



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA VÝPOČETNÍCH SYSTÉMŮ

USE OF WASTE HEAT OF COMPUTING SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Švehla

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radomír Chýlek

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Michal Švehla**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Radomír Chýlek**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využití odpadního tepla výpočetních systémů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Smyslem této bakalářské práce je zhodnocení využití odpadního tepla generovaného výpočetními systémy a datacentry. V úvodu budou popsány základní způsoby chlazení výpočetních systémů a jejich specifika. Dále budou představeny způsoby a trendy využití tepla generovaného výpočetními systémy ve světě. Závěrem budou tyto způsoby vzájemně porovnány na základě dostupných dat v odborných publikacích. Důraz bude kladen na vhodnost, rizikovost a smysluplnost v daných podmínkách, a také na ekonomický a ekologický smysl těchto chladicích celků.

Cíle bakalářské práce:

Detailní popis jednotlivých způsobů chlazení výpočetních systémů a datacenter.

Rešeršní rozbor způsobů a trendů pro využití odpadního tepla generovaného těmito celky ve světě.

Vyhodnocení dat získaných rešerší odborných pramenů s důrazem na reálné využití a ekonomický a ekologický dopad těchto chladicích celků.

Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4300-6.

WAHLROOS, Mikko, Matti PÄRSSINEN, Samuli RINNE, Sanna SYRI a Jukka MANNER. Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018, 82, 1749–1764. ISSN 18790690.

DAVIES, Gareth. F., Graeme G. MAIDMENT a Robert M. TOZER. Using data centres for combined heating and cooling: An investigation for London. Applied Thermal Engineering. 2016, 94, 296–304. ISSN 13594311.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Využívání odpadního tepla z výpočetních systémů je poměrně novou oblastí. Cílem této bakalářské práce bylo ucelení již známých informací z tohoto odvětví, včetně podrobnějšího popisu již fungujících řešení. V práci jsou popsány způsoby chlazení, které se používají v datacentrech a především možnosti, jak s odpadním teplem nakládat. V závěru je ukázáno, jak vyhodnotit vhodnost využití odpadního tepla vzhledem k výkonu datacentra i návratnosti dané investice.

Klíčová slova

Odpadní teplo, využití tepla, nízkopotenciální teplo, výpočetní systémy, datacentra

ABSTRACT

Using waste heat from computer systems is quite a new area of research. The goal of this bachelor thesis is to summarize known information from this field, including descriptions of already running data centers. There are described ways of cooling which are used in data centers and mainly possibilities how to use waste heat. In the end there is shown how to evaluate suitability of using waste heat in view of data center power as well as return.

Key words

Waste heat, using heat, low grade heat, computer systems, data centers

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVEHLA, Michal. *Využití odpadního tepla výpočetních systémů* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129707>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Radomír Chýlek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Využití odpadního tepla výpočetních systémů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Radomírovi Chýlkovi za pomoc, ochotu a rady, které mi při tvorbě této práce poskytl.

OBSAH

Úvod	11
1 Výpočetní systémy jako zdroj tepla	12
1.1 Podoba serverovny	12
1.2 Vliv teploty a vlhkosti	13
2 Způsoby chlazení výpočetních systémů	14
2.1 Větrání	14
2.2 Klimatizace	14
2.3 Free cooling	15
2.4 Voda	16
2.5 Olej	16
3 Využití odpadního tepla z výpočetních systémů	17
3.1 Proč je potřeba jej využívat	17
3.2 Tepelné čerpadlo	17
3.3 Topení	19
3.4 Předehřev vody	20
3.5 Ohřev vody	20
3.6 Sušení	21
3.7 Výhřev chodníků a cest	21
3.8 Organický Rankinův cyklus	21
3.9 Absorpční chlazení	21
4 Podrobný rozbor vybraných případů z praxe	23
4.1 Centrální systém zásobování teplem	23
4.2 Teplo a TUV v rámci budovy a přilehlém okolí	24
4.3 Vytápění rodinného domu	26
4.4 Výroba a pěstování potravin	28
5 Vyhodnocování způsobů využití odpadního tepla z výpočetních systémů	30
5.1 Zhodnocení způsobu využití vzhledem k výkonu	30
5.2 Finance a návratnost investice	31
5.3 Možnosti pro datacentra, které momentálně odpadní teplo nevyužívají	32
5.4 Výhled do budoucna	32
Závěr	33
Seznam použitých zdrojů	34
Seznam použitých symbolů a zkratk	37

Úvod

Využívání odpadního tepla není žádným novým oborem, ovšem o využívání tepla z výpočetních systému by se dalo říct, že tato oblast není ještě dostatečně prozkoumaná. Počítače a servery jsou stále poměrně novou záležitostí, což může být jedním z důvodů, proč je využívání tepla z nich novým oborem.

Se stoupající poptávkou po větších výpočetních výkonech, cloudových a streamovacích službách roste i množství datacenter, které vznikají po celém světě a s nimi i jejich spotřeba elektrické energie. Spotřeba elektřiny výpočetními systémy však znamená, že se většina spotřebované energie přemění na teplo, které v současné době není využíváno, a naopak je nejčastěji odváděno či ochlazováno za použití další elektřiny a následně vypouštěno ven. Elektřina však i přes snahu mnoha států z celého světa není vyráběna příliš ekologicky, a tak přispívá ke zhoršení ekologické situace na zemi.

Je tedy nutné tuto skutečnost nepřehlížet a nebrat ji na lehkou váhu. Důkladný průzkum tohoto odvětví navíc nemusí přispět jen ke zmírnění dopadů na okolní prostředí, ale také ke snížení výdajů datacenter za energii, jak potvrzují již fungující řešení.

Aby bylo možné toto odvětví řádně zkoumat, je nutné zjistit a ucelit informace, které jsou již známy. K tomu by měla také posloužit tato práce, ve které jsou shrnuty a popsány způsoby chlazení výpočetních systémů a možnosti jak a k čemu odpadní teplo využívat. Možnosti využití jsou doplněny o reálné příklady, z nichž některé jsou popsány detailně v následující kapitole. V té se nachází i další projekty ze světa. V poslední kapitole jsou všechny poznatky využity k vytvoření shrnutí, které by mělo napomoci při vyhodnocování možností, jak a jestli odpadní teplo z daného datacentra skutečně využívat. Hodnocen je výkon datacentra, návratnost investice a také, zda je vhodné systém na využití tepla zapojovat k již fungujícímu datacentru. V úplném závěru je naznačen výhled do budoucna pro probírané odvětví.

1 Výpočetní systémy jako zdroj tepla

Výpočetní systém nebo technika je označení pro stroj, který je schopen provádět výpočty. V dnešní době jsou nejznámější v podobě počítačů nebo mobilních telefonů. Tato práce se zabývá využitím tepla generovaným právě počítači či podobnými systémy.

Datová centra spotřebují přibližně 1,3 % celosvětově vyrobené elektrické energie. [1]

Stolní počítač může spotřebovat stovky wattů, malá serverovna jednotky kilowattů, ale velká datacentra i desítky megawattů. Většina této energie (více jak 90 %) je spotřebována na provádění výpočtu a tím následně přeměněna na energii tepelnou.

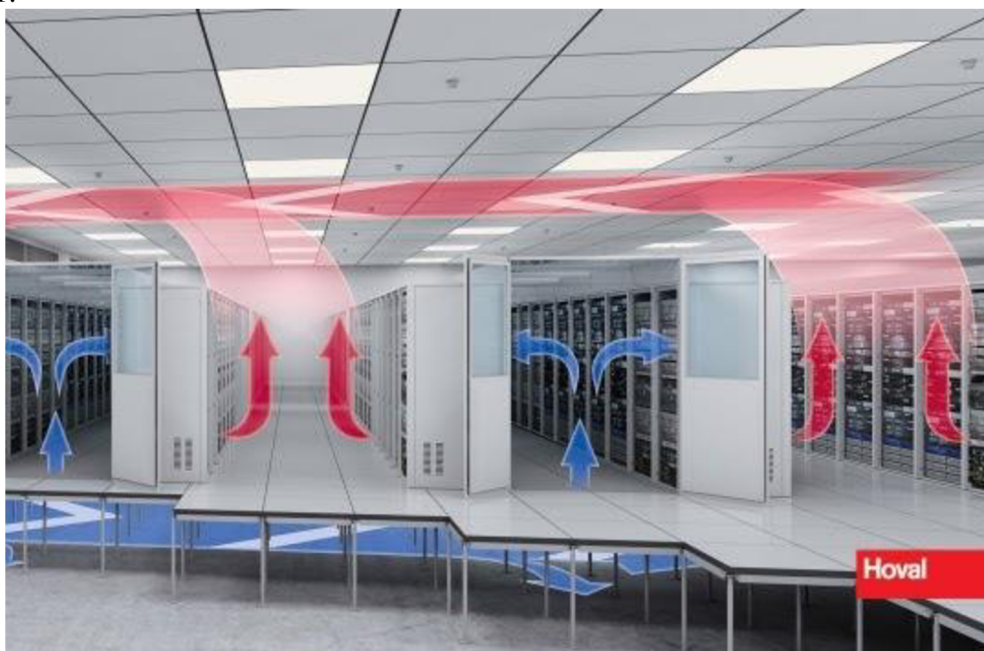
1.1 Podoba serverovny

Jako serverovna se označuje místnost (někdy i hala), která je určena především k provozu výpočetní techniky. Svou velikostí, výkonem, příkonem a spoustou dalších parametrů se mohou zásadně lišit. Pro tuto práci budou důležité již zmíněné údaje o serverovnách, ale také jejich umístění v rámci budovy.

Jednotlivé komponenty a celé servery bývají uloženy do rackových skříní, které jsou často normalizované. Jejich rozmístění se může lišit, nejčastěji vychází ze způsobu chlazení místnosti. Existuje ovšem pár doporučení, které by měla dodržovat každá serverovna. Jedná se o následující:

- Mít dostatečný přehled o teplotě a vlhkosti v místnosti
- Hlásiče požáru a vhodné hasící zařízení
- Předem promyšlený a přehledný systém veškeré kabeláže
- Záložní zdroj elektrické energie – UPS – buďto pokryjí celý výpadek elektřiny nebo alespoň poskytnou dostatek času pro postupné vypnutí všech systému, aby nedošlo k poškození či ztrátě dat
- Fyzické zabezpečení
- Místnost by neměla mít okna a ideálně by na ni měly mít venkovní podmínky co nejmenší vliv
- Při budování nové serverové místnosti by se také mělo myslet na budoucnost a nechat si dostatek prostoru pro případné rozšíření [2]

Často se setkáváme s rozložením do teplých a studených uliček, jak je možno vidět na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 Schéma serverovny využívající teplé a studené uličky [3].

Na obrázku je také zřetelné, že v místnosti je vyvýšená podlaha. To přidává možnost kudy vést studený vzduch nebo taky potřebnou kabeláž.

Jednodušší řešení, také velice obvyklé (především u menších serverů), než studené a teplé uličky je zkrátka chladit celou místnost, ve které jsou rackové skříně. Ideální teplota v takové místnosti činí 20 °C až 24 °C.

1.2 Vliv teploty a vlhkosti

Na všechny komponenty výpočetních systémů má určitý vliv teplota a vlhkost v jejich okolí. Zatímco u teplot se v reálném světě objevuje jeden problém, a to je vysoká teplota, u vlhkosti se řeší extrémy dva – příliš nízká a příliš vysoká vlhkost.

Pokud se v okolí serveru zvýší teplota nad určitou hranici (konkrétní teploty se liší podle jednotlivých komponentů, výrobců i kvality jednotlivých prvků), zvyšuje se pravděpodobnost, že dojde k chybě, která může ohrozit celý server. S vyšší teplotou se také snižuje životnost komponent.

Maximální doporučené teploty pro nejběžnější komponenty serveru:

- Základní deska – do 80 °C
- Procesor – do 80 °C
- Paměti RAM – do 50 °C
- Pevný disk – do 45 °C
- Grafické karty – do 85 °C [4]

Tyto zdánlivě vysoké teploty jsou však hraniční, proto bývají komponenty udržovány na nižší teplotě.

Chlazení serveroven se stále inovuje, putují do něj velké investice, ať už do vývoje či výstavby a také spotřebovává nemalou část energie, která je využívána v datových centrech. [5]

Způsoby chlazení jsou popsány v další kapitole.

Kromě teploty je také důležité sledovat vlhkost v místnosti, kde se výpočetní systémy nacházejí. Obecně se udává, že ideální relativní vlhkost pro komponenty výpočetních systémů je mezi 40 a 60 procenty. Při nižších hodnotách může dojít ke vzniku elektrostatického náboje, který může server poškodit. Naopak při vyšších hodnotách relativní vlhkosti může dojít ke kondenzaci a následné korozi. [6]

2 Způsoby chlazení výpočetních systémů

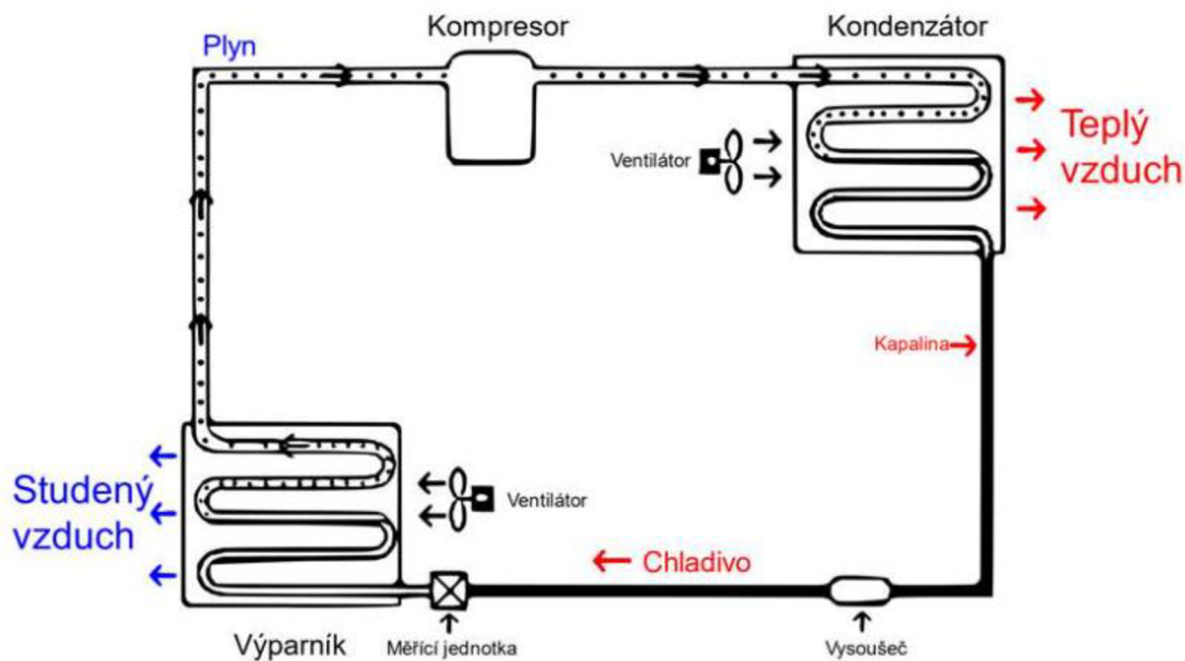
2.1 Větrání

Chlazení větráním je nejjednodušší způsob, jak se zbavovat přebytečného tepla v místnosti. Odpovídá tomu také jeho účinnost. Ochlazovat výpočetní techniku pouze větráním je dostatečné v místnostech, kde se nacházejí osobní počítače. Pokud se jedná o výkonné stroje a je jich v místnosti více, nemusí větrání vystačit ani na to. Záleží na možnostech vzduchotechniky v rámci budovy a jestli je možné teplo někam odvětrávat (a nejlépe ho nějak využívat).

2.2 Klimatizace

Nejběžnějším způsobem chlazení místností, kde se nachází výpočetní systémy o nezanedbatelném příkonu, je klimatizování. Jedná se o jednoduchý způsob, který dobře plní svůj účel.

Klimatizační jednotky musí být vždy minimálně dvě (výjimkou jsou přenosné klimatizace, ale ty se u výpočetních systémů nepoužívají) - vnitřní a venkovní. Vnitřní část se skládá z expanzního ventilu a výparníku. Díky ventilátoru u výparníku je chlad dodaný chladicí kapalinou o nízké teplotě distribuován do prostoru. Zároveň dojde k ohřátí chladicí kapaliny (a přechodu z kapalného skupenství na plynné), čímž se odebere část tepla z místnosti. Chladicí kapalina (v plynném skupenství) je následně vedena do venkovní jednotky, kde je díky kompresoru zvýšen její tlak a teplota. Teplo je následně odváděno přes kondenzátor s ventilátorem do venkovního prostoru a z plynné látky se stává kapalná. Poté již ochlazená chladicí kapalina putuje zpět do vnitřní jednotky. Celý proces je ukázán na schématu viz. obr. 2.1.



Obr. 2.1 Schéma klimatizace [7].

Pro využití klimatizací však musí být splněny některé podmínky (ty jsou náročnější pro klimatizace přesné – které se používají v serverovnách, oproti klimatizacím komfortním – vhodným do kanceláří, pokojů apod.).

Požadavky na klimatizace do serveroven:

- Chladicí výkon klimatizačního zařízení musí odpovídat celkové tepelné zátěži serverovny, tj. nejen teplo produkované samotnými výpočetními systémy, ale také podpůrnými zařízeními či okolím (v úvahu musí být bráno teplo z okolních místností, poloha místnosti v rámci budovy, zda je v serverovně okno, kterým může svítit slunce atd.).
- Schopnost fungovat nepřetržitě po celý rok za libovolných venkovních teplot.
- Správná volba typu jednotky – podle umístění v místnosti, instalačních možností. [8]

Tepelnou zátěž lze zjistit sečtením příkonů všech spotřebičů v místnosti, tedy především komponentů serveru, ale například také osvětlení.

Hlavní nevýhodou klimatizací je jejich vysoká spotřeba elektrické energie a s tím spojené náklady a vliv na ekologii. Tato práce se proto zabývá způsoby, jak chladit VS levněji, ekologičtěji a tak, aby se vzniklé teplo smysluplně využilo.

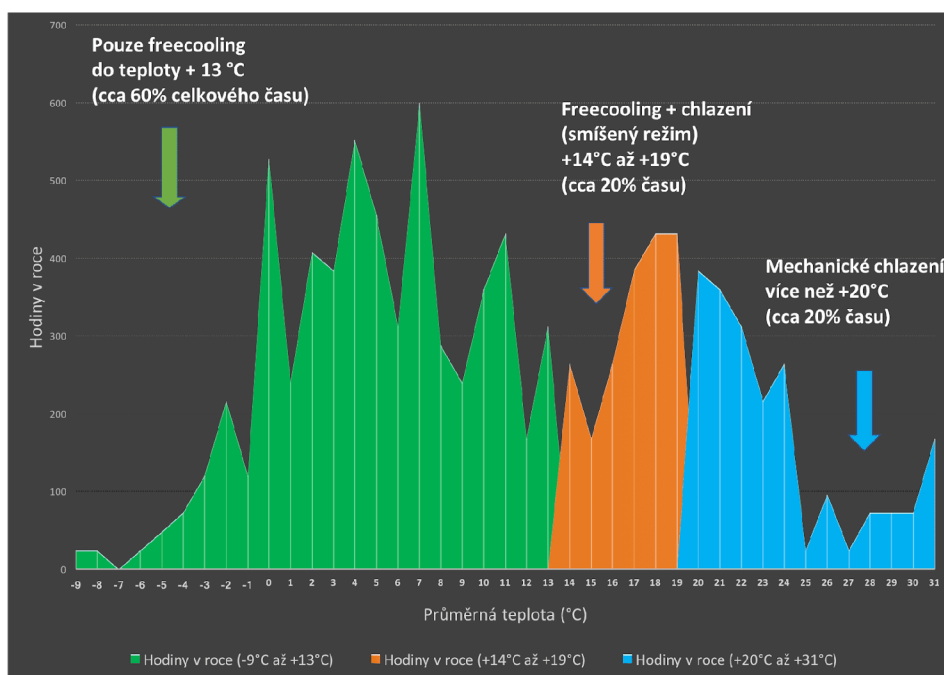
2.3 Free cooling

Do češtiny překládáno jako “chlazení s přirozeným prouděním” nebo “volné chlazení”. Způsobů, jak může free cooling fungovat, je více.

Nejjednodušší je verze “přímý free cooling” - pouhé přivádění chladnější vzduchu z venku a vyfukování toho teplého zevnitř. Obyčejnost tohoto řešení má spoustu nevýhod. Nelze aplikovat při vyšších teplotách, vzduch z venkovního prostředí obsahuje spoustu nečistot a má proměnlivou, někdy nechtěnou, hodnotu vlhkosti (která může poškozovat jednotlivé komponenty). [9] Pro komponenty VS je ideální vlhkost v rozmezí 45 % až 55 %. [6, 10]

Druhou možností je “nepřímý free cooling” - oproti přímému je ochlazování prováděno pomocí sekundárního média – kapaliny. Kapalina se venku ochladí a uvnitř (v serverovně) ohřeje, čímž odvede část tepla. [9]

Nejkomplexnějším řešením je spojení free coolingu s mechanickým chlazením. Tím vznikne ideální kombinace celoročního chlazení (za všech vnějších teplot) s úsporou energie oproti využití pouhé klimatizace.



Obr. 2.2 Grafické znázornění počtu hodin v roce v závislosti na teplotě [9].

Tento graf (obr. 2.2) ukazuje kolik procent času v roce (konkrétně pro Prahu v roce 2016) bylo možno využívat jen free cooling, free cooling s mechanickým chlazením a pouze mechanické chlazení. Firma Advanced Cooling & Heating Systems uvádí: “Úspory při celoročním využívání freecoolingu pro chlazení elektrických zařízení a IT technologií, které vyžadují chlazení 24/7 přesahují 50 % oproti klasickému mechanickému chlazení (klimatizace, chillery).” [9]

2.4 Voda

Vodou chlazené často bývají osobní počítače o vyšších výkonech (například herní), ale také servery. K chlazení vodou se nemůže používat obyčejná voda, která teče z kohoutku – ta je totiž elektricky vodivá, a to je velice nežádoucí vlastnost mezi elektronickými součástmi. Proto se používá voda destilovaná. Ta ovšem má kyselé pH (6,22) a proto se do ní musí přidat látky, které pH zvýší na hodnoty 8–10, což jsou ideální hodnoty pro vodu využívanou k chlazení výpočetních systémů. Zásadité prostředí zabraňuje vzniku koroze či organismů (bakterie, řasy a houby). [11]

Voda prochází tenkým potrubím okolo všech komponent, které je nutno chladit. U každého z nich se potom nachází "studená destička", která je ochlazována proudící studenou vodou a ochlazuje součástku. Tento způsob chlazení se nazývá přímý.

Nepřímý způsob nevede vodu mezi komponenty, ale pouze po zadní straně rackové skříně. Vzduch z místnosti, ve které se server nachází, je nasáván a hnán okolo součástek výpočetního systému, který je vzduchem ochlazen. Naopak ohřátý vzduch předá své teplo vodě ve výměníku na zadní stěně skříně.

2.5 Olej

Chlazení olejem probíhá tak, že celý server je ponořen do lázně (vany) naplněné olejem. Olej vede teplo až 1200x lépe než vzduch, což je hlavní výhodou. Základem je, aby byl olej nevodivý. Dále se pak klade důraz na schopnost přenosu tepla a trvanlivost oleje. Ta může trvat i desítky let. Do oleje mohou být ponořeny všechny komponenty běžné pro servery kromě pevných disků. Ty musí být buďto speciálně chráněny nebo nahrazeny SSD, které neobsahují žádné pohyblivé částice (v době psaní práce jsou však stále podstatně dražší než klasické HDD). [12]

V Česku tento způsob chlazení využívá společnost Wedos, která poskytuje webhosting a již roky zkoumá, jak nejlépe chlazení olejem využít. Důkazem jsou plány na stavbu jejich třetího datacentra, které bude vybaveno pouze olejem chlazenými servery. [13]

3 Využití odpadního tepla z výpočetních systémů

Výpočetní systémy generují pouze nízkopotenciální teplo, které lze využít pouze k pár níže popsaným činnostem.

3.1 Proč je potřeba jej využívat

Hlavní důvody pro využívání odpadního tepla jsou dva. Jde o ekologii a ekonomii.

Přibližně 63 % světové elektrické energie se vyrábí z fosilních paliv, tzn. jejich spalováním, při němž vzniká oxid uhličitý, který přispívá ke globálnímu oteplování, a tudíž se jedná o nežádoucí efekt. Proto je z ekologického hlediska vhodné využívat odpadní teplo, jelikož se tak spotřebuje méně elektrické energie. V konkrétním případě pro serverovny – nejenže není potřeba tolik energie (nebo není potřeba žádná), například na ohřátí vody (pokud OT využijeme právě na ohřev vody), ale zároveň se sníží spotřeba energie, která je vydávána na chlazení počítačových systémů. [11]

Zbylých 37 % elektrické energie, která není vyrobena z fosilních paliv (v jaderných, vodní, větrných a dalších elektrárnách), také ovlivňuje ekologii. Ať už výrobou dalšího odpadního tepla, spotřebou energie a prostředků na stavbu samotných elektrárny nebo ve výjimečných případech katastrofou, která může poškodit nejen majetek ale i přírodu.

Pokud by využití OT přinášelo pouze tyto výhody, využívala by jej nejspíš každá firma s větší serverovnou. Někdy se ovšem využití OT nevyplatí ekonomicky, a proto jej společnosti nevyužijí. Pokud se zřizovatel výpočetního centra rozhodne využívat odpadní teplo, většinou to vyžaduje jistou finanční zátěž na stavbu a pořízení nutných systémů. Proto je důležité každý projekt důkladně zhodnotit a zjistit návratnost této investice. V nevhodných podmínkách se může stát, že by návratnost byla až příliš dlouhá. Mimo pořizovací cenu to mohou také ovlivnit faktory jako je vzdálenost zdroje OT od místa, kde by se OT využilo, potenciál tepla nebo možnosti využití tepla v čase, respektive dle venkovních teplot v průběhu dne či roku. Pokud se firma rozhodne využívat OT, může ušetřit na spotřebě energie vynaložené na chlazení a zároveň energie využívané na ohřev vody, vzduchu či čehokoliv jiného. Čímž může časem dosáhnout úspor.

V roce 2018 spotřebovaly datacentra 205 TWh neboli 1 % z celosvětové spotřeby elektrické energie. Z těchto 205 TWh je přibližně 40 % (průměrná hodnota pro servery ve světě) elektrické energie spotřebované pouze na chlazení. Za předpokladu, že by se dalo všechno chlazení eliminovat a OT místo toho využít, atmosféra by byla ušetřena 38 milionů tun CO₂ ročně. Tento předpoklad vychází pouze z eliminace chlazení a jeho spotřeby elektriny, nezapočítává ušetřenou energii, která je využívána na topení, ohřev vody atp. a která by nebyla potřeba, pokud ji nahradí odpadní teplo. To už závisí na efektivitě, se kterou se odpadní teplo využije. [14]

V porovnání s celosvětovými uhlíkovými emisemi vzniklými v souvislosti s elektrickou energií, které za rok 2018 činily 33 Gt, je ušetřených 0,038 Gt CO₂ velice málo (konkrétně 0,001 %), ale v pohledu pouze na datacentra, která spotřebují 1-1,5 % celosvětově vyrobené elektriny, je rozdíl zásadní. Při výrobě elektrické energie pro datacentra vznikne 0,33-0,5 Gt CO₂, a tedy ušetřených 0,038 Gt představuje přibližně 10 procent. [14]

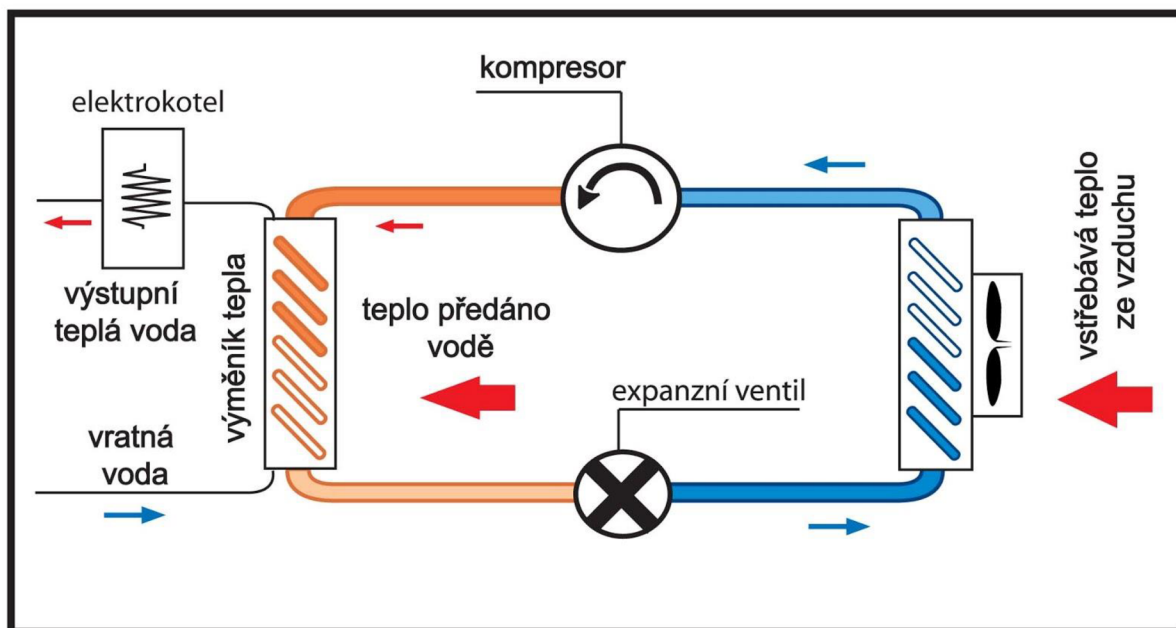
3.2 Tepelné čerpadlo

Jednoznačným důvodem pro využití tepelných čerpadel je ten, že odpadní teplo z výpočetních systémů zřídka dosahuje tak vysokých teplot, jaké jsou pro jejich využití potřeba. Tepelné čerpadlo tedy slouží ke zvýšení teploty média, které odchází ze serverovny – zpravidla vody.

Způsob fungování tepelného čerpadla se často přirovnává k fungování lednice – s tím rozdílem, že zatímco u lednice je požadováno snížení teploty, u tepelného čerpadla je cílem teplotu zvýšit.

Tepelná čerpadla se také často používají u rodinných domů. Existují tři druhy tepelných čerpadel, které se liší prostředím, ze kterého odebírají tepelnou energii. Mohou ji odebírat ze země (z určité hloubky pod povrchem), z vody a nebo ze vzduchu. Tepelná čerpadla používána na zvýšení teploty média vycházejícího z datacentra bývají typu voda/voda. Ať už jsou výpočetní systémy chlazeny přímo vodou nebo vzduchem, který následně ve výměnících zahřívá vodu, která následně putuje do čerpadla. Výměníky bývají přímo v datacentru.

Tepelným čerpadlem proudí látka – chladivo, která je zodpovědná za přenos tepla. Chladivo je speciální látka, která má velice nízký bod varu. V první fázi prochází chladivo výměníkem, ve kterém je zahřáto teplem z okolí – v tomto případě teplem z datacentra. Díky nízkému bodu varu se chladivo změní do plynného skupenství a odebere tak z média jdoucího od serverů teplo. Zahřáté chladivo v plynném skupenství následně prochází přes kompresor, čímž se zvýší jeho tlak a teplota. Následně chladivo prochází dalším výměníkem, na jehož druhé straně je voda, která slouží jako TUV, k vytápění či jinému obdobnému účelu. Při této tepelné výměně dojde k ochlazení chladiva a jeho zpětné přeměně do kapalného skupenství – tím odevzdá teplo vodě na druhé straně. Nakonec kapalně chladivo prochází expanzním ventilem, kde se sníží jeho teplota a tlak a poté se může celý proces opakovat. Všechny části tepelného čerpadla včetně naznačení funkčnosti jsou vyobrazeny na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Schéma tepelného čerpadla [15].

Je samozřejmé, že kompresor spotřebuje další elektrickou energii, což se může na první pohled zdát zvláštní, když se má jednat o proces (využití odpadního tepla), který šetří elektrickou energii a obecně tak prospívá ekologii.

Další elektrická energie je skutečně potřeba, aby bylo možné dobře využívat odpadní teplo. Výhoda je ovšem v tom, že stačí málo elektrické energie pro tvorbu většího množství tepelné energie. To se odvíjí od účinnosti neboli topného faktoru čerpadla (značeného “COP”). COP mívá hodnotu mezi 3 až 5, což znamená, že jedna jednotka elektrické energie může vyprodukovat 3 až 5 jednotek tepelné energie. Do toho se ovšem nepočítá elektrická energie, která byla spotřebována v datacentru. Ta ale musí být spotřebovaná vždy, pokud má datacentrum fungovat. Vzorec pro výpočet topného faktoru tepelného čerpadla:

$$\varepsilon_H = COP_H = \frac{|q_h|}{|q_h| - q_c}$$

q_h vyjadřuje teplo média vycházejícího z tepelného čerpadla, q_c označuje teplo média přicházejícího do tepelného čerpadla. Jednotkou tepla je joule, výsledná hodnota COP_H je bezrozměrná. [16]

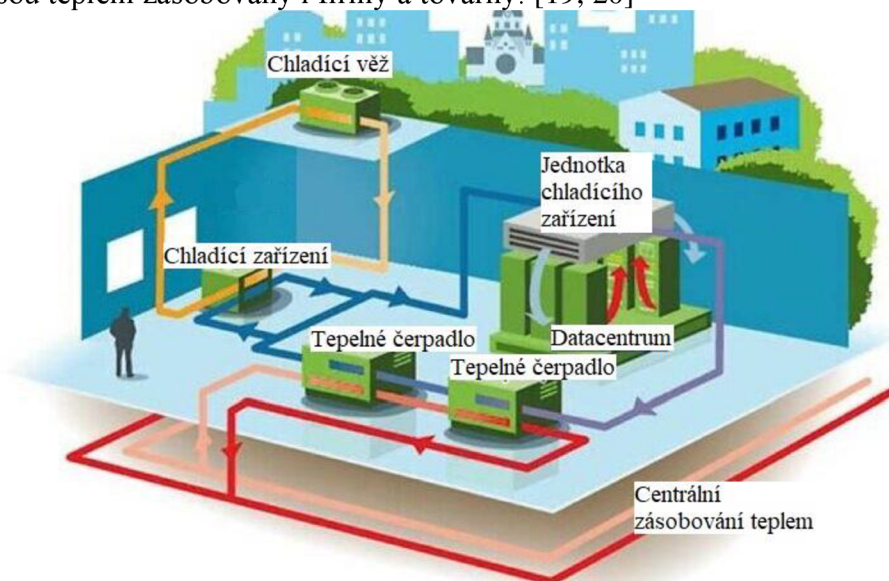
3.3 Topení

Jedním z nejrozšířenějších druhů využití odpadního tepla je jeho využití na vytápění. Vytápění je energeticky náročné. Proto se jako dobré řešení jeví použít odpadní teplo, které by vzniklo, a v lepším případě se jen vypustilo ven, a využít jej na vytápění přilehlých prostor. “Expertní odhad ekonomicky využitelného potenciálu odpadního tepla byl stanoven na 40 PJ ročně, což odpovídá vytápění pro cca 800 tisíc domácností ročně.” [17] Tento odhad počítá s OT ze všech oblastí v rámci ČR, nikoliv pouze s výpočetními systémy. Jde tedy pouze o ukázkou potenciálu OT.

Hlavní nevýhodou tohoto řešení je doba, ve které se dá využívat. Za posledních 10 let bylo v průměru jako topné dny označeno 220 dní. Zbylé dvě pětiny roku se teplo na topení využívat nedá. [17]

Pro přenos tepla je obecně vhodnější voda než vzduch – součinitel tepelné vodivosti pro 60 °C pro vodu je 23x větší než pro vzduch. [18] Topit vodou se však nemusí vyplatit vždy – pokud máme jen malou serverovnu (jednotky kW), stačí teplo distribuovat rovnou jako vzduch, a to nejlépe do okolních místností. U vytápění vodou vznikají větší pořizovací náklady na výměník, čerpadlo a vybudování potrubí.

Na druhou stranu, u velkých datacenter je vhodné odpadním teplem ohřívat vodu, která se pak může použít do místní rozvodné tepelné sítě. Takové řešení je graficky znázorněno na obrázku 3.2. Toto řešení je obzvláště vhodné, pokud přímo k datacentru nepřiléhá dostatečně velká budova s dostatečnou potřebou tepla. V České republice je rozvodná síť tepla ve většině větších měst. “V České republice je dle Teplárenského sdružení České republiky zásobováno teplem z centrálního zásobování teplem téměř 1,5 milionu domácností. Pro uspokojování potřeb všech odběratelů je v České republice využíváno celkem 10 000 km tepelných sítí.” Kromě domácností jsou teplem zásobovány i firmy a továrny. [19, 20]



Obr. 3.2 Schéma zapojení datacentra k centrálnímu zásobování teplem [21].

Jako příklad, kde takové řešení funguje v praxi, je možno uvést datacentrum Faster sídlící v Brně v Maloměřicích. V budově, ve které mají kanceláře i samotné datacentrum nemají žádný jiný druh vytápění, pouze to, co využívá odpadní teplo – tím je ohřátá voda, která následně putuje do radiátorů. [22]

Dalším příkladem, tentokrát v daleko větším měřítku, může být nedávno spuštěné datacentrum společnosti Facebook v Dánsku, ve městě Odense (3. největší město v Dánsku). [23] Datacentrum o rozloze 50000 metrů čtverečních bylo připojeno k místní rozvodné tepelné síti. Předpokládá se, že se OT teplo vzniklé v centru, využije pro vytápění 6900 domovů. Pomocí toho má 100000 MWh energie za rok, kterou servery vyprodukují. [24]

3.4 Předehřev vody

Další z rozšířených možností, jak využít OT je k předehřevu vody. Oproti topení má velkou výhodu ve využitelnosti po celý rok. A jelikož mluvíme pouze o předehřevu, a nikoliv o úplném ohřevu, je implementace tohoto systému často možná.

Konkrétní zapojení systému se může lišit. Servery může procházet užitková voda, která se tak přímo ohřívá a zároveň chladí jednotlivé komponenty. Druhou možností je chlazení serverů vodou či jinou kapalinou, která až ve výměníku předehřeje užitkovou vodu. Podobně to bude i u řešení, kdy jsou výpočetní systémy chlazeny vzduchem. Zde je rozdíl, zda je použita klimatizace či pouhé větrání / proudění vzduchu.

Reálný případ najdeme v Praze na Břevnově. Poskytovatel Spoje.net má malé datacentrum o příkonu 4 kW ve sklepech místního činžovního domu. Teplo, které jejich servery vyrobí se snaží s co nejvyšší účinností poslat do bytů nad nimi a předehřát tak vodu v jednotlivých bytech (ve 2 z 18 bytů se starají i o předehřev topení). Toto řešení je podrobněji rozebráno v 4. kapitole. [25]

3.5 Ohřev vody

Řešení dosti podobné pouhému předehřevu vody. U tohoto způsobu využití OT však musí vznikat více tepla / více potenciální teplo nebo požadovaná teplota může být nižší (například pokud je tímto způsobem ohříván bazén). Možná zapojení systému jsou stejná jako u předehřevu.

Jako příklad lze uvést řešení fungující v Německu, v Drážďanech, které instalovala firma Cloud&Heat. Jedná se o systém využití OT k úplnému ohřevu teplé vody a částečně k vytápění. Počítačové jednotky jsou chlazeny průtokem chladné vody, která je po průchodu výpočetními systémy ohřátá na 55 °C. Toto řešení zajišťuje teplou vodu a částečně topení 56 bytům. [26]

Druhým příkladem může být mnohem jednodušší a menší řešení, které provedl Bc. Miroslav Konečný ve své diplomové práci. Jedná se o využití tepla z jednotky na těžbu kryptoměn pro ohřev vody i topení v novém rodinném domě. Průměrný tepelný výkon výpočetní sestavy se pohyboval okolo 950 W. Řešení bylo označeno za vhodné pro jarní a podzimní měsíce, jelikož v zimě bylo spotřebováno všechno OT a ještě se muselo elektricky dohřívat, kdežto v létě se 70 % OT externě chladilo. [27]

Jiný pohled na věc zvolila česká společnost Wedos, která se rozhodla odpadní teplo využívat k ohřevu nedalekého bazénu (ve světě takových případů lze najít více). V tomto datacentru mají všechny servery ponořené do oleje, který slouží jako chladící médium. Ten je následně ochlazován vodou, která je naopak tímto procesem ohřívána a následně potrubím posílána do již zmiňované plovárny. Kromě toho ještě OT vytápějí přilehlé kancelářské prostory a v zimě vyhřívají parkoviště před budovou.

3.6 Sušení

Sice zřídka kdy využité řešení je i užití OT k sušení. Sušit se dá například velké množství potravin, u kterých je vhodná sušící teplota mezi 50-60 °C. [28]

3.7 Výhřev chodníků a cest

Pokud se serverovna nachází v centru města, poblíž velkého parkoviště nebo fotbalového hřiště, může být OT z výpočetních systémů využito na výhřev chodníku, cest či trávníku. Teplá voda odvedena ze serverovny povede potrubím pod určenou plochou a zamezí vzniku ledu nebo vrstev sněhu. To ušetří lidskou práci, materiál i město od zbytečných chemických solí. [29]

Ve velké míře je toto řešení použito v americkém městě Holland. Takto vyhřívaná plocha činí 46 000 m². Voda o teplotě 80-90 °C, kterou produkuje přilehlá elektrárna, proudí pod chodníky, cestami i parkovišti a dokáže rozpustit 2,5 cm sněhu za hodinu (při venkovní teplotě -9 °C). [29]

Další zajímavý příklad můžeme najít v Rotterdamu. Zde se jedná o menší plochu, a to 400 m². Zde je zajímavé, že se nejen chodník v zimě vyhřívá, ale naopak v létě dokáže teplo z chodníku také využívat (teplota chodníků v létě dosahuje až 65 °C). [30]

3.8 Organický Rankinův cyklus

Řešení, které není příliš využívané u datových center, ale spíše u tepláren, je organický rankinův cyklus. Použití u datových center je momentálně spíše experimentální, proto bude popis tohoto způsobu využití OT stručný.

ORC využívá nízko potenciální teplo a přeměňuje ho na elektřinu. Funguje na podobném principu jako parní turbína, avšak místo vody využívá jiné médium – organickou látku, která má nižší stupeň varu. Tyto látky se přeměňují v páru již od 80 °C, což je ovšem dosti vysoká teplota na to, aby byla získána z OT ze serveru.

Tato oblast si určitě zaslouží další výzkum, protože se do budoucna jeví jako velice zajímavá.

Celý děj výroby elektrické energie pomocí ORC probíhá následovně:

- Organická látka je čerpána do rekuperátoru, kam přichází zbytkové teplo z generátoru, což slouží ke zvýšení efektivity.
- Látka postupuje do předehříváče, kde je ohřívána termoolejem nebo vodou, která přichází od výpočetních systémů. Tento olej nebo voda však prvně prochází výparníkem a až poté se dostane do předehříváče.
- Z předehříváče putuje organická látka do výparníku, kde dochází k vypařování.
- Pára při expanzi roztáčí turbínu, čímž je produkována elektřina díky generátoru.
- Pára prochází přes rekuperátor, kde ohřívá pracovní látku a vrací se na začátek cyklu do kondenzátoru, kde se mění zpět v kapalinu. [31, 32]

3.9 Absorpční chlazení

Další možnost, opět spíše teoretická, jak využít OT se nazývá absorpční chlazení. Funguje takto:

- Celý děj začíná v absorbéru, kde se nachází kapalná směs H₂O a LiBr (místo LiBr se používá také NH₃, ale to je toxické – narozdíl od LiBr). Poměr těchto látek bývá 60 % LiBr a 40 % H₂O. Z absorbéru přechází kapalina skrze výměník tepla do desorberu / generátoru.
- V desorberu se směs kapalin zahřívá odpadním teplem ve formě horké vody či páry. Voda ze směsi se začne přeměňovat na páru, zatímco LiBr zůstává v kapalně formě u dna nádoby.

- Vodní pára stoupá do kondenzátoru a zahřátý LiBr se skrze výměník tepla, kde předeřívá směs $H_2O + LiBr$ jdoucí z absorberu. LiBr se ve výměníku předáním tepla ochladí a vrátí se na začátek cyklu do absorberu.
- V kondenzátoru, kterým prochází potrubí vedoucí vodu z chladicí věže, je pára ochlazená a přeměněna zpět ve kapalinu – vodu. Voda je vedena do výparníku, ve kterém je velice nízký tlak, což vede k prudkému ochlazení vody. Poté je rozprašována na potrubí s kapalinou, která v budově “sbírala” teplo a “dodávala” chlad. Voda z potrubí tedy odevzdá teplo, zahřeje vodu rozprášenou na potrubí, která díky nízkému tlaku i za nízké teploty začne opět vařit, vypařovat se a postupovat na začátek celého cyklu, tedy do absorberu. Tam se díky potrubí z chladicí věže ochladí a sloučí se směsí vody a LiBr.

Problémem opět je, stejně jako u ORC, vyšší teplota odpadního tepla vyžadovaná pro funkci celého tohoto cyklu. [33, 34]

4 Podrobný rozbor vybraných případů z praxe

Projektů, které naplno fungují a využívají odpadní teplo stále není příliš mnoho. Alespoň ne těch, které OT odebírají od serverů – OT například od tepelných elektráren se již využívá dlouho. Spousta návrhů na využití OT je stále jen na papíře, a tedy toto odvětví teprve čeká pořádný růst. Fungující projekty jsou v provozu jen nižší jednotky let. V této kapitole bude pár již fungujících datacenter, které OT využívají, popsáno.

Nejvíce (alespoň těch dohledatelných) projektů tohoto typu se nachází v severní Evropě. Tato oblast je zřejmě ideální hlavně díky svým chladnějším klimatickým podmínkám, ovšem značně přispívá i rozvinutá infrastruktura jak dopravní, tak i internetová. Dále se určitě dá říct, že se jedná o bezpečné a bohaté země se stabilní ekonomikou i politickým systémem. V neposlední řadě je zde dostatek odborníků ve všech potřebných oborech pro návrhy, výstavbu a udržování malých i velkých datacenter, které využívají OT.

Další příklady však můžeme hledat i v Německu, Česku a dalších zemích v Evropě. Pozadu nezůstávají ani ve Spojených státech.

4.1 Centrální systém zásobování teplem

Ve Stockholmu, hlavním městě Švédska, došlo ke spojení sil dvou firem – DigiPlex a Stockholm Exergi, aby společně přispěli k cíli Švédska dosáhnout uhlíkové neutrality v roce 2045. [35] Jednou z firem je DigiPlex, poskytovatel výpočetních systémů k pronájmu. Druhá společnost ve Stockholmu zajišťuje teplo, chlad i elektřinu pro domácnosti i firmy. Dalo by se tedy říct, že spolupráce takovýchto dvou firem je naprosto ideální k vytvoření datacentera, které bude využívat OT.

V tomto případě se OT posílá do centrálního systému zásobování teplem, na který je ve Stockholmu napojeno skoro 90 % všech budov. Od serverů ovšem nejdou dostatečně vysoké teploty. V datacentru používají k chlazení komponent vzduch, který pak následně ve výměnících ohřívá vodu. Výměníky se nachází přímo v datacentru. Odsud putuje voda o teplotě 30 až 40 stupňů Celsia. Ta je následně ohřívána vodní parou, která vzniká za pomoci energie z obnovitelných zdrojů. Ze stejných zdrojů – především vodní a větrné elektrárny je napájeno i celé datacentrum. Voda, která putuje do centrálního systému zásobování teplem má okolo 70 °C. Servery rozprostřené na ploše o výměru 26000 m² pomáhají zásobovat teplem 10000 Stockholmských domácností. [36, 37]

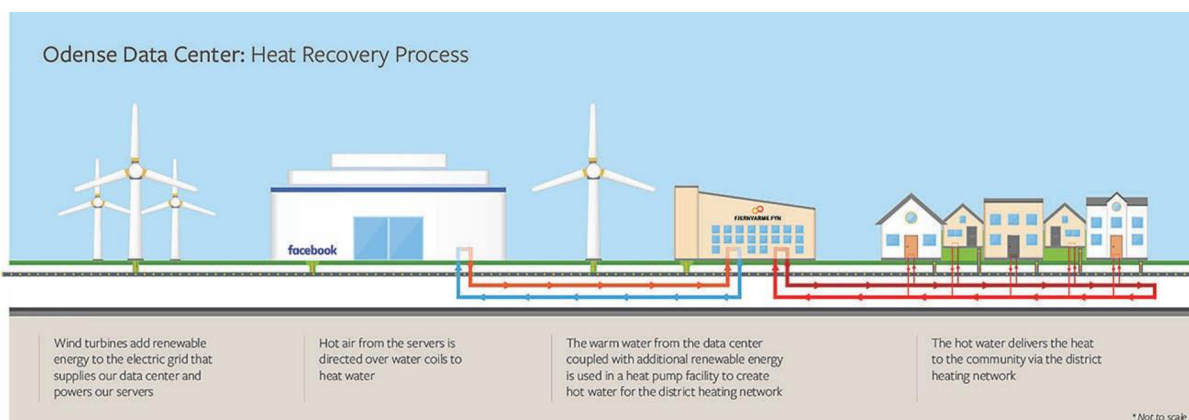
Celosvětová známá společnost Facebook spravující jedny z nejvíce používaných sociálních sítí na světě má mnoho vlastních datacenter. Jedno z nich od roku 2019 funguje i v Odense, třetím největším městě v Dánsku. [38]

Samotný Facebook uvádí, že všechny jeho datacentra jsou napájena z obnovitelných zdrojů a není tomu jinak ani v Dánsku. Facebook při výstavbě tohoto datacentera vybudoval také větrnou elektrárnu (konkrétně 70 větrných turbín), která za ideálních podmínek poskytuje energii nejen všem jejích serverům a tepelným čerpadlům, která jsou zde potřebná pro možnost využití odpadního tepla, ale také přebytečnou energii dodává do rozvodné sítě. Větrná elektrárna ročně vyrobí více elektřiny, než kolik celé datacentrum spotřebuje. [39]

Jak již bylo naznačeno, datacentrum s výkonem okolo 19 MW a rozloze 50000 m² ohřívá teplým vzduchem, který jde od všech částí serverů, vodu, která následně putuje k tepelnému čerpadlu (5 MW), které zvedá její teplotu z 27 °C na 75 °C. Následně se ohřátá voda dostává do centrálního systému zásobování teplem, skrze který ohřívá 6900 domácností v Odense. Ročně takto Facebook odevzdá 100 GWh odpadního tepla. Navíc teplo Facebook odevzdává zadarmo. Celý systém zapojení je zobrazen na obrázku 4.1. [38]

Toto řešení opět šetří nejen peníze, ale také životní prostředí. Z údajů, které naznačují, z jakých zdrojů je teplo v Dánsku vyrobeno (50 % biopaliva, 23 % zemní plyn, 14 % uhlí) se dá

vypočítat, že při výrobě takového množství tepla, které Facebook z datacentra dodává, by bylo vytvořeno 15500 tun CO₂ ročně. Je to tedy i značná pomoc městu Odense, které se plánuje zbavit závislosti na uhlí již v roce 2025. [40]



Obr. 4.1 Schéma využití odpadního tepla z datacentra Facebooku [38].

Ve Finském městě Mäntsälä, které obývá 20000 obyvatel, otevřela firma Yandex (poskytovatel internetového vyhledávače využívaného zejména v Rusku) v roce 2015 své datacentrum s výkonem 15 MW. Ve spojení s tepelným čerpadlem o výkonu 4 MW a napojením na místní centrální systém zásobování teplem vytápí 4000 domácností a pomohlo ke snížení cen tepla o 5-12 %. Voda jdoucí z datacentra má 40 °C a po průchodu tepelným čerpadlem se zvyšuje na 85 °C. [41]

V roce 2018 dodalo datacentrum 20 GWh tepla, což pokrylo 54 % potřeby tepla celého města. Díky této recyklaci tepla se také předešlo vzniku 11000 tun CO₂ za rok. [42]

4.2 Teplo a TUV v rámci budovy a přilehlém okolí

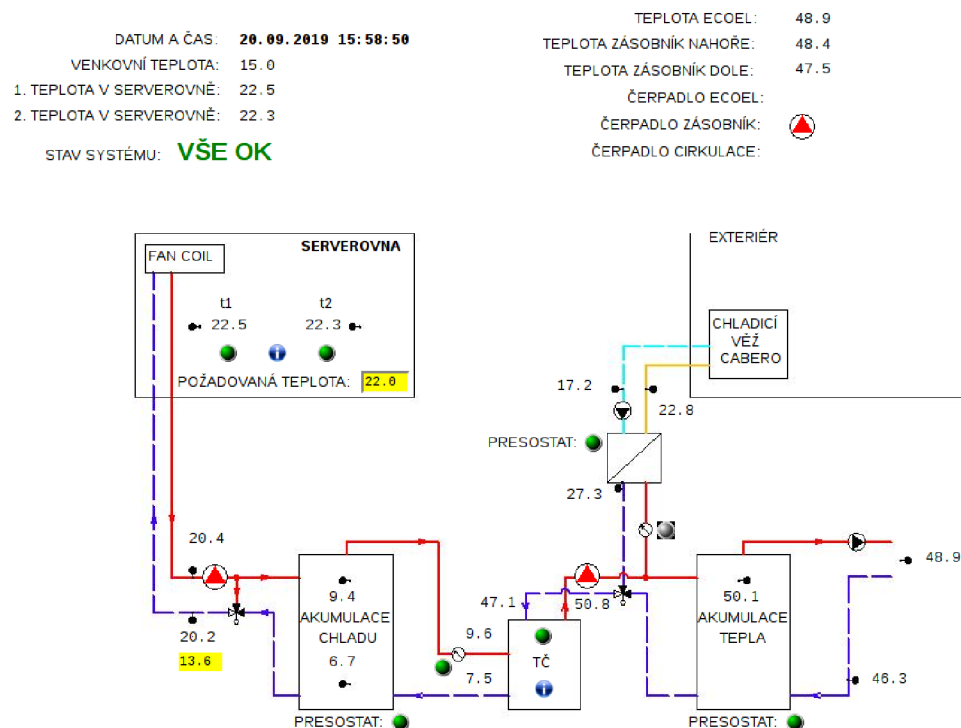
Malé, ale při tom velice dobře promyšlené řešení se dá najít i u nás v České republice, konkrétně v Praze. Firma Spoje.net, která je vedena u ČTÚ jako provozovatel veřejné telekomunikační sítě, má malou serverovnu, s příkonem 4 kW ve sklepě zcela obyčejného činžovního domu.

Ve sklepě se tedy nachází jak samotné servery, tak i něco ne úplně typického pro datacentrum. Jedná se o dvě tisíce litrové nádrže na vodu, tepelné čerpadlo a potrubí, kterým je všechno toto propojeno, viz. obr. 4.2. Tepelné čerpadlo odebírá teplo z vedlejší místnosti, ve které se nachází samotné datacentrum, a přivádí jej do nádrží. V místnosti se servery je radiátor, který je zahříván teplým vzduchem od výpočetní techniky.



Obr. 4.2 Technické zázemí v datacentru pro ohřev a uchování teplé vody [25].

Nad tímto malým datacentrem se nachází 18 bytů, kterým voda z nádrží slouží jako TUV. V každém z bytů je ještě elektrický bojler, takže pokud voda nemá dostatečnou teplotu, může být voda ohřátá ještě v bytě. Maximální teplota vody, která je v nádržích, je 50 °C. Pokud se stane, že voda v obou nádržích dosáhne hodnoty 50 °C, je pro tento případ za domem připravena chladicí věž. Pro ukázkou je na obr. 4.3 schéma celého zapojení včetně teplot v daných místech soustavy.



Obr. 4.3 Náhled do programu sledujícího teploty v celém systému [25]

Využívat takto odpadní teplo je výhodné pro všechny zúčastněné. Datacentrum do tohoto řešení investovalo půl milionu korun, které mu zapůjčili majitelé domu. Spoje.net by měli tuto půjčku splácet přibližně čtyři roky a následně budou za pronájem prostor “platit” právě odpadním teplem. Takto tedy ušetří datacentrum, jelikož nemusí platit nájem, a ještě ušetří za chlazení, ale i obyvatelé bytů, jelikož teplo z datacentra všem ostatním nájemníkům šetří přibližně tisíc korun měsíčně (podle slov Petra Solnaře, jednoho ze společníků ve společnosti Spoje.net). Ti totiž mohou platit za ohřev vody řádově méně. [25, 43]

Společnost Amazon, jeden z největších online obchodů na světě, se rozhodl svou kancelářskou budovu v Seattlu v USA vytápět trochu jinak. Spojili proto síly s nedaleko sídlící firmou Westin Building Exchange (dále jen Westin), která provozuje a pronajímá své servery dalším firmám. Jejich servery o výkonu 11 MW generují teplo, jehož část Amazon využívá na vytápění své budovy, ve které se nachází 460000 m² kanceláří. Budova se vytápí pouze v zimě, proto Amazon spotřebuje jen 4 GWh tepla ročně (maximální odběr je 5 MW), i když potenciál je daleko větší (96 GWh tepla ročně). To také otevírá možnost připojit se k tomuto systému i dalším okolním budovám. [44, 45]

V tomto řešení jsou servery chlazeny přímo vodou (voda prochází PVC potrubím, které je vedeno přímo okolo jednotlivých komponent a odvádí tak přirozeně teplo) - častěji se chladí vzduchem a vzduch až následně ve výměníku zahřívá vodu. Teplota vody jdoucí od serverů se pohybuje okolo 18,5 °C. Následně je tepelným čerpadlem zvyšována na 55 °C.

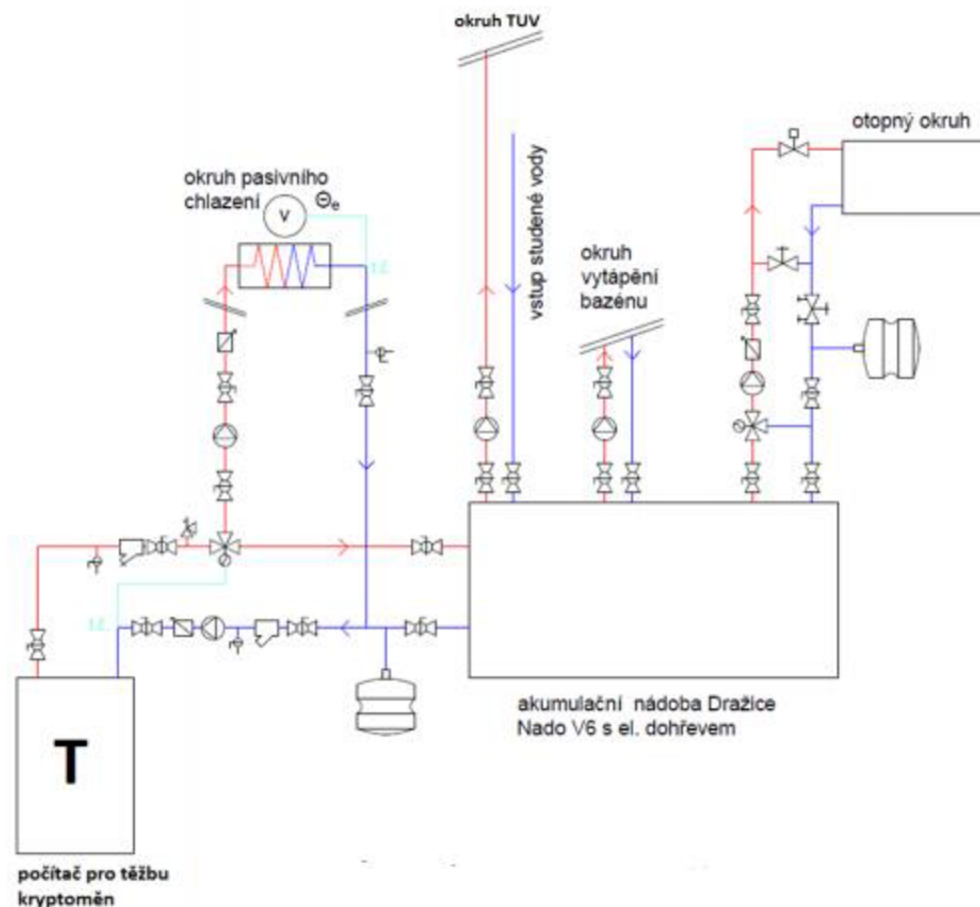
Pod budovou firmy Westin se ještě nachází nádrž na 1,5 mil. litrů vody, která slouží jako zásobník nízkopotenciálního tepla a záložní zdroj vody pro datacentrum.

Záložní zdroj má také Amazon, a to bojler, kterými se dá přitápět, ale za dvě zimy tohoto provozu byly použity pouze zkušebně. [44]

4.3 Vytápění rodinného domu

O řešení, jak vytápět dům a ohřívát v něm vodu, se nezasloužila žádná velká firma, ale student ČVUT, Fakulty elektrotechnické, Bc. Miroslav Konečný. Celé provedení podrobně rozepsal do své diplomové práce.

Do technické místnosti, která se nachází v novostavbě rodinného domu o rozloze 109 m², přidal stanici na těžbu kryptoměn. Nejpodstatnější částí sestavy bylo 6 grafických karet s vodním chlazením, které mají největší spotřebu elektrické energie, a tudíž vytvářejí i nejvíce tepla. Přesný postup připojení sestavy do otopné sestavy domu není popsán, ale výsledné schéma je následující, viz. obr. 4.4 (v době experimentu nebyl ještě postaven bazén, takže okruh pro vytápění bazénu nebyl využíván). Okruh pasivního chlazení vede do exteriéru domu.



Obr. 4.4 Schéma zapojení počítače do otopné soustavy [27].

Výpočetní technika byla do otopné soustavy připojena v lednu 2018 a následně tak fungovala celý rok.

Po necelém dni od zapojení se teplota v akumulární nádobě ustálila na 50 °C. Při dosažení této teploty se zapnul chladicí okruh – později však teplota pro spuštění okruhu byla zvýšena. Otestována byla také maximální dosažitelná teplota v nádrži. Při teplotě 82 °C na grafické kartě měla voda v nádrži 71 °C. Jelikož 82 °C bylo zvoleno jako maximální bezpečná teplota grafické karty, proces dalšího ohřívání byl ukončen.

V průběhu roku byla sledována spotřeba odpadního tepla. V zimě se všechno odpadní teplo využilo, a ještě byl zapínán elektrický dohřev. V létě se naopak využilo pouhých 30 % a zbytek tedy musel být externě chlazen. Pokud by však již byl v provozu bazén, mohl by být také ohříván a spotřebovat tak další část OT. Za celý rok bylo využito 65 % vzniklého OT. [27]

Další podobná řešení nejsou detailněji popsána, ovšem z různých diskusních fór a podobných zdrojů je jasné, že o využití odpadního tepla ať už ze soustavy na těžbu kryptoměn, menšího serveru nebo třeba velmi výkonného počítače se snaží spousta amatérů či IT kutilů. Většina těchto nadšenců se zmiňuje o menších řešeních, které slouží k vytápění pokoje, maximálně dvou. Přece jen zapojení do otopné soustavy je už razantnější zásah do fungování celého domu. A navíc, na takové řešení je vhodnější myslet již při stavbě domu, aby se předešlo komplikacím se zapojením výpočetního systému.

Vznikají také nápady a firmy, které celý proces využití OT z výpočetních systémů velice zjednodušují – do takové míry, že jej jako topení může využít většina domácností. Například

francouzská firma Qarnot má takové produkty dva - “The computing heater” a “Digital boiler”. [46]

První produkt, který je možné vidět na obr. 4.5, by se dal přirovnat k elektrickému přímotopu – s tím rozdílem, že toto zařízení musí být připojeno k internetu a teplo vzniká od mikroprocesorů, které jsou uvnitř ukryty. Společnost na svých stránkách uvádí, že si majitel může nastavovat, kolik tepla zrovna potřebuje a podle toho se mění zátěž na výpočetní systém uvnitř. Podle firmy Qarnot je toto řešení vhodné jak do bytů, tak i do veřejných budov či kanceláří.



Obr 4.5 „The computing heater“ od společnosti Qarnot [47].

Druhý produkt může být přirovnán k bojleru, jak již název napovídá. Stejně jako v prvním případě, i zde pochází teplo z mikroprocesorů – konkrétně z 24. Pro zapojení tohoto systému je potřeba internetový kabel, elektřina a napojení na vodní síť v domě. Jeden takovýto modul může poskytnout až 3 kW výkonu – může jich však být zapojeno i více - buďto sériově nebo paralelně. Voda bývá zahřívána maximálně na 60 °C. [46]

4.4 Výroba a pěstování potravin

Kromě využívání odpadního tepla k vytápění či ohřevu vody se často také objevují návrhy, podle kterých by se teplo dalo využít při pěstování (nebo výrobě) potravin. Tedy tak, že v místech, kde je celoročně chladnější počasí, se postaví skleník či podobně sloužící budova a je do ní vháněno přebytečné teplo od serverů, které vytvoří jiné, teplejší klima. Takové řešení by se v blízké době mělo začít budovat v Kanadě. Není to tedy fungující projekt, ale všechny plány jsou k němu připraveny a čeká se pouze na všechny potřebné schválení. [48]

V Koinedge Farms plánují těžit kryptoměny a odpadní teplo využít pro pěstování bylin, rajčat, salátů a další zeleniny. Ve venkovním prostředí není možné tyto rostliny a jejich plody pěstovat, jelikož se místo nachází v oblasti s chladným klimatem.

Hlavní motivací pro tento projekt je zajištění vzniku nových pracovních pozic, konkrétně 24 pozic na plný úvazek. Druhým prvkem je vidina snížení uhlíkové stopy, která vzniká při dovozu potravin, které plánují na farmě pěstovat. Přímo Koinedge Farms na svých stránkách uvádí, že farma předejde vzniku 577 tun CO₂ při dopravě.

Samotné datacentrum by mělo mít výkon 12 MW. [48, 49]

Fungující projekt, kde dochází ke spojení serverů a výroby jídla, se nachází ve Švýcarsku. Výrobna sýru Berg-Käserei Gais sídlící ve vesnici Gais za rok zpracuje 10 milionů litrů mléka. Přílehlé datacentrum ve spojení s tepelným čerpadlem dodává teplo potřebné pro výrobu sýru.

Datacentrum o rozloze 900 m² dodá 1500 MWh odpadního tepla ročně, které by jinak sýrárna musela získávat z plynu. Z toho 230 MWh elektřiny je ročně vyrobeno ve fotovoltaické elektrárně, která se nachází na střeše budovy.

Maximální výkon tepelného čerpadla je 520 kW a dokáže vodu ohřát až na 100 °C, což je pro některé procesy při výrobě sýru potřeba. [50]

5 Vyhodnocování způsobů využití odpadního tepla z výpočetních systémů

Předchozí kapitoly této práce popisují nejběžnější způsoby chlazení výpočetních systémů, dále také možnosti, jak odpadní teplo z datacenter využít a následně jsou uvedeny systémy, které jsou již v provozu a odpadní teplo využívají.

Tato závěrečná kapitola bude zaměřena na vyhodnocení všech faktorů, které s využitím odpadního tepla souvisí. ...

Pokud se někdo rozhodne, že odpadní teplo ze svého datacentra (nebo jen výkonnějšího počítače) chce využívat, je nutné zvážit následující:

- Je vůbec možné v daném řešení teplo využívat. Pokud ne rovnou, dá se toho docílit nějakou (např. stavební) úpravou.
- Kde a jak se teplo využije. Je v daném prostředí teplo potřeba.
- Kolik tepla bude možno takto získat.
- Vyplatí se daná investice.

5.1 Zhodnocení způsobu využití vzhledem k výkonu

Pokud se má OT k něčemu využívat, jako první se musí vybrat, k jakému účelu. Ty nejběžnější byly zmíněny v předchozích kapitolách. Ne každý způsob využití je vhodný pro každé datacentrum – například kvůli nedostatečnému výkonu nebo nedosahování dostatečných teplot.

Elektrickou energii, přeměněnou na tepelnou pomocí procesorů a další součástek výpočetní techniky, lze využívat k **topení**. Vyhřívání prostor lze pomocí výkonnějšího počítače i pomocí datacentra o velikosti sportovní haly. Rozdíl je pouze ve způsobu, jakým k tomu přesně dojde a taky ve velikosti prostoru, který lze takto vyhřát.

Pro účely této kapitoly budou servery rozděleny na malé (do 5 kW výkonu), střední (5 - 500 kW) a velké (nad 500 kW výkonu).

Malá serverovna nebo již zmíněné výkonnější počítače mohou vyhřívát přilehlé místnosti. Napomoc k tomu může vzduchotechnika v budově nebo větráky. Pokud je výkon menší nebo naopak místnost velká (a nejedná se pouze o serverovnu, ale o případ, kdy v místnosti například někdo pracuje) může vyhřívát pouze samotnou místnost, ve které se výpočetní systém nachází. [46]

Serverovna střední velikosti může vytápět budovu, ve které se nachází a případně i budovu přilehlou, na což je potřeba myslet již při stavbě obou budov. Pokud již budovy stojí, ale nejsou propojeny potrubím, které by přenášelo horkou vodu na vytápění, budou potřeba rozsáhlé stavební úpravy. Dané budovy mohou sloužit k libovolnému účelu. Může se jednat o byty, kanceláře či obchodní centrum. [44]

Pro datacentra s výkonem v řádech megawattů už nemusí přilehlé budovy stačit, a proto je nejvhodnější (samozřejmě pokud v dané lokalitě tato možnost je) připojit datacentrum k centrálnímu systému zásobování teplem. [36]

Využívat OT z výpočetních systémů k topení je možné pro všechny výkony.

Pro **předehřev a ohřev vody** se také dají využít datacentra všech velikostí.

Oproti vyhřívání místnosti, ve které se server nachází, je zapojení systému, aby ohřívával vodu, složitější. U malých výkonů je tedy potřeba důkladně zvážit, zda se investice vyplatí – hlavně u systémů, které jsou již postavené a v provozu. Pokud k zapojení a zprovoznění dojde, může server i o malém výkonu ohřívát nebo alespoň předehřívát vodu například v rodinném domě. Podobné řešení je popsáno v předchozí kapitole. [27]

Datacentra se středním a velkým výkonem mohou ohřívát vodu pro bytové domy, kanceláře a další budovy. Ty s velkými výkony mohou opět využít napojení na CZT, které ve většině oblastech zajišťuje nejen teplo, ale i TUV.

Využití OT k **výhřevu chodníků, sušení či pěstování potravin** lze pouze ve specifických případech.

Vyhřívat chodníky je výhodné pouze v místech, kde většinu roku teploty nepřesahují 0 °C. K tomu navíc musí být chodníky speciálně upraveny, respektive pod nimi musí vést potrubí, kterým poteče ohřátá voda či vzduch z datacentra. Takovou úpravu musí zařídit město, pokud nejde o vyhřívání soukromého pozemku (například parkoviště).

Pro toto řešení je nejvhodnější středně velké datacentrum. Malý výkon by nevyhřál dostatečně velký prostor, kdežto pro využití velkého výkonu (a hodně tepla) by bylo nutné vyhřívat rozsáhlé plochy. [30]

Pro využití v oblasti potravinářství či sušení jsou vhodné střední a velké datacentra. Malý výkon povede k malému množství usušených či vypěstovaných potravin, což se nejspíše nevyplatí vzhled k investici do systému pro využití OT k tomuto účelu.

Opět bude ve většině případů nutná spolupráce s jinou společností, která bude zřizovat farmu či místo pro sušení. [49, 50]

Organický Rankinův cyklus a absorpční chlazení vyžadují vyšší teploty. Proto jsou vhodnější pro řešení, kdy jsou výpočetní systémy chlazeny kapalinou, jelikož ta pro chlazení může fungovat i ve vyšších teplotách než vzduch.

Jak již bylo napsáno v předchozí kapitole, využívání OT z datacenter k těmto procesům je zatím spíše v teoretické fázi. Je však možné konstatovat, že k malým datacentrům se tyto řešení nebudou hodit.

5.2 Finance a návratnost investice

Zvážit finanční hledisko celého projektu na využití OT je tou nejdůležitější věcí, kterou je nutné důkladně zvážit, před tím, než začne realizace. Jde o komplexní problém, jehož řešení přesahuje rozsah této práce. Budou zmíněny pouze hlavní body této problematiky.

Zdroje naznačují, že nejlepší metodou pro zhodnocení investice tohoto typu je metoda NPV – Net Present Value (čistá současná hodnota). Pro využití této metody je důležité znát či alespoň předpovědět šest faktorů:

- Investice – prvotní investice do vybudování systému na využití OT včetně všech jeho náležitostí. To tedy může zahrnovat vše od výměníku, potrubí, nádrží, čerpadel až po stavební úpravy. Každý projekt bude zahrnovat investice do různých věcí podle zamýšleného způsobu využití.
- Výnosy – pokud se do něčeho investuje, očekává se výnos. Výnos nemusí být pouze finanční. V rámci využívání OT může datacentrum přispět ke snížení uhlíkové stopy, spotřeby elektrické energie či snížit výdaje spojeným subjektům (například snížit cenu tepla ve městě, ve kterém OT putuje do centrálního systému zásobování teplem). Pro jedince či firmu (a taky tuto metodu) je ovšem finanční výnos nejdůležitější. Jelikož zapojení systému na využití OT může snížit současné výdaje (pokud je DC již v provozu – pokud se stavba teprve plánuje a zvažuje se, zda bude takový systém použit, tak o kolik sníží předpokládané výdaje, pokud by se OT nevyužívalo), je nutné započítat i tuto částku do výnosů.
- Výdaje na provoz a údržbu – většinu součástí systému bude potřeba pravidelně servisovat, což přináší jisté výdaje. Pokud bude použito například tepelné čerpadlo či jiné zařízení, které ke svému provozu potřebuje palivo či provozní kapaliny (např. olej), je potřeba počítat i s jejich cenou.
- Životnost / doba možného používání – každé zařízení má určitou životnost, a i to je potřeba zahrnout do výpočtu či úvahy, zda se daná investice vyplatí. Levnější součásti systému mohou mít malou životnost, a proto budou za dobu používání několikrát

vyměněny, aby neovlivnily životnost celého systému. Ta se bude řídit možnostmi dražších součástí, jak dlouhou mohou fungovat. Výdaje na výměnu levnějších součástí je však potřeba započítat do výdajů na provoz. Pokud bude teplo z DC někdo kupovat, je třeba brát ohled i na dobu, po kterou bude teplo kupovat. To bude ošetřeno smluvně.

- Inlace – velikost inlace je jednoduše dohledatelná a do výpočtu se použije průměrná výše inlace za poslední roky.
- Diskontní sazba – tato hodnota může být získána součtem výše úroku na běžném spořicí účtu a míry úvěrového rizika.

Po zjištění všech těchto proměnných se použije vzorec, který je následující:

$$NPV = \sum_0^n \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

Proměnné ve vzorci znamenají: n – zamýšlená doba investice; CF – finanční tok za každý rok zvlášť, tedy rozdíl mezi výnosy a náklady neboli cash flow; r – úroková míra, což je součet inlace a diskontní sazby. Pokud je výsledná hodnota záporná, investice se za těchto podmínek nevyplatí, protože bude ztrátová. Kladná hodnota značí, že by se investice měla vyplatit.

[51, 52]

5.3 Možnosti pro datacentra, které momentálně odpadní teplo nevyužívají

Pokud je již datacentrum v provozu a provozovatel se rozhodne, že by chtěl začít OT využívat, musí také zvážit všechny možnosti. Některé způsoby využití jsou jednoduše začlenitelné do systému, u některých to naopak není možné. Obecně lze říci, které způsoby využití jsou vhodné, a které nikoliv, ale nakonec je každý projekt, každá budova, a i každé potřeby a možnosti jiné.

Lze konstatovat, že každý ze způsobů využití OT, který byl v této práci zmíněn, lze začít využívat i u datacentra v provozu. Pro ohřev vody či topení v rámci budovy, ve které jsou výpočetní systémy umístěny, je nutný dostatečný odběr. Pokud by odběr dostatečný nebyl, může být teplo distribuováno do okolních budov. V případě velkého výkonu až do CZT. Při takovýchto řešeních je však nutné zjistit, zda je možné se propojit s přílehlou budovou, respektive jestli je CZT v blízkosti datacentra a je možné do něj teplo distribuovat.

U sušení a výhřevu chodníků je situace podobná. Ve většině případů bude muset dojít ke spolupráci s jinou organizací, která musí být v okolí.

U ORC a absorpčního chlazení naopak bude řešení spíše na vlastníku datacentra. Jednotky sloužící k těmto procesům mohou být přistavěny mimo samotnou budovu datacentra.

5.4 Výhled do budoucna

Toto odvětví je pouze na začátku a má určitě veliký potenciál. Jak pro již fungující datacentra, tak hlavně pro ty nová. Pokud se bude na využití bude myslet již při plánování a třeba i lokalita se zvolí tak, aby se v ní teplo dalo využívat efektivně, mohou datacentra ušetřit nejen finance, ale také přispět k lepší ekologické situaci.

Jelikož je tato práce zaměřená více na velké datacentra s velkými výkony, rozhodně je nutné podotknout, že i malé serverovny, domácí soustavy na těžbu kryptoměn nebo domácí servery mohou v rámci domácnosti přinést nemalé úspory a tím pádem i toto odvětví si jistě zaslouží další výzkum a testování.

Na tomto trhu je jistě i veliký potenciál pro firmy, které budou tato řešení navrhovat a budovat. Zajímavým řešením mohou být také případy, kdy firma svou výpočetní techniku bude rozmisťovat po menších částech do domů, ať už rodinných, tak třeba činžovních a v každém z nich bude výpočetní technikou obstarávat teplo a teplou vodu. Přece jen pár takových projektů již existuje, ale je to zanedbatelné množství oproti potenciálu, jaký toto řešení má.

Závěr

V úvodu této práce byly představeny servery, datacentra a teplo, které produkují. Následně bylo nutné představit způsoby, kterými se tyto technologie dají chladit. Možnosti chlazení byly popsány včetně jejich výhod a nevýhod, což bylo jedním z cílů této práce. Pochopení problematiky chlazení bylo potřebné pro správné porozumění následující kapitoly, ve které byly rozebrány nejen ty nejběžnější způsoby využití odpadního tepla, ale také možnosti, které se teprve testují. V úvodu byly uvedené důvody, proč je důležité teplo využívat. Důvodem může být nejen finanční úspora a následný zisk, ale také zlepšení ekologické situace díky úspoře elektrické energie a předcházení zbytečnému vzniku tepla. Každý typ využití odpadního tepla byl doplněn i o již fungující příklad.

Pro lepší představu, jakým způsobem může být odpadní teplo využíváno a z jak výkonných datacenter, slouží kapitola, ve které jsou podrobněji popsány reálné řešení z České republiky i ze světa. Nejčastěji se odpadní teplo využívání přímo k topení, případně ohřevu vody. Těmito kapitolami byla naplněna podstata dalšího ze stanovených cílů.

V závěru práce byly všechny předchozí poznatky použity k vytvoření uceleného shrnutí, ze kterého je možné zjistit, jak porovnat jednotlivé možnosti využití podle výkonu datacentra. Za tímto účelem byly také datacentra rozděleny do tří skupin podle velikosti výkonu. Jako nejuniverzálnější způsob využití odpadního tepla vyšlo topení, jelikož je vhodné pro všechny datacentra, bez ohledu na jejich výkon. Dost podobně to je i s ohřevem vody, pouze s rozdílem, že u malých serveroven je nutné opravdu důkladně zvážit návratnost celé investice, jelikož zapojení systému na ohřev vody může být složitější a nákladnější než zapojení systému pro vytápění.

Pro zhodnocení investice z hlediska finančního byla vybrána metoda NPV a byly popsány veškeré proměnné, které je nutné pro její použití znát. Při zvažování, zda se zapojení systému na využití odpadního tepla vyplatí i pro již fungující datacentra bylo závěrem, že je nutné každé datacentrum vyhodnotit podle přesných detailů a konkrétních možností, jelikož velice záleží na poloze serverů v rámci budovy, na možnostech využití tepla v přilehlých prostorech a v některých případech záleží i na okolí dané budovy. Na konci práce byl naznačen možný výhled do budoucna a zdůrazněn veliký potenciál tohoto odvětví.

Seznam použitých zdrojů

- [1] WAHLROOS, Mikko, Matti PÄRSSINEN, Samuli RINNE, Sanna SYRI a Jukka MANNER. Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2018, **82**, 1749–1764. ISSN 18790690. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2017.10.058
- [2] *Everything You Need to Know About a Server Room* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.racksolutions.com/news/blog/server-room-explained/>
- [3] *Maximálně účinné chlazení pro datová centra* [online]. 2016. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/14081-maximalne-ucinne-chlazení-pro-datova-centra>
- [4] EBRAHIMI, Khosrow, Gerard F. JONES a Amy S. FLEISCHER. A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, **31**, 622–638. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2013.12.007
- [5] NICOLA JONES. *How to stop data centres from gobbling up the world's electricity* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06610-y>
- [6] *Data center & server room monitoring recommended standards & best practices* [online]. Dostupné z: https://serverscheck.com/sensors/temperature_best_practices.asp
- [7] *Klimatizace: Jak funguje a proč se doma nedá chladit otevřenou ledničkou* [online]. 2020. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/klimatizace-jak-funguje/sc-870-a-204752/default.aspx>
- [8] *MALÉ SERVEROVNY* [online]. Dostupné z: <https://www.laka.cz/faq/male-serverovny/>
- [9] *Freecooling* [online]. Dostupné z: <https://achs.cz/freecooling/>
- [10] *An Updated Look at Recommended Data Center Temperature and Humidity* [online]. Dostupné z: <https://avtech.com/articles/4957/updated-look-recommended-data-center-temperature-humidity/>
- [11] MARISSA MATTHEWS. *PC Water Coolant Chemistry - Part I* [online]. 2004. Dostupné z: https://www.overclockers.com/pc-water-coolant-chemistry-part-i/?__cf_chl_jschl_tk__=3a9a2267608e72c8f0a35fbfcd60dd6d75474922-1621249063-0-AS2JDhTwRm4BB_k8GkWFw4JGVn6ShOpwySO_VyrzMTbJ9zl5I8VLBJJPTZKSHuSbF-_pjD5CHsTvr35IGiE-bgBXdLX_KisrB39-KzK-8v9PVJiaRy6w8
- [12] PETR KRČMÁŘ. *Utopte servery v oleji, ušetříte a vyhřejete městský bazén* [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/utopte-servery-v-oleji-usetrite-a-vyhrejete-mestsky-bazen/>
- [13] *Datacentrum WEDOS 3 “kravin” – první virtuální pohled* [online]. 2020. Dostupné z: <https://blog.wedos.cz/datacentrum-wedos-3-kravin-prvni-virtualni-pohled>
- [14] *Global Energy & CO2 Status Report 2019* [online]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions>
- [15] *Princip tepelného čerpadla* [online]. Dostupné z: <https://www.revel-pex.com/princip-tepelneho-cerpadla.html>
- [16] PROF. ING. MILAN PAVELEK, CSc. *TERMOMECHANIKA PRO STUDENTY STROJNÍCH FAKULT* [online]. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/userfiles/Mauder/files/Výuková_prezentace_termomechanika_Pavelek.pdf
- [17] FRANTIŠEK NOVÁK. *ENERGIE ZDARMA: ODPADNÍ TEPLA BY MOHLO VYTÁPĚT 800 TISÍC ČESKÝCH DOMÁCNOSTÍ* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/energie-zdarma-odpadni-tepla-800-tisic-domacnosti-1434991>

- [18] *Hodnoty vody a vzduchu pro výpočet přestupu tepla* [online]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/55-hodnoty-vody-a-vzduchu-pro-vypocet-prestupu-tepla>
- [19] TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Vytápěné lokality* [online]. Dostupné z: <http://www.tscr.cz/?pg=0213&1612788389#>
- [20] JAN BUDÍN. *Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR?* [online]. 2015. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>
- [21] *Waste Heat Utilization is the Data Center Industry's Next Step Toward Net-Zero Energy* [online]. 2020. Dostupné z: <https://datacenterfrontier.com/waste-heat-utilization-data-center-industry/>
- [22] PETR KRČMÁŘ. *Brněnské datacentrum Faster topí teplem ze svých serverů* [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/brnenske-datacentrum-faster-topi-teplem-ze-svych-serveru/>
- [23] *Odense* [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Odense>
- [24] LAUREN EDELMAN. *Facebook's hyperscale data center warms Odense* [online]. 2020. Dostupné z: <https://tech.fb.com/odense-data-center-2/>
- [25] PETR KRČMÁŘ. *Teplu ze serverů může ohřívat vodu, ukazuje poskytovatel Spoje.net* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/teplo-ze-serveru-muze-ohrivat-vodu-ukazuje-poskytovatel-spoje-net/>
- [26] JIŘÍ REICHL. *Jak využít teplo vznikající v datacentrech? Například na vytápění bytů či ohřev vody, ukazují zkušenosti z Drážďan* [online]. 2018. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/vyuzit-teplo-vznikajici-datacentrech-napriklad-vytapani-bytu-ci-ohrev-vody-ukazuji-zkusenosti-drazdan/>
- [27] BC. MIROSLAV KONEČNÝ. *Systém využití odpadního tepla z výpočetní jednotky využívané pro těžbu kryptoměn* [online]. B.m., 2019. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/82564/F3-DP-2019-Konecny-Miroslav-Bc_Konecny_Miroslav_Diplomova_prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- [28] *Co a jak sušit?* [online]. Dostupné z: <https://www.susicka-potravin.cz/cs/tipy-na-suseni>
- [29] *Odpadním teplem vyhříváné chodníky znamenají úsporu chemické soli, techniky i lidí* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/udrzba-budov/15248-odpadnim-teplem-vyhrivane-chodniky-znamenaji-usporu-chemicke-soli-techniky-i-lidi>
- [30] *Thermal energy from asphaltic pavements* [online]. Dostupné z: <https://ruggedised.eu/fileadmin/repository/Factsheets/Ruggedised-factsheet-R4-Rotterdam.pdf>
- [31] ARAYA, Sebastian, Gerard F. JONES a Amy S. FLEISCHER. Organic Rankine Cycle as a Waste Heat Recovery System for Data Centers: Design and Construction of a Prototype. In: *2018 17th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)* [online]. B.m.: IEEE, 2018, s. 850–858. ISBN 978-1-5386-1272-9. Dostupné z: doi:10.1109/ITHERM.2018.8419530
- [32] BC. STANISLAV VÍTEK. *ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ* [online]. B.m., 2013. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=67160
- [33] BC. LUKÁŠ MIKYSKA. *Solární chladicí systém* [online]. B.m., 2008. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6519
- [34] *ABSORPČNÍHO CHLAZENÍ – 1. DÍL HISTORIE, OBECNÝ POPIS* [online]. 2020.

- Dostupné z: <https://tigemma-engineering.cz/o-nas/blog-z-firmy/195-absorpni-chlazen-1>
- [35] *Safeguarding the future* [online]. Dostupné z: <https://sweden.se/climate/>
- [36] *Upplands Väsby* [online]. Dostupné z: <https://digiplex.com/locations/stockholm/>
- [37] ASHTON YOUNG. *Swedish data centre uses waste heat to warm thousands of homes* [online]. 2018. Dostupné z: <https://datacenternews.asia/story/swedish-data-centre-uses-waste-heat-warm-thousands-homes>
- [38] ALLEY, Alex. *Facebook plugs its Danish data center into Odense district heating system* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/facebook-begins-installing-district-heating-system-odense-data-center-denmark/>
- [39] PETER JUDGE. *Facebook signs for 294MW of wind power in Norway* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/facebook-signs-for-294mw-of-wind-power-in-norway/>
- [40] JENSEN, Karin. *The path to emissions-free district heating in Denmark* [online]. 2019. Dostupné z: <https://foresightdk.com/the-path-to-emissions-free-district-heating-in-denmark/>
- [41] *A datacentre supplies local heating in Mäntsälä, Finland* [online]. 2020. Dostupné z: <https://celsiuscity.eu/datacentre-supplies-local-heating-in-mantsala-finland/>
- [42] *District heating from data centre waste heat, Mäntsälä* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.sitra.fi/en/cases/district-heating-from-data-centre-waste-heat-mantsala/>
- [43] BROŽ, Jan. *MALÁ ČESKÁ FIRMA PŘEDBĚHLA ČEZ. OHŘÍVÁ VODU POČÍTAČI* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/mala-ceska-firma-predbehla-cez-ohriva-vodu-pocitaci-1435277>
- [44] DAVID ROBERTS. *Amazon's Seattle campus is using a data center next door as a furnace. It's pretty neat.* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.vox.com/energy-and-environment/2017/11/22/16684102/amazon-data-center-district-heating>
- [45] *The super-efficient heat source hidden below Amazon's Seattle headquarters* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.aboutamazon.com/news/sustainability/the-super-efficient-heat-source-hidden-below-amazons-seattle-headquarters>
- [46] *QARNOT* [online]. Dostupné z: <https://qarnot.com/en/ecological-heat/>
- [47] *Heating as a cloud service* [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-Qarnot-digital-heater_fig1_305984534
- [48] *Koinedge Farms* [online]. Dostupné z: <https://www.koinedgefarms.ca/>
- [49] *Growing greens with cryptocurrency in Labrador: That's the hope for Koinedge Farms* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.cbc.ca/news/canada/newfoundland-labrador/koinedge-data-centre-greenhouse-1.5194008>
- [50] ARPAGAUS, Cordin. *From Waste Heat to Cheese* [online]. 2019. Dostupné z: <https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/05/190800-Arpaguas-HPT-Magazine-2-2019.pdf>
- [51] PÄRSSINEN, Matti, Mikko WAHLROOS, Jukka MANNER a Sanna SYRI. *Waste heat from data centers: An investment analysis. Sustainable Cities and Society* [online]. 2019, **44**, 428–444. ISSN 22106707. Dostupné z: doi:10.1016/j.scs.2018.10.023
- [52] *Co je čistá současná hodnota?* [online]. Dostupné z: <https://www.moneta.cz/slovník-pojmu/detail/cista-soucasna-hodnota>

Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	Veličina	Jednotka
CF	Finanční tok	
COP	Topný faktor čerpadla	
CZT	Centrální zásobování teplem	
ČTÚ	Český telekomunikační úřad	
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze	
DC	Datacentrum	
H ₂ O	Voda	
HDD	Pevný disk	
LiBr	Bromid lithný	
NH ₃	Amoniak	
NPV	Net present value – čistá současná hodnota	
ORC	Organický Rankinův cyklus	
OT	Odpadní teplo	
PVC	Polyvinylchlorid	
r	Úroková míra	
SSD	Solid state drive	
TUV	Teplá užitková voda	
UPS	Zdroj nepřerušovaného napájení	
VS	Výpočetní systém	