

Optimering av ett datacenters energiförbrukning, med fokus på kylsystemet

Anton Odén, anton.oden@outlook.com
Dept. of Maths and Computer Science
Karlstad University
651 88 KARLSTAD, Sweden

Abstract—Kylsystem kan vara en stor förbrukare av energi i ett datacenter. Luftkylning har fördelar av att vara marknadsmodet sen länge men det finns nackdelar i att endast förlita sig på denna teknik. Luftkylningen bör kombineras med gratis kylning, magasinering av vatten och en återvinningsplan på den värmeenergi som skapas. Vätskekylning är ett komplement som kan vara ett måste i högpresterande processorer då luft ej har tillräckligt stor värmeledningsförmåga, men det går även att ta det ett steg längre och sänka ner hela serverna i kylarvätska. Huvudspåret bör alltid vara att få ett så effektivt utnyttjande av energi som möjligt.

I. INTRODUCTION

Människan gör sig allt mer beroende av digitala hjälpmedel. Utvecklingen har skett på mindre än en mansålder och har ökat exponentiellt. Det är egentligen väldigt svårt att förutspå hur mycket vi kommer använda oss av och hur beroende vi kommer vara av digitala medel i framtiden.

För att det digitala systemet ska fungera som vi förväntar oss, är vi beroende av datacenter. Därför har antalet datacenter i Europa ökat med 5% per år mellan 2017 och 2022 [6]. Under åren 2020 till 2022 så påskyndades utvecklingen tack vare Covid19-pandemin, som gjorde att många behövde kunna arbeta hemifrån, vilket ställde högre krav på fungerande system. Det senaste året har fokuset skiftat till AI, men vilken anledning det än är till att datacenter byggs ut, så sker det i en snabb takt.

Datacenter behöver elektrisk energi för att operera. Operationerna omvandlar den elektriska energin till värmeenergi. För att serverna ska fortsatt operera behöver värmeenergin transporteras bort, vilket kan ske på olika sätt. I ett luftkylt datacenter kan kylningen stå för 40% av strömförbrukningen vilket ger PUE-värden närmare 2.0 [8][1], medans modernt uppbyggda datacenter som exempelvis Metas datacenter i Luleå [7], presenterar PUE-värden så låga som 1.09. Enligt dom själva är detta tack vare gratis kylning och tillförlitlig strömdistribution. Detta visar att planerad kylning i kombination med lokalisering av datacenter bidrar till en mer effektiv energianvändning. [15] Uptime institute presenterade 2022 att det genomsnittliga rapporterade PUE-värdet låg på 1.55.

II. BAKGRUND

För att få en matematisk förståelse över ett datacenters strömförbrukning så delas de olika strömförbrukarna upp [8]. Strömförbrukningen av serverna kan benämnas P_{IT} , kylningsanläggningen $P_{kylning}$, strömdistribuering P_{strom}

och övrig förbrukning för att bland annat hålla lokalerna trivsamma för arbetarna, P_{ljus} . För att sedan jämföra datacenterets strömförbrukning med fokus på de delar som inte har med servernas arbete att göra så divideras alla förbrukningar med P_{IT} . Vi får av detta ut ett PUE-värde (Power usage effectiveness) där det idealiska är att PUE-värdet blir 1.0.

$$PUE = \frac{P_{IT} + P_{strom} + P_{kylning} + P_{ljus}}{P_{IT}} \quad (1)$$

Kärnan av datacenteret är en mängd servrar som i sig är en mängd processenheter (CPU, GPU etc.), minnen och hjälpkomponenter. När dessa komponenter arbetar så omvandlas elektrisk energi till värmeenergi. Denna värme skadar komponenterna när den uppnår nog höga temperaturer. Därför behövs ett system för kylning för att transportera bort denna värme.

A. Luftkylning

Det vanligaste sättet att kyla datacenter är via luftkylning. Det går till så att kyld luft riktas genom serverna med hjälp av fläktar [8] [2]. Luften värms upp av de varma serverna och leds vidare till en anordning som kyler den. Därifrån leds sedan den kylda luften tillbaka mot serverna. Detta görs via fläkt-och tunnelsystem.

B. Flytande kylning

Ett annat sätt att kyla datacenteret är med ett flytande ämne [14]. Vatten är det mest vanliga. Men det finns många andra kylmedel så som t.ex HFC134a eller HFO1234ze. Vätskan kan via ledningar föras tätt intill de delar i serverna som skapar mest värme, eller användas för att kyla ned den luft som i sin tur genomför den direkta kylningen. Vätskan värms upp och pumpas sedan bort för att åter kylas. En flytande vätska blir beroende av pumpar och bibehållet tryck i ledningssystemet. Använt ett antistatiskt kylmedel [4] så kan hela serverna sänkas ner i ett bad av kylmedel.

C. Tvåfaskykylning

Tvåfaskykylning heter så för att det ämne som används för värmetransport ändrar tillstånd från flytande till gas. Detta då ämnets gastemperatur är lägre än temperaturen på de varma komponenterna. I gasform transporteras kylmedlet till en kondensator som kyler ner gasen igen och sedan pumpas samma kylmedel tillbaka igen, nu i flytande form.

D. Gratis kylning

Vi kan utnyttja kylan i luften eller vattnet (massa) utanför datacentrets byggnad, genom att ta in massa i vårt system eller låta massan transportera bort värme från vårt slutna system. Samma mängd massa som tas in måste dock kunna avlägnas, men en fördel är att den luft eller vatten som avlägsnas kan återvinnas.

E. Återvunnen energi

Det går att återanvända värmeenergin, för att få ytterligare effektivitet. Detta kan som i Boden [9] innebära att värmen transporteras till ett intilliggande växthus. Där skapar den en växtzon uppe i kallaste norden, där grönsaker kan odlas året om.

$$PUE = \frac{P_{IT} + P_{strom} + P_{kylning} + P_{ljus} - P_{atervinn}}{P_{IT}} \quad (2)$$

Vid återvinning av värmeenergin [8] subtraheras strömåtgången med $P_{atervinn}$ i PUE ekvationen. $P_{atervinn}$ är den mängden ström som skulle behövts användas för att till exempel värma upp växthuset i Boden utan datacentrets värme. Detta skulle teoretiskt sett kunna ge ett PUE-värde under 1.

III. ANALYS

En fördel med luftkylning är att det är det vanligaste kylningsanläggningen och delvis därför enklare att underhålla [16]. En trasig fläkt är mer normalt för en operatör att byta ut än pumpar, rör och slangkopplingar i ett vätskesystem. Vätskesystemet behöver på grund av läckrisken mer övervakning vilket också blir en kostnad utöver utbildning.

En nackdel med luft är att [8] anläggningen för att kontrollera luftflödet tar upp väldigt mycket plats. [18] Eftersom lufts värmeledningsförmåga är 23ggr mindre jämfört med vattnet så blir det mycket mer massa som behöver transporteras. Detta gör att transportrummet för luft måste ha större dimensioner än för vatten.

Andra nackdelar med luftkylning är dess relativa höga ljudnivå [4], att den relativa luftfuktigheten behöver hanteras och att dess värmeavledningsförmåga kan överstigas vid högre koncentration av energi.

För att undvika att behöva kyla ner all luft med element (CRAC) [1] som kan bli 40% av datacentrets strömförbrukning [11], kan luft tas in utifrån [5]. Detta kräver en utbyggd anläggningen för att rengöra den inkommande luften på partiklar och ge den rätt luftfuktighet. På detta sätt kan förbrukningen sänkas med 45%.

Även vatten kan tas in utifrån men då finns det mer regleringar på mängden insamlat vatten som behöver följas [12]. Vid användande av vattenmagasin kan vatten samlas när den är tillgänglig eller när det är billigare att kyla den. Sen kan vi använda det kylda vattnet när elen är dyrare och på detta sätt få ner våra kostnader för kylning.

När de kommer till vätskekylning så kan en högre precision på kylningen nås [14] genom att föra vätskorna nära komponenterna. Om vatten används så finns en risk för läckor

som är skadliga [3]. Därför är det en fördel att använda sig av antistatiska vätskor även om läckor ska undvikas även då. Riskerna sänks och därmed underhållskostnaden. Flera av de kylmedel som används som t.ex HFC134a kan kännas igen från de AC system som används för att kyla ner kupén i bilar. [10] Kylmedel har GWPvärden vilket gör att det är viktigt att välja rätt, då det precis som på bilar kan uppstå läckor. Till exempel har kylmedel som HFC134a har en co2e på 1300.

På grund av kylmedlens höga precision och lägre beroende av yta så är de ett bra komplement på högpresterande enheter. Då mycket utveckling just nu sker för att få fram de snabbaste AI kretsarna så kan strömförbrukning toppa i närtid och det kan ta tid innan Koomeys lag kommer in och korrigerar detta [17], kanske aldrig om datacentret vill fortsätta ha den senaste tekniken med fokus på prestanda.

Tvåfaskylning är en annan nisch av kylmedel. En fördel med tvåfaskylning är att det i gasform transporterar sig på självtryck. Vi får därför en lägre strömkostnad för pumpar vilket är en betydlig del i vätskesystem. En tvåfaskylning kan kombineras med en lösning där serverutrustningen är nedsänkt i vätskan. Detta kräver stora kostnader [12] i ombyggnad av datacenter men vid högpresterande servrar kan det vara motiverat. En nackdel för nedsänkt kylning är att underhållet kan också bli högre då operatörer behöver utbildas och ett tvåfaskylsystem behöver vara slutet för att samla in gasformen. Då behöver servrarna antagligen gå ner i värmeutveckling vid underhåll som kräver brytning av förslutningen.

När det kommer till att återvinna energin har vi sett exempel på att energin använts för att värma upp växthus på kalla platser. Med det i åtanke kan tänkas att intilliggande byggnaders [13] värmesystem kan kopplas ihop. Fördelen med vatten är att den är en bättre transportör av värme. Dessutom så används vatten i våra byggnaders värmesystem redan vilket gör det till ett bra element att koppla ihop med datacenters vätskesystem. Därför blir vattnet i kombination med gratis luftkylning en effektiv energilösningen. För att minska underhållskostnad i oro för vattenläcka så bör vattenkylda dörrar som monteras på serverrackarna nyttjas som den varma luften får transporteras genom för att värma upp vattnet. På detta sätt har en superdator på KTH värmt upp intilliggande labbsalar.

IV. SLUTSATS

Denna artikel har redovisat kylsystem för luftkylning, flytande kylning och tvåfaskylning. Matematiska formler har visat hur det går att benchmarka ett datacenter enligt PUE och genom att titta på gratis kylning kunnat se att PUE-värdet kan sänkas drastiskt. Utnyttjandet av gratis kylning kräver ytterligare infrastruktur för att ta tillvara på denna resurs. För att ytterligare sänka data centrets energiavtryck kan återvinningsmöjligheter av energin planeras in genom att värma upp intilliggande byggnader. Denna artikel ger läsaren en bättre förståelse för hur ett datacenter kan kylas och att framtiden kräver en mer effektivt utnyttjande av energin där gratis kylning utnyttjas och vätskekylningens energi återvinns.

REFERENCES

- [1] Giulio Capozzoli Alfonso. Primiceri. "Cooling Systems in Data Centers: State of Art and Emerging Technologies". In: *Elsevier Ltd* (2015).
- [2] Zhabelova G. Vesterlund M. Eschmann S. Berezovskaya Y. Vyatkin V. Flieller D. "A Comprehensive Model of Data Center: From CPU to Cooling Tower". In: *IEEE Access*, *IEEE*. 6:61254-61266 (2018).
- [3] Ali C. Kheirabadi. Dominic Groulx. "Experimental evaluation of a thermal contact liquid cooling system for server electronics". In: *Dept. of Mechanical Engineering, Dalhousie University, Halifax, NS, Canada* 129 (2018).
- [4] Yufei Song. Zhiguo Liu. Shiwu Li. Qingyong Jin. "Design and Optimization of an Immersion Liquid Cooling System in Internet Datacenter". In: *International Information and Engineering Technology Association* 39 (2021).
- [5] Ai Chuanxian. Chen Yinghu. Zhang Liang. "Energy Efficiency Analysis of Data Center Based on All-Inverter Coupled Air-Side Free Cooling Technology". In: *IEEE: Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)* (2023).
- [6] Bram De Rijk Lydia Brissy. "European Data Centres Deep dive in the data sphere". In: *Savills research* (2022).
- [7] META. *Welcome to Facebook Luleå Sweden*. <https://www.metacareers.com/life/welcome-to-facebook-lulea-sweden>. 2017.
- [8] Lemasson Stéphane Nadjahi Chayan Louahlia Hasna. "A review of thermal management and innovative cooling strategies for data center". In: *Elsevier Science B.V., Amsterdam* (2018).
- [9] Mats Persson Tomas. Rönnelid. "Lågtemperaturuppvärmning av växthus: En litteraturstudie". In: *Energiinnovation Energikompetenscentrum Rapport*. (2021).
- [10] GHG Protocol. *Global warming potential (GWP) values relative to CO2*. <https://ghgprotocol.org/>. 2014.
- [11] Amalfi Raffaele L. Cataldo Filippo. Thome John R. "An Optimization Algorithm to Design Compact Plate Heat Exchangers for Waste Heat Recovery Applications in High Power Datacenter Racks". In: *2019 18th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems* (2019).
- [12] Robert Sheldon. "Liquid cooling vs. air cooling in the data center". In: *www.techtarget.com* (2022).
- [13] Mario Romero. Hanna Hasselqvist. Gert Svensson. "Supercomputers Keeping People Warm in the Winter". In: *KTH* (2014).
- [14] Jackson Braz Marcinichen. Jonathan Albert Olivier. John Richard Thome. "On-chip two-phase cooling of datacenters: Cooling system and energy recovery evaluation". In: *Applied Thermal Engineering* 41 (2011).
- [15] uptimeinstitute.com. *Uptime Institute's 2022 Global Data Center Survey Reveals Strong Industry Growth as Operators Brace for Expanding Sustainability Requirements*. <https://uptimeinstitute.com/about-ui/press-releases/2022-global-data-center-survey-reveals-strong-industry-growth>. 2022.
- [16] Bob Violino. "Data center cooling: Pros and cons of air, liquid and geothermal systems". In: *www.networkworld.com* (2024).
- [17] Jonathan G. Koomey. Stephen Berard. Marla Sanchez. Henry Wong. "Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing". In: *IEEE Computer Society* (2011).
- [18] www.engineeringtoolbox.com. *Solids, Liquids and Gases - Thermal Conductivities*. https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html.