

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Využití odpadního tepla z elektronických systémů
v rodinném domě

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval:
Vedoucí práce:

Ondřej Helcl
doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2021/2022

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

Praha, 11. 05. 2022

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Michalovi Kabrhelovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích.

Abstrakt

Cílem této práce je zhodnotit možnosti využití tepelné energie, která vzniká při provozu výpočetní techniky pro těžbu kryptoměn, v rámci rodinného domu. Práce se zaměřuje na využití tepla v oblasti přípravy teplé užitkové vody a vytápění. V rámci teoretické části jsou popsány technologie, které zajišťují přenos tepelné energie z počítačů do otopné a užitkové vody, primárně je práce zaměřena na propojení s tepelnými čerpadly. Dále je popsáno, jak se liší možnosti využití odpadního tepla z datových center oproti malé těžební jednotce a jejich možná aplikace v rámci systémů rodinného domu. V rámci práce je vypracován návrh vytápění konkrétního rodinného domu, včetně přípravy teplé užitkové vody, pomocí kombinace těžební počítače a tepelného čerpadla. Na závěr je provedena finanční analýza rentability navrženého řešení.

Abstract

The aim of this work is to evaluate the possibilities of using thermal energy, which arises in the operation of computer technology for cryptocurrency mining, within a family house. The work focuses on the use of heat in the preparation of domestic hot water and heating. The theoretical part describes the technologies that ensure the transfer of thermal energy from computers to heating and utility water, primarily the work is focused on the connection with heat pumps. It also describes how the possibilities of using waste heat from data centers differ from a small mining unit and their possible application in family house systems. As part of the work, a project of heating system of a specific family house is developed, including the preparation of domestic hot water, using a combination of a mining computer and a heat pump. Finally, a financial analysis of the profitability of the proposed solution is performed.

Obsah

Abstrakt.....	4
Abstract.....	5
1 Úvod.....	8
2 Těžba kryptoměn a výpočetní technika.....	9
2.1 Princip těžby kryptoměn	9
2.2 Hardware pro těžbu kryptoměn.....	9
3 Chlazení výpočetní techniky	11
3.1 Thermal design power	11
3.2 Chlazení vzduchem	12
3.3 Chlazení vodou	12
3.4 Chlazení olejem	13
4 Varianty využití odpadního tepla.....	15
4.1 Přímé využití	15
4.2 Tepelné čerpadlo.....	17
4.2.1. Tepelné čerpadlo vzduch – voda	18
4.2.2. Tepelné čerpadlo vzduch – vzduch.....	20
4.2.3. Kompaktní větrací jednotky s tepelným čerpadlem.....	21
4.2.4. Tepelné čerpadlo země – voda/vzduch	22
4.2.5. Tepelné čerpadlo voda – voda.....	23
5 Porovnání s datovými centry	23
5.1 Typy chlazení DC.....	24
5.2 Využití odpadního tepla DC.....	24
5.2.1. Přímé využití	24
5.2.2. Prodej tepla do soustavy dálkového vytápění.....	24

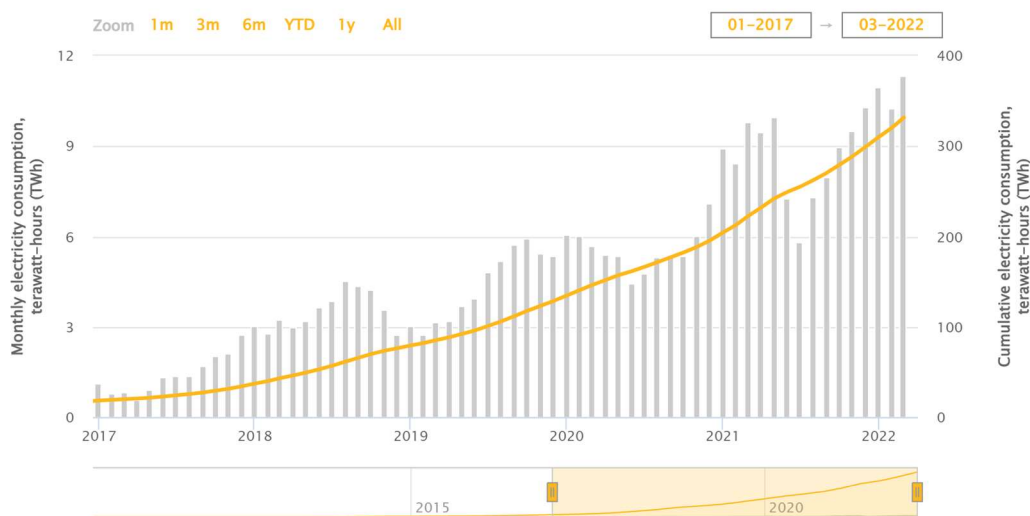
5.2.3.	Výroba elektrické energie.....	25
5.2.4.	Absorpční chlazení.....	25
6	Technické řešení	27
6.1	Koncept vytápění a větrání.....	28
6.2	Návrh zdroje tepla	29
7	Ekonomická rozvaha	32
7.1	Alternativní využití výpočetního výkonu	34
7.1.1.	Cloud rendering	35
7.1.2.	Cloud gaming	35
7.1.3.	Věda a výzkum	36
	Závěr.....	37
	Literatura.....	38

1 Úvod

V současné době lidská populace, v čele s Evropskou unií, prosazuje snížení uhlíkové stopy napříč všemi odvětvími od automobilů, přes výrobu elektrické energie, až po energetickou náročnost budov. Odvětví, které se tomuto trendu vymyká je síť počítačů těžících kryptoměny. Náročnost početných úkonů pro šifrování transakcí roste spolu s rostoucím počtem těžebních počítačů v síti, čímž strmě narůstá spotřeba elektrické energie tohoto systému. V současné době převyšuje roční spotřeba elektřiny sítě kryptoměny Bitcoin 0,5 % celkové světové spotřeby a se stále se zvětšující popularitou kryptoměn nic nenasvědčuje tomu, že by tento trend měl zpomalit. Ve srovnání s ČR má aktuálně Bitcoin skoro dvojnásobnou roční spotřebu elektřiny a ač se jedná o největší kryptoměnu, tvoří pouze 40 % z celkové hodnoty všech kryptoměn. (1)

Total Bitcoin electricity consumption

Select an area by dragging across the lower chart



Obrázek 1: měsíční spotřeba elektřiny sítě Bitcoin v TWh (1)

Energie spotřebovaná výpočetní technikou se vyznačuje tím, že je téměř všechna převedena na energii tepelnou, která má širokou škálu využití. V případě datových center, které produkují velké množství odpadního tepla, je jeho další využití již běžnou praxí. V případě malých těžebních jednotek je ale téma využití odpadního tepla zatím novinkou. Jelikož hlavním principem kryptoměn je decentralizace a čím větší počet

uživatelů s těžebním počítačem je v síti, tím je systém více decentralizovaný, nabízí se možnost umisťovat jednotky do rodinných domů a využívat jejich odpadní teplo pro systémy TZB a generovat zisk z prodeje vytěžené kryptoměny. Překážkami tomuto řešení jsou vysoké vstupní náklady a nejasná rentabilita vzhledem k volatilitě kryptoměn.

2 Těžba kryptoměn a výpočetní technika

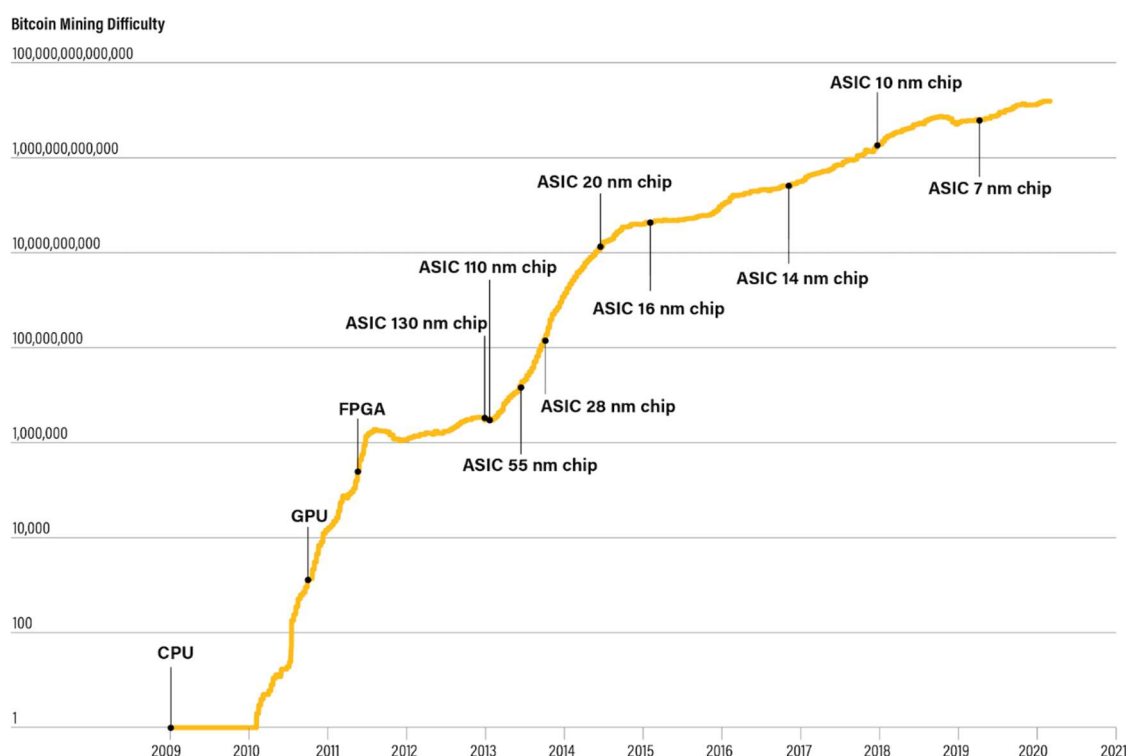
2.1 Princip těžby kryptoměn

Těžba kryptoměn je proces, při kterém jsou pomocí matematických operací ověřovány a potvrzovány transakce v rámci sítě. Aby byl systém decentralizovaný, neřeší výpočet jeden centrální počítač, ale počítače uživatelů sítě – těžařů. Výpočet těchto matematických úloh je velice náročný proces, především na hardware, a proto jsou těžaři za poskytnutí svého výpočetního výkonu odměňováni. Forma odměny je určitý objem dané měny, kterou počítač těží. Tímto procesem se zároveň dostávají do oběhu nové tokeny. Jelikož tržní hodnota kryptoměn je vysoce volatilní, je i odměna za těžbu v převodu na Fiat měny velice proměnný údaj. Zároveň ani odměna za vyřešení určitého množství matematických úloh není konstantní, ale odvíjí se od toho, kolik se aktuálně v síti nachází počítačů řešících stejné úlohy, respektive jaký je poměr poptávky a nabídky v ověřování transakcí. Do čistého výtěžku je ještě nutné započítat náklady na elektřinu, jejíž cena se také v čase mění. Proto není možné zcela přesně určit návratnost investice do těžby kryptoměn.

2.2 Hardware pro těžbu kryptoměn

Historicky první Bitcoin tokeny byly těženy pomocí procesoru počítače (CPU). V počátcích, kdy bylo k síti připojeno jen malé množství lidí, stačil malý výpočetní výkon pro fungování celého systému. S postupem času, kdy se síť začala rozrůstat o nové uživatele a rostly i požadavky na těžební výkon, začaly se používat grafické karty (GPU). Díky svému uzpůsobení pro výpočet více složitých matematických úloh zároveň, dosahují grafické karty cca 6x většího výkonu, než CPU. Dalším krokem byl přestup na FPGA – field programmable gate array, tedy čipy, které může výrobce nakonfigurovat podle účelu, který budou plnit, čímž se dosáhlo dalšího zefektivnění a zvýšení výkonu.

V současnosti se pro těžbu kryptoměny Bitcoin používají především čipy ASIC – application specific integrated circuit chips. Nejedná se již o konfigurovatelný systém, ale o čipy od počátku designované pro těžbu kryptoměn. Z toho důvodu dosahují největší efektivity ze všech zmíněných systémů. Nevýhodou takto vysoce specializovaných zařízení může být jejich složitější prodej, jelikož mají velice úzký rozsah využití, např. dokážou těžit pouze kryptoměnu s určitým matematickým algoritmem kódování. (2)



Obrázek 2: náročnost těžby kryptoměny Bitcoin v čase + nástup nových technologií (2)

Poměrně netradiční způsob těžby je pomocí úložné kapacity, tedy pevných disků, popřípadě SSD. Tento princip využívá například kryptoměna Chia. Těžaři v tomto systému dostávají odměny za ukládání informací o transakcích na svoje úložné disky.

Jednotky, ve kterých se udává výpočetní výkon počítačů, jsou H/s (hash za sekundu), tedy kolik matematických funkcí dokáže počítač vytvořit za jednu sekundu. Hashrate je ovšem nutné porovnávat s obtížností řešení matematických úloh pro jednotlivé kryptoměny. Například jedna z nejvýkonnějších grafických karet, Nvidia RTX 3090, má hashrate 121 MH/s a v případě těžby Ethereum je schopna denně vytěžit tokeny

v hodnotě cca 4,5 USD. V případě těžby Bitcoinu, s tímto výpočetním výkonem, by hodnota tokenů byla cca $2 \cdot 10^{-5}$ USD. Proto se pro těžbu Bitcoinu v dnešní době používají specifické jednotky ASIC, které dosahují hodnoty hashrate až 110 TH/s. Tyto však operují pouze v rámci algoritmu SHA-256, který je specifický pouze pro určité kryptoměny. Algoritmus pro Ethereum byl navrhnut tak, aby nebylo výhodné těžit jej pomocí ASIC jednotek, proto se pro jeho těžbu využívá grafických karet. Hlavními důvody jsou zajištění větší decentralizace měny, jelikož díky menšímu výkonu je v síti potřeba více jednotlivých těžebních jednotek a dalším důvodem je dostupnost těžby pro širší okruh uživatelů, kdy grafické karty jsou výrazně levnější než ASIC jednotky. (3)

3 Chlazení výpočetní techniky

Chlazení je nedílnou součástí všech elektronických výpočetních systémů pro zajištění správné funkčnosti a životnosti jednotlivých komponent. Samotné komponenty jsou zdrojem tepla a jejich tepelný výkon roste spolu s jejich vytížením, proto je nutné zajistit odvod odpadního tepla, aby se předešlo přehřátí a kolapsu systému. Optimální teploty pro provoz grafických karet (GPU) a procesorů (CPU) se pohybují mezi 40 – 55°C. Maximální teploty mohou dosahovat až 90°C, ale takové zatížení výrazně snižuje životnost komponent. Základní druhy chlazení se dělí podle média, které zajišťuje odvod odpadního tepla.

3.1 Thermal design power

Thermal design power (TDP), v překladu návrhový tepelný výkon, je hodnota maximálního množství tepla vyprodukovaná počítačovým čipem, nebo komponentou, kterou musí chladicí systém odstranit. Vyprodukované teplo se zhruba rovná spotřebované energii a vzniká ve vodiči průchodem elektrického proudu, tzv. Joulovo teplo. Zpravidla není TDP maximální tepelný výkon, který je komponenta schopna vyzářit, ale je nižší z důvodu prodloužení životnosti komponenty. Navyšování výkonu nad rámec výrobcem nastaveného limitu se nazývá overclocking (taktování), kdy cílem je zvýšení výkonu dané komponenty, za pomoci zvýšení napětí, na úkor zvýšené produkce tepla, které je nutné odvést a zabránit tak přehřátí a destrukci komponenty.

3.2 Chlazení vzduchem

Chlazení vzduchem je nejpoužívanější způsob odvodu tepla z hardwaru, zároveň je to řešení, které je v naprosté většině případů součástí zakoupené GPU. Nevýhodou tohoto systému je malá měrná tepelná kapacita vzduchu, a tedy nutnost vysokého výkonu pro větráky, které jsou hlučné a mají velkou spotřebu elektrické energie. Zároveň je nutné zajistit dodatečnou kvalitu přiváděného vzduchu, aby nehrozilo riziko poškození hardwaru. Přiváděný vzduch je nutné zbavit prachových částic, které by mohli zanášet komponenty počítače a tím snižovat jeho efektivitu, popřípadě ho zcela zničit. Zároveň je dobré udržovat optimální vlhkost vzduchu, aby nedocházelo ke korozi v případě moc vlhkého vzduchu, a naopak ke vzniku statické elektřiny v případě moc suchého vzduchu. Výhodou je nízká pořizovací cena a jednoduchost celého systému. Zároveň je dobře použitelné pro využití odpadního tepla, jelikož existuje mnoho řešení využívající, jako zdroj nízkopotenciálního tepla, vzduch.

3.3 Chlazení vodou

Funguje na podobném principu jako chlazení vzduchem, tedy teplo je odváděno pomocí tepelného vodiče přímo od zdroje tepla – CPU, GPU a převáděno na chladící médium pomocí tepelného výměníku. Systém vodního chlazení řeší většinu problémů spojených s chlazením vzduchem. Díky 3500x vyšší měrné tepelné kapacitě vody, jako teplonosného média, je systém efektivnější a tím i méně náročný na spotřebu elektrické energie v podobě příkonu pro čerpadla. Zároveň díky absenci větráku je systém také zcela tichý. Další výhodou je, že není třeba řešit kvalitu vzduchu v takové míře, protože vzduch kolem komponent přímo neproudí. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a vysoké nároky na systém. Je nutné zajistit dokonalé odvodu systému, které je klíčové pro správný odvod tepelné zátěže. Stejně důležitá je i těsnost celého systému, kdy únik vody do elektrických komponent by mohl být fatální.

Úměrně větší složitosti systému roste riziko poruchy a nutnosti systém odstavit. Tento případ nastal i během experimentu na téma „Reálné využití odpadního tepla z těžebního zařízení pro produkci kryptoměn v roce 2020“ Ing. M. Konečného. V tomto experimentu byly používány grafické karty s vodním chlazením bez instalovaného filtru pevných částic. Během experimentu došlo k zanesení bloku vodního chlazení

nečistotami a sedimenty (viz. Obrázek 3) a bylo nutné systém na deset dní odstavit. Během odstávky byly všechny grafické karty vyčištěny a přetěsněny, současně byl doinstalován filtr pevných částic. Jakákoli závada v tomto případě znamená nejenom problém v dodávce tepla a nutnost zajištění náhradního zdroje, ale zároveň výpadek v příjmech z těžby, které jsou hlavní podstatou systému. (4)



Obrázek 3: Sedimenty a nečistoty ve vodním výměníku na grafické kartě (4)

3.4 Chlazení olejem

U technologie chlazení olejem jsou grafické karty ponořeny v lázni tvořené minerálním olejem. Odvod tepla je zajištěn pomocí čerpadla, které cirkuluje olej mezi tepelným výměníkem a chlazeným hardwarem. Tato technologie je zatím používána jen vzácně, a proto o ní existuje jen málo informací. Hlavním důvodem použití olejové lázně je prodloužení životnosti hardwaru, kterému olej zajišťuje velice stabilní prostředí bez vnějších vlivů. Ke komponentám se nedostane prach, ani vlhkost a zároveň je zajištěno rovnoměrné chlazení všech částí hardwaru, což eliminuje vznik tepelných ostrovů v místech, kde by u konvenčního chlazení špatně cirkuloval vzduch. Tato technologie však není vhodná pro využití odpadního tepla z důvodu velkého objemu teplonosné látky – minerálního oleje a tím i nízké výstupní teploty. Další nevýhodou je velice složitá instalace a zároveň znehodnocení hardwaru pro další prodej z důvodu znečištění olejem. (5)

V současnosti existuje několik firem, které nabízí systémy pro chlazení těžebních počítačů pomocí speciálního dielektrického oleje. Jednou z nich je americká firma Engineered fluids, která se zabývá vývojem speciálních chladících olejů pro systémy jak na bázi grafických karet, tak ASIC jednotek a zároveň nabízí zakázkovou výrobu kádí, ve kterých se výpočetní jednotky chladí. Výrobce udává, že díky oleji s vysokou tepelnou vodivostí v kombinaci s kádí s efektivním průtokem kapaliny, bylo možné přetaktovat ve své době nejvýkonnější ASIC – AntMiner S9, o 40 %. (6)

Svémi produkty cílí především na větší těžební farmy, které používají pro těžbu ASICy. Pro použití tohoto systému v rámci malé těžební jednotky, skládající se z pouze několika grafických karet, nedává z ekonomického hlediska smysl, jelikož pořizovací náklady jsou poměrně vysoké, a i při zvýšení výpočetního výkonu by investice měla dlouhou dobu návratnosti, která by pravděpodobně převyšovala životnost samotných karet.



Obrázek 4: olejové kádě "SLIC tanks" pro chlazení těžebních jednotek od firmy Engineered fluids (6)

4 Varianty využití odpadního tepla

Základní vlastností odpadního tepla z výpočetní techniky je jeho omezená maximální teplota. Nejvyšší teplota, se kterou je možné uvažovat je ≈ 65 °C.

4.1 Přímé využití

Nejjednodušší způsob využití odpadního tepla z výpočetní techniky, je použití procesor jako přímé elektrické topení. Toho docílíme umístěním počítače do místnosti, kterou chceme vytápět. Toto řešení má hned několik zásadních problémů, i přes to ale existují komerční výrobky pracující na tomto principu, které jsou rozšířené po celém světě.

Francouzská společnost Qarnot vyvinula elektrické topení využívající jako zdroj tepla grafické procesory. Zařízení je vybaveno dvěma grafickými kartami spojenými s hliníkovým tepelným výměníkem bez použití jakéhokoli větráku, čímž je zajištěn nulový hluk při provozu. Výrobce slibuje výkon zařízení 450 W a ve speciálním booster módu až 650 W. Výpočetní výkon grafických karet by měl být 60 MH/s. Cena tohoto topení je 3575 USD. Finanční návratnost této investice, při těžbě kryptoměny Ethereum, je při dnešních cenách elektřiny velice malá. (viz. Obrázek 5) Možná i to je důvod, proč výrobce v současné době tento výrobek už nemá v nabídce. (7)

The screenshot shows the 'Ether Mining Calculator' interface. It includes input fields for 'Enter your hash rate (MH/s)*' (60), 'Power Consumption (in Watts)*' (450), 'Cost per kWh (USD)*' (0.19), 'Network Hash Rate (GH/s)*' (1,001,141.94), 'Average Block Time (Secs)*' (13.2), and 'Price of 1 Ether (USD)*' (2,621.55). Below the inputs are 'Reset' and 'Calculate' buttons. A section titled 'Calculated Mining Earnings' contains a table with columns for Duration, Ether Earned, Power Cost, and Profit.

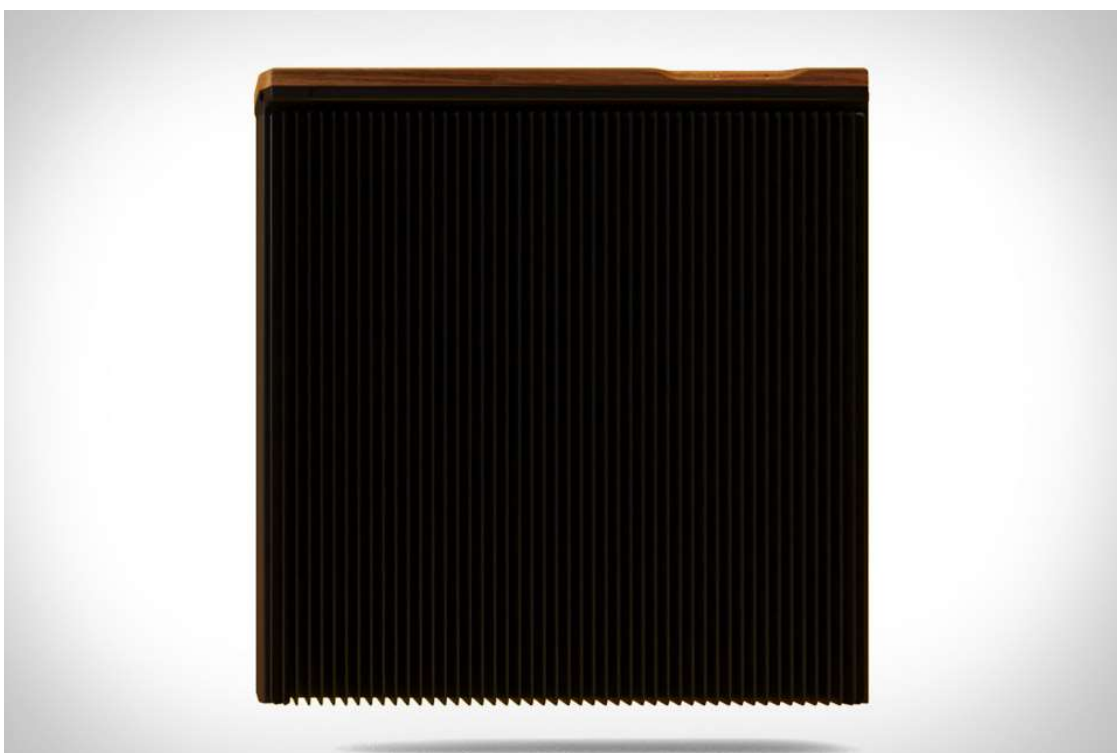
Duration	Ether Earned	Power Cost	Profit
Per Hour	0.0000326899427740214 (\$0.0857)	\$0.0855	\$0.0002
Per Day	0.000784558626576513 (\$2.0568)	\$2.0520	\$0.0048
Per Week	0.00549191038603559 (\$14.3973)	\$14.3640	\$0.0333
Per Month	0.0235367587972954 (\$61.7028)	\$61.5600	\$0.1428

It will take you an average of 2,549.20 days to find 1 block

Obrázek 5: výnos z těžby kryptoměny ETH topením Qarnot QC-1, výpočet pomocí Ether Mining Calculator, ceny k 6.3.2022 (8)

V minulosti bylo toto řešení použito při návrhu bytového domu ve francouzském Bordeaux, kde bylo umístěno 346 jednotek QH-1, které se od QC-1 liší tím, že výkon jejich procesorů není využíván k těžbě kryptoměn, ale plní funkci malého datového centra a svůj výkon propůjčuje bankám, laboratořím nebo animačním studiím. (9)

Obecně je nevýhodou tohoto řešení především nevyužití těžebního potenciálu během období, kdy není potřeba vytápění, jelikož by docházelo k přehřívání interiéru a s tím související prodloužení návratnosti investice. Zároveň zařízení nenabízí možnost ohřevu teplé vody.



Obrázek 6: elektrické topení Qarnot QC-1 (10)

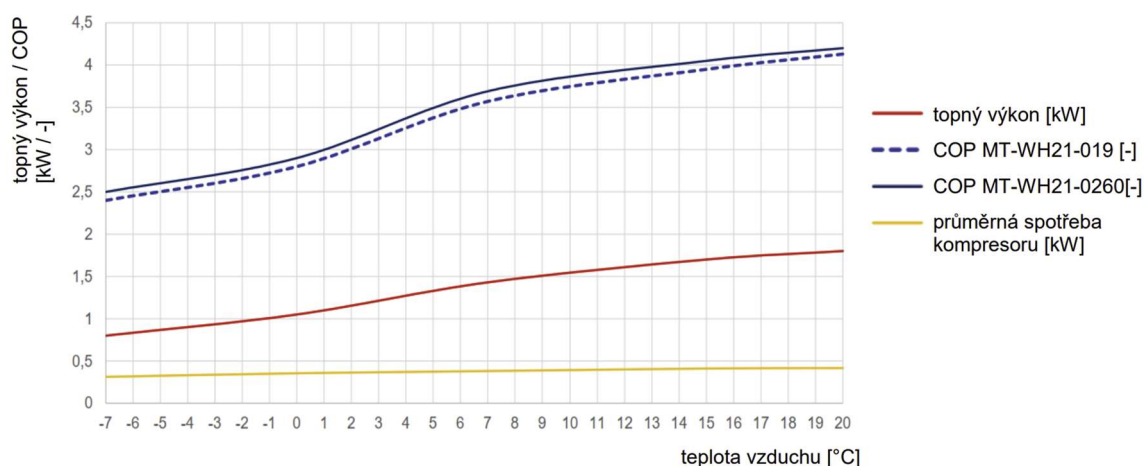
Další možností přímého vytápění odpadním teplem je za pomoci teplé vody ze systému vodního chlazení. Tento systém je náročný na množství ohřáté vody a na její minimální teplotu, jelikož v systému už není žádné zařízení zvyšující teplotu vody. Toto řešení je detailněji popsáno v kapitole 5.2.1 - přímé využití tepla v datových centrech.

4.2 Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla jsou zařízení využívající nízkopotenciálního tepla, které za pomoci elektrické energie převádí na vyšší teplotní hladinu, a tím umožňují jeho použití pro vytápění nebo přípravu teplé vody. Tepelná čerpadla se dělí podle typu zdroje tepla (voda, země, vzduch) a podle teplonosného média, kterým je tepelná energie transportována do dalších systému a zařízení (voda, vzduch).

Tepelné čerpadlo se skládá z chladícího okruhu, dvou tepelných výměníků, kompresoru a expanzního ventilu. Chladivo, kterým je chladící okruh naplněn, proudí skrze výparník, který je umístěn ve zdroji nízkopotenciálního tepla (voda, země, vzduch) a odebírá z něj tepelnou energii a díky nízkému bodu varu se vypařuje. Pára je dále nasávána do kompresoru, kde z důvodu zvýšení tlaku naroste její teplota na hodnotu vhodnou pro další využití. Toto teplo je předáno do např. zásobníku teplé vody skrze druhý výměník – kondenzátor. V kondenzátoru se pára z důvodu ochlazení pod bod varu přemění zpět na kapalinu a odevzdává svoje latentní teplo teplonosné látce. Chladivo dále prochází skrze expanzní ventil, za kterým už nepůsobí tlak kompresoru a tím se dále snižuje teplota látky. Ochlazená látka dále postupuje zpět do výparníku a proces se opakuje. (11)

Hlavní výhodou tepelného čerpadla je jeho vysoká účinnost, která je vyjádřena topným faktorem (COP – Coefficient of Performance). Topný faktor je rovný poměru vyprodukované a spotřebované energie. Spotřebovaná energie je elektrická energie použita na pohon kompresoru a vyprodukovaná energie je ve formě tepla akumulovaného v teplonosné látce. Topný faktor je proměnný v závislosti na teplotě vstupního média. Jelikož příkon kompresoru je stále relativně konstantní a zároveň při vyšší teplotě nízkopotenciálního zdroje je větší výkon tepelného čerpadla, znamená to, že je vyšší topný faktor. Tuto závislost znázorňuje Obrázek 7.



Obrázek 7: závislost topného výkonu na teplotě vzduchu, TČ Nibe MT-WH21-019

Díky této vlastnosti se nabízí použít odpadní teplo z výpočetní techniky pro zvýšení teploty vstupního média a tím zvýšit účinnost tepelného čerpadla.

Další možností, jak charakterizovat výkon tepelného čerpadla, je sezónní topný faktor (Seasonal Coefficient of Performance). SCOP vyjadřuje průměrný topný výkon během celé topné sezóny závislý na klimatických podmínkách v průběhu roku. Přesný výpočet SCOP určuje norma ČSN EN 14825. (12)

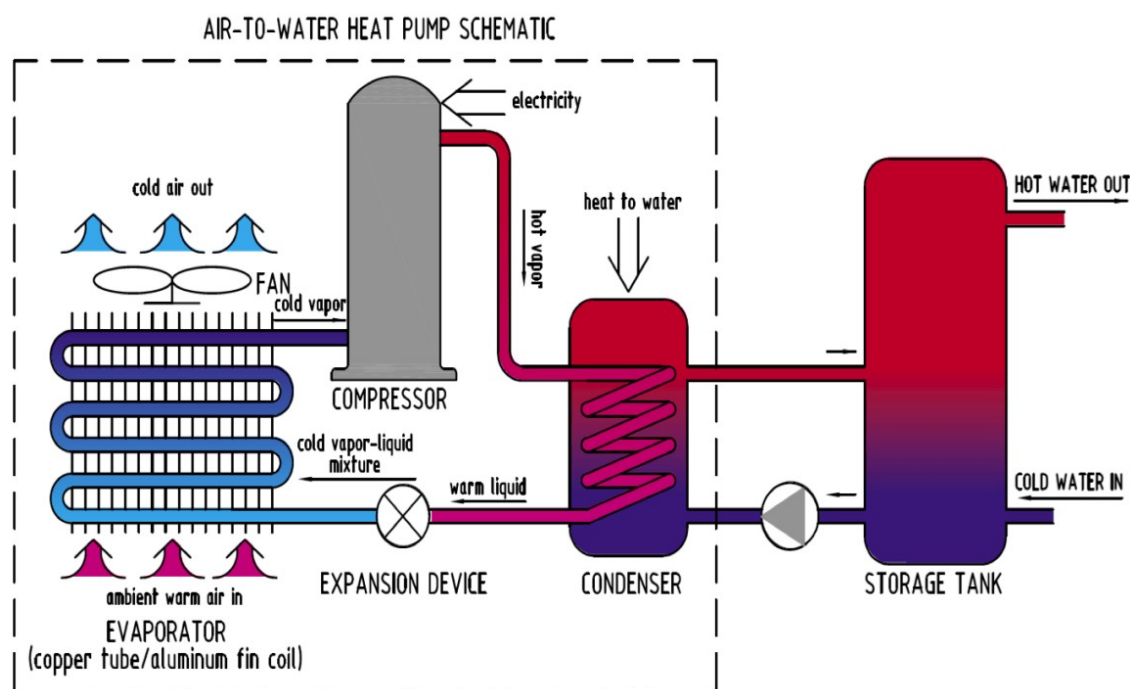
4.2.1. Tepelné čerpadlo vzduch – voda

U tepelného čerpadla typu vzduch – voda se běžně výparník umísťuje do exteriéru mimo budovu, tedy se jako zdroj energie používá vzduch o venkovní teplotě. Nevýhodou tohoto řešení je, že s klesající teplotou exteriéru výrazně klesá i topný faktor tepelného čerpadla. Dalším limitem tohoto řešení je minimální teplota, při které tepelné čerpadlo přestává fungovat. Minimální teplota pro provoz tepelného čerpadla se pohybuje v rozmezí -20 až -25 °C. Alternativní řešení je umístit výparník do interiéru a těmto problémům se vyhnout, potom se jedná o tzv. ventilační tepelné čerpadlo. (13)

V případě využití odpadního tepla z výpočetní techniky u technologie tepelného čerpadla vzduch – voda využíváme energii ve formě ohřátého vzduchu, tedy výparník je umístěn v interiéru budovy, většinou přímo v místnosti s těžební technikou. Teplý vzduch je větrákem přiveden do výparníku tepelného čerpadla, kde předá teplo

teplosměnnému médiu. Po odevzdání své energie ve formě tepla se ochlazený vzduch vrací zpět do místnosti, kde odebere tepelnou energii výpočetní technice, čímž zamezuje jejímu přehřátí. (viz. Obrázek 8)

Tímto řešením se eliminuje teplotní limit, který omezuje řešení s umístěním výparníku v exteriéru. Tepelné čerpadlo tedy funguje nezávisle na změnách teploty v exteriéru v průběhu roku. Další výhodou tohoto řešení je jednoduchost instalace, kdy stačí čerpadlo umístit do místnosti, kde se nachází výpočetní technika a není nutné jakékoli napojení výparníku na výpočetní techniku. Při použití splitového tepelného čerpadla je možné do místnosti s výpočetní technikou umístit pouze výparník, zatímco kondenzátor bude umístěn v místnosti v jiné části objektu, kde se bude nacházet technické zázemí se zásobníkem teplé vody. (14)



Obrázek 8: schéma tepelného čerpadla voda – vzduch (15)

Jak už bylo zmíněno v kapitole 3.2, v případě tohoto řešení je nutné zajistit filtraci cirkulovaného vzduchu, jelikož prachové částice mohou způsobit snížení efektivity procesorů, popřípadě je úplně zničit. Zároveň je potřeba u TČ ověřit maximální

objemový průtok ventilačního vzduchu, který bude odpovídat množství tepelné energie, kterou je nutné odvést z místnosti se zdrojem tepla. Při nedostatečném průtoku by docházelo k postupnému přehřívání vzduchu v místnosti. Pro návrh maximálního tepelného výkonu výpočetní techniky lze použít následující vzorec:

$$p = \frac{m * V_0 * c * \Delta T}{3600}$$

Kde:

- p maximální tepelný výkon [W]
- m hmotnost vzduchu ($\div 1,25 \text{ kg/m}^3$)
- c měrná tepelná kapacita vzduchu ($\div 1,01 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$)
- ΔT teplotní rozdíl přiváděného a odváděného vzduchu [K]
- V_0 objemový průtok vzduchu [m^3/h].

Jelikož maximální objemový průtok ventilačních TČ je cca $350 \text{ m}^3/\text{h}$ (viz. kapitola 6.2), hodnotu maximálního tepelného výkonu lze ovlivnit pouze teplotním spádem odváděného a přiváděného vzduchu. V případě přívodu vzduchu o venkovní teplotě je nutné počítat s maximální teplotou v letním období. Pro většinu případů bude nutné navrhnout bypass tepelného čerpadla pro letní období, kdy není potřeba vytápění a TČ bude spínat pouze pro přípravu TUV. Do výpočtu je zároveň nutné zahrnout faktor účinnosti odvodu tepelné zátěže, který v reálných podmínkách nebude dosahovat 100 %. Jeho konkrétní hodnota se odvíjí od množství proměnných a záleží na konkrétním řešení. Prakticky jediná možnost, jak zjistit přesnou hodnotu účinnosti, je experimentálním měřením na konkrétním systému.

4.2.2. Tepelné čerpadlo vzduch – vzduch

Tepelné čerpadlo typu vzduch – vzduch funguje na podobném principu jako typ vzduch – voda popsany v kapitole 4.2.1, s tím rozdílem, že médium, do kterého se přenáší energie z odpadního tepla je vzduch namísto vody. To přináší omezení v podobě možností vytápění a zároveň znemožňuje využití pro přípravu teplé vody.

Typický způsob vytápění při využití tepelného čerpadla vzduch – vzduch je teplovzdušné vytápění. Toto řešení je omezené malým výkonem, a proto se hodí do

rodinných domů v pasivním standardu, u kterých se tepelné ztráty pohybují v rozmezí 2–3 kW. (16)

Při využití pro chlazení výpočetní techniky nastává problém v období, kdy není potřeba vytápění a odpadní teplo není možné odvádět pomocí výparníku tepelného čerpadla. Proto je nutné v tomto případě navrhnout by-pass systému a mimo topnou sezónu odvádět odpadní teplo do exteriéru bez dalšího využití. To snižuje celkovou efektivitu systému.

Hlavní výhodou oproti ostatním řešením je nízká pořizovací cena a možnost chlazení při reverzním chodu tepelného čerpadla. V takovém případě je ale nutné umístit výparník (kondenzátor v režimu chlazení) do exteriéru. Při použití pro chlazení výpočetní techniky je tedy nutné využívat TČ pouze jako klimatizaci s odvodem tepla do exteriéru, nebo v případě vytápění zajistit mimo topnou sezónu odvod tepla jiným způsobem.

Použití TČ vzduch – vzduch pro chlazení těžebních počítačů přímo doporučuje firma MRCOOL, která má v nabídce různé typy splitových tepelných čerpadel s možností inverzního chodu chladícího okruhu. Jako hlavní výhody jejich systému uvádí možnost kontroly vlhkosti vzduchu, použití filtrů pevných částic a napojení až pěti vnitřních jednotek na jeden kondenzátor v exteriéru. Díky tomu jsou zajištěny optimální podmínky pro provoz těžebních počítačů. Nevýhodou je, že přímo nenabízí řešení pro další využití odpadního tepla. (17)

4.2.3. Kompaktní větrací jednotky s tepelným čerpadlem

Tento typ zařízení kombinuje všechny potřebné funkce v moderním domě. Kompaktních jednotek je mnoho typů podle jednotlivých funkcí, kterými disponují. Všechny typy obsahují tepelné čerpadlo, jehož výparník je napojený na odpadní vzduch z interiéru a měly by obsahovat zásobník teplé vody, větrací zařízení a záložní elektrokotel. U některých typů má tepelné čerpadlo sekundární výparník umístěný v exteriéru pro zajištění většího výkonu. Další typy se dělí podle toho, zda obsahují:

- zařízení zpětného získávání tepla
- funkci chlazení při reverzním chodu TČ

- funkci chlazení bez pomoci TČ (při vhodných podmínkách)
- odvlhčování, zpětné získávání vlhkosti
- větrání rovnotlaké
- větrání podtlakové. (18)

Výhodou tohoto zařízení je komplexní řešení všech potřeb pro zajištění komfortního vnitřního prostředí budovy a tím i úspora prostoru. Zároveň je díky sloučení všech dílčích zařízení do jednoho zajištěna součinnost a tím i vysoká efektivita celého systému.

4.2.4. Tepelné čerpadlo země – voda/vzduch

Geotermální tepelná čerpadla jsou neúčinnějším typem tepelných čerpadel. Zdrojem nízkopotenciálního tepla je země, popřípadě spodní voda, ve které je umístěn výměník ve formě vrtu. Vrty mohou mít v zemi různý tvar a orientaci, podle čehož se dělí na jednotlivé typy. Základní rozdělení vrtů je podle orientace na horizontální a vertikální. Vertikální vrty dosahují hloubky až 200 m, s tím že na 1 kW výkonu je potřeba 15-20 m hloubky vrtu a pro daný výkon potřebují menší půdorysnou plochu. Vrty horizontální jsou umístěny v nezámrazné hloubce pod povrchem a využívají především teplo naakumulované z letního období. Podstatnou nevýhodou tohoto systému je prostorová náročnost – 30-45 m² na 1 kW výkonu a zároveň na povrchu nad kolektorem není možné umísťovat komunikace, bazény ani stromy. Tento typ je ale výrazně levnější oproti technologii vertikálních vrtů. (19)

U hlubinných vrtů hrozí riziko znehodnocení vrtu v případě, že vrt není schopen regenerace. Tato situace nastane, když teplota vrtu klesne na teplotu přiváděného chladiva, potom už vrt není schopen předat žádnou tepelnou energii chladivu. Tento problém může nastat v případě, že hloubka vrtu nebyla správně nadimenzována na daný odběr energie, nebo nebyly splněny předpoklady pro schopnost regenerace vrtu z okolního prostředí. Jedna z možností, jak tento problém řešit je využít odpadní teplo z výpočetní techniky pro stálou regeneraci vrtu. Na okruh tepelného čerpadla se připojí výměník odvádějící odpadní teplo z výpočetní techniky, čímž se zvýší teplota chladiva vystupujícího z vrtu. Pokud bude tepelné čerpadlo v provozu, zvýší se jeho topný faktor

díky větší vstupní teplotě chladiva, v opačném případě se bude chladivo o zvýšené teplotě vracet zpět do vrtu, který bude regenerovat.

4.2.5. Tepelné čerpadlo voda – voda

Tepelná čerpadla využívající energii z vody fungují na podobném principu jako TČ země – voda. Při využití pro vytápění rodinných domů, nebo bytové výstavby se nejčastěji využívá spodní nebo geotermální voda, která proudí do studny. TČ voda – voda se dále dělí podle toho, zda se voda ze zdroje čerpá přímo do jednotky s výparníkem – otevřený systém, nebo je výparník umístěn ve zdroji vody – uzavřený systém.

Pozitivní vlastnosti vody, jako zdroje nízkopotenciálního tepla, je vysoká tepelná vodivost a měrná tepelná kapacita. Proto mohou být TČ využívající energii z vody více efektivní než ty, které využívají zemi nebo vzduch.

Výhodou oproti systémům čerpající nízkopotenciální teplo ze zemského masivu je v případě vertikálních vrtů nižší cena a v případě horizontálních plošných výměníků prostorová nenáročnost. Limitem je nutnost mít v bezprostřední blízkosti objektu dostatečně vydatný zdroj vody, který je dobře dostupný.

Pro využití odpadního tepla z těžebního PC se nabízí použít systém vodního chlazení, který bude napojen na přívod chladiva z výměníku a bude tak navyšovat vstupní teplotu do TČ. V případě použití vody z vodního chlazení jako jediného zdroje tepla je nutné zajistit průtok minimálně cca 900 l/h na 10 kW výkonu TČ a zároveň zajistit dostatečný teplotní spád v okruhu vodního chlazení, ten závisí na tepelném výkonu těžebního PC. Alternativním zdrojem může být voda technologická, která vzniká chlazením průmyslových zařízení. Typicky se toto řešení používá u datových center využívajících vodní chlazení. (20)

5 Porovnání s datovými centry

Jelikož je téma využití odpadního tepla z elektronických zařízení v malém měřítku, jako je rodinný dům, pouze omezeně probádaná problematika, nabízí se se inspirovat u datových center, kde je využití odpadního tepla běžnou praxí.

5.1 Typy chlazení DC

Základní principy chlazení výpočetní techniky v DC jsou identické s těmi používanými pro osobní počítače, které jsou popsány v kapitole 3. Rozdílem je především objem tepelné energie, které musí chladicí systémy odstranit a od toho se i odvíjí rozdíly v technickém řešení takových systémů. Existuje mnoho typů chladicích systémů využívajících vzduch, které se liší směrem proudění vzduchu a i jeho teplotou. Díky změně vstupní teploty do chladicího systému lze ovlivnit výstupní teplotu, která může být klíčová pro další využití tepla. Typ chlazení, který není zcela typický pro výpočetní techniku malého formátu je kombinovaný systém vody a vzduchu. Tato varianta je používána u DC s vysokou výpočetní hustotou, jelikož má velký chladicí výkon. Systém funguje na principu, že vzduch poháněný ventilátory přesune tepelnou zátěž od výpočetní techniky k výměníkům okruhu vodního chlazení, které energii dále přesunou pryč ze systému. Je využíván také pro případy navyšování výpočetního výkonu DC, protože část s vodním chlazením se dá instalovat dodatečně ke stávajícímu chlazení vzduchem.

5.2 Využití odpadního tepla DC

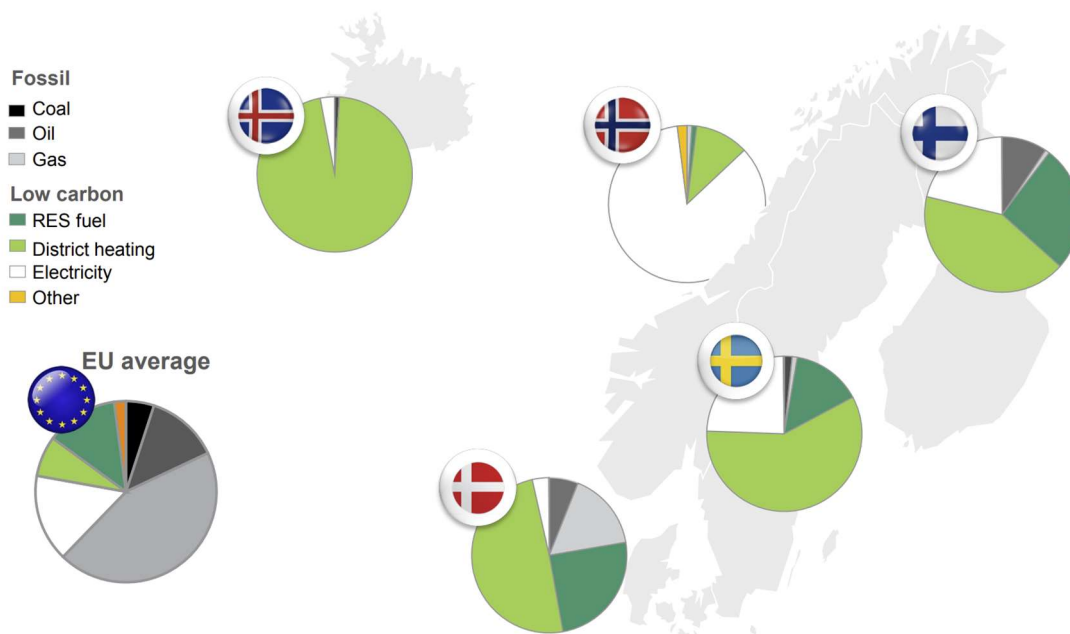
5.2.1. Přímé využití

Vzhledem k výrazně většímu výpočetnímu výkonu DC je k dispozici i větší tepelný výkon, který rozšiřuje škálu využití odpadního tepla. Velký tepelný výkon poskytuje možnost lépe využít teplo pro přímé vytápění. Díky dostatečnému množství energie je možné ohřát otopnou vodu, nebo vzduch bez dodatečného zařízení jako tepelné čerpadlo, nebo elektrický ohřívač. V tomto případě je nutné zajistit dostatečně vysokou teplotu chladicího média, která by měla být minimálně 50 °C při použití pro ohřev užitkové vody podle vyhlášky č. 252/2004.

5.2.2. Prodej tepla do soustavy dálkového vytápění

Výhodou velkého množství odpadního tepla je také možnost prodeje tepla do soustavy dálkového vytápění, které je však limitováno minimální tepelným výkonem 10 MW, což nesplňuje žádné DC v ČR. Tato varianta je populární spíše v severských zemích, kde se pro systém dálkového vytápění používá odpadní teplo nejen z DC, ale také z elektráren

nebo supermarketů. Obrázek 9 znázorňuje tento trend i v porovnání s evropským průměrem. (21) (22)



Obrázek 9: Zdroje energie používané pro vytápění objektů pro bydlení a služby (21)

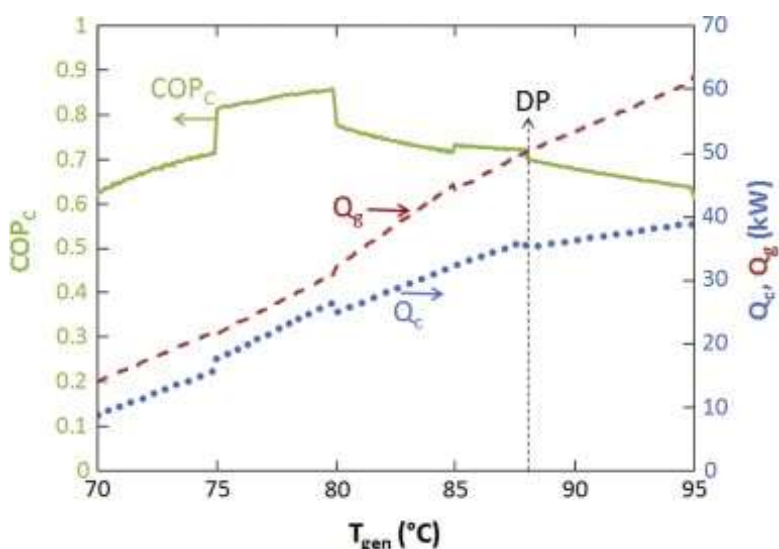
5.2.3. Výroba elektrické energie

Jednou z možností využití tepla je tvorba elektrické energie pomocí Organického Rankinova cyklu (ORC), Kalinovým cyklem, nebo termo akustickým jevem. Tato metoda není příliš rozšířená zejména kvůli své nízké účinnosti, která dosahuje 10 % v případě ORC a 15 % v případě Kalinova cyklu. Obě tyto metody pracují na principu Rankinova cyklu, který je používán v tepelných čerpadlech, s tím rozdílem, že pára o vysoké teplotě je používána pro pohon generátoru s parní turbínou vyrábějící elektřinu. U ORC je jako pracovní látka používána organická látka, nejčastěji silikonový gel. U Kalinova cyklu se používá směs čpavku a vody. (23) (24)

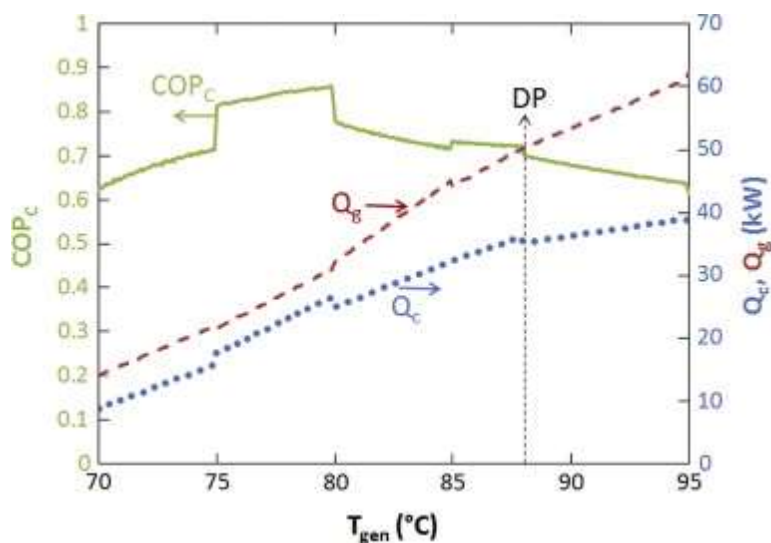
5.2.4. Absorpční chlazení

Absorpční chlazení funguje na podobném principu jako tepelné čerpadlo, tedy chladivo absorbuje teplo při nižší teplotě a tlaku během odpařování a uvolňuje ho při vyšší teplotě a tlaku během kondenzace. Rozdílem oproti tepelnému čerpadlu je absence

kompresoru, který nahrazuje vypuzovač využívající tepelnou energii. Limitem využití této technologie pro chlazení výpočetní techniky je vysoká minimální vstupní teplota 80 °C. Možným řešením je dohřev odpadního tepla na vyšší teplotu, např. elektrickým ohřívačem a solárními panely, nebo zvýšení výstupní teploty odpadního tepla. V minulosti byly provedeny experimenty možného využití pro chlazení datových center při zvýšení vstupní teploty až na 95 °C za pomoci specifických procesorů s teplotním limitem až 125 °C. Během této studie bylo dosaženo maximálního COP 0,86 při teplotě cca 80 °C a chladícím výkonu cca 25 kW. Při pokusu o dosažení maximálního výkonu za pomoci snížení teploty vody v chladícím okruhu byl chladící výkon při 95 °C 49 kW, ale COP kleslo na 0,66. To nám ukazuje, že systému výrazně klesá účinnost s nárůstem výkonu. Experiment zároveň dokládá nutnost zajistit dostatečně vysokou vstupní teplotu, jelikož při poklesu vstupní teploty na 70 °C a při nesnížené teplotě chladící vody, klesá chladící výkon na cca 10 kW. (25)



Obrázek 10: Závislost COP, výkonu a teploty – chladící voda 31 °C (25)



Obrázek 11: Závislost COP, výkonu a teploty – chladící voda 26,7 °C (25)

Jelikož je technologie absorpčního chlazení rozšířená pouze v rámci průmyslového využití, výrobci mají v nabídce jednotky o výkonu v rozmezí 35 až 12 000 kW. To znemožňuje využití tohoto systému pro chlazení malé těžební soustavy o výkonu v řádech jednotek kW.

6 Technické řešení

Pro bakalářskou práci byl vybrán objekt rodinného domu ve Vestci u Prahy, na kterém byl navrhnout systém vytápění s využitím odpadního tepla z těžebních počítačů. Objekt disponuje dvěma nadzemními podlažími a plochou střechou. Celková užitná plocha je 272 m². Technická místnost, kde se nachází veškeré technické vybavení včetně těžebních počítačů, je umístěna v 1. NP. Celkové tepelné ztráty objektu, s použitím zařízení zpětného získávání tepla s účinností 85 %, jsou 7549 W. Potřebný výkon pro přípravu teplé vody je 756 W. V objektu se uvažuje s počtem pěti lidí, kteří ho trvale využívají.



Obrázek 12: Vybraný objekt RD pro návrh otopné soustavy

6.1 Koncept vytápění a větrání

Jelikož objekt využívá nízkopotenciálního odpadního tepla, nabízejí se dva typy vytápění, které dokážou pracovat s nižšími teplotami otopného média – teplovodní podlahové vytápění a teplovzdušné vytápění. Vzhledem k tomu, že teplovzdušné vytápění je efektivní do velikosti tepelných ztrát cca 2-3 kW, tak je pro zvolený objekt nevhodný. Podlahové vytápění je vhodné jednak nízkými teplotami pracovní látky, které se pohybují v rozmezí 30–40 °C a malým teplotním spádem do 10 °C.

Výhodou podlahového vytápění oproti topným tělesům je schopnost samoregulace. Tento princip funguje díky malému teplotnímu spádu mezi topnou vodou a vzduchem v interiéru. V momentě, kdy se v interiéru zvýší teplota o několik °C, topný výkon rapidně klesá, jelikož teplotní spád se snížil o desítky procent. Tento princip pomáhá předcházet přehřívání bez nutnosti neustálé regulace systému pomocí termostatu. Tento princip funguje i analogicky, tedy při snížení teploty interiérového vzduchu dochází k nárůstům topného výkonu soustavy. Závislost měrného tepelného toku a teplotního spádu popisuje rovnice:

$$q = \alpha_p * (t_p - t_i)$$

Kde:

q měrný tepelný tok [$W \cdot m^{-2}$]

α_p celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

t_p povrchová teplota podlahové plochy [$^{\circ}C$]

t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}C$]. (26)

Nevýhodou podlahového vytápění je velká setrvačnost a pomalá odezva. Tato vlastnost je způsobena velkou akumulací schopností podlahy.

6.2 Návrh zdroje tepla

Jako těžební počítač byla zvolena kompletní sestava od společnost Kenntino/Pcpraha.cz. Sestava obsahuje 6 grafických karet karet Radeon RX 6800 XT, procesor AMD Ryzen 3 1200 a zdroj o výkonu 1800 W. Celá sestava má příkon 800 W a těžební výkon 370 MH/s. Můžeme tedy předpokládat, že tepelné zisky od počítače budou 800 W.

Jelikož je v objektu teplovodní podlahové vytápění, je nutné vybírat z typů čerpadel, které používají jako výstupní médium vodu. Jako zdroj nízkopotenciálního tepla byl vybrán vzduch z důvodu nejlepší finanční dostupnosti a nejsnazší instalace. Zároveň na pozemku nebyl proveden geologický průzkum, který by určil realizovatelnost hlubinného vrtu, nebo potvrdil přítomnost dostatečně vydatného zdroje vody. Pro horizontální zemní kolektor je pozemek příliš malý a nevhodný z hlediska využití zahrady, viz. kapitola 4.2.4. Samotný těžební PC bude chlazen vzduchem z důvodu nevýhod chlazení vodou popsaných v kapitole 3.3 a faktu, že těžební sestava je z výroby chlazená vzduchem a přestavba na vodní chlazení by anulovala záruku. Pro návrh je tedy vybráno TČ typu vzduch – voda.

Požadovaný objemový průtok vzduchu znemožňuje použít klasické TČ vzduch-voda, které je určeno pro využívání exteriérového vzduchu. Takovéto jednotky mají při požadovaném výkonu cca 8 kW objemový průtok vzduchu až 2500 m³/h. Alternativou jsou ventilační tepelná čerpadla, která jsou navržena na využívání odpadního tepla z větracího vzduchu z interiéru objektu a stačí jim objem větracího vzduchu 80-350 m³/h. Nevýhodou tohoto řešení je, že ani nejvýkonnější jednotky nepřevyšují výkon 6,5

kW. Většinou však disponují dodatečným elektrickým dohřevem o výkonu 6 až 9 kW. Další možností je vytvořit systém sestávající ze splitového TČ s výparníkem umístěným v exteriéru ve spojení s ventilačním modulem, který je napojen na systém větrání a využívá odpadní teplo. Defacto se jedná o malé ventilační TČ s výkonem cca 1-2 kW, které je napojeno na klasické TČ, které není limitováno objemem větracího vzduchu, tudíž může mít výrazně větší výkon. Poslední možností je kompaktní ventilační jednotka, jejíž funkce jsou popsány v kapitole 4.2.3. V rámci výběru konkrétního TČ pro projekt byla sestavena tabulka s přehledem možných řešení od hlavních výrobců tepelných čerpadel.

Typ TČ	Název TČ	výkon [kW]	el. Dohřev [kW]	průtok vzduchu [m ³ /h]	velikost zásobníku [l]	cena [Kč]
ventilační TČ	Nativa EX65	6,3	6/9	220 - 330	210	242 000
ventilační TČ	Nibe F750	5,5	6,5	76-253	180 +35 vytápění	271 000
kompaktní ventilační jednotka	Stiebel-eltron LWZ 8 CS Premium	8,5	8,8	80-300	235	436 000
Splitové TČ + ventilační modul	Nibe F2120-8 + Nibe VVM320 modul Nibe F135	6,3	9	2400	180	290 000
		1,4	-	280	-	47 000
Splitové TČ + rekuperační jednotka	Viessmann Vitocal 222-S 221.C08	6,7	9	4500	210	189 000
	Vitivent 300-W	-	-	300	-	64 000

Obrázek 13: Porovnání zdrojů tepla využívajících odpadní teplo ze vzduchu (ceny jsou pouze orientační a nemusí odpovídat aktuální MOC)

Pro projekt bylo vybráno ventilační tepelné čerpadlo Nativa Excellence EX65, které splňuje požadavky na potřebný výkon, i velikost zásobníku TUV a zároveň je nejlevnějším řešením. Oproti splitovým TČ nepotřebuje venkovní jednotku s výparníkem, ani dodatečný modul zajišťující větrání odpadního tepla. Součástí jednotky je i expanzní nádoba, čerpadlo a armatury potřebné pro připojení otopného okruhu a TUV. Velikost výkonu elektrického dohřevu je volitelná 6 nebo 9 kW, v případě řešeného objektu stačí menší výkon.

Pro ověření, zda TČ dokáže během provozu v létě, kdy má přívodní vzduch nejvyšší teplotu a otopná soustava nejmenší odběr energie, odebrat veškeré odpadní teplo z PC, použijeme vzorec z kapitoly 4.2.1:

$$p = \frac{m * V_0 * c * \Delta T}{3600}$$

Pro objemový průtok budeme uvažovat výrobcem udávané minimum, jelikož předpokládáme, že TČ bude užíváno pouze pro ohřev TUV. Teplotu přiváděného

vzduchu z exteriéru určíme podle ČSN 73 0548, která udává letní výpočtovou teplotu pro návrh výkonu chladících systémů 30 °C. Teplotu odpadního vzduchu z PC odhadujeme na 35 °C. (27)

$$p_{PC} = 800 \text{ W}$$

$$m = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$V_0 = 220 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta T = t_{PC} - t_{ext} [\text{K}]$$

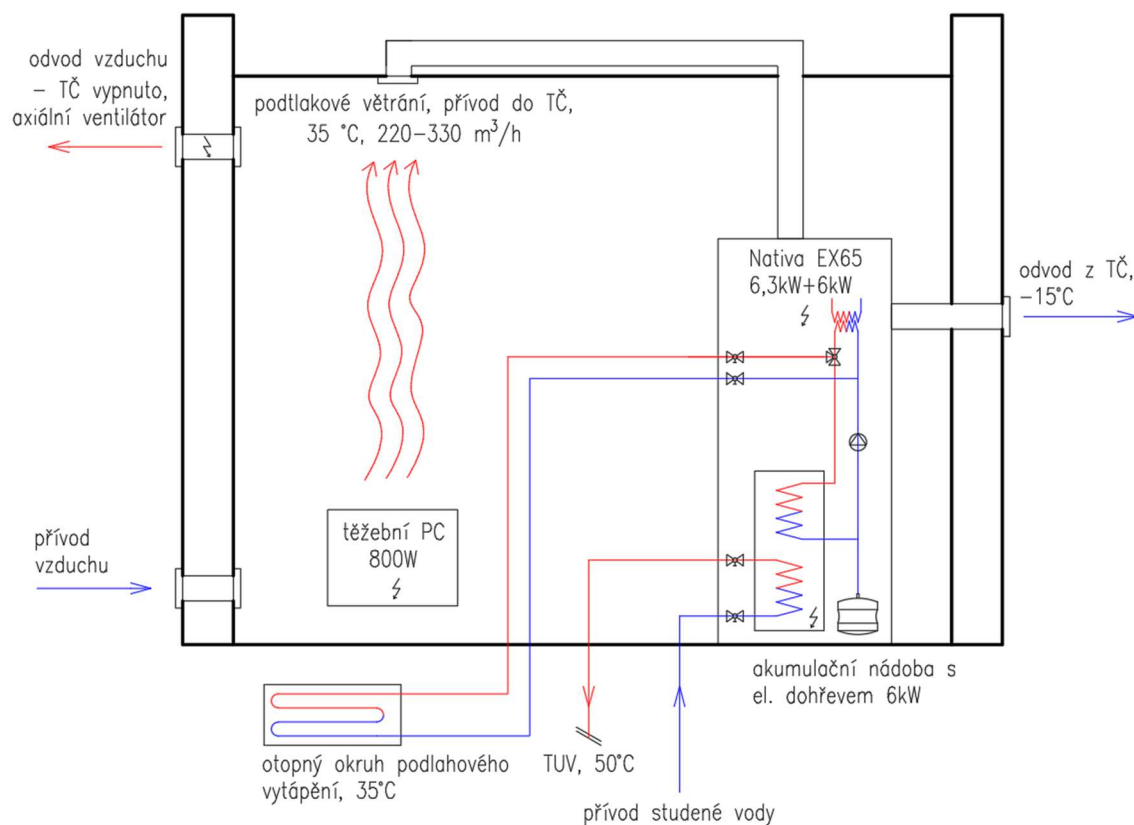
$$t_{PC} = 35 \text{ °C}$$

$$t_{ext} = 30 \text{ °C}$$

$$p = \frac{1,25 * 220 * 1010 * (35 - 30)}{3600}$$

$$p = 356 \text{ W} < p_{PC} = 800 \text{ W}$$

Jelikož TČ nedokáže při minimálním objemovém průtoku vzduchu a při maximální venkovní teplotě odebrat ani polovinu tepelné zátěže je nutné, aby i v době provozu TČ byl aktivní ventilátor odvádějící odpadní vzduch do exteriéru. V případě, že TČ nebude v provozu vůbec, bude odvod celé tepelné zátěže zajišťovat pouze ventilátor. Axiální ventilátor musí být schopen zajistit objemový průtok minimálně 456 m³/h pro odvedení tepelné zátěže při návrhových podmínkách. Schéma celého systému zobrazuje Obrázek 14.



Obrázek 14: Schéma zapojení otopné soustavy

7 Ekonomická rozvaha

Vybraná těžební soustava má těžební výkon 370 MH/s. S tímto výkonem je, při ceně kryptoměny ETH cca 59 593 Kč, schopna vytěžit za den tokeny v hodnotě cca 288 Kč. Při ceně elektřiny 4,3 Kč/kWh a spotřebě 800 W, tak činí denní čistý výtěžek cca 205 Kč. Měsíční výtěžek při nepřetržitém provozu by byl cca 6150 Kč. Hodnoty výtěžků byly vypočítány pomocí Ether Mining Calculator, viz. Obrázek 15. (8)

Ether Mining Calculator

This mining calculator will display your expected earnings in both Ether and Dollars. The calculations are based on the assumption that all conditions (difficulty and prices) remain as they are below and does NOT take into consideration the uncle block rewards.

Enter your hash rate (MH/s) *

Power Consumption (in Watts) *

Cost per kWh (USD) *

Network Hash Rate (GH/s) *

Average Block Time (Secs) *

Price of 1 Ether (USD) *

Calculated Mining Earnings

Duration	Ether Earned	Power Cost	Profit
Per Hour	0.000204450807635763 (\$0.5279)	\$0.1520	\$0.3759
Per Day	0.00490681938325831 (\$12.6692)	\$3.6480	\$9.0212
Per Week	0.0343477356828082 (\$88.6845)	\$25.5360	\$63.1485
Per Month	0.147204581497749 (\$380.0763)	\$109.4400	\$270.6363

It will take you an average of 407.60 days to find 1 block

Obrázek 15: Profitabilita těžby kryptoměny ETH vybraným těžebním počítačem, ceny k 6.3.2022 (8)

Pro hrubý odhad profitability těžby v rámci zapojení do otopné soustavy byla sestavena tabulka porovnávající roční bilance pro různé režimy provozu těžebního PC – v provozu s využitím odpadního tepla, v provozu bez využití odpadního tepla a mimo provoz. Roční potřeba tepla objektu je 18,3 MWh a pro lokalitu, ve které se nachází, se uvažuje s délkou otopného období 225 dnů. V otopném období se uvažuje využití 90 % odpadního tepla pro přípravu TUV a pro vytápění. Náklady na elektřinu pro PC jsou v tomto případě z většiny pokryty. Hodnota COP TČ byla vypočítána, jako průměr topných faktorů pro různé teplotní spády, které výrobce udává, jelikož není známa hodnota SCOP. COP uvažujeme 3,48. V době mimo otopné období je potřebný výkon pouze 756 W pro přípravu TUV, což zhruba odpovídá tepelnému výkonu PC. Odpadní teplo má ovšem nižší teplotní hladinu, než je vyhláškou č. 252/2004 udávaná minimální teplota TUV 50 °C, proto uvažujeme využití energie z PC pouze 50 %.

cena elektřiny	4,3	Kč/kWh
tepelný výkon rigu	800	W
teplo z rigu za den	19,2	kWh
cena tepla z rigu za den	82,56	Kč

celková roční potřeba tepla	18,269	MWh
COP tepelného čerpadla	3,48	
roční náklady na vytápění bez rigu	22 574	Kč
počet topných dnů v roce	225	
míra využití tepla během topné sezóny	90	%
míra využití tepla mimo topnou sezónu	50	%

	Kč/den	Kč/rok
BEZ VYUŽITÍ TEPLA		
výdělek z těžby	288	105 120
náklady na elektřinu	- 83	- 30 295
čistý výdělek	205	74 825
náklady na vytápění		- 22 574
celková bilance		52 251
S VYUŽITÍM TEPLA		
výdělek z těžby	288	105 120
náklady na elektřinu	- 83	- 30 295
cena odpadního tepla	75	22 618
čistý výdělek	280	97 443
náklady na vytápění		- 22 574
celková bilance		74 869
VYPNUTO		
výdělek z těžby	-	-
náklady na elektřinu	-	-
čistý výdělek	-	-
náklady na vytápění		- 22 574
celková bilance		- 22 574

Obrázek 16: Porovnání profitability těžby při provozu těžebního PC s/bez využití odpadního tepla a mimo provoz

Z výpočtu vyplývá, že i v případě, že by nebylo možné využít odpadní teplo se vyplatí těžbu stále provozovat, jelikož generuje zisk a není ztrátová, i když se prodlouží doba návratnosti. To se může změnit v závislosti na hodnotě kryptoměny a možnosti řešení jsou popsány v kapitole 7.1. Z výpočtu je patrné, že při současné ceně elektřiny, je roční úspora, při využívání odpadního tepla, 22 628 Kč. To je cca 10 % hodnoty těžebního PC a pokud bychom úsporu přičetli k ročnímu výdělku z těžby, tak je zvýšen o cca 30 %. Celý projekt lze tedy, při aktuálních cenách, považovat za rentabilní.

7.1 Alternativní využití výpočetního výkonu

Jak bylo zmíněno v kapitole 2, kryptoměny jsou velice volatilní aktivum a může se tedy stát, že její těžba přestane být pro majitele výhodná. V takovém případě lze vidět značnou výhodu v těžebním zařízení sestaveném na bázi grafických karet oproti ASIC jednotkám (viz. kapitola 2.2). Grafické karty lze totiž využít pro řadu výpočetních úkonů, které nijak nesouvisí s tvorbou hash funkcí pro blockchain technologii. V zásadě se vždy jedná o pronájem výpočetního výkonu skrze cloud pro různé organizace, nebo soukromé osoby. Tyto služby se dále dělí podle účelu, pro který je výpočetní výkon používán.

7.1.1. Cloud rendering

Cloud rendering je v současné době nejpoblárnějším alternativním využitím pro těžební stroje. Principem je pronájem těžebního výkonu pro vytváření náročných grafických animací. V případě těžebního stroje navrženého v projektu jsou nevýhodou grafické karty AMD, jelikož cloud rendering platformy často vyžadují GPU od výrobce nVidia. Jednou z možností je využít online tržiště Golem Network, kde majitelé výkonných PC inzerují svoje stroje včetně hodinové sazby za pronájem. Tento systém je tedy založen na principu nabídky – poptávky a od toho je i odvíjí možný výdělek. (28)

7.1.2. Cloud gaming

Cloud gaming, též označovaný jako „gaming as a service“, je další z možností využití těžebního stroje pro pronájem výpočetního výkonu. U této služby se využívá výpočetní výkon pro zobrazování graficky náročných počítačových her. Tento obraz se následně v reálném čase streamuje skrze cloud cílovému uživateli – hráči. Zákazníkovi této služby potom stačí nevýkonný počítač, kterým pouze ovládá hru a měsíční předplatné za využití cloudového výkonu. Nevýhodou je, že tento způsob hraní vyžaduje velice stabilní a rychlé internetové připojení z důvodu přenosu velkého množství dat.

Tuto službu nejčastěji poskytují přímo výrobci herního hardwaru, např. nVidia, Xbox, nebo Playstation. Zároveň do této technologie ale investují i největší technologické firmy světa jako Google, nebo Amazon. Žádná z těchto společností však nenabízí těžařům využít svůj těžební stroj skrze jejich platformu a místo toho využívá svoje vlastní data centra. Jednou z firem, která se zaměřuje na cloud gaming s využitím osobních těžebních strojů, je firma Vectordash. Problémem takovéto služby je zajistit konkurenceschopnost z obou stran – ze strany zákazníka a ze strany těžaře. V případě zákazníka jsou konkurentem velké společnosti, které mají nižší náklady díky svým vlastním datovým centrům a velkému množství zákazníků a jsou tak schopny nabízet službu za výrazně nižší poplatek (nVidia – 269 Kč vs Vectordash (2019) cca 635 Kč). U těžaře je konkurent kryptoměna, která se může díky volatilitě stát profitabilnější pro těžbu. Možná i to jsou důvody proč v současné době Vectordash není v provozu. I přesto, že existují další podobné služby, nejedná se o populární řešení napříč těžařskou komunitou. (29) (30)

7.1.3. Věda a výzkum

Dalším možným využitím těžebního stroje je poskytnutí jeho výpočetního výkonu různým organizacím pro vědecký výzkum. V tomto případě se však nejedná o výtěžnou činnost, ale spíše o charitativní akci za účelem vývoje nových léků, nebo způsobů léčby. Jednou z těchto organizací je Foldingathome.org, která se zaměřuje na výzkum různých druhů rakoviny, Parkinsonovi a Alzheimerovi nemoci, i simulací vývoje proteinu Covid-19. Pro zapojení do programu se stačí zaregistrovat a stáhnout software, který využívá výpočetní výkon počítače v době, kdy na něm uživatel nepracuje. (31)

Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit možnosti využití odpadního tepla z počítače těžcího kryptoměny v rámci rodinného domu. V teoretické části byly popsány technologie, které je možné použít ve spojení se zdrojem odpadního tepla, včetně možnosti přímého využití.

V další části byly popsány technologická řešení využívané v datových centrech, včetně možné aplikace pro systémy menšího měřítka, jako je právě rodinný dům. Tyto technologie a principy jsou ve většině případů nerealizovatelné pro systém s malou těžební jednotkou z důvodu nedostatečného výkonu, nebo finanční nevýhodnosti.

V praktické části byl navrhnout konkrétní systém do vybraného objektu, kde bylo použito TČ typu vzduch – voda. V rámci výběru konkrétního TČ byl sestaven přehled aktuální nabídky od jednotlivých výrobců, včetně hlavních technických parametrů. Při návrhu otopné soustavy objektu byl zároveň vypracován projekt podlahového vytápění.

Na závěr byla provedena zjednodušená analýza rentability celého projektu. Analýza ukázala, že projekt je z finančního hlediska profitabilní, ovšem z důvodu volatility kryptoměn se může situace výrazně změnit. Z toho důvodu je součástí práce výpis alternativních možností využití výpočetního výkonu za účelem výtěžku.

V současné době existuje na trhu široká škála technologií umožňující využití odpadního tepla z malé těžební jednotky. Ve většině případů se nejedná o zařízení specificky vyvinutá pro tento účel, avšak je možné pomocí jistých úprav a opatření vytvořit systém, který bude spolehlivě fungovat. Zároveň je takový systém i finančně zajímavou alternativou k jiným moderním způsobům získávání tepla.

Literatura

1. Cambridge Bitcoin electricity consumption index. [Online] [Citace: 11. 4 2022.] <https://ccaf.io/cbeci/index>.
2. Christine Kim. The rise of asics a step by step history of bitcoin mining. [Online] 26. 4 2020. <https://www.coindesk.com/tech/2020/04/26/the-rise-of-asics-a-step-by-step-history-of-bitcoin-mining/>.
3. Craig, Jeffrey. *ASIC-resistant cryptocurrencies*. [Online] 9. 9 2021. [Citace: 4. 12 2022.] <https://phemex.com/academy/what-are-asic-resistant-cryptocurrencies>.
4. Ing. Miroslav Konečný, doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D. Reálné využití odpadního tepla z těžebního zařízení pro produkci kryptoměn v roce 2020. *Vytápění, větrání, instalace*. 2022. 1.
5. Jess Weatherbed. Oil cooling cryptomining rig. [Online] 15. 3 2021. <https://www.techradar.com/news/this-rtx-3090-cryptomining-rig-is-completely-submerged-in-mineral-oil-for-some-reason>.
6. *Engineered fluids*. [Online] [Citace: 12. 4 2022.] <https://www.engineeredfluids.com/>.
7. Qarnot QC-1 crypto heater. [Online] 2018. <https://blog.qarnot.com/introducing-the-qc-1-crypto-heater/>.
8. etzherscan.io. *Ether Mining Calculator*. [Online] [Citace: 6. 3 2022.] <https://etherscan.io/ether-mining-calculator>.
9. Qarnot QH-1 heater. [Online] <https://solarimpulse.com/solutions-explorer/qarnot-qh-1>.
10. Uncrate Qarnot QC-1 crypto heater. [Online] 2018. <https://uncrate.com/qarnot-qc-1-crypto-heater/>.
11. Šmída, Ing. Igor. Tepelná čerpadla a jejich použití v otopných soustavách . [Online] 6. 12 2002. <https://www.tzb-info.cz/1271-tepelna-cerpadla-a-jejich-pouziti-v-otopnych-soustavach-i>.

12. ČSN EN 14825 - Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla, s elektricky poháněnými kompresory, pro ohřívání a chlazení prostoru - Zkoušení a hodnocení při podmínkách s částečným zatížením a výpočet sezonní výkonnosti. 2020.
13. NIBE ENERGY SYSTEMS CZ. Nibe F730 ventilační tepelné čerpadlo pro energeticky šetrné budovy. [Online] 6. 12 2016. <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/15068-nibe-f730-nove-ventilacni-tepelne-cerpadlo-pro-energeticky-setrne-budovy>.
14. Jak funguje splitové tepelné čerpadlo - Viessmann . [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/tepelne-cerpadlo/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-split.html>.
15. Rheem heat pump - air - water scheme. [Online] <https://bestank.com/products/heaters/rheem-heat-pumps/>.
16. Ing. Jiří Beranovský, MSC., Ph.D., MBA. Tepelné čerpadlo vzduch - vzduch pro nízkoenergetické domy. [Online] 11. 5 2021. <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/22231-tepelne-cerpadlo-vzduch-vzduch-je-spolehlivym-zdrojem-vytapani-pro-nizkoenergeticke-domy>.
17. MR COOL. Cooling mining rig with MRCOOL heat pump. [Online] 18. 12 2017. <https://mrcool.com/blog/mrcool-cryptocurrency-mining-rig/>.
18. Ing. Radek Červín. Efektivita kompaktní větrací jednotky s tepelným čerpadlem v rodinném domě. [Online] 16. 6 2020. <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/20804-efektivita-kompaktni-vetraci-jednotky-s-tepelnym-cerpadlem-v-rodinnem-dome>.
19. Tepelné čerpadla typu země - voda - MasterTherm. [Online] <https://mastertherm.cz/vse-co-potrebujete-vedet-o-tepelnych-cerpadlech-typu-zeme-voda/>.

20. Tepelná čerpadla Spirála. vytapeni.tzb-info.cz. *Tepelné čerpadlo voda - voda*. [Online] 4. 12 2012. <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8478-tepelne-cerpadlo-voda-voda-neni-problem>.
21. Jenni Patronen, Eeva Kaura and Cathrine Torvestad. Nordic heating and cooling. *Nordic approach to EU's Heating and Cooling Strategy* . místo neznámé : Nordic Council of Ministers, 2017.
22. Staněk, Bc. David. Využití odpadního tepla z výpočetní techniky. *diplomová práce*. 2019.
23. elektřina z geotermalni energie - ORC a Kalinův cyklus. [Online] <https://efektivniuspory.cz/elektrina-z-geotermalni-energie/>.
24. Vítek, Bc. Stanislav. ORC OBĚH PRO VYUŽITÍ TEPLA KJ. *Diplomová práce*. 2013.
25. Anna Haywood a kolektiv. *Thermodynamic feasibility of harvesting data center waste heat to drive an absorption chiller*. [Online] 2012. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890411003712>.
26. Ing. Roman Vavříčka, Ph.D. topenářství a instalace. *Problematika samoregulačních schopností otopných ploch*. [Online] 5. 11 2016. <https://www.topin.cz/clanky/k-problematice-samoregulacnich-schopnosti-otopnych-ploch-detail-1242>.
27. ČSN 73 0548 - Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. 1986.
28. Golem Network. [Online] [Citace: 25. 4 2022.] <https://handbook.golem.network/>.
29. Egor Gurev. How we made Playkey cloud gaming profitable . [Online] 6. 2 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/how-we-made-playkey-cloud-gaming-profitable-egor-gurev/>.
30. Lucas Matney. Vectordash's cloud gaming service brings crypto-miners a new revenue stream. [Online] 16. 3 2019. <https://techcrunch.com/2019/03/16/vectordashes-cloud-gaming-service-brings->

crypto-miners-a-new-revenue-

stream/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAGJHb7zIXJ2YFethRtJuThx_tilTiubL1ZOGt9GS2SY3PaZmuCQZ61drIG5uKdlq.

31. Folding at home. [Online] [Citace: 25. 4 2022.] <https://foldingathome.org/start-folding/?lng=en>.

32. Ethereum mining rig 6x Rx 6800 sapphire ROG - Pcpraha. [Online] <https://pcpraha.cz/produkt/mining-rig-6x-rx-6800-sapphire-rog/>.