen .....	7
<b>4 Spillvärmepotential utifrån fallstudier av enskilda anläggningar .....</b>	<b>10</b>
4.1 Princip och generella antaganden.....	10
4.2 Kvantitativ uppskattning av spillvärmepotential.....	11
<b>5 Diskussion och slutsatser .....</b>	<b>15</b>

# **Förekomst av industriellt spillvärme vid låga temperaturer**

**Ingrid Nyström och Per-Åke Franck  
CIT Industriell Energianalys AB**

## **Uppdraget**

CIT Industriell Energianalys har av institutionen för värmeteknik och maskinlära på Chalmers tekniska högskola fått i uppdrag att utreda förekomsten av industriellt spillvärme mellan 20 och 50°C. Utredningen ska användas som del av underlag för ett projekt som syftar till att bedöma och värdera potentialen för högtemperaturvärmepumpar där värmen kan tillföras antingen inom industrin eller till fjärrvärmesystem.



## 1 Inledning

Vid institutionen för värmeteknik och maskinlära på Chalmers pågår ett projekt som syftar till att bedöma och värdera potentialen för tillämpning av högtemperaturvärmepumpar. En del av projektet består av potentialstudier för tillämpning av värmepump-tekniken i industrin, där värme tas från spillvärme i temperaturintervallet 20-50 °C och tillförs antingen internt inom industrin eller till ett fjärrvärmesystem i temperaturintervallet 80-100 °C. Första steget i sådana potentialstudier är att undersöka förekomsten av industriellt spillvärme inom det aktuella temperaturintervallet och värdera denna i termer av temperaturstabilitet, tidsvariationer samt långsiktig tillgång. Denna rapport utgör del av underlaget för dessa potentialstudier.

I rapporten diskuteras principer och tillgång på data för att bestämma förekomsten av industriellt spillvärme i aktuellt temperaturintervall. Två olika metoder diskuteras. Kapitel 3 behandlar förekomsten utifrån en grundläggande energibalans – den energi som tillförs industrin och inte lämnar den på annat sätt, blir i slutändan värme. I kapitel 4 utgår vi istället från detaljerade energianalyser av industriella anläggningar eller processer där överskottet på värme vid låga temperaturer framgår och diskuterar möjligheten att skala upp dessa resultat till en total spillvärmepotential. Som bakgrund och för grundläggande indata presenteras i kapitel 2 industrins totala energi-användning. Analysen begränsas till de sex mest energikrävande branscherna, vilka svarar för drygt 90% av industrins totala energianvändning. Tidsperspektivet för spillvärmepotentialen diskuteras inte och ingen värdering av värmets kvalitet (temperaturstabilitet, tidsvariationer) görs.

Den potential som är tekniskt och ekonomiskt möjlig att utnyttja beror naturligtvis även av *efterfrågan* på värme (80-100 °C) inom ett geografiskt rimligt avstånd och de ekonomiska förutsättningarna både för nyttiggörande och distribution av värmets. Dessa aspekter tas överhuvudtaget inte hänsyn till i denna utredning, men diskuteras i viss mån i kapitel 5.

## 2 Industrins energianvändning

För att överhuvudtaget kunna diskutera potentialen för spillvärme från industrin krävs uppgifter om industrins totala energianvändning och användningens fördelning på olika branscher.

### 2.1 Industrins totala energianvändning

Industrins energianvändning uppdelat på bränsleslag redovisas i tabell 1.

Tabell 1      Energianvändningen i industrin enligt STEM:s scenariorapport till Klimatkommittén samt direkt från STEM 2002 [TWh/år]

<b>Bränsleslag</b>	<b>1997 (TWh/år)</b>	<b>2000</b>	<b>2010 (TWh/år)</b>
Energikol	5,3	6,0	6,1
Koks	10,6	10,2	11,5
Biobränsle	51,5	56,5	60,3
Naturgas	3,6	3,7	4,1
Diesel	2,0	1,3	2,3
EO 1	3,3	2,5	3,6
EO 2-5	11,7	10,9	12,0
Gasol	4,8	4,4	5,4
Fjärrvärme	4,4	4,5	5,2
El	52,6	56,1	58,6
<b>Summa</b>	<b>150,0</b>	<b>156,3</b>	<b>169,0</b>

De sex branscher som använder mest energi, svarar tillsammans för ca 87% av industrins elanvändning och cirka 92% av bränsle- och värmeanvändningen. Ordnat efter total energianvändning är dessa sex branscher: massa- och pappersindustrin, järn-, stål- och metallverk, trävaruindustrin, verkstadsindustrin, kemisk industri och livsmedelsindustrin. Energianvändningens fördelning för branscherna framgår av tabell 2.

Tabell 2      Energianvändningens fördelning för mest energikrävande branscher år 2000 (direkt från STEM, 2002) [TWh].

<b>Bransch</b>	<b>Elanvändning</b>	<b>Bränsle- och värmeanv.</b>	<b>Total energi-användning</b>
Massa- och papper, SNI 21	22,8	52,7	75,5
Stål- och metallverk, SNI 27	8,1	17,3	25,4
Trävaruindustrin, SNI 20	2,1	11,0	13,1
Kemisk industri <sup>1</sup> , SNI 23-25	7,4	3,6	11,0
Verkstadsindustrin, SNI 28-35	7,0	3,8	10,8
Livsmedelsindustrin, SNI 15-16	2,5	3,6	6,2

<sup>1</sup> I kemisk industri ingår här även gummi- och plastindustri samt produktion av petroleumprodukter. Gummi- och plastindustrin använder 1,2 TWh el och 0,4 TWh bränsle. Produktion av petroleumprodukter använder 0,9 TWh el, om något av bränsleanvändningen sker inom denna bransch (SNI23) framgår inte av statistiken.

Av dessa sex branscher står massa- och pappersindustrin tillsammans med järn- och stål- och metallindustrin i en egen klass. Dessa två branscher svarar ensamma för 70% av bränsleanvändningen och 55% av elanvändningen.

För vissa branscher finns uppskattningar av för vilka ändamål elenergin används (se tabell 3). Som framgår av denna tabell används en stor andel för att driva pumpar av olika slag. För bränsle- och värmeanvändning finns ingen motsvarande information, utan bara fördelning på olika energibärare (se tabell 2).

Tabell 3 Fördelning av elanvändning på olika ändamål 1997 enligt EMIL2 (originalkällor varierar och är av varierande ålder).

Bransch/delbransch	Ändamål	Elanvändning [TWh]
<b>Massa- och papper</b>	Pumpar och fläktar	9,5
	Övrig motordrift	3,2
	Raffinering, malning	5,8
	Elpannor	1,0
	Belysning	0,6
<b>Totalt</b>		20,1 (av 20,1)
<b>Stål och metallverk</b>		
Järn- och stålverk	Elmotorer (exkl syrgasverk)	2,22
	Stålmältning	1,13
	Värmebehandling	0,38
	Elmotorer i syrgasv.	0,27
	Ångproduktion	0,13
	Värmning i ugnar	0,12
	<b>Totalt järn- och stål</b>	
Vargön Alloys	Smältreduktion	0,69
Kubal	Elektrolys	1,62
<b>Totalt metallverk</b>		2,3 (av 3,7)
<b>Totalt</b>		6,5 (av 7,9)
<b>Verkstadsindustrin</b>		
(total elanv 7,3)	Ventilation	0,92
	Belysning	0,96
	Tryckluft	0,5
<b>Totalt</b>		2,4 (av 7,3)

## 2.2 Utnyttjande av spillvärme från industrin

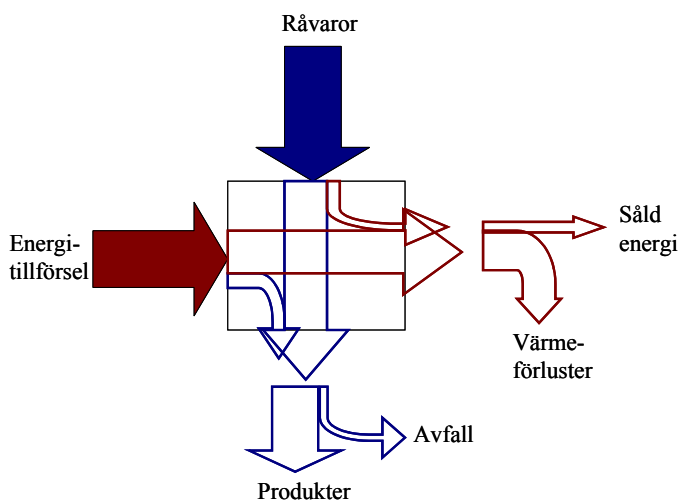
Den totala användningen av industriellt spillvärme för fjärrvärmeproduktion i uppgår idag till ca 3,8 TWh (i fjärrvärmeverk anslutna till fjärrvärmeverksföreningen). Generellt används dock spillvärme vid temperaturer som möjliggör en direkt värmväxling mot fjärrvärmenätet. Åf-Energikonsult gjorde för klimatkommittén år 2000 en särskild utredning av spillvärmeutnyttjandet och planer för att utöka detta utnyttjande. I denna utredning kom man fram till ett befintligt utnyttjande av 4,5 TWh och en ökningspotential om ytterligare 0,3 TWh. Denna utredning baserades på en enkät till industri och kommuner.

### 3 Spillvärmepotential utifrån övergripande energibalanser

#### 3.1 Princip och generella antaganden

I en total energibalans för en industrianläggning (eller vilket system som helst) måste all tillförd energi också lämna systemet. För en industri innebär det att den energi som tillförs i princip kan lämna samma anläggning på två olika sätt:

- bunden i industrins produkter, eller
- som energi (el, bränsle eller värme).



Figur 1 Principiell skiss över energiflöden.

För en del industrier nyttiggörs en viss del av utgående energi som direkta energiprodukter – bränsle, el eller fjärrvärme. Generellt sett avgår dock den allra största delen som förluster till luft, avlopp eller i kylvatten. Dessa förluster utgörs av värme vid olika temperaturnivåer. Utifrån en grundläggande energibalans kan alltså en ”teoretisk” spillvärmepotential uppskattas. Till allra största del kan dessa värmeförluster antas ske vid temperaturer över 20 °C.

Målet med detta arbete är dock att om möjligt även sortera bort spillvärme vid temperaturer under 20°C och över 50°C samt de förluster som sker i en form som inte tekniskt och/eller ekonomiskt går att ta tillvara (till exempel alltför spridda flöden). Med andra ord vill vi ha kvar de förluster som sker genom avgaser, koncentrerade varmluftsflöden, avlopp eller i kylvatten. Följande generella antaganden om förlusternas karaktär och möjligheten att nyttiggöra dem kan göras:

- Förluster från uppvärmning av lokaler antas inte kunna tas tillvara vid temperaturer över 20 °C. All användning av fjärrvärme antas gå till lokaluppvärmning.
- Förluster från energianvändning till interna transporter antas inte vara möjliga att ta tillvara.
- Användning av el antas ske så spritt (i mindre motorer, pumpar, belysning o s v) att energiförlusterna inte går att tillgodogöras. Undantag från detta är elanvändning i vissa specificerade processer (till exempel raffinörer).



- Övriga förluster genom strålning antas inte vara möjliga att ta tillvara. Utöver dessa generella antaganden måste även antaganden göras utifrån hur processerna inom respektive bransch ser ut.

För de flesta branscher är det omöjligt att basera en uppskattning av spillvärmepotentialen enligt dessa principer på statistiska uppgifter. Till stor del har därför mer schabloniserade reduktioner gjorts.

### 3.2 Grov uppskattning av spillvärmepotentialen

Baserat på de principer som beskrivits ovan görs i detta avsnitt en överslagsmässig uppskattning av den totala spillvärmepotentialen i industrin. På grund av de stora osäkerheterna i uppskattningen används inga detaljerade siffror.

#### 3.2.1 Massa- och pappersindustrin

Enligt statistiken ovan använde massa- och pappersindustrin år 2000 knappt 23 TWh el och knappt 53 TWh bränsle (inköpt och internt genererat från vedråvaran). Av denna användning såldes motsvarande drygt 1 TWh till fjärrvärme. Baserat på en total energibalans blev alltså resterande ca 74 TWh förluster i olika former. (Branschen sålde även biobränsle (bark o dyl), men detta är inte medräknat i energianvändningsuppgifterna. )

Grovt räknat 3 TWh går till lokaluppvärmning och användning av ca 16 TWh el antas ske spritt. Resterande 6-7 TWh el används i raffinörer och malning. Värme från dessa återvinns inom bruken i pappersmaskinerna (torkning av papper). Spillvärmerna från torkarna utgör dock i sin tur en potentiell spillvärmekälla. För massa- och pappersindustrin har netto förluster inte reducerats för förluster vid temperaturer över 50°C. Uppgifter från olika fallstudier tyder på att en tämligen stor andel av förlusterna sker vid relativt låga temperaturer.

Energianvändning	75
Fjärrvärmeförsäljning	- 1
<b>Brutto förluster</b>	<b>74</b>
Användning av fjärrvärme	- 1
Övrig uppvärmning av lokaler	- 2
”Spridd” användning av el	-16
Förluster genom strålning från resterande (-15%)	- 9
<b>Netto förluster</b>	<b>46</b>

#### 3.2.2 Stål- och metallindustrin

Järn- stål- och metallverken använder tillsammans ca 8 TWh el och ca 17 TWh bränsle (inköpt och internt genererad från kolet som används i processen). Producerad koksugns- och masugns gas motsvarande drygt 2 TWh säljs för närvarande externt, denna är dock inte medräknat i energianvändningsuppgifterna.

Av elanvändningen går sammanlagt närmare 4 TWh till större värmegenererande processer som stålsmältning, smältreduktion och elektrolys. I järn- och stålverken sker en stor del av förlusterna, genom avgasströmmar och från hett material, sker vid en

betydligt högre temperatur än den som här diskuteras. Spillvärmepotentialen vid lägre temperaturer har därför schablonmässigt reducerats betydligt (posten ”processrelaterade begränsningar” i tabellen nedan). Dessutom antas förlusterna genom strålning i stålverken vara dubbelt så stora som den generella reduktion som annars använts.

<b>Energianvändning = brutto förluster</b>	<b>25</b>
”Spridd” användning av el	- 4
Processrelaterade begränsningar	-11
Förluster genom strålning från resterande (-30%)	- 3
<b>Netto förluster</b>	<b>7</b>

### 3.2.3 Trävaruindustrin

Trävaruindustrin använder ca 2 TWh el och ca 8 TWh bränsle (mestadels internt genererad från träråvaran). Branschen säljer också biobränsle externt, detta är dock inte medräknat i energianvändningsuppgifterna.

Elanvändningen antas ske helt och hållet ”spridd” och förlusterna från denna inte vara möjliga att ta tillvara. Värme används framförallt till torkning av ved och delar av förlusterna från denna används till lokaluppvärmning vid låga temperaturer. Netto förluster har inte reducerats för förluster vid temperaturer *över* 50°C (information saknas).

<b>Energianvändning = brutto förluster</b>	<b>10</b>
Värme för lokaluppvärmning m m	- 2
”Spridd” användning av el	- 2
Förluster genom strålning från resterande (-15%)	- 1
<b>Netto förluster</b>	<b>5</b>

### 3.2.4 Kemisk industri

De totala energianvändningssiffrorna (7,4 TWh el och 3,6 TWh bränsle) för kemisk industri som angetts i tabell 2 avser kemisk industri, gummi- och plastindustrin samt produktion av petroleumprodukter. Av denna användning sker cirka tre fjärdedelar inom ”klassisk” kemisk industri.

Kemisk industri är mycket heterogen och uppgifter om energianvändningens fördelning på olika ändamål saknas. Inom kemisk industri finns dock ett flertal processer där såväl el (t ex elektrolys m m) som ånga från bränsle (t ex indunstning) används i processen. Kemisk industri är också komplex i och med att energianvändningen inte kan separeras från användningen av råvaror och de kemiska processer som sker. I processerna binds energi i produkterna och frigörs energi från råvarorna. Inte desto mindre har här gjorts ett grovt och förenklat antagande att närmare hälften av såväl el- som bränsleanvändningen går till själva processen och att förlusterna från denna användning är möjlig att ta tillvara (sånär som på strålningsförluster). Netto förluster har inte reducerats för förluster vid temperaturer *över* 50°C (information saknas).

<b>Energianvändning = brutto förluster</b>	<b>11</b>
Värme för lokaluppvärmning m m	- 2
”Spridd” användning av el	- 4
Förluster genom strålning från resterande (-15%)	- 1
<b>Netto förluster</b>	<b>4</b>

### 3.2.5 Verkstadsindustrin

Verkstadsindustrin använder ca 7 TWh el och ca 5 TWh bränsle och värme. Elanvändningen antas ske helt och hållet ”spridd” varför förlusterna från denna inte antas kunna tas tillvara. Av bränsle- och värmeanvändningen består 1,5 TWh av fjärrvärme och ca 1 TWh av drivmedel (till truckar m m). Även resterande bränsleanvändning kan till största del antas gå till lokaluppvärmning och liknande. Spillvärmepotentialen kan i detta sammanhang därför anses vara försumbar.

### 3.2.6 Livsmedelsindustrin

Livsmedelsindustrins totala energianvändning (6,8 TWh) är mindre än inom kemisk industri, men bränsleanvändningen är lika stor (3,6TWh).

Även livsmedelsindustrin är heterogen, vilket gör det svårt att göra några generella antaganden. Inom livsmedelsindustrin används en viss del av elen till stora kyl- och fryskompressorer, från vilka värme borde kunna gå att ta tillvara. Övervägande del av elanvändningen antas dock ske ”spridd”. En tredjedel av bränslet antas gå till lokaluppvärmning och drivmedel och två tredjedelar till processändamål inkl hett tappvarmvatten. Netto förluster har inte reducerats för förluster vid temperaturer över 50°C (information saknas).

<b>Energianvändning = brutto förluster</b>	<b>6</b>
”Spridd” användning av el	- 2
Värme för lokaluppvärmning m m	- 1,2
Förluster genom strålning från resterande (-15%)	- 0,4
<b>Netto förluster</b>	<b>2</b>

### 3.2.7 Total uppskattning

Summering av ovanstående grova uppskattning innebär att de totala värmeförlusterna från industrin i form av relativt koncentrerade ”flöden” över 20 °C uppgår till i storleksordningen 60 TWh. I viss mån har vi i uppskattningen av denna potential även tagit hänsyn till (reducerat för) sådan spillvärme som återfinns vid för *höga* temperaturer (över 50 °C). Den typen av reduktioner är dock svårare att göra utifrån ett rent energibalansperspektiv och de antagandena är därför än osäkrare än uppskattningen i övrigt.

En stor del av denna värmemängd torde vara tekniskt möjlig att utnyttja i värmeväxlare eller högtemperaturvärmepumpar *om* relevanta värmesänkor finns tillgängliga. En mindre del, men ändå i absoluta termer stor mängd, torde vara ekonomiskt intressant och tekniskt ”enkelt” genomförbar (utan extrautrustning, förändrad process etc).

## 4 Spillvärmepotential utifrån fallstudier av enskilda anläggningar

### 4.1 Princip och generella antaganden

Genom detaljerad energianalys av enskilda industrianläggningar kan förekomsten av koncentrerade spillvärmeflöden vid aktuellt temperaturintervall bestämmas med betydligt högre detaljeringsgrad än ovan. Detta gäller även om analysen inte gjorts med detta syfte. Det går därför att granska redan genomförda studier av det här slaget och utifrån dessa dra slutsatser om potentialen. Det finns flera olika sätt att genomföra energianalys av enskilda industrianläggningar. De fallstudier som diskuteras nedan hör till en av två olika typer av analys:

Pinchanalys	En pinchanalys identifierar värmebalanser och visar vilken mängd värme som finns tillgängligt vid olika temperaturer från tydligt definierade flöden. Med andra ord går det att direkt utläsa hur mycket energi (effekt) som finns tillgänglig mellan 20 och 50 °C för en viss process. Pinchanalysen sker dock i allmänhet med ett visst syfte och alla flöden ingår därför inte i analysen. Det är också ofta oklart hur den minimala användningen relaterar till verklig användning i processen. För studier som man inte själv genomfört är det därför svårt att avgöra vilken total användning man ska relatera spillvärmemängderna till. Dessutom kan man misstänka att flöden med för processen låga temperaturer ofta väljs bort i analysen, eftersom dessa i allmänhet är av mindre intresse.
Total energibalans	I en total energibalans för en specifik process eller industrianläggning ingår samtliga energiflöden och de olika typerna av förluster är lätta att avläsa ur resultaten. Resultaten presenteras ofta i tabellform eller som Sankeydiagram. Dock framgår normalt sett inte temperaturnivåerna för olika flöden explicit.

Oavsett om anläggningsdata från pinchanalys eller energibalanser används för att uppskatta total spillvärmeförekomst måste uppgifterna kunna skalas upp till totala siffror för Sverige. Detta innebär flera analyssteg, som vart och ett tillför osäkerhet till uppskattningen. Följande frågor måste besvaras:

- Hur väl stämmer den studerade anläggningen eller processen med genomsnittet för produktionsanläggningar för samma produkt?
- Hur stor del av branschens totala produktion består av just denna produkt?
- Hur ska man hantera den del av produktionen för vilka inga specifika anläggningsstudier finns tillgängliga?

Att genomföra en sådan uppskalning på ett utförligt sätt är ett tämligen omfattande arbete, som ter sig mindre relevant med de stora osäkerheter som finns knutna till analysens första steg.

I den här utredningen har ett relativt stort antal specifika anläggnings- och processtudier granskats översiktligt. Uppskattningen av total förekomst av spillvärme

inom respektive bransch har sedan gjorts högt schablonmässigt. De fallstudier som använts kommer i första hand dels från studier som gjorts inom CIT Industriell Energianalys AB och dels från värmepumpsprogrammet IEA Industrial Heat Pumps. Till övervägande del handlar det om pinchanalyser. De fallstudier som funnits tillgängliga har berört branscherna massa- och pappersindustrin, stål- och metallverk, kemisk industri och livsmedelsindustrin.

## 4.2 Kvantitativ uppskattning av spillvärmepotential

### 4.2.1 Massa- och pappersindustrin

Massa- och pappersindustrin består, grovt uppdelat, av kemiska massabruk, mekaniska massabruk och pappersbruk. Massabruken kan vara fristående för produktion av avsalumassa eller integrerade med pappersbruken.

Enligt de energibalanser som presenterats för referensfabriken inom KAM-projektet (kretsloppsanpassat massabruk) finns 8,5-9,6 GJ/ADt massa tillgänglig som värme i temperaturintervallet 25-60 °C sommartid. Vintertid är motsvarande siffror 6,3-7,5 GJ/ADt. Detta är värme som kyls bort och som alltså borde vara möjlig att ta tillvara i värmepumpar. Av detta återfinns ca 1 GJ/ADt i avloppsvatten och kyls från 60 till 40 °C innan avloppsreningen. Resterande värme härrör från kondensatorernas kondensorer med mera och kyls vid 15 till 35 °C.

I värmepumpsprogrammet Industrial Heat Pumps finns sammanlagt 19 processer inom massa- och pappersindustrin specificerade. Av dessa avser en del enbart delar av ett bruk (t ex indunstare eller kokare) och är mindre intressanta för den här utredningen. Andra saknar noteringar om verklig energianvändning, vilket gör det svårt att uppskatta *andelen* lågvärdig spillvärme. Sex av de resterande processerna har valts ut som exempel:

- Pappersbruk för blandade specialpapper, Storbritannien (549). Enligt denna studie ligger samtliga varma strömmar under 60 °C och spillvärmemängden mellan 20 och 40 °C. Mängden spillvärme motsvarar ca 80% av total energianvändning.
- Pappersbruk för finpapper och "brunt" papper, Storbritannien (550). Spillvärmemängden ligger mellan 20 och 30 °C och motsvarar uppemot 50% av energianvändningen.
- Produktion kemisk blekt pumpmassa, USA (551). I detta bruk finns ca 40 MW värme vid 50 °C, vilket motsvarar ca 13% av energianvändningen.
- Produktion av kemisk oblekt pumpmassa, USA (552). I detta bruk finns ca 30 MW värme mellan 40 och 55 °C, vilket motsvarar ca 40% av användningen.
- Integrerat TMP, SGW och pappersbruk, CTH, Sverige (558). I detta bruk finns ca 50 MW värme tillgängligt mellan 20 och 50 °C med dagens energianvändning. Med de strömmar som tagits med i studien *överstiger* mängden spillvärme total energianvändning med ca 15 MW.
- Integrerat kraftliner-bruk, CTH, Sverige (559). Med dagens energianvändning finns i detta bruk ca 60 MW spillvärme under 50 °C tillgängligt, av detta är ca 40 MW över 20 °C. Även i denna studie överstiger spillvärmemängden den totala användningen med ca 15 MW.

Resultaten från dessa enskilda studier kan ligga till grund för en grov uppskattning av förekomsten av spillvärme inom branschen. För *kemiska avsalumassabruk* baseras uppskattningen på KAM-projektet. Eftersom potentialen i verkliga massabruk, med en betydligt högre energianvändning, borde vara minst lika hög antas 8 GJ/ADt finnas tillgänglig från dessa bruk. Den totala produktionen av avsalumassa är ca 3 Mton/år, vilket alltså skulle motsvara nästan 7 TWh/år spillvärme i aktuellt temperaturintervall.

För den *integrerade produktionen av mekanisk massa och papper* (främst tidningspapper och trähaltigt finpapper) saknas motsvarande data. Exemplet från IEA Industrial Heat Pumps ovan antyder dock att en tämligen stor andel av total energianvändning är tillgänglig som spillvärme. För övrig, integrerad produktion, antas den största andelen spillvärme vid låga temperaturer finnas tillgänglig vid pappersproduktionen. Även för denna produktion antyder resultaten från IEA Industrial Heat Pumps att denna spillvärme motsvarar en tämligen stor andel av ånganvändningen. Schablonmässigt antas spillvärmets motsvara ca 60% av ånganvändningen för pappersproduktionen. Den totala pappersproduktionen är ca 10 Mton/år och den specifika ånganvändningen varierar mellan 4,6 och 8,3 GJ/ton papper (1994). Spillvärmepotentialen skulle alltså motsvara ca 10 TWh.

För hela massa- och pappersindustrin skulle potentialen för spillvärme mellan 20 och 50 °C alltså motsvara ca 17 TWh.

#### 4.2.2 Järn- och stålindustrin

Järn- stål och metallindustrin domineras av järn- och stålverken, vilka tillsammans svarar för ca 85% (18,4 TWh) av bränsleanvändningen och drygt 50% (4,25 TWh) av elanvändningen. De fallstudier som nämns nedan berör också främst denna delbransch.

Vid CIT har en omfattande pinchanalys av ett järn- och stålverk genomförts. I anläggningen som studerades användes motsvarande den totala bränsleanvändningen en effekt om ungefär 800 MW. Pinchanalysen genomfördes för koksverk, sinterverk, hyttor, LD-konverter, stränggjutningsanläggning, ämnesugnar och normaliseringsugnar separat, samt under antagande om integration mellan verken.

Analysen visade att förlusterna generellt sett sker i form av heta avgaser (150-250 °C) och strålning från hett material samt delvis som överskott av ånga och hetvatten. Återvinning av dessa förluster är principiellt möjligt (även om det i vissa fall finns tekniska svårigheter). Efterfrågan inom bruken på energi vid dessa temperaturer saknas dock. Förbättrad processintegration enligt pinchanalysen medför framförallt besparing av koks och friställning av gas (koksverksgas och masugnsgas) för elproduktion eller annan användning. Förluster vid låga temperaturer sker framförallt från LD-konvertern och stränggjutningen. Från dessa två delar fanns ca 30 MW varmvatten (35-50 °C) tillgängligt, vilket alltså motsvarade ca 4% av total bränsleanvändning. Utan större ombyggnader, fanns ytterligare 25-30 MW spillvärme tillgängligt i form av hetvatten och ånga (från verket som helhet).

I IEA Industrial Heat Pumps finns totalt 12 processer specificerade inom järn- stål och metallindustrin. Av dessa avser nio olika delar (koksverk, sinterverk o s v) av ett integrerat stålverk i Storbritannien. Två avser stålframställning från skrot (samma

process, olika pinchanalys) och en ett metallurgiskt komplex för framställning av koppar, zink m m. Fortsättningsvis diskuteras enbart det integrerade stålverket.

Utan att gå in djupare i själva analysen kan en allmän slutsats dras utifrån de pinchkurvor som presenteras för dessa processer. Vid stålverket finns ganska små mängder spillvärme vid låga temperaturer tillgängliga. Däremot finns potentiellt stora möjligheter att ta tillvara spillvärme vid höga temperaturer. (Värme vid låg temperatur fanns i dessa studier främst i de processer som hanterar biprodukterna från koksverket.) Denna slutsats överensstämmer även med den analys som genomförts vid CIT.

Den totala potentialen för spillvärme mellan 20 och 50 °C skulle alltså kunna motsvara 5-10% av den totala bränsleanvändningen inom järn- och stålverken, vilket motsvarar 1-2 TWh. Till detta kommer en ej bestämd potential från metallverken.

#### 4.2.3 Kemisk industri

Branschen kemisk industri är mycket heterogen och uppskalning från specifika fallstudier är därför ännu svårare än i det generella fallet. De resultat från enskilda pinchstudier som refereras nedan får istället ses som rena exempel på heterogeniteten inom kemisk industri.

Vid CIT har en analys genomförts av en produktionsanläggning för fatsyraanhydrid. Produktionen sker genom en exoterm kemisk process och ingen extern energi behöver normalt sett tillföras. Tillgängligt överskottsvärme motsvarar mer än hälften av den totala mängden värme som används inom anläggningen. Överskottet finns dock främst vid temperaturer mellan 75 och 250 °C.

I IEA Industrial Heat Pumps finns sammanlagt 31 olika processer specificerade som berör olika typer av kemiska processer. (Därtill kommer 10 processer inom raffinering.) Det övergripande intrycket från dessa processer är att för de flesta finns en mycket stor andel (60-100%, ibland mer förmodligen på grund av exoterma processer) av total energianvändning tillgänglig som spillvärme runt och under 100 °C. Några av de processer där den specifika pinchanalysen resulterade i en sådan profil är produktion av konstgödsel, butan (pentan och hexan), PVC, fenol (ca 50%) samt tvål och tvättmedel.

Graden av generalitet på dessa studier är mycket svår att bedöma. Studierna tyder dock på att förlusterna inom kemisk industri till övervägande del sker vid temperaturer runt 100 °C och alltså inte inom det temperaturintervall som är aktuellt för denna studie.

#### 4.2.4 Livsmedelsindustrin

Livsmedelsindustrin använder, som nämnts ovan, ungefär lika mycket energi som kemisk industri (men med annan sammansättning) och är också en heterogen bransch.

CIT har tillsammans med Åf genomfört en detaljerad energianalys i ett raffinaderi och specialsockerbruk. Denna studie visar att av en total effektanvändning på ca 18MW återfinns ca 1,7 som spillvärme vid 30 °C och ytterligare ca 10 MW som spillvärme vid ca 70 °C.

I IEA Industrial Heat Pumps finns sammanlagt 42 processer inom livsmedelsindustrin specificerade. Nedan refereras kortfattat några av de, ur energisynpunkt, mest intressanta processerna som exempel.

- Betsockerraffinering, USA (573). Enligt denna studie återfinns ca 80% av energianvändningen mellan 50 och 100 °C (ingenting under 50 °C).
- Destillation av sprit, USA och Storbritannien (574, 585 och 594). Ca 60-75% av energianvändning återfinns som spillvärme mellan 50 och 100 °C (10% under 50 °C).
- Raffinaderi för matolja, Storbritannien (581). Ca 65% av total energi-användning finns tillgänglig som värme vid ca 50 °C.
- Bryggeri, Storbritannien (582). Enligt denna analys överstiger tillgången på spillvärme energianvändningen. Spillvärmets finns tillgängligt vid 10-50 °C. Det finns dock fler bryggeriprocesser specificerade, vilka varierar mycket i resultat.
- Osttillverkning, USA (593). Ca hälften av använd energi finns tillgänglig vid temperaturer mellan 20 och 50 °C.
- Mejeri med blandad produktion, Storbritannien och Norge (583 och 602). Värmeöverskott främst vid temperaturer under 20 °C.

Energibalanser som genomförts för svenska slakteriföretag i början av åttiotalet visar att efter 15% reduktion för strålningsförluster återfinns 60-70% av energi-användningen som förluster i avlopp, rökgas samt förluster från processen till atmosfären. Övriga förluster sker från lokaluppvärmning och belysning (samt genom strålning).

Baserat på ovanstående studier skulle den totala potentialen för spillvärme mellan 20 och 50 °C kunna motsvara cirka 60% av den totala bränsleanvändningen inom livsmedelsindustrin, vilket motsvarar ca 2 TWh.

#### 4.2.5 Total uppskattning

I nedanstående tabell sammanfattas resultaten från avsnitt 4.2.1 till 4.2.4.

Bransch	Potential [TWh]	Kommentar
Massa- och papper	17	
Stål- och metallverk	1-2	För metallverk ingen uppgift.
Trävaruindustrin	-	Detaljstudier saknas.
Verkstadsindustrin	-	Detaljstudier saknas.
Kemisk industri	-	Liten andel av förlusterna sker mellan 20 och 50 °C. Mycket osäker uppskalning.
Livsmedelsindustrin	2	Stor del av förlusterna sker mellan 20 och 50 °C. Mycket osäker uppskalning.
Gruv- och mineral	-	Detaljstudier saknas.



## 5 Diskussion och slutsatser

För att åstadkomma en relativt säker uppskattning av förekomsten av spillvärme vid låga temperaturer från industrin som helhet skulle det krävas en betydligt mer omfattande studie än som presenterats genom denna rapport.

Som beskrivits i rapporten finns det ett antal metodologiska problem med de grova uppskattningar som gjorts i detta arbete. Inte desto mindre kan man dra slutsatsen att den totala potentialen av spillvärme i temperaturintervallet 20-50 °C är stor. Den omfattar förmodligen minst 20 TWh och kanske ända upp till 50 TWh per år.

Många andra aspekter - geografiska, installationstekniska, tillgång på värmemarknader o s v – påverkar de ekonomiska förutsättningarna för att använda denna spillvärme för värmepumpar. Utifrån den spillvärmepotential som uppskattats ovan, kan man dra slutsatsen att det snarare är dessa ekonomiska förutsättningar (än den absolutat tillgången på spillvärme) som kommer att styra utnyttjandet av denna typ av värmepumpar inom industrin.

De största mängderna spillvärme förekommer i de två mest energikrävande branscherna (massa- och papper samt stål- och metallverk). Dessa två branscher består dock i stor utsträckning av stora bruk och efterfrågan på värme i anslutning till dem är antagligen begränsande. För järn- och stålverken finns det dessutom även stora mängder spillvärme vid högre temperaturer tillgängligt. Det är rimligt att dessa tillgångar utnyttjas i första hand. Andra branscher, med mindre absolut potential, kan därför även de vara av intresse. Det gäller till exempel livsmedelsindustrin och delar av kemisk industri. För dessa branscher handlar det i många fall om mindre anläggningar som ligger närmare tätorter och där konkurrensen från andra spillvärmekällor kanske är mindre.

Dessa frågeställningar skulle kunna utredas närmare för mer avgränsade fall, som möjligheten att utnyttja spillvärme från specifika industriella anläggningar eller i specifika kommuner med fjärrvärme.

## 6 Källor

Nedanstående källor har använts vid sammanställningen av denna rapport:

- Scenarier över energisystemets koldioxidutsläpp år 2010, STEM, 1999, underlagsrapport till klimatkommittén, SOU 2000:23
- Energianvändningen inom industrin, EMIL 2, ET 2:2001, STEM och NV, 2001
- Bearbetad energistatistik för industrin år 2000 (baserad på SCBs statistik), personlig kommunikation med Tobias Jakobsson, STEM, 2002
- Ökat industriellt mottryck och spillvärmeutnyttjande för CO<sub>2</sub>-reduktion – en känslighetsanalys relativt referensscenariet i Klimatrapporten – etapp 1, underlagsrapport till klimatkommittén, SOU 2000:23, framställd av Lars Wrangén, Åf Energikonsult AB, Stockholm, 1999
- Sekundärvärmebalans för KAMs referensfabrik, KAM-rapport nr B27, framställd av Lennart Delin, Åf-IPK AB, 1998
- IEA Annex 21 Industrial Heat Pumps, databas
- Energihushållning i slakterier och charkuterier, SIND, 1980
- Internt material vid CIT Industriell Energianalys AB