



Intern användning och export av Cytivas spillvärme

Internal use and export of Cytiva's waste heat

Mohamad Karam Alhomsy, John Bankefors, Tanapon Bredin, Malko Riche, Tim Selin, Henrik Sollenberg

Självständigt arbete i energisystem • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för energi och teknik
Civilingenjörsprogrammet i energisystem
Examensarbete 2022:07 • ISSN 1654-9392
Uppsala 2022



Intern användning och export av Cytivas spillvärme

Internal use and export of Cytiva's waste heat

Mohamad Karam Alhomsy, John Bankefors, Tanapon Bredin, Malko Riche, Tim Selin, Henrik Sollenberg

Handledare: Sven Smårs, Institutionen för energi och teknik, SLU

Biträdande handledare: Joel Kröjs, Cytiva

Examinator: David Ljungberg, Institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grund nivå, G2E, teknologi

Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem

Kurskod: EX0946

Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Kursansvarig inst.: Energi och teknik

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2022

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

Delnummer i serien: 2022:07

ISSN: 1654-9392

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: spillvärme, industri, fjärrvärme, kylsystem, värmepump

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för energi och teknik

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Abstract

Today there is a big potential in recycling waste heat at large-scale production sites. In this report the ability to reuse heat from Cytiva's industrial facilities C7, C8 and C9 located in Uppsala is examined. The purpose is to analyze the need of heat for two on-site buildings and how the buildings will be provided by waste heat. Furthermore, the waste heat available for export to the district heating system after the buildings heat demand is satisfied is investigated in the report.

At the industrial facilities mentioned above there are processes of recycling chemical solvents. This process needs to be cooled down, which is done by two systems namely Glyvhög and Glyvlåg. The reused heat after the cooling process Glyvhög is being used to reach the above-mentioned goals.

The results show that the heat recovery from Glyvhög for internal use is estimated at approximately 7 GWh per year for buildings P4 and R3, which corresponds to 74 % of the total heat demand for these buildings. In P4 and R3, the remaining 26 % of the heat demand can be compensated with a heat pump and heat import from Vattenfall for the remaining time of the year.

To export heat to Vattenfall's district heating network, a heat pump is needed at Cytiva to raise the temperature according to Vattenfall's needs. Thus, Vattenfall's requirement for 70 °C on the water from Cytiva can be met. The total heat export from Cytiva to Vattenfall during one year is estimated at 31 GWh, of which 23 GWh is from Glyvhög and 8 GWh is generated from the heat pump.

Sammanfattning

Idag finns det en stor potential i att återvinna spillvärme i storskaliga produktionsanläggningar. I denna rapport har möjligheten att återanvända värme från Cytivas industrianläggningar C7, C8 och C9 i Uppsala undersökts. Målet är att analysera värmebehovet för två byggnader på Cytivas anläggning i Uppsala och huruvida de kan försörjas med tillgänglig spillvärme. Dessutom har spillvärme som finns tillgänglig för export till fjärrvärmesystemet efter att byggnadernas värmebehov har uppfyllts analyseras.

I de ovan nämnda anläggningarna sker en process för återvinning av kemiska lösningsmedel. Denna process behöver kylas ner, vilket görs av två system nämligen Glyvhög och Glyvlåg. Den återanvända värmen efter kylningsprocessen Glyvhög används för att nå ovan nämnda mål.

Resultaten visar att värmeåtervinningen från Glyvhög för intern användning beräknas till cirka 7 GWh per år för byggnaderna P4 och R3, vilket motsvarar 74 % av det totala värmebehovet för dessa byggnader. I P4 och R3 kan övriga 26 % av värmebehovet tillgodoses med en värmepump och värmeimport från Vattenfall under resterande tid av året.

För att exportera värme till Vattenfalls fjärrvärmenät så behövs en värmepump på Cytiva för att höja temperaturen enligt Vattenfalls behov. Därmed kan kravet från Vattenfall uppfyllas där vattentemperaturen som kommer från Cytiva ska vara minst 70 °C. Den totala värmeexporten från Cytiva till Vattenfall under ett år beräknas till 31 GWh, varav 23 GWh är från Glyvhög och 8 GWh är spets från värmepump.

Innehållsförteckning

1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte.....	7
1.3 Frågeställningar	7
1.4 Avgränsningar	8
2 Teoretisk bakgrund.....	8
2.1 Internt kylsystem.....	8
2.2 Kylsystemet Glyvhög.....	9
2.3 Värmeväxlare.....	9
2.4 Värmebehov och uppvärmning i byggnaderna R3 och P4.....	10
2.5 Export av värme till fjärrvärmenätet.....	10
2.6 Värmepump.....	10
2.7 Klimatpåverkan.....	11
3 Metod och modell.....	12
3.1 Värmeväxlare mellan primär- och sekundärsida	12
3.2 Export.....	13
3.3 Uppvärmning av R3 och P4	13
3.4 Frikyla S3.....	13
3.5 Reglering av massflöden.....	13
4 Resultat	13
4.1 Glyvhög	14
4.2 Värmekonsumtion och export	14
4.3 Spets med värmepump	15
4.4 Sammanfattning av beräkningsresultat	16
4.5 Känslighetsanalys	16
4.6 Reducerat koldioxidutsläpp genom minskat inköp av fjärrvärme	17
5 Diskussion	17
5.1 Glyvhög och värmeåtervinning	17
5.2 Värmepump.....	18
5.3 Miljöpåverkan och miljö.....	18
6 Slutsatser.....	18
7 Referenser	20

1 Inledning

Många industriella processer kräver höga temperaturer vilket även skapar ett behov av kylning. När värme från industriprocesser kyles ned med kondensorfläktar går stora mängder värme till spillo. Hos life science-företaget Cytiva finns en anläggning för lösningsmedelsåtervinning där värmen kyles bort med kondensorfläktar. Denna värme kan tillvaratas genom att installera ett kylsystem med ett cirkulerande medium vilket både minskar vattenanvändningen och återanvänder värme från industriprocessen. För att ta vara på spillvärmen från industriprocessen skall möjliga värmesänkor undersökas. Värmen skall användas till intern värmeanvändning genom uppvärmning av byggnader. Dessutom skall spillvärme kunna exporteras till fjärrvärmenätet.

1.1 Bakgrund

Kylsystemet Glyvhög är förprojekterat av Afry som har arbetat i uppdrag av Cytiva [1]. Däremot är Glyvhög inte konstruerat. Detta kylsystem skall möjliggöra en minskad vattenkonsumtion samt återvinning av värmen som kyles bort från processerna. Detta system skall kyla ned lösningsmedelsåtervinningen samt skapa möjlighet för nyttjande av spillvärme när det väl har konstruerats. Mängden värmeenergi som ska nyttjas från Glyvhög har undersökts för att vidare göra en bedömning kring hur energin skall användas. Mängden har undersökts för att se hur energin skulle kunna vara tillräcklig för att möta värmebehov i specifika hus.



Bild 1: Översikt över delar av Cytivas anläggning.

För att kylsystemet skall kunna fortlöpa krävs värmesänkor som konsumerar den värmen som kyles bort från industriprocesserna. Värmesänkor är de delar av systemet som kyler ned andra delar av systemet genom att konsumera värme. Cytiva har en del byggnader på sitt område som i dagsläget värms upp av fjärrvärme som skulle kunna ersättas av spillvärme. Dessa byggnader är möjliga värmesänkor för att utnyttja spillvärmen från Cytivas industrianläggningar C7, C8 och C9 (bild 1). I denna rapport har värmeåtervinning undersökts för att se hur stor andel av värmebehovet som kan täckas i byggnaderna R3 och P4 inne på Cytiva [2], se bild 1. Under vissa delar av året kommer värmebehovet i byggnaderna R3 och P4 att vara större än spillvärmen kan tillgodose. När värmebehovet är högre än spillvärmetillförseln kommer en del av byggnadernas värme kunna försörjas med fjärrvärme.

Förutom att kunna använda husen R3 och P4 som värmesänkor till kylsystemet finns det möjlighet att exportera värme till Vattenfalls fjärrvärmenät. I detta projekt har spillvärmen använts till två olika funktioner. Första prioritet i beräkningarna är att försörja Cytivas interna byggnader med värme. Andra prioritet är att exportera spillvärme till Vattenfalls externa fjärrvärmenätet, dvs den spillvärme som finns kvar efter att värmebehovet i husen R3 och P4 har försörjts. Detta genomförs med två parallella värmeväxlare där ena värmeväxlaren växlar över värme till det interna fjärrvärmenätet och den andra värmeväxlaren växlar över värme till Vattenfalls externa fjärrvärmenät. Dock finns det inga lösningar för den reglertekniska delen av systemet i denna rapport.

Uppvärmning av hus och värmeexport till fjärrvärmenätet kan kombineras för att utnyttja en större del av värmen från Glyvhög. Bakgrunden till att kombinera intern fjärrvärme och export av fjärrvärme finns med i Vattenfalls rapport [2] där fall 2 motsvarar uppvärmning av byggnaderna R3 och P4 samt fall 6 motsvarar export av energi till stadsnätet. Denna kombination skulle möjliggöra att Cytiva blir delvis självförsörjande i byggnaderna R3 och P4 samt sparar in en del av sin fjärrvärmeanvändning. Samtidigt möjliggör värmeexport att fjärrvärmekonsumenter i Uppsala skulle kunna ta del av spillvärme i stället för att den förfärs. Med en kombination av båda fallen skulle en större andel av Glyvhög kunna användas.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka värmen som produceras av det interna kylsystemet Glyvhög som följd av nedkylning av lösningsmedelåtervinningen hos Cytiva samt vidare utreda hur denna värme skall användas på bästa sätt.

1.3 Frågeställningar

- Hur skall Cytiva använda spillvärmen från Glyvhög?
- Hur ser värmebehovet ut i byggnader internt hos Cytiva?
- Vilka möjligheter finns för export av värme till fjärrvärmenätet?

1.4 Avgränsningar

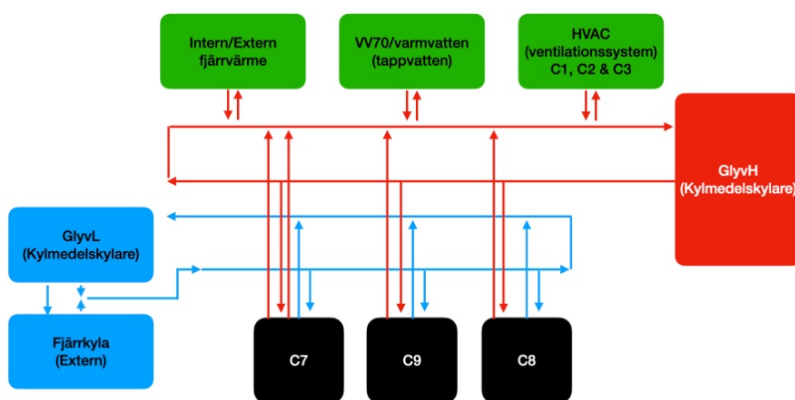
I rapporten kommer inte juridiska och ekonomiska aspekter att tas till hänsyn. Kostnader för att konstruera och implementera system för de tekniska lösningar som har tagits fram i rapporten har alltså inte tagits i beaktande. Juridiska aspekter kring hur Vattenfall och Cytiva skall sluta avtal kring de tekniska systemens äganderätt, konstruktion och implementering beaktas inte heller i denna rapport.

2 Teoretisk bakgrund

I denna rapport har en modell tagits fram vilket redogörs för i avsnitt 3. Modellen bygger på vedertagen teori från redogörs för under detta delavsnitt 2. Data som har använts i modellen kommer från värmeåtervinning från kylsystemet Glyvhög samt intern värmekonsumtion i de valda byggnaderna och export av värme. I teorin beskrivs interna kylsystemet i 2.1 och dess effekt i 2.2 samt byggnader och värmeexport med funktion som värmesänkor i 2.4. Därefter beskrivs funktioner som värmeväxlare i 2.3 och värmepump i 2.6 vidare. Slutligen beskrivs miljöperspektivet där fokus ligger på klimatpåverkan och utsläpp av koldioxidekvivalenter.

2.1 Internt kylsystem

Nedkylning av lösningsmedelsåtervinningen kräver ett kylsystem. Ett förslag på kylsystem är två separata kylsystem kallade Glyvhög och Glyvlåg [1]. Kylsystemet skall klara av en utomhustemperatur på 35 °C och skall kyla ned lösningsmedelsåtervinningen i byggnaderna C7, C8 och C9.



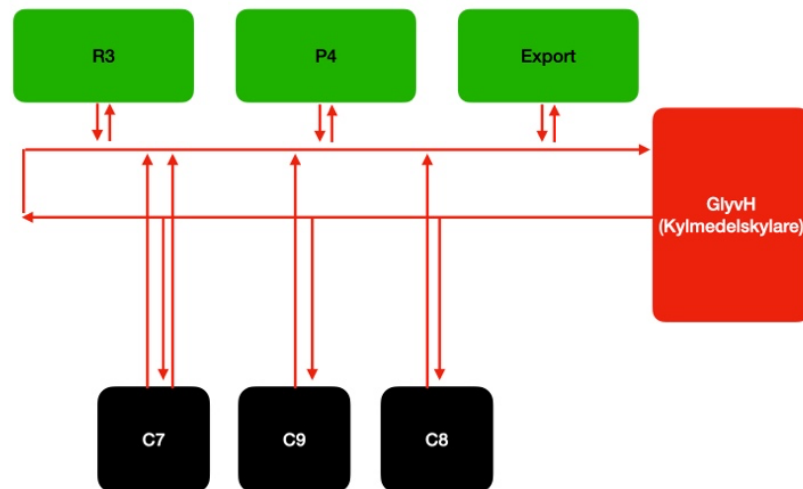
Figur 1: Schematisk bild över ett internt kylsystem hos Cytiva.

Figur 1 innehåller en schematisk bild över kylsystemen Glyvhög och Glyvlåg. Glyvhög med dess högvärdiga värme är det system som används till värmeåtervinning i projektet. Glyvlåg är ett kylsystem med låg temperatur som kyla ned processerna och avsätter värme till omgivande luft när lufttemperaturen är tillräckligt låg. Vid högre temperaturer kommer fjärrkyla att köpas in för att kyla ned systemet med Glyvlåg.

2.2 Kylsystemet Glyvhög

I denna rapport ligger fokus på kylsystemet Glyvhög och värmeåtervinning från dess högvärdiga värme. Glyvhög har en planerad returtemperatur på 40 °C och en framledningstemperatur på 60 °C från lösningsmedelsåtervinningen. Dessa temperaturer är de ideala temperaturerna men kommer givetvis att variera i det verkliga systemet. Glyvhög kommer att ha en sammanlagrad kyleffekt på 10 MW samt en snitteffekt på 4,5 kW.

I beräkningar antas att Glyvhög alltid har det ideala 40 °C och 60 °C genom att använda frikyla. Medeleffekten från C8 och C9 beräknas med samma effektprofil som C7. Antagandet utfördes på grund att C8 och C9 är under byggnation. De medium som finns i systemet är dels en blandning av etylenglykol 50 % och 50 % vatten på primärsidan samt vatten som medium på sekundärsidan. Den specifika värmekapaciteten som har använts för blandningen som består av 50 % etylenglykol och 50 % vatten är 3,6 kJ/kgK [4].



Figur 2: Schematisk bild över kylsystemet Glyvhög.

I figur 2 finns en schematisk bild över Glyvhög. I denna rapport kommer beräkningar redovisas för ett scenario där Glyvhög försörjer byggnaderna R3 och P4 med värme samt exporterar den värme som det inte finns ett behov för internt till fjärrvärmenätet.

2.3 Värmeväxlare

Värmeöverföring förekommer mellan medier till följd av temperaturskillnad. Enligt termodynamikens andra huvudsats är värmeöverföringen spontant endast från ett varmare till ett kallare medium. Värmeöverföringen från Glyvhög utförs med hjälp av en värmeväxlare. I denna studie modelleras värmeväxlaren som en förångare och en kondensator. Värmeöverföringen kan beskrivas enligt ekvation 1.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * c_{pc} * (T_{c,out} - T_{c,in}) = \dot{m}_h * c_{ph} * (T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (1)$$

Där $\dot{Q}$ är värmeöverföringseffekten, c_{pc} och c_{ph} är de specifika värmekapaciteterna för det varma respektive kalla mediet. $\dot{m}_c$ är massflödet för det kalla mediet och $\dot{m}_h$ är massflödet för det varma mediet. $T_{h,in}$ och $T_{h,out}$ är fram- och returledningstemperatur för det varma mediet medan $T_{c,in}$ och $T_{c,out}$ är fram- och returledningstemperatur för det kalla mediet.

2.4 Värmebehov och uppvärmning i byggnaderna R3 och P4

Bakgrunden till att undersöka värmebehovet och värmeförsörjningen internt för specifikt byggnaderna R3 och P4 grundar sig på att dessa två byggnader står för 55 % av värmebehovet som krävs för att värma upp Cytivas anläggningar i Uppsala [2]. Dessutom ligger byggnaderna nära lösningsmedelsåtervinningen, kräver inga komplicerade ombyggnationer samt kommer inte behöva extra uppvärmning med fjärrvärme då de aktuella rördimensionerna räcker till. Dock kommer en av ledningarna behöva byggas om då den är i slutet av sin livscykel [2].

För att analysera värmebehovet inom byggnaderna P4 och R3 har data angående fjärrvärmeanvändningen undersökts. Behovet är mätt timvis under alla dagar där anläggningen är i drift. Data visar att värmebehovet i P4 och R3 är lågt under vissa dagar på sommar. Detta faktum har beaktats i beräkningar och modellerande för att hitta ett effektivare sätt att fördela spillvärmen på. Vidare har det utgått från att värmebehovet är detsamma oavsett vilket år det är. Data som har använts är från 2021.

Anläggningen värms idag upp av fjärrvärme från respektive undercentral. Enligt en förstudie av Vattenfall har de befintliga värmeväxlarna inte tillräckligt stor växlaryta för att förse behovet i anläggningen gentemot Glyvhögs returtemperatur [1]. Detta motiveras av det faktum att fjärrvärmen har en returtemperatur mellan 70 °C och 100 °C gentemot Glyvhögs returtemperatur som är 60 °C.

Vidare har Vattenfall [1] antagit förluster i värmeväxlare och ledningar. Detta för att åskådliggöra en tydligare bild av systemet relativt verkligheten. Vi har följt samma antagande där returtemperaturen från Glyvhög kommer tappa 5 °C innan värmen når någon av undercentralerna. På grund av denna förlust måste 5 °C tillföras från en extern källa, förslagsvis en värmepump.

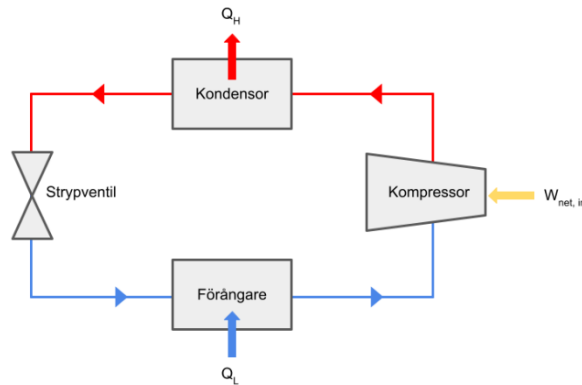
2.5 Export av värme till fjärrvärmenätet

Enligt AFRYs rapport är medeltemperaturen från Glyvhög 60 °C. Det är lägre än framledningstemperaturen från fjärrvärmenätet som är mellan 70 °C till 120 °C. Glyvhögs medeltemperatur behöver minst vara 70 °C för att möjliggöra en kontinuerlig värmeexport till fjärrvärmenätet. Detta kan åstadkommas med hjälp av en värmepump.

2.6 Värmepump

Syftet med värmepumpen är att överföra värme från ett lågtemperaturmedium till ett högtemperaturmedium med hjälp av elektrisk energi [6]. Värmeöverföring i värmepumpen sker vid ett cirkulerande köldmedia i en sluten krets, se figur 3. Värmen från en värmereservoar överförs

till mediet i förångaren, vilket resulterar i att köldmediet övergår till gasform. Gasen komprimeras i kompressorn vilket medför att trycket och temperaturen ökar. Värmen utvinns från den komprimerade gasen i kondensorn. Köldmediet återgår till flytande form och återförs vid strypventilen till förångaren. Där strypventilen minskar trycket och temperatur för att kunna börja om processen igen [7].



Figur 3: Flödesschema över en värmepump

Effektiviteten av en värmepump beskrivs av COP (Coefficient of performance), vilket anger förhållandet mellan den värmeenergi som värmepumpen avger och det arbete som tillförs till värmepumpen i form av elektrisk energi [10]. COP-värdet anger hur många kWh värme som värmepumpen producerar per tillförd kWh elkraft. I denna studie valdes COP-värdet till 4. Arbetet i form av elektrisk energi som pumpen ska ha kan beräknas genom att bestämma ett lämpligt värde på COP samt att beräknas genom att värmebehovet ($\dot{Q}_H$) som pumpen skall erhålla genom ekvation 2. Där är tillfört arbete $\dot{W}_{net, in}$ [kW] och är värmeeffekt $\dot{Q}$ [kW]. För mer tekniska detaljer se "Värmepump delrapport" [3]

$$\dot{W}_{net, in} = \frac{\dot{Q}}{COP} \quad (2)$$

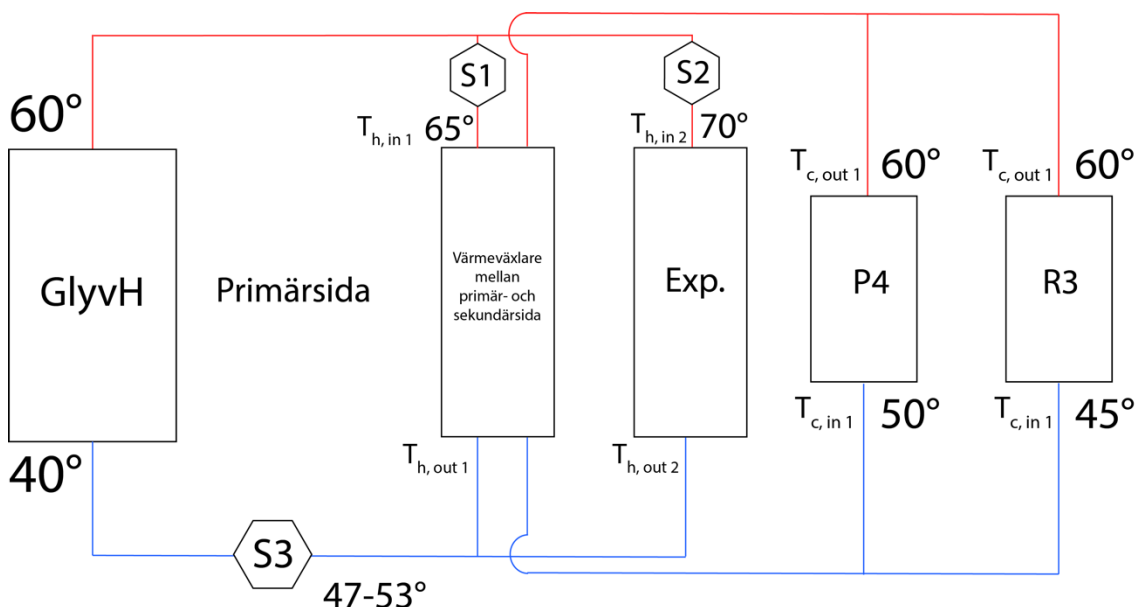
Två fall undersöktes i detta projekt där en värmepump behövdes installeras. I både fallen antogs en konstant temperaturdifferens medan massflödet varierar med tiden. I det första fallet krävdes värmepumpen för att höja framtemperatur på Glyvhög med 5 °C från 60 °C till 65 °C för intern uppvärmning hos Cytiva. I det andra fallet behövs en temperaturhöjning från 60 °C till 70 °C på Glyvhögs framledningstemperatur för att kunna exportera värmen till Vattenfalls fjärrvärmenät.

2.7 Klimatpåverkan

Att utnyttja spillvärme som en uppvärmningskälla inom byggnaderna och även export till Vattenfalls fjärrvärmenätet medför minskade utsläpp av växthusgaser. För att undersöka klimatpåverkan för Vattenfalls fjärrvärmeproduktion har det beräknats med hjälp av en

emissionsfaktor som uttrycks i enheten koldioxidekvivalenter ($\text{CO}_2\text{-ekv.}$). Syftet med koldioxidekvivalenter är att beräkna ut hur mycket utsläpp av växthusgaser som kan påverka klimatet negativt. Emissionsfaktorn som används i beräkningen är hämtad från rapporten “Miljöredovisning från Vattenfall värme Uppsala 2019” där rapporten redovisar emissionsfaktorer för olika år för både fjärrkyla- och fjärrvärmeproduktion i Uppsala. Enligt rapporten är koldioxidekvivalenter för fjärrvärmeproduktion 181 kg/MWh [8]. Genom att beräkna hur mycket koldioxidutsläpp som Vattenfall kan reducera under ett år med Cytivas export av värme kan Vattenfalls totala utsläpp av växthusgaser minska därmed.

3 Metod och modell



Figur 4: Schematisk bild på systemet om hur värmeåtervinning exporteras och används internt.

Figur 4 visar att Glyvhögs medelreturtemperatur är 60°C . Glyvhög levererar en del av den återvunna värmen till byggnaderna P4 och R3 och exporterar en del till Vattenfalls fjärrvärmenät. Efter export och intern användning beräknas returtemperaturen vara mellan 47°C och 53°C . Returtemperaturen ska sedan kylas ner till 40°C med frikyla innan den returneras till Glyvhög. Frikyla är en kylanläggning som enbart använder uteluft för att kyla ner det varmare mediet.

3.1 Värmeväxlare mellan primär- och sekundärsida

Mediet från Glyvhög består av 50 % vatten och 50 % etylenglykol, värmen kan alltså inte direkt återvinnas i Cytivas interna kretsar för värmeanvändningen. På grund av säkerhetsskäl måste mediet bestå av 100 % vatten innan den används för uppvärmningen av byggnader. Första steget i systemet är att värmen växlas från kretsen med vatten och etylenglykol som medium till en krets med vatten som medium genom en värmeväxlare. En motströmsvärmeväxlare antas användas i detta system. Motströmsvärmeväxlare är den mest effektiva då den kan överföra nästan all värmeenergi från den ena sidan till den andra. Den används för att maximera värmeöverföringen [5].

Med andra ord skall temperaturskillnaden mellan $T_{h,in 1}$ och $T_{c,out 1}$ vara minsta möjliga. I denna studie antas temperaturskillnaden vara 3 °C. Ytterligare 2 °C förluster adderas på grund av värmeförlusterna i rörsystemet. För att $T_{c,out 1}$ ska hållas till 60 °C ska $T_{h,in 1}$ vara 65 °C. Framledningstemperatur $T_{h,in 1}$ kommer att spetsas med hjälp av värmepumpen S1.

3.2 Export

Enligt avtal mellan Vattenfall och Cytiva ska framledningstemperaturen inte understiga 70 °C vid export. När värmen exporteras kan exporten genomföras direkt från Glyvhög $T_{h,in 2}$ från 60 °C till 70 °C (figur 4). Vid exporten antas en temperaturförlust längst med den interna ledningen mellan Cytivas framledningstemperatur och Vattenfalls returtemperatur på 5 °C enligt Afrys studie [1]. Med andra ord ska temperaturen höjas med totalt 15 °C. Det innebär att värmepumpar bör ha ett högre effekt för att motverka temperaturfallet så att det önskade framledningstemperaturen nås. Det innebär också att hälften av den totala värmeenergin som spetsas med värmepumpen kommer att bidra till exporten. $T_{h,in 2}$ kommer att spetsas för att nå kravet på 70 °C med hjälp av värmepumpen S2.

3.3 Uppvärmning av R3 och P4

För att tillgodose värmebehovet i byggnaderna R3 och P4 importeras idag värmen från fjärrvärmenätet. Data kring fjärrvärmeanvändningen togs fram timvis under ett helt år. Energimängden som Glyvhög producerar är 4,6 MWh per timme. Om byggnadernas värmebehov är mindre än Glyvhögs energimängd under timme exporteras resten till Vattenfall. Om värmebehovet är större importeras värmen från Vattenfall.

3.4 Frikyla S3

Returtemperaturen $T_{c,in 1}$ från byggnaderna P4 och R3 beräknas vara mellan 45-50 °C. Returtemperaturen $T_{h,out 2}$ från exporten har inte tagits fram men uppskattas också vara mellan 45 °C och 50 °C. Sålunda kommer returtemperaturen från värmeväxlaren vara mellan 47 °C och 53 °C (figur 4). För att få en konstant effekt från Glyvhög behöver framledningstemperaturen vara 40 °C. S3 kylar ner framledningstemperaturen från 47-53 °C till 40 °C med hjälp av frikyla. Vilken typ av frikyla det är beaktas inte och energimängden det antas vara försumbart.

3.5 Reglering av massflöden

För att kunna avskilja på spets av värme som ska användas internt kontra export har två olika massflöden beräknats. Det ena massflödet representerar all värme som ska användas internt medan det andra massflödet representerar all värme som skall exporteras. Genom att veta dessa massflöden har vi beräknat hur mycket massa som måste spetsas och därmed hur mycket energi som måste tillföras i processen. Det är viktigt att förstå att dessa massflöden bygger på antagande om att retur- och framledningstemperatur från Glyvhög och respektive undercentral är konstanta.

4 Resultat

För att konkretisera modellen har data under året 2021 använts. Det innebär att det kan finnas skillnader i hur mycket värme som kan återvinnas och exporteras på grund av ett fluktuerande värmebehov hos Cytiva i framtiden.

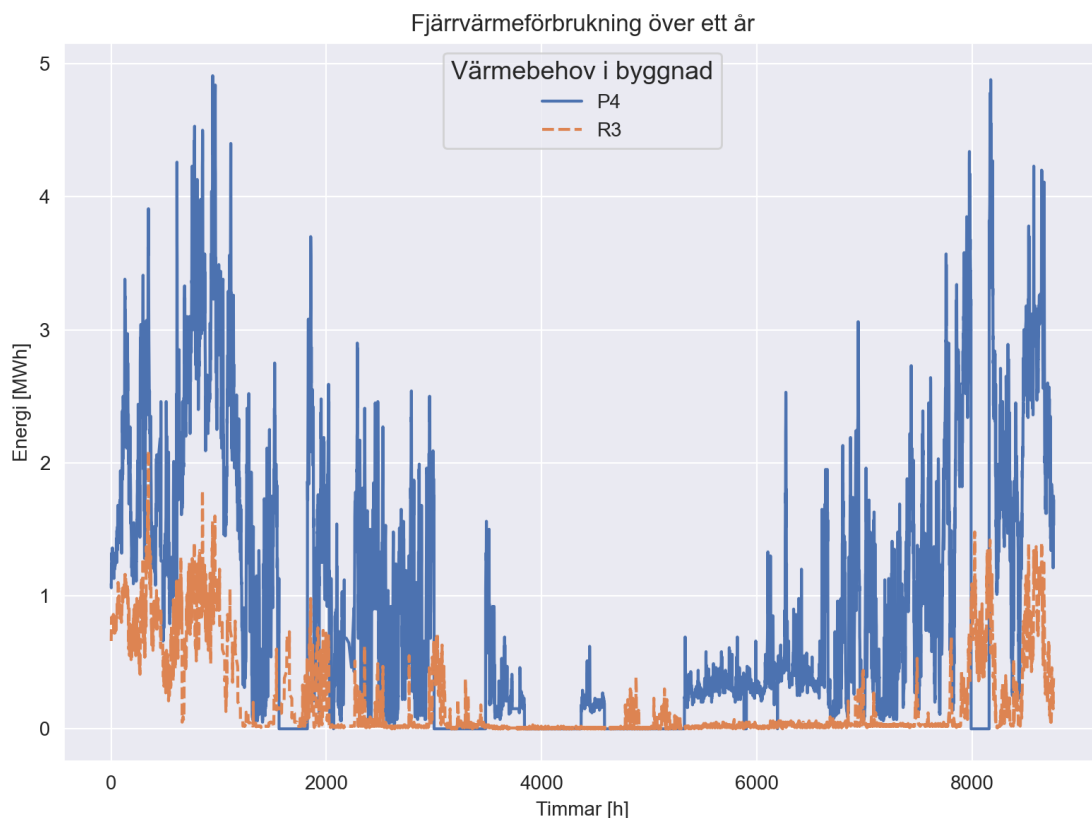
4.1 Glyvhög

Den teoretiskt maximala effekt som Glyvhög kan leverera är cirka 10 GW enligt AFRY. Däremot arbetar Glyvhög sällan under den maximala effekten och därför används en summerad medeleffekt från byggnad C7, C8 och C9 vid beräkningar. Den potentiella värmeåtervinningen från Glyvhög beräknas vara 39 GWh baserat på teori från kapitel 2.2. Inga förluster och spetsar beaktas i beräkningen, därför fordras en djupare undersökning under resultatet.

Tabell 1: Max- och medeleffekten från Glyvhög för processerna C7, C8 och C9 [1].

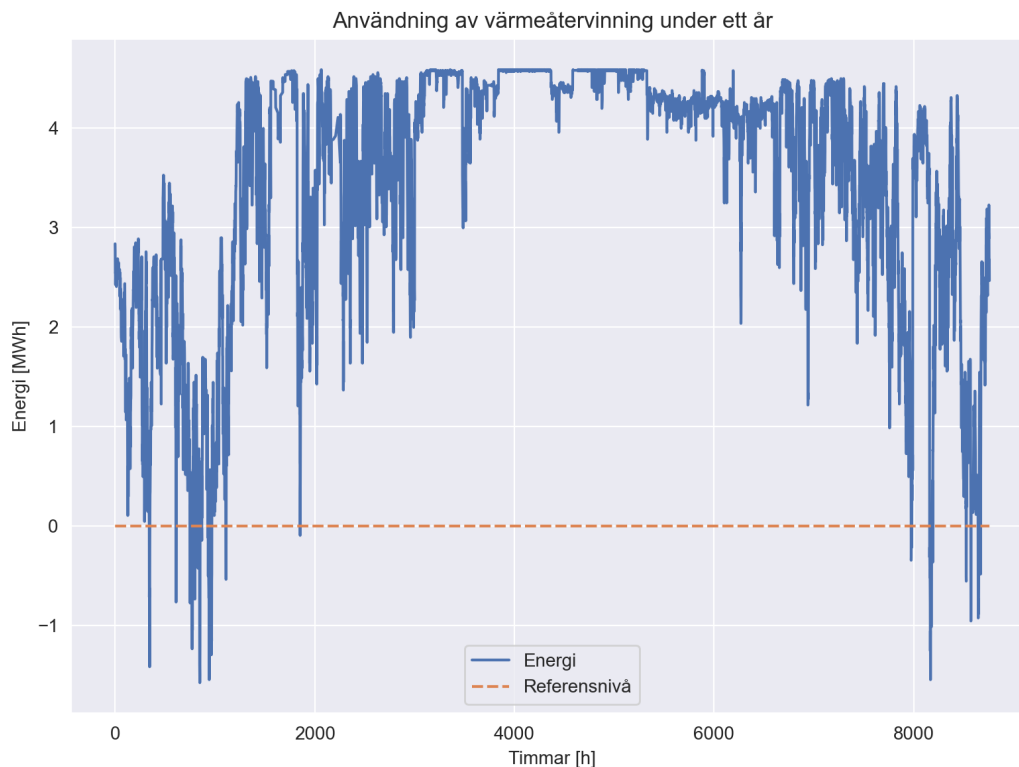
Glyvhög	C7	C8	C9	Totalt
Maxeffekt [MW]	5 094	4 673	404	10 170
Medeleffekt [MWh]	2 304	2 114	183	4 586

4.2 Värmeconsumtion och export



Figur 5: Visar värmebehovet [MWh] under ett helt år för två olika byggnader P4 och R3.

I figur 5 går det att se att värmebehovet är fluktuerande över året. Gällande byggnaden P4 har den högre värmeförbrukning relativt R3 nästan hela tiden över året. Vidare påvisar figur 5 att värmebehovet skiljer sig mellan vintern och sommaren, där byggnaderna värms upp av utomhustemperaturen under sommaren vilket bidrar till lägre energikonsumtion. Det totala värmebehovet för P4 och R3 under 2021 är 9 GWh.



Figur 6: Visar användningen av värmeåtervinning under ett år (2021). När energin befinner sig över referensnivån finns det möjlighet för export och när energin befinner sig under referensnivå finns det ett behov för import.

Figur 6 visar hur flexibel värmeåtervinningen är under året. Vidare kan det utläsas att det finns goda möjligheter för export under stora delar av året, trots att det uppfyller Cytivas interna behov i första hand. Värmeåtervinningen för P4 och R3 beräknas vara 7 GWh. Värmeexporten beräknas vara 23 GWh efter intern användning (2021).

4.3 Spets med värmepump

För att uppnå önskad temperatur till internt behov och export installeras en värmepump. Tabell 3 innehåller värmepumpens totala arbete och värmetillförsel som spetsas under året 2021. Arbetet beräknas både med COP 4 & 6 för analys.

Tabell 3: Spets från värmepump till export och intern användning under perioden 2021-01-01 till 2021-12-31.

Spets P4 +R3 (S1) [MWh]	2 353
-------------------------	-------

Spets Export (S2) [MWh]	15 382	
Totalt Arbete, $W_{\text{net,in}}$ (S1) [MWh]	COP 4: 588	COP 6: 392
Totalt Arbete, $W_{\text{net,in}}$ (S2) [MWh]	COP 4: 3 846	COP 6: 2 564

4.4 Sammanfattning av beräkningsresultat

Tabell 4 är en sammanfattningstabell av beräkningsresultat som har undersökts i denna studie. Den totala återvinningen från Glyvhög är 30 GWh. Det totala arbetet som behövs för intern användning är 588 MWh. För exporten kommer värmepumpen att bidra med 7,7 GWh, det medför att den totala värmeenergin som kan exporteras under året 2021 är 31 GWh. Det totala arbetet som behövs för exporten 3,8 GWh.

Tabell 4: Resultat av återvinning från Glyvhög i kombination med värmepump som spets.

Värmebehov P4 + R3 [MWh]	9 410	
Import (Fjärrvärme) [MWh]	70	
Återvinning P4+R3 [MWh]	6 987	
Återvinning Export [MWh]	23 141	
Total Återvinning [MWh]	30 128	
Spets P4 + R3 (S1) [MWh]	2 353	
Spets Export (S2) [MWh]	15 450	
Total Export [MWh]	30 866	
Totalt Arbete, $W_{\text{net,in}}$ (S1) [MWh]	COP 4: 588	COP 6: 392
Totalt Arbete, $W_{\text{net,in}}$ (S2) [MWh]	COP 4: 3 845	COP 6: 2 564

4.5 Känslighetsanalys

För att testa olika utparametrar i beräkningen så har en känslighetsanalys utförts där medeleffekten levererad från Glyvhög varierar med +/-15%. Cytivas behov av importerad fjärrvärme är svagt påverkad av medeleffektens variation, då importen förblir låg oavsett om medeleffekten ökar eller minskar med 15% (Tabell 5). Värme tillgänglig för export påverkas relativt mycket av medeleffektens variation enligt tabell 5. Vidare visar tabell 5 att en högre värmefaktor (COP) för värmepumparna kräver betydligt lägre arbete för att höja temperaturen med 10 °C.

Tabell 5: En känslighetsanalys där medeleffekten varierar.

Känslighetsanalys	85 %		100 %		115 %	
Medeleffekt [kW]	3 898		4 586		5 274	
Import (Fjärrvärme) [MWh]	240		70		15	
Återvinning P4+R3 [MWh]	6 817		6 987		7 042	
Återvinning Export [MWh]	18 731		23 141		27 608	
Total Återvinning [MWh]	25 548		30 128		34 650	
Spets P4 +R3 (S1) [MWh]	2 353		2 353		2 353	
Spets Export (S2) [MWh]	12 368		15 450		18 394	
Total Export [MWh]	24 915		30 866		36 805	
Totalt Arbete, $W_{\text{net,in}}$ (S1) [MWh]	COP 4: 588	COP 6: 392	COP 4: 3 845	COP 6: 2 564	COP 4: 588	COP 6: 392
Totalt Arbete, $W_{\text{net,in}}$ (S2) [MWh]	COP 4: 3 092	COP 6: 2 062	COP 4: 588	COP 6: 392	COP 4: 4 599	COP 6: 3 066

4.6 Reducerat koldioxidutsläpp genom minskat inköp av fjärrvärme

I och med att Cytiva kan tillgodose en hög andel av värmebehovet för P4 och R3 internt, så minskar Cytivas behov av inköpt fjärrvärme från Vattenfall för uppvärmning i dessa byggnader. Det resulterar i ett lägre koldioxidutsläpp i förhållande till värmeförbrukningen för P4 och R3.

Enligt Vattenfall är den befintliga produktionen av utsläpp på 181 kg CO₂-ekvivalenter per MWh [8]. Det innebär att 1,25 kiloton CO₂-ekvivalenter besparas per år. Därutöver har Vattenfall godkänt att klassificera Cytivas värmeexport som en allokerad koldioxidbesparing. Detta leder till att ytterligare 5,59 kiloton CO₂-ekvivalenter besparas per år. En ökad andel intern användning i kombination med allokering kan bespara Cytiva totalt 6,83 kiloton CO₂-ekvivalenter per år.

5 Diskussion

5.1 Glyvhög och värmeåtervinning

I verkligheten kommer effekten att variera både årsvis beroende på ute temperatur samt dagligen beroende på kylningskrav för systemet då mer eller mindre lösningsmedel skall återvinnas. En djupare undersökning kring värmeåtervinning från Glyvhög behöver göras när mer specifika data finns tillgänglig. Därmed är det säkraste för Cytiva att först exportera all återvunnen värme till Vattenfall. Därefter kan Cytiva undersöka möjligheten för intern användning.

Enligt figur 5 i resultat förekommer vissa perioder där fjärrvärmeanvändning i byggnader internt är nära noll. Om Cytiva väljer att kombinera intern användning med export kommer all spillvärme att kunna återvinnas och exporteras till fjärrvärmenätet under dessa perioder. Däremot är det kommunala fjärrvärmebehovet lågt under sommaren vilket kan medföra låga priser på exporten.

Under vinterhalvåret finns det också goda möjligheter att exportera spillvärme. Under vissa perioder överstiger värmebehovet för P4 och R3 den värme som Glyvhög kan återvinna, i detta fall måste Cytiva importera extern värme. Däremot är mängden energi som Cytiva behöver importera under året väldigt lågt i jämförelse med det totala värmebehovet. Det totala värmebehovet är 9 GWh och det som behövs importeras beräknas vara 0.1 GWh.

Enligt Vattenfall kan värmeåtervinningen täcka 60 % av värmebehovet i byggnaderna R3 och P4 medan den kan täcka 74 % enligt beräkningarna i denna rapport. Vissa dagar är värmebehovet betydligt lägre än vad Glyvhög levererar. Därför rekommenderas det att undersöka potentialen i att lagra återvunnen överskottsvärme i en ackumulatortank för att motverka eventuella interna toppeffekter.

Känslighetsanalysen visar att så länge medeleffekten är mindre varierande, inom ungefär $\pm 10\%$, kan vi säga att systemet är robust. Däremot när variationen överstiger 30 procentenheter totalt ser vi att vi tappar en fjärdedel av systemets output över sommarhalvåret. För visso är det interna behovet uppfyllt, men exporten minskar drastiskt i detta fall.

5.2 Värmepump

Enligt känslighetsanalysen bör COP-värdet för värmepumpen väljas med noggrannhet vid dimensionering eftersom det kan minska tillförda arbetet med 33 %. Detta resulterar i att ju större värmefaktor som värmepumpen har, desto bättre verkningsgrad. Värmefaktor för värmepumpen är därför viktig för att exporten till Vattenfall ska vara lönsam.

Numeriskt valdes COP-värdet till 4. Detta baserades på en studie som innehåller information om stora värmepumpar runt om i Europa [9]. De flesta pumpar har ett COP värde mellan 3,5 och 6. Ett COP-värde som ligger på 4 var mest realistiskt i relation till ekonomiska aspekter enligt tidigare tillämpade projekt.

5.3 Miljöpåverkan och miljö

Genom värmeåtervinning från Glyvhög kan växthusgasutsläppen från Cytiva minska med 6,8 kiloton CO₂-ekvivalenter per år. Att minska växthusgasutsläppen är en viktig åtgärd för att minska klimatpåverkan och bli klimatneutral. Vidare studier huruvida Cytiva kan bli koldioxidneutrala rekommenderas.

6 Slutsatser

Det finns möjligheter för Cytiva att utnyttja spillvärmen från Glyvhög för både intern användning genom uppvärmning av byggnader R3 och P4 samt export till Vattenfalls fjärrvärmenät under hela året. Det säkraste i första hand är dock att exportera all värme till Vattenfall på grund av data som saknas kring Glyvhög.

Värmebehovet i byggnaderna R3 och P4 internt hos Cytiva varierar under året och kommer vara som störst under vinterhalvåret. Detta leder till att en större andel av spillvärmen kommer att användas internt i byggnader under vinterhalvåret samt större möjligheter till värmeexport kommer att finnas under sommaren. Värmebehovet i byggnaderna R3 och P4 kommer årligen att kunna försörjas till 74 % med värme från Glyvhög och resterande värme kommer att kunna försörjas med värmepump och fjärrvärme.

Vid export av spillvärmen från Glyvhög till Vattenfall behövs en värmepump som används för att höja temperaturen på värmen för att möta Vattenfalls framledningstemperaturkrav. I vilket fall som helst behöver Cytiva installera en värmepump för en optimal värmeåtervinningen från Glyvhög.

Den totala värmen som Cytiva kan exportera till fjärrvärmenätet efter intern användning i byggnaderna P4 och R3 är 31 GWh per år. Detta är inklusive spetsen från värmepumpen som bidrar med 7,5 GWh. För att göra intern användning och export möjlig krävs ett totalt arbete på 4,4 GWh om värmepumpen har ett COP-värde på 4. En värmepump med högre COP-värde leder till en stor besparing av arbetet som krävs för processen. Sålunda rekommenderas en djupare undersökning kring den ideala värmepump som bör installeras. Värmeåtervinningen från Glyvhög medför en besparing på cirka 6,8 kiloton CO₂-ekvivalenter per år.

7 Referenser

- [1] Afry. 2021. *Conceptual Design Rapport, Cirkulerande Kylsystem, C7, C8 och C9 Cytiva*.
- [2] Vattenfall. 2022. *Förstudie Värmeåtervinning Cytiva, Slutrapport*.
- [3] Alhoms, M. K., Purigultong, T. & Sollenberg, H. (2022). *Värmepump delrapport*.
- [4] Alhoms, M. K., Bankefors, J., Purigultong, T., Riche, M., Selin, T. & Sollenberg, H. (2022). *Glyvhög delrapport*.
- [5] Bankefors, J., Riche, M. & Selin, T. (2022). *Värmekonsumtion i byggnader och värmeexport delrapport*.
- [6] Nationalencyklopedin. *Värmepump*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/v%C3%A4rmepump> (hämtad 2022-04-26)
- [7] Energimyndigheten. (2010). *Välj rätt värmepump*.
- [8] Vattenfall Värme Uppsala. (2019). *Miljöredovisning* <https://www.Vattenfall.se/4a4b05/globalassets/fjarrvarme/miljoredovisningar/miljoredovisning-uppsala-2019.pdf> (Hämtad: 2022-05-02)
- [9] European Heat Pump Association. u.å. Large scale heat pumps in Europe. [Broschyr]. Brussel. [Large_heat_pumps_in_Europe_final.pdf \(ehpa.org\)](https://ehpa.org/files/2022/05/Large_heat_pumps_in_Europe_final.pdf). [2022-05-02].
- [10] J.M.K.C. Donev et al. (2021). Energy Education - Coefficient of performance [Online]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Coefficient_of_performance. [hämtad : 2022-05-02].

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
www.slu.se/institutioner/energi-teknik

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
www.slu.se/en/departments/energy-technology/