JERNKONTORETS FORSKNING

D 826

Användning av stålindustrins restenergier för elproduktion

Ett effektivt resursutnyttjande för elproduktion

Björn Asp, Mikael Wiklund, Jan Dahl, Luleå tekniska universitet

Nyckelord:
Restenergier, elproduktion, elcertifikat, Kalina, Rankine, ORC

Rapport JK 98400 2008-06-26
(ISSN 0280-249X)

Sammanfattning

Trots alla åtgärder som vidtagits inom stålindustrin, finns det fortfarande möjligheter att effektivisera energianvändningen genom att ta till vara restenergier. Restenergierna överskrider behovet i lokala fjärrvärmenät varför intresset kring förutsättningarna för egen elproduktion har ökat. Frågan är hur stor potential en sådan elproduktion har samt hur stor potentialen är om elcertifikat kan tillgodoräknas, vilket har undersökts i den här studien.

Potentialen för egen elproduktion har undersökts vid två verk. Dessa är SSAB Tunnplåt i Borlänge samt Outokumpu Stainless Avesta Works i Avesta. Temperaturen på restenergierna är i regel rätt låga varför traditionella ångcykler inte är aktuella. Två kommersiella tekniker som däremot lämpar sig för dessa restenergier är Organisk Rankine Cykel och Kalina cykel. Tekniska och ekonomiska beräkningar grundar sig på dessa tekniker. En beskrivning av teknikerna presenteras även inledningsvis.

Resultaten för SSAB Tunnplåt i Borlänge visar:

- Att det finns potential för att producera 72 GWh el/år med elcertifikat
- Att reduktionen av CO_2 emissioner till följd av en minskad nordisk kolkondensbaserad marginalelproduktion uppgår till 70 000 ton/år vid elproduktionen 72 GWh.

Motsvarande resultat för Outokumpu Stainless Avesta Works i Avesta är:

- Att det finns potential för att producera 45 GWh el/år med elcertifikat
- Att reduktionen av CO_2 emissioner till följd av en minskad nordisk kolkondensbaserad marginalelproduktion uppgår till 44 000 ton/år vid elproduktionen 45 GWh

Då de visat sig för omfattande att bedöma kostnader för utrustning som återvinner värmen från restenergiflödena, undersöktes istället hur mycket denna kringutrustning får kosta. Då elcertifikat erhålls tillåts naturligtvis högre kostnader för kringutrustningen. För många restvärmeposter är det troligt att elcertifikat krävs för att få ekonomin att gå ihop. Man kan säga att potentialen med elcertifikat i högre grad är rimlig än utan elcertifikat.

Slutligen kan sägas att elproduktion från de restvärmeflöden som har behandlats här bör vara berättigad till elcertifikat, även om dess uppkomst sker i processer som är eldade med fossilt bränsle. Med elcertifikat kan mer el produceras och det är naturligtvis bättre att omvandla restvärmen till el än att inte använda den alls.

Innehåll

1 INTRODUKTION 4

1.1 BAKGRUND 4
1.2 TIDIGARE ARBETEN 4
1.3 MÅL 5

2 TEKNOLOGIER 6

2.1 ELPRODUKTION FRÅN RESTENERGIER 6
2.1.1 Organisk Rankine Cykel 7
2.1.2 Kalina Cykel 10
2.1.3 Jämförelse - ORC och Kalina 14
2.1.4 Övriga tekniker 15
2.2 VÄRMEÖVERFÖRING 16
2.2.1 Från Rökgaser 16
2.2.2 Från varmt material 18
2.2.3 Inverkan av forcerad svalning på stålets egenskaper 20

3 TEKNISKA OCH EKONOMISKA MODELLER 21

3.1 ELPRODUKTION 21
3.1.1 Restenergiflöden 21
3.1.2 Verkningsgrad 21
3.1.3 Elcertifikat 22
3.2 EKONOMI 23
3.3 MILJÖVÄRDERING AV EL 25
3.3.1 Marginalel 25

4 SSAB TUNNPLÅT BORLÄNGE 27

4.1 PRODUKTIONSBESKRIVNING 27
4.1.1 Varmvalsverket 27
4.1.2 Kallvalsverket 28
4.1.3 Beläggningsverken 30
4.2 ENERGIANVÄNDNING OCH PRODUKTIONSMÄNGDER 31
4.3 RESTENERGIFLÖDEN 32
4.3.1 Beräkningar av energimängder 32
4.3.2 Återvärmningsugnarna 33
4.3.3 Varma bandrullar 35
4.3.4 Kontinuerliga glödgningslinjen 36
4.3.5 Metallbeläggningslinje 1 (Aluzinklinjen) 36
4.3.6 Metallbeläggningslinje 2 (Galvlinje 2) 38
4.3.7 Färglinjen (Prelaq) 39
4.3.8 Reningsverket 39
4.3.9 Ånga över tak 39
4.4 SAMMANSTÄLLNING RESTENERGIER 40
4.5 POTENTIELL ELPRODUKTION 41
4.6 EKONOMISK UTVÄRDERING 41
4.7 MOTTRYCKSTURBIN VID ÅTERVÄRMNINGSUGNARNA 45
4.8 MILJÖ 46

5 OUTOKUMPU STAINLESS AVESTA WORKS 48

5.1 PRODUKTIONSBESKRIVNING 48
5.1.1 Stålverk 48
5.1.2 Varmbandverk 49
5.1.3 Kallbandverk 50
5.2 ENERGIANVÄNDNING OCH PRODUKTIONSMÄNGDER 52
5.3 RESTENERGIFLÖDEN 52
5.3.1 Ljusbågsugn 52

5.3.2 Konverter *54*
5.3.3 Stränggjutverk *54*
5.3.4 Återvärmningsugnarna *55*
5.3.5 Haspelugnar *56*
5.3.6 Varma bandrullar *57*
5.3.7 Glödgugn *57*
5.4 SAMMANSTÄLLNING RESTENERGIER 57
5.5 POTENTIELL ELPRODUKTION 58
5.6 EKONOMISK UTVÄRDERING 59
5.7 MILJÖ 63
6 ELPRODUKTION FRÅN ÖVRIG STÅLINDUSTRI I SVERIGE 65
7 DISKUSSION 66
8 SLUTSATS 68
9 REFERENSER 69

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Den svenska järn- och stålindustrins uppbyggnad skedde före 70-talets energikriser. Energitillgångarna var tämligen goda vilket resulterade i låga energikostnader. Utformning av energieffektiva system var därför ej prioriterat. Tillvaratagande av restenergier kunde knappast motiveras. Elpriset har under många år varit lågt och tillgången god. Situationen idag är avsevärt förändrad med energikostnader som är höga, vilket gjort att intresset kring förutsättningarna för egen elproduktion ökat avsevärt. [1]

Stålindustrin idag använder restenergier dels internt, dels till externa leveranser. Den viktigaste användningen internt är förvärmning av förbränningsluft i valsverksugnar men också för lokaluppvärmning. SSAB Tunnplåt i Luleå levererar processgaser till externt kraftvärmeverk för produktion av el och fjärrvärme, men också till externa industrikunder. Övriga stålverk levererar i allt högre grad ånga eller hetvatten från i första hand valsverksugnar till lokala fjärrvärmenät. [2]

Tillgänglig mängd restenergi överskrider dock behovet av fjärrvärme på samtliga orter med stålproduktion. Mycket av den producerade värmen måste spillas då värmebehovet också är säsongsberoende.

Ökad produktion av elkraft skulle därför öka energieffektiviteten, och i sin tur även kunna minska miljöpåverkan i form av minskade specifika emissioner per energienhet.

I samband med diskussioner med regeringskansliet om den nya lagen om elcertifikat har Jernkontoret och övriga deltagande branschföreningar föreslagit att även el från restenergier skall vara certifikatberättigat. Frågan har då kommit upp om vilken potential en sådan elproduktion har. Elcertifikaten kommer att finnas kvar till år 2030 vilket möjliggör en långsiktig utveckling och införande av nya elproduktionsmetoder.

1.2 Tidigare arbeten

Inom kommitté 5126/89 ”Egen elproduktion inom järn- och stålindustrin” undersöktes möjligheterna att producera el vid några verk (Oxelösund, Borlänge, Smedjebacken). Slutrapporten (JkF serie D nr 660, samt konfidentiella rapporter vid företagen) publicerades 1991. Slutsatsen då blev att det endast var vid de malmbaserade verken som elproduktion var lönsam.

1.3 Mål

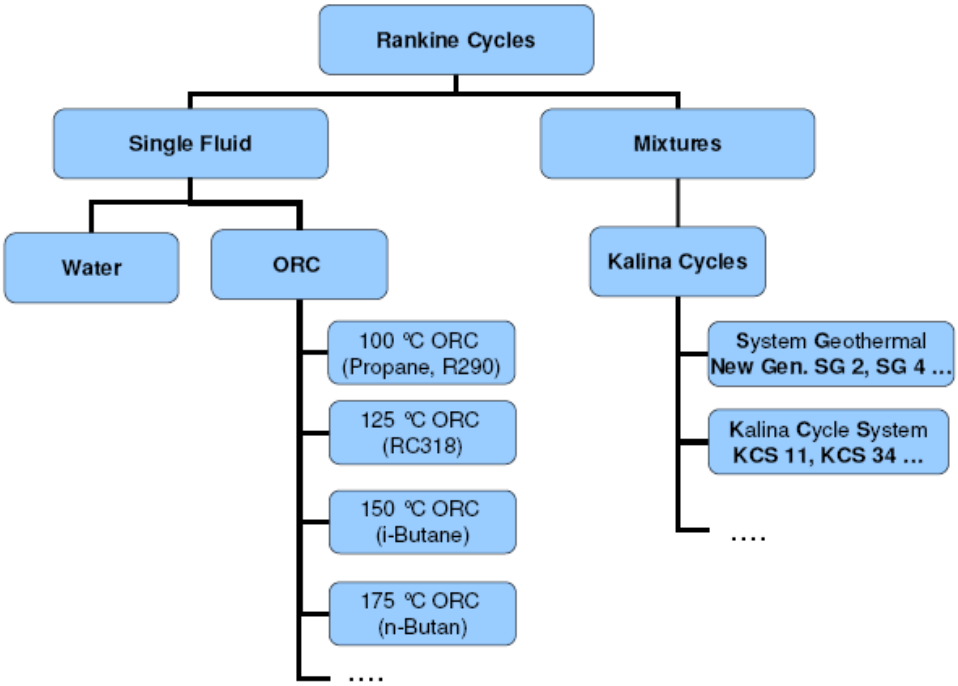
Studien syftar till att bedöma potentialen för egen elproduktion från restenergier vid verken SSAB Tunnplåt i Borlänge samt vid Outokumpu Stainless Avesta Works i Avesta. Produktionskostnaden för el beräknas med och utan elcertifikat.

2 Teknologier

2.1 Elproduktion från restenergier

Teknikvalet för elproduktion från restenergier styrs mycket av vilken typ av värmebärare man har tillgång till och dess temperatur. En annan viktig faktor är mängden av värmebärare man har tillgång till, vilket kan påverka valet av teknik då storleken på anläggningen får betydelse.

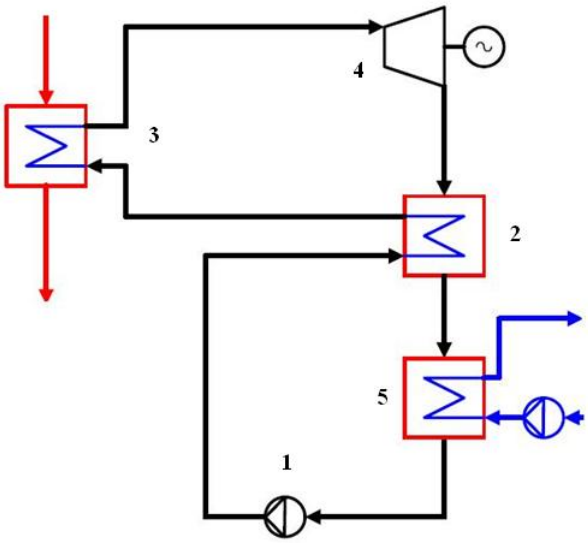
En teknik som är väl etablerad inom geotermisk elproduktionen är den Organiska Rankine Cykeln (ORC). En annan teknik som används vid geotermisk elproduktion är Kalina cykeln som på senare år fått större uppmärksamhet. På grund av likheterna med geotermisk elproduktion avseende både temperaturområde och anläggningsstorlekar läggs störst vikt vid dessa två tekniker i denna studie. Många kommersiella aktörer som jobbar med ORC och Kalina erbjuder även moduler för elproduktionen från restenergier. ORC och Kalina är båda i grunden Rankine cykler som kan delas in i två huvudgrupper med avseende på arbetsmediet, se Figur 1. När det gäller ORC används arbetsmedier av enbart en fluid medan för Kalina handlar det om blandningar mellan två olika fluider.



Figur 1 Varianter av Rankine cykler [3]

2.1.1 Organisk Rankine Cykel

Denna teknik bygger på en traditionell Rankine cykel med ett organiskt ämne som arbetsmedium. Istället för vatten används t.ex. iso-pentan, iso-oktan, toluol eller silikonolja [4]. Ett flödesschema över en typisk ORC cykel beskriver processen, se Figur 2.

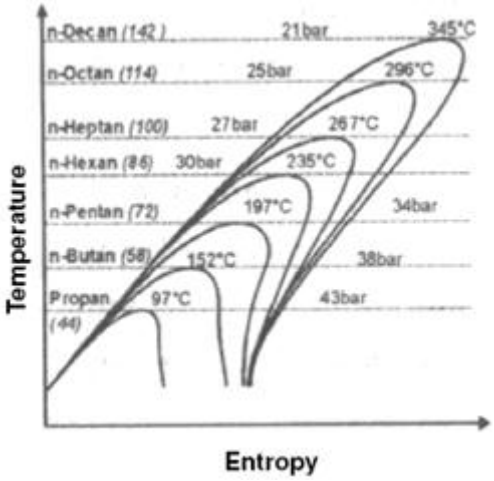


Figur 2 Flödesschema över en typisk ORC cykel

Arbetsmediet trycksätts via en pump (1) för att sedan passera regeneratorn (2) där arbetsmediet förvärms. Vidare passeras kokaren (3) där arbetsmediet förångas och eventuellt överhettas. Ångan expanderar sedan i turbinen (4) som är kopplad till en generator för elproduktion. Den expanderade ångan kyls sedan i regeneratorn och kondensorn (5) med kylvatten. Arbetsmediet återgår till vätskefas igen för att sedan passera pumpen, varvid cykeln är fullbordad.

Val av arbetsmedium

Valet av arbetsmedium bestäms av temperaturen på värmekällan då arbetsmediets kokpunkt avstäms mot värmekällans temperatur. Detta kan åskådliggöras genom att vi ser till ett T-S diagram för några organiska arbetsmedier, se Figur 3.

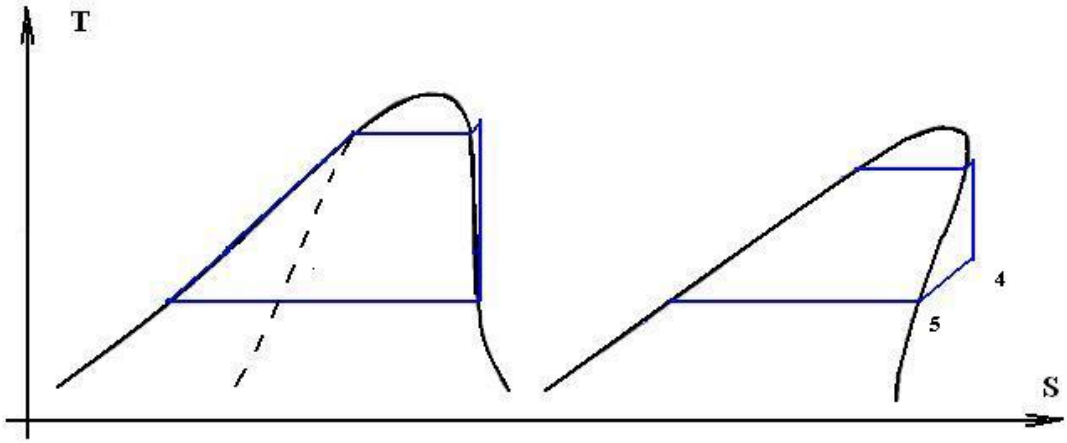


Figur 3 T-S diagram för några vanliga arbetsmedier [3]

I det här diagrammet ser man att valet av arbetsmedium sträcker sig över ett intervall från 97°C för Propan till 345°C för n-Decan. Som regel gäller att mediets kritiska temperatur ska vara lägre än värmekällans temperatur. [3]

Idealt är man ute efter följande fysikaliska egenskapar hos ett arbetsmedium; låg specifik volym, låg viskositet och ytspänning, hög termisk konduktivitet, lämplig termisk stabilitet, icke korrosiv, icke giftig samt kompatibel med maskinmaterial och smörjoljor. [5]

Önskvärda termodynamiska egenskapar är hög ångbildningsentalpi och låg specifik värmekapacitet, alternativt en nära vertikal mättnadslinje för vätska (streckade linjen i Figur 4) så att större delen av värmen tillförs vid fasomvandlingen. Då behövs inte regenerativ matarvattenförvärmning för att uppnå hög verkningsgrad. En nära vertikal mättnadslinje för ånga är också önskvärd (isentrop fluid, se Figur 4) då man dels slipper fukt i expansionen och dels behovet av att kondensera överhettad ånga. [5]



Figur 4 Temperatur-entropidiagram, isentrop fluid (vänster) och torr fluid (höger). Tillstånden 4 och 5 motsvarar de som ges i förklaringen till Figur 2.

I verkligheten får man dock kompromissa med ovanstående önskvärda egenskaper. Bland annat kan många organiska fluider som används i ORC cykler klassas som torra, vilket innebär att mättnadskurvan för ånga har en positiv lutning, se Figur 4.

Mediet befinner sig här fortfarande i överhettade området efter turbinexpansionen. I dessa fall brukar oftast en regenerator placeras mellan turbinen och kondensorn för ökad verkningsgrad, linjen 4-5 i Figur 4.

Kommersiell teknik och demonstrationsanläggningar

Det finns relativt lång drifterfarenhet av ORC cykler för elproduktion, speciellt via geotermisk energi.

Turboden S.r.l. är ett italienskt företag som enligt sin hemsida erbjuder ORC moduler för eleffekter mellan 400-1500 kW(e), dvs. med värmeeffekter i området 1800-6800 kW(v). Företaget ska enligt hemsidan ha sålt mer än 50 anläggningar runt om i världen. Elutbytet verkar genomgående ligga runt 22 % och totalverkningsgraden är ca 80 %. [6]

ORMAT Technologies, Inc. är beläget i USA och har sålt ORC anläggningar sedan mitten av 1960-talet. Anläggningarna har drivits med spillvärme, geotermisk energi eller solvärme. Ormat erbjuder ORC anläggningar för eleffekter mellan 0,25-125 MW(e). Ett stort antal anläggningar har uppförts och är i drift sedan start. Under 2006 hade man anläggningar med en sammanlagd kapacitet av 150 MW(e) under konstruktion. [7]

Opcon verkar i Sverige och säljer färdiga moduler baserad på ORC tekniken för elproduktion från restvärme. Opcon ska under hösten 2007 testköra sin Powerbox vid ett antal industrier i Sverige. Powerboxen levereras som en färdig modul och ska kunna producera 500 kW el. Ett besök på kraftvärmemässan i Älvsjö 2007 gjordes där Opcon ställde ut en demonstrationsanläggning av Powerboxen. Som värmekälla användes fjärrvärme och el producerades via en lastbilsgenerator. [8]

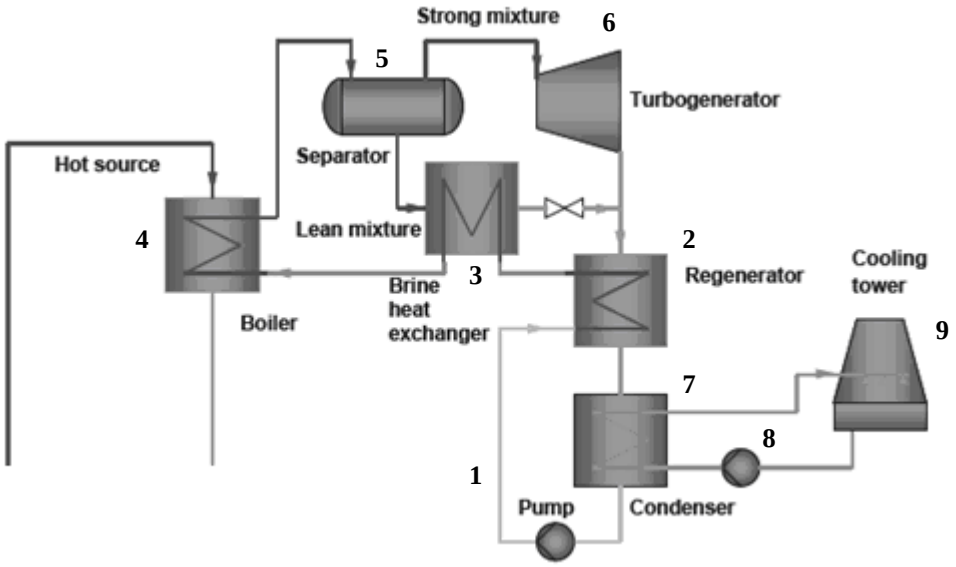
En del anläggningar som finns i drift samt sådana som är planerade av Turboden och Ormat presenteras i Tabell 1. För Ormat presenteras endast anläggningar i drift även om flera var planerade under 2006.

Tabell 1 Anläggningar i drift -2006 och planerade 2006- baserad på ORC tekniken. [9], [10]

Anläggningar baserad på ORC tekniken	**Installerad effekt -2006 [MW(e)]**	**Planerade projekt 2006- [MW(e)]**
Turboden	1,0	
Österrike 500kWel	2,4	
Österrike 600kWel	2,4	0,8
Österrike 800kWel	8,8	1,1
Österrike 1100kWel	12,0	
Österrike 1500kWel	1,0	2,0
Tyskland 500kWel	1,2	1,2
Tyskland 600kWel	0,8	1,6
Tyskland 800kWel	2,2	1,1
Tyskland 1100kWel	4,5	6,0
Tyskland 1500kWel		2,0
Tyskland 2000kWel		
Summa	**36,3**	**15,8**
ORMAT		
Bad Blumau Österrike	0,25	
Fang Thailand	0,3	
Wabuska Nevada USA	0,8	
Oserian Kenya	1,8	
Hatchobaru Japan	2,2	
Tarawera Kawerau Nya Zealand	2,6	
Los Azufres Mexico	3,0	
Momotombo Nikaragua	7,5	
Svartsengi Island	9,0	
Gould Kalifornien USA	10	
Amatitlan Guatemala	20	
Puna Hawaii USA	30	
Leyte Optimization Philipinerna	49	
Heber Complex Kalifornien USA	82	
Upper Mahiao Philipinerna	125	
Summa	**343,5**	

2.1.2 Kalina Cykel

Kalina cykeln bygger på liknande princip som ORC tekniken men använder istället ett oorganiskt arbetsmedium i form av en ammoniak/vatten blandning. Man skulle även kunna lika Kalina cykeln med en omvänd absorptions cykel. Ett flödesschema över en typisk Kalina cykel beskriver processen, se Figur 5.



Figur 5 Flödesschema över en typisk Kalina cykel [11]

Ammoniak/vatten blandningen trycksätts via en pump (1) för att sedan passera regeneratorn (2) som förvärmer blandningen. Blandningen värms sedan ytterligare i förvärmaren (3) för att sedan börja förångas i kokaren (4). Blandningen består av både ånga och vätska när den når separatorn (5), som separerar den andel som är i vätskefas från ångan som till största del består av ammoniak. Ångan expanderar sedan i turbinen (6) som är kopplad till en generator för elproduktion. Den expanderade ångan blandas sedan med vätskan från separatorn för att sedan passera regeneratorn. Slutligen går blandningen genom kondensorn (7) som kyls med kylvatten via en sluten krets med en pump (8) och ett kyltorn (9). Blandningen återgår till vätskefas igen för att sedan passera pumpen, varvid cykeln är fullbordad. [11]

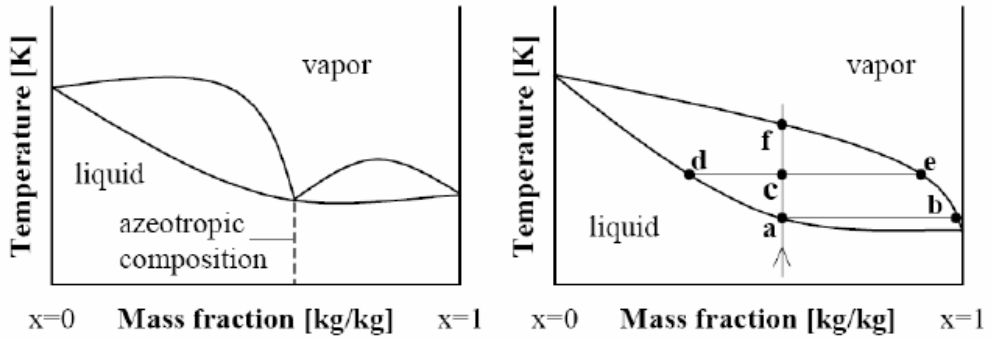
Fördelen med Kalina cykeln är att processen kan justeras efter variation i temperatur hos värmekällan. Genom att justera ammoniak/vatten blandningens sammansättning och arbetstryck kan processen optimeras. Temperaturspannet för förångningsprocessen hos ammoniak/vatten blandningen i Kalina processen kan vara så högt som 100°C. Förklaringen till detta får vi genom att studera ämnenas egenskaper, se Tabell 2. [12]

Tabell 2 Fysikaliska egenskaper för ammoniak och vatten. [12]

Egenskaper	**Ammoniak**	**Vatten**
Molekylvikt [kg/kmol]	17,03	18,0
Kokpunkt vid 1,013 bar [°C]	-33,4	100
Fryspunkt vid 1,013 bar [°C]	-77,8	0
Kritisk temperatur [°C]	132,4	374,2
Kritiskt tryck [bar]	113,5	221,2

Ammoniak och vatten är mycket polära ämnen som har förmågan att binda väte. Men deras normala kokpunkt och kritiska punkt ligger långt ifrån varandra. Ammoniak och vatten formar en anazeotropisk blandning. Skillnaden mellan en azeotrop och en

anazeotrop blandning illustreras i Figur 6, som visar temperatur och sammansättning för båda typerna av blandningar. [12]



Figur 6 Temperatur- och sammansättningsdiagram för azeotrop respektive anazeotropa blandningar vid konstant tryck [12]

Den övre linjen representerar tillståndet mättad ånga eller daggpunkten då vätska börjar kondensera från ånga. Den nedre linjen i figuren är mättnadslinjen för vätska då blandningen är vid kokpunkten och börjar bilda ånga. För ett rent ämne inträffar bubbelpunkten och daggpunkten vid samma temperatur. I Figur 6 vid x=0 och x=1 där vi har rena ämnen ser vi också att mättnadslinjerna möts. [12]

För en azeotrop blandning finns det en sammansättning som kallas den azeotropa punkten, där vätska och ånga är i jämvikt. Vid denna sammansättning börjar den kokande vätskan bilda ånga med samma sammansättning och temperatur som vätskan, blandningen beter sig som ett rent ämne. [12]

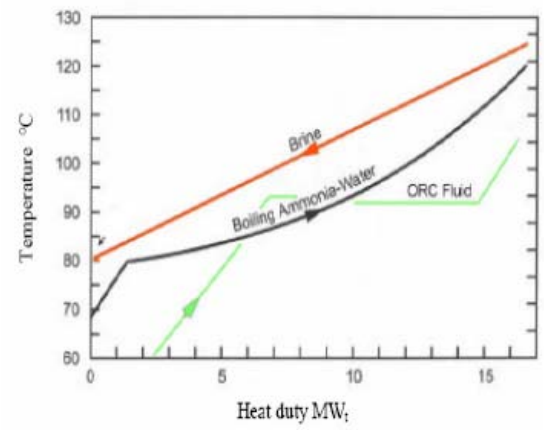
För en anazeotrop blandning förändras temperaturen och sammansättningen kontinuerligt under förångningsförloppet, se punkt a-f i Figur 6. När blandningen börjar koka vid kokpunkten (punkt a) är ångan rikare på ämnet som är mer lättflyktigt, ångans sammansättning ges av punkt b. När blandningen fortsätter att koka ökar temperaturen och punkt c nås, där koncentrationen av den kvarvarande vätskan och bildad ånga ges av punkt d respektive e. Eventuellt nås punkt f där blandningen är i fasen mättad ånga och har samma sammansättning som blandningen hade från början av förångningsprocessen. [12]

Slutsatsen av detta är att ammoniak som har en normal koktemperatur vid ca -30°C och en kritisk temperatur vid ca 130°C, kan förångas inom ett spann av ca 100°C beroende av fraktionen vatten som råder vid en blandning av medierna.

Från ovanstående teori framgår nu även varför blandningen som är rikare på ammoniak mixas med den vattenrikare dito efter turbinen. Detta eftersom blandningen då kan kondensera vid normal kylvattentemperatur utan att höja trycket vid utloppet på turbinen, vilket leder till minskat arbete.

Vid en jämförelse mellan en ORC cykel som använder ett rent ämne som arbetsmedium med Kalina cykelns ammoniak/vatten blandning, så ser vi att Kalina cykeln bättre matchar värmekällans temperaturprofil, se brine i Figur 7. Detta medför en mindre förlust av exergi i värmeväxlingen och således möjligheten att utvinna mer

arbete ur processen. I detta sammanhang bör det även nämnas att ORC leverantörer (Turboden) har system där värmeöverföringen i förångaren sker vid två olika trycknivåer för att komma närmare värmekällans temperaturprofil.



Figur 7 Temperaturprofil i kokaren för ORC och Kalina cykel [3]

Vid variation i temperaturen hos värmekällan justeras ammoniak/vatten-blandningens sammansättning och arbetstryck för optimering av processen. ORC cykelns arbetsmedium väljs på förhand efter temperaturen hos värmekällan, kokpunkten hos arbetsmediet är då fix vid ett visst värde.

Kommersiell teknik och demonstrationsanläggningar

Kalina tekniken är inte ny då den testades första gången redan i slutet på 1950-talet av uppfinnaren själv. Däremot har inte kommersiella anläggningar funnits någon längre tid.

Exorka International Limited ligger på Island, ett land som har speciella förutsättningar för elproduktion från lågtempererad värme. På grund av det stora antalet vulkaner kan geotermisk energi ofta nyttjas för värme- och elproduktion. Exorkas huvudkontor är stationerad vid Husavik på norra Island. Där drivs en kraftanläggning som baseras på Kalina teknologin. Anläggningen producerar omkring 2 MW(e) från geotermiskt varmvatten. Anläggningen har drivits oavbrutet sedan år 2000 och tillför kontinuerligt praktiska kunskaper och driftserfarenheter. Exorka konstruerar och säljer Kalina cykler för geotermisk- och restvärmebaserad elproduktion. [13]

OCEES International Inc. (Exergy Inc.) på Hawaii äger rättigheten till Kalina teknologin. Dåvarande Exergy Inc. var med och konstruerade Exorkas anläggning. [14]

Siemens har erfarenheter ifrån en 3,5 MW(e) Kalina cykel vid Sumitomo, Kashima stålverket i Japan. Processen använder restvärme från stålverket som energikälla och har drivits problemfritt sedan 1999. Siemens är också delaktig i Kalina cykeln vid Fujioil kolväte verk i Japan. Cykeln är på 3,9 MW(e) och har varit i drift sedan 2005. [15]

Anläggningar som finns i drift samt sådana som är planerade av OCEES och Siemens presenteras i Tabell 3.

Tabell 3 Anläggningar i drift -2006 samt planerade 2006- baserad på Kalina tekniken [14], [15], [16]

Anläggningar baserad på Kalina tekniken	**Installerad effekt -2006 [MW(e)]**	**Planerade projekt 2006- [MW(e)]**
Exorka International Limited		
Husavik Island	2,0	
Turkiet		9,0
Bavaria Tyskland		5,0
Island		20
Summa	**2,0**	**34,0**
OCEES International Inc.		
Husavik Island	2,0	
Canoga Park Kalifornien USA	6,5	
Fukuoka Japan	5,0	
Summa	**13,5**	
Siemens		
Sumitomo Japan	3,5	
Fujioil Japan	3,9	
Milford UT USA		45
Unterhaching		3,4
Bellheim		6,4
Innamincka Australien		2,5
Saltwells Fallon NV USA		17
Stillwater Fallon NV USA		34
Surprise Valley CA USA		17
Summa	**7,4**	**125,3**

2.1.3 Jämförelse - ORC och Kalina

Största skillnaderna i teknikerna kan sammanfattas med att förångningen sker vid fixerade temperaturer för ORC tekniken medan det för Kalina sker vid ett stort temperaturomfång (matchar värmekällan). En adekvat ORC fluid måste väljas för olika temperaturer på värmekällan. Kalina cykelns ammoniak/vatten blandning täcker ett stort spann av temperaturer på värmekällor, där optimering sker genom att variera koncentrationen av ammoniak.

I en vanlig ångcykel är ofta trycket vid de sista expansionsstegen i turbinen under atmosfärstryck vilket leder till stora volymer samt behov av vakuumsystem. I både ORC och Kalina tekniken slipper man detta då trycket i cyklerna sällan understiger atmosfärstryck. Då trycket ofta är högre i Kalina cykler än i ORC krävs i regel mindre turbiner för den tidigare. Konventionella ångturbiner fungerar annars för ammoniak/vatten blandning medan speciellt anpassade turbiner krävs för det organiska arbetsmediet.

Kalina tekniken har högre verkningsgrad än ORC vilket blir tydligast då värmekällan är i form av sensibelt värme och har ett stort temperaturfall. Procentuellt sett så minskar dock denna fördel ju högre temperaturen är på värmekällan.

Ser man till kostnaderna finner man i de flesta ekonomiska studier i litteraturen att ORC-tekniken är billigare än Kalina. Större delen av den extra investeringskostnaden beror på behovet av ökad area hos värmeväxlarna. Ofta så är det även fler värmeväxlare i en Kalina cykel. Detta beror på den mindre drivkraften för värmeöverföring till följd av den bättre matchade temperaturprofilen. Högre investeringskostnader kan dock accepteras om mer el kan produceras för att täcka upp dessa.

Oftast är Kalina tekniken lämpligast för lägre temperaturer hos värmekällan medan ORC tekniken är att föredra vid högre.

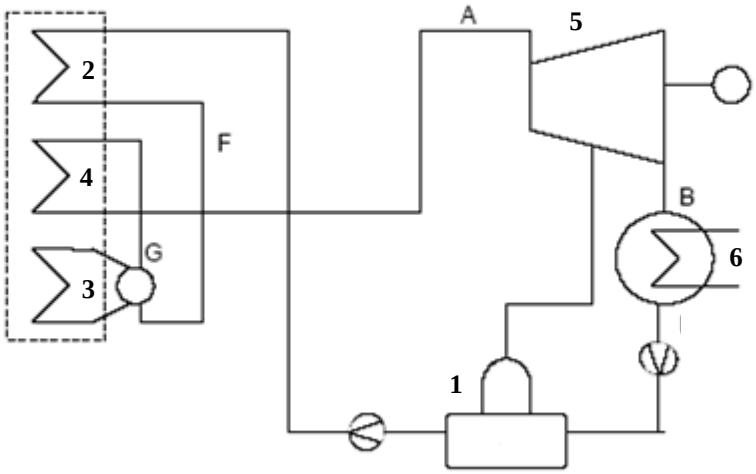
2.1.4 Övriga tekniker

Termofotovoltaiska processer

Det är möjligt att generera el genom att utnyttja strålning från en het yta mot en halvledarcell liknande en ”solcell”. Genom att placera en sådan anordning i en värmepanna eller kamin där den strålande ytan värms av flammorna från förbränningen är det möjligt att åstadkomma ett kraftvärmeverk för villabruk utan rörliga delar och som är helt tyst. Tekniken skulle potentiellt kunna tillämpas på kylning av heta ämnen som t.ex. slabs inom ståltillverkning. Den termofotovoltiska cellen genererar likström som för de flesta praktiska tillämpningar därför kräver särskild utrustning för omvandling till växelström. [4]

Ångprocesser

Den traditionella ångprocessen baseras på en sluten process där vatten/vattenånga agerar som arbetsmedium. Ett enkelt flödesschema beskriver processen, se Figur 8. Matarvatten från matarvattentanken (1) trycksätts via en pump som pumpar vattnet vidare genom värmeväxlarytor. Först förvärms vattnet (2) för att sedan förångas (3) och slutligen överhettas (4). Den överhettade ångan expanderar i en ångturbin eller ångmotor (5) som driver en elgenerator. En mindre del av ångan tas ut via en avtappning under expansionen, som leds till matarvattentanken. Resten av den expanderade ångan kyls till kondensation i en kondensor (6). Kondensorn kan med fördel vara kopplad till ett fjärrvärmesystem. Kondensatet pumpas till matarvattentanken där det förvärms med den avtappade ångan. Vid integration med andra industriprocesser kan i vissa fall ångan efter expansionen ledas till externa konsumenter. Även ånga från avtappningar vid mellantryck kan ledas på samma sätt. Kondensat som kan tillvaratas returneras till matarvattentanken tillsammans med spädvatten för att kompensera för att allt kondensat inte kan återvinnas. [4]



Figur 8 Flödesschema för mindre kraftvärmeanläggning med ångprocess.

1. Matarvattentank, med förvärmning
2. Economiser
3. Kokyta
4. Överhettare
5. Turbin eller ångmotor med generator
6. Fjärrvärmekondensor Överhettare

Produktion av ånga genom värmeväxlarytorna i ångpannan sker normalt genom förbrännig av något bränsle i ångpannan. Cykelns prestanda beror främst av arbetstryck och temperatur före turbinen/ångmotorn vid A och efter expansionen vid B. [4]

2.2 Värmeöverföring

För att göra värmeenergin tillgänglig för elproduktion från rökgaser, varma ämnen, bandrullar och annat varmt material måste värmen först överföras till arbetsmediet för kraftcykeln. Detta sker genom värmeöverföringsmekanismerna strålning, ledning och konvektion i olika kombinationer och genom olika anordningar.

I de två följande avsnitten förklaras kortfattat vad det är för utrustning som krävs för att ta reda på värmen från ovannämnda restenergier. Vissa stålsorter tål inte den ökade kylhastigheten som oftast medförs vid värmeåtervinning från varma material. Detta beaktas i avsnitt 2.2.3.

2.2.1 Från Rökgaser

Värmeåtervinning från rökgaser har tillämpats länge och följaktligen finns det beprövade tekniker och gott om aktörer på marknaden.

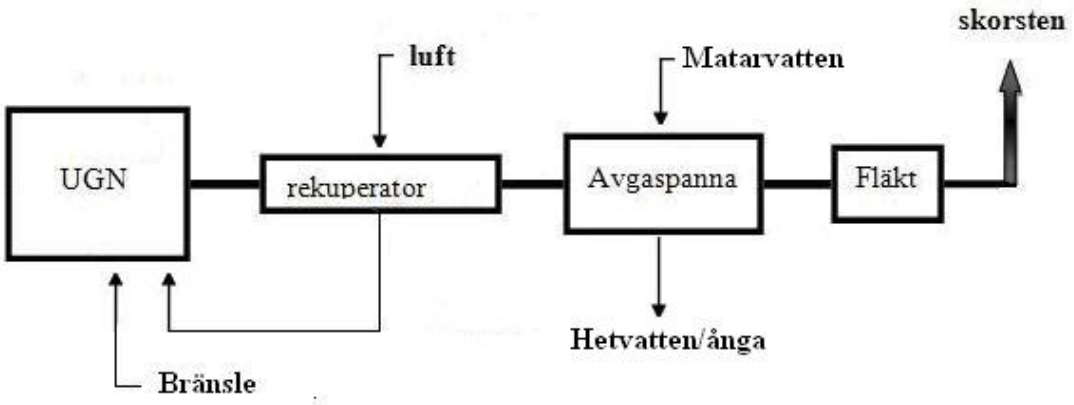
Till att börja med kan nämnas att de flesta värmnings- eller värmebehandlingsugnar inom stålindustrin är utrustade med rekuperatorer. Dessa förvärmer förbränningsluften genom att luften passerar de varma rökgaserna åtskiljda av en vägg. Härigenom reduceras bränslebehovet. En tumregel är 5 % minskat bränslebehov för varje 100°C

som förbränningsluften förvärms. På grund av materialpåfrestningar och bildningen av termisk NO_x vid högre temperaturer brukar man dock begränsa förvärmningen till 300-400°C. [17]

Rökgastemperaturen efter rekuperatorerna är i de flesta fall fortfarande så hög som 250-500°C. Det finns alltså mycket energi kvar i rökgaserna. Ett sätt att tillgodogöra sig denna energi är att installera avgaspannor. [17]

Avgaspannor är i likhet med rekuperatorerna egentligen en typ av värmeväxlare. Till skillnad från en rekuperator överförs avgasernas energi till ett flytande medium i en avgaspanna, vanligen vatten. Utformningen av avgaspannorna varierar men kan enklast beskrivas som ett knippe rör i rökgaskanalen. Vatten strömmar i rören som värms av de heta gaserna som strömmar på utsidan av rören. [17]

Vanligen placeras avgaspannan efter rekuperatorn, se Figur 9. Vid extremt höga avgastemperaturer ut ur ugnsrummet sätts dock avgaspannan först för att ta ned temperaturen till en nivå som bättre passar rekuperatorn. [17]



Figur 9 Utrustning för värmeåtervinning från rökgaser

Allt eftersom man kyler rökgaserna kommer man närmare den frätande daggpunkten (acid dewpoint). När denna temperatur nås börjar korrosiva ämnen att kondensera med stora materialpåfrestningar som följd. Av denna orsak brukar man i regel inte kyla avgaserna till mer än 160°C. Den frätande daggpunkten beror till största del på hur mycket svavel bränslet innehåller. Med korrosionsbeständiga material kan emellertid kondensering tillåtas.

Kyler man rökgaserna till temperaturer under daggpunkten för vattenånga börjar naturligtvis vattenångan att kondensera. Här kan särskilda system implementeras för att återvinna den latenta värmen som frigörs vid kondenseringen. Beroende på fukthalten och vätemängden i bränslet kan detta i vissa fall handla om väldigt stora energimängder. Temperaturen då kondensering startar är relativt låg vilket kan medföra svårigheter att hitta lämplig användning för värmen.

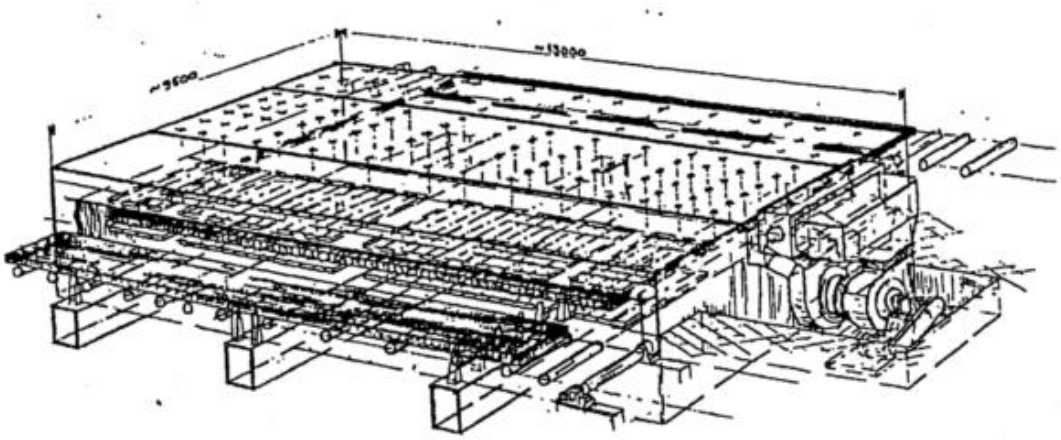
2.2.2 Från varmt material

Som det ser ut idag får varmt material som kommer från stränggjutning, varmbandverk och götvalsning kylas fritt på en svalbädd medan värmeenergin i regel går till spillo.

Det finns endast ett fåtal installationer inom de svenska stålverken för värmeåtervinning från dessa svalbäddar. I de flesta fall har det handlat om uppvärmning av ventilationsluft. [18]

Ett undantag är en anläggning som togs i drift vid Avesta Jernverk 1980 (numera Outokumpu Stainless Avesta Works) för hetvattenproduktion från varma slabs. Värmet överfördes via strålning i en kyltunnel. Denna anläggning togs sedermera ur drift då längden på slabsen ökades vilket konstruktionen inte medgav. [18]

En liknande anläggning projekterades vid SSAB Tunnplåt i Luleå 1978, Figur 10. Slabsen var tänkt att kylas från ca 1000°C till 150°C på en timme (25 timmar i normala fall). Kylningen var uppdelad i tre sektioner; en strålnings del med luftpåblåsning, en del med lätt vattenbegjutning samt en del med kraftig vattenbegjutning. Den återvunna värmen lämnade kyltunneln i form av hetvatten med temperaturen 120°C vid full produktion. Projektet stupade på svårigheter att få lönsamhet i investeringen och rekommenderades därför inte. [18]

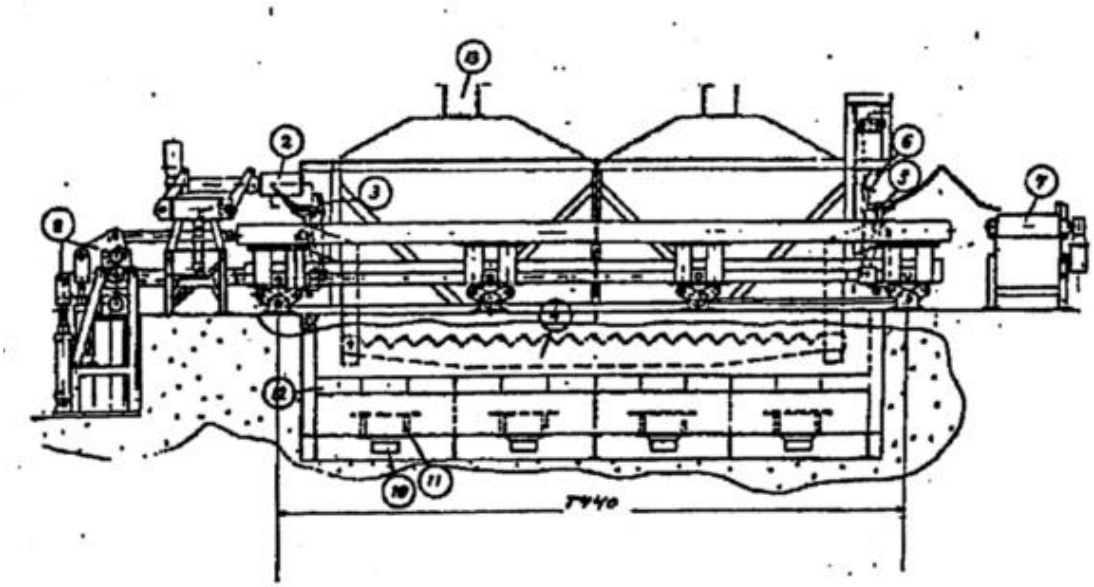


Figur 10 Kyltunnel för slabs. Projekterat för SSAB tunnplåt i Luleå 1978 [18]

Vid tillvaratagande av svalningsvärmet i en strålningskyltunnel kyls materialet lämpligen till ca 400°C. Vid temperaturer under 400°C minskar värmeöverföringen kraftigt. Andra värmeöverföringsmekanismer måste till för att erhålla högre värmeövergångstal vid lägre temperaturer. Dessa är bland annat; naturlig konvektion, påtvingad konvektion, filmkokning och punktkokning, där värmeövergångstalet stiger i nämnd ordning. Den senare är dock relativt instabil och genomförbar när yttemperaturen är mellan 100°C och 300°C. [18]

En princip som ofta refereras till är värmeåtervinning från svalbäddar via fluidiserande bäddar. I denna anordning driver ett fläktsystem partiklar (t.ex. sand) så att de hålls svävande i en bädd – en fluidiserad bädd. [18]

En fluidiserad bädd karaktäriseras av goda konvektiva värmeövergångstal på ca 200-1000 W/m^{2}K (till detta tillkommer strålning), likformig temperaturfördelning samt kontrollerbar värmeöverföring. En schematisk bild för av en fluidiserad bädd för kylning av varma ämnen ses i Figur 11. [18]



Figur 11 Schematisk bild av fluidiserad bädd för kylning av varma ämnen. 2. Vertikal justerbar rullbana. 3. Plockarm för förflyttning av ämne från rullbana till roster. 4. Roster. 5. Plockarm för förflyttning av ämne från roster till skrapare. 6. Skrapare överflyttar ämne från plockarm till rullbana. 7. Transportbana från bädd. 8. Drivmaskineri till roster. 10. Inblåsningshuvar. 11. Luftfördelare. 12. Värmeväxlare. 13. Luftutsug. [18]

Sett ur ett ekonomiskt perspektiv kanske inte utrustningen för värmeåtervinning enbart kan motiveras av de direkta energivinsterna. Andra fördelaktiga faktorer som gör investeringen mer attraktiv [18]:

- Bättre arbetsmiljö – minskad strålningsvärme
- Mindre materialspill – mindre glödskalsbildning och färre krökta ämnen
- Jämnare kvalitet – kontrollerade svalningsförlopp
- Minskat utrymmesbehov - mindre mängd svalnande material
- Minskat ventilationsbehov – avskärmad svalning
- Minskat antal hanteringssteg – eliminerar mellanlagring och ytterligare svalning i vissa fall.

Skäl som kan begränsa införandet av värmeåtervinningsutrustning är:

- Dålig lönsamhet
- Teknik saknas
- Osäkerhet om framtida produktion
- Material får ej snabbkylas
- Svalningsvärmet behövs för uppvärmning av lokalen där svalbädden är placerad
- Ingen avsättning för återvunnen värme

- Utredningsresurser saknas
- Kapitalet behövs för andra investeringar
- Plats saknas
- Befintlig utrustning behöver inte bytas ut

Det bör påpekas att verken som denna studie i huvudsak omfattar, SSAB Borlänge och Outokumpu Avesta, inte inrymmer några svalbäddar i direkt anslutning till ugnar/valsverk. Bandrullar från varmvalsverk svalnar utomhus och i särskilda lager. Således bör inte platsbrist vara något större problem.

Enligt författaren till litteraturstudien [18] är skälen till varför så få anläggningar för värmeåtervinning tagits i drift främst att verkningsgraden och utnyttjandegraden varit för låg samt att de blivit för skrymmande volymmässigt sett.

2.2.3 Inverkan av forcerad svalning på stålets egenskaper

I en teoretisk studie vid Ovako Steel undersöktes hur stålets egenskaper påverkas av forcerad kylning. [18]

Resultaten visar att vid en sänkning av temperaturen på grund av värmeåtervinning var det en grupp höglegerade kullagerstål som inte klarade av detta, motsvarande 7 % av totala stålproduktionen. [18]

Värmeåtervinningen indelades i för stålet två temperaturområden, högtemperaturområdet och temperaturer efter det att materialet har omvandlats till perlit eller bainit. Om nedre gränsen för värmeåtervinningen i högtemperaturområdet sätts till 700°C klarar alla material utom den höglegerade kullagergruppen värmeåtervinning, vissa grupper kan gå ner till 650°C. Vid värmeåtervinning efter fasomvandlingen visade det sig att två grupper inte klarar av en ökad kylningshastighet, dels den höglegerade kullagergruppen och dels en liten grupp seghärdningsstål, motsvarande totalt 9 % av tonnaget. [18]

Slutsatsen av studien vid Ovako Steel var att det för 93 % av tonnaget går att tillämpa värmeåtervinning i högtemperaturområdet. I det nedre temperaturintervallet är motsvarande siffra 91 % av tonnaget. [18]

Vid ökad kylhastighet i ämnen och valsat material behövs ingen större hänsyn tas till materialegenskaperna om de skall återupphettas respektive mjukglödgas senare i processen. Viktigt är dock för samtliga stålkvaliteter att god jämnhet i kylningen uppnås för att minska behovet av att rikta materialet efter svalning. [18]

3 Tekniska och ekonomiska modeller

Metoden för hur elproduktionen från restenergierna framräknas beskrivs här liksom tillväggångsättet för att beräkna investerings och produktionskostnader. Dessutom beskrivs hur elen miljövärderas. Även ett avsnitt som förklarar elcertifikat är inkluderat.

Samtliga beräkningar och resultat baseras på data för år 2006 om inte annat anges.

3.1 Elproduktion

3.1.1 Restenergiflöden

Restenergiflödena bestäms till storlek och temperatur för SSAB Tunnplåt i Borlänge och Outokumpu Stainless Avesta Works i Avesta, se kapitel 4.3 respektive 5.3.

Värmemängden i restenergiflödena dvs. rökgaser, kylvatten och varmt material är relaterat till en temperatur på 30°C. Referenstemperaturen 30°C grundar sig på att vissa arbetsmedier för ORC cykeln kan ha så låg ångbildningstemperatur som 28-30°C [19]. Även Kalina cykeln kan justeras för en låg ångbildningstemperatur om andelen ammoniak är hög hos arbetsmediet.

3.1.2 Verkningsgrad

För att bestämma hur mycket el som kan framställas från ett given restenergiflöde används elverkningsgraden hos två verkliga anläggningar. Anläggningarna som har stått som mall är en ORC och en Kalina cykel. De rådande elverkningsgrader som använts är följande:

- ORC 8,1 % elverkningsgrad [19]
- Kalina 12,8 % elverkningsgrad [16]

Hur stor andel av ett restenergiflöde som kan överföras till arbetsmediet i kraftcykeln beror till stor del på restenergiflödets temperatur och fastillstånd samt arbetsmediets förångningstemperatur. Om restenergiflödet är i gasfas antas en temperaturdifferens mellan utgående restenergiflöde från förångaren och ingående flöde av arbetsmedium på 50°C. Är restenergiflödet i vätskeform antas motsvarande temperaturdifferens vara 20°C. Förångningstemperaturen för ORC och Kalina cykeln är antagen till 30°C [19] respektive 60°C [16].

Det finns ORC anläggningar som använder arbetsmedier med ångbildningstemperatur upp till 300°C. Orsaken till varför 300°C är en övre gräns har inte riktigt klargjorts men förmodligen är det brist på lämpliga arbetsmedier, för höga trycknivåer osv. Traditionella ångcykler tar helt enkelt vid som bättre alternativ. Då restvärmetillgången i denna studie är begränsad så bör så mycket som möjligt överföras till arbetscykeln för maximal elproduktion. Det är dock en optimeringsfråga

vilken förångningstemperatur som är bäst lämpad för rådande temperatur hos värmekällan. Då de flesta restvärmekällor håller en relativt låg temperatur så bör arbetsmediet också ha en låg ångbildningstemperatur.

För att illustrera metoden följer ett exempel. Säg att en restvärmekälla i gasfas uppgår till 20 GWh relativt 30°C samt håller en initial temperatur på 300°C. Mängden el som kan produceras via en ORC enhet beräknas således genom ekvation 1.

$$Q = 20 * 0{,}081 * \left(\frac{300 - 80}{300 - 30} \right) = 1{,}3 \text{ GWh} \qquad (1)$$

Uttrycket inom parantes resulterar i en kvot som anger mängden restvärme som kan överföras till kraftcykeln. Energin i restvärmet kan maximalt extraheras ner till 80°C och överföras till kraftcykeln. Detta eftersom förångningstemperaturen hos arbetsmediet är 30°C och temperaturdifferensen mellan utgående restenergiflöde från förångaren och ingående flöde av arbetsmedium är 50°C. Beräkningen förutsätter ett konstant Cp värde hos restenergikällan.

3.1.3 Elcertifikat

I maj 2003 infördes elcertifikatsystemet i Sverige. Målet är att öka elproduktionen från förnyelsebara energikällor med 17 TWh jämfört med 2002 års nivå fram till år 2016. Principen för systemet är att skapa en växande marknad för förnyelsebar el där olika typer av förnyelsebara energikällor får konkurrera med varandra vilket ger kostnadseffektivitet. [20], [21]

Producenter av el från förnyelsebara energikällor erhåller ett certifikat för varje megawattimme el de producerar. Efterfrågan på elcertifikat skapas genom att alla elleverantörer och vissa el-användare är skyldiga att köpa elcertifikat motsvarande en viss andel (kvot) av deras elförsäljning/elanvändning. [21]

Handel med elcertifikat registreras i Svenska Kraftnäts elektroniska register Cesar. Medelpriset för perioden 2007-01-01 till 2007-12-31 var 195 kr per certifikat. [21]

För att en anläggning ska godkännas som certifikatberättigad måste den framställa el från en av följande energikällor:

- Vindkraft
- Solenergi
- Vågenergi
- Geotermisk energi
- Biobränsle enligt förordning (2003:120) om elcertifikat
- Torv i kraftvärmeverk
- Viss typ av vattenkraft

Anläggningar som tagits i drift efter systemets införande har rätt till elcertifikat i 15 år, dock längst till utgången av år 2030. Anläggningar driftsatta innan införandet av systemet har rätt till elcertifikat till utgången av år 2012. [21]

3.2 Ekonomi

De tre anläggningar som fått stå mall har varit grunden till de ekonomiska beräkningarna. De olika anläggningarna för elproduktion skalas enligt ekvation 2.

$$\frac{\text{Kost}_{\text{ny.storlek}}}{\text{Kost}_{\text{ref.storlek}}} = \left(\frac{\text{Storlek}_{\text{ny}}}{\text{Storlek}_{\text{ref}}}\right)^{R} \qquad (2)$$

I ekvationen är R skalfaktor, storlek är i MW(e) och kost är grundinvestering. Skalfaktorn som används är antagen till 0,7, vilket är en normal skalfaktor för elproduktion från gas- och ångturbinssystem [22]. Kostnaden samt storlek för de två anläggningarna som stått som mall är följande;

ORC 1 MW(e) = 1,58 M€ (2000) [19]
Kalina 2 MW(e) = 1,95 M€ (1998) [23]

De olika grundinvesteringarna för anläggningarna räknas om till svensk valuta år 2006. För det används olika valuta kurser för aktuellt år samt konsumentprisindex (KPI). Följande värden används;

ORC
Valuta 1€ = 8,35 SEK 2000 [24]
KPI 2006/2000 = 1,090 [25]
Kalina
Valuta 1€ = 9,47 SEK 1998 [24]
KPI 2006/1998 = 1,106 [25]

Grundinvesteringen svarar endast för anläggningen. Det tillkommer sedan kostnader för att installera den samt sätta den i drift. För att bestämma den totala investeringskostnaden används en antagen generell installationsfaktor på 1,2 som multipliceras med grundinvesteringen [26]. Installationsfaktorn för elproduktion från gas- och ångturbinssystem är vanligen kring 1,86 [22]. Eftersom ORC och Kalina anläggningarna är enklare att konstruera och installera reduceras faktorn. Mer detaljerat består installationsfaktorn av följande [26];

Projektering = 10 %
Kontrollsystem = 2 %
Installation = 3 %
Nätanslutning = 6 %
Summa = 21 %

För att beräkna den årliga kapitalkostnaden används annuitetsmetoden enligt ekvation 3.

$$I_{\text{årligen kraftcykel}} = \frac{IR}{1-\left(\frac{1}{1+IR}\right)^{t_e}} \times I_{\text{kraftcykel}} \cdot \left(1-\frac{1}{(1+IR)^{t_e}} \cdot \frac{t_t - t_e}{t_t}\right) \qquad (3)$$

$I_{\text{årligen kraftcykel}}$ = Årlig kapitalkostnad för kraftcykeln
IR = Internränta
$I_{\text{kraftcykel}}$ = Initial investeringskostnad för kraftcykeln
t_e = Ekonomisk livslängd för kraftcykeln
t_t = Teknisk livslängd för kraftcykeln

Gemensamt för de två anläggningstyperna är att internräntan är antagen till 19 %. Detta är ett normalt krav på avkastningen för denna typ av investering inom stålindustrin, speciellt då den inte tillhör kärnverksamheten. Den ekonomiska livslängden är satt till 15 år för anläggningarna, då rätten till elcertifikat gäller som längst i 15 år, se kapitel **Fel! Hittar inte referenskälla.**. Enligt [27] så anses att binära kraftverk som producerar el via geotermisk värme har en teknisk livslängd på 30-45 år. För systemen som beaktas i denna studie antas den tekniska livslängden vara 30 år. Då den tekniska livslängden är längre än den ekonomiska så kommer anläggningen ha ett visst restvärde efter den ekonomiska livslängdens utgång. Det antas då att man kan sälja av anläggningen för att inbringa dess restvärde. Därför beräknas och används en justerad kapitalkostnad via ekvation 3, för vidare beräkningar av produktionskostnaden för el. Övriga årliga kostnader som tillkommer är följande:

Förbrukningsvara = 0,3 % av totala investeringen [26]
Underhåll = 2 % av totala investeringen [26]
Drift = 5 timmar i veckan a 30 €/timme 2002 [26]
(1 € = 9,21 SEK [24], KPI 2006/2002 = 1,042 [25])
Administration och försäkring = 0,7 % av totala investeringen [26]

Kostnaden för den producerade elen beräknas enligt ekvation 4.

$$\text{Prod}_{\text{kost kraftcykel}} = \frac{I_{\text{årligen kraftcykel}} + \text{Övriga årliga kostnader}}{\text{Producerad el}} \qquad (4)$$

Kringutrustning

För att göra restenergin tillgänglig för elproduktion måste värmen först överföras till arbetsmediet för kraftcykeln. För detta krävs en del kringutrustning som höjer den totala investeringskostnaden. Då det är svårt att bedöma kostnaden på kringutrustningen för varje enskilt fall så beräknas istället beloppet som finns tillgänglig för att täcka upp för den tillkommande kostnaden. I ett senare skede då en mer ingående bedömning ska göras huruvida en investering för elproduktion är ekonomiskt hållbar, är det bra att veta beloppet som finns tillgänglig för den tillkommande kostnaden för kringutrustningen.

Den eventuella vinsten som inbringas vid försäljning av den producerade elen kan användas för att täcka den tillkommande kostnaden för kringutrustning. För att

bestämma beloppet som finns tillgänglig till kringutrustning så beräknas först maximal tillåten årlig kapitalkostnad med och utan elcertifikat. Den tillåtna produktionskostnaden jämställs med det genomsnittliga el- och elcertifikatpris som råder under den ekonomiska livslängden, enligt ekvation 5. Det innebär att den egentliga vinsten blir noll, då den åtgår till kringutrustningen. Vid framtagande av det genomsnittliga el- och elcertifikatpris som råder under den ekonomiska livslängden antas först att investeringen för en kraftcykel kommer att ske någon gång under 2007-2008. Sedan har två scenarios för utvecklingen av el- och elcertifikatpris använts.

Det första scenariot grundar sig på en prognos från energimyndigheten som visar på en elprisökning från 256 SEK/MWh, 2004 till 360 SEK/MWh, 2015 samt 380 SEK/MWh, 2025 [28]. Det genomsnittliga elpris som använts för perioden 2007-2021 är 340 SEK/MWh. Det genomsnittliga elcertifikatpriset 2007 var 195 SEK/MWh [21] som antas följa samma procentuella årlig ökning som för elpriset Det genomsnittliga elcertifikatpriset under perioden 2007-2021 blir då 234 SEK/MWh.

Det andra scenariot baseras på de terminer som det handlas med på elbörsen, Nordpool. Den förväntade genomsnittliga årliga ökningen för terminerna eller elpriset i norden mellan 2008 och 2013 är 1,3 % [29]. Denna procentuella årlig ökning används för att extrapolera fram till 2022. Det genomsnittliga elpriset blir då 549 SEK/MWh under perioden 2008-2022. Det genomsnittliga elcertifikatpriset 195 SEK/MWh, 2007 [21] antas följa samma årliga procentuella ökning som för elpriset. Det genomsnittliga elcertifikatpriset under perioden 2008-2022 blir då 256 SEK/MWh

Den årliga tillåtna totala kapitalkostnaden bestäms sedan enligt ekvation 6. Den totala årliga kapitalkostnaden består av årlig kapitalkostnad för kraftcykel och kringutrustning, enligt ekvation 7.

$$\mathrm{Prod}_{\text{kost totalt}} = \mathrm{El}_{\text{pris}} + \mathrm{El}_{\text{certifikat}} \tag{5}$$

$$\mathrm{I}_{\text{årligen totalt}} = \frac{\left(\mathrm{El}_{\text{pris}} + \mathrm{El}_{\text{certifikat}}\right) \times \text{Producerad el}}{\text{Övriga årliga kostnader}} \tag{6}$$

$$\mathrm{I}_{\text{årligen totalt}} = \mathrm{I}_{\text{årligen kraftcykel}} + \mathrm{I}_{\text{årligen kringutrustning}} \tag{7}$$

Vid beräkning av den tillåtna initiala investeringskostnaden för kringutrustning antas samma internränta (19 %) samt teknisk och ekonomisk livslängd (15 resp. 30 år) som för kraftcykeln. Den tillåtna initiala investeringskostnaden bestäms via ekvation 3.

3.3 Miljövärdering av el

Miljövärderingen av el beräknas enligt metoden om marginalel, vilken rekommenderas av energimyndigheten. Metoden beskrivs kortfattat nedan.

3.3.1 Marginalel

El produceras från olika teknologier såsom vattenkraft, kraftvärme och kärnkraft. Teknologin med högst rörliga kostnader körs på ”marginalen”. Det är den teknologi som används för att producera den sist förbrukade ”marginella” enheten på marknaden. Det är kostnaderna för marginalelproduktionen som sätter priset på elmarknaden och det är marginalelproduktionen som ökar eller minskar beroende på utbud och efterfrågan. [30]

Eftersom de nordiska länderna har en gemensam elmarknad både fysiskt och finansiellt är det mest relevant att avgränsa systemet till Norden sett till hur elsystemet i praktiken fungerar. [30]

Ser man till Norden är tekniken för marginalelproduktion i dagsläget och på kort sikt framöver stenkolseldade kondenskraftverk (kolkondens) i Danmark och Finland. På längre sikt spår energimyndigheten att naturgaseldade kombicykelanläggningar (gaskombi) som körs i kondensdrift kommer att användas som approximation för marginalel. Övergången från kolkondens till gaskombi bedömer energimyndigheten sker någonstans mellan år 2010 och år 2020. I Tabell 4 redovisas vilka emissioner som är relaterade till elproduktion från kolkondens respektive gaskombi. [30]

Tabell 4 Ungefärliga emissioner ifrån kolkondens- och gaskombianläggningar, [kg/MWh] [30]

	NO_X	**SO_X**	**NMVOC***	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**Partiklar**
Kolkondens	0,442	0,720	0,021	969	0,015	11,319	0,267
Gaskombi	0,482	0,021	0,023	375	0,004	0,076	0,002

** Non methane volatile organic carbon.*

Det är alltså utsläppen från marginalelproduktionen som beräknas då man miljövärderar elen. Detta eftersom en förändring i elsystemet enbart i princip påverkar marginalelproduktionen. [30]

4 SSAB Tunnplåt Borlänge

Anläggningarna vid SSAB i Borlänge ingår i SSAB Tunnplåt AB. Från Luleå och Oxelösund anländer ämnen till Borlänge för vidareförädling genom valsning och ytbehandling till tunnplåt. Produktionen av tunnplåt i Borlänge uppgår till närmare 2,7 miljoner ton.

4.1 Produktionsbeskrivning

Verksamheten vid SSAB i Borlänge omfattar varmvalsning, kallvalsning, metallbeläggning och färgbehandling av tunnplåt. Nedan följer en kort beskrivning av de olika stegen i produktionen. En sammanfattande områdeskarta kan ses i slutet av kapitel 4.1.3 i Figur 16.

4.1.1 Varmvalsverket

De ämnen som anländer till Borlänge ifrån SSAB:s anläggningar i Luleå och Oxelösund fortsätter sin väg i processflödet genom att först passera varmvalsverket. De olika stegen som varmvalslinjen består av beskrivs nedan och åskådliggörs i Figur 12.

Återvärmningsugnarna

Ämnena från ämnesterminalen lastas och transporteras till en av de två återvärmningsugnarna. Ämnena värms till ca 1200°C, oxidskikt bildas på grund av den höga temperaturen som måste avlägsnas vid flera tillfällen. När ämnena passerat återvärmningsugnarna transporteras de vidare till förparet. [31], [32]

Förparet

I förparet valsas ämnena ned från en tjocklek av ca 220 mm till 30 mm. Ämnena passerar förparet flera gånger, förparet är så kallat reversibelt. Finjustering av bandbredd och kantning sker också här. När tjockleken reducerats och justeringen av ämnena är klar förs de vidare till coilboxen, ämnet lindas upp på grund av det begränsade utrymmet mellan förparet och färdigverket. [31], [32]

Färdigverket

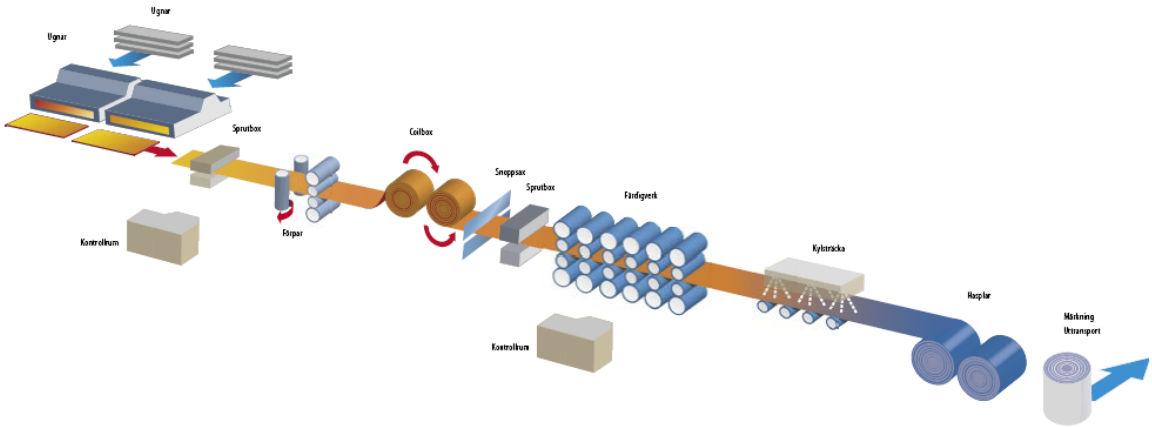
Bandet som passerar färdigverket valsas ner till en tjocklek mellan 16 mm och 1,8 mm. Temperaturen vid valsningen är viktig för att ge bandet rätt mekaniska egenskaper. Tjocklek, profil och bredd mäts kontinuerligt och finjusteras automatiskt, justering manuellt kan också göras. [31], [32]

Kylsträcka

När bandet valsats klart i färdigverket kyls det i kylsträckan med hjälp av duschar som placerats både under och över bandet. Bandet kyls ned till olika temperaturer beroende på vilka mekaniska egenskaper som fordras. [31], [32]

Haspling

Efter kylsträckan hasplas bandet upp i form av rullar som sedan bandas, märks och transporteras ut för avsvalning. Banden levereras sedan till största del direkt till kund men en del går vidare till formatklippning, spaltning eller kallvalsverket. [31], [32]



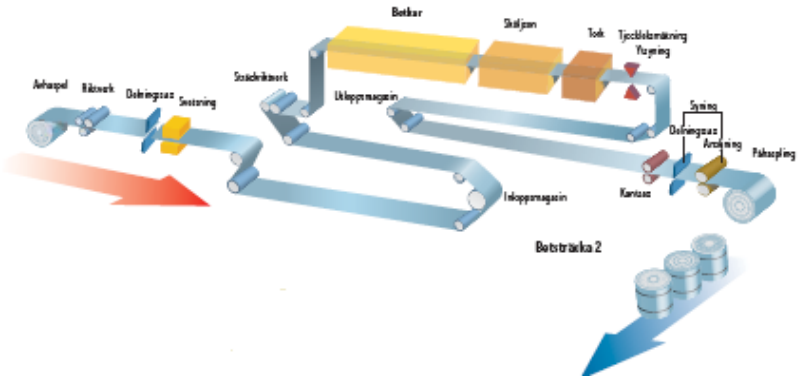
Figur 12 Översikt av varmvalsverket [32]

4.1.2 Kallvalsverket

Krävs högre toleranser gällande tjocklek och bredd samt jämnare mekaniska egenskaper bearbetas banden vidare i kallvalsverket. I kallvalsverket kan också banden valsas ner till en tjocklek av 0,3 mm, vilket är mycket tunnare än vad ett varmvalsverk kan producera. De olika stegen som kallvalslinjen består av beskrivs nedan. [31], [33]

Betning

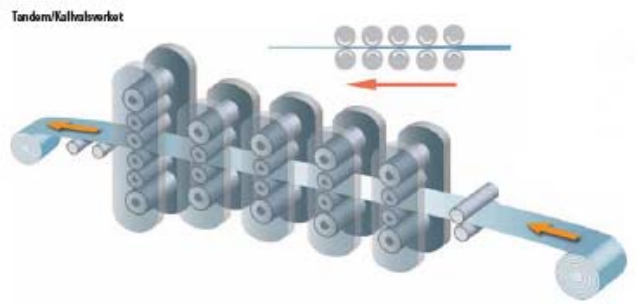
Betningslinjen som består av två betsträckor har som huvudsakligt syfte att avlägsna det glödskal, järnoxid som bildats på ytan efter varmvalsningen. Bandet passerar först ett sträckriktverk som förbättrar planheten och bryter upp oxidskiktet för att underlätta betningen. Betningen sker i saltsyra, syran regenereras sedan i en regenereringsanläggning. Banden får sedan en oljefilm på ytan för att skydda den mot korrosion. De olika stegen som betningslinjen består av åskådliggörs i Figur 13. [31], [33]



Figur 13 Översikt av betsträcka [33]

Kallvalsning

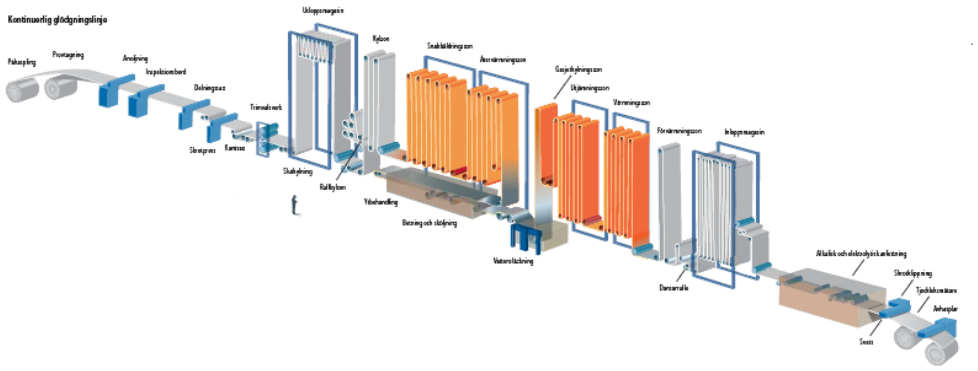
Bandet matas från haspeln in i tandemvalsverket där den kallvalsas till en tunnare tjocklek med bättre yta, se Figur 14. Bandet hasplas sedan upp via påhaspeln. Den värme som bildas via friktion vid valsningen kyls bort med vatten tillsatt med 2-3 % olja. [31], [33]



Figur 14 Tandem/kallvalsverk [33]

Värmebehandling

För att återge bandet rätt formbarhet måste det rekristallisationsglödgas eftersom kallvalsningen gjort materialet hårt och sprött. Banden hettas upp till 650-840°C i skyddsgasatmosfär för att undvika bildning av ytoxider. Upphettningen sker i kontinuerliga glödgningslinjen eller i klockugnen, se Figur 15. För värmebehandlingen används gasol och el som energiråvara. [31], [33]



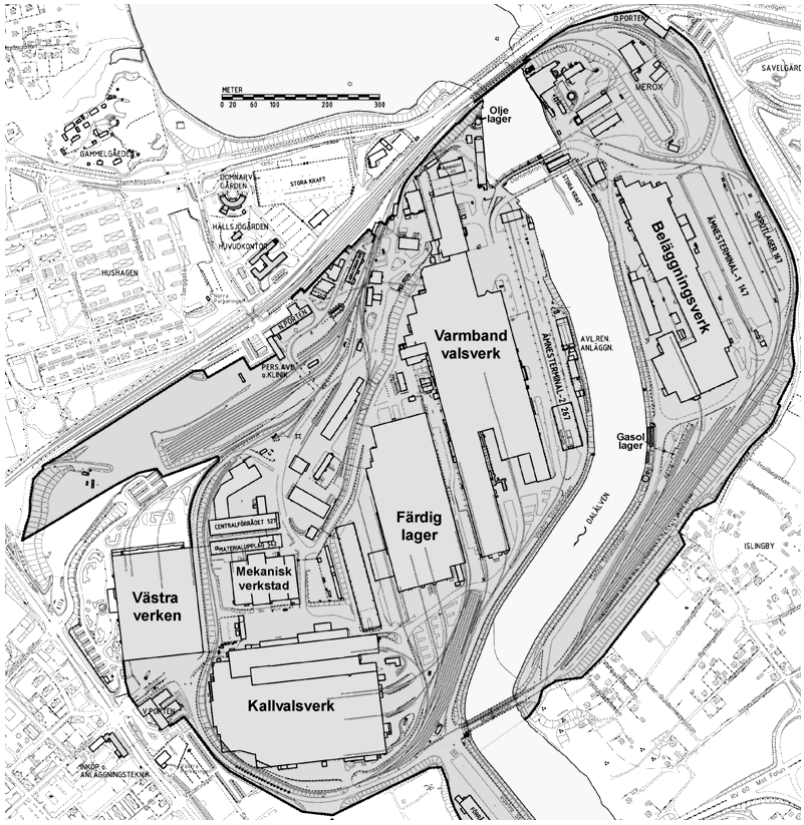
Figur 15 Översikt kontinuerliga glödgningslinjen [33]

Färdigställning

Vid färdigställningen sker anpassning av rullvikter, kantklippning, formatklippning, spaltning, syning, provtagning för leveransprovning, anoljning och emballering. Dessa processteg sker kontinuerligt i samband med bland annat betningen och glödgningen. Efter färdigställningen är ämnet klart för leverans till kund. [31], [33]

4.1.3 Beläggningsverken

Totalt finns tre beläggningslinjer vid SSAB i Borlänge. Aluzinklinjen lägger på ett tunt metallskikt bestående av aluminium och zink på kallvalsade stålband. Galvlinje 2 förser de kallvalsade banden med ett zinkskikt genom s.k. varmförzinkning. Färglinjen belägger stålband från metallbeläggningslinjerna med färg i två skikt; primer och täckfärg. [34]



Figur 16 Områdeskarta över verksamheten vid SSAB i Borlänge [35]

4.2 Energianvändning och produktionsmängder

Energi köps in i form av el, olja och gasol. Mängderna framgår av Tabell 5 nedan. [35]

Tabell 5 Energianvändning vid SSAB Borlänge 2006 [35]

Energislag	Energianvändning [MWh]
El	545 400
Olja	625 142
Gasol	851 431
Summa	**2 021 973**

Totalt användes ca 2,0 TWh under år 2006 i form av elkraft och fossila bränslen. Utav den energimängden återvinns en del i form av ånga och hetvatten, motsvarande totalt 297 000 MWh. Ånga används i processer och för ytterligare hetvattenproduktion. Hetvatten används för lokaluppvärmning och för leverans till Borlänge Energis fjärrvärmenät som uppgick till ca 58 000 MWh.

Rådande produktionsmängder för 2006 redovisas i Tabell 6 nedan. Samtliga drifttider är räknade på 8000 timmar.

Tabell 6 Produktionsmängder vid SSAB Borlänge 2006 [35]

Produktion	**Tonnage**
Varmbandverk	2 660 000
Tandemvalsverk	1 100 000
Betsträckor	1 800 000
Glödgning	521 000
Metallbeläggninglinje 1	213 000
Metallbeläggninglinje 2	336 000
Färglinje	129 000

4.3 Restenergiflöden

I detta avsnitt presenteras de restvärmetillgångar som finns vid SSAB i Borlänge. Inledningsvis beskrivs hur energimängderna beräknas.

4.3.1 Beräkningar av energimängder

Många restenergiflöden grundar sig på den sammanställning som gjordes 1991 [34]. Energimängderna har i dessa fall reviderats för aktuella produktionsförhållanden och referenstemperaturen 30°C.

Energimängder i rökgaser beräknas enligt ekvation 8

$$Q = g * c_p * \Delta T \qquad (8)$$

Där g, c_p och ΔT representerar totalt gasflöde, specifik värmekapacitet och temperaturskillnaden mellan utgående rökgastemperatur och referenstemperatur. c_p utvecklas vid medeltemperaturen.

Gasflödets sammansättning beräknas enligt elementär förbränningsteori där produkterna antas vara (beroende på bränsle): CO_2, H_2O, SO_2, N_2 och O_2. Fukthalten i luften antas vara 6 gram vattenånga per kilo torr luft.

Sammansättning för bränslena som används i olika ugnar återges i Tabell 7 [36]. Mindre justeringar har gjort för att räkna bort ämnen av obetydlig mängd.

Tabell 7 Sammansättning EO5 och Blandgasol (30/70) [36]

	Sammansättning vikt %	
Ämne	EO5	Blandgasol (30/70)
Kol	87,56	82,37
Väte	11,24	17,63
Svavel	0,40	-
Kväve	0,30	-
Vatten	0,50	-

Vid beräkning av specifik värmekapacitet, c_p, används tabellerade data anpassade till andragradspolynom vars regressionskonstanter är givna i Tabell 8.

Tabell 8 Regressionskonstanter

	Konstanter		
Gas	a	b	c
H_2O	1,788	$7{,}93*10^{-4}$	$-1{,}11*10^{-7}$
N_2	1,0109	$2{,}53*10^{-4}$	$-5{,}41*10^{-8}$
O_2	0,923	$2{,}55*10^{-4}$	$-5{,}85*10^{-8}$
CO_2	0,889	$5{,}57*10^{-4}$	$-1{,}55*10^{-7}$

Specifika värmekapaciteten beräknas genom ekvation 9

$c_p = a + b*t + c*t^2$ där t är i grader Celsius. (9)

Mängden värme som görs tillgänglig vid kondensering av rökgaserna beräknas enligt ekvation 10

$$Q = (x_{dew}(h''_{dew} - h''_c) + (x_{dew} - x_c * \frac{0{,}974 - x_{dew}}{0{,}974 - x_c})(h''_c - h'_c)) * g \qquad (10)$$

Där h' och h'' representerar entalpin mättad vätska respektive mättad ånga. Indexen dew och c betecknar daggpunkten och vilken temperatur gaserna kyls till, nämligen 30°C. x och g betecknar massfraktionen ånga respektive totala gasflödet före kondensering.

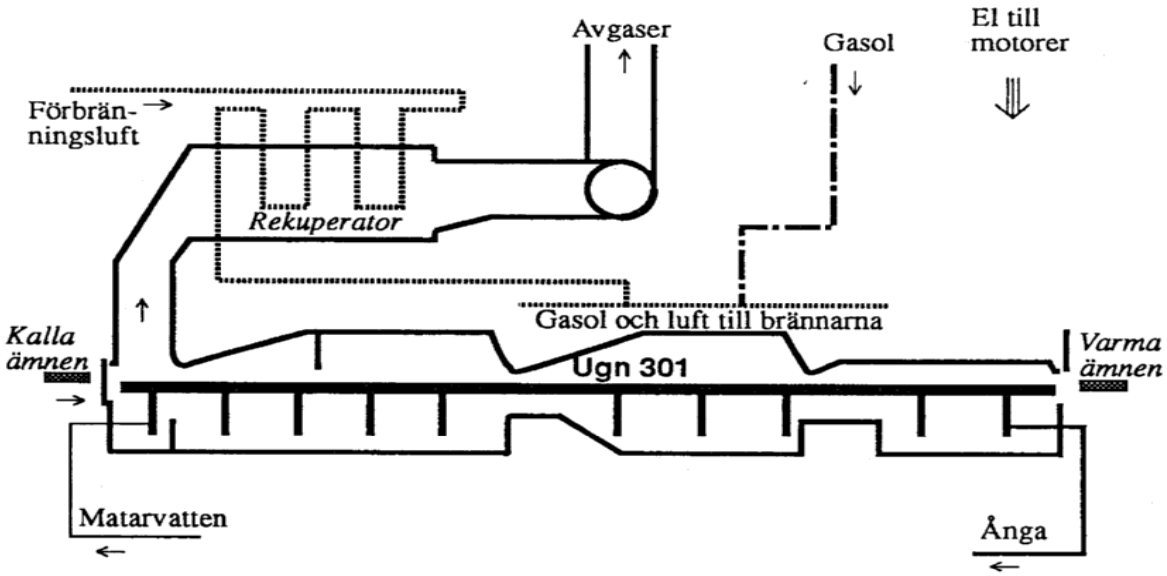
4.3.2 Återvärmningsugnarna

Ämnena från ämnesterminalen lastas och transporteras till en av de två återvärmningsugnarna (ugn 301 och ugn 302) där ämnena värms till ca 1200°C. Det teoretiska uppvärmningsbehovet för stålämnena uppgår till ca 228 kWh/ton [37]. [31], [32]

Ugn 301

Ugnen är av stegbalks typ vilket innebär att ämnena stegas genom ugnen på ångkylda skenor. Fyra av de tio skenorna är rörliga och de förflyttar ämnesmattan genom en upp-fram-ner-åter rörelse, en så kallad stegningscykel. Max kapaciteten är 300 ton per timme. Energianvändningen är 549 GWh gasol samt 12,8 GWh el. [35], **[**32**]**

Kylningen av skenorna producerar ånga motsvarande 62,8 GWh (1000 ton ånga = 0,66 GWh [38]) varav 7 GWh går till att förånga gasolen och resten till ångnätet. I rökgaskanalen återfinns rekuperatorer för förvärmning av förbränningsluften, se Figur 17.



Figur 17 Förenklad bild av ugn 301 [34]

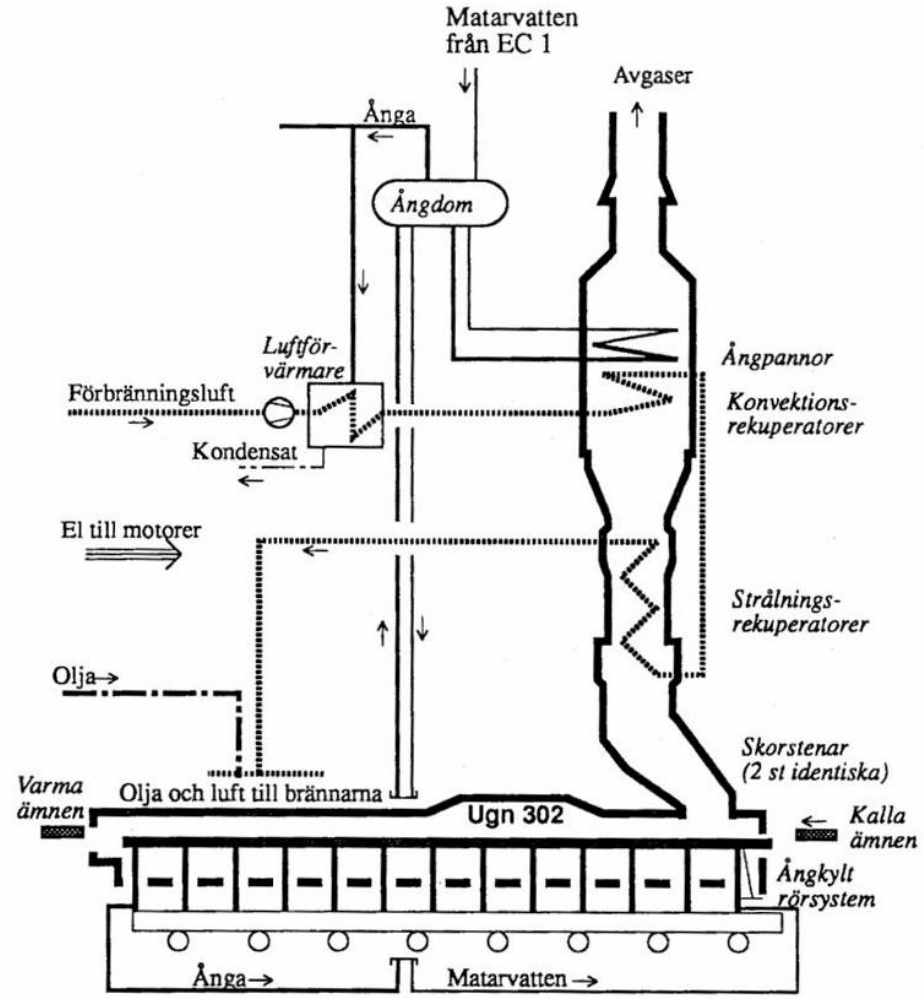
Den bortförda energin domineras av upptagen energi i ämnena. Ångproduktionen utgör också en stor del av den bortförda energin. Värmeförluster från ugnsvalv, ugnsväggar och rökgaskanaler utgör en mindre del av den tillförda energin. Samma gäller för kylningen av ugnsluckorna vars kylvatten endast är ett tiotal grader. De sistnämnda värmeförlusterna försummas. Den del av bortförd energi som är av intresse för tillvaratagande är energi i avgaser.

Enligt uppgifter från SSAB Tunnplåt i Borlänge håller utgående rökgaser en temperatur på 313°C. Flödet av rökgaser är mätt till 90 kNm^3/h. Förbränningen sker med en genomsnittlig luftfaktor på 1,21. Vid kylning av rökgaserna till 30°C kan således 78,7 GWh återvinnas. Om man räknar med rökgaskondensering kan ytterligare 38,1 GWh återvinnas.

Ugn 302

Denna ugn är också av stegbalks typ men eldas med olja (EO5) istället för gasol. Max kapacitet av ämnen är 300 ton/h. Energianvändningen är 612 GWh olja samt 9,9 GWh el.

Som framgår av Figur 18 så är utrustningen för energiåtervinning från avgaserna helt annan än för ugn 301. Ånga produceras förutom i skenorna (57,7 GWh) även i ångpannor (75,9 GWh) i rökgaskanalerna (två stycken identiska). Totalt produceras 133,6 GWh ånga. Av detta går 36,2 GWh till förvärmningen av förbränningsluften samt 28,6 GWh till finfördelning av oljan. Resten av ångan, 68,8 GWh går ut på ångnätet.



Figur 18 Schematisk bild av ugn 302 (Enbart den ena av de två avgaskanalerna är utritade) [34]

Värt att notera är att det har funnits en economizer installerad i rökgaskanalen men svåra korrosionsangrepp har medfört att denna ej längre är i drift. Enligt Tomas Hirsch vid SSAB Tunnplåt i Borlänge hade korrosionsangreppen sin förklaring i en mycket olämplig inkoppling då rökgastemperaturen inte styrdes någonting.

Fördelningen av den bortförda energin ser ungefär ut på samma sätt som för ugn 301. Även här är det alltså bara rökgasförlusterna som är av intresse.

Enligt uppgifter från SSAB håller utgående rökgaser en temperatur på 283°C. Flödet av rökgaser är mätt till 85 kNm^3/h. Förbränningen sker med en genomsnittlig luftfaktor på 1,43. Vid kylning av rökgaserna till 30°C kan således 65,8 GWh återvinnas. Rökgaskondensering ger ytterligare 17,3 GWh.

4.3.3 Varma bandrullar

När bandrullarna lämnar varmvalsverket har de en temperatur på cirka 680°C. Dessa får sedermera avsvalna till omgivande temperatur för dels slutlig bearbetning och försäljning av varmvalsat stål, och dels för vidare bearbetning i kallvalsverket. Det

totala tonnaget är 2 660 000 ton/år. Energin i rullarna uppgår till cirka 288 GWh. Denna energi avges alltså till luften utomhus när rullarna svalnar ute på området.

4.3.4 Kontinuerliga glödgningslinjen

I energisystemen för den kontinuerliga glödgningslinjen ingår ett stort antal värmeväxlare, avgaskanaler, rekuperatorer och pumpar. El- och gasolanvändningen uppgår till 38 respektive 134 GWh.

Hetvatten produceras i den kontinuerliga glödgningslinjen i en avgaspanna samt i en gasjetkylare motsvarande energimängderna 16,6 och 7,6 GWh i angiven ordning. Avgastemperaturen före avgaspannan håller ca 320ºC. Luftfaktorn har med ledning av mätningar av syrgashalten i avgaserna uppskattats till 1,8. Kylning av rökgaserna från 320ºC till 30ºC motsvarar 26,3 GWh. Detta resulterar i att ytterligare 9,7 GWh kan återvinnas från rökgaserna. Om man antar en jämnt fördelad nivå på hetvattenproduktionen i avgaspannan resulterar det i en utgående avgastemperatur på 140ºC. Ytterligare 7,2 GWh blir tillgängligt med rökgaskondensering.

Enligt [34] kyldes bandet 1991 med 19 GWh i gasjetkylaren. Omräknat till dagens produktionsnivå (baserat på gasolanvändning) blir den siffran 23,3 GWh. Om man drar ifrån hetvattenproduktionen på 7,6 GWh resulterar det i 15,7 GWh. Korrigerat för 30 graders referenstemperatur blir den siffran 11,9 GWh som kan tillvaratas för elproduktion. Denna värme kyls idag bort med älvvatten. Temperaturen på kylvattnet är 125ºC.

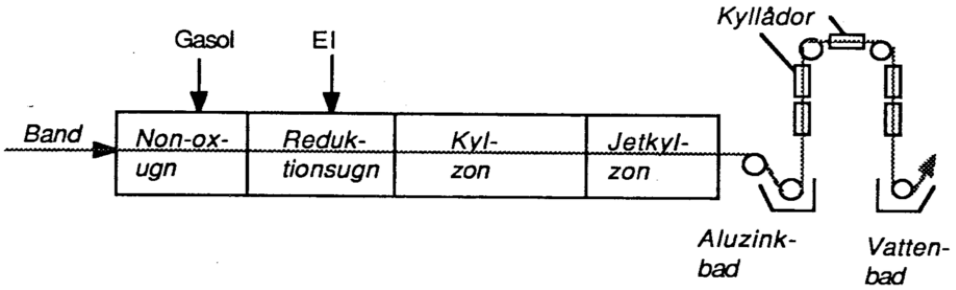
Från en värmeväxlare, benämnd 6A i [34], vid snabbåldringszonen skulle värme kunna tas ut vid cirka 250ºC. Idag kyls denna värme bort med älvvatten som värms till 55-75ºC, energimängden uppgår till 3,3 GWh.

Övrigt kylvatten från kontinuerliga glödgningslinjen håller temperaturer på 50ºC eller lägre. Totalt uppgår värme bortfört med övrigt kylvatten till 28,4 GWh. På grund av processtekniska villkor är det inte möjligt att få ut denna värme vid högre temperaturer.

Den kontinuerliga glödgningslinjen avger även mycket värme till omgivande lokal, cirka 18 GWh. Detta gör att lufttemperaturen vid taket är ca 50ºC. Denna varma luft går idag ut genom luckor och kanaler i taket.

4.3.5 Metallbeläggningslinje 1 (Aluzinklinjen)

Linjen lägger på ett tunt metallskikt bestående av aluminium och zink på kallvalsade stålband. De viktigaste delarna där restvärmeflöden uppstår utgörs av olika värmnings- och kylzoner, se Figur 19.



Figur 19 Schematisk bild av Aluzinklinjens ugns- och kylzoner [34]

Non-ox ugn

Ugnen har till uppgift att bränna bort olja från banden samtidigt som temperaturen på banden höjs till cirka 650-700°C. Detta sker i en icke-oxiderande atmosfär. Bränslet är gasol och användningen uppgår till 37,3 GWh.

I rökgaskanalen finns tre stycken rekuperatorer. På senare år har även en avgaspanna installerats för hetvattenproduktion, 9,4 GWh. Enligt uppgifter från SSAB är temperaturer på utgående rökgaser kring 100ºC. Den energi som skulle kunna tillvaratas vid kylning till 30ºC uppgår då till 1,2 GWh. Rökgaskondensering ger ytterligare 2,4 GWh.

Kylzoner

Efter reduktionsugnen kyls bandet i två steg innan det går ner i aluzink-badet. I det första steget kyls bandet i en s.k. långsamkylare där luftkylda rör är placerade under och ovanför bandet. Kylluften går in i kylaren med 20ºC och ut med cirka 70-100ºC. Bandtemperaturen sänks från cirka 800ºC till 700ºC. Energimängden som kyls bort uppgår till cirka 4,8 GWh.

I det andra steget kyls bandet i en s.k. jetkylare. Temperaturen på bandet sänks från ca 700ºC till ca 580ºC. Bandet kyls medelst en skyddsgas som cirkulerar i jetkylaren. Skyddsgasen kyls i sin tur av kylluft i en värmeväxlare vars temperatur in är ca 20ºC och ut ca 125ºC. Energimängden som kyls bort uppgår till ca 5,8 GWh.

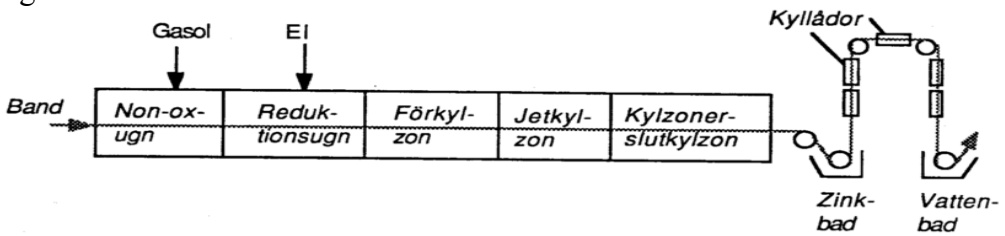
I båda kylzonerna skulle det vara möjligt att ta ut restvärmen vid högre temperaturer. Genom att byta värmeväxlare för jetkylzonen och öka arean för rörkylningen i långsamkylaren borde uttag av restvärme vid 400ºC inte vara någon omöjlighet. Sammantaget för långsammkylaren och jetkylaren uppgår energimängden till 9,8 GWh relaterat 30ºC.

Kyllådor och vattenbad

Efter aluzink-badet kyls bandet från ca 600ºC till ca 50ºC. Detta sker först i kyllådor genom direkt påblåsning av luft och slutligen genom passage i ett vattenbad. Energimängden som kyls bort här är i storleksordningen 7,8 GWh. Med dagens kylteknik avges denna energi vid temperaturer kring 50ºC.

4.3.6 Metallbeläggningslinje 2 (Galvlinje 2)

Linjen förser kallvalsade stålband med ett zinkskikt. I likhet med Aluzinklinjen utgörs Galvlinje 2 av en gasoleldad Non-ox ugn, en elvärmd reduktionsugn och kylzoner, se Figur 20.



Figur 20 Förenklad bild av Galvlinje 2 [34]

Non-ox ugn

Gasolanvändningen för ugnen uppgår till motsvarande 23,7 GWh. Förbränningen sker i s.k. strålningstuber. Avgastemperaturen varierar mellan de fyra olika zonerna men ett viktat medelvärde har räknats fram till 590ºC [34]. Energin i rökgaserna uppgår då till 6,7 GWh vid kylning till 30ºC. Kondensering av vattenånga från rökgaser ger ytterligare 1,5 GWh.

Kylzoner

Efter reduktionsugnen kyls bandet i tre steg innan zink-badet. Det första steget sker i en långsamkylare, på samma sätt som i Aluzinklinjen. Kylluften går in med cirka 20ºC genom rören och går ut med cirka 70-100ºC. Bandet kyls från cirka 900ºC till 730ºC. Energin som kyls bort är ca 12,4 GWh.

Det andra steget utgörs även här av en jetkylare med den skillnaden från Aluzinklinjen att det sekundära kylmediet är älvvatten istället för luft. Vattnet värms från cirka 10-25ºC till 30-45ºC. Energimängden som kyls bort är cirka 13,3 GWh.

Den tredje och sista kylzonen innan zink-badet utgörs av en långsamkylare. Bandet kyls från cirka 580ºC till 540ºC. Kylluften håller samma temperaturer som för den första långsamkylaren. Energimängden som kyls bort uppgår till 2,3 GWh.

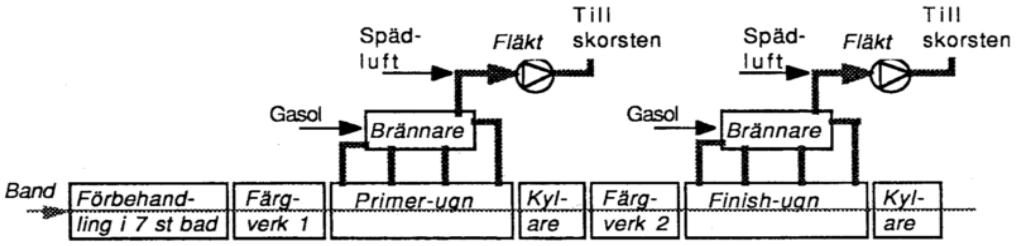
På samma sätt som för Aluzinklinjen är det möjligt att ta ut kylvatten/kylluft vid betydligt högre temperaturer än vad som nu sker genom att byta ut värmeväxlare. Även här ansätts uttag av restvärme vid 400ºC som rimligt. Sammantaget för de tre kylarna uppgår energimängden till 9,8 GWh relaterat 30ºC.

Kyllådor och vattenbad

Efter zinkpåläggningen kyls bandet från 450ºC till ca 50ºC i kyllådor genom luftpåblåsning. Energimängden som kyls bort uppgår till cirka 20 GWh. I ett efterföljande vattenbad kyls bandet ytterligare till cirka 35ºC varvid ca 2,3 GWh kyls bort. Totalt uppgår energimängden till 8,9 GWh relaterat 30ºC.

4.3.7 Färglinjen (Prelaq)

Med referens till Figur 21 förklaras produktionen vid färglinjen kortfattat; Stålbandet ytbehandlas inledningsvis i sju olika bad. Därefter går bandet genom primersektionen bestående av färgverk 1 och primerugnen. Bandet kyls därefter genom att vatten sprayas direkt på ytan. Samma procedur upprepas finishsektionen där täckfärg läggs på ytan. I ugnarna värms bandet till ca 200-260ºC.



Figur 21 Schematisk bild av Färglinjen [34]

Ugnarna är identiska och eldas med gasol. Gasoltillförseln uppgår totalt till 39,9 GWh. Förutom gasol förbränns även lösningsmedel som avges då färgen torkar, 1366 ton/år. Lösningsmedlets värmevärde och sammansättning antas vara samma som för gasol. Förbränning av lösningsmedlet frigör således 17,5 GWh.

På senare år har en avgaspanna för hetvattenproduktion installerats vid ugnarna (ej utritad i Figur 21). Hetvattenproduktionen uppgår till 29,9 GWh. Temperaturen på utgående rökgaser efter avgaspannan är cirka 100ºC. Vid kylning av rökgaserna från 100ºC till 30ºC kan 1,9 GWh återvinnas för elproduktion. Ytterligare 3,6 GWh blir tillgängligt om kondensering av vattenånga tillämpas.

Kylningen av bandet efter ugnarna uppgår till 7,6 GWh. Kylvattnet har en temperatur på cirka 40-45ºC som spolas ut i Dalälven. Det är knappast möjligt att höja denna temperatur då bandet måste kylas ordentligt så att färgen inte skall klibba.

4.3.8 Reningsverket

I reningsverket renas industriavlopp från bredbandverket. Temperaturen på avloppsvatten är ca 35ºC. Med ledning av tidigare uppgifter på 200 GWh och 40ºC har energimängden reviderats till 72 GWh mellan 30 och 35ºC för nuvarande produktion.

4.3.9 Ånga över tak

Detta uppstår då ångbehovet är lägre än ångproduktionen, vilken dikteras av produktionen vid stegbalksugnarna och inte av ångbehovet som annars är brukligt.

För år 2006 uppgick ånga över tak till motsvarande 6,8 GWh. Detta är en restvärmekälla i paritet med Non-ox ugnen i galvlinje 2. Det är dock knappast möjligt att tillvara denna restenergi då tidpunkterna och storleken på den överblivna ångan varierar kraftigt.

4.4 Sammanställning restenergier

Samtliga restenergier som behandlats tidigare sammanfattas här i tabellformat, se Tabell 9. Energimängderna har 30°C som referenstemperatur. Värmeeffekten grundar sig på en driftstid på 8000 timmar vid samtliga poster.

Tabell 9 Restenergier vid SSAB Tunnplåt i Borlänge

Restenergikälla	Energimängd [GWh]	Temperatur [°C]	Effekt [kW]
Varmvalsverk			
Ugn 301	79	310	9 800
Ugn 302	66	280	8 200
Varma bandrullar	288	680	36 000
Kallvalsverk			
Avgaser kontiglödgen	10	140	1 200
Kylvatten gasjet	12	125	1 500
Kylvatten 6A kontiglödgen	3	250	400
Övrigt kylvatten kontiglödgen	28	50	3 600
Varm luft vid tak kontiglödgen	18	50	2 300
Beläggningslinjen			
Non-ox ugn aluzinken	1	100	200
Kyl och jetkylzoner aluzinken	10	400	1 200
Kyllådor och vattenbad aluzinken	8	50	1 000
Non-ox ugn galvlinje 2	7	590	800
Kyl och jetkylzoner galvlinje 2	26	400	3 200
Kyllådor och vattenbad galvlinje 2	9	50	1 100
Primer och finish ugn färglinje	2	100	200
Reningsverk			
Varmt vatten	72	35	9 000
Summa	**638**		**80 000**

Energin från rökgaskondensering vid de olika ugnarna är redovisade i Tabell 10 nedan. Kondensering börjar ske vid cirka 50°C. Några grader lägre för ugnar eldade med olja samt ugnar med högre överskottsluft.

Tabell 10 Rökgaskondensering

Ugn	Energimängd [GWh]	Temperatur [°C]	Effekt [kW]
Ugn 301	38	50	4 500
Ugn 302	17	50	2 200
Kontiglödgen	7	50	900
Non-ox ugn aluzink	2	50	600
Non-ox ugn galvlinje 2	2	50	200
Primer och finish ugn	4	50	500
Summa	**70**		**8 000**

Totalt uppgår de uppräknade restenergierna till 708 GWh eller motsvarande 35 % av ingående energi.

4.5 Potentiell elproduktion

Elproduktionen från restenergiflödena beräknas enligt kapitel 3.1. Resultaten sammanfattas i Tabell 11. De restvärmekällor som markerats med minus har för låg temperatur för elproduktion vid gällande kraftcykel.

Tabell 11 Elproduktion från restenergierna vid SSAB Tunnplåt i Borlänge

Elproduktionspost	**Storlek på anläggning [kW(e)]**		**Producerad el [MWh]**	
Varmvalsverk	Kalina	ORC	Kalina	ORC
Avgaser ugn 301	900	700	7 170	5 270
Avgaser ugn 302	700	500	5 710	4 290
Varma bandrullar	4 200	2 800	33 940	22 710
Kallvalsverk				
Avgaser kontiglödg	40	40	330	320
Kylvatten gasjet	100	100	720	770
Kylvatten 6A kontiglödg	25	30	200	210
Övrigt kylvatten kontiglödg	-	-	-	-
Varm luft vid tak kontiglödg	-	-	-	-
Beläggningslinjen				
Non-ox ugn aluzink	-	3	-	30
Primer och finish ugn färglinje	-	6	-	40
Kyl och jetkylzoner aluzink	100	100	980	690
Kyl och jetkylzoner galv 2	300	200	2 580	1 820
Kyllådor och vattenbad alu	-	-	-	-
Non-ox ugn galvlinje 2	100	100	730	500
Kyllådor och vattenbad galv 2	-	-	-	-
Reningsverk				
Varmt vatten i reningsverk	-	-	-	-
Summa	**6 475**	**4 580**	**52 360**	**36 650**

Den potentiella elproduktionen från restvärmen uppgår totalt till 52 GWh, eller effekten 6,5 MW.

4.6 Ekonomisk utvärdering

Investeringskostnader och produktionskostnader/MWh för elproduktionen vid respektive restenergikälla är presenterade i Tabell 12. Se kapitel 3.2 för ekonomiska data.

Några poster räknas ihop, t.ex. avgaser för ugn 301 och 302 eftersom dem anses kunnas byggas ihop till ett system pga. geografisk närhet och liknande karaktär på restenergiflödet. Ekonomiskt betyder detta uppskalningsfördelar.

Tabell 12 Investerings- och produktionskostnad för elproduktionen

Elproduktionspost	**Investeringskostnad [MSEK]**		**Produktionskostnad [SEK/MWh]**	
Varmvalsverk	Kalina	ORC	Kalina	ORC
Avgaser ugn 301	14,0	12,9	450	570
Avgaser ugn 302	11,9	11,2	490	610
Avgaser ugn 301 + 302	21,1	19,6	380	470
Varma bandrullar	41,5	35,8	280	360
Kallvalsverk				
Avgaser kontiglödg	1,6	1,8	1 350	1 520
Kylvatten gasjet	2,8	3,3	990	1 090
Kylvatten 6A kontiglödg	1,1	1,3	1 680	1 820
Kylvatten gasjet + kontiglödg	3,3	4,0	900	1 000
Övrigt kylvatten kontiglödg	-	-	-	-
Varm luft vid tak kontiglödg	-	-	-	-
Beläggningslinjen				
Non-ox ugn aluzink	-	0,3	-	5 370
Primer och finish ugn färglinje	-	0,5	-	4 030
Ugn aluzink + ugnar färglinje	-	0,6	-	3 060
Kyl och jetkylzoner aluzink	3,5	3,1	880	1 130
Kyl och jetkylzoner galv 2	6,8	6,1	630	810
Kyl och jetkyl alu + galv 2	8,6	7,7	570	730
Kyllådor och vattenbad alu	-	-	-	-
Non-ox ugn galvlinje 2	2,8	2,5	980	1 280
Kyllådor och vattenbad galv 2	-	-	-	-
Reningsverk				
Varmt vatten i reningsverk	-	-	-	-

Från Tabell 12 ser man att produktionskostnaderna per megawattimme varierar från 280 SEK till 5370 SEK. Det är många poster som inte är ekonomiskt genomförbara då produktionskostnaderna vida överstiger det beräknade genomsnittliga marknadspriset på el med elcertifikat inkluderat.

Notera att investeringskostnaden och produktionskostnaden baseras på den aktuella kraftcykeln och dess installationskostnader, kostnader för kringutrustning är ej medräknade (se kapitel 3.2).

I de fall som produktionskostnaderna är lägre än genomsnittliga marknadspriset på el finns utrymme för investering i kringutrustning. För beräkning av den tillgängliga summan för kringutrustning används två olika scenarier angående utvecklingen av el- och elcertifikatpriset, se kapitel 3.2. Tabell 13 presenterar den tillgängliga summan för kringutrustningen både med och utan elcertifikat för Kalina cykeln.

De poster som räknas ihop, t.ex. avgaser för ugn 301 och 302 används till fördel i första hand då det ekonomiskt betyder uppskalningsfördelar. Summorna består därför av de värden markerat i fet stil. De poster som markerats med minus resulterar i negativt belopp för kringutrustning, produktionskostnaden är högre än intäkten.

Alternativt produceras ingen el på grund av för låg temperatur hos värmekällan för gällande kraftcykel enligt resonemang i kapitel 4.5.

Tabell 13 Sortering av elproduktionen efter ekonomisk genomförbarhet, Kalina cykel

Elproduktionspost	**Kalina**			
	Scenario 1 STEM		Scenario 2 Nordpool	
Med elcertifikat 2006	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]
Avgaser ugn 301	7 170	3,8	7 170	11,1
Avgaser ugn 302	5 710	2,2	5 710	8,0
Avgaser ugn 301 + 302	**12 880**	**11,1**	**12 880**	**24,2**
Varma bandrullar	**33 940**	**43,8**	**33 940**	**78,2**
Kyl och jetkylzoner galv 2	-	-	2 580	2,0
Kyl och jetkyl alu + galv 2	**3 560**	**0,1**	**3 560**	**3,7**
Summa	**50 380**	**55,0**	**50 380**	**106,1**
Utan elcertifikat 2006				
Avgaser ugn 301	-	-	7 170	3,0
Avgaser ugn 302	-	-	5 710	1,5
Avgaser ugn 301 + 302	-	-	**12 880**	**9,7**
Varma bandrullar	**33 940**	**8,9**	**33 940**	**40,1**
Summa	**33 940**	**8,9**	**46 820**	**49,8**
Ej möjlig				
Avgaser kontiglödg	**330**	-	**330**	-
Kylvatten gasjet	720	-	720	-
Kylvatten 6A kontiglödg	200	-	200	-
Kylvatten gasjet + kontiglödg	**920**	-	**920**	-
Övrigt kylvatten kontiglödg	-	-	-	-
Varm luft vid tak kontiglödg	-	-	-	-
Non-ox ugn aluzink	-	-	-	-
Primer och finish ugn färglinje	-	-	-	-
Ugn aluzink + ugnar färglinje	-	-	-	-
Kyl och jetkylzoner aluzink	**980**	-	**980**	-
Kyl och jetkylzoner galv 2	**2 580**	-	-	-
Kyllådor och vattenbad alu	-	-	-	-
Non-ox ugn galvlinje 2	**730**	-	**730**	-
Kyllådor och vattenbad galv 2	-	-	-	-
Varmt vatten i reningsverk	-	-	-	-
Summa	**4 810**		**2 230**	

På samma sätt som för Kalina cykeln presenteras den tillgängliga summan för kringutrustningen både med och utan elcertifikat för ORC i Tabell 14.

Tabell 14 Sortering av elproduktionen efter ekonomisk genomförbarhet, ORC

Elproduktionspost	**ORC**			
	Scenario 1 STEM		Scenario 2 Nordpool	
Med elcertifikat 2006	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]
Avgaser ugn 301	5 270	0,1	5 270	5,4
Avgaser ugn 302	-	-	4 290	3,7
Avgaser ugn 301 + 302	**9 570**	**4,2**	**9 570**	**13,9**
Varma bandrullar	**22 710**	**21,1**	**22 710**	**44,2**
Kyl och jetkyl alu + galv 2	-	-	**2 510**	**0,9**
Summa	**32 280**	**25,3**	**34 790**	**59,0**
Utan elcertifikat 2006				
Avgaser ugn 301 + 302	-	-	**9 570**	**3,2**
Varma bandrullar	-	-	**22 710**	**18,6**
Summa			**32 280**	**21,8**
Ej möjlig				
Avgaser ugn 302	**4 290**	-	-	-
Avgaser kontiglödg	**320**	-	**320**	-
Kylvatten gasjet	770	-	770	-
Kylvatten 6A kontiglödg	210	-	210	-
Kylvatten gasjet + kontiglödg	**980**	-	**980**	-
Övrigt kylvatten kontiglödg	-	-	-	-
Varm luft vid tak kontiglödg	-	-	-	-
Non-ox ugn aluzink	30	-	30	-
Primer och finish ugn färglinje	40	-	40	-
Ugn aluzink + ugnar färglinje	**70**	-	**70**	-
Kyl och jetkylzoner aluzink	690	-	**690**	-
Kyl och jetkylzoner galv 2	1 820	-	**1 820**	-
Kyl och jetkyl alu + galv 2	**2 510**	-	-	-
Kyllådor och vattenbad alu	-	-	-	-
Non-ox ugn galvlinje 2	**500**	-	**500**	-
Kyllådor och vattenbad galv 2	-	-	-	-
Varmt vatten i reningsverk	-	-	-	-
Summa	**8 670**		**4 380**	

Ser man till de poster som går under rubriken utan elcertifikat i Tabell 13 och Tabell 14 är tillåten investering för kringutrustning utan elcertifikat relativt låg om man jämför med samma poster där elcertifikat är inkluderat. För ORC tekniken, Tabell 14, är det endast den högre elprisutvecklingen, Nordpool, som ger utrymme för kringutrustning utan elcertifikat. Motsvarande gäller även för Kalina tekniken, Tabell 13, med undantag för varma bandrullar.

Kostnaden för kringutrustning för varma bandrullar är förmodligen rätt hög eftersom fluidiserade bäddar eller avancerade system för vattenbad krävs. Detta i kombination med att den högre elprisutvecklingen krävs för att medge investering i kringutrustning, talar för att inte någon post är genomförbar utan elcertifikat. Man måste alltså dels komma billigt undan avseende kringutrustning och dels är beroende av en högre elprisutveckling.

Under rubriken med elcertifikat i Tabell 13 och Tabell 14 återfinns samma poster som går under rubriken utan elcertifikat med den skillnaden att tillåten investering för kringutrustning är högre. Även den lägre elprisutvecklingen, STEM, tillåter i dessa fall något högre investering för kringutrustning. Sannolikheten att få investeringen att gå ihop ökar således.

Investeringen för kraftcykeln i Kyl och jetkylzonerna aluzink + galvlinje 2 blir även dem möjliga med elcertifikat, det dock endast med den högre elprisutvecklingen som tillåten investering i kringutrustning blir någorlunda hög med Kalina tekniken, 3,7 MSEK mot 0,1 MSEK. Med ORC tekniken är det enbart med den högre elprisutvecklingen som det blir pengar över till kringutrustning.

Genomgående är att Kalin tekniken trots den något högre investeringskostnaden i samtliga fall renderar i en lägre produktionskostnad, Tabell 12, på grund av den högre elverkningsgraden.

Sammanfattningsvis kan man säga att potentialen för elproduktion är 50 GWh om elcertifikat kan tillgodoräknas. Det krävs dock att kostnader för kringutrustning inte skenar iväg. Om man räknar med den högre elprisutvecklingen enligt Nordpool scenariot tillåts högre kostnader för kringutrustning, i många fall det dubbla eller mer. Utan elcertifkat uppgår potentialen för elproduktion till 46 GWh, dock måste man i detta fall tillförlita sig på den högre elprisutvecklingen för att överhuvudtaget kunna investera i kringutrustning samtidigt som denna kostnad inte tillåts vara lika hög som med elcertifkat. På det hela taget verkar det mindre troligt att realisera elproduktion utan elcertifikat.

4.7 Mottryckstubin vid återvärmningsugnarna

Vid återvärmningsugnarna produceras ånga vid kylning av ugnarnas rörsystem för transport av stålämnen. Här finns en möjlighet att applicera en mottryckstubin för elproduktion. Då denna potentiella restenergipost uppmärksammades i ett senare skede i utredningen samt är tekniskt svår att i praktiken lösa behandlas den här i ett eget kapitel. Resultaten används ej vid sammanställningarna för den potentiella elproduktionen vid SSAB i Borlänge.

Ångan som lämnar återvärmningsugnarna är i form av mättad ånga vid 25 bars tryck. Ångan används i huvudsak till lokaluppvärmning, hetvattenproduktion för fjärrvärmenätet, värmning av bet- och sköljbad, torkning av band samt varmhållning av pannor. Gemensamt för samtliga förbrukare är att kraven på tryck och temperatur på ångan är låg. Det finns ingen förbrukare som kräver tillförsel av specifikt ånga. [34]

Eftersom ångtrycket till synes verkar väl tilltaget har det varit på förslag [37] att leda ångan från återvärmningsugnarna till en mottryckstubin. I [37] används ett mottryck på 5 bar varvid potentiell elproduktion uppgick till ca 8 GWh. Problemet med att sänka trycket och sedan försöka hålla det tämligen konstant går dock stick i stäv med dagens driftsituation där trycket får variera för att kunna hantera variationer. Man fann därför att förslaget sammantaget inte ter sig rimligt. [37]

Enligt uppgifter från SSAB Tunnplåt i Borlänge klarar ångsystemet vid återvärmningsugnarna ett tryck på 40 bar. Nedan följer en uppskattning av elproduktionen för expansion från 40 bar mättad ånga till ett mottryck på 5 bar. Problematiken med att hantera variationer kvarstår dock, följande beräkning är mer till för att belysa potentialen.

Potentiell elproduktion

För att beräkna elproduktionen används samma antaganden som i [37]; 5 bars mottryck, 80 % expansionsverkningsgrad, 90 % mekanisk verkningsgrad.

Ångproduktionen vid återvärmningsugnarna uppgår till 196 GWh. Räknar man med siffran 0,66 MWh/ton enligt [38] blir ångflödet 290 kton per år. Ingående och utgående entalpitet är 2801 kJ/kg respektive 2503 kJ/kg enligt [39]. Fukthalten blir 0,88. Potentiell elproduktion uppgår till ca 22 GWh, räknat på 8000 drifttimmar blir effekten 2,8 MW.

Det utökade pumparbetet försummas i beräkningarna ovan.

Ekonomi

Referensen [22] presenterar (2001) en grundinvesteringskostnad för en mottrycksturbin på 4,1 M$ för effekten 10,3 MW. För den totala investeringen används installationsfaktorn 1,86. För skalning av storlek gäller skalfaktorn 0,7. Vidare som årliga kostnader presenteras drift- och underhållskostnader som 4 % av investeringen. [22]

Skalar man om ovanstående data för effekten 2,8 MW samt tar hänsyn till inflation och dollarkurs blir investeringen 26,8 MSEK. Årliga kapitalkostnaden enligt ekvation 3 i kapitel 3.2 blir 5,3 MSEK. Kostnader för drift och underhåll uppgår till 1,1 MSEK per år. Elproduktionskostnaden blir följaktligen 290 SEK/MWh.

4.8 Miljö

Den potentiella elproduktionen utan hänsyn till ekonomi från samtliga restvärmekällor uppgår till 74 GWh (Kalina/ORC samt ångturbin), se Tabell 11 och kap 4.7. För de som är potentiellt ekonomiskt genomförbara gäller 72 GWh (Kalina/ORC samt ångturbin), se Tabell 13, Tabell 14 och kap 4.7. Som följd av denna elproduktion kan den nordiska marginalelproduktionen minskas lika mycket. Vad det betyder i reducerade utsläpp redovisas i Tabell 15. Både kolkondens och gaskombi är redovisade beroende på när i framtiden en investering för elproduktion skulle vara aktuell. Kolkondens antas för investeringar inom kort sikt medan gaskombi gäller för de på lång sikt.

Tabell 15 Utsläppsreduktion till följd av elproduktion från restenergier i ton baserat på nordisk marginalelproduktion

Max elprod.	**NO_X**	**SO_X**	**NMVOC**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**Partiklar**
Kolkondens	33	53	2	71 710	1	838	20
Gaskombi	36	2	2	27 750	0	6	0
Möjlig elprod.							
Kolkondens	32	52	2	69 770	1	815	19
Gaskombi	35	2	2	27 000	0	5	0

Som följd av elproduktion kan behovet av inköpt el minskas med 14 % vid maximal elproduktion respektive 13 % vid den ekonomisk möjliga elproduktionen. Då den nordiska marginalelproduktionen kan minskas till följd av den egna elproduktionen finns möjlighet till reducerade specifika emissioner. CO_2 emissionerna är kanske det som är mest intressant för den som följer miljödebatten. Reduktionen av CO_2 genom en minskad nordisk marginalelproduktion blir för den möjliga elproduktionen vid SSAB i Borlänge 25,8 kg/ton stål för kolkondens och 10,3 kg/ton stål för gaskombi.

5 Outokumpu Stainless Avesta Works

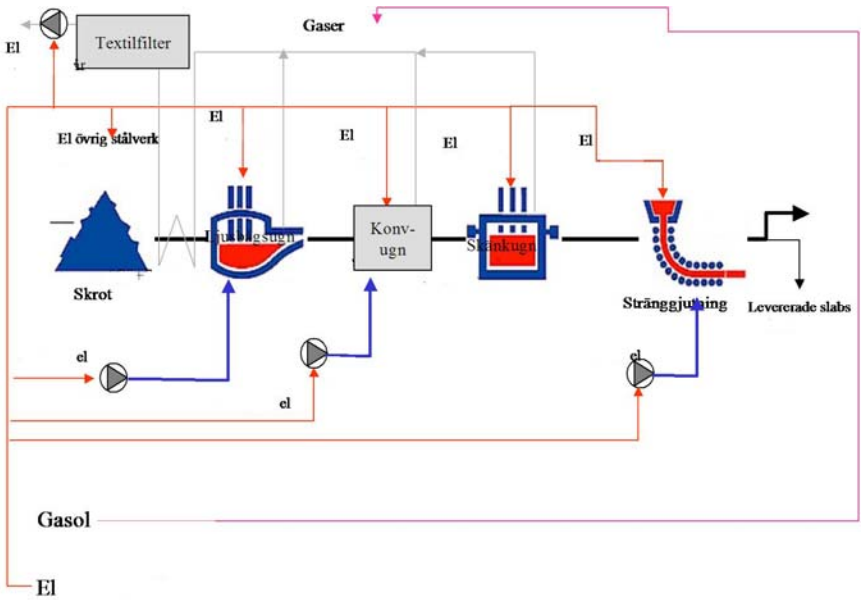
Outokumpu Stainless Avesta Works tillverkar rostfritt stål som förädlas till i huvudsak band- och plåtprodukter på plats. Man förfogar över en modern och effektiv tillverkningskedja som sträcker sig från råvaruhantering via stålverk, varmbandverk och kallbandverk till färdiga breda band och plåtprodukter. Avesta Works har cirka 1000 anställda. [40]

5.1 Produktionsbeskrivning

Som råmaterial används skrot (rostfritt/kolstål), legeringsämnen och tillsatsämnen (kalk, kol). Skrotet förvärms i korgar till ca 300°C med hjälp av rökgaser från ljusbågsugnen. Genom förvärmning av skrotet innan ljusbågsugnen minskar energianvändningen, produktiviteten ökar samt tillförlitligheten ökar under vintertid [41]. Nedan följer en kort beskrivning av de olika stegen i produktionen. En sammanfattande områdeskarta kan ses i slutet av kapitel 5.1.3 i Figur 25.

5.1.1 Stålverk

I stålverket produceras ämnen som bearbetas på plats eller levereras till annan ort för vidare bearbetning. De olika stegen som stålverket består av beskrivs nedan. En bild över de olika processtegen i stålverket ses i Figur 22.



Figur 22 Processteg i stålverket [41]

Ljusbågsugnen

Skrotet matas in i ljusbågsugnen som har en kapacitet på ca 100 ton smälta per charge. Ljusbågsugnen har en effekt på 90 MW(e)/12MW gasol och en charge tar ca 1 timme att smälta och tappa. När smältan är klar håller den en temperatur av 1650°C, som tappas i en förvärmd skänk för transport till AOD-konvertern. För att kyla

ljusbågsugnen används stora mängder kylvatten och rökgaserna från ugnen används för skrotförvärmning. [41]

AOD-konvertern

Smältan från ljusbågsugnen tappas via en skänk till konvertern där sammansättningen justeras via olika processteg. Smältan har ett överskott på kol vilket oxiderar med ren syrgas, den exoterma reaktionen tillgodoser energitillförseln. Efter kolfärskning följer ett antal steg där tillsatser av legeringsämnen sker för att ge den rätt sammansättning. Ugnsdelarna blir mycket varma och kyls därför med kylvatten. När smältan passerat konvertern tappas den om igen i en ny skänk för vidare transport till skänkugnsstationen. [41]

Skänkugnen

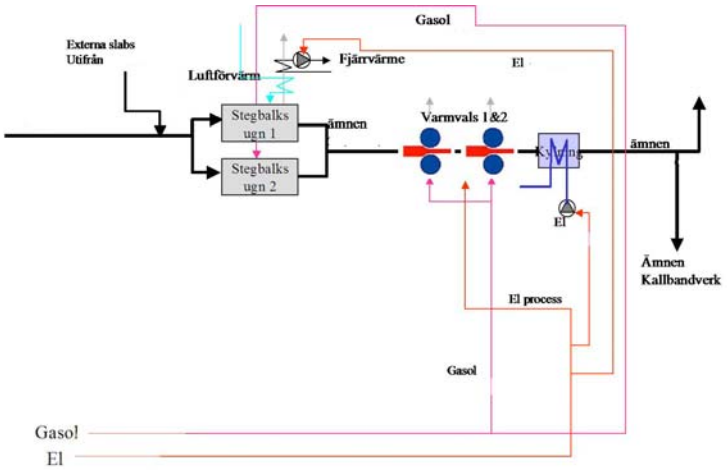
Skänkugnen används för att finjustera smältans temperatur före stränggjutningen, vilket sker med el. Smältan flyttas slutligen via skänken till stränggjutningen. Ugnsdelarna kyls med kylvatten. [41]

Stränggjutning

Smältan passerar först en gjutlåda för att sedan kylas och formas via en vattenkyld kokill som är inställd för önskad tjocklek som valsämnen ska få. När strängen formats kyls ämnesytan successivt via flera delsystem som begjuter ytan med kylvatten. Valsar/rullar som formar strängen kyls med kylvatten. Strängen skärs sedan upp i önskade längder innan transport till varmslipning. Efter varmslipningen lagras ämnena på området före vidare bearbetning eller transport till annan ort. Även ämnen från andra anläggningar inom koncernen lagras på området. [41]

5.1.2 Varmbandverk

I varmbandverket startar processen med bearbetning av ämnena till ”svarta band”. De olika stegen som varmbandverket består av beskrivs nedan. En bild över de olika processtegen i varmbandverket ses i Figur 23.



Figur 23 Processteg i varmbandverket [41]

Återvärmningsugnarna

Ämnena från området värms till en temperatur av ca 1200-1270°C i en två återvärmningsugnarna, så kallade stegbalksugnar. Ugnarna eldas med gasol. När ämnena passerat värmningsugnarna transporteras de vidare till förparet. [41]

Förparet

I förparet valsas ämnena ned till en tjocklek mellan 20-25 mm. Efter valsningen i förparet går bandet vidare till steckelvalsverket. [41]

Steckelvalsverket

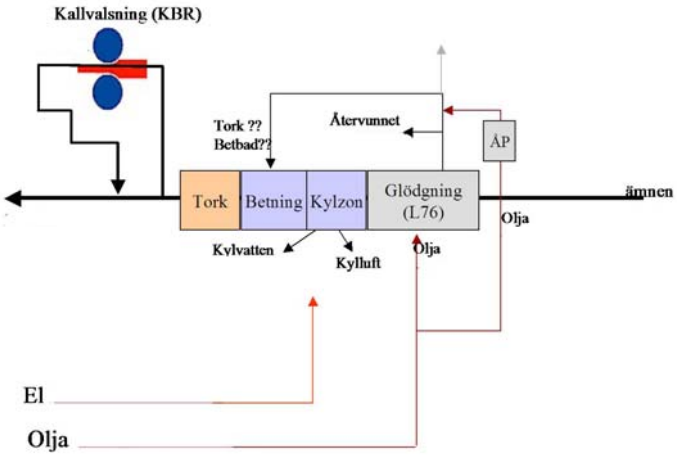
De valsade bandet underhållsvärms i två gasoleldade haspelugnar. Rökgaser från ugnarna passerar rekuperatorer för luftförvärmning samt genom rökgaskylare för produktion av fjärrvärme. [41]

Kylsträcka

När bandet valsats klart i varmbandsverket kyls de ”svarta banden” i en kylsträcka. I kallbandverket får ej bandrullarna överstiga ca 80°C då rullarna i glödgnings-betningslinjens mottagningsstation är gummerade. För snabbkylning finns därför kylvattenbassänger där bandrullarna kan snabbkylas vid behov. Kylvattnet i bassängerna kyls via evaporativa kyltorn till omgivande luft. Spetsvatten kan vid behov tas ifrån älven intill området. De kylda banden fortsätter sedan till kallvalsverket eller levereras direkt till kund. [41]

5.1.3 Kallbandverk

De ”svarta banden” från varmbandsverket som bearbetas vidare i kallbandverket genomgår glödgning, betning och i vassa fall kallvalsning till det som kallas ”vita band”. De olika stegen som kallvalslinjen består av beskrivs nedan [41]. En bild över de olika processtegen i kallbandverket ses i Figur 24.



Figur 24 Processteg i kallbandverket [41]

Glödgning

Bandrullarna från varmbandverket hasplas av och svetsas samman till ett kontinuerligt band. Bandet värms till ca 1200°C i en glödgningsugn för att sedan kylas med luft/vatten för att ge bandet rätt mekaniska egenskaper. Innan bandet betas skalbryts det och blästras. [41]

Betning

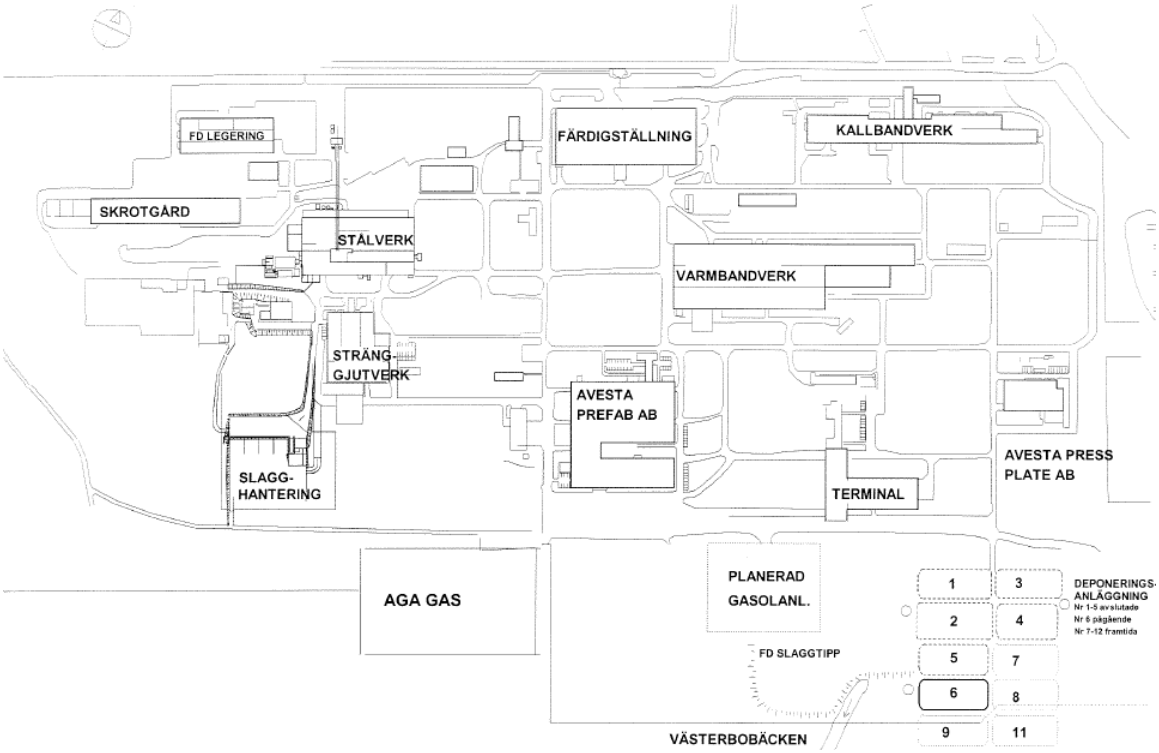
Betningslinjen består av två steg där bandet förs genom en blandsyra. Bandet sköljs sedan och torkas med en ångvärmd tork. Sedan kontrolleras bandet för att slutligen hasplas upp. [41]

Kallvalsning

Vissa band sänds sedan till Z-High-verket för kallvalsning till önskade dimensioner. Valsningen följs sedan av glödgning och betning. De valsade ”vita banden” går sedan vidare till färdigställning eller levereras till annan ort för vidare bearbetning. [41]

Färdigställning

Vid färdigställningen färdigställs de ”vita banden” genom kantklippning före leverans till kund. [41]



Figur 25 Områdeskarta över verksamheten vid Outokumpu i Avesta [41]

5.2 Energianvändning och produktionsmängder

Mängden energi som användes 2006 i form av el, olja gasol och fjärrvärme framgår av Tabell 16 nedan. [42]

Tabell 16 Energianvändning vid Outokumpu i Avesta 2006 [42]

Energislag	Energianvändning [MWh]
El	420 000
Olja	131 236
Gasol	340 357
Fjärrvärme	40 000
Summa	**931 593**

Totalt användes ca 0,9 TWh under år 2006 i form av elkraft och fossila bränslen. Uppvärmning av lokaler och förångning av gasol sker med fjärrvärme som produceras från restenergi i avgaser och kylvatten vid varmbandverket. Producerad och använd fjärrvärme levereras till respektive från Fortum Värmes fjärrvärmenät i Avesta. Under 2006 producerades ca 31,6 GWh fjärrvärme vid Outokumpu i Avesta. De resterande 8,4 GWh fjärrvärme köptes och levererades av Fortum Värme i Avesta. [42]

Den enskilt största användaren av elkraft är ljusbågsugnen. De största användarna av gasol är stegbalksugnarna samt haspelugnar. Den största användaren av eldningsolja är kallbandverkets glödgningsugn [42]. Rådande Produktionsmängder och drifttider för 2006 ses nedan i Tabell 17.

Tabell 17 Produktionsmängder vid Outokumpu i Avesta 2006 [42]

Produktion	Tonnage	Drifttid [timmar]
Ljusbågsugn	424 047	8 160
AOD-konverter	474 047	8 160
Stränggjutverk	451 287	8 376
Steckelvalsverk	462 618	7 692
Stegbalksugn A	170 465	6 000
Stegbalksugn B	334 075	8 352
Haspelugnar	451 847	7 692
Glödgning-betningslinjen	441 316	7 433

5.3 Restenergiflöden

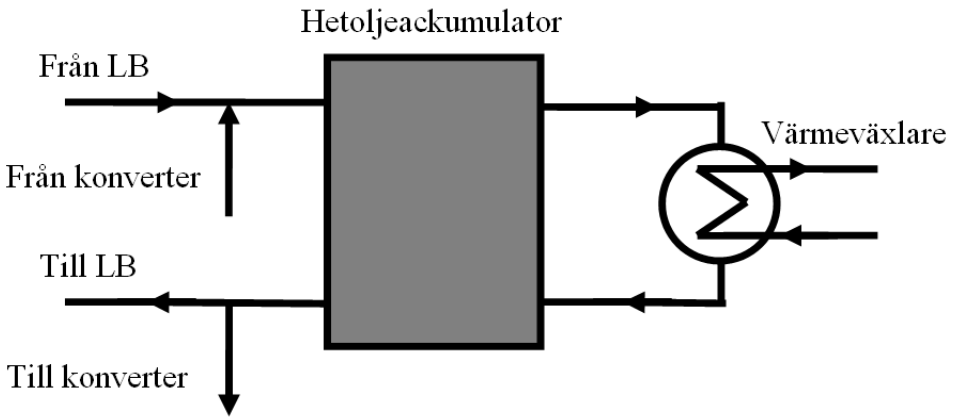
I detta avsnitt presenteras de restvärmetillgångar som energimässigt bör vara möjliga att använda som värmekälla för elproduktion vid Outokumpu i Avesta.

5.3.1 Ljusbågsugn

Skrotet som matas in i ljusbågsugnen smälts och tappas i en skänk. De värmemängder som är av betydelse från ljusbågsugnen är heta avgaser, kylvatten från väggpaneler och valv samt i form av flytande slagg.

Avgaser

Den potentiella restenergitillgång som finns i avgaserna gäller efter skrotförvärmningen. Energin i avgaserna beräknas enligt [43], där överföringen av värmen i avgaserna baseras på ett hetoljesystem. I [43] presenteras ett nyckeltal som visar på att 98 kWh/ton stål skulle kunna utvinnas från avgaserna med en ingående temperatur av 320°C. Referenstemperaturen för beräkning av nyckeltalet är satt till 100°C i [43]. I våra beräkningar justerar vi nyckeltalet för referenstemperaturen 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 424 kton stål och drifttiden 8160 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 55 GWh eller effekten 6,7 MW. I Figur 26 visas en enkel principskiss över det tänkta hetoljesystemet. Som framgår av figuren så avses även energiåtervinning från konverterns avgaser bli inkopplat på samma hetoljesystem.



Figur 26 Hetoljesystem för värmeåtervinning från ljusbågsugnens avgaser [43]

Kylvatten från vägg och valv

Ljusbågsugnen är utrustad med vattenkylning i väggpaneler och valv. Energin i den bortförda värmen beräknas enligt [43], där ett nyckeltal presenteras som visar på att 70 kWh/ton stål skulle kunna utvinnas. Temperaturen på utgående kylvatten beräknas kunna nå 95°C. Referenstemperaturen för beräkning av nyckeltalet är satt till 0°C i [43]. I våra beräkningar justerar vi nyckeltalet för referenstemperaturen 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 424 kton stål och drifttiden 8160 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 20 GWh eller effekten 2,5 MW.

Slagg

Slagg från ljusbågsugnen håller en temperatur på ca 800-900°C [43]. Mängden slagg vid en produktionsmängd av 535 kton stål anges till 65 kton i [43]. För att bestämma energiinnehållet i slaggen används en specifik värmekapacitet på 1100 J/kg°C [43] och temperaturen anses vara 900°C. Referenstemperaturen 30°C antas samt mängden slagg skalas mot 2006 års produktionsmängd på ca 474 kton stål. Detta resulterar i en restenergitillgång på 15 GWh eller med drifttiden 8160 timmar en effekt av 1,8 MW.

5.3.2 Konverter

Det smälta skrotet tappas via en skänk till konvertern där sammansättningen justeras via olika processteg. De värmemängder som är av betydelse från konvertern är heta avgaser och flytande slagg.

Avgaser

Energin i avgaserna beräknas enligt [43], där överföringen av värmen i avgaserna baseras på samma hetoljesystem som för avgaserna från ljusbågsugnen. I [43] presenteras ett nyckeltal som visar på att 191 kWh/ton stål skulle kunna utvinnas från avgaserna med en ingående temperatur av 320°C. Referenstemperaturen för beräkning av nyckeltalet är satt till 0°C i [43]. I våra beräkningar justerar vi nyckeltalet för referenstemperaturen 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 474 kton stål och drifttiden 8160 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 119 GWh eller effekten 14,6 MW.

Slagg

Energin i slaggen från konvertern görs på analogt sätt som för slagget från ljusbågsugnen. Samma specifika värmekapacitet av 1100 J/kg°C och temperaturen 900°C för slagget används. Referenstemperaturen 30°C antas samt mängden slagg skalas mot 2006 års produktionsmängd på ca 474 kton stål. Detta resulterar i en restenergitillgång på 23 GWh eller med drifttiden 8160 timmar en effekt av 2,8 MW.

5.3.3 Stränggjutverk

Vid stränggjutverket formas smältan från skänkugnen till en sträng. Strängen skärs sedan upp i önskade längder. De möjliga restvärmekällorna vid stränggjutverket är vid kokillkylningen och avsvalning av slabsen efter kapningen.

Kokill-kylning

Smältan från skänkugnen formas via en vattenkyld kokill till önskad tjocklek för valsämnena. Kylvattnet ut från kokillen bör helst inte överstiga 60°C. Temperaturen på vattnet in till kokillen bör ligga på ca 35°C [43]. Energin i den bortförda värmen beräknas enligt [43], där ett nyckeltal presenteras som visar på att 35 kWh/ton stål skulle kunna utvinnas. Temperaturen på utgående kylvatten anses få nå 60°C. Referenstemperaturen för beräkning av nyckeltalet är satt till 0°C i [43]. I våra beräkningar justerar vi nyckeltalet för referenstemperaturen 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 451 kton stål och drifttiden 8376 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 8 GWh eller effekten 0,9 MW.

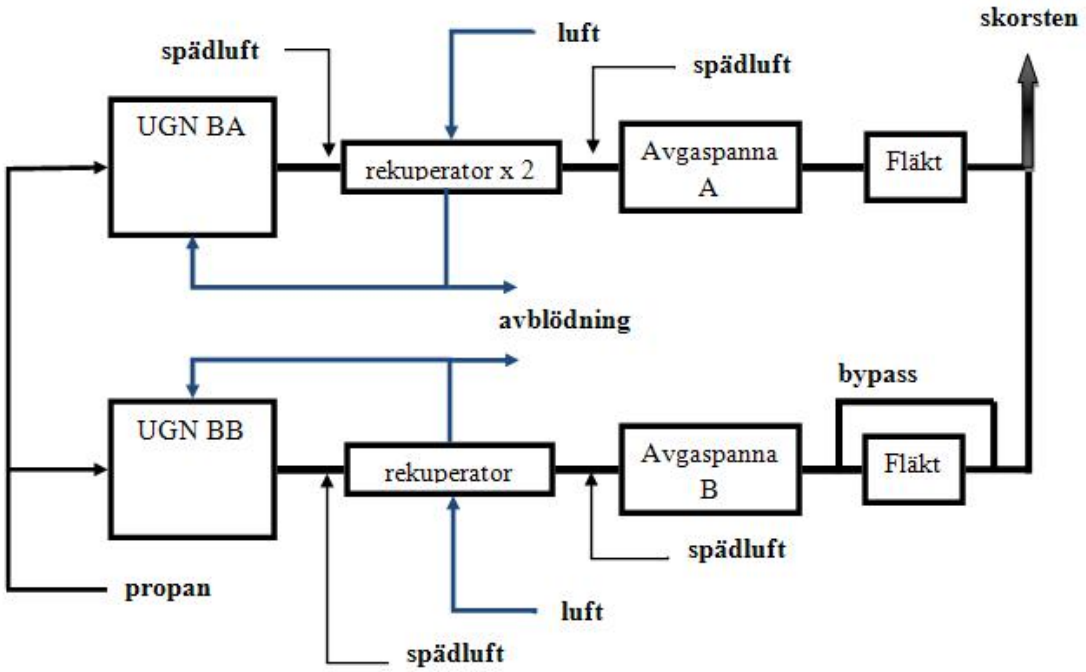
Slabskylning

Den uppskurna strängen transporteras till varmslipning. Efter varmslipningen lagras ämnena utomhus på området för att svalna innan vidare bearbetning eller transport till annan ort. Under 1980 installerades en ”slabspanna”, inkl en hetvattenackumulator för att återvinna värme från varma slabs. När slabslängden ökades till ca 11 meter blev de

för stora för ”slabspannan” som då togs ur drift. Enligt [43] så finns tekniska möjligheter för att bygga ut ”slabspannan” så att restvärme skulle kunna utvinnas på nytt. För att beräkna mängden energi som skulle kunna utvinnas från de svalnade slabsen antas en specifik värmekapacitet på 600 J/kg°C och en temperatur på 900°C. Referenstemperaturen som används är 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 451 kton stål och drifttiden 8376 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 65 GWh eller effekten 7,8 MW.

5.3.4 Återvärmningsugnarna

Återvärmningsugnarna är två till antalet och bägge är av stegbalkstyp. Ugnarna eldas med gasol och de möjliga restvärmekällorna vid återvärmningsugnarna är via avgaser och kylvatten.



Figur 27 Principskiss över stegbalksugnarna och dess värmeåtervinningssystem

Avgaser

Temperaturen vid rekuperatorerna är begränsad till 900ºC. Detta regleras genom att spädluft blåses in före rekuperatorerna i rökgaserna. Det finns även möjlighet att öka flödet på förbränningsluften och härigenom åstadkomma en större kylning av rekuperatorn. Överflödig förbränningsluft blöder man av efter rekuperatorerna, se Figur 27.

Temperaturerna vid fläktarna i UGN BA och UGN BB är begränsade till 300 respektive 400ºC. När avgaspannorna inte är i bruk kan man ta in ytterligare spädluft efter rekuperatorerna för att hålla nere temperaturerna vid fläktarna.

Vid framräkning av rökgasförluster i stegbalksugnarna har loggade värden från Sankey loggen för år 2006 använts [44]. Detta är värden på temperatur för rökgaser,

bränsleflöde, lufttemperatur före och efter rekuperatorerna, luftflöde samt O_2 halt på rökgaserna.

Varje värde är loggat som ett medelvärde för en timme som gäller under ett dygn. Med ledning av dessa värden räknar Sankey loggen automatiskt fram rökgasförlusteffekt och värmeeffekten över rekuperatorerna genom en integrerad visual basic kod presenterat i megawatt för det givna dygnet. Mindre modifikationer har gjorts för att förlusterna skall relateras till referenstemperaturen 30ºC istället för 20ºC.

Den framräknade rökgasförlusteffekten av Sankey loggen måste emellertid subtraheras med effekten över rekuperatorerna samt effekten över avgaspannan (hetvattenproduktionen) för att representera de egentliga rökgasförlusterna. Detta är gjort månadsvis och sedan summerat på årsbasis.

Temperaturen för vilken denna energi är tillgänglig är tagen som en viktad fläkttemperatur för respektive ugn. Temperaturerna vid fläktarna finns loggade och månadsmedeltemperaturer har räknats fram. Månader där rökgasförlusterna är stora väger in tyngre på motsvarande månadstemperatur än månader då rökgasförlusterna är mindre.

Energin i rökgaserna efter rekuperatorn men före avgaspannan uppgår för ugn A till 29,7 GWh år 2006, av vilket 3,0 GWh tas ut som fjärvärme genom avgaspannan. Resterande del rökgaser som håller en temperatur av ca 285°C kan ses som tillgänglig restenergi, vilket uppgår till 26,7 GWh eller med drifttiden 6000 timmar effekten 4,4 MW. På analogt sätt bestäms restenergin för ugn B där energin i rökgaserna efter rekuperatorn uppgår till 54,9 GWh av vilket 12,3 tas ut som fjärrvärme. Tillgänglig restenergi vid en temperatur av ca 275°C uppgår då till 42,6 GWh, eller med drifttiden 8352 timmar effekten 5,1 MW. Här finns också möjligheten att förena rökgaserna från ugn A och ugn B till ett gemensamt system för elproduktion. Den sammanlagda mängden tillgänglig restenergi blir då 69,3 GWh.

Kylvatten

Stegbalkarna i ugnarna kyls med vatten som värms till ca 100°C. Det varma vattnet används i första hand som fjärrvärme i värmesystemet. För att beräkna energin i kylvattnet från stegbalksugnarna används samma Sankey logg som för avgaserna [44]. I den loggas förlusten av entalpi till kylvattnet, där varje värde ses som ett medelvärde för en timme som gäller under ett dygn. Entalpiförlusten till kylvattnet beräknas månadsvis för att sedan summeras på årsbasis. Energin i det varma vattnet uppgår till 52,8 GWh av vilket 16,3 GWh tas ut som fjärvärme. Resterande del som vanligtvis kyls i evaporativa torn kan anses som tillgänglig restenergi vilket uppgår till 36,5 GWh, eller med drifttiden 8352 timmar effekten 4,4 MW.

5.3.5 Haspelugnar

Haspelugnarna som är två till antalet har till uppgift att underhållsvärma det valsade bandet. Ugnarna eldas med gasol och via avgaserna finns en möjlig restvärmekälla. Energin i avgaserna beräknas enligt [43], där ett nyckeltal presenteras som visar på att

16 kWh/ton stål skulle kunna utvinnas från avgaserna med en temperatur av 500°C. Referenstemperaturen för beräkning av nyckeltalet är satt till 100°C i [43]. I våra beräkningar justerar vi nyckeltalet för referenstemperaturen 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 452 kton stål och drifttiden 7692 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 8 GWh eller effekten 1,1 MW.

5.3.6 Varma bandrullar

När bandet valsats klart i varmbandsverket kyls de i en kylsträcka. För snabbkylning finns kylvattenbassänger där bandrullarna kan snabbkylas vid behov. Kylvattnet i bassängerna är en potentiell restvärmekälla som annars kyls via evaporativa kyltorn till omgivande luft. För att beräkna mängden energi som skulle kunna utvinnas från varma bandrullarna antas ett Cp på 600 J/kg°C och en temperatur på 725°C. Referenstemperaturen som används är 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 452 kton stål och drifttiden 7692 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 52 GWh eller effekten 6,8 MW.

5.3.7 Glödgugn

Bandrullarna från varmbandverket värms i glödgugnen för att sedan kylas med luft/vattnen för att ge bandet rätt mekaniska egenskaper. Potentiella restvärmekällor är via värme från glödgugnens utloppsände och avgaser.

Värme från glödgugnens utloppsände

Vid glödgugnens utloppsände finns det en huv som suger avgaser som läcker ut ur ugnen och luft som värms av det glödgade bandet. Energin i avgaserna beräknas enligt [43], där ett nyckeltal presenteras som visar på att 36 kWh/ton stål skulle kunna utvinnas från avgaserna med en temperatur av 450°C. Referenstemperaturen för beräkning av nyckeltalet är satt till 150°C i [43]. I våra beräkningar justerar vi nyckeltalet för referenstemperaturen 30°C. Med produktionsmängden för 2006 på ca 452 kton stål och drifttiden 7433 timmar resulterar det i en restenergitillgång på 22 GWh eller effekten 3,0 MW.

Glödgugnens avgaser

Avgaserna från glödgugnen innehåller energi för återvinning. I brist på tidigare data bortser vi ifrån möjligheterna till värmeåtervinning. Det bör dock i ett senare skede undersökas hur mycket värme som skulle kunna tillvaratas då temperaturen på avgaserna enligt [43] ligger mellan 230-340°C.

5.4 Sammanställning restenergier

Samtliga restenergier som behandlats tidigare sammanfattas här i tabellformat, se Tabell 18. Energimängderna har 30°C som referenstemperatur. Värmeeffekten grundar sig på samma driftstider som är presenterade i kapitel 5.2.

Tabell 18 Restenergier vid Outokumpu i Avesta

Restenergikälla	Energimängd [GWh]	Temperatur [°C]	Effekt [kW]
Stålverk			
Avgaser LB	55	320	6 700
Kylvatten LB	20	95	2 500
LB-slagg	15	900	1 800
Avgaser konverter	119	320	14 600
Konverterslagg	23	900	2 800
Stränggjutverk			
Kokillkylningen	8	60	900
Slabskylning	65	900	7 800
Varmbandverk			
Avgaser stegbalksugn A	27	285	4 400
Avgaser stegbalksugn B	43	275	5 100
Kylvatten stegbalksugn A+B	36	100	4 400
Avgaser haspelugnar	8	500	1 100
Varma bandrullar	52	725	6 800
Kallbandverk			
Glödgugnens utloppsände	22	450	3 000
Glödgugnens avgaser	-	230-340	-
Summa	**493**		**61 900**

Totalt uppgår de uppräknade restenergierna till 493 GWh eller motsvarande 55 % av ingående energi.

5.5 Potentiell elproduktion

Elproduktionen från restenergiflödena beräknas enligt kapitel 3.1. Resultaten sammanfattas i Tabell 19. De restvärmekällor som markerats med minus har för låg temperatur för elproduktion vid gällande kraftcykel.

Tabell 19 Elproduktion från restenergierna vid Outokumpu i Avesta

Elproduktionspost	**Storlek på anläggning [kW(e)]**		**Producerad el [MWh]**	
Stålverk	Kalina	ORC	Kalina	ORC
Avgaser LB	600	500	5 040	3 690
Avgaser konverter	1 300	1 000	10 980	8 030
Kylvatten LB	100	100	600	1 140
Slagg LB	200	100	1 790	1 180
Slagg konverter	300	200	2 740	1 810
Stränggjutverk				
Kokillkylning	-	30	-	210
Slabskylning	900	600	7 870	5 200
Varmbandverk				
Avgaser stegbalksugn A	400	300	2 320	1 740
Avgaser stegbalksugn B	400	300	3 640	2 760
Kylvatten stegbalksugn A+B	200	300	1 330	2 120
Avgaser haspelugnar	100	100	900	620
Varma bandrullar	800	500	6 200	4 140
Kallbandverk				
Glödgugnens utloppsände	300	200	2 290	1 600
Glödgugnens avgaser	-	-	-	-
Summa	**5 600**	**4 230**	**45 700**	**34 240**

Den potentiella elproduktionen från restvärmen uppgår totalt till 47 GWh, eller effekten 5,7 MW.

5.6 Ekonomisk utvärdering

Investeringskostnader och produktionskostnader/MWh för elproduktionen vid respektive restenergikälla är presenterade i Tabell 20. Se kapitel 3.2 för ekonomiska data.

Några poster räknas ihop, t.ex. avgaser för LB och konverter eftersom dem anses kunnas byggas ihop till ett system pga. geografisk närhet och liknande karaktär på restenergiflödet. Ekonomiskt betyder detta uppskalningsfördelar.

Tabell 20 Investerings- och produktionskostnad för elproduktionen

Elproduktionspost	**Investeringskostnad [MSEK]**		**Produktionskostnad [SEK/MWh]**	
Stålverk	Kalina	ORC	Kalina	ORC
Avgaser LB	10,8	9,9	500	630
Avgaser konverter	18,6	17,1	390	490
Avgaser LB + konverter	24,2	22,2	350	440
Kylvatten LB	2,4	4,4	1 050	930
Slagg LB	5,2	4,5	710	920
Slagg konverter	7,0	6,0	610	800
Slagg LB + konverter	10,0	8,5	520	680
Stränggjutverk				
Kokillkylning	-	1,3	-	1 760
Slabskylning	14,5	12,4	430	560
Varmbandverk				
Avgaser stegbalksugn A	7,8	7,3	790	990
Avgaser stegbalksugn B	8,4	7,9	550	680
Avgaser stegbalksugn A+B	13,2	12,4	520	640
Kylvatten stegbalksugn A+B	4,2	6,6	770	750
Avgaser haspelugnar	3,4	3,0	930	1 210
Varma bandrullar	13,0	11,2	490	630
Kallbandverk				
Glödgugnens utloppsände	6,6	5,9	690	890
Glödgugnens avgaser	-	-	-	-

Från Tabell 20 ser man att produktionskostnaderna per megawattimme varierar från 350 SEK till 1760 SEK. Det är många poster som inte är ekonomiskt genomförbara då produktionskostnaderna vida överstiger det beräknade genomsnittliga marknadspriset på el med elcertifikat inkluderat.

Notera att investeringskostnaden och produktionskostnaden baseras på den aktuella kraftcykeln och dess installationskostnader, kostnader för kringutrustning är ej medräknade (se kapitel 3.2).

I de fall som produktionskostnaderna är lägre än genomsnittliga marknadspriset på el finns utrymme för investering i kringutrustning. För beräkning av den tillgängliga summan för kringutrustning används två olika scenarier angående utvecklingen av el- och elcertifikatpriset, se kapitel 3.2. Tabell 21 presenterar den tillgängliga summan för kringutrustningen både med och utan elcertifikat för Kalina cykeln.

De poster som räknas ihop, t.ex. avgaser för LB och konverter används till fördel i första hand då det ekonomiskt betyder uppskalningsfördelar. Summorna består därför av de värden markerat i fet stil. De poster som markerats med minus resulterar i negativt belopp för kringutrustning, produktionskostnaden är högre än intäkten. Alternativt produceras ingen el på grund av för låg temperatur hos värmekällan för gällande kraftcykel enligt resonemang i kapitel 5.5.

Tabell 21 Sortering av elproduktionen efter ekonomisk genomförbarhet, Kalina cykel

Elproduktionspost	**Kalina**			
	Scenario 1 STEM		Scenario 2 Nordpool	
Med elcertifikat 2006	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]
Avgaser LB	5 040	1,6	5 040	6,7
Avgaser konverter	10 980	8,8	10 980	19,9
Avgaser LB + konverter	**16 020**	**15,9**	**16 020**	**32,2**
Slagg LB	-	-	1 790	0,8
Slagg konverter	-	-	2 740	2,3
Slagg LB + konverter	**4 530**	**1,1**	**4 530**	**5,7**
Slabskylning	**7 870**	**5,1**	**7 870**	**13,1**
Avgaser stegbalksugn A	-	-	2 320	0,1
Avgaser stegbalksugn B	3 640	0,4	3 640	4,1
Avgaser stegbalksugn A+B	**5 960**	**1,5**	**5 960**	**7,6**
Kylvatten stegbalksugn A+B	-	-	**1 330**	**0,2**
Varma bandrullar	**6 200**	**2,3**	**6 200**	**8,6**
Glödgugnens utloppsände	-	-	**2 290**	**1,2**
Summa	**40 580**	**25,9**	**44 200**	**68,6**
Utan elcertifikat 2006				
Avgaser LB	-	-	5 040	1,1
Avgaser konverter	-	-	10 980	7,6
Avgaser LB + konverter	-	-	**16 020**	**14,1**
Slagg LB + konverter	-	-	**4 530**	**0,6**
Slabskylning	-	-	**7 870**	**4,2**
Avgaser stegbalksugn A+B	-	-	**5 960**	**0,9**
Varma bandrullar	-	-	**6 200**	**1,7**
Summa			**40 580**	**21,5**
Ej möjlig				
Kylvatten LB	**600**	-	**600**	-
Slagg LB	**1 790**	-	-	-
Slagg konverter	**2 740**	-	-	-
Kokillkylning	-	-	-	-
Avgaser stegbalksugn A	**2 320**	-	-	-
Kylvatten stegbalksugn A+B	**1 330**	-	-	-
Avgaser haspelugnar	**900**	-	**900**	-
Glödgugnens utloppsände	**2 290**	-	-	-
Summa	**11 970**		**1 500**	

På samma sätt som för Kalina cykeln presenteras den tillgängliga summan för kringutrustningen både med och utan elcertifikat för ORC i Tabell 22.

Tabell 22 Sortering av elproduktionen efter ekonomisk genomförbarhet, ORC cykel

Elproduktionspost	**ORC**			
	Scenario 1 STEM		Scenario 2 Nordpool	
Med elcertifikat 2006	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]	Prod. El [MWh]	Kring utr. [MSEK]
Avgaser LB	-	-	3 690	2,8
Avgaser konverter	8 030	2,9	8 030	11,0
Avgaser LB + konverter	**11 720**	**7,0**	**11 720**	**18,9**
Slagg konverter	-	-	1 810	0,1
Slagg LB + konverter	-	-	**2 990**	**1,7**
Slabskylning	**5 200**	**0,4**	**5 200**	**5,7**
Avgaser stegbalksugn B	-	-	2 760	1,5
Avgaser stegbalksugn A+B	-	-	**4 500**	**3,2**
Kylvatten stegbalksugn A+B	-	-	**2 120**	**0,6**
Varma bandrullar	-	-	**4 140**	**3,1**
Summa	**16 920**	**7,4**	**30 670**	**33,2**
Utan elcertifikat 2006				
Avgaser konverter	-	-	8 030	2,0
Avgaser LB + konverter	-	-	**11 720**	**5,7**
Summa			**11 720**	**5,7**
Ej möjlig				
Avgaser LB	**3 690**	-	-	-
Kylvatten LB	**1 140**	-	**1 140**	-
Slagg LB	1 180	-	**1 180**	-
Slagg konverter	1 810	-	-	-
Slagg LB + konverter	**2 990**	-	-	-
Kokillkylning	**210**	-	**210**	-
Avgaser stegbalksugn A	1 740	-	**1 740**	-
Avgaser stegbalksugn B	2 760	-	-	-
Kylvatten stegbalksugn A+B	**2 120**	-	-	-
Avgaser haspelugnar	**620**	-	**620**	-
Varma bandrullar	**4 140**	-	-	-
Glödgugnens utloppsände	**1 600**	-	**1 600**	-
Summa	**21 021**		**6 490**	

Ser man till de poster som går under rubriken utan elcertifikat i Tabell 21 och Tabell 22 är tillåten investering för kringutrustning utan elcertifikat lägre än om man jämför med samma poster där elcertifikat är inkluderat. För ORC tekniken, Tabell 22, är det endast den högre elprisutvecklingen, Nordpool, som ger utrymme för kringutrustning utan elcertifikat. Motsvarande gäller även för Kalina tekniken, Tabell 21.

Kostnaden för kringutrustning för varma bandrullar är förmodligen rätt hög eftersom fluidiserade bäddar eller avancerade system för vattenbad krävs. Detta i kombination med att den högre elprisutvecklingen krävs för att medge investering i kringutrustning, talar för att inte någon post är genomförbar utan elcertifikat. Man måste alltså dels komma billigt undan avseende kringutrustning och dels är beroende av en högre elprisutveckling.

Under rubriken med elcertifikat i Tabell 21 och Tabell 22 återfinns samma poster som går under rubriken utan elcertifikat med den skillnaden att tillåten investering för kringutrustning är högre. Även den lägre elprisutvecklingen, STEM, tillåter i dessa fall något högre investering för kringutrustning. Sannolikheten att få investeringen att gå ihop ökar således.

Investeringen för kraftcykeln i Kylvatten stegbalksugn A+B blir även den möjlig med elcertifikat. Det dock endast med den högre elprisutvecklingen som tillåten investering i kringutrustning blir positiv med Kalina-tekniken, 0,2 MSEK mot ORC-tekniken 0,6 MSEK. Då denna post kommer att kräva liten kringutrustning på grund av att restvärmekällan är en fluid med god temperatur så bör den studeras närmre.

Kalina-tekniken har trots den något högre investeringskostnaden i de flesta fall en lägre produktionskostnad än för ORC tekniken, se Tabell 20. Detta beror på den högre elverkningsgraden hos Kalina cykeln.

Sammanfattningsvis kan man säga att potentialen för elproduktion är 45 GWh om elcertifikat kan tillgodoräknas. Det krävs dock att kostnader för kringutrustning inte skenar iväg. Om man räknar med den högre elprisutvecklingen enligt Nordpool scenariot tillåts högre kostnader för kringutrustning, i många fall det dubbla eller mer. Utan elcertifkat uppgår potentialen för elproduktion till 41 GWh, dock måste man i detta fall tillförlita sig på den högre elprisutvecklingen för att överhuvudtaget kunna investera i kringutrustning samtidigt som denna kostnad inte tillåts vara lika hög som med elcertifkat. På det hela taget verkar det mindre troligt att realisera elproduktion utan elcertifikat.

5.7 Miljö

Den potentiella elproduktionen från samtliga restvärmekällor uppgår till 47 GWh (Kalina/ORC), se Tabell 19. För de som är potentiellt ekonomiskt genomförbara gäller 45 GWh (Kalina/ORC), se Tabell 21 och Tabell 22. Som följd av denna elproduktion kan den nordiska marginalelproduktionen minskas lika mycket. Vad det betyder i reducerade utsläpp redovisas i Tabell 23. Både kolkondens och gaskombi är redovisade beroende på när i framtiden en investering för elproduktion skulle vara aktuell. Kolkondens antas för investeringar inom kort sikt medan gaskombi gäller för de på lång sikt.

Tabell 23 Utsläppsreduktion till följd av elproduktion från restenergier i ton baserat på nordisk marginalelproduktion

Max elprod.	**NO_X**	**SO_X**	**NMVOC**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**Partiklar**
Kolkondens	21	34	1	45 790	1	535	13
Gaskombi	23	1	1	17 720	0	4	0
Möjlig elprod.							
Kolkondens	20	32	1	43 600	1	509	12
Gaskombi	22	1	1	16 870	0	3	0

Som följd av elproduktion kan behovet av inköpt el minskas med 11 % vid maximal och ekonomiskt möjlig elproduktion. Då den nordiska marginalelproduktionen kan minskas till följd av den egna elproduktionen finns möjlighet till reducerade specifika emissioner. CO_2 emissionerna är kanske det som är mest intressant för den som följer miljödebatten. Reduktionen av CO_2 genom en minskad nordisk marginalelproduktion blir för den möjliga elproduktionen vid Outokumpu i Avesta 96,6 kg/ton stål för kolkondens och 37,4 kg/ton stål för gaskombi.

6 Elproduktion från övrig stålindustri i Sverige

Idag bedrivs verksamhet som direkt kan hänföras till stålindustri på ett 20-tal orter i Sverige. Råstål och pulver framställs vid 13 anläggningar varav 10 av dessa är skrotbaserade i likhet med Outokumpu Avesta som har behandlats i denna rapport. Vid de tre resterande anläggningarna produceras malmbaserat stål. Övriga orter med stålindustri utan råstålsframställning representeras av t.ex. SSAB i Borlänge som har behandlats här. År 2006 uppgick de svenska stålverkens leveranser av stål (dvs. plåt, band, stång, profiler och rör) till 4,8 miljoner ton. [45]

I denna rapport har endast verk på två orter i Sverige beaktats. De verk som studerats är bland de större med hänseende till produktionskapaciteten, likväl finns svårigheter i att få investeringarna lönsamma vid egen elproduktion från restenergier. Det betyder att verk med mindre produktionskapacitet torde ha än sämre ekonomiska förutsättningar för egen elproduktion från restenergier. Men det finns också verk på andra orter i Sverige som bör har större potential för elproduktion från restenergier än de berörda i denna rapport. Vid SSAB i Luleå och Oxelösund råder stor produktionskapacitet, således genereras också stora mängder restenergi vid stålverken som är tillgänglig för elproduktion. Med hänvisning till de stora mängder restenergi (se Tabell 18) som finns tillgänglig enbart vid stålverksdelen hos Outokumpu i Avesta, bör potentialen även vara stor vid de två ovan nämnda stålverken.

Även järnsvampverket vid Höganäs kan vara av intresse för egen elproduktion från restenergier.

Potentiell elproduktion

Ett sätt att beräkna potentialen för egen elproduktion från restenergier vid stålverk vore att ta fram nyckeltal för några typiska verk. Nyckeltalen för den elproduktion som har ekonomisk potential vid de berörda verken i denna rapport blir följande:

- SSAB i Borlänge – 26,3 kWh(e)/ton stål
- Outokumpu i Avesta – 99,7 kWh(e)/ton stål

Det dryga fyra gånger högre nyckeltalet för Outokumpu i Avesta har till stor del sin förklaring i det faktum att denna anläggning till skillnad från SSAB i Borlänge har en metallurgisk avdelning med ljusbågsugn och AOD-konverter. För SSAB:s del återfinns denna del av produktionen i Luleå och Oxelösund och är där malmbaserad. Det vore önskvärt att ha nyckeltal för elproduktion från restenergier vid malmbaserade stålverk för att kunna göra en approximation av den totala potentialen i Sverige. För att göra en än bättre uppskattning borde nyckeltalen sedan delas upp i olika segment för t.ex. varmvalsverk, kallvallsverk osv. Dessa tillämpas sedan på övriga verk i Sverige.

7 Diskussion

Elcertifikat

Det bör poängteras att elproduktion från de restvärmeflöden som här har behandlats är i dagsläget inte berättigad till elcertifikat. Restvärmeflödena har sin uppkomst i processer som är eldade med fossilt bränsle eller genom elanvändning och är således inte direkt förnyelsebar. Dock kvarstår det faktum att restvärmeflödena gör bättre nytta som energikälla för elproduktion än att inte användas alls.

Restvärmeflöden

De restvärmeflöden som utgörs av värme från heta ämnen bör i första hand minimeras genom att eftersträva varmgång. Ett exempel på detta är slabsen som kommer från stränggjutverket hos Outokumpu i Avesta. Slabsen får efter stränggjutverket kallna ute på området i väntan på vidare transport till varmbandverket. I varmbandverket värms sedan slabsen upp igen i återvärmningsugnarna. Här bör man istället verka för att slabsen utan någon större avsvalning behandlas direkt i varmbandverket och därigenom minska restvärmeflödet. Då processtekniska villkor hindrar varmgång är det däremot utmärkt att använda restenergierna för elproduktion. Exempel på detta är varma bandrullar som inte bör vara varmare än 80°C när de går in i kallbandverket vid Outokumpu i Avesta. Detta beror på att valsarna vid mottagningsstationen efter glödgnings-betningslinjen är gummerade och ej tål högre temperatur. Andra skäl som finns är att vissa stålsorter måste kylas ner för att få rätt materialegenskaper.

Restenergiflödena som beaktats varierar med tiden i olika omfattningar. Hänsyn till detta har ej tagits då framräkningar av restenergiflödenas storlek skett. Vid dimensionering av en anläggningsstorlek är det sällan det bästa alternativet att dimensionera efter årsmedelvärdet. Tar man hänsyn till tidsvariationerna hos restenergiflödena så bör energin i första hand användas som förvärmning, då behovet och tillgången kan matcha varandra. Ett exempel på detta är skrotförvärmningen vid ljusbågsugnen hos Outokumpu i Avesta.

Elproduktion

Beräkningen av hur mycket el en given restvärmekälla kan producera baseras som tidigare nämnts på prestanda hos verkliga anläggningar. De anläggningar som har stått som mall har relativt låg förångningstemperatur för att kunna ta tillvara på så mycket av energin i restvärmeflödena som möjligt. Med högre förångningstemperatur följer även högre elverkningsgrad men mindre energi som kan tillvaratas från restvärmeflödet. Det är således en optimeringsfråga att maximera elproduktionen. Ett något mer exakt resultat av den sammanlagda elproduktionen hade kanske uppnåtts om restvärmeflödena hade anpassats till fler befintliga anläggningar av liknande karaktär.

Då elproduktionen från restvärmeflödena vid de berörda verken baserades på ca 30 olika delprocesser blev det problematiskt att finna befintliga anläggningar som passade in under samma förhållanden. Vid fortsatta studier bör man höra sig för med

tillverkare och ange vilka förhållanden som råder för bästa resultat. På det hela taget är det möjligt att potentialen för egen elproduktion är något underskattad. Många av restvärmeflödena med högre temperatur kan förmodligen utnyttjas bättre genom val av arbetsmedium hos kraftcykeln som har en högre förångningstemperatur. Det omvända förhållandet gäller för restvärmeflöden med lägre temperatur.

För att maximera elproduktionen från värmnings- och värmebehandlingsugnarnas rökgaser bör rekuperatorer och avgaspannor för hetvattenproduktion placeras så att högsta möjliga temperatur görs tillgänglig för elproduktionen. Detta leder förmodligen i de flesta fall till att större värmeväxlarareor behövs i rökgaskanalerna vilket ökar kostnaderna.

Ekonomi

Egen elproduktion inom stålindustrin måste ske på ett sätt så att det inte äventyrar deras kärnverksamhet. Om en investering för egen elproduktion enbart marginellt går ihop samtidigt som uppförandet eller driften medför risker för störningar i stålproduktionen, då är nog sannolikheten liten att den förverkligas. Elproduktion från restenergier som medför förbättringar i stålproduktionen har förmodligen större möjlighet att realiseras. Ett exempel på detta är om ett system för avkylning av varma bandrullar skulle tas i bruk vid SSAB i Borlänge. Detta skulle kunna innebära förkortade ledtider samtidigt som restvärmen skulle göras tillgänglig för elproduktion. Vid fortsatta studier för elproduktion via restvärme kan det vara värt att utreda värdet av eventuella förbättringar för stålproduktionen.

Vad gäller elproduktion med och utan elcertifikat är det vid en första anblick tillsynes liten skillnad på potentialen vid de båda verken, även om större investeringar i kringutrustning tillåts då elcertifikat kan tillgodoräknas. Emellertid är det nog sannolikt att utan elcertifikat blir ingen investering genomförbar, då resurserna för att täcka upp för kringutrustning är begränsade. Ett exempel är restenergiposten varma bandrullar vid SSAB. Där ökar beloppet tillgängligt för kringutrustning från 40 till 80 MSEK när elcertifikat kan tillgodoräknas för Kalina cykeln och scenariot Nordpool antas, se Tabell 13. Även om det för detta exempel troligtvis krävs större belopp än så för kringutrustningen så visar det på vikten av att få tillgodoräkna sig elcertifikat samt en högre elprisutveckling. För att en investering för elproduktion vid någon restvärmepost därför ska kännas realistisk krävs att scenariot Nordpool infaller, där ett högre antaget genomsnittligt el- och elcertifikatpris råder vilket leder till större utrymme för investeringar i kringutrustning. Detta resonemang gäller för alla restenergiposter.

8 Slutsats

De restenergier som har beaktats för elproduktion vid SSAB Tunnplåt Borlänge och Outokumpu Stainless Avesta Works uppgår till 638 respektive 493 GWh. Genom lämpliga kraftcykler går det att omvandla en del av dessa restenergier till el. Organisk Rankine Cykel och Kalina cykel har efter en genomgång av kommersiella tekniker funnits lämpliga för detta syfte då det finns driftserfarenheter av dessa. Driftserfarenheterna kring Kalina cykeln är inte lika utbredd som för den Organiska Rankine Cykeln. Ur ett ekonomiskt perspektiv i denna studie är dock Kalina cykeln att föredra, då det från de flesta restenergikällor går att producera mer el till en lägre kostnad än med den Organiska Rankine Cykeln. Utan någon hänsyn till produktionskostnad kan totalt 74 GWh el/år produceras vid SSAB och 47 GWh el/år vid Outokumpu, vilket på det hela taget motsvarar en minskning av inköpt el med 14 respektive 11 %.

Med hänsyn till ekonomi visar det sig att vid:

SSAB Tunnplåt AB i Borlänge

- Finns det potential att producera 72 GWh el/år med elcertifikat
- Finns det potential att reducera CO_2 emissioner till följd av en minskad nordisk kolkondensbaserad marginalelproduktion med 70 000 ton/år vid elproduktionen 72 GWh

Outokumpu Stainless Avesta Works i Avesta

- Finns det potential att producera 45 GWh el/år med elcertifikat
- Finns det potential att reducera CO_2 emissioner till följd av en minskad nordisk kolkondensbaserad marginalelproduktion med 44 000 ton/år vid elproduktionen 45 GWh

Elproduktion från de restvärmeflöden som har behandlats här bör vara berättigad till elcertifikat även om dess uppkomst sker i processer som är eldade med fossilt bränsle. Med elcertifikat kan mer el produceras och det är naturligtvis bättre att omvandla restvärmen till el än att inte använda den alls.

9 Referenser

1. Fors. J, Magnusson. L. 1991 *”Egen elproduktion inom järn- och stålindustrin: Energimässiga förutsättningar”* Rapport D-660, Jernkontoret.

2. Asp. B. 2007 *”Biomass- and coke oven gas based methanol production”* Examensarbete, ISSN: 1402-1617, Luleå tekniska universitet, Luleå.

3. M+W Zander. 2006 *”Electricity generation from Enhanced Geothermal Systems - Strasbourg, France, Workshop5”* URL:*http://conferences-engine.brgm.fr/getFile.py/access?contribId=30&sessionId=5&resId=0&materialId=slides&confId=6*

4. Kjellström. B. 2007 *“Forskning och utveckling med tillämpning för småskalig kraftvärmeproduktion ur biobränslen”* Utredning, Energimyndigheten

5. V. Maizza, A. Maizza. 2000 *”Unconventional working fluids in organic Rankine-cycles for waste energy recovery systems”* Bari, Italien

6. Turboden S.r.l. URL:*http://www.turboden.com* hösten 2007

7. ORMAT Technologies, Inc. URL:*http://www.ormat.com/* hösten 2007

8. Opcon AB. Powerbox URL:*http://www.opcon.se/index.asp?sPage=1&langID=1&cID=19* hösten2007

9. Turboden S.r.l. 2006 *”Electricity generation from Enhanced Geothermal Systems - Strasbourg, France, Workshop5”* URL:*http://conferences-engine.brgm.fr/getFile.py/access?contribId=43&sessionId=4&resId=0&materialId=slides&confId=6*

10. ORMAT Technologies, Inc. Installerade ORC anläggningar URL:*http://www.ormat.com/projects.php?did=103* hösten 2007

11. Valdimarsson. P, Eliasson. L. 2003 *“Factors influencing the economics of the Kalina power cycle and situations of superior performance”* International Geothermal Conference, Reykjavík.

12. M. Jonsson 2000 *”Analysis of Bottoming Cycles with Ammonia-Water Mixtures as Working Fluid”* KTH, ISSN 1104-3466

13. Exorka International Limited. URL:*http://www.exorka.com/* hösten 2007

14. OCEES International Inc. (Exergy Inc.) URL:*http://www.ocees.com* hösten 2007

15. Siemens. 2006 *”Electricity generation from Enhanced Geothermal Systems - Strasbourg, France, Workshop5”* URL:*http://conferences-engine.brgm.fr/getFile.py/access?contribId=49&sessionId=5&resId=0&materialId=slides&confId=6*

16. Exorka International Limited. 2006 *”Electricity generation from Enhanced Geothermal Systems - Strasbourg, France, Workshop5”* URL:*http://conferences-engine.brgm.fr/getFile.py/access?contribId=46&sessionId=5&resId=0&materialId=slides&confId=6*

17. Jernkontorets Energihandbok, URL:*http://energihandbok.se/Default.aspx* hösten 2007

18. Jernkontorets Forskning. Värme återvinning från svalbäddar – Förstudie. Hilmer Olsson, Charlotta Artin, Martti Kölhi. Serie D (TO 51-30) Nr 758. Datum 1998-09-03.

19. Pernecker. G, Uhlig. S. 2002 *"Low-enthalpy power generation with ORC-turbogenerator, the Altheim project, upper Austria"* Artikel.

20. Statens energimyndighet *"Elcertifikatsystemet 2007"* URL:*http://www.energimyndigheten.se* hösten 2007

21. Svenska Kraftnäts elektroniska register Cesar. Marknadsstatistik URL:*https://elcertifikat.svk.se/* hösten 2007

22. Faaij. A, Hamelinck. C. 2001 "*Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass"* Teknisk rapport. Universitetet i Utrecht, Nederländerna.

23. Maack. R, Vildimarsson. P. *"Operating Experience with Kalina Power Plants"*

24. Valuta. Valutakurs URL:*http://www.valuta.se* hösten 2007

25. Statistiska centralbyrån (SCB). Konsumentprisindex URL:*http://www.scb.se* hösten 2007

26. Obernberger. I, Thonhofer. P. 2002 *"Description and evaluation of the new 1,000 kW_{el} Organic Rankine Cycle process integrated in the biomass CHP plant in Lienz, Austria"* Artikel, Euroheat & Power, volym 10/2002

27. Shibaki. M. 2003 "Geothermal energy for electric power" Renewable Energy Policy Project, Washington, DC

28. Energimyndigheten. 2007 *"Långsiktprognos 2006 – enligt det nationella systemet för klimatrapportering"* ER 2007:02, ISSN:1403-1892

29. Nordpool. Värdet på terminer i norden under perioden 2008-2013 URL:*http://www.nordpool.com/nordpool/financial/index.html* 2008-02-19

30. Andersson. G. 2006 "*Miljövärdering av el – marginalel och medelel"* Underlagsrapport, Statens energimyndighet

31. Nordgren. S. 2006 *"Potentialen för alternativ användning av processgaser vid SSAB i Luleå"* Examensarbete, ISSN: 1402-1617, Luleå tekniska universitet, Luleå

32. SSAB Tunnplåt. 2007 *"Varmvalsverket – från ämne till höghållfast stål"* Broschyr

33. SSAB Tunnplåt. 2007 *"Kallvalsverket – från varmvalsat stål till höghållfast stål"* Broschyr.

34. Fors. J, Energia. 1991 *"Egen elproduktion inom järn & stålindustrin – delrapport avseende de energimässiga förutsättningarna inom SSAB Tunnplåt AB i Borlänge"* Rapport 51-17. Jernkontoret

35. SSAB Tunnplåt AB Borlänge. Energianvändning 2006 *"Miljörapport år 2006"*

36. Preem. Produkter URL:*http://www.preem.se/templates/page____1107.aspx* hösten 2007

37. Jan Nygren, Kent Östergård. 2007. *"Energikartläggning och analys av energisituationen vis SSAB Tunnplåt AB, Borlänge"* Vattenfall.

38. Fors. J, Hirsch T. 2000 *”Ångsystemet inom SSAB i Borlänge. Hur används ångan? Kan ångförbrukningen minskas”* SSAB Tunnplåt AB

39. John Wiley & sons Inc. Datorprogram *”Computer Aided Thermodynamics Table 2”* hösten 2007

40. PFE-gruppen. 2006 *“Energimyndighetens handbok om rutiner för inköp och projektering inom PFE”* Rapport, Revision, Energimyndigheten, Eskilstuna Sverige.

41. Hansson. M, Östergård. K. 2005 *”Kartläggning och analys av energianvändningen enligt PFE”* Energikartläggning, Outokumpu Stainless AB, Avesta

42. Outokumpu Avesta Works Avesta. Energianvändning 2006 *”Miljörapport år 2006”*

43. Fors. J, Magnusson. L. 1994 *”Framtida användning av restvärme i Avesta”* Rapport 94-03

44. Jönsson. B, Outokumpu Avesta. *”Värmebalans sankeydiagram”* Excelfil hösten 2007

45. Jernkontoret. Svenska stålverkens leveranser av stål 2006 URL:*http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/index.php* hösten 2007

46. Statistiska centralbyrån (SCB). Årsproduktion av el från vindkraft i Sverige 2006 URL:*http://www.scb.se* hösten 2007

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Organisationen grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt skatter och avgifter. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

JERNKONTORET

Box 1721, 111 87 Stockholm Kungstr dg rdsgatan 10
Telefon 08 679 17 00 Fax 08 611 20 89
E-post office@jernkontoret.se www.jernkontoret.se