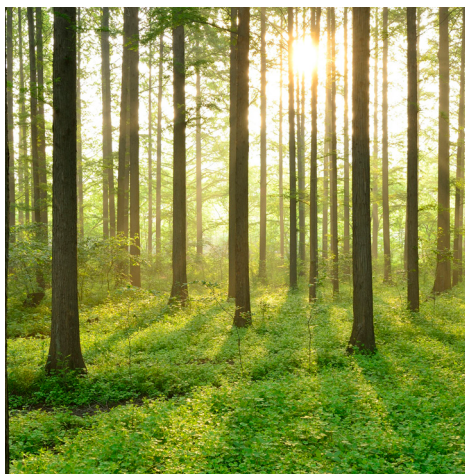


VIRTUELLA VÄRMEVERK

RAPPORT 2021:815



Virtuella Värmeverk

ERIK LUNDMARK
MATTIAS VESTERLUND
SEBASTIAN FREDRIKSSON

ISBN 978-91-7673-815-3 | © Energiforsk December 2021

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

Förord

Fjärrvärmen kan tillvarata och använda rest- och spillvärmeströmmar från olika verksamheter vilket både kan vara en konkurrensfördel och samhällsnytta. I takt med samhällets digitalisering har behovet av datacenter ökat och därmed också den värmeenergi som behöver kylas bort från datacentren. Projektet Virtuella värmeverk syftar till att påvisa möjligheter och utmaningar med vätskekyllning av datacenter och undersöka hur höga temperaturer som kan extraheras från vätskekylda servrar.

Projektet har letts och genomförts av Mattias Vesterlund tillsammans med kollegorna Erik Lundmark och Sebastian Fredriksson på RISE Research Institute of Sweden.

En referensgrupp bestående av Niklas Lindmark, Gävle Energi (sammanhållande); Henrik Landersjö, E.ON; Staffan Stymne, Norrenergi; Stefan Hansson, Kraftringen och Svante Carlsson, Skellefteå Kraft har följt och kvalitetssäkrat projektet.

Projektet ingår i programmet Futureheat vars långsiktiga mål är att bidra till visionen om ett hållbart uppvärmningssystem med framgångsrika företag som utnyttjar nya tekniska möjligheter och där de samhällsinvesteringar som gjorts i fjärrvärme- och fjärrkyla tas till vara på bästa sätt. Detta projekt ingår i programmets andra etapp.

Programmet leds av en styrgrupp bestående av Jonas Cognell, Göteborg Energi (ordförande); Anders Moritz, Tekniska verken i Linköping; Anna Hinderson, Vattenfall AB; Charlotte Tengborg, E.ON Värme Sverige; Fabian Levihn, Stockholm Exergi; Holger Feurstein, Kraftringen; Dan Bruhn, Jönköping Energi; Patrik Grönbeck, Borlänge Energi; Leif Bodinson, Söderenergi; Lena Olsson Ingvarson, Mölndal Energi; Magnus Ohlsson, Öresundskraft; Niklas Lindmark, Gävle Energi; Per Örvind, Eskilstuna Strängnäs Energi & Miljö; Petra Nilsson, Växjö Energi; Staffan Stymne, Norrenergi; Stefan Hjärtstam, Borås Energi och Miljö; Svante Carlsson, Skellefteå Kraft; Ulf Lindquist, Jämtkraft och Julia Kuylenstierna (adjungerande), Energiforsk.

Suppleanter utgörs av Ann Britt Larsson, Tekniska verken i Linköping; och Peter Rosenkvist, Gävle Energi.

Julia Kuylenstierna, programansvarig FutureHeat

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

Sammanfattning

Datacenter kan ersätta befintliga värmeanläggningar i ett fjärrvärmesystem, med rätt kylteknik och IT-hårdvara erhålls samma effektintensitet. En testbädd är upprättad för att föra teknikutvecklingen av vätskekylda datacenter framåt. Målsättningen är att kunna skapa överskottsvärme som inte behöver värmepumpar för att kunna användas i ett fjärrvärmenät.

Projektet syftar till att påvisa de möjligheter och hinder som finns för att övergå från luftkylning till vätskekylning av datacenter och därmed låta datacenter utgöra ett virtuellt värmeverk i fjärrvärmesystemet. Den specifika kostnaden för vätskekylning är normalt dyrare jämfört med traditionella luftkylning men genom att sälja överskottsvärmen som fjärrvärme finns möjligheter för att återbetala den merkostnaden inom några år.

En datainsamling av ett antal befintliga datacenter- och värmeproduktionsanläggningar visar att den specifika effektintensiteten hos ett datacenter i vissa fall kan motsvara en värmeanläggning i ett fjärrvärmesystem. Med dagens utveckling mot mer kraftfulla servrar, HPC och användning av GPU:er kommer effektintensiteten öka och göra datacenter mer konkurrenskraftig och attraktiva som värmekälla. En utvärdering av olika möjligheter för inkopplingar av datacentret till fjärrvärmenätet visar att datacentret kan anslutas som en traditionell värmeproduktionsanläggning. Där vatten från returledningen extraheras och värms för att återföras till framledningen, för att uppnå önskad temperatur justeras flödet genom anläggningen.

Vid ICE datacenter (RISE) forskningsanläggning har en testbädd upprättats som möjliggör utvärdering och utveckling av vätskekylningstekniker och produkter. Anläggningen är inkopplad till fastighetens tappvarmvatten- och varmvatten-cirkulationssystem på samma sätt som en tänkbar värmeproduktionsanläggning. Högsta uppnådda temperatur på överskottsvärmen är 72 °C vid labbtest vilket är lämpligt för ett 4:e generationens eller ett lågtemperat fjärrvärmesystem. För att vidare uppgradera till högtempererad fjärrvärme behövs enbart ett litet värmepumpssteg jämfört med att lyfta från 35 °C vilket är normalfallet för ett luftkyllt datacenter.

För att öka implementeringen av vätskekylning hos datacenterägare för värmeåtervinning är den största hindren; merkostnad för dyrare teknik, kunskap om teknikens egenskaper, avsaknad av samarbetsmodeller och ägaransvarsfördelning mellan datacenterägaren och mottagaren av överskottsvärmen.

Nyckelord

Datacenter, Fjärrvärme, Vätskekylning, Överskottsvärme, testbädd.

Summary

Data centers can replace existing heating plants in a district heating system, with the right cooling technology and IT hardware the same power intensity is obtained. A test bed has been set up to advance the technological development of liquid-cooled data centers. The goal is to be able to create excess heat that does not need heat pumps to be used in a district heating network.

The project aims to demonstrate the opportunities and challenges that exist to convert from air cooler to liquid cooled data centers and where data centers then are allowed to operate as a virtual heating plant in a district heating system. The specific cost of liquid cooling is normally higher compared to traditional air cooling but by selling the excess heat as district heating there are opportunities to have a payback of the additional cost within a few years.

A data collection from of a few existing data center and heat plants shows that the specific power intensity of a data center can in some cases correspond to a heating plant in a district heating system. With today's development towards more powerful servers, HPC and use of GPU's, the power intensity will increase and make data centers more competitive and attractive as a heat source. An evaluation of different possibilities for connections of the data center to the district heating network shows that the data center can be connected as a traditional heat production facility. Where water from the return pipe is extracted and heated to be returned to the supply pipe, to achieve the desired temperature, the flow through the plant is adjusted.

At the ICE data center (RISE) research facility, a test bed has been established that enables evaluation and development of liquid cooling techniques and products. The test bed is connected to the property's domestic hot water and hot water circulation system in the same way as a possible heat production plant. The highest temperature reached on the excess heat was 72°C in a lab test which is suitable for a 4th generation- or a low temperature district heating system. To upgrade to high-temperature district heating, only a small heat pump stage is needed compared to lifting from 35°C which is normal for an air-cooled data center.

To increase the implementation of liquid cooling by data center owners for heat recovery are the biggest obstacles, additional cost for more expensive technology, knowledge of the properties of the technology, lack of models for cooperation and ownership responsibility between the data center owner and the recipient of the surplus heat.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Datacenter	8
1.2.1	Generellt	8
1.2.2	Vanliga komponenter	9
1.3	Kylning av DC	10
1.3.1	Luftkylning	10
1.3.2	Vätskekylning	12
1.3.3	Simuleringsverktyg	14
1.4	Fjärrvärme	14
1.5	Teknoekonomi	15
1.6	Syfte och mål	15
1.7	Virtuella värmverk	16
1.7.1	InterReg Nord	16
1.7.2	Energiforsk	16
2	Metod	17
2.1	Temperatursimulering	17
2.2	Teknoekonomi	17
2.3	Inkopplingsprinciper	18
2.4	Vätskekylningstestbädden	19
3	Resultat	21
3.1	temperatursimuleringar	21
3.2	teknokonomi	22
3.2.1	Kostnadsjämförelse	22
3.2.2	Fjärrvärmeförsäljning	23
3.2.3	Platseffektivitet	24
3.2.4	Jämförelse i energitäthet mellan datacenter och fjärrvärmeproduktion	26
3.3	Inkopplingsprinciper för testbädden	27
3.4	Vätskekylningstestbädden	29
3.4.1	Inkopplingsprincip	29
3.4.2	Dimensionering	30
3.4.3	Installation	30
3.4.4	Användargränssnitt	30
4	Diskussion	32
5	Slutsatser	34
6	Framtida arbete	36
6.1	Anslutning av IT-laster	36
6.2	Utveckla Reglersystem	36
6.3	Påverkan på material och IT-komponenter	36
7	Referenslista	38

Beteckningar

Förkortningar

<i>CFD</i>	Computational Fluid Dynamics (flödessimulering)
<i>CRAC</i>	Computer Room Air Conditioner (luftbehandlingsaggregat med AC)
<i>CRAH</i>	Computer Room Air Handler (luftbehandlingsaggregat)
<i>DC</i>	Data Center (datacenter)r
<i>DH</i>	District Heating (fjärrvärme)
<i>DX</i>	Direct Expansion (direktexpansion)
<i>HMI</i>	Human Machine Interface (användargränssnitt)
<i>LCT</i>	Liquid Cooling Testbed (vätskekylningstestbädden)
<i>PDU</i>	Power Distribution Unit
<i>TORs</i>	Top of Rack Switches (Nätverksswitchar, placerat i toppen av ett rackskåp)
<i>UPS</i>	Uninterruptible Power Supply (avbrottsfrikraft)
<i>VV</i>	Hot water (varmvatten)
<i>VVC</i>	Hot water circulations (varmvattencirkulation)
<i>T&D</i>	Test and Demo facility (forskningsanläggning)

Ordförklaringar

<i>Input</i>	Indata (inmatning)
<i>Output</i>	Utdata (resultat)

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Idag använder vi mer och mer digitala verktyg och tjänster för att underlätta vår vardag och arbete. För att möjliggöra dessa verktygs funktion krävs data- och beräkningskraft där datacenter och annan infrastruktur används för att hantera anropen och önskemålen.¹ Beräkningskraften konsumerar el både för att drivas samt för att kylas. Den värme som skapas är svår att nyttja på grund av sitt låga temperaturområde i kombination med att luft ofta används som transportmedium. Det finns dock alternativa kylmedel och metoder som använder vätskor i stället för luft i olika konfigurationer till exempel on-chip, där en värmeväxlare monteras direkt på processorn eller immersion-cooling, där servrarna sänks ner i ett bad av till exempel mineralolja.² Dessa metoder behöver inte först överföra värmen från elektroniken till luft och sedan från luft till något annat transportmedel till exempel vatten och kan därav uppnå högre temperaturer.³

Det finns ett antal aktörer på marknaden som idag erbjuder vätskekylningslösningar men de har ofta svårt att konkurrera med traditionella luftkylda alternativ och blir oftast bortvalda när det är en dyrare teknik och inte lika erkänt som kylmetod. En generell trend är att datacenterägaren allt oftare efterfrågar möjligheten att kunna återvinna värmen från deras anläggning och det förs även en lobbyverksamhet som diskuterar och trycker för en lagstiftning som reglerar användandet av överskottsvärme från industrin.

För att driva utvecklingen framåt har RISE (Research Institutes of Sweden AB) upprättat en forskningsanläggning för datacenter i Luleå (ICE Datacenter), där en bred forskning bedrivs inom datacenterområdet. Ett spår inom forskningen är att testa och utvärdera olika tillämpningar för att nyttja överskottsvärme, främst studier av luftbaserade applikationer. Det finns ett behov för en motsvarande vätskekylad testbädd, som kan påvisa och demonstrera de möjligheter som finns med vätskekylning i stället för luft.

1.2 DATACENTER

Datacenter och områden runt omkring använder många förkortningar och engelska termer för att beskriva den dagliga driften. Detta avsnitt fokuserar på att förklara hur ett datacenter fungerar och drivs samt beskriva de kyltekniker som används.

1.2.1 Generellt

Ett typiskt datacenter (DC) använder elektricitet för att driva IT-utrustning i form av servrar, switchar (för datanätverk) och datalagring vilket ofta motsvarar ca 45% av den totala energiåtgången. Resterande 55% av energin används vid drift av datacentret för att kyla servrar som omvandlar elektrisk ström till värme vid

¹ Geng, 2014

² Day, Lin & Bunger, paper 265

³ Lin & Day, paper 279

nyttjande av beräkningskraft, förluster i elförsörjningen samt till kringutrustning såsom fläktar och belysning med mera.¹

Energifördelningen mellan ICT och Facility Usage varierar beroende på datacentrets geografiska placering där framför allt utomhusklimatet påverkar energianvändningen för kylsystemet. Den ökade uppmärksamheten kring datacenters energianvändning har medfört att förbättringar gjorts för att minska kyl- och elbehoven för att göra dem mer effektiva och sänka driftkostnader.

Ett datacenters huvudsakliga syfte är att bistå med funktioner som till exempel hemsidor, molnlagring, streamingtjänster. Kraven på att dessa tjänster ska finnas tillgängliga för slutanvändare är normalt mycket höga varför det ofta finns höga krav på elförsörjningens tillgänglighet.

För att säkerställa att driften inte avstannar används UPS:er (Uninterruptable Power Supply)¹ och reservgeneratorer. UPS:er hjälper även till att filtrera bort störningar och övertoner genererade av serverna mot elnätet och från elnätet som kan påverka serverna.⁴ Reservgeneratorer används för att kunna säkerställa elförsörjning till datacentret vid längre elavbrott från elleverantören, normalt utgörs reservkraften av dieselgeneratorer.

Effektbehovet för en server varierar beroende på modell, fabrikat och tillverkningsår. Under många år har utvecklingen inom IT-utrustning följt Moore's lag⁵ som säger att antalet transistorer i en processor kommer att fördubblas varje 18 - 24 månad vilket betyder att utvecklingen ständigt gått framåt samt att serverna kan bytas mot nyare som är mer energieffektiva.

En standardserver vid ICE Datacenter i Luleå förbrukar ca 400 W vid max last. En modern processor kan (processor enbart) förbruka upp till 400 W och likaså en modern GPU² (Grafikkort). Eftersom det är vanligt att en server är utrustad med dubbla processorer kan effekten uppskattas till 800 W per server för en modern server.

Vissa serverar kan utrustas med GPU:er, om servern bestyckas med 2 GPU:er ökar den potentiella användningen till 1200 W. Det skulle kunna anses som HPC (High Performance Computing) vilket används som en generalisering för serverar med hög beräkningskraft. Jämfört med en typisk server har GPU-serverar exempelvis stöd för parallella uträkningar och en beräkningskapacitet på över 10^{12} FLOPS.⁶

1.2.2 Vanliga komponenter

Ett datacenter består av en mängd serverar som oftast placeras i speciella skåp som kallas för rack eller serverrack. Längst upp i serverracket finns ofta en eller flera nätverksswitchar som säkerställer att serverna kan kommunicera med varandra och med omvärlden.

Som en del i strömförsörjningskedjan till serverar och switchar används Power Distribution Units (PDU) för att fördela ut strömmatningen. Vanligen används

⁴ Rasmussen, 2010

⁵ Colwell, 2013

⁶ High Performance Computing

dubbla PDU:er i kombination med dubbla nätaggregat inuti serverna för att tillhandahålla redundans. Det finns en mängd olika konfigurationer för dessa enheter där det gemensamma målet är att driften av IT-utrustningen inte ska störas på grund av el-bortfall i något el-systemet.

Serverrackerna står ofta i rader mitt emot varandra vilket skapar gångar som ofta är uppdelade i kalla och varma gångar. Kalla gångar är utrymmet där kylsystemet förser serverna med kall luft. Ett antal mindre fläktar sitter monterade på varje server. Dessa drar in kall luft där överför värme från serverns komponenter till luften och sedan släpps ut varma gången på baksidan av serverna.

Gångarnas funktion är att ge utrymme för tekniker för att kunna serva och arbeta med utrustningen vid eventuella problem. Fördelen med att separera varm och kall gång från varandra är att mer effektiv kylning uppnås genom att undvika att varm och kall luft blandas med varandra. För att förbättra luftseparationen monteras ofta väggar eller andra avgränsningar (hot- and cold aisle containment) som tvingar den kalla luften att passera enbart genom serverna.

1.3 KYLNING AV DC

Kylning är en fundamental förutsättning för datacenterdriften som syftar till att transportera bort värmen från datacenter till den omgivande utomhusmiljön.⁷

Det finns i huvudsak två olika tekniker som används idag: Luftkylning respektive vätskekylning eller en kombination av de båda teknikerna.

Vid övergången från luft till vätska ersätts serverfläktarna med en vätskepump. Vad den specifika effekt skillnaden, d.v.s. hur mycket el som går åt för att driva fläkt respektive pump per server är idag inte klarlagt. Detta utreds för närvarande vid ICE Datacenter.

Det finns en tumregel som säger att när rack-effekten blir högre än 20 kW måste vätskekylning tillämpas. Vid den effekten är det svårt att skapa de luftflöden som behövs för kylning av ett luftkylt rack.

1.3.1 Luftkylning

Luftkylda datacenter är den vanligaste och mest tillämpade tekniken idag. Till denna teknik användas huvudsakligen luft för att transportera och kyla bort värmen som skapas när serverna arbetar. Kylflänsar och mindre fläktar normalt är monterade på serverna.

Det finns ett antal olika tekniker som kan användas för att transportera värmen från serverrummet för bortkylning till uteluften (Figur 1).⁷

CRAH

Computer Air Handling Units (CRAH) är den enhet som består av en eller flera fläktar och en värmeväxlare som i sin tur kopplas till en kylmaskin. Den varma luften sugas in av fläktarna och luften tvingas genom värmeväxlaren där den kyla

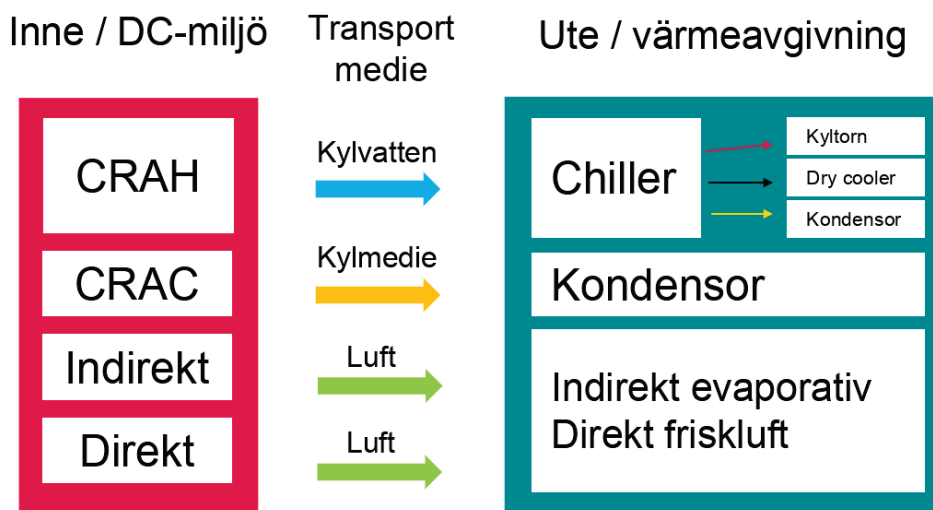
⁷ Evans, paper 59

till en önskad temperatur för att sedan släppas ut i serverrummet igen. En fördel med uppställning är att kylmaskinen kan placeras utanför datacentermiljön där det finns mer utrymme och underlättar också för service när tekniker aldrig behöver åtkomst till datacentermiljön för att serva kylmaskinen.

För att kylmaskinen ska bli av med värmen finns tre olika tekniker som kan användas,

1. Kyltorn, där vatten förångas med kylmaskinens kondensorvärme, d.v.s. fasövergång till vattenånga sker mot uteluften.
2. Dry cooler med köldbärarkrets, där glykolblandat vatten kopplat till en fläkt och värmeväxlare placerat utomhus.
3. Kondensor, där förångat köldmedium i en kompressorkrets kondenseras i en utomhus placerad kondensor.

Ibland placeras också extra kompressorsteg med separata värmeväxlare inne i kylmaskinen tillsammans med en glykolkrets och en drycooler för att möjliggöra frikylning när utomhustemperaturen tillåter men kompressorkylning finns tillgänglig vid varmare klimat d.v.s. en kombination av teknikerna 2 och 3 ovan.



Figur 1: Fyra vanliga luftkylningstekniker med fokus på att illustrera likheter och skillnader mellan teknikerna.

CRAC

Ett annat vanligt alternativ till CRAH-enheter är en Computer Room Air Conditioner (CRAC) där skillnaden är att en kylmaskin har placerats i vardera CRAH-enhet. Vilket medför att transportmedlet från CRAC-enheten, som placeras i datacentermiljön, är ett köldmedium som kyles av i en kondensor placerad utomhus.

CRAC-enheten har också fläktar precis som CRAH-enheten för kylning av luften i datacentret, men en förångare i stället för en värmeväxlare för övergången från luft till vatten samt en kompressor (kylmaskin).

Indirekt evaporativ kylning

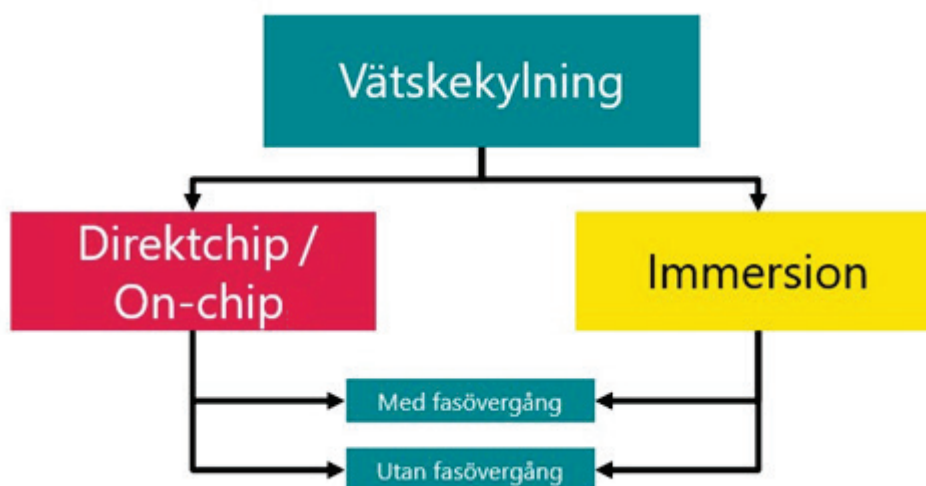
En tredje och vanlig kylteknik är indirekt evaporativ luftkylning där utomhusluft koler datacenterluften via en luft-luft-värmeväxlare för att säkerställa att datacenterluften hålls ren och isolerad från omvärlden. Den kyltekniken kompletteras oftast med en DX-enhet som backup och uteluften sprayas ibland med vatten för att kyla luften och förbättra kylförmågan.

Direkt evaporativ kylning

Det finns även direkt evaporativ luftkylteknik där utomhusluften direkt fläktas in och koler när utomhusklimatet tillåter, vilket är den teknik som Facebook använder i Luleå för sina datacenter. Blir det för kallt kan en del av den varma frånluften blandas med den kalla inkommande luften för att uppnå önskade temperaturer och under de varma sommarmånaderna kan även luften sprayas med vatten för att kyla mer och transportera bort mer värme. Resultatet blir ett mycket billigt kylsystem där endast fläktar behövs för att kyla och placeras datacentren. I de nordliga klimaten kan frikyla användas året runt, även kallat passiv kylning vilket innebär att kyla utvinns direkt från uteluften utan kompressorsteg.

1.3.2 Vätskekylning

Vätskekylning kan delas upp i två huvudkategorier: On-chipkylning (Direct to Chip) samt Immersion cooling, där serverna sänks ner i en dielektrisk vätska (Figur 2).



Figur 2: De två huvudsakliga kategorierna för vätskekylning av servrar.

On-Chip kylning

Vid On-chip kylning (eller direktchipkylning) leds vätska direkt till de varmaste komponenterna som processorer eller GPU:er där dedikerade kylblock används för att leda bort värmen. Ibland kompletteras tekniken med kylblock för ramminnen

och andra mindre energiintensiva komponenter och uppskattningsvis brukar 50 - 80% av värmen kunna tillvaratas av vätskan.⁸

Tekniken kan även användas med hjälp av en vätska där fasövergång från vätska till gas kan ske och därav kan den latent värmen nyttjas för effektivare värmeöverföring.⁷

Immersion cooling

En alternativ variant på vätskekyllning av servrar är att sänka ner hela servern i ett bad bestående av en dielektrisk vätska, ofta kallat immersion cooling.

Vätskekyllning av denna typ kan ta upp över 95% av all tillförd effekt till kylvattnet då inga serverkomponenter kräver luftkyllning. Vätskekyllning kan vidare delas in i två underkategorier; med eller utan fasövergång, se figur 2. Om vätskekyllningen och fluidens egenskaper är gjord för fasövergång kan den latent värmen utnyttjas. Genom att använda immersion cooling kan en högre energidensitet på datacentret erhållas vilket medför att nya applikationer kan tillämpas.⁸

I och med att transistorerna i processorerna minskar i storlek ökar även deras specifika effekt (effekt/yta) vilket ställer större krav på effektivare kylning, speciellt när användandet av GPU:er har ökat där en server kan vara bestyckad med flera GPU:er och vardera GPU kan avge en värmeeffekt upp till 400 W.

Nedan listas några för- och nackdelar med vätskekylda datacenter:

- + mer energieffektiv kylning, tar mindre plats när servrar kan packas tätare som en följd av att vätskor har bättre värmeöverföringsförmåga i förhållande till luft. Genom att använda vätska i stället för luft som värmebärare kan drygt 4000 gånger mer energi extraheras för samma volymenhet och grad.
- + mindre buller, serverfläktarna kan vid immersion cooling helt ersättas med centrala pumpar som har lägre ljudnivå.
- + genom att ersätta fläktar med pumpar kan en besparing på 4 – 15% av energianvändningen per server erhållas.⁹
- + vid tillämpning av värmeåtervinning kan kylsystemets delar isoleras för att minska värmeförluster med det kan mer värme säljas.
- + lättare värmeåtervinning när tillloppstemperaturer till vätskekyllningen kan börja från 30°C, vilket öppnar upp för nya användningsområden som exempelvis fjärrvärme som setts som omöjligt (utan att använda värmepumpsteg) med traditionell luftkyllning.³
- svårare att installera och att underhålla, mer arbete behövs för att hantera servrar i ett immersion cooling-system. Servicearbete med on-chip system kräver att vätskekyllningssystemet lokalt kopplas bort innan service av servrarna kan påbörjas.

⁸ Nadjahi, Louahia & Lemasson, 2018

⁹ Lei & Masanet, 2020

Sammanfattningsvis, med vätskekyllning kan högre temperaturer på överskottsvärmen och energidensitet uppnås samt effektivare datacenter.

1.3.3 Simuleringsverktyg

För att kunna göra bedömningar och utvärderingar för olika kylningstekniker och överskottsvärmeapplikationer hos datacenter kan en mängd olika verktyg användas. Vanligast är att använda någon form av simuleringsverktyg. När det gäller studier av luft- och vattenflöden är det vanligt att det genomförs en CFD analys som ger möjlighet att studera hastighets-, och temperaturprofiler. Resultaten kan vidare användas för dimensionering av en anläggning baserat på resultaten.

CFD står för "Computational Fluid Dynamics" vilket är ett verktyg som via datorkraft skapar flödessimuleringar och flödesprediktioner hos fluider med hjälp av konserveringslagarna (energins-, rörelsemängdens- och rörelsemängdsmomentets bevarande, samt bevarandet av elektriska laddningar).

Vidare baseras beräkningarna på definierade geometrier och specificerade randvillkor.¹⁰ Det möjliggör verklighetstroga simuleringar på icke befintliga och uppritade geometrier där bland annat värmeledning och vätskeflöden kan beräknas baserat på fysikaliska modeller.

1.4 FJÄRRVÄRME

Fjärrvärmesystem brukar klassas i fyra huvudsakliga kategorier; första-, andra, tredje- samt fjärde generationens fjärrvärme.¹¹ Den första generationen använde ånga som värmebärare och byggdes fram till 1930-talet.

För andra generationens fjärrvärme användes i stället trycksatt vatten för att klara temperaturer över 100 °C och varit den primära tekniken fram till 1970-talet där rören generellt sett placerades i betongkulvert med rörvärmeväxlare för värmeöverföringen. Denna teknik återfinns även idag i många svenska system.

Den tredje generationens fjärrvärme är den vanligaste tekniken idag och har använts sedan 1980-talet även fast den introducerades redan 1970. Den påminner om andra generationens fjärrvärme med skillnad att lägre temperaturer i nätet tillämpas samt att andra materialval används där komponenterna är mer materialsnåla och rörledningarna är prefabricerade och isolerade med polyuretanskum och plastmantel som svetsas ihop på plats.

Den fjärde generationens fjärrvärme har huvudfokus på att sänka fram- och returledningstemperaturerna i nätet till exempelvis 50 °C / 20 °C.¹¹ Finessen med att sänka temperaturområdet är ökade möjligheter att integrera förnyelsebara energikällor som sol- och geotermi men även tillvaratagande av spillvärme från industrier vilket varit svårt i de tidigare generationerna.

För att göra fjärrvärme mer konkurrenskraftigt och kunna utgöra en värmekälla för fler byggnader står branschen inför för en utmaning att kunna inkludera billig

¹⁰ Howard, 2012

¹¹ Lauenburg, 2018

överskottsvärme i sina system. En möjlighet för det är att nyttja överskottsvärme från datacenter och för att uppnå önskvärd temperatur behöver värmepumpar användas.^{12, 13, 14, 15, 16}

Idag finns ett flertal datacenteranläggningar uppkopplade till fjärrvärmesystem, till exempel Stockholm (Stockholm data parks), Falkenberg (GleSYS), Vallentuna (E.ON) där samtliga använder värmepumpslösningar för uppgradering av överskottsvärmen till fjärrvärmetemperaturer. Värmepumpsanläggningar på ungefär halva datacentereffekten behöver normalt installeras för att kunna återvinna överskottsvärmen till fjärrvärmesystemet, vilket kan vara ett problem i städer där det redan råder effektbrist. Det innebär även att betydande investeringar behöver göras vilket gör det svårare att få ihop affärskalkylen.

1.5 TEKNOEKONOMI

Tekno-ekonomisk analys är ett verktyg för att demonstrera tekniska och ekonomiska möjligheter, fördelar och tekniska begränsningar för ett givet system. Den är vanligtvis baserad på en processmodell som genererar grundläggande mass- och energibalanser och fungerar som en utgångspunkt för processoptimering, kostnadsberäkning och utvärdering av miljöpåverkan.

I det här projektet används tekno-ekonomiska beräkningar för att utvärdera merkostnaden för att använda vätskekyllning och den möjlighet som ges vid försäljning av överskottsvärmen som fjärrvärme i ett låg-tempererat system.

1.6 SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet är att påvisa dom möjligheter och hinder som finns att övergå från luftkyllning till vätskekyllning av datacenter, vilket ska göras genom att besvara följande frågeställningar och målsättningar:

- [F.1] Hur extraheras högsta möjliga väsketemperatur och hur skulle det kunna implementeras i dagens och framtidens fjärrvärmesystem?
- [F.2] Hur kan effektintensiteten ökas för ett datacenter genom att använda vätskekyllning i stället för traditionell luftkyllning?
- [F.3] Hur påverkas effektintensiteten av serverklustrens beräkningsdensitet?
- [F.4] Kvantifiera merkostnaden för användandet av vätskekyllning?
- [F.5] Vilka inkopplingsprinciper finns på marknaden och hur lämpliga är dem i datacenter-sammanhang?
- [F.6] Utvärdera och rangordna förslag på teknisk vätskekyll- och värmeåtervinningslösning för implementation i fjärrvärmesystem

¹² Wahlroos, Pärssinen Manner & Syri, 2019

¹³ Koronen, Åhman & Nilsson, 2020

¹⁴ Antal, Cioara, Anghel, Gorzenski, Januszewski, Oleksiak, Piatek, Pop, Salomie & Szeliga, 2019

¹⁵ Zhang, Wang, Wu, Shi & Li, 2015

¹⁶ Davies, Maidment & Tozer, 2016

[F.7] Identifiera och utvärdera eventuella kvarstående hinder för genomförandet av vätskekyltekniken.

[F.8] Upprättande av testbädd för att ge möjlighet för demonstration av tillvaratagandet av överskottsvärme från ett vätskekylt datacenter.

1.7 VIRTUELLA VÄRMEVERK

För att besvara och arbeta med frågeställningarna ovan ansöktes om projektet Virtuella Värmeverk hos Energiforsk med en samfinansiering från InterReg Nord via projektet Arctiq-DC.

1.7.1 InterReg Nord

Arctiq-DC¹⁷ är ett EU-finansierat projekt via InterReg Nord och ytterligare nio projektpartners från både Finland och Sverige med RISE som koordinator för projektet. Syftet med projektet är att stärka den regionala datacenterbranschens tjänster, produkter, lösningar samt erbjudande till de kunder som finns utanför regionen, nationellt eller internationellt. För att lyckas med det finns det en målsättning att genom att demonstrera och med mätningar bevisa att det finns mycket bra förutsättningar till att driva och att investera i datacenter i de subarktiska regionerna. Det på grund av att dessa regioner har bland de lägsta drifts- och investeringskostnaderna i världen när det kommer till kraftdistribution och kylning.

1.7.2 Energiforsk

Energiforsk¹⁸ är ett forskningsföretag med fokus på att sprida kunskap och samordna forskning med energi som fokus. Företaget hoppas även kunna ha en opartisk och central del och bidra med nytta för framtidens energisystem. Det är ett icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av Svenska Kraftnät, Energiföretagen Sverige, Energigas Sverige samt Nordion energi. Energiforsk bidrar med många forskningsprogram där en av dessa program heter Futureheat¹⁹ med en samling av projekt med fokus på att driva forskning och utveckling inom termiska ekosystem.

Ett krav för alla projekt inom Futureheat var att ha en referensgrupp där Virtuella Värmeverks referensgrupp bestod av medlemmar från följande energibolag i Sverige E.ON, Gävle Energi, Norrenergi, Kraftringen och Skellefteå Kraft.

¹⁷ InterReg Nord

¹⁸ Energiforsk

¹⁹ Futureheat

2 Metod

Avsnittets huvudsakliga fokus är att ge en övergripande metodbeskrivning för hur arbetet bedrivits för att besvara projektets frågeställningar.

2.1 TEMPERATURSIMULERING

För att uppnå högsta möjliga temperatur från serverna utfördes värmesimuleringar i CFD för att hitta metoden med störst potential.

Simuleringarna genomfördes i programvaran Ansys CFX där geometrier ritades upp tillsammans med en modell för en server med kylflänsar. Därefter meshas och slutligen simuleras med givna parametrar exempelvis CPU-effekt, temperatur före CPU:n samt flödet. Samtliga simuleringar testades med några variationer av indata som temperatur och flöde för inloppet. Efter simuleringarna analyserades resultaten för att hitta vilket koncept och vilken indata som resulterade i de högsta temperaturerna.²⁰ För att förbättra modellen för kylflänsarna implementerades "heat pipes", vilket är det lilla böjda röret som finns på vissa kylflänsar. Heat pipen använder fasomvandling för att ge en jämnare temperaturprofil över kylflänsen och på det sättet skapas en bättre värmetransport från servern till luften.²¹

2.2 TEKNOEKONOMI

Det som särskiljer projektets vätskekylda system från andra är att fokus ligger på att utvinna en mervärdesprodukt i form av fjärrvärme. På det sättet påvisas möjligheterna för att vätskekylningslösningar kan vara mer konkurrenskraftig mot ett traditionellt luftkylt system. Den årliga värmeenergin (kWh) som kan utvinnas från en serveranläggning kan beräknas enligt följande ekvation:

$$\text{Värmeenergi} = \text{Effekt} * 8760 * \text{nyttjandegrad} \quad (1)$$

där effekten (kW) avser den överskottsvärme från serverna som finns tillgänglig för värmeåtervinning, i det är värmeöverföringsförluster borträknade.

Nyttjandegraden är definierad som en faktor mellan 0 - 1 som multipliceras med tiden (som är 8760 timmar på ett år) och är ett mått på hur stor del av tiden det är möjligt att belasta serverna tungt nog för att producera fjärrvärme.

Sedan för att beräkna en årsintäkt (SEK) användes fjärrvärmepriset (SEK/kWh) som är platsspecifikt och på årsbasis. Vidare görs även antagandet om att kunna sälja fjärrvärmen till en försäljningskvot, där 1 innebär att fullt fjärrvärmepris fås för värmen och 0 att ingen ersättning erhålls:

$$\text{Årsintäkt} = \text{Värmeenergi} \frac{\text{Fjärrvärmepris}_{\text{plats,årsnitt}}}{\text{Försäljningskvot}} \quad (2)$$

För att göra en ekonomisk beräkning används "direkt återbetalningstid" där endast intäkten från fjärrvärmeförsäljning räknas in enligt ekvation nedan, vilket

²⁰ Lundmark, Lindgren & Granberg, 2019

²¹ Gren, Johansson, Kranenbrag & Ottosson, 2020

är det uppskattade priset som fjärrvärmebolaget antas vara villiga att betala för överskottsvärmen. Direkt återbetalningstid definieras här som den tid det tar att få tillbaka investeringskostnaden utan att räkna med kringkostnader som till exempel underhållskostnader eller hur inflationen påverkar. Den vanliga inkomstkällan, datakraft i form av beräkningar och lagring, räknas inte med då den kan antas vara lika oavsett vilken kylösning som används. Eventuella investeringskostnader för inkoppling på fjärrvärmenätet, till exempel ytterligare distributionsledningar är ej heller medräknade.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Installationskostnad}}{\text{Årsintäkten}} \quad (3)$$

Det finns idag flera fjärrvärmeaktörer som utvecklat koncept som köper och tar hand om överskottsvärme från bl.a. datacenter, t.ex. Stockholm Exergi (Öppen Fjärrvärme²²), Vattenfall (SamEnergi), Tekniska Verket i Linköping (Delad Energi).

Värdet och därmed betalningsförmåga för spillvärme varierar mellan olika fjärrvärmebolag, bl.a. beroende på rådande alternativproduktion, temperaturnivåer och effektgarantier. Detta projekts återvinningslösning antas konstant kunna leverera prima fjärrvärmetemperaturer under hela året. Därför görs här ett grovt antagande om att värdet på överskottsvärmen, som snitt över året, är hälften av fjärrvärmebolagets rådande kundpris för rörliga och fasta avgifter för fjärrvärme. Detta förmodas motsvara ett värde i det övre spannet av betalningsförmågan för överskottsvärmen, givet den höga temperaturnivån och förmåga att bidra med konstant effekt under hela året.

Som jämförelse utvärderas tre scenarion; Luleå, Tierp och ett medeltal för Sverige. Det som skiljer dem åt är fjärrvärmepriset där alla fjärrvärmepriser är hämtade från EnergiFöretagen.²³

Utifrån servereffekten beräknades mängden användbar värmeenergi i den ekonomiska uppställningen. Värmeenergin beräknades för ett helt år och utifrån det kunde en årsintäkt beräknas enligt ekvation (2). Med resultatet från den beräknade årsintäkten kunde en "direkt återbetalningstid" tas fram enligt ekvation (3).

För de flesta datacenter är det orimligt att anta att deras servrar alltid är 100% belastade, som ett mått på hur stor belastningen är används uttrycket nyttjandegrad. Nyttjandegraden ett mått på hur stor del av den totalt installerade IT-effekten som används och som med det skulle kunna finnas tillgänglig som fjärrvärme enligt ekvation (1).

2.3 INKOPPLINGSPRINCIPER

Att ansluta en värmekälla mot ett fjärrvärmenät är i princip relativt enkelt, på fjärrvärmenätets primärsida behövs (till höger sida om värmeväxlare i Figur 3):

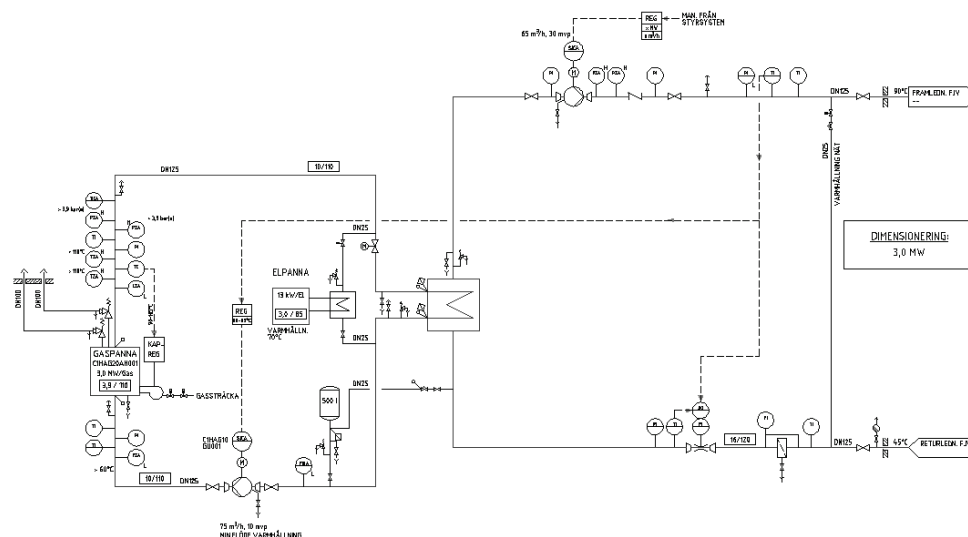
- Värmeväxlare,
- Distributionspump,

²² Öppen fjärrvärme

²³ EnergiFöretagen

- Temperaturgivare,
- Tryckgivare,
- Styrsystem.

Anläggningen reglerar antingen värmeanläggningens effekt för att upprätthålla en önskad temperatur ut på fjärrvärmenätet alternativt kan flödet från fjärrvärmenätet regleras för att upprätthålla önskad temperatur.



Figur 3: Exempel på inkoppling av värmekälla till ett fjärrvärmesystem, till höger om värmeväxlaren primärt fjärrvärmenät och till vänster värmekälla som kan utgöras av ett datacenter.

Vid normala driftförhållanden på ett fjärrvärmenät är returtemp mellan 40 °C vintertid och upp till 55 °C sommartid, vilket är den utgångstemperatur som en värmeanläggning behöver kunna ta mot och som restvärmeleverantören ska kunna använda för sitt kylbehov.

2.4 VÄTSKEKYLNINGSTESTBÄDDEN

För att påvisa möjligheterna som finns i att skapa fjärrvärme genom olika vätskekylningsmetoder för servrar, upprättades en vätskekylningstestbädd (LCT) vid ICE datacenteranläggning.

Eftersom fjärrvärmecentralen i aktuella byggnaden är svåråtkomlig är målet att producera tappvarmvatten i stället för fjärrvärme. Testbädden upprättades inom ICE anläggning för att kunna kontrollera alla flöden och temperaturer. Det sker via uppvärmning av varmvattencirkulationen (returledning) till varmvattenledningen (framledning). För upprättade av LCT behövdes följande moment:

- Inkopplingsprincip
- Dimensioner
- Installation
- Användargränssnitt

Anläggningen ska användas för att demonstrera LIVE-temperaturer och hur mycket energi som återvunnits i form av tappvarmvatten på årsbasis. Vidare kan även andra företag kunna genomföra tester och utvecklingsprojekt i testbädden i framtiden.

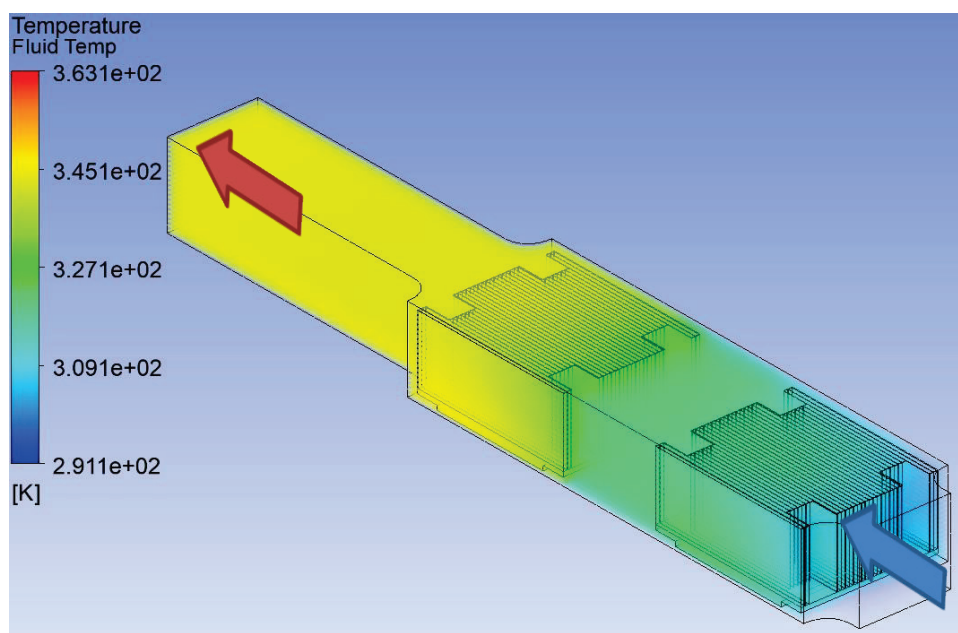
3 Resultat

Det här kapitlet redovisar resultatet från arbetet inom projektet virtuella värmeverk samt studentprojekten som genomfördes under hösten 2019 och 2020, som del av utbildningen till civilingenjör inom hållbar energiteknik samt examensarbetet "konstruktion och design av testbädd för vätskekylning av datacenter".

3.1 TEMPERATURSIMULERINGAR

Ett antal flödes- och temperatursimuleringar har gjorts för att studera olika utformningar av kylflänsarna för vätskekylningen samt designen av konceptet för utvärdering av flödeskontroll. I Figur 4 visas konceptet "tunneln" som tillverkades för utvärdering, vilket gjordes i ett egentillverkat EPS-isolerat immersion cooling system. Där servern sänktes ned i en plåtlåda fylld med vit mineralolja med ett omslutande isolerings lager av EPS för att minska de termiska förlusterna. Kyld olja tillfördes i botten av lådan och den värma olja i toppen av "tunneln".

De fysiska testerna för "tunneln" visade att den kunde höja temperaturen från 40°C (den blåa pilen) till 72°C (den röda pilen) vid ett massflöde på 0,002 kg/s, vilket uppnåddes när CPU temperaturen var 80 °C.²⁰



Figur 4: Temperatursimulering av konceptet "tunneln" med en sluttemperatur på 71°C vid den röda pilen.

Konceptet för "tunneln" vidareutvecklades där den teoretiska modellen gjordes mer komplex med labyrintgångar över CPU:erna. Med modifieringen visade simuleringens resultaten en utloppstemperatur på drygt 80 °C. De fysiska testerna för det modifierade konceptet uppmätte en utloppstemperatur på drygt 50 °C, vilket alltså är ett sämre utfall mot vad simuleringen påvisade. Skillnaden mellan teoretiskt och praktiskt utfall förklaras mest troligt på brister i produktionen samt in-läckage av svalare olja från omgivningen.²¹

3.2 TEKNOEKONOMI

För att utvärdera för- och nackdelar med vätskekylda system, ur ett ekonomiskt perspektiv, beräknades några fall för inkomstökningen som fjärrvärmeförsäljning till ett fjärrvärmebolag skulle medföra. Utöver det utvärderades platseffektiviteten, med vilket det menas hur många servrar som kan placeras på en yta i jämförelse med traditionell luftkylning.²⁰

3.2.1 Kostnadsjämförelse

Som grund för de ekonomiska beräkningarna jämfördes tre olika system i Tabell 1;

- Asperitas, deras produkt kan liknas med ett "badkar" med plats för 42 servrar, de är en etablerad aktör på immersion cooling marknaden,
- EPS, en enklare lösning med utrymme för två servrar omgiven av EPS-isoleringsstomme som utvecklats vid RISE,
- Luftkylning, avser ett traditionellt rack för luftkylning med plats för 42 servrar.

Alla priserna är räknade utan servrar, IT-lösning och övrig kylutrustning till exempel CRAH-enheter, kompressorer, kyltorn, rör- och ventilationsdragning. För vätskekylda datacenter där det finns möjlighet för användning av överskottsvärmen kan kylmaskin och kyltorn elimineras och göra tekniken mer konkurrenskraftig jämfört med luftkylda datacenter.

Tabell 1: Kostnadsjämförelse mellan Asperitas, EPS-lösning och traditionell luftkylning.

	Asperitas	EPS	Luftkylning
Kostnad	511 817: -	2 352: -	17 973: -
Serverantal	48	2	42
Kostnad/server	10 663: -	1 176: -	428: -

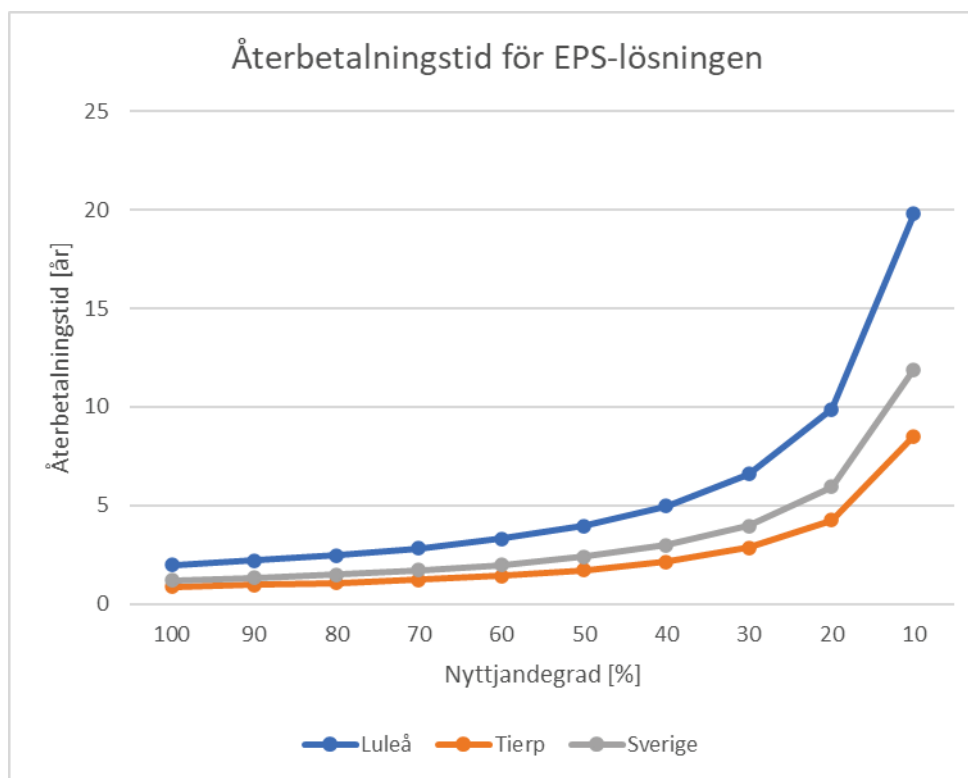
Det som framgår är att en Asperitas serverplats kostar nästan 10 gånger mer än EPS-lösningen samt att en luftkyld serverplats är under halva kostnad jämfört med EPS-lösningen. För att kunna kompensera för den merkostnaden behöver någon form av inkomst kunna genereras, vilket skulle kunna göras om överskottsvärmen kan säljas som fjärrvärme.²⁰

Vid användandet av moderna servrar som har en maxeffekt på 800 W skulle ett rack kunna utrustad med upp till 25 servrar i stället för 42, innan max rack effekten på 20 kW uppnås. Det innebär att det behövs ungefär dubbla antalet rack för att kunna kyla alla servrar på ett bra sätt. Med immersion cooling där kylningen är bättre går det att packa de servrarna tätt intill varandra och i det fallet blir den tekniken mer platseffektiv.

3.2.2 Fjärrvärmeförsäljning

En stor fördel med vätskekylning är möjligheten att utvinna högre nivåer av användbar värme jämfört med att använda luftkylning. Om tillräckliga returtemperaturer (60 - 80°C) kan uppnås från vätskekylning kan värmen sen säljas som fjärrvärme. I Figur 8 visas återbetalningstiden i år som en funktion av nyttjandegraden av IT-utrustningen vid försäljning av värme från EPS-lösningen för tre olika scenarion; Luleå, Tierp och Sverigesnittet ²⁵.

Eftersom inkomsten från IT-tjänsterna antas vara oberoende av kyllosning återspeglar beräkningarna återbetalningen för merinvesteringen kopplat till vätskekylning jämfört med luftkylning. Ett högt försäljningspris kan kompensera för en dålig nyttjandegrad av den installerade IT-kapaciteten medan på orter med lågt försäljningspris eller dålig nyttjandegrad kan problematik uppstå.²⁰ Den tänkbara nyttjandegraden av servrarna är starkt kopplat till typen av datacenter; mining (kryptovaluta), enterprise (datacenter helt i egen regi) eller co-location (uthyrning av serverplats), där mining oftast har 100% och för enterprise och co-location i spannet 20 - 60% men även de strävar efter full nyttjandegrad.



Figur 8: Återbetalningstid för EPS-lösningen i Luleå, Tierp och Sverige i snitt för olika nyttjandegrader.

3.2.3 Platseffektivitet

För att utvärdera platseffektivitet mellan luftkylning och vätskekylning har en jämförelse gjorts med hjälp av ritningar från ett verkligt serverrum vid ICE datacenter. Serverrummet är konstruerat som ett traditionellt datacenter med fyra CRAH-enheter för kylning av racken, dom befintliga serverna i serverrummet har en maxeffekt på 400 W per server vilket är använt i beräkningarna nedan.

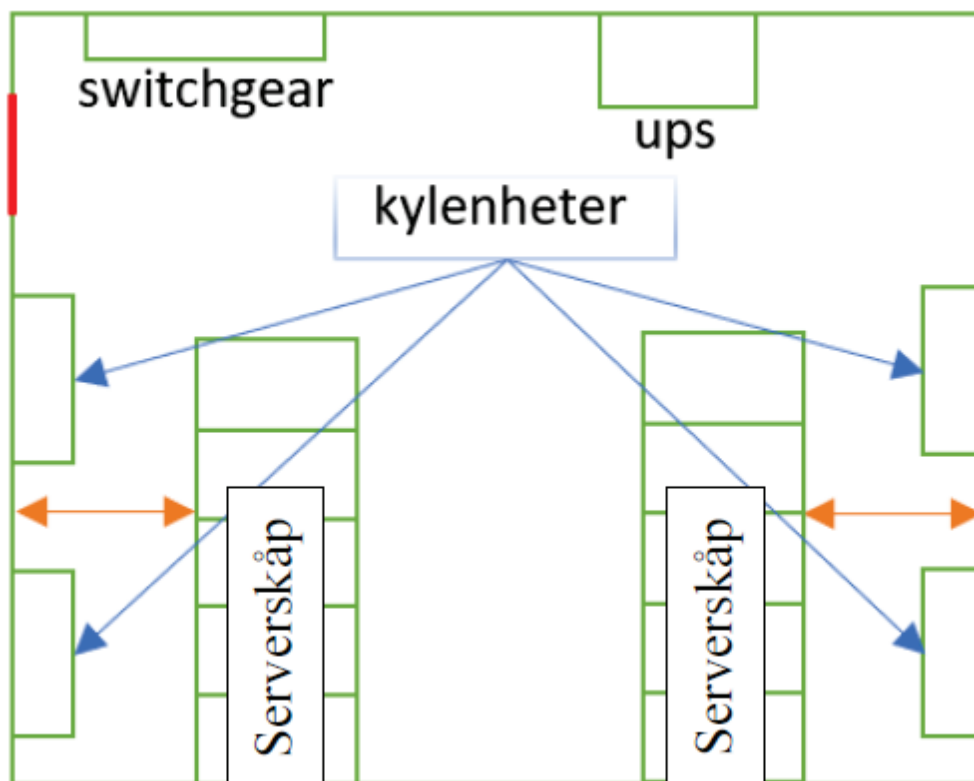
Basfallet är de luftkylda serverna som för tillfället är placerade där och jämförelsefallet är baserat på samma rum men med EPS-lösningen för vätskekylning i stället.

Placeringen av skåp och EPS-lösningen i rummet begränsas av platsbehov för service, nödvändigt maskineri i form av UPS och switch-utrustning samt dörren som ska vara tillgänglig. Dörren i fråga öppnas dock utåt, därav är framkomlighet till dörren det enda som spelar roll.

Serverrummet är cirka 5 meter brett och 6,5 meter långt, vilket ger en yta på cirka 33 m². Baserat på ritningar från RISE har förenklade bilder ritats som illustrerar placering av serverskåp respektive vätskylda riggar.

I Figur 9 är det tydligt att kylenheter upptar en hel del yta som begränsar hur många rackskåp det är möjligt att placera i rummet. I ett vätskekylt system behövs inte dessa kylenheter vilket kan vara en fördel.

Totalt antal rackskåp är 10st och varje skåp kan hålla 44 servrar, vilket ger ett totalt antal servrar på 440 i rummet²⁰ motsvarar en total effekt på 176 kW och 97% omvandlas till värme, vilket medför en potential att återvinna 170 kW värme.



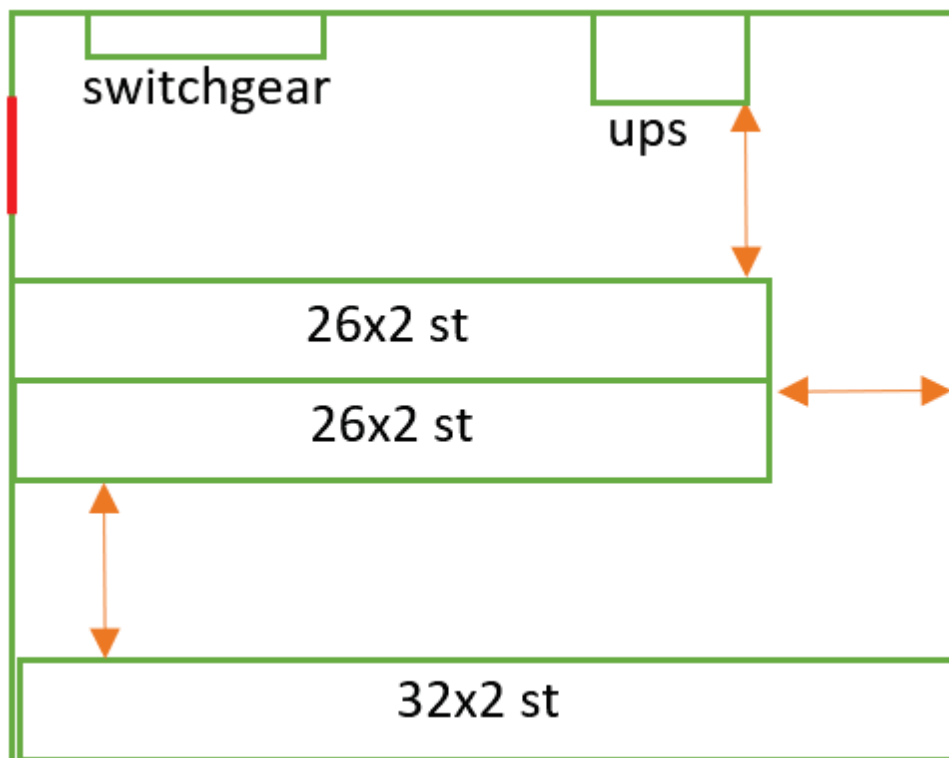
Figur 9: Design av nuvarande serverrum vid ICE datacenter baserat på luftkylda serversystem.

Det är tydligt att det finns ett antal fördelar med vätskekyllning när det kommer till placering. För den vätskekylda EPS-lösningen är det räknat att det är möjligt att ställa två riggar på varandra med en hyllösning för tyngdavlastning.

I ett vätskekyll system är det inte nödvändigt att separera alla rader då konceptet med kall och varm gång försvinner och det behövs heller inga luftkylningsaggregat. Den största begränsningen för den vätskekylda lösningen är att de behöver vara åtkomliga för service, utöver det existerar inget hinder från att fylla rummets totala golvyta.

I figur 10 är det placerat totalt 168 EPS-stommar, med två servrar i varje tank. Tre olika alternativ för placeringskonfigurationer utvärderades. Det resulterade att det får plats totalt 336 servrar.

När man tar ytan i beaktning blir den resulterande ockuperade golvytan för varje server 0,098 m² för EPS-stommarna och 0,075 m² för traditionell luftkyllning, vilket visar att traditionella luftkylda rackskåp är mer platseffektiva i jämförelse med EPS-lösningen. Detta beror till stor del på den stora isoleringsvolymen kring varje server i EPS-stommen. En fördel med EPS-stommarna är att placeringsmöjligheterna är mer flexibla i ett redan givet utrymme.



Figur 10: Möjlig design av serverrum vid ICE datacenter för installation av EPS-lösning för vätskekyllning.

3.2.4 Jämförelse i energitäthet mellan datacenter och fjärrvärmeproduktion

Inom ett fjärrvärmesystem finns alltid ett antal produktionsanläggningar som har olika syften för att täcka bas- och spetslast. Inom referensgruppen för projektet har uppgifter om deras befintliga produktionsanläggningar samlats in. I Tabell 2 nedan tydliggörs effektintensiteten för olika produktionsanläggningar samt datacenter, som framgår kan i vissa fall en datacenteranläggning erhålla samma energitäthet som en fliseldad fjärrvärmelanläggning, dock är det beroende av vilken typ av datacenter det är.

Tabell 2: Jämförelse av effektintensitet mellan traditionella produktionsanläggningar för fjärrvärme och datacenter.

Bränsle	Byggnadsyta	Tomtareal	Effekt	Spec. effektintensitet	
				Byggnadsyta	Tomtareal
	m ²	m ²	MW	kW/m ²	kW/m ²
Biogas, olja	-	22 000	450	-	20,5
VP, Biomassa, olja	-	25 000	355	-	14,2
Flis	-	46 000	55	-	1,2
Bioolja	1 100	12 000	74	67,3	6,2
Biomassa	5 400	128 000	75	13,9	0,6
DC Boden (Mining container 1)	9	45	1,8	200	40
DC Boden (Mining container 2)	14	70	0,6	45	9,0
DC Stackbo (Enterprise)	24 000	226 730	500	20,8	2,2
DC Ersbo (Enterprise)	24 000	174 149	290	12,1	1,7
DC Boden (Mining)	41 565	38 991	19	0,46	0,5
DC Luleå (Enterprise)	-	325 539	212	-	0,7
DC Vallentuna (Enterprise)	-	4 500	0,6	-	0,1

3.3 INKOPPLINGSPRINCIPER FÖR TESTBÄDDEN

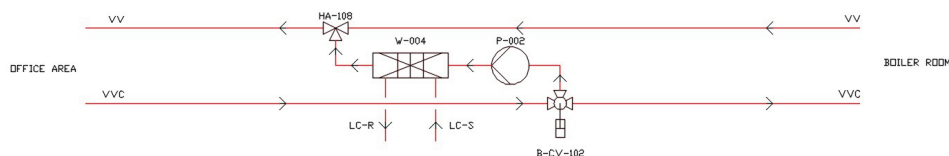
För att på bästa sätt ta vara på överskottsvärmen från datacentret beslutades att tappvarmvatten (VV) eller tillhörande cirkulationskrets (VVC) skulle vara intressanta punkter för anslutning och därmed kunna utgöra ett fiktivt fjärrvärmenät. Utifrån det identifierades fyra möjliga anslutningsmöjligheter:

- A) VVC till VV,
- B) VV till VVC,
- C) VVC endast,
- D) VV endast

Syftet med de olika alternativen var att tydliggöra de möjliga kombinationer som finns för inkoppling och tillförsel av överskottsvärmen, för att kunna utvärdera vilket alternativ som är mest fördelaktigt.

Inkopplingsalternativ A

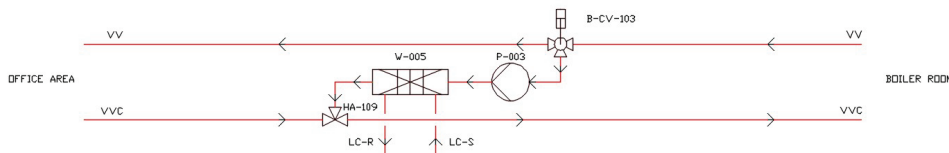
Syftet med inkopplingen VVC till VV (Figur 5) är att kyla IT-lasten och samtidigt värma varmvattnet i VVC-kretsen för att därefter mata ut direkt i VV-systemet. Denna värmeväxling förenklades i diagrammet som en plattvärmeväxlare märkt W-004 och samma förenkling användes för följande konceptscheman dock med annan märkning. Den inkopplingen motsvarar att värma vatten från returledningen till framledningen i ett fjärrvärmenät.



Figur 5: Diagram för anslutningsmöjlighet VVC till VV.

Inkopplingsalternativ B

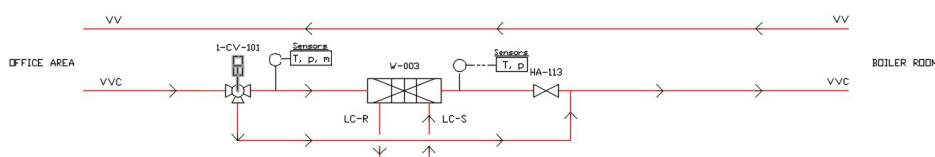
Syftet med inkopplingen VV till VVC (Figur 6) är det omvända där vatten tas från VV-kretsen för att värmas till en högre temperatur på VVC-systemet. Den inkopplingen motsvarar att värma vatten från framledningen till returledningen i ett fjärrvärmenät. Genom att använda VV-systemet som anslutningspunkt skulle resultera i för höga temperaturer i servrarna. Denna koppling förekommer normalt inte i fjärrvärmesammanhang men är alltså en möjlig kopplingskombination.



Figur 6: Diagram för anslutningsmöjlighet VV till VVC.

Inkopplingsalternativ C

Syftet med inkopplingen VVC enbart (Figur 7) är att endast fokusera på uppvärmning av VVC-kretsen och därav kunna minska värmebehovet i tappvarmvattenväxlaren i undercentralen. Det ansågs som det alternativ som var mest fördelaktigt för fastigheten, dock skulle det motsvara att värma returledningen i ett fjärrvärmenät.



Figur 7: Diagram för anslutningsmöjlighet VVC endast.

Inkopplingsalternativ D

Analogt med inkopplingsalternativ C där VVC-kretsen värmdes, avser inkopplingsalternativ D värmning av VV-kretsen. Att använda VV-kretsens vatten som anslutningspunkt skulle innebära en hög temperatur på kylmediet till servrarna likvärdigt med inkopplingsalternativ B. Den inkopplingen motsvarar att värma från framledningen i ett fjärrvärmenät.

3.4 VÄTSKEYLNINGSTESTBÄDDEN

Centralen som beräkningar utfördes på i projektet kallas vätskekylningstestbädd eller LCT.²⁴ Det är till de olika värmeväxlarna i centralen som olika vätskekylningsteknologier ska kunna anslutas och utvärderas för produktion av nyttig värme till fastigheten. En fysisk testbädd med stor flexibilitet kopplat mot ett system som kan liknas vid ett riktigt fjärrvärmesystem utgör en bra plattform för att testa olika metoder för vätskekylning av IT-utrustning. Detta kan driva både användandet av lågvärdig överskottsvärme och i förlängningen även datacenterbranschen framåt.

3.4.1 Inkopplingsprincip

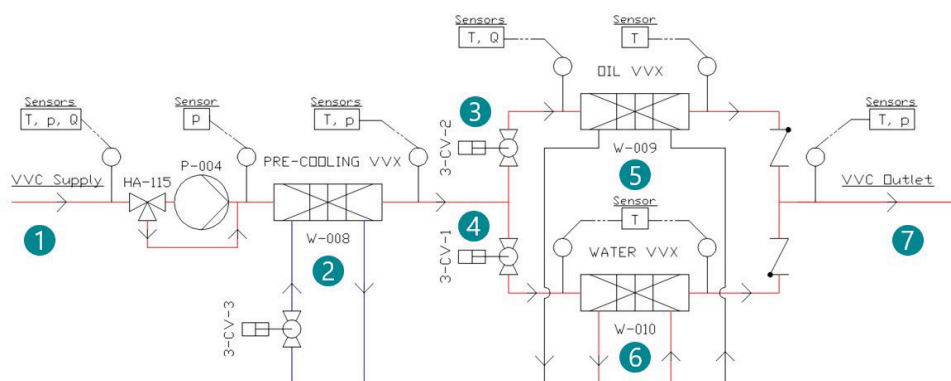
Inkopplingen mellan VVC-kretsen och testbädden sker vid position 1 i Figur 11. För att undvika överhettning installerades en värmeväxlare för nödkyla (position 2) där kalla sidan av värmeväxlaren kopplades till fastighetens kylsystem.

Två styrventiler (position 3 och 4) i figur 11 fördelar VVC-flödet till de två värmeväxlarna (position 5 och 6) där värme från olika vätskekyllösningar tillförs till VVC-kretsen. Den ena värmeväxlaren (5) är dedikerad för oljebaserad kylning och den andra för vattenbaserad kylning (6).

Utlopp sker i ledning 7, tillbaka till VVC-kretsen och resten av byggnaden.

Mätning av temperatur, tryck och värmeenergi sker vid ett flertal punkter i testbädden. I figur 11 är dessa märkta med T, p och Q.

En hjälppump är placerad mellan position 1 och 2 för att övervinna det lokala tryckfallet och även kunna ta över circulationen i kretsen om kylning enbart sker mot fastighetens kylsystem.



Figur 11: Diagram över den upprättade vätskekylningstestbädden.

Genom reglering av flödet till IT-lastens kylutrustning kan temperaturen till värmeväxlare 5 och 6 styras, vilket motsvarar en flödesreglering i en

²⁴ Lundmark, 2021

värmeproduktionsanläggning för att uppnå rätt framledningstemperatur i ett fjärrvärmenät.

3.4.2 Dimensionering

För att kunna dimensionera testbädden skapades en Excelmodell för att kunna beräkna designparametrar som värmebehov, vätskeflöden och temperaturskillnader.

XSteam Tables är ett verktyg till Excel som möjliggör dynamiska beräkningar hos vatten baserat på bland annat temperatur och tryck, vilket är ett användbart redskap för att skapa en dynamisk och pålitlig modell.

Modellen byggdes upp genom att skapa block som hade en logisk koppling till varandra. Varje block hade en uppsättning egenskaper för inmatning (input) till blocket och utmatning (output) där nästföljande blocks input ofta var identisk med föregående blocks output och skapade därav en länk mellan blocken.

3.4.3 Installation

För att underlätta installationen och för att få en förståelse över hur stor yta testbädden skulle behöva projekterades anläggningen med komponenter, rördragning och måttsättning.

En lokal VVS-firma anlätades för att slutföra installationen från rördragningen i taket och ner till golvnivå samt installation av testbädden och alla dess komponenter.

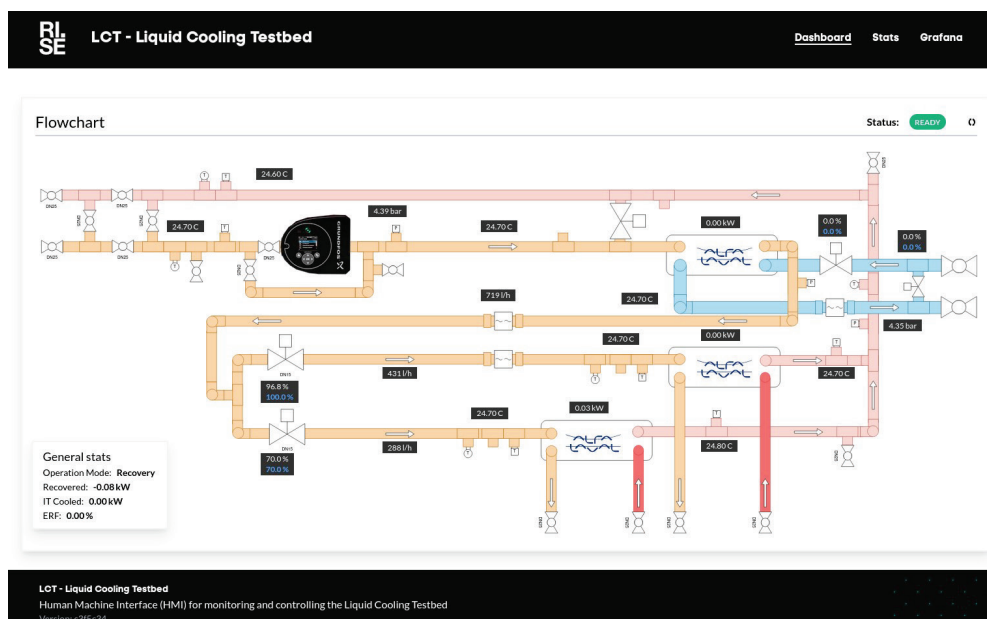
Montaget av sensorer och elektronik utfördes av RISE:s egen personal där en Raspberry Pi användes som huvudsaklig datainsamlare för temperatur- och flödesgivare.

Tryckgivarna avlästes med hjälp av AD-omvandlare från företaget Moxa, vilket även användes för att skicka börvärdessignaler mellan 0–10V till reglerventilerna.

3.4.4 Användargränssnitt

Gränssnittet utvecklades för pekskärmsanvändning där komponenterna är klickbara. Vid klickning öppnas en dialogruta som tillåter användaren att antingen få mer information av ett specifikt område (exempelvis en värmeväxlare och alla anslutningspunkter till den) alternativt kontrollera börvärdet för en reglerventil.

I gränssnittet finns det totalt sju klickbara objekt, tre styrventiler, tre värmeväxlare samt pumpen. Uppdateringshastigheten för gränssnittet är ca. 1 gång per sekund och bestäms på tillståndsservern, vilket är den server som hämtar mätdata från databasen.



Figur 12: Användargränssnitt (HMI) för vätskekylningsbädd.

4 Diskussion

En av de svåraste utmaningarna när det kommer till att uppnå önskad temperatur för till exempel en fjärrvärmeapplikation är antalet växlingssteg. Vid varje växlingssteg minskar ursprungstemperaturen vilket är en av de huvudsakliga anledningarna till att använda vätskekyllning i stället för luftkyllning.

Värmen från en processor överförs först från kärnan till skyddshöljet som även fungerar som värmespridare. På skyddshöljet monteras en kylfläns alternativt ett kylblock (vid on-chip kylning) vilket alltså medför att det redan krävs två växlingssteg för värmen att överföras från processorn innan den kan överföras till ett transportmedium.

Vid användandet av luftkylda rack blir det dock ytterligare ett steg där den uppvärmda luften måste växlas ett extra steg via en CRAH innan vätskeform nås. Luft har väsentligt sämre värmeöverföringsförmåga och specifik volymetrisk värmekapacitet än vatten. Det krävs alltså betydligt högre temperaturdifferenser och större volymflöden av luft för att överföra motsvarande mängd värme jämfört med vatten som värmebärare.

Immersion cooling med olja direkt till en plattvärmeväxlare resulterar i minsta antalet värmeöverföringssteg. Nästan all värme från servrar i en immersion cooling-lösning förs vidare av oljan till värmeväxlare för vidare värmetransport. Användandet av on-chip kyllosningar med kylblock där kylmediet cirkuleras direkt mot komponenter med högst effektförbrukning och temperatur medför större precision av kylan och möjlighet till högre returtemperaturer. Samtidigt måste vätskekyllningen fortfarande kombineras med luftkyllning vilket innebär två parallella system.

Ett intressant koncept skulle vara att kombinera on-chip med immersion cooling, för att kunna uppnå högsta möjliga temperatur på överskottsvärmen. Immersion cooling används som en första temperaturhöjning som sedan leds in till ett on-chip som gör den sista temperaturhöjningen. Eftersom processorn är det varmaste enheten är det viktigt att den och vätskan ut från on-chip-kylningen är isolerat från den övriga oljan i immersion cooling systemet.

Ett komplement till detta, för att även ta vara på den lägre tempererade värmen från oljan, skulle vara att värma det sista steget med en värmepump, vilket är en välkänd uppgraderingsteknik av värmen, med utmaningen att undvika för många värmepumpssteg.²⁵

Projektet har påvisat att det finns teoretiska möjligheter att kunna uppnå 80°C på den återvunna värmen utan värmepump från immersion cooling teknik. Dock behövs mer produktutveckling göras både teoretiskt och praktiskt för att kunna utvinna det, större marginal i beräkningar och simuleringar samt mindre toleranser i tillverkningen.

²⁵ Davies, Maidment & Tozer, 2016

Om de eftersträvade temperaturerna uppnås skulle ett datacenter kunna utgöra värmekälla för ett lågtempererat fjärrvärmenät med framledningstemperatur på 80°C samt 40°C på returledningen.

De datacenteranläggningar som idag återvinner värme till fjärrvärme behöver som en tumregel halva datacentereffekten som värmepumpseffekt vilket ofta blir stora effekter. I trånga el-sektorer där det råder effektbrist är vätskekylning ett bra alternativ och i de fall där temperaturnivån blir för låg kan värmen uppgraderas med en värmepump. Hur stort andel av datacentereffekten som värmepumpen skulle motsvara i det fallet är okänt, vilket är något som skulle kunna studeras vid den upprättade testbädden.

En av utmaningarna gällande upprättandet av testbädden var att försöka dimensionera ett system med väldigt få kända betydande variabler som IT-laster, nominella flöden och temperaturskillnader för anslutande system etc. Det medför att många antaganden måste tas av den som dimensionerar men också ytterligare svårigheter vid kontakt och rådfrågning hos företag som oftast säljer och dimensionerar sina produkter utifrån fasta driftspunkter. Detta resulterar i en spiraleffekt där alla antaganden och variabler blir direkt beroende av varandra med få kända punkter som kan användas för att verifiera uppställningen innan den är beställd, installerad och testad. Detta kan också medföra att den som dimensionerar tar extra höjd och överdimensionerar vissa komponenter som innebär extra kostnader och kan resultera i sämre tekniskt utfall. Exempelvis var både pumpen och värmeväxlarna i detta system tvungna att väljas utifrån det värsta tänkbara driftscenariot. Det är inte säkert att värsta tänkbara scenariot kommer att inträffa och inte heller att det blir mest optimalt för den slutgiltiga driften. Samtidigt är detta en del av utvecklingsarbetet när det kommer till forskning och "Test and Demo" (T&D) anläggningar, där man utifrån resultaten i framtiden kan lära sig hur man ska dimensionera och vad man kan förbättra.

En annan viktig fråga är hur det bakomliggande systemet för VVC-kretsen svarar och hur dess styrning och funktion påverkas av olika driftfall samt snabba ändringar av servereffekten. I detta fall kunde tyvärr aldrig systemet testas med en ökad returtemperatur ut, eftersom ingen tillräcklig IT-last fanns tillgänglig innan projektets slut.

Mest troligt kommer fastighetens fjärrvärmecentral kunna hantera en högre returtemperatur, VVC-kretsen, även om det normalt aldrig sker. Det eftersom undercentralen är utrustad med en extra shuntventil vid för hög temperatur på utgående tappvarmvattenledning. Detta borde dock valideras vid testning med IT-last och produktion av värme där eventuella problem på mottagarsidan om möjligt korrigeras via byggnadens styrsystem.

5 Slutsatser

Under projektets gång har de huvudsakliga frågeställningarna kunnat bearbetas med följande slutsatser:

[F.1] Högsta möjliga returtemperatur för olja i ett immersion cooling system uppnåddes genom att suga ut olja ur tanken direkt ovanför processorernas kylflänsar. I lab-miljö har de högsta temperaturerna på oljan kunnat mätas till 72°C. Den temperaturen räcker för implementering i ett lågtempererat 4:e generationens fjärrvärmesystem, samt som sommartemperatur i ett flertal fjärrvärmenät. För att uppgradera den till högtempererad fjärrvärme kan värmepumpar används. Genom vätskekylning i stället för luftkylning kan hälften av värmepumpseffekten elimineras vilket gör det mer ekonomiskt motiverat att använda återvinna överskottsvärmen.

[F.2] och [F.3] Genom att enbart använda vätskekylning i stället för luftkylning för traditionella servrar ökar inte effektintensiteten. Med nya och mer kraftfulla servrar samt HPC-kluster kan rack göras mer energitäta genom att använda vätskekylning i stället för luftkylning, när mer värme kan transporteras per volymenhet. I jämförelse med produktionsanläggningar i ett fjärrvärmesystem finns det vissa fall där ett datacenter uppnår samma energitäthet, framför allt dom produktionsanläggningar som använder biomassa.

[F.4] Med utgångspunkten i traditionell luftkylda serverrack är det en merkostnad med en faktor 3 för EPS-lösningen och 25 för Aspertias per serverplats. Förutsatt att den sammanlagda servereffekten i ett fullt rack inte överstiger 20 kW, vilket är övre gränsen för luftkylda racks bortkylningsförmåga.

[F.5] I projektet har 4 olika inkopplingsprinciper analyserats med syftet att återvinna värme från datacenter, där en byggnads VVC-krets fått utgöra ett fiktivt fjärrvärmesystem. Den mest lämpade principen är att värma vatten från returledningen till framledningen (VVC till VV), samma princip som en normal värmeproduktionsanläggning. En annan möjlig inkoppling är VVC till VVC, vilket skulle motsvara att värme returledningen i ett fjärrvärmenät, vilket i moderna nät undviks när det är på bekostnad av effekten i panna för rökgaskondenseringen.

[F.6] Vid rangordning av de olika kylteknikerna för datacenter är immersion kylning mest fördelaktig för en datacenterägare då den kräver mindre teknisk installation jämfört med on-chip kylning.

[F.7] Det största hindret för implementering av vätskekylning är främst den stora merkostnaden det medför. Genom att utveckla enklare och billigare lösningar finns stor potential för att kunna påverka branschen.

Det andra hindret är kunskap när datacenterägarens affärsmodell fokuserar på att sälja IT-tjänster och inte producera fjärrvärme. Genom forskning kan denna kunskap skapas och spridas för att gynna användandet av vätskekylning.

Det finns en tydlig trend inom branschen att flera datacenteraktörer ser ett mervärde i att nyttja sin överskottsvärme i någon form för att skapa en starkare miljöprofil vilket stärker deras varumärke.

Det tredje hindret är samarbete och ägaransvar för att tydliggöra vem som ansvarar för vad och hur avtalen mellan parterna utformas, vilket är nyckeln när värme från ett datacenter ska återvinnas till ett fjärrvärmenät.

[F.8] En vätskekylningstestbädd har upprättats vid ICE datacenteranläggning som möjliggör testning och utvärdering av vätskekylningstekniker samt värmeåtervinning där värme transporteras av någon fluid i vätskefas i alla steg. Detta ger stora möjligheter för holistisk forskning och konceptutveckling där hela systemet kan testas och utvärderas.

6 Framtida arbete

Det finns flera frågeställningar att jobba vidare med utifrån de frågeställningar som projektet studerat.

6.1 ANSLUTNING AV IT-LASTER

I nuläget har vätskekylningstestbädden endast testats med servrar som är luftkyld sedan växlats till vatten innan den når testbädden och därav kan endast låga temperaturer uppnås. Det finns redan två uppsättningar av EPS-riggar hos RISE som närmar sig att vara redo att kunna anslutas mot testbädden samt installationen av ett immersion cooling-system där båda har tagit betydligt längre tid än förväntat.

6.2 UTVECKLA REGLERSYSTEM

Ett arbete som återstår är att utveckla ett reglersystem som kopplas mot all indata (flöden, temperaturer, tryckfall med mera) som finns tillgängligt. Systemet skulle därefter styra reglerventiler, pumpar och shuntventiler för att uppnå de önskade resultat gällande möjlig värmeåtervinning samt möjligheten att ställa in ett önskat börvärde på utgående temperatur av VVC:n som lämnar testbädden.

Det systemet skulle sedan kunna vidareutvecklas och förfinas för att kunna passa andra och fler applikationer, med huvudsyftet att vara enkelt och stabilt för både upp- och nedskalning.

6.3 PÅVERKAN PÅ MATERIAL OCH IT-KOMPONENTER

Kontinuerlig drift av IT-komponenter vid högre temperaturer än rekommenderat är känt för att ha många nackdelar. En nackdel är att när temperaturen över processorn höjs ökar även energiförbrukningen på grund av större läckströmmar,²⁶ men också att högre temperaturer kan påverka livslängden för komponenterna negativt.

Genom att studera möjligheten till värmeåtervinning från IT-utrustning genom vätskekylning i relativt liten skala i en test och demonstrationsanläggning är konsekvenserna små vid eventuella haverier av IT hårdvara då ingen användare drabbas. Riskerna vägs upp av att kunna återvinna värme från vätskekylda system för IT-utrustning. Möjligen kan förluster om 10 – 15 % i form av läckströmmar ändå vägas upp mot fördelarna och vinsterna med värmeåtervinning.

Även livslängden på komponenterna måste räknas in, men eftersom den typen av tester tar väldigt lång tid att genomföra samt validera är steg ett att utreda om det ens är möjligt innan man utreder alla risker.

Det hade också varit intressant göra en livscykelanalys för att undersöka eventuellt ökad materialåtgång som kan krävas på grund av att komponenterna åldras

²⁶ Liu, Dick, Shang & Yang, 2007

snabbare och sätta värmeåtervinningen i perspektiv mot tillverkningen av nya komponenter.

En systemanalys bör genomföras som studerar förhållandet mellan datacenter och fjärrvärmesystem och om det finns någon optimal datacenterstorlek i förhållande till fjärrvärmesystemets installerade effekt. Vidare även finna balansen eller jämvikten mellan värmepumpeffekt och datacenter effekten när vätskekyllning används.

Baserat på informationen ovan bör slutligen en SWOT-analys genomföras för ett fjärrvärmesystem med vätskekyllt datacenter som värmekälla, vilket skapar ett underlag för energibolagen att kunna jobba vidare med.

7 Referenslista

- [1] H. Geng. Data Center Handbook. Wiley, 2014. isbn: 9781118436639.
- [2] Tony Day, Paul Lin och Robert Bunker. Liquid Cooling Technologies for Data Centers and Edge Applications. Tekn. rapport White Paper 265 rev 0.
- [3] Paul Lin och Tony Day. Five Reasons to Adopt Liquid Cooling. Tekn. rapport White Paper 279 rev 0.
- [4] Neil Rasmussen. "The Role of Isolation Transformers in Data Center UPS Systems". I: White Paper 98 (2010), s. 1-26.
- [5] R. Colwell, "The chip design game at the end of Moore's law," in 2013 IEEE Hot Chips 25 Symposium (HCS), Stanford University, CA, USA, 2013 pp. 1-16.doi: 10.1109/HOTCHIPS.2013.7478302 url: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HOTCHIPS.2013.7478302>
- [6] "High Performance Computing" url: <https://searchdatacenter.techtarget.com/definition/high-performance-computing-HPC> (Hämtad: 2021-05-24)
- [7] Tony Evans. The Different Technologies for Cooling Data Centers. Tekn. rapport White Paper 59 rev 2.
- [8] Chayan, Nadjahi. Hasna, Louahlia. Stephane, Lemasson. "A review of thermal management and innovative cooling strategies for data center". I: Sustainable Computing: Informatics and Systems. 19 (2018) pp. 14-28. doi: 10.1016/j.suscom.2018.05.002.
- [9] Nuoa, Lei. Eric, Masanet. "Statistical analysis for predicting location-specific data center PUE and its improvement potential". I: Energy. 201(2020) 117556 pp. 1-14. doi: 10.1016/j.energy.2020.11.117556.
- [10] Howard H. Hu. "Chapter 10 - Computational Fluid Dynamics". I: Fluid Mechanics (Fifth Edition). Utg. av Pijush K. Kundu, Ira M. Cohen och David R. Dowling. Fifth Edition. Boston: Academic Press, 2012, s. 421-472. isbn: 978-0-12-382100-3. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382100-3.10010-1>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123821003100101>.
- [11] Lauenburg, P. Teknik och forskningöversikt för fjärde generationens fjärrvärmeteknik. Institutionen för Energivetenskap, LTH 2018.
- [12] Mikko, Wahlroos. Matti, Pärssinen. Jukka, Manner. Sanna, Syri. "Utilizing data center waste heat in district heating ? Impacts on energy efficiency and prospects for low-temperature district heating networks". I: Energy 140 (2017), 1228-1238. doi: 10.1016/j.energy.2017.08.078.
- [13] Carolina, Koronen. Max, Åhman. Lars, J, Nilsson. "Data centers in future European energy systems - energy efficiency, integration and policy". I: Energy Efficiency. 13 (2020), pp. 129-144. doi: 10.1007/s12053-019-09833-8.
- [14] Marcel, Antal. Tudor, Cioara. Ionut, Anghel. Radoslaw, Gorzenski. Radoslaw, Januszewski. Ariel, Oleksiak. Wojciech, Piatek. Claudia, Pop. Ioan, Salomie. Wojciech Szeliga. "Reuse of Data Center Waste Heat in Nearby Neighborhoods: A Neural Networks-Based Prediction Model". I: Energies. 12 (2019) 814, pp. 1-18. doi: 10.3390/en12050814.
- [15] Penglei, Zhang. Baolong, Wang. Wei, Wu. Wenxing, Shi. Xianting, Li. "Heat recovery from Internet data centers for space heating based on an integrated air conditioner with thermosyphon". I: Renewable Energy. 80 (2015) pp. 396-406.

- [16] G.f. Davies, G.g. Maidment och R.m. Tozer. "Using data centres for combined heating and cooling: An investigation for London". I: Applied Thermal Engineering 94 (2016), 296-304. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.09.111.
- [17] InterReg Nord. Projektportfölj. url: <https://www.interregnord.com/wp-content/uploads/Projektportfoljversion-2021-04-15.pdf> (hämtad 2021-05-09).
- [18] Energiforsk. energiforsk.se. url: <https://energiforsk.se/> (hämtad 2021-04-20).
- [19] Futureheat. energiforsk.se/program/futureheat. url: <https://energiforsk.se/program/futureheat/> (hämtad 2021-04-20).
- [20] Erik, Lundmark. Simon, Lindgren. Jesper, Granberg. "Flödesoptimering av vätskekylda OCP servrar". Studentrapport Luleå Tekniska Universitet 2019.
- [21] Amanda, Gren. Jennifer, Johansson. Jelle, Kranenbrag. Anton, Ottosson. Flödesoptimering av vätskekylda Facebook-servrar. Tekn. rapport. F7013T, Energiteknik, LTU, jan. 2020.
- [22] EnergiFöretagen. EnergiFöretagen. Hämtad från energiforetagen.se: (2018-10-16) <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatik/fjarrvarmepriser>
- [23] Öppen Fjärrvärme. Öppen Fjärrvärme. Hämtad från oppenfjarrvarme.se: (2018-12-12) <https://www.oppenfjarrvarme.se/dagens-priser/>
- [24] Erik, Lundmark. Konstruktion och design av testbädd för vätskekyllning av datacenter. 2021, Exjobb manuskript.
- [25] G.F. Davies. G.G. Maidment. R.M. Tozer. "Using data centers for combined heating and cooling: An investigation for London". I: Applied Thermal Engineering. 94 (2016) pp. 296-304. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.09.111.
- [26] Yongpan, Liu. Robert, P. Dick. Li, Shang. Huazhong Yang. "Accurate Temperature-Dependent Integrated Circuit Leakage Power Estimation is Easy". I: Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition. 2007, pp. 1-6. doi: 10.1109/DATE.2007.364517.

VIRTUELLA VÄRMEVERK

Det här projektet handlar om möjligheter och hinder kring att övergå från luftkylning till vätskekylning av datacenter och därmed låta datacenter utgöra ett virtuellt värmeverk i fjärrvärmesystemet. Den specifika kostnaden för vätskekylning är normalt dyrare jämfört med traditionell luftkylning, men genom att sälja överskottsvärmen som fjärrvärme, finns möjligheter för att återbetala den merkostnaden inom några år.

Resultat från projektet visar att datacenter kan ersätta befintliga värmeanläggningar i ett fjärrvärmesystem. Med rätt kylteknik och IT-hårdvara erhålls samma effektintensitet. En testbädd är upprättad för att föra teknikutvecklingen av vätskekylda datacenter framåt.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin.



Energiforsk