

Systemperspektiv för effektiv produktion och användning av vätgas via koppling till fjärrvärme AP4. Återvinning av restvärme.

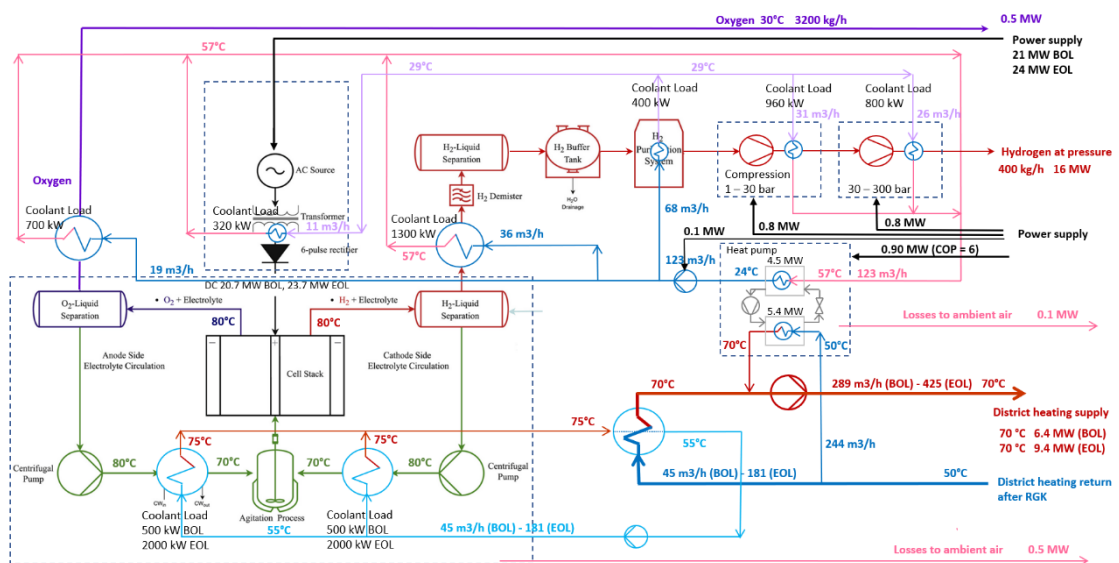
Studie över hur värmeförluster från vätgasproduktion kan bidra till fjärrvärme

Sammanfattning

RISE leder ett projekt, HyCoGen, som handlar om hur man kan göra vätgasproduktion mer lönsam i Sverige genom sektorkoppling med fjärrvärme.

Denna delrapport behandlar hur värmeförluster från vätgasproduktion kan bidra till fjärrvärme genom konkreta förslag på kylsystemets utformning.

Ett sätt att tillvarata restvärmen från själva elektrolysör-stacken visas i figuren nedan, en generisk anläggning som producerar 400 kg vätgas per timme vid full last. Den övre separata kretsen (allt utom stacken) leds genom en värmepump istället för att kylas externt. På så vis kan den lågtempererade restvärmen, motsvarande 4.0 MW, nyttjas som värme i ett fjärrvärmenät.



Den restvärme som kan tas tillvara på detta sätt blir 6.4 MW (BOL=Beginning Of Life) respektive 9.4 MW (EOL=End Of Life) med en temperatur ut på cirka 70°C. Som jämförelse motsvarar en värmeproduktion på 7.9 MWh/h ca 11 procent av Karlstads Energis fjärrvärmeproduktion under ett normalår.

Antingen kan restvärmen ledas direkt till ett modernt lågtempererat fjärrvärmenät eller värmas upp ytterligare med hjälp av en annan panna för att anpassas till existerande fjärrvärmenät där högre temperatur erfordras. Med detta kylsystem kan verkningsgraden för hela processen öka från 70% (BOL) respektive 62% (EOL) till 95%. Detta koncept kräver dock en investering i värmepumpen på runt 30 MSEK, med tillhörande eleffektbehov.

Innehåll

Sammanfattning.....	1
Innehåll.....	2
Bakgrund	2
Inledning.....	2
Kommersiella elektrolys-teknologier tillgängliga idag.....	3
Principer för hur restvärme kan återvinnas en elektrolysanläggning.....	4
Ekonomiska värdet för den restvärme som skapas.....	10
Ekonomiska överslag med exempelvärden för restvärme och el	12
Referenser, källor.....	16

Bakgrund

Sveriges fjärrvärmeproducenter har goda möjligheter att bidra i omställningsarbetet mot ett förnybart samhälle genom att tillverka förnybar vätgas under perioder med god tillgång till förnybar elenergi. Tack vare redan existerande infrastruktur (nätanslutning, processanläggningar, personal, etc.) samt möjligheterna att nyttiggöra både den förlustvärme och den syrgas som genereras vid vätgasframställning genom elektrolys finns bästa möjliga förutsättningar för lönsamhet, energieffektivitet och resiliens i det svenska energisystemet. Förutom att vätgasen kan lagra energi i allt mer väderberoende produktion så kan vätgasen också säljas till andra verksamheter, exempelvis för framdrift av tunga fordon.

HyCoGen är ett projekt som beaktar dessa aspekter utifrån ett systemperspektiv. Projektet medfinansieras av Energimyndigheten och Göteborg Energis Stiftelse för Forskning och Utveckling. Ett av arbetspaketen behandlar hur restvärme, alltså förlustvärmen från elektrolysen, kan komma fjärrvärmesystemet till nytta. Eftersom varje fjärrvärmeanläggning, i någon mån, är unik så finns det olika sätt att integrera vätgasproduktionens kylsystem till fjärrvärmesystemet.

Denna rapport tar upp några möjliga utformningar och dess för- och nackdelar. Underlaget är generiskt och baserat på ett antal mer eller mindre konfidentiella uppgifter som projektet har fått tillgång, där en publik vetenskaplig artikel [4] har bidragit med värdefulla indata. Det är alltså möjliga lösningar för att åskådliggöra effektbalansen på en översiktlig nivå samt hur ett kylsystem som tillvaratar restvärmen kan utformas.

Inledning

Den [senaste rapporten från FN:s klimatpanel IPCC](#) visar ännu mer tydligt att klimatet förändras oerhört snabbt och utan motstycke på tusentals år. [Naturvårdsverket analys](#) säger att budskapet i IPCC:s syntesrapport är tydligt; klimatförändringen påverkar redan människor och ekosystem. Läget är allvarligt och det är bråttom, men lösningar finns. Rapporten återspeglar det som klimatpanelen visat i tidigare rapporter, men tonen är högre och mer allvarlig.

Med hjälp av Sveriges fjärrvärmeproducenter kan omställningen gå snabbare.

Projektet HyCoGen undersöker möjligheten att göra processen lönsam för regionala energibolag genom att se på möjligheterna att tillvarata och hitta avsättning för biprodukterna, värme och syrgas, i syfte att skapa mervärden i processen. Värmen kan nyttjas som resurs i

existerande fjärrvärmesystem och därigenom generera intäkter. Syrgasen kan utnyttjas vid förbränning av biomassa eller avfall.

Resultaten är viktiga för alla energibolag som producerar fjärrvärme och funderar över hur lönsamheten kan ökas. Genom samverkan mellan el-, fjärrvärme-, transportsystem skapas ökad effektivitet och flexibilitet samtidigt som användningen av bränsle, ofta skogsråvara, kan minska.

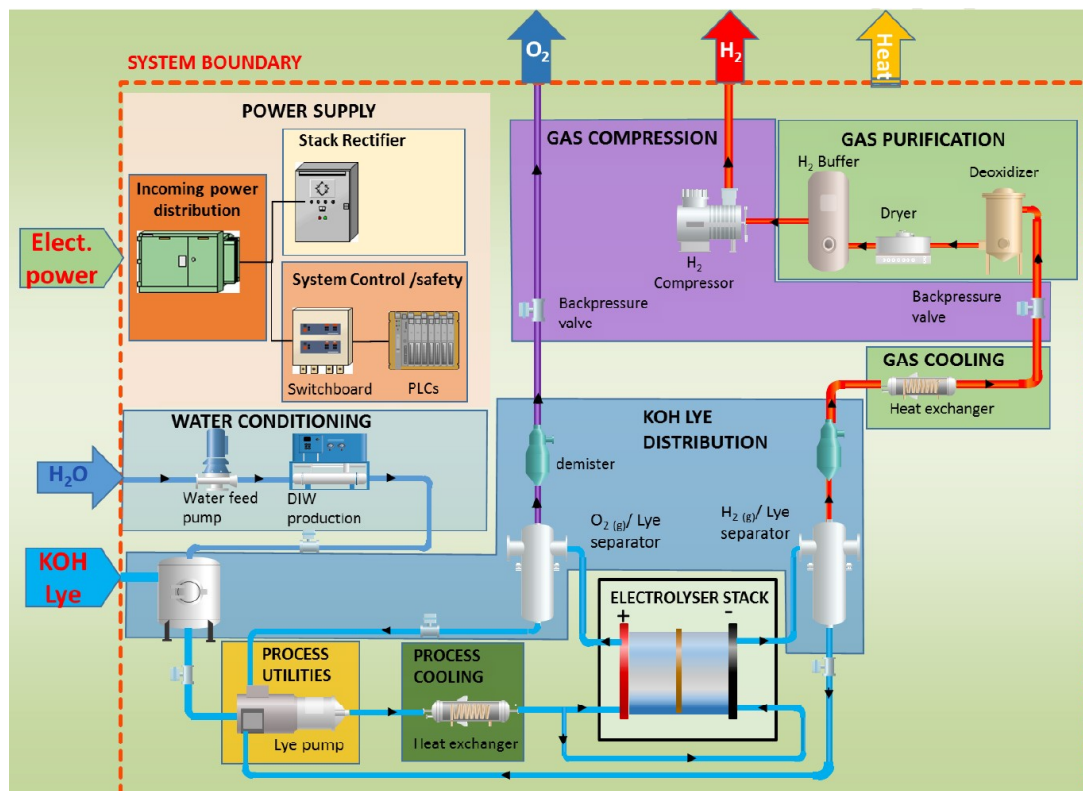
Rapporten har författats av Anders Wickström, RISE med stöd från Johan Thelander, Karlstads Energi och Jenny Lindborg, RISE

Övriga projektdeltagare som bidragit med synpunkter och inspel har varit och Per Tunberg, Mälarenergi och Emelie Algebrant, Tekniska Verken i Linköping.

Kommersiella elektrolys-teknologier tillgängliga idag

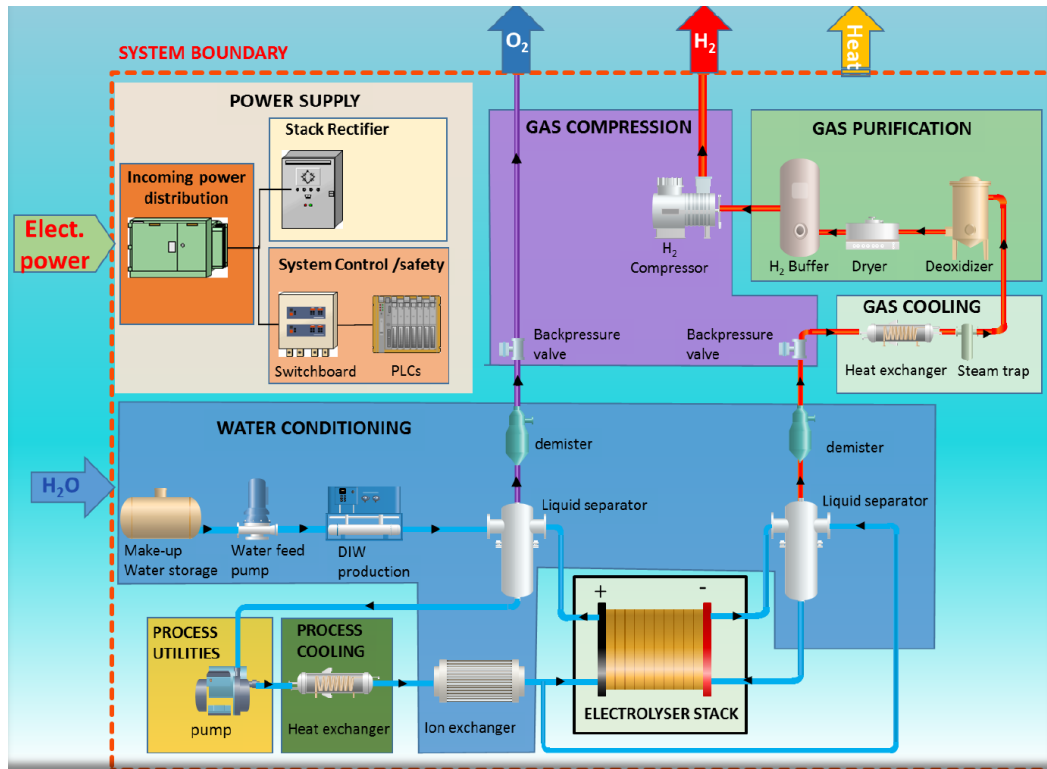
Idag finns det flera olika typer av elektrolysörer, som används i allt från industriskalig kemikalieproduktion till framställning av vätgas för småskalig användning. Tre kommersiella tekniker har analyserats djupare i Hycogen-projektet [1]. Dessa är alkalisk vatten-elektrolys (AEC), protonledandemembran-elektrolys (PEM) och fastoxid-elektrolys (SOEC). I projektet [0] visas en jämförelse mellan de olika elektrolysteknikerna. SOEC körs vid betydligt högre temperaturer vilket förutsätter en intilliggande process som kan tillhandahålla denna värme. Det är inte fallet i en fjärrvärmeanläggning.

Figur 1 visar en schematisk bild på en alkalisk elektrolysör och dess ingående delar samt flöden av vatten, vätgas och syrgas genom processen, [3]. Utloppstemperatur från stacken ligger på cirka 80°C.



Figur 1. Schematisk bild som visar en alkalisk elektrolysör (AEC).

Figur 2 visar en schematisk bild på en PEM-elektrolysör och dess ingående delar samt flöden av vatten, vätgas och syrgas genom processen, [3]. Utloppstemperatur från stacken ligger för denna teknologi lägre, typiskt på cirka 60°C.



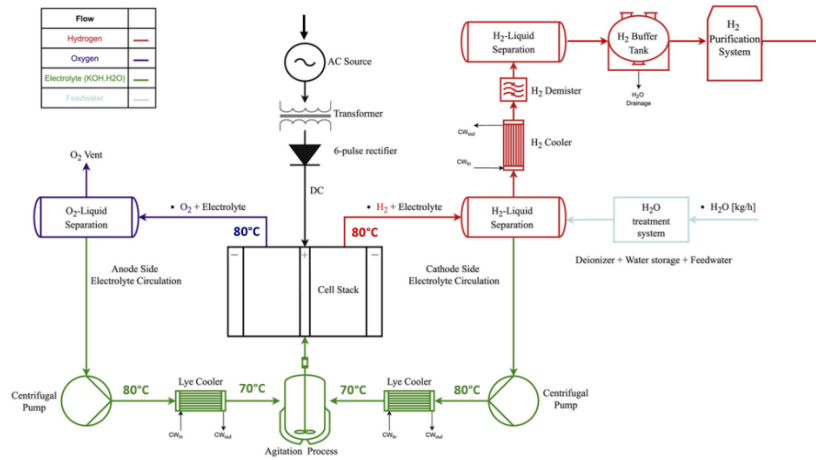
Figur 2. Schematisk bild som visar en PEM-elektrolysör.

Utifrån möjligheterna att tillvarata restvärmen är det fördelaktigt med en högre utloppstemperatur. Därför lämpar sig en AEC bättre än en PEM för en applikation där restvärmen ska tas tillvara.

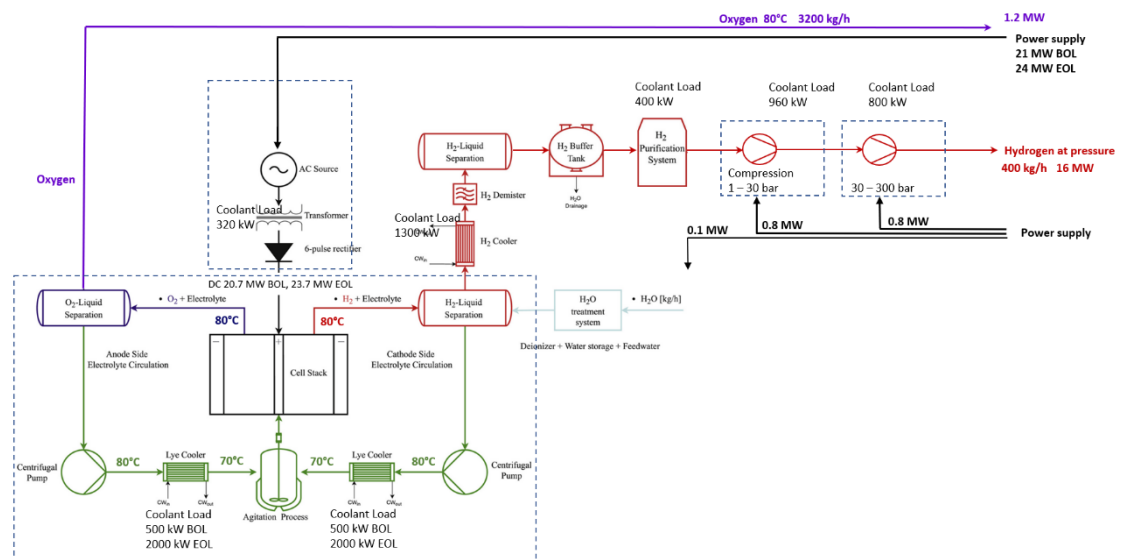
Principer för hur restvärme kan återvinnas en elektrolysanläggning

En vetenskaplig artikel [4] har beskrivit en existerande industriell alkalisk elektrolysanläggning på 3 MW eleffekt in. Forskarna har också skapat en motsvarande simuleringsmodell av anläggningen och beräknat mass- och energibalanser, med fokus på stackens prestanda och effektförluster. Anläggningen visas i Figur 3. Denna anläggning får i denna rapport tjäna som referens över hur ett modifierat kylsystem kan utformas för att utnyttja restvärmen i anläggningen för att tas tillvara i ett fjärrvärmenät.

Figur 4 visar en illustration av en möjlig alkalisk elektrolysanläggning för att generera 400 kg vätgas per timme. Kompressorer har adderats i två enheter för att skapa ett resulterande tryck på utgående vätgas på 300 bar, som därmed blir en kommersiell produkt. Anläggningen matas initialt med 22.7 MW varav 1.6 MW förser kompressorerna med effekt och 0.1 MW driver pumpar.



Figur 3. Illustration av en existerande industriell alkalisk elektrolys-anläggning på 3 MW [4].



Figur 4. Illustration av en möjlig alkalisk elektrolys-anläggning för att generera 400 kg vätgas per timme.

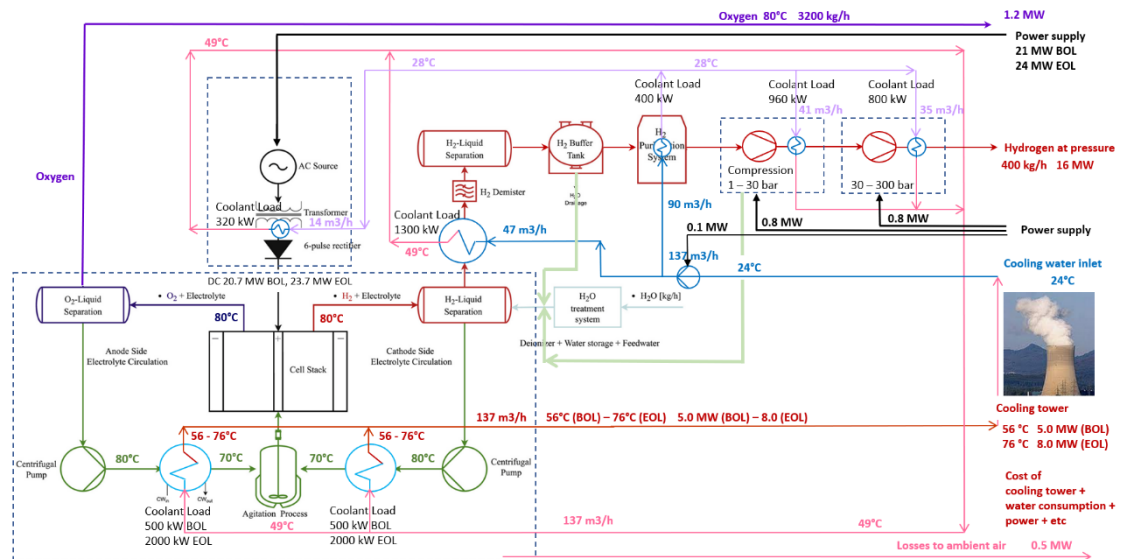
Tabell 1 visar en sammanställning av effektbalansen där den ingående elektriska effekten fördelas på olika förbrukare och slutprodukter. Där summeras också vad som blir förluster, som antingen måste kylas bort eller som försvinner till omgivningen. Som framgår kan verkningsgraden beräknas till 70% initialt (BOL = Beginning Of Life) för att sedan sjunka mot sitt slutskede (EOL = End Of Life) till 62%. Notera att detta projekt inte fokuserar på att beräkna effektbalansen i alla detaljer utan snarare att ta fram rimliga värden över förlusterna för att tillvarata restvärmeströmmarna för fjärrvärmeändamål.

Beskrivning av komponent/produkt	Förbrukning		Temperaturer		Förluster	
	BOL [MW]	EOL [MW]	T1 [°C]	T2 [°C]	BOL [MW]	EOL [MW]
Kylning av elsystem	0.32	0.32	28	49	0.32	0.32
Vätgas 400 kg/h HHV	16.0	16.0				
Kylning av elektrolysör (Lye cooler)	1.00	4.00	49	56 - 76	1.00	4.00
Kylning av vätgas (H2 cooler)	1.30	1.30	24	49	1.30	1.30
Vattenkondensering från H2 (Demister)	0.16	0.16			0.16	0.16
Rening av vätgas (Purifier)	0.40	0.40	24	28	0.40	0.40
Kylning av kompressor 1 - 30	0.96	0.96	28	49	0.96	0.96
Kylning av kompressor 30 - 300	0.80	0.80	28	49	0.80	0.80
Uppvärmning av omgivningen	0.56	0.56	20	40	0.56	0.56
Syrgas 80 C som ventileras ut	0.69	0.69	80	20	0.69	0.69
Vattenkondensering från O2	0.16	0.16			0.16	0.16
Vätgasinblandning i syrgasen	0.35	0.35			0.35	0.35
	22.70	25.70			6.70	9.70

Verkningsgrad	70%	62%
---------------	-----	-----

Tabell 1. Sammanställning av effektbalansen där ingående 22.7 MW initialt (BOL) fördelas på olika förbrukare och slutprodukter. När stacken går mot sitt slutskede (EOL) efter cirka 10 år så förbrukar den 3 MW mer. Då byts de ingående delarna i stacken ut för en förnyad driftstid på 10 år. Anläggningens verkningsgrad sjunker därmed över tid.

Olika komponenter behöver olika temperaturer för att kylas på bästa sätt. Låg temperatur är lämplig för att kyla och torka den producerade vätgasen. Den låga temperaturen underlättar för det kvarvarande vattnet att kondensera. Kompressorer och elsystem kan kylas med något högre temperaturer. Själva stacken, som för AEC har en arbetstemperatur på cirka 80°C, kan kylas med ytterligare högre temperaturer. Ett möjligt integrerat kylsystem för en elektrolysör-anläggning kan se ut som framgår av Figur 5, där restvärmen måste kylas bort genom kyltorn eller annan anläggning. Eftersom restvärmen initialt är så låg som 56°C är den inte användbar för fjärrvärmeändamål utan ytterligare extern värmetillförsel (spetsning) från en annan panna.

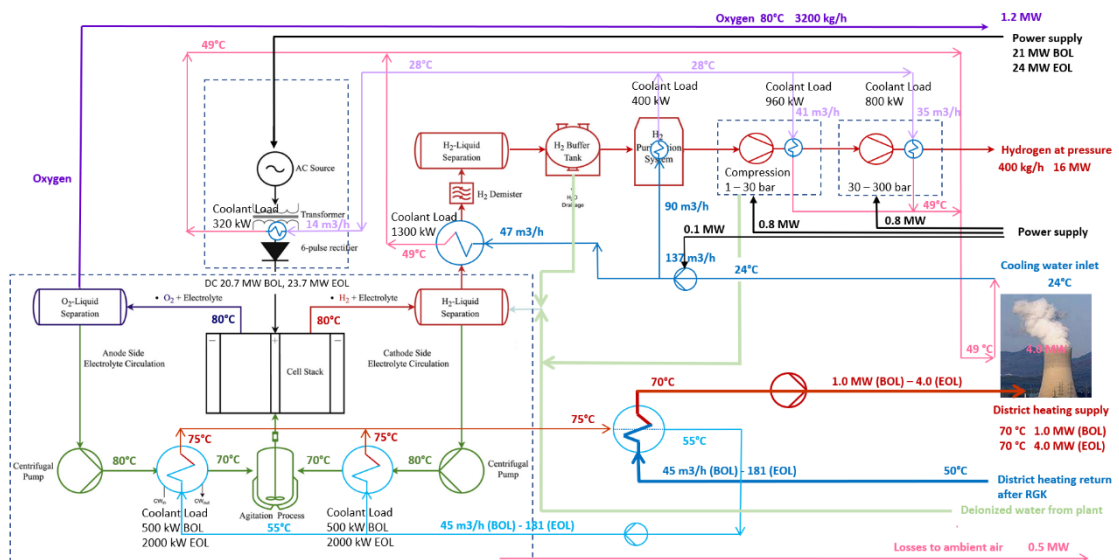


Figur 5. Ett möjligt kommersiellt integrerat kylsystem för en elektrolysör-anläggning där ett vattenburet system förser de olika komponenterna med kylvatten av olika temperaturer.

Initialt är kylvattentemperaturen 24°C in till kylningen av den producerade vätgasen. Därefter fördelas kylvattnet, som nu uppnått en temperatur på 28°C, mellan elsystemet och kompressorerna, där vattnet värms upp till 49°C. I sista steget kyls själva elektrolysör-stacken då kylvattnet värms upp ytterligare. Flödet genom hela kylkretsen är konstant 137 m³/h. Initialt, med ett kylbehov av 1 MW, värms vattnet till 56°C. Under slutet av elektrolysör-stackens livslängd ligger kylbehovet på 4 MW. Då värms vattnet till 76°C. Den totala kyleffekten på 5.0 MW (BOL) respektive 8.0 MW (EOL) måste sedan kylas bort genom ett kyltorn eller annan anläggning. På grund av kondensering av vatten i första kompressorsteget blir kylbehovet (960 kW) högre än kompressorns ingående effekt (800 kW).

Ett första enkelt sätt att tillvarata restvärmen från själva elektrolysör-stacken visas i Figur 6. Anläggningen är identisk med den som visas i Figur 5 förutom att stacken kyls i en separat krets. Eftersom denna krets producerar relativt varmt vatten, 75°C, lämpar den sig väl för att förse ett fjärrvärmesystem med värme. Den kyleffekt som kan nyttjas på detta sätt blir 1.0 MW (BOL) respektive 4.0 MW (EOL). Den temperatur som kan matas ut blir då cirka 70°C. Returledningen antas ha en temperatur på 50°C eftersom fjärrvärmens retur har passerat genom en rökgaskondensering innan den värms upp av elektrolysören. Ingen värmepump behövs utan all värme överförs genom värmeväxlare, som blir den extra investering som behövs i detta fall.

Antingen kan detta vatten ledas direkt ut som matning till ett modernt lågtempererat fjärrvärmesystem. Alternativt behöver detta vatten spetsas upp i en annan panna i anläggningen eller på något annat sätt för att anpassas till existerande fjärrvärmesystem, som normalt matar ut vatten i temperaturintervallet 80 – 115°C beroende på utetemperatur. Resterande kylbehov på 4.0 MW i den övre kylslingen måste kylas bort genom ett kyltorn eller annan anläggning. Sektorkopplingen till fjärrvärmesystemet kan innebära att spädvatten kan förse elektrolysören med råvaran för vätgasframställningen, nämligen rent vatten. Kapaciteten för spädvatten kan dock vara en begränsning. Vatten kan också tas tillvara från vattenrester som kondenseras ut vid kylning och komprimering av vätgasen.



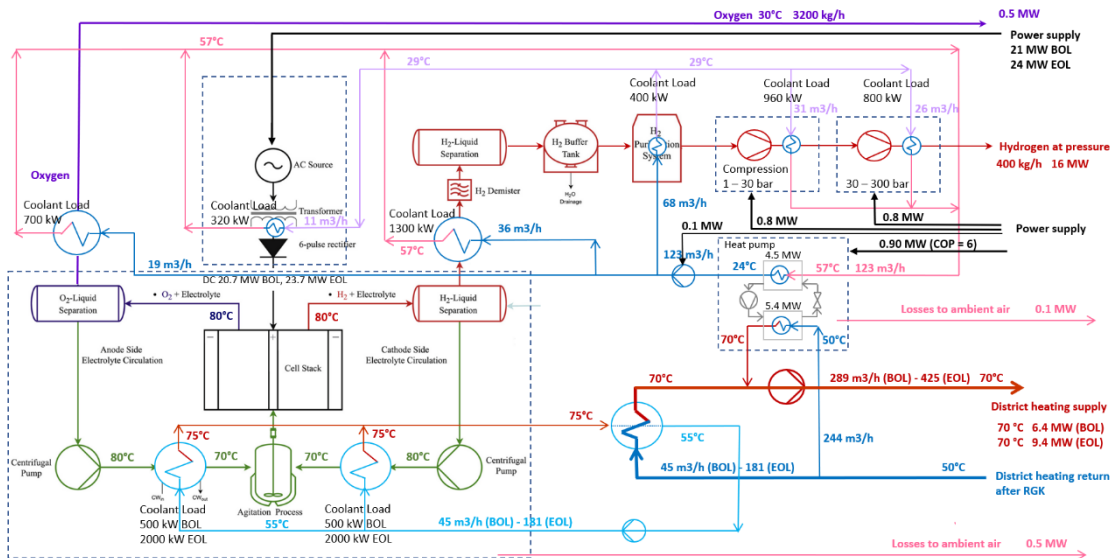
Figur 6. Ett möjligt kylsystem för en elektrolysöranläggning där enbart restvärmen från själva stacken tas tillvara för att bidra till fjärrvärme.

Genom att värmen från kylning av elektrolysör (Lye cooler) tas tillvara stiger verkningsgraden från 70% (BOL) respektive 62% (EOL), enligt Tabell 1, till 75% (BOL) respektive 78% (EOL).

Ett mer avancerat sätt att tillvarata restvärmen från själva elektrolysör-stacken visas i Figur 7. Anläggningen är lik den som visas i Figur 6 men i detta fall är det också lämpligt och möjligt att tillvarata den restvärme som finns i den varma syrgasen. Den övre separata kretsen (allt utom stacken) har dessutom ett lägre flöde vilket leder till högre temperatur (57 istället för 49°C) efter kylning av dessa komponenter. Detta kylvattenflöde körs sedan mot en värmepump istället för att kylas externt. På så vis kan den lågtempererade restvärmen, motsvarande 4.0 MW, också nyttjas och bidra till fjärrvärmen. Detta koncept kräver en ytterligare investering i värmepumpen, med tillhörande effektbehov. Beroende på värdet av värmen samt aktuellt elpris kan man i varje läge flexibelt välja om det är lönsamt eller inte att köra värmepumpen. Alternativt så körs värmepumpen alltid samtidigt med elektrolysören, vilket i så fall innebär att investeringen i kylsystemet helt uteblir.

Då den temperatur som ska lyftas är relativt begränsad (från 50 till 70°C) och att värmepumpen med fördel kan vara uppdelad i moduler, som vardera lyfter temperaturen med cirka 10°C, är det rimligt att anta ett COP på 6. I [5] anges möjligheter att uppnå även betydligt högre COP, vilket skulle kunna minska effektåtgången för värmepumpen.

Den restvärme som kan nyttjas på detta sätt blir 6.4 MW (BOL) respektive 9.4 MW (EOL) med en temperatur ut på cirka 70°C. Antingen kan detta vatten ledas direkt ut som matning till ett modernt lågtempererat fjärrvärmenät eller spetsas upp i en annan panna för att anpassas till existerande fjärrvärmenät. Men i tillägg drar värmepumpen 0.90 MW el som adderar till de extra kostnaderna som värmepumpen medför. Den eleffekt som tillförs värmepumpen blir i huvudsak värme som kan tillgodoräknas till fjärrvärmen.



Figur 7. Ett möjligt kylsystem för en elektrolysöranläggning med syfte att all restvärme som uppstår ska tas tillvara för att bidra till fjärrvärme. En värmepump lyfter temperaturer på delar av kylvattenet, för de komponenter som kräver kyla med låga temperaturer medan restvärmen från stacken leds direkt till fjärrvärmekretsen.

Med detta kylsystem kan verkningsgraden för hela processen öka från 70% (BOL) respektive 62% (EOL) till 95% (BOL) respektive 96% (EOL), se sammanställningen i Tabell 2.

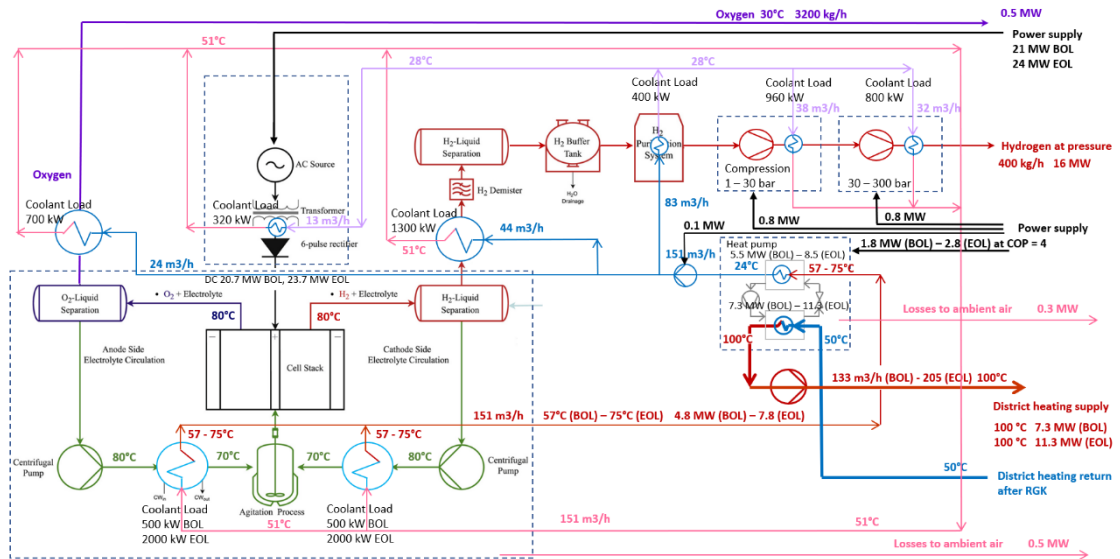
Beskrivning av komponent/produkt	Förbrukning		Temperaturer		Förluster	
	BOL [MW]	EOL [MW]	T1 [°C]	T2 [°C]	BOL [MW]	EOL [MW]
Kylning av elsystem	0.32	0.32	29	57		
Vätgas 400 kg/h HHV	16.0	16.0				
Kylning av elektrolysör (Lye cooler)	1.00	4.00	55	75		
Kylning av vätgas (H2 cooler)	1.30	1.30	24	57		
Vattenkondensering från H2 (Demister)	0.16	0.16				
Rening av vätgas (Purifier)	0.40	0.40	24	29		
Kylning av kompressor 1 - 30	0.96	0.96	29	57		
Kylning av kompressor 30 - 300	0.80	0.80	29	57		
Kylning av värmepump	0.80	0.80				
Uppvärmning av omgivningen	0.66	0.66	20	40	0.66	0.66
Syrgas 80 C som ventileras ut	0.69	0.69	35	20	0.15	0.15
Vattenkondensering från O2	0.16	0.16				
Vätgasinblandning i syrgasen	0.35	0.35			0.35	0.35
	23.60	26.60			1.16	1.16

Verkningsgrad	95%	96%
---------------	-----	-----

Tabell 2. Sammanställning av effektbalansen för kylkonfigurationen som visas i Figur 8 där ingående effekt 23.6 MW initialt (BOL) fördelas på olika förbrukare och slutprodukter. Genom att merparten av förlusterna tas tillvara som fjärrvärme kan verkningsgraden öka till 95%.

Om det saknas möjligheter att utnyttja eller spetsa upp ett vatten som bara når upp till 70 °C kan ett alternativ vara att låta all restvärme som uppstår ledas genom en värmepump. Ett sådant system visas i Figur 8. Värmepumpen blir i detta fall betydligt större, initialt blir dess effektförbrukning 1.8 MW, alltså dubbelt så stor som det fall som visas i Figur 7. Över tid behöver värmepumpen kompletteras med fler enheter, eftersom elektrolysören för ett ökat kylbehov. Den totala effektförbrukning landar till slut på 2.8 MW (EOL). Eftersom temperatursprånget ökar (från 50 till 100 °C) sjunker också värmepumpens verkningsgrad, varför det är rimligt att anta ett COP på 4. En fördel med denna anläggning är att den kan stå ”stand alone” och driva ett mindre lokalt fjärrvärmenät. Om inte all värme behövs, exempelvis under sommartid, så måste annan kylning aktiveras för att inte värmepumpen ska behöva köra alltid när elektrolysören är igång. För att värmen i slutskedet inte ska överstiga 75 °C efter kylningen av stacken, behöver flödet anpassas så att temperaturen på kylvattnet som går in till stacken blir cirka 51 °C.

Även i detta system blir verkningsgraden för hela processen cirka 95%.

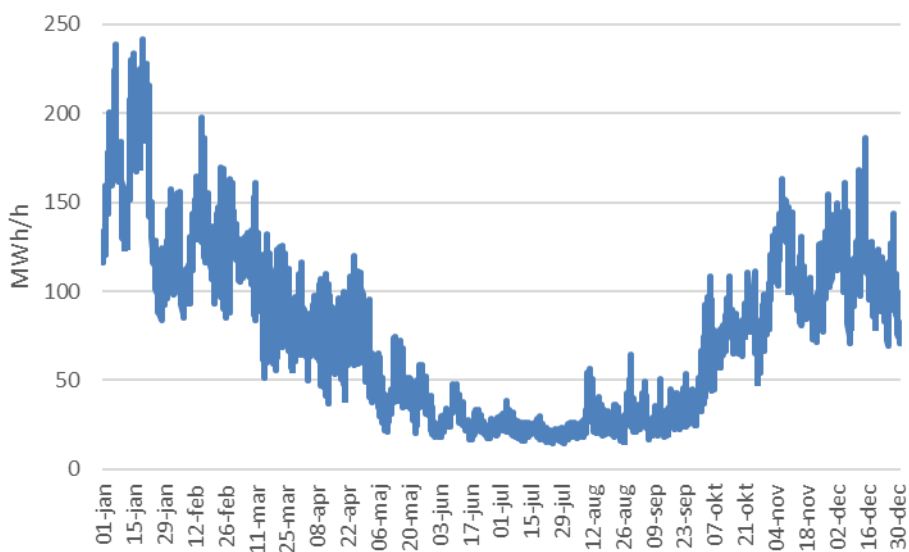


Figur 8. Ett möjligt kylsystem för en elektrolysöranläggning med syfte att all restvärme som uppstår ska tas tillvara för att bidra till fjärrvärme. En värmepump lyfter temperaturer på allt kylvattnet, vilket innebär att det blir möjligt att förse ett fjärrvämenät med varmvatten på över 100°C.

Ekonomiska värdet för den restvärme som skapas

Värdet för fjärrvärmesystemet, av den restvärme som uppstår i elektrolysisprocessen, varierar och beror på flera parametrar. Den blir också individuellt för varje enskilt fjärrvärmesystem då det finns olika lösningar för att tillgodose värmebehovet över tid.

Figur 9 visar ett exempel på hur värmebehovet kan se ut under ett kalenderår. Värmebehovet består i huvudsak av uppvärmning och tappvarmvatten.



Figur 9. Ett exempel på hur värmebehovet kan se ut under ett kalenderår

Olika typer av anläggningar samverkar för att säkerställa att värmebehovet kan tillgodoses med en hög leveranssäkerhet. Normalt anpassas kapaciteten så att de anläggningar som har mest drifttid över året har en så låg rörlig kostnad som möjligt, samtidigt som dessa anläggningar medför relativt stora investeringar. För att täcka de kortare perioder under året då de högsta behoven uppstår används anläggningar där den rörliga kostnaden är något högre, men kräver lägre investeringar. Man brukar benämna de olika anläggningarna baslast-, mellanlast- och spetslastanläggningar.

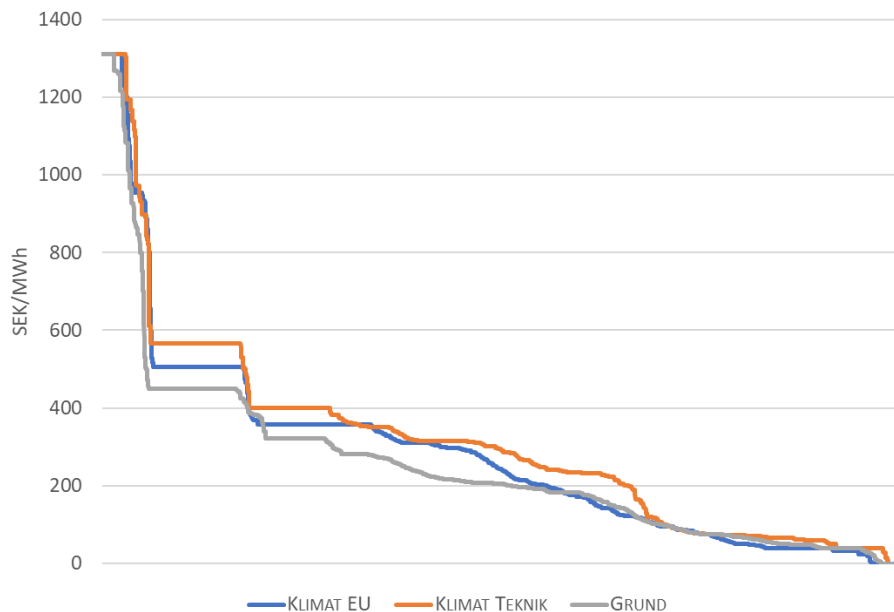
Anläggningar kan vara antingen så kallade hetvattenanläggningar som endast levererar värme, eller kraftvärmeanläggningar som levererar både el och värme. Kraftvärmeanläggningar har förutom den rörliga kostnaden även en rörlig intäkt från elproduktionen vilket medför att vid höga elpriser kan de rörliga intäkterna överstiga de rörliga kostnaderna och variera med marknadspriserna för el timme för timme. Den största delen av de rörliga kostnaderna är bränslet, exempelvis returträ, trädbränslen, pellets och bioolja.

Samhället genererar kontinuerligt avfall som inte bedömts kunna återanvändas eller återvinnas på annat sätt än avfallsförbränning med energiåtervinning till fjärrvärme (restvärme), och el om det sker genom kraftvärme. Denna restvärme har en negativ rörlig kostnad då avfallsförbränningen, som är en avfallsbehandlingstjänst, sker mot en avgift för de som lämnar avfallet för behandling.

Med den långa erfarenheten av fjärrvärme vi har i Sverige har också flera typer av värmesamarbeten utvecklats. Det kan exempelvis röra sig om industrier som har rena värmeöverskott (restvärme) eller ledig kapacitet i egna pannor som kan levereras till fjärrvärmesystemen. Det är därför också självklart att sträva efter att nyttiggöra restvärme från elektrolys som fjärrvärme på motsvarande sätt.

När man betraktar fjärrvärmesystemets ekonomiska intresse att ta emot restvärme, i det här fallet från elektrolysprocessen, är det lämpligt att relatera till rörliga intäkter och kostnader för den värmemängd den kan ersätta på marginalen. Man kan på så sätt skapa sig en uppfattning om värdet av restvärmen från elektrolysprocessen.

Karlstads Energi AB har gjort en sådan analys på timnivå för fjärrvärmesystemet i Karlstad som försörjs från avfallsförbränning med energiåtervinning, trädbränslebaserad kraftvärme, spetslast med bioolja samt restvärme- och värmeleveranser från ett stort kartongbruk. Analysen är gjord baserat på bland annat prisframskrivningar för elpriser, trädbränslepriser och avfallsbehandlingsintäkter i tre framtidsscenarier. Figur 10 visar värdet av restvärmen i fallande ordning och baseras på värmebehovet som exemplifierades i kronologisk ordning i Figur 9.



Figur 10. Ett exempel på värdet av restvärmen i fallande ordning, timme för timme, baseras på värmebehovet som exemplifierades i kronologisk ordning i Figur 9. Årsgenomsnittet i exemplet, med högsta nivå ca 1.300 SEK/MWh och lägsta 0 SEK/MWh, landade baserat på restvärmeöverskott 2,0 – 2,6 MW (BOL, EOL) i ett utfallsområde mellan 257 – 324 SEK/MWh för de tre scenarierna.

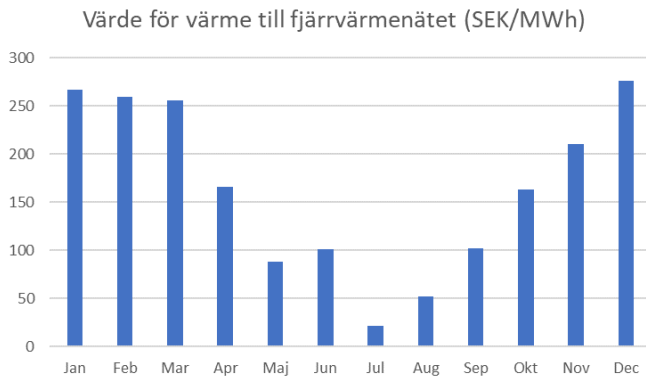
I ett fjärrvärmesystem där man inte har kraftvärme eller avfallsförbränning med energiåtervinning blir bedömningen mindre komplex. Exempelvis kan man ha en pelletspanna som baslast och en bioolja som spetslast där restvärmen från elektrolysprocessen ersätter bioolja på vintern och pellets på sommaren. Om man antar ett pelletspris på 500 SEK/MWh och ett bioolja pris på 1400 SEK/MWh och förenklar genom att inte inkludera övriga rörliga kostnader skulle värdet av restvärme från elektrolysprocessen variera mellan 560 – 1570 SEK/MWh vid pannverkningsgrad på 89%.

Ekonomiska överslag med exempelvärden för restvärme och el

Fall 1 enligt Figur 6 kräver en investering i en värmeväxlare med en kapacitet på 4 MW. Det externa kylsystemet (kyltorn, vattendrag eller liknande), som utan sektorkopplingen behöver ha en kapacitet på 8 MW, kan därigenom reduceras till 4 MW. Inköpspriset för värmeväxlaren ligger på ca 0.3 MSEK. Den tillkommande pumpen, som matar ut värmen till fjärrvärmenätet med 16 bar, har ett pris på ca 0.2 MSEK. Totalt blir då investeringskostnaden 0.5 MSEK, vilket ska jämföras med kostnaden för ett alternativt kylsystem, som uppskattningsvis kostar lika mycket. Att nyttja restvärmen bidrar också till en mer resurseffektiv helhetslösning. I vissa få situationer kan negativa marginalvärmepriser uppstå. Restvärme från vätgasproduktion kan stimulera till investeringar i värmelager.

Intäkterna för fall 1 beror på värdet av den värme (70°C) som värmeväxlaren levererar under den tid som elektrolysoären är i drift, uppskattningsvis mellan 60 och 90 procent av årets timmar beroende på elpriset, leveransåtaganden och vätgaslagrets storlek. Värmevärdet beror i sin tur på utomhustemperaturen, elpriset, samt priset för träddränslen och andra värmevärdar som kan förse fjärrvärmenätet med värme. Högre elpris ger normalt ett lägre värde för värmen. Stora variationer under samma dygn kan förekomma. Sommartid är normalt

värmevärdet lägre då avfallsförbränning ofta täcker det värmebehov som finns. Ett möjligt genomsnittligt värde per månad för en anläggning i SE3 framgår Figur 11.



Figur 11. Möjligt genomsnittligt värde för fjärrvärme, månad för månad, i SE3.

Baserat på detta kan en genomsnittlig intäkt beräknas timme för timme under den tid som elektrolysören är i drift och den restvärme som den då producerar. För att förstå principen visas ett exempel i Tabell 3, där månadsmedelvärden använts istället för tim-medelvärden för att spara plats. Detta enkla räkneexemplet på intäkter från restvärmerna visar att intäkterna skulle kunna bli närmare 2.9 MSEK/år.

Månad	Värde restvärme (SEK/MWh)	Värmeproduktion (MWh/h)	Andel drifttid (CF)	Värde(SEK/h)	Värde(tSEK/mån)
Jan	267	2.5	80%	666	389
Feb	260			649	379
Mar	256			640	374
Apr	166			415	242
Maj	88			220	128
Jun	102			254	148
Jul	22			55	32
Aug	52			130	76
Sep	102			255	149
Okt	163			408	238
Nov	210			525	307
Dec	276			689	402
Summa					2865
Medel	164			409	239

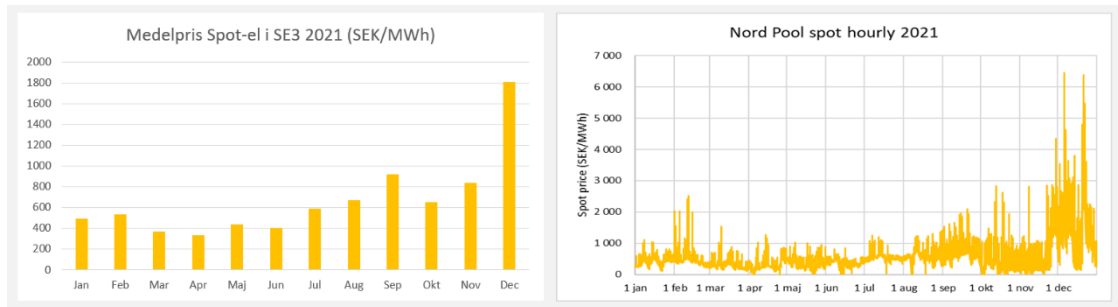
Tabell 3. Ett enkelt räkneexempel på intäkter från restvärmerna baserat på Fall 1, där angiven värmeproduktion och andels drifttid (CF) gäller för elektrolysören. För att generera denna genomsnittliga intäkt krävs en investering i en värmeväxlare på 4.0 MW.

Som en jämförelse kan vi ta Karlstads Energis normala fjärrvärmeproduktion, vilken uppgår till ca 635 GWh per år. En värmeproduktion på 2.5 MWh/h motsvarar då ca 3 procent av den totala värmeproduktionen.

Fall 2 enligt Figur 7 kräver, utöver värmeväxlaren i fall 1, en investering i en värmepump med en kapacitet på 4.5 MW värme. Däremot kan investeringen i kylsystemet helt utebli, vilket dock förutsätter att värmepumpen alltid kan köras samtidigt med elektrolysören. En värmepump är betydligt mycket dyrare än en värmeväxlare och uppskattas till mellan 6 och 7 MSEK per MW. Det resulterar i ett inköpspris på runt 30 MSEK. Värmeväxlaren blir densamma som i Figur 6. Pumpen, som matar ut värmen till fjärrvärmennätet blir däremot större

eftersom flödet ökar och har ett pris på ca 0.25 MSEK. Priset för det konventionella kylsystemet, som inte behövs, ligger på ca 0.5 MSEK.

Den dominerande driftskostnaden för fall 2 blir elenergin som driver värmepumpen. Elpriset är en stor osäkerhet i alla simuleringar. Man känner till de historiska priserna men framtiden är oviss.



Figur 12. Genomsnittligt spot-pris för el i SE3 under 2021, månad för månad samt timme för timme (OBS olika skalor). Medelvärdet för året blev 670 SEK/MWh. Men variationerna blev stora. Maxvärdet för året inträffade den 6 december och hamnade på 6459 SEK/MWh.

Kostnaden för spotpriset dominerar stort men det tillkommer även andra kostnader relaterade till elförbrukningen inklusive balansansvar, ursprungsgarantier, överföringsavgift, energiskatt samt effektagift. Dock kan ett överskott av vätgas användas och konverteras tillbaka till el genom en bränslecell eller gasturbin och användas för att driva värmepumpen vid höga elpriser om det blir billigare.

Baserat på underlaget för elkostnaderna kan en genomsnittlig förtjänst beräknas timme för timme under den tid som elektrolysören är i drift för den restvärme som den då producerar. Detta enkla räkneexemplet visar att förtjänsten skulle kunna bli närmare 4.8 MSEK/år. Dock ingår inte kapitalkostnader, underhåll av värmepumpen samt övriga elkostnader i det förenklade exemplet som visas i Tabell 4.

		Värmeproduktion	Andel drifttid (CF)	Medelpris	El till värmepump	Summering
		7.9	80%	670	0.9	
		MWh/h		SEK/MWh	MW	tSEK
Månad	Värde restvärme (SEK/MWh)	Värde(SEK/h)	Värde(tSEK/mån)	El Spot(SEK/MWh)	Elkostnad(tSEK/mån)	(tSEK/mån)
Jan	267	2105	1230	491	258	972
Feb	260	2050	1197	536	282	915
Mar	256	2022	1181	368	193	988
Apr	166	1311	766	337	177	589
Maj	88	695	406	435	229	177
Jun	102	802	468	403	212	256
Jul	22	174	101	591	310	-209
Aug	52	411	240	671	353	-113
Sep	102	806	471	919	483	-12
Okt	163	1288	752	648	341	411
Nov	210	1659	969	835	439	530
Dec	276	2176	1271	1807	950	321
Summa			9052		4226	4826
Medel	164	1292	754	670		

Tabell 4. Ett enkelt räkneexempel på intäkter från restvärmen baserat på Fall 2. För att generera denna genomsnittliga intäkt krävs en investering i en värmväxlare på 4.0 MW samt en värmepump med en kapacitet på 4.5 MW värme. Dock kan besparingar göras i kylsystemet.

En värmeproduktion på i genomsnitt 7.9 MWh/h motsvarar då ca 11 procent av Karlstads Energis fjärrvärmeproduktion under ett normalår.

På liknande sätt kan Fall 3 enligt i Figur 8 beräknas. Värmepumpen blir ungefär dubbelt så stor. Det resulterar i ett inköpspris på runt 55 MSEK. Däremot behövs ingen värmeväxlare. Pumpen, som matar ut värmen till fjärrvärmenätet blir något mindre eftersom flödet minskar.

Referenser, källor

1. RISE, Hycogen. Systemperspektiv för effektiv vätgasproduktion via koppling till fjärrvärme <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/systemperspektiv-for-effektiv-vatgasproduktion-via-koppling-till-fjarrvarme>
2. RISE, A. Carlson, A. Nordin Fördös, J. Lindborg, A. Wickström ”Studie över elektrolys-teknologier idag och i framtiden” 2021-08-26 <https://www.ri.se/sites/default/files/2022-05/HyCoGen%20Studie%20%C3%B6ver%20elektrolys-teknologier%20idag%20och%20i%20framtiden.pdf>
3. European Commission, Joint Research Centre, Pilenga, A., Tsotridis, G., EU harmonised terminology for low temperature water electrolysis for energy storage applications, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/138987>
4. LUT University, G. Sakas, A. Ibáñez-Rioja, V. Ruuskanen, A. Kosonen, J. Ahola, O. Bergmann, ”Dynamic energy and mass balance model for an industrial alkaline water electrolyzer plant process” International Journal of Hydrogen Energy Volume 47, Issue 7, 22 January 2022, Pages 4328-4345 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921045110#undfig1>. [Använd 07 03 2023].
5. MDU University, A. Miljanovic, Andrea, F. Jonsson, ”Utilization of waste heat from hydrogen production: A case study on the Botnia Link H2 Project in Luleå, Sweden” [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1670187&dswid=-9848>. [Använd 23 02 2023].
6. Högskolan i Gävle, E. Hwit, ”Rekommenderad framledningstemperatur i fjärrvärmenät baserat på rökgaskondensering; En beräkningsundersökning av rökgaskondensering och fjärrvärme i en medelstor svensk stad” [Online]. Available: <https://www.uppsatser.se/uppsats/fb2f0aab42/>. [Använd 30 03 2023].