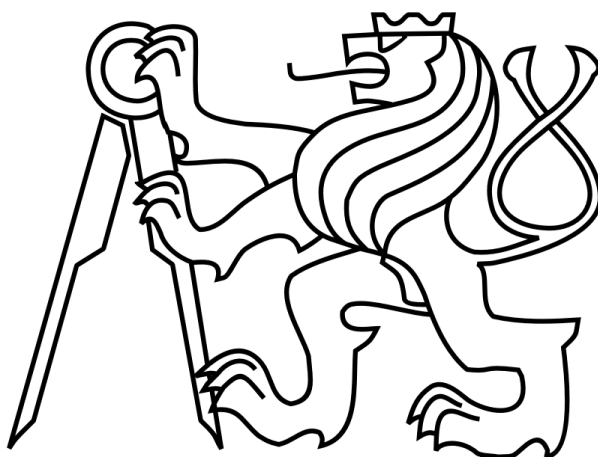


**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta elektrotechnická**

**Inteligentní budovy**



**Diplomová práce**

**System využití odpadního tepla z výpočetní jednotky využívané  
pro těžbu kryptoměn**

**Autor:** Bc. Miroslav Konečný

**Vedoucí práce:** Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.,

**2019**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Konečný** Jméno: **Miroslav** Osobní číslo: **435000**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**  
Studijní program: **Inteligentní budovy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**System využití odpadního tepla z výpočetní jednotky využívané pro těžbu kryptoměn**

Název diplomové práce anglicky:

**Heating unit using the exhaust heat from computing unit used for cryptocurrency mining**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Na základě analýzy provedené v Projektu I. využijte zvolený HW (těžební stroj) a způsob těžby kryptoměn.
- 2) Dle získaných informací z Projektu II. navrhnete možnosti využití odpadního tepla z těžebního stroje pro energetické zajištění stavby (rodinný dům).
- 3) Navržený koncept zpracování odpadního tepla analyzujte z pohledu energetických a finančních toků a uvažujte možné využití pro vytápění, chlazení objektu nebo zpětný převod na elektrickou energii.
- 4) Uveďte a porovnejte alternativní způsoby využití těžebního stroje, kdy těžba bude vlivem kolísání kryptoměnového trhu nerentabilní.
- 5) Ze změřených dat získaných z dlouhodobého provozu zařízení určete úspory a vyjádřete roční energetický profil celé soustavy. Diskutujte ekonomickou bilanci celého konceptu z pohledu různých oblastí nasazení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Vavříčka, R. Metody návrhu zásobníku teplé vody – 1. část. Vytápění, větrání, instalace. 2011, ISSN 1210-1389.
- [2] S. Dominik a S. Jan, Bitcoin a jiné kryptopeníze budoucnosti, Grada Publishing, 2018
- [3] A. M. Antonopoulos, Mastering Bitcoin, O'REILLY ISBN: 978-1-449-37404-4, 2014

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Vladimír Janiček, Ph.D., katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

\_\_\_\_\_

Datum zadání diplomové práce: **07.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce:

**do konce letního semestru 2019/2020**

Ing. Vladimír Janiček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta



## **AUTHOR STATEMENT FOR UNDERGRADUATE THESIS**

I declare that the presented work was developed independently and that I have listed all sources of information used within it in accordance with the methodical instructions for observing the ethical principles in the preparation of university thesis.

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 05. 2019

.....

Bc. Miroslav Konečný

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Vladimírovi Janíčkoví, Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

## **Anotace**

Cílem této práce je poukázat na nízkou efektivnost využití elektrické energie při výpočetních operacích spojené s těžbou kryptoměn a navrhnout možné řešení, které by efektivně využívalo vzniklé odpadní teplo v domácím prostředí. V rámci této práce byla v rodinném domě sestavena a umístěna těžební jednotka kryptoměn, na které probíhalo dlouhodobé měření a zpracovávání odpadního tepla formou vytápění rodinného domu.

## **Klíčová slova**

využití odpadního tepla, těžba kryptoměn, kryptoměny, blockchain

## **Abstract**

The aim of this work is to point out the low efficiency of electricity utilization in computing operations associated with cryptocurrency mining and to propose a possible solution that would efficiently use the waste heat generated in the home environment. As part of this work, a cryptocurrency mining unit was assembled and located in a family house, where long-term measurement and processing of waste heat took place by heating a family house.

## **Keywords**

waste heat recovery, cryptocurrency mining, cryptocurrency, blockchain

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	9
Úvod .....	11
1. Analýza těžby kryptoměn.....	12
1.1 Spotřeba elektrické energie .....	12
1.2 Realizace výpočetní jednotky .....	13
1.3 Dosažené výsledky z těžby kryptoměn za rok 2018 .....	15
2. Možnosti využití odpadního tepla .....	17
2.1 Zpětná rekuperace odpadního tepla na elektrickou energii.....	20
2.1.1 Termoelektrický generátor .....	20
2.1.1.1 Termohladinový generátor (THG) .....	23
2.1.1.2 Změření THG a implementování do sestavy pro odvod odpadního tepla z výpočetní jednotky pro těžbu kryptoměn .....	24
2.1.2 Organický Rankinový cyklus .....	28
2.1.3 Termoakustický generátor .....	30
2.2 Chlazení pomocí odpadního tepla .....	32
2.2.1 Absorpční chlazení.....	32
2.2.2 Adsorpční chlazení.....	34
2.3 Vytápění domu pomocí odpadního tepla – aplikované použití.....	35
2.3.1 Informace o objektu .....	35
2.3.2 Otopná soustava objektu .....	36
2.3.3 Měření využití odpadního tepla v rodinném domě .....	37
3. Alternativní využití výpočetní jednotky.....	40
3.1 Cloud rendering .....	40
3.2 Cloud Gaming PC .....	41
3.3 Výpočetní výkon pro vědu .....	41
4. Ekonomická bilance konceptu .....	42
4.1 Těžební jednotka v rodinném domě .....	42
4.2 Těžební farma.....	44
5. Závěr.....	45
Seznam použitých obrázků.....	46
Seznam použitých tabulek.....	47
Citovaná literatura .....	48



## Seznam použitých zkratek a symbolů

Označení veličiny	Zkratka jednotka	Název jednotky	Popis
$\lambda$	W/(m · K)	-	součinitel tepelné vodivosti
	m	metr	vlnová délka
C	Kč/kWh	-	cena elektrické energie
B <sub>P</sub>	-	-	počet vytěžených bloků za 24 hodin
B <sub>R</sub>	-	-	počet mincí za vytěžený blok
E	Wh	watthodina	energie
F <sub>P</sub>	%	-	poplatek poolu z odměny
I	A	ampér	proud
L	m	metr	délka
l <sub>s</sub>	m	metr	délka stacku
N <sub>H</sub>	h/s	hash za sekundu	výkon sítě u kryptoměny
P	W	watt	výkon
R	$\Omega$	ohm	odpor
R <sub>i</sub>	$\Omega$	ohm	vnitřní odpor termočlánku
R <sub>Z</sub>	$\Omega$	ohm	odpor zátěže
s	m <sup>2</sup>	metr čtvereční	plocha
S <sub>P</sub>	Kč	koruna Česká	prodejní cena jedné digitální mince na burze
m	Kg	kilogram	hmotnost
T	°C	stupeň Celsia	teplota
T <sub>C</sub>	°C	stupeň Celsia	teplota chladné strany
T <sub>H</sub>	°C	stupeň Celsia	teplota teplé strany
$\Delta T$	°C	stupeň Celsia	rozdíl teplot
U	V	volt	napětí
U <sub>0</sub>	V	volt	napětí na prázdko
U <sub>H</sub>	h/s	hash za sekundu	výpočetní výkon těžební jednotky
U <sub>Z</sub>	V	volt	napětí na zátěži
Q <sub>C</sub>	J	joule	množství tepla na chladné straně
Q <sub>H</sub>	J	joule	množství tepla na teplé straně
Q <sub>V</sub>	l/s	litr za sekundu	objemová průtoková rychlost
x <sub>s</sub>	m	metr	vzdálenost stacku od bližšího konce rezonátoru

<b>Seznam zkratek</b>	<b>Popis</b>
ASIC	zákaznický integrovaný obvod (speciální jednotka pro těžbu jedné kryptoměny)
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
CPU	centrální procesorová jednotka
DPH	daň z přidané hodnoty
FEL ČVUT	Fakulta elektrotechnická České vysoké učení technické
ORC	organický Rankinův cyklus
SSD	zařízení pro ukládání dat bez pohyblivých částí
STACK	zásobník (potencionální zásobník energie)
TEG	termoelektrický generátor
THG	termohladinový generátor
T	označení těžebního počítače (ve schématu)
TUV	teplá užitková voda
USD	americký dolar – měna Spojených států amerických
V	označení voltmetru (ve schématu)
3D	trojdimenzionální
=	označení stejnosměrného zdroje elektrické energie (ve schématu)

## Úvod

Žijeme v moderní době, kdy se neustále zvyšuje energetická náročnost lidské populace a s tím souvisí i neustále se zvyšující ceny energií. Proto je nutné, zamyslet se nad tím, jak efektivněji využívat elektrickou energii, než tomu bylo v minulosti.

Mezivládní organizace se začínají zabývat příliš velkou uhlíkovou stopou lidské populace. Právě proto se zpřísnují emisní a hygienické normy, přibývají nové typy dotací zaměřené na ochranu životního prostředí. Při výstavbě nových objektů se využívají čím dál častěji obnovitelné zdroje energií. Není nic neobvyklého vidět na jednom domovním objektu fotovoltaické panely na výrobu elektřiny a zároveň i solární panely sloužící pro ohřev teplé vody.

Na druhé straně jsou některá průmyslová odvětví, kde se na šetrnost k životnímu prostředí téměř nehledí. Právě před jedenácti lety vznikl fenomén kryptoměny, který zásadně ovlivnil světovou ekonomiku v mnoha směrech. Jedním z těchto směrů je i takzvaná těžba kryptoměn, při které se využívají výkonné výpočetní jednotky k nalezení správné matematické kombinace a následné získání odměny v podobě digitální měny. Svým způsobem se jedná o revoluční typ digitálního výdělku, který ale spotřebovává ohromné množství elektrické energie. Tato elektrická energie je ve výpočetních jednotkách přeměněna na odpadní teplo, které nemá další využití.

Vzhledem k tomu, že kryptoměnová síť přesáhla svojí roční spotřebou elektrické energie některé státy, tak nelze tento fakt přehlížet, a je na čase se zamyslet nad tím, jak bychom mohli toto odpadní teplo efektivně využívat.

Tato práce se bude zabývat efektivním zpracováním odpadního tepla z výpočetní jednotky sloužící k těžbě kryptoměn. Vzhledem k tomu, že žádná předchozí literární práce nedokumentuje vzniklé odpadní teplo z těžby kryptoměn, rozhodl jsem se, v rámci akademických předmětů Projekt I a II sestavit vlastní výpočetní jednotku, na které probíhá od roku 2018 dlouhodobé měření.

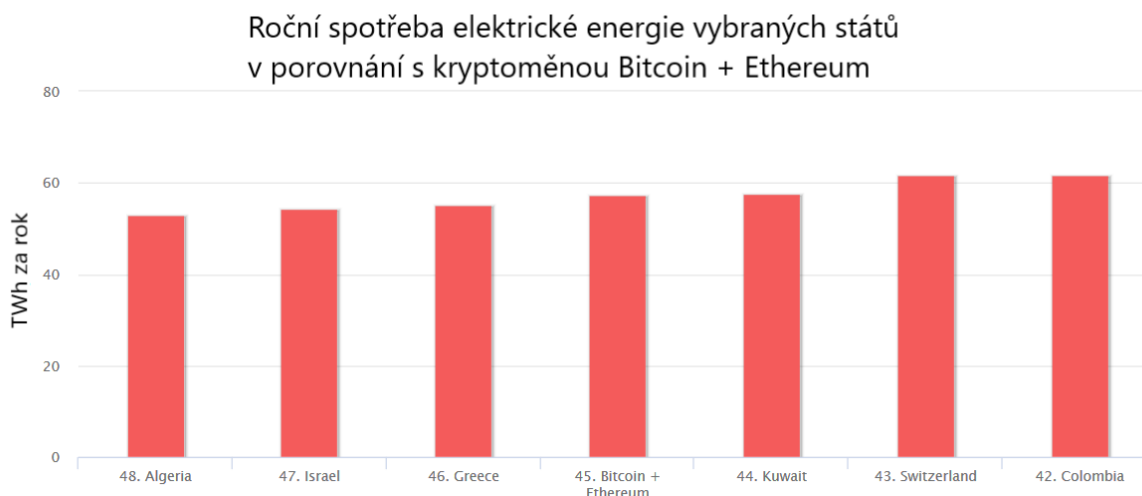
# 1. Analýza těžby kryptoměn

Těžba kryptoměn je plně decentralizovaná a může probíhat na jakémkoliv výpočetním zařízení. K tomu, aby se zjistilo, jak je těžba kryptoměn zajímavá z pohledu množství odpadního tepla, je nutné nejdříve spočítat spotřebu elektrické energie těžby kryptoměn a z ní odvodit množství odpadního tepla. Obecně se odhaduje, že 98 % spotřebované energie ve výpočetních jednotkách se přemění na teplo a zbylé 2 % se přemění na elektromechanickou a elektromagnetickou energii.

## 1.1 Spotřeba elektrické energie

Celkovou spotřebu elektrické energie při těžbě kryptoměn nemůžeme s přesností určit, neboť existuje mnoho druhů výpočetních zařízení s odlišnou spotřebou. Nicméně, existuje index, který dynamicky monitoruje přibližnou spotřebu elektrické energie dvou největších kryptoměn (Bitcoin a Ethereum).

U kryptoměny Bitcoin, je index spotřeby elektrické energie založený na odhadu celkově prodaného specializovaného výpočetního zařízení pro těžbu Bitcoinu od společnosti Bitmain, která ovládá 67 % tohoto trhu. Naopak, u kryptoměny Ethereum, u které není rozšířená těžba na specializovaném hardwaru (ASIC), je index spotřeby elektrické energie stanoven pomocí odhadu, který z celkových výtěžků z těžby odhaduje procentuální náklady na provoz těžebních zařízení. [1]



**Obrázek 1: roční spotřeba elektrické energie vybraných států v porovnání s kryptoměnou Bitcoin + Ethereum dle [1]**

Z obrázku číslo 1 vyplývá, že roční spotřeba elektrické energie kryptoměny Bitcoin s Ethereum, je například srovnatelná s Řeckem.

**Tabulka č. 1: spotřeba energie kryptoměny Bitcoin a Ethereum ke dni 23. 2. 2019 dle [1]**

	Bitcoin	Ethereum	
současná odhadovaná roční spotřeba elektřiny	47,44	9,97	[TWh]
počet domácností v USA, které mají stejnou spotřebu el. energie	4 392 794	923 100	[-]
průměrná spotřeba elektrické energie na jednu transakci	400	59	[KWh]
roční uhlíková stopa (CO <sub>2</sub> )	23 247	-	[kg]

V tabulce č. 1 můžeme vidět, že roční spotřeba elektrické energie při těžbě kryptoměn se pohybuje okolo 57,41 TWh za rok. Nepochopitelné na tom všem je, že taková ohromná spotřeba elektrické energie nepřináší lidské populaci žádný hmotný produkt, ale pouze datový otisk, v podobě jedniček a nul, uložených v decentralizované databázi Blockchain. Pro porovnání, spotřeba platební sítě společnosti VISA, Inc., pro 100 000 transakcí, je odhadována na 152 kWh. [1]

Ze zjištěných údajů, o spotřebě elektrické energie, při těžbě kryptoměn lze konstatovat, že více než 56 TWh za rok elektrické energie se přemění v odpadní teplo, které pravděpodobně nemá další využití. Právě tato čísla vyjadřují, jak je těžba kryptoměn energeticky náročná a zároveň neefektivní z pohledu využití energie. V následujících kapitolách této práce bude popsáno, jak co nejefektivněji využít vzniklé odpadní teplo z těžby kryptoměn k vytápění, chlazení nebo ke zpětné přeměně na elektrickou energii.

## **1.2 Realizace výpočetní jednotky**

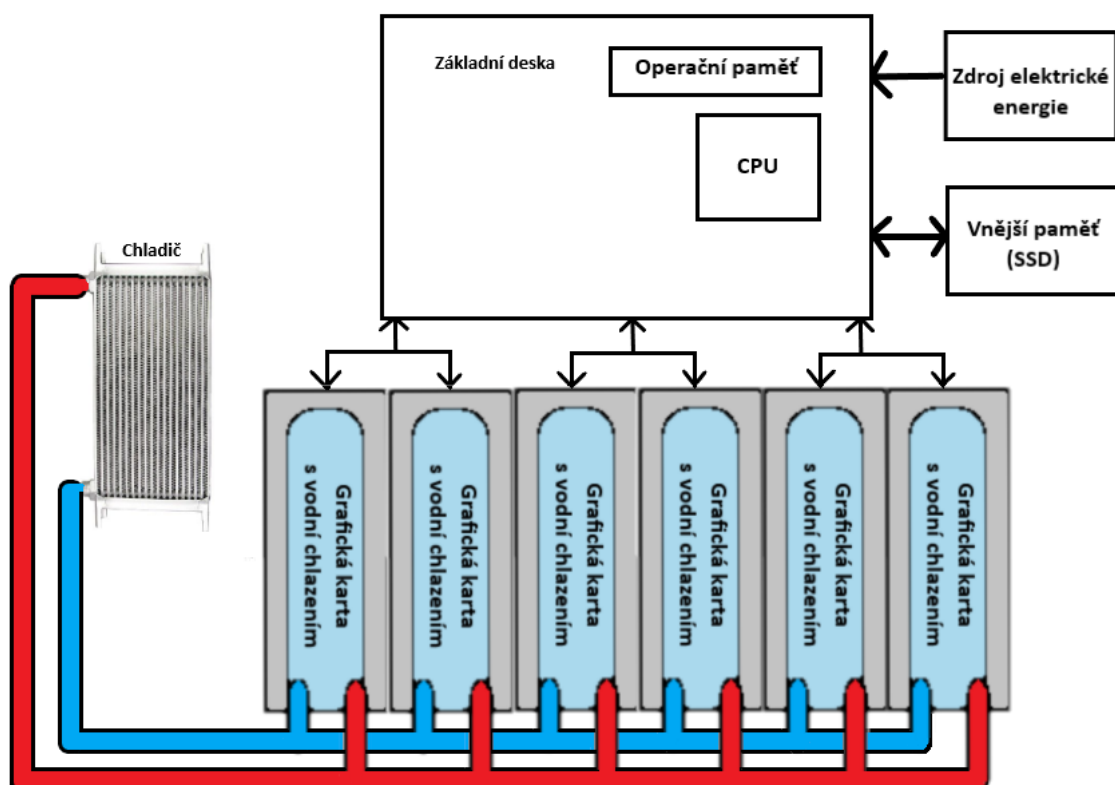
Pro ověření informací byla postavena vlastní výpočetní jednotka na těžbu kryptoměn. Stavba výpočetní jednotky a následné měření odpadního tepla probíhalo v rámci akademického předmětu Projekt I a II.

Veškeré kryptografické výpočty pro těžbu kryptoměn probíhají na výkonných grafických kartách typu MSI nVidia 1080 TI FE s vodním chlazením, které v době stavby výpočetního zařízení byly jedny z nejvýkonnějších na trhu. Těžební software byl zvolen od společnosti Hive OS, který je k dispozici zdarma pro tři těžební zařízení. Detailní zpracování stavby těžebního zařízení a analýza ekosystému kryptoměn je součástí závěrečné práce, vytvořené v předmětech Projekt I a II. Z tohoto důvodu nebudou v této práci detailně popsány druhy a možnosti těžby kryptoměn, neboť to je součástí předešlé práce, která je volně k dispozici v tištěné podobě na katedře měření FEL ČVUT v Praze.

**Tabulka č. 2: soupis potřebných komponent k sestavení těžebního počítače**

Druhy komponent:	Výrobce a typ:	počet kusů:	Cena za kus vč. DPH:
Grafická karta:	MSI nVidia 1080 TI FE Sea Hawk (vodní chlazení)	6	22 990,- Kč
Zdroj:	Cooler Master 1kW	2	6 661,- Kč
Procesor:	Intel Celeron G4920	1	1 290,- Kč
Hard disk:	Western Digital 120 GB	1	1 519,- Kč
Operační paměť RAM:	Kingston 8gb ddr4	1	1 939,- Kč
Základní deska:	Asus z170-E	1	3 190,- Kč
Kabeláž:	redukce pci-E x1	6	325,- Kč
Vodní chladič:	Renault Clio (2015) 3kW	1	990,- Kč
Oběhové čerpadlo:	DAB 60161174	1	1 590,- Kč
Celkem cena včetně DPH:			163 080,- Kč

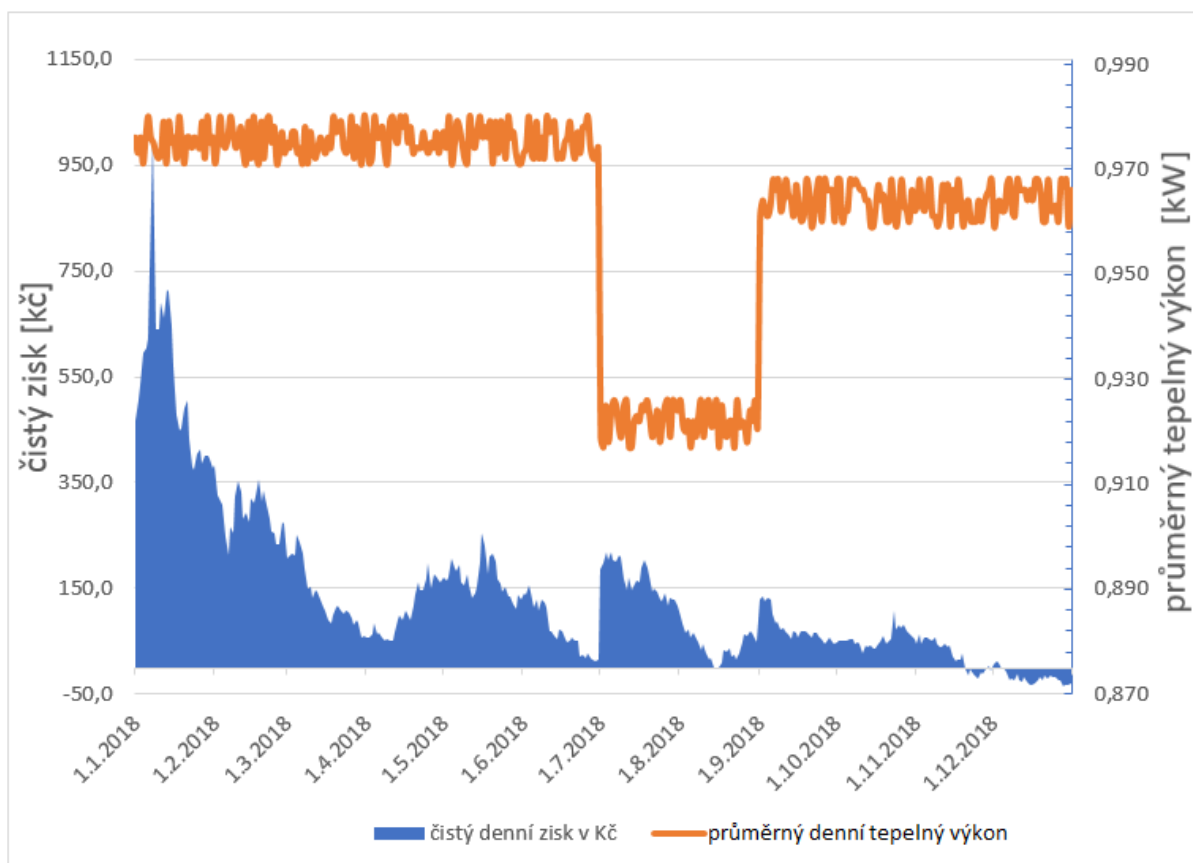
Ceny jednotlivých komponent jsou reálné v době nákupu, který probíhal v listopadu 2017. Pořizovací náklady za celou výpočetní jednotku dle tabulky č. 2 jsou například srovnatelné s tepelnými čerpadly pro vytápění rodinných domů nebo za stejnou cenu se dá pořídit 29,6 tun černého uhlí. [2]



**Obrázek č. 2: blokové schéma zapojení těžebního zařízení**

### 1.3 Dosažené výsledky z těžby kryptoměn za rok 2018

Během roku 2018 došlo ke snížení cen kryptoměn o více než 80 % oproti ceně z prosince 2017. Snížení cen má nepříznivý vliv na reálné zisky z těžby. Majitel těžebního stroje, který prodává na kryptoměnové burze vytěženou digitální měnu, je nucený prodávat za aktuální kurz. Pokud je tento kurz silně klesající, tak jako v roce 2018, stane se, že v aktuálním měsíci vydělal těžář méně než v předchozím měsíci po prodeji vytěžených kryptoměn.



Obrázek č. 3: denní zisky z prodeje kryptoměn po odečtení ceny potřebné el. energie

Na obrázku č. 3, lze vidět, že největší denní zisk z těžby kryptoměn v roce 2018 byl více než 950,- Kč. Naopak, nejnižší denní zisk byl -35,- Kč, což znamená, že výdaje na provoz převyšovaly samotný zisk z těžby kryptoměn. V roce 2018 bylo celkem 38 prodělečných dnů, ovšem ve všech těchto neziskových dnech se vždy využívalo vzniklé odpadní teplo. V případě, že denní zisk je záporný a uživatel nevyužívá odpadní teplo, tak se vyplatí uživateli zastavit těžbu kryptoměn nebo najít alternativní způsob využití pro výpočetní hardware.

Začátkem měsíce července a září, lze na grafu zpozorovat skokovou změnu v zisku a ve velikosti odpadního tepla. Tato skoková změna je zapříčiněna přepnutím těžby na ziskovější kryptoměnu. Uživatel si může jednoduše zkontrolovat, jaká kryptoměna je pro vlastněnou výpočetní jednotku nejprofitabilnější na webu [www.whattomine.com](http://www.whattomine.com), nebo lze použít následující vztahy (1) a (2).

Hrubý výpočet profitu kryptoměny za 24 hodin:

$$H_C = \frac{U_H}{U_H + N_H} \times B_P \times B_R \quad (1)$$

$U_H$  = Your Hash rate (výkon výpočetní techniky)

$N_H$  = Net hash rate (výkon sítě u dané kryptoměny)

$B_P$  = Block per 24 hodin (počet vytěžených bloků za 24 hodin)

$B_R$  = Block Reward (počet mincí v jednom bloku jako odměna těžařovi)

Čistý výpočet profitu kryptoměny za 24 hodin včetně nákladů:

$$C_C = H_C \times S_P - F_P - (P \times C \times 24) \quad (2)$$

$F_P$  = Pool Fee (poplatek poolu)

$P$  = Power [kW] (spotřeba elektrické energie)

$C$  = Cost [Kč/kWh] (cena elektrické energie)

$S_P$  = Sell Price [Kč] (prodejní cena jedné mince)

**Tabulka č. 3: shrnutí výsledků z těžby kryptoměn za rok 2018**

průměrný denní zisk	138,30 Kč
roční průměrný zisk	50 475 Kč
odhadovaná návratnost	38 měsíců
pořizovací náklady výpočetní jednotky	160 000 Kč
čistý zisk z prodeje vytěžených kryptoměn rok 2018 (po odečtení nákladů na provoz)	50 306 Kč
průměrný odpadní tepelný výkon	0,962 kW
průměrná teplota vody na výstupu z grafických karet	69 °C

V tabulce č. 3 je shrnuta rentabilita těžby kryptoměn za rok 2018. Z naměřených výsledků je patrné, že návratnost v prvním roce je téměř třetinová. Nicméně, doba celkové návratnosti závisí na následujícím vývoji kryptoměnového trhu, který nelze odhadovat. Dále je vidět, že sestavená výpočetní sestava má průměrný tepelný výkon 962 W z odpadního tepla.



## 2. Možnosti využití odpadního tepla

Zdroje odpadního tepla jsou obecně považovány za sekundární zdroje, neboť získaná energie pochází jako vedlejší produkt z činnosti primárního zdroje. Využitím odpadního tepla neboli sekundárního zdroje, dochází k efektivnějšímu užití energie. Následující kapitola se bude zabývat co nejefektivnějším způsobem zpracování odpadního tepla z výpočetní jednotky pro těžbu kryptoměn.

Faktory, které hrají velkou roli při návrhu využití odpadního tepla jsou:

- Teplota odpadního tepla
- Množství odpadního tepla
- Chemické složení média
- Pořizovací cena technologie

### Teplota odpadního tepla:

Zdroje odpadního tepla můžeme dělit podle jejich potenciálu do tří kategorií na: nízko, středně a vysoko potencionální.

Vzhledem k tomu, že u výpočetní jednotky nepřesahuje teplota na grafických čípech teplotu 90 °C, tak lze řadit vzniklé odpadní teplo do kategorie nízko potencionálních zdrojů energie. Tato kategorie je jedna z nejrozšířenějších, neboť se jedná o nejčastější formou odpadního tepla v průmyslu. Ovšem největší nevýhoda této kategorie je, že pokud teplota sekundárního zdroje nedosahuje ani 80 °C<sup>1</sup>, tak se rapidně zhoršuje možnost využít zdroj odpadního tepla pro chlazení nebo pro výrobu elektřiny.

---

<sup>1</sup> Obchodní ředitel Lubomír Sovíček ze společnosti LBG Moravia a.s. v rámci analytického výzkumu sdělil, že teplota kapaliny 80 °C do vstupu jejich technologie je naprosto hraniční pro zpracování nízkopotencionální sekundární energie v souvislosti s ORC jednotkou nebo absorpční jednotkou.

**Tabulka č. 4: Teplotní rozdělení zdrojů odpadního tepla dle [23]**

Potenciál	Příklady zdrojů	Teplota[°C]	Typické využití pro daný potenciál
Vysoký (>650 °C)	Šachtové pece na nikl Elektrická oblouková pec Kyslíkový LD konvertor Kelímkové pece na hliník Šachtové pece na měď Kalící pece Kelímkové pece na měď Proces výroby vodíku Výpary ze spalovny Sklářské pece Koksovací pec Kupolní pec	1370-1650 1370-1650 1200 1100-1200 760-820 930-1040 900-1090 650-980 650-1430 1300-1540 650-1000 820-980	Předehřev spalovacího vzduchu  Generace elektřiny  Transfer do středních teplot a následné využití  Předehřev vsázek do pecí
Střední (260-650 °C)	Výfuky parního kotle Výfukové plyny turbín Pec pro tepelnou úpravu Sušící a vytvrzovací pece Cementářská pec Výfukové plyny pístového motoru	260-380 370-540 430-650 260-590 450-620 320-590	Předehřev spalovacího vzduchu Výroba elektřiny Předehřev dalších pecí Předehřev napájecí vody Využití v nízko teplotních procesech Organický Rankinův cyklus pro výrobu elektřiny
Nízký (<260 °C)	Spaliny plynových bojlerů Proces parního kondenzátu Chladicí voda z: žilacích pecí vzduchových kompresorů motorů s vnitřním spalováním chladicích zařízení klimatizačních zařízení Sušící, pečící, vytvrzovací pece Horké procesní tekutiny Odpadní voda z ČOV	70-260 50-90 70-260 30-50 70-120 30-40 90-240 30-230 20-35	Ohřev prostor, vody  Zvýšení teploty tepelnými čerpadly a následné využití  Organický Rankinův cyklus

### **Množství odpadního tepla:**

Dle obrázku č. 3 můžeme uvažovat o velikosti odpadního tepla v rozmezí 0,90 až 0,99 kWh (3240 až 3564 kJ) na jeden sestavený těžební počítač o šesti grafických kartách. Tato velikost odpadního tepla je poměrně malá na průmyslové zpracování. Nicméně pokud si představíme těžební farmu, kde se nachází 500 kusů počítačových sestav, tak se již dostáváme na takové množství odpadního tepla, které lze průmyslově zpracovávat.

Jedna z potencionálních výhod sestaveného těžebního zařízení je ta, že lze opětovně přidávat/odebírat grafické karty podle účelu využití odpadního tepla.

### **Chemické složení média:**

Při návrhu technologie na zpracování odpadního tepla, hraje velkou roli chemické složení a skupenství média k přenosu tepla. Obecně platí, že kapaliny s vyšší hustotou mají vyšší součinitel přestupu tepla.

V této práci, pro přenos tepla od grafických karet k potencionálnímu chladiči, je použita jako medium voda ve formě kapaliny s tabulkovým součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda = 0,671 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$  pro maximální teplotu 80 °C.

### **Pořizovací cena technologie:**

Největším faktorem, který ovlivňuje volbu technologie ze strany investora pro zpracování odpadního tepla, jsou pořizovací náklady a návratnost. U obnovitelných zdrojů energie, obecně platí, že ideální návratnost je do 10 let. Dle mého názoru, by u těžebního zařízení a následného zpracování odpadního tepla, neměla celková návratnost v ideálním případě přesáhnout 3 roky. Neboť platná záruka od výrobce, na grafické karty používané v této práci, je pouze na 3 roky. Lze tedy předpokládat, že po třech letech neustálého provozu, budou grafické karty velmi opotřebované a bude tak hrozit zvýšené nebezpečí poruchy či snížení výpočetního výkonu.

## 2.1 Zpětná rekuperace odpadního tepla na elektrickou energii

U technologií, kde se využívá rekuperace odpadního tepla na elektrickou energii, dochází ke snížení potencionálních nákladů na provoz a tím pádem se zvyšuje efektivita využití energie. Jedna z nepsaných výhod, spojená s výrobou a následným prodejem, nebo s využitím elektrické energie z rekuperace spočívá v tom, že lze na tuto část technologie získat dotace formou zeleného bonusu, což na trhu zvyšuje poptávku.

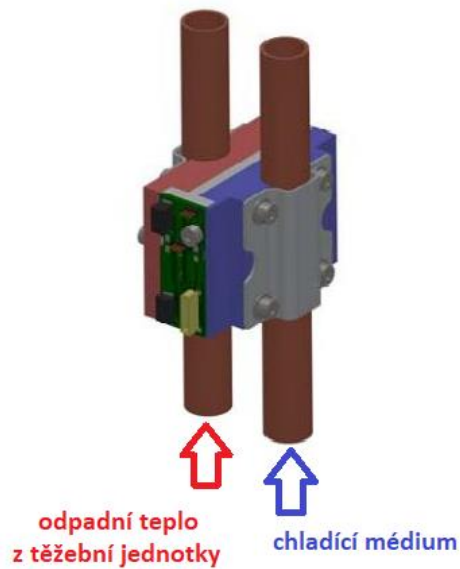
Většina společností, které se průmyslově zabývají přeměnou odpadního tepla na elektrickou energii, se zaměřují na zpracování odpadního tepla od 120 °C s tepelným výkonem od 500 kW.

V této části práce budou popsány výhody a možnosti použití vybraných technologií pro zpětnou rekuperaci odpadního tepla z těžby kryptoměn a následnou přeměnu na elektrickou energii. Vstupní podmínky technologie jsou: vysoká efektivita přeměny energie při vstupní teplotě média o velikosti 80 °C, funkčnost technologie již při nízkém tepelném příkonu od 900 W.

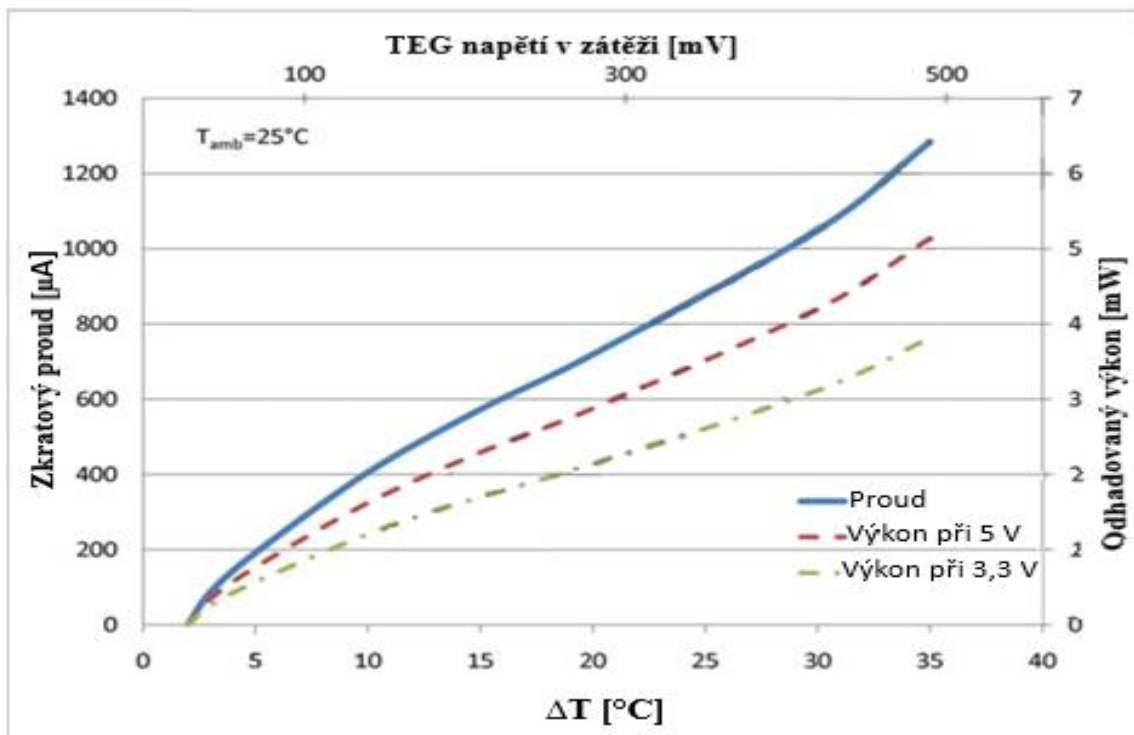
### 2.1.1 Termoelektrický generátor

Principem termoelektrických zařízení je Seebeckův termoelektrický jev, který popisuje vznik napětí v obvodu složeném ze dvou různých vodičů, jejichž konce mají rozdílné teploty. [3] Základním konstrukčním prvkem jsou termoelektrické dvojice, tvořené polovodičovým p–n přechodem. V principu lze jejich funkci popsat následovně: Pokud je na p–n přechod přivedeno teplo, dochází v polovodičích k přerozdělení majoritních nosičů náboje. V polovodiči typu N dochází k pohybu elektronů, v polovodiči typu P k pohybu kladných děr. Tyto náboje se následně koncentrují u chladnějších konců polovodičů, mezi kterými vzniká rozdíl potenciálů. Uzavře-li se vytvořený obvod, dochází k pohybu elektronů přes přechod a zároveň k průtoku elektrického proudu. [3] Užití termoelektrických generátorů závisí na rozdílu pracovních teplot na stranách samotného zařízení. Čím větší rozdíl pracovních teplot, tím větší účinnost zařízení.

Jedna ze Společností Marlow Industries Inc., která se dlouhodobě zabývá vývojem termoelektrických generátorů (TEG), má ve svém portfoliu hned několik produktů, které jsou vhodné pro přímou instalaci k výrobě elektřiny z odpadního tepla, které vytváří těžební jednotka. Zařízení EHA-L50L50-R01-L1, je svým způsobem tepelný výměník, kde mezi deskami výměníků je zabudován termoelektrický generátor typu TG12-25. [4] Výhodou celého zařízení je, že umožňuje přímé implementování do sestavy pro odvod odpadního tepla z těžební jednotky. Samotné zařízení v sobě již obsahuje spínaný měnič napětí, tudíž výstupní napětí může být stabilně 5 V při zachování minimálního rozdílu teplot na stranách termočlánku.



Obrázek č. 4: Termoelektrický generátor TG12-25 ve výměníkovém provedení EHA-L50L50-R01-L1 dle [4]



Obrázek č. 5: termoelektrická charakteristika TG12-25 ve výměníkovém provedení EHA-L50L50-R01-L1 dle [4]

**Tabulka č. 5: Parametry termoelektrického generátoru EvergGen Energy Harvester dle [4]**

Cena <sup>2</sup> kompletního zařízení EHA-L50L50-R01-L1	8 000 Kč		
Cena <sup>2</sup> samotného termočlánku TG12-25	700 Kč		
Rozměry samotného TEG [mm]	30×30×4		
Teplota horké strany [°C]	230	170	110
Teplota chladné strany [°C]	50	50	50
Účinnost [%]	5,02	4,14	2,43
Elektrický výkon samotného TEG [W]	2,71	1,43	0,41

Jak plyne z obrázku č. 5 a z tabulky č. 5, tak s klesajícím rozdílem teplot mezi teplou a studenou stranou TEG, klesá zároveň účinnost s generovaným elektrickým výkonem. K tomu, aby zařízení generovalo například 100 W elektrické energie při rozdílu teplot 60 °C na deskách TEG, muselo by být zakoupeno minimálně 244 kusů termočlánků typu TG12-25 za cenu 171 500 Kč. V případě koupi celého zařízení typu EHA-L50L50-R01-L1 by se jednalo o celkovou částku 1 960 000 Kč<sup>3</sup>.

V případě, že by se majitel těžební jednotky rozhodl pro levnější variantu a termočlánky by například implementoval do systému odpadního tepla pomocí vlastního tepelného výměníku, který by si vyrobil na míru, tak by se celková návratnost investované částky 171 500 Kč pohybovala okolo 50-ti let, za předpokladu, že cena elektrické energie bude 4 Kč za kWh a celá sada termočlánků bude po celou dobu generovat 100 W elektrické energie.

Pomocí termoelektrických generátorů lze tedy generovat elektrickou energii z odpadního tepla, které vzniká z výpočetní jednotky na těžbu kryptoměn, ovšem jedná se o drahé řešení s dlouhou návratností. Termoelektrické generátory jsou především vhodné do aplikací, kde lze dosáhnout většího rozdílu teplot na deskách termočlánku. Získávání elektrické energie pomocí termočlánků může být například využito pro aplikaci nouzového osvětlení, nebo napájení nízkopříkonových aplikací.

<sup>2</sup> Cena je uvedena z webu prodejce Digi-Key Electronic dostupný online [www.digikey.de](http://www.digikey.de)

<sup>3</sup> Osobně si myslím, že cena kompletního zařízení EHA-L50L50-R01-L1 je neadekvátní k funkci výrobku. V případě zájmu o generování elektrické energie pomocí TEG, se zcela jistě vyplatí, nechat si navrhnout tepelný výměník, do kterého by se implementovalo například 50 kusů termočlánků. Jednalo by se sice o zakázkové řešení, které by bylo ale v celkové výši levnější, než několik desítek kompaktního zařízení typu EHA-L50L50-R01-L1.

### 2.1.1.1 Termohladinový generátor (THG)

Ve spojení s termoelektrickým jevem, nabízí zajímavý produkt společnost Hydrogen Energy s.r.o., která je výrobcem tepelně hladinového generátoru (THG) s vodním chlazením, který lze přímo využít pro výrobu elektrické energie ze sálavého odpadního tepla. Zajímavostí tohoto produktu je vysoká účinnost, která se pohybuje v rozmezí 15-23 % při maximálním generovaném elektrickém výkonu 200 W. Nicméně, po důkladném prostudování katalogového listu, je tento elektrický výkon změřen při rozdílu pracovních teplot o velikosti 225 °C na deskách THG. Což je při běžných podmínkách dosažitelné pouze s velice účinným chlazením a s výkonným tepelným zdrojem. Výrobce dále uvádí, na základě výpočtů, že THG při rozdílu teplot 50 °C vyrábí 40 W elektrické energie. [5] Otázkou ovšem zůstává, na kolik jsou tyto informace pravdivé. Vzhledem k tomu, že společnost Hydrogen Energy s.r.o., byla již od roku 2011 dvakrát [6] přejmenována (nyní společnost Skleník Lutyň s.r.o.) a současná jednatelka Bc. Martina Vítková dne 13.4 2019 po telefonickém rozhovoru popřela jakoukoliv spojitost s tímto výrobcem a výrobkem, tak nelze k informacím o výrobku THG přikládat jakoukoliv váhu.

Tabulka č. 6: informace o produktu dle [5]

Výrobce:	Hydrogen Energy s.r.o.
Výkon za optimálních podmínek:	200 W
Špičkový výkon:	400 W
Max. čas špičkového výkonu:	10 min
Napětí naprázdno max.	44 V
Proud max.	4,5 A
Provozní teplota strany t+:	250 °C
Provozní teplota strany t-	25 °C
Účinnost	15-23 %
Váha	8 kg
Rozměry	340 x 190 x 25 mm
Cena	10 878 Kč s DPH

Vzhledem k tomu, že získané informace od výrobce o termohladinovém generátoru jsou irelevantní, rozhodl jsem se pro vypůjčení THG z univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT a ověřit funkčnost daného výrobku termohladinového generátoru.

### 2.1.1.2 Změření THG a implementování do sestavy pro odvod odpadního tepla z výpočetní jednotky pro těžbu kryptoměn

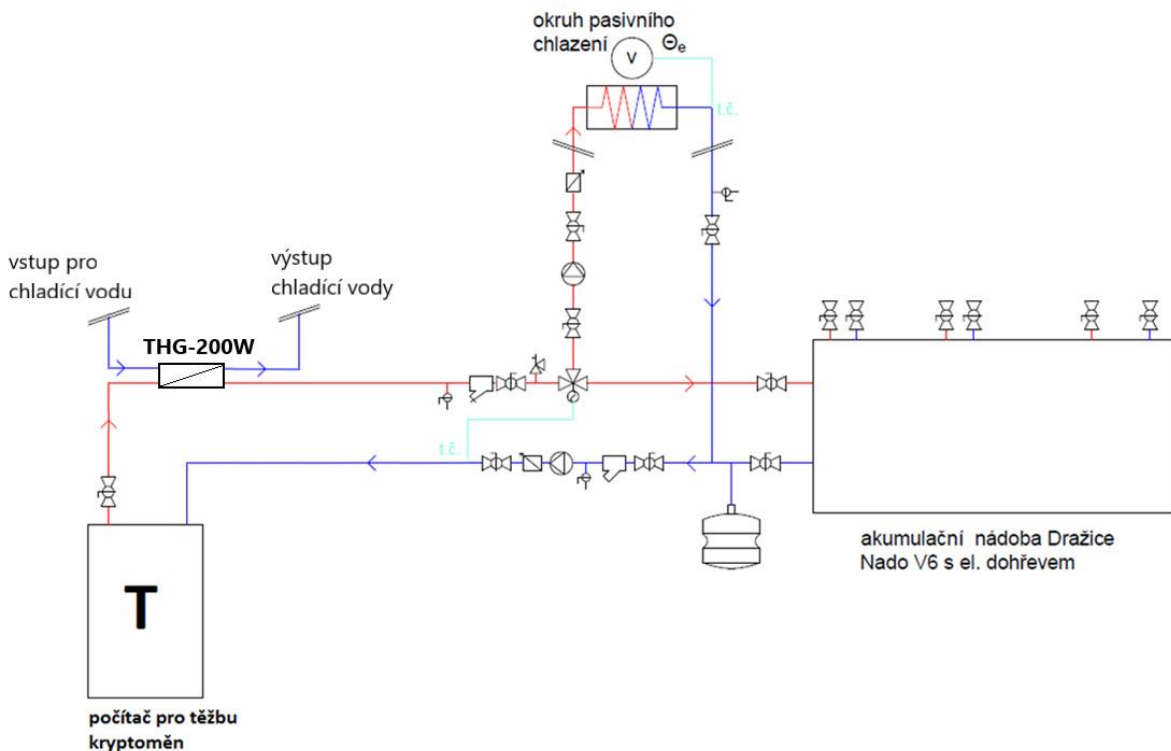
Implementovaný termohladinový generátor s názvem THG-200W je od společnosti Tower of Spirit s.r.o., která již byla vymazána z obchodního rejstříku. Výrobek THG-200W je naprosto shodný dle katalogového listu s výrobkem THG od společnosti Hydrogen Energy s.r.o. Cílem samotného měření je implementování THG do sestavy pro odvod odpadního tepla z výpočetní jednotky pro těžbu kryptoměn a ověřit údaje udávané výrobcem.

#### Popis výrobku:

Citace z katalogu společnosti Hydrogen Energy s.r.o.:

„Tepelně hladinový generátor pracuje na bázi polovodičových hranolů. Díky této technologii dosahuje tepelně hladinový generátor vyšší účinnosti a výkonu oproti termočládkům. **Nejedná se o Pelletierové články**, protože nejsou schopny pracovat trvale s vyšším rozdílem teplot než 80°C aniž by došlo k destrukci a k nevratnému poškození. Dále použitá technologie s autonomní regulací teplot, která je patentována, jsme schopni dosáhnout vysokých výkonů, aniž by došlo k vnitřnímu poškození tepelně hladinového generátoru.“ [5]

#### Schéma zapojení soustavy pro odvod tepelné energie:



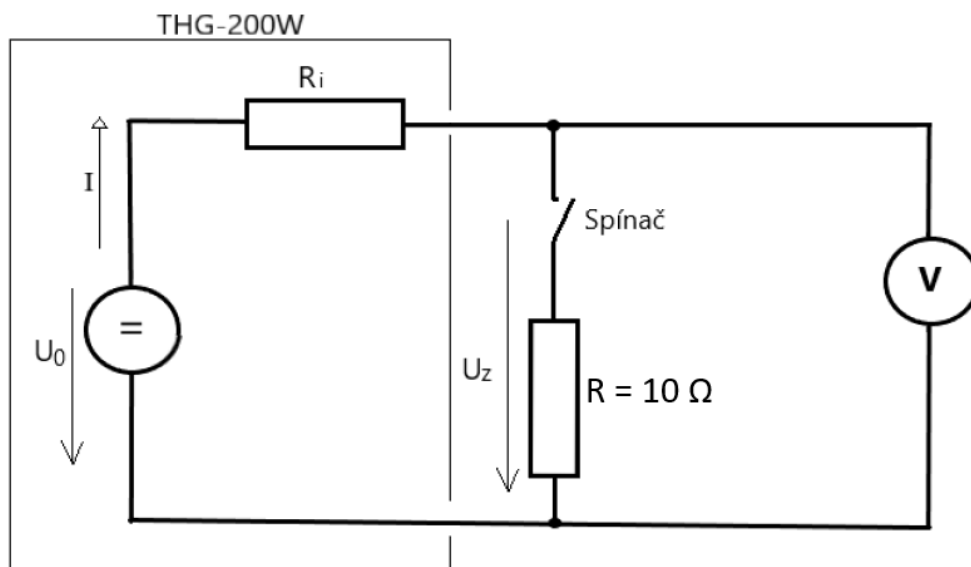
Obrázek č. 6: schéma zapojení soustavy pro odvod tepelné energie s použitím THG-200W



Na obrázku č. 6 je zobrazeno umístění termohladinového generátoru, těsně za těžebním počítačem, z důvodu co nejmenších tepelných ztrát. Jako chlazení studené strany termohladinového generátoru byla použita voda protékající rychlostí 0,217 l/s o teplotě 13 °C. Tento způsob chlazení byl zvolen za účelem dosažení co největšího rozdílu mezi teplou a studenou stranou termohladinového generátoru. Odtékající voda z THG se již dále nijak nezpracovávala v rámci měření.

### Schéma zapojení elektrické části:

Samotný spínač slouží k přepínání měření mezi napětím naprázdno  $U_0$  a mezi napětím v zátěži  $U_z$ . Jako zátěž byl zvolen rezistor  $R$  o hodnotě 10  $\Omega$ . Následně ze změřených údajů byl určen proud  $I$ , vnitřní odpor termohladinového generátoru  $R_i$  a samotný dodávaný výkon  $P$  při různých teplotách  $\Delta t$ .



Obrázek č. 7: schéma zapojení elektrické části

### Pomocné výpočty:

Vyjádření proudu: 
$$I = \frac{U_z}{R_z} \quad [\text{A}] \quad (3)$$

Vyjádření vnitřního odporu: 
$$R_i = \frac{U_0 - U_z}{I} \quad [\Omega] \quad (4)$$

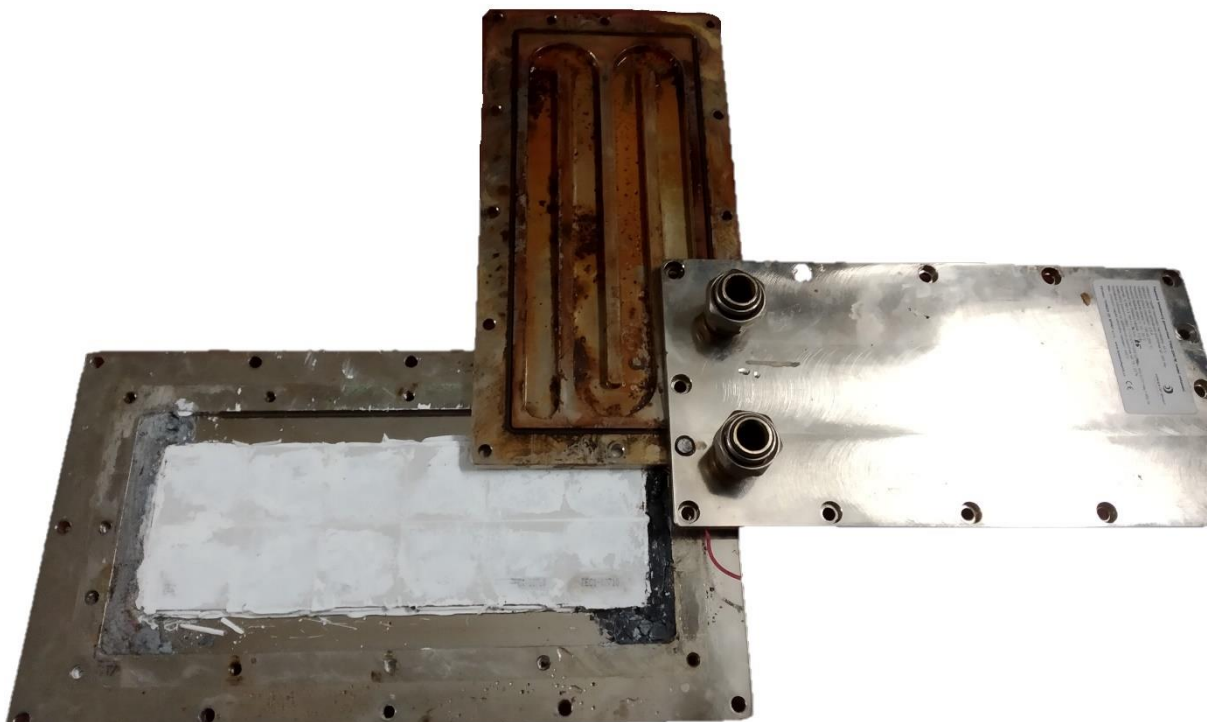
Vyjádření výkonu: 
$$P = (U_0 - R_i \cdot I) \cdot I \quad [\text{W}] \quad (5)$$

**Tabulka č. 7: Změřené a vypočtené hodnoty**

Teplá strana [°C]	Chladná strana [°C]	$\Delta t$ [°C]	$U_0$ [V]	$U_z$ [V]	$I$ [A]	$R_i$ [ $\Omega$ ]	$P$ [W]
40	13,5	27	6,9	2,23	0,223	20,94	0,497
41	13,5	28	7,4	2,40	0,240	20,83	0,576
47	13,5	33	9,0	2,95	0,295	20,51	0,870
53	13,5	39	11,0	3,50	0,350	21,43	1,225
64	13,5	50	14,6	4,60	0,460	21,74	2,116
68	13,5	54	16,2	5,10	0,510	21,76	2,601
74	13,5	61	18,8	5,90	0,590	21,86	3,481

Měření probíhalo za přímého provozu těžební jednotky, proto teplota teplé strany THG začíná na 40 °C. Jako maximální teplota teplé strany byla dosažena teplota pouze 74 °C a to z toho důvodu, aby se zbytečně nepřehřívaly čipy na grafických kartách.

Vzhledem k tomu, že změřené výsledky připomínají charakteristiku termočlánku, rozhodl jsem se pro kompletní rozebrání výrobku, za účelem zjištění, na jakém principu funguje termohladinový generátor.



**Obrázek č. 8: Rozebraný termohladinový generátor TEG-200W, pohled směrem na chladnou stranu**

Pod krytem deskového výměníku chladné strany THG se nachází 12 sériově propojených termočlánků typu TEC1-12710.

### **Zhodnocení změřených výsledků:**

Při teplotním rozdílu 61 °C mezi studenou a teplou stranou termohladinového generátoru, dosahoval změřený výkon 3,48 W. Po rozebrání krytů deskového výměníku se ukázalo, že uvnitř zařízení se nachází 12 sériově propojených termočlánků typu TEC1-12710. Výrobce tedy uvádí naprosto nepravdivé údaje o výrobku.

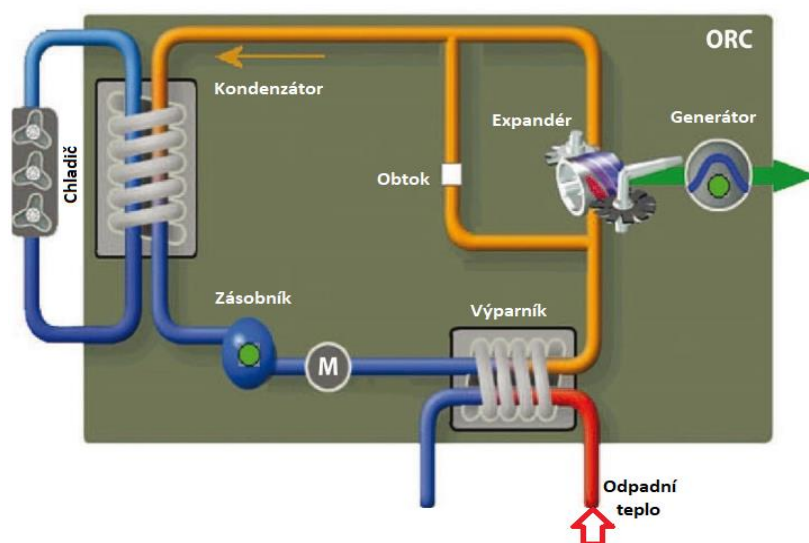
Běžná cena jednoho termočlánku typu TEC1-12710 je 259,-Kč, to je 12 ks za 3 108,-Kč. Tedy 2/3 z celkové ceny tvoří hodnota samotného deskového výměníku. [7] Samotné měření dokazuje, že je možné vyrábět elektrickou energii pomocí termočlánků, z odpadního tepla vzniklého z těžby kryptoměn, nicméně se nejedná o efektivní způsob s ohledem na finanční náklady.

### 2.1.2 Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC), je technologie využívající teplo na výrobu elektrické energie v uzavřeném parním Rankinovým cyklu [8]. Tato technologie využívá jako pracovní medium organickou látku namísto vody. Například: silikonový olej, toluen, freon, pentan atd. Výhoda některých organických látek je v tom, že se odpařují i při relativně nízkých teplotách. Bohužel, tato technologie není ještě dostatečně zavedena v oblasti s elektrickým výkonem menším než 100 kW. To je, mimo jiné, způsobeno nedostatkem úsporných mikro expandérů s generátory. [9]

Vývoj ORC jednotek stále probíhá, a právě proto v roce 2013 byla v univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze uvedena do provozu laboratoř organických Rankinových cyklů a jejich aplikací, kde byl úspěšně vyvinut prototyp ORC jednotky, která pracuje s účinností přes 80 % a generuje cca 1,5 kW čistého elektrického výkonu při tepelném výkonu 50 kW. [10]

Principiální funkčnost ORC jednotky popisuje obrázek č. 9, kde cyklus začíná u čerpadla, které čerpá provozní kapalinu ve vnitřním okruhu zařízení do výparníku. Do výparníku je také přiváděno odpadní teplo, které zahřívá kapalinu a ta se začíná vypařovat. Nasycený plyn o vysokém tlaku na výstupu z výparníku je poslán do expandéru. Rozpínající se plyn roztáčí expandér spojený s generátorem, čímž dochází k výrobě elektrické energie. Přesycený plyn o nízkém tlaku opouští expandér a kondenzuje v kondenzátoru. Kapalina opouštějící kondenzátor je opět přečerpána a celý cyklus se opakuje.



Obrázek č. 9: Principiální popis ORC jednotky

V rámci této práce byl proveden průzkum trhu, při kterém byli zkontaktováni čtyři výrobci zabývající se technologií zpracování odpadního tepla formou horkovodní ORC jednotky. Účinnost jednotlivých technologických produktů se pohybovala v rozmezí od 5 do 15 % dle pracovních podmínek. Bohužel, ani jeden výrobce nebyl schopen poskytnout ideální zákaznické řešení, které by dokázalo zpracovávat tepelný výkon již od 1 kW při vstupní teplotě vody v rozmezí 65 až 80 °C. Získané informace pouze potvrdily, že tyto aplikace stále nejsou vhodné pro nasazení v oblasti nízkého tepelného vstupu.

**Tabulka č. 8: průzkum trhu výrobců ORC jednotek vhodné pro zpracování odpadního tepla (zdroj: vlastní zpracování na základě kontaktování společnosti)**

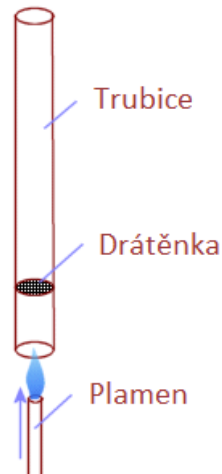
Výrobce a typ horkovodní jednotky ORC	požadovaný nejnižší vstupní tepelný výkon [kW]	teplotní rozsah vstupní vody [°C]	elektrický výkon ORC jednotky [kW]	orientační cena za ORC jednotku [Kč]
Electratherm group: 4200 Alone	300	77–116	10 až 35	4 155 665
LBG Moravia a.s.: LT 111	1500	80–150	25 až 55	4 807 000
Turboden s.p.a.: GIE	>10000	100–200	>1500	> 10 000 000
Orcan energy AG: ePack NT	180	80–105	8 až 15	2 150 500

Z tabulky č. 8 je patrné, že výrobci ORC jednotek se zabývají zpracováním tepelných výkonů odpadního tepla od velikosti 180 kW.

Rekuperace odpadního tepla z těžební jednotky pomocí ORC zařízení, by mohlo být vhodné pro velkou těžební farmu, která disponuje odpadním teplem o velikosti alespoň 180 kW, ale nikoliv pro jednotlivce, kteří vlastní pouze jednu těžební jednotku.

### 2.1.3 Termoakustický generátor

Termoakustický generátor, neboli termoakustické zařízení využívá tepelný rozdíl k indukci zvukových vln s vysokou amplitudou a následnou přeměnu na elektrickou energii pomocí piezoelektrického zařízení. Tento způsob přeměny tepelné energie na zvukovou vlnu byl objeven v roce 1859 profesorem fyziky P.L. Rijke pod názvem Rijkeova trubice. [11]

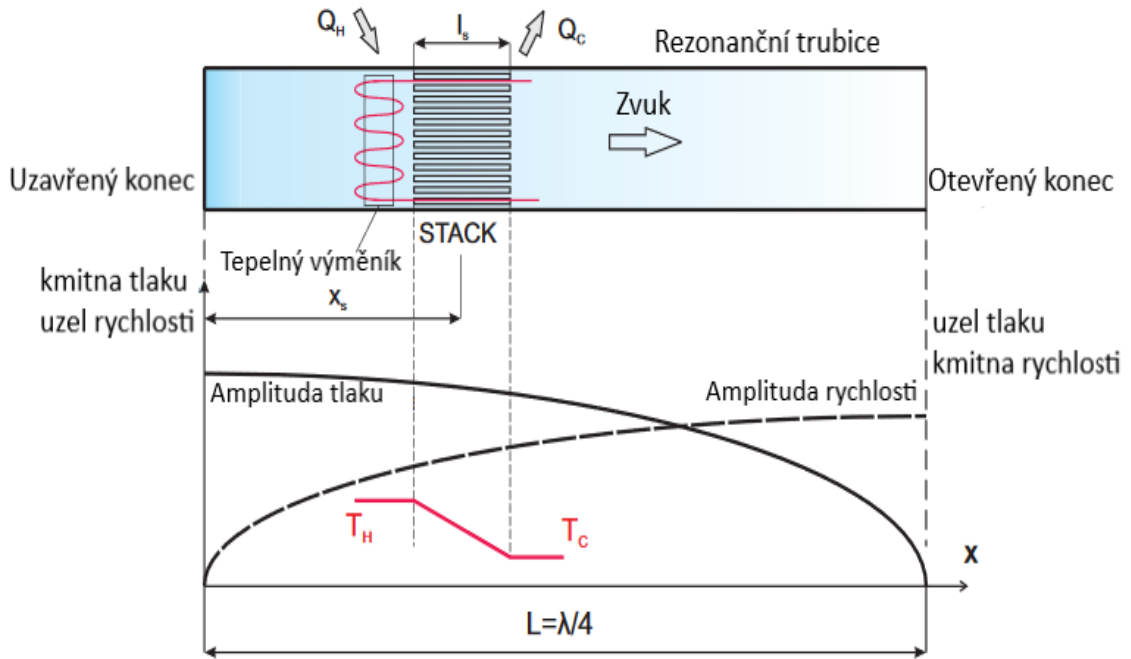


Obrázek č. 10: Rijkeova trubice – půlvlnný rezonátor dle [11]

Rijkeova trubice, je trubice, asi 0,8 m dlouhá a 3,5 cm široká v průměru. Uvnitř trubice přibližně 20 cm od jednoho konce je umístěna drátěná gáza. Při ohřívání trubky ve svislé poloze s drátěnou gázou ve spodní části, bylo zjištěno, že jestliže je teplo dodáno do pracovního média v momentě největšího zhuštění, a naopak odebíráno v momentě největšího zředění je vybudeno kmitání mezi těmito stavy. Samotný zvuk pochází ze stojaté vlny, jejíž vlnová délka je přibližně dvojnásobkem délky trubky. Trubice tedy funguje jako půlvlnný rezonátor.

V roce 2007 profesor fyziky Orest Symko přichází s vylepšenou Rijkeovou trubicí na bázi čtvrtvlnového rezonátoru, který je zaměřen na zpracování odpadního tepla a následnou přeměnu na elektrickou energii. Samotný prototyp termoakustického generátoru je právě určený na zpracování odpadního tepla z výkonných mikroprocesorů nebo radarů. [12] Kde dle profesora Symka, byla dosažena účinnost 20 až 25 % v závislosti na konkrétním použití. Symko dále zdůrazňuje, že účinnost zařízení závisí na rozdílech mezi zdrojovým teplem a teplotou uvnitř válce. Čím je vyšší teplotní rozdíl, tím je větší účinnost. Největší výhodou tohoto zařízení jsou výrobní náklady, které se pohybují v rozmezí 100 až 200 USD. Bohužel retailový produkt není stále ještě k dispozici. [13]

V roce 2004 byl na univerzitě v Californii vyvinutý speciální termoakustický generátor pro kosmické lodě s účinností 18 %. [14]



**Obrázek č. 11: Ilustrace vztahu mezi tlakem (-) a fází této vlny (-), modré přechodové pozadí představuje skutečné uspořádání molekul ve čtvrtvlnném vlnovodu ( $L = \lambda/4$ ) close – open rezonátor. Obrázek převzat ze zdroje [25]**

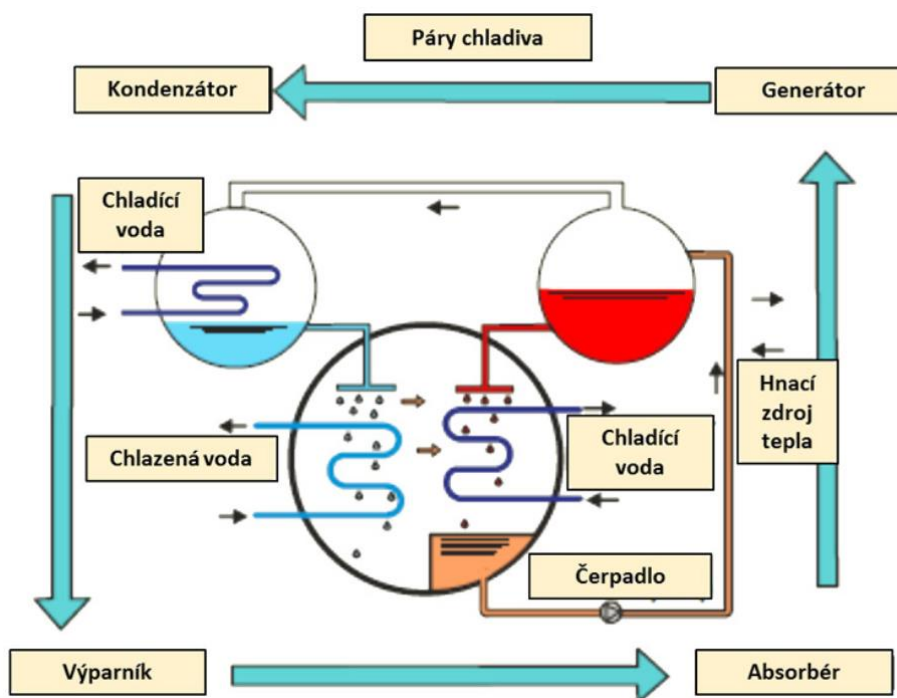
Pokud budou dodrženy zmiňované technické údaje prototypu v koncovém výrobku termoakustického generátoru, jednalo by se o nejvhodnější možné zařízení k přeměně odpadního tepla z těžby kryptoměn na elektrickou energii s ohledem na pořizovací náklady a účinnost zařízení.

## 2.2 Chlazení pomocí odpadního tepla

V současné době se na českém trhu zvyšuje poptávka možností chlazení domácností, při tropických vedrech, které jsou vlivem globálního oteplování i na území české republiky. Spotřebitelé často volí na první pohled nejlevnější variantu nástěnné klimatizační jednotky typu Split (jedna vnitřní a jedna venkovní jednotka s kompresorem), která nemusí být vždy nejvhodnější volbou s ohledem na ekonomičnost. Tato podkapitola se bude zabývat myšlenkou chlazení pomocí odpadního tepla z výpočetní jednotky na těžbu kryptoměn, kde na jednu sestavenou těžební jednotku připadá 962 Wh odpadního tepla o průměrné teplotě 69 °C.

### 2.2.1 Absorpční chlazení

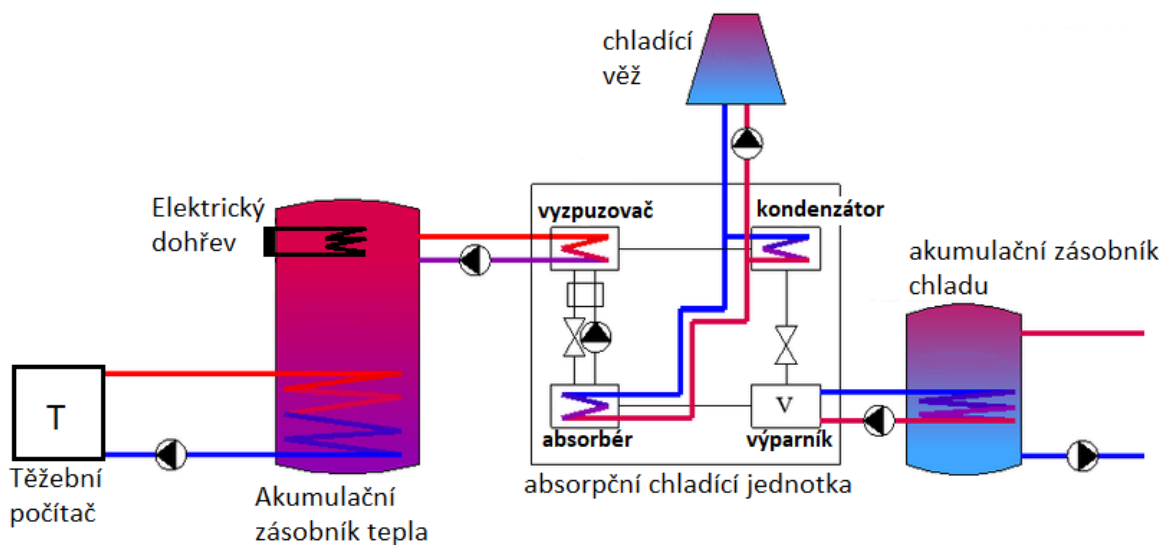
Jedna z rozšířených možností chlazení, s využitím odpadního tepla, je právě absorpční chlazení, které funguje na principu absorbování tepla při nižší teplotě a nižším tlaku, během odpařování a uvolňování tepla při vyšší teplotě a vyšším tlaku během kondenzace. Absorpční chladicí jednotka ke zvyšování tlaku a teploty chladiva využívá zahřívání roztoku na vysoké teploty a následné vypuzování chladiva z roztoku. První absorpční jednotku vyvinul Edmond Carré v roce 1850 a jako pracovní látku použil vodu s kyselinou sírovou. O necelých deset let později, jeho bratr Ferdinand, použil pracovní látku amoniak s vodou a následně si nechal vynález patentovat. [15] V dnešních absorpčních systémech se převážně používá jako pracovní látku bromid lithný.



Obrázek č. 12: principiální schéma zapojení absorpční jednotky, zdroj: katalogový list společnosti LBG Moravia a.s.



K provozu absorpční chladicí jednotky je potřebný zdroj tepelné energie, zajišťující teplotu teplosnosné látky kolem 80 až 140 °C v závislosti na konkrétním výrobcu. Zdrojem tepelné energie může být právě horká voda, která odvádí teplo od těžební výpočetní jednotky a dále je tato horká voda dohřívána v akumulární nádobě na požadovanou minimální teplotu pro absorpční chlazení. V porovnání s typickou nástěnnou klimatizační jednotkou s kompresorovým chlazením, je absorpční chlazení využívající odpadní teplo výrazně úspornější, neboť využívá elektrickou energii pouze pro chod oběhových čerpadel nebo na dohřev teplosnosné látky na minimální požadovanou teplotu na vstup do absorpční jednotky. Další možnou výhodou může být dotační příspěvek od státu, o který je možno požádat do roku 2021. [16] Naopak, nevýhodou absorpčního chlazení je nižší účinnost, vysoké pořizovací náklady a nutnost větší technické místnosti pro implementování technologie do objektu.



**Obrázek č. 13: teoretické zapojení absorpční jednotky, která zpracovává odpadní teplo z výpočetní jednotky pro těžbu kryptoměn, inspirováno zdrojem [24]**

Vzhledem k tomu, že v současné době výrobci absorpčních jednotek jsou zaměřeni hlavně na průmyslové aplikace s vysokými tepelnými výkony, tak na trhu chybí jednotky, které by dokázaly zpracovávat odpadní teplo do 10 kW. Právě proto, byla v rámci této práce, vytvořena jednoduchá analýza trhu s absorpčními chladicími jednotkami, které využívají odpadní teplo ve formě horké vody.

**Tabulka č. 9: průzkum trhu absorpčních jednotek vhodné ke zpracování odpadního tepla (zdroj vlastní zpracování na základě získaných katalogových listů)**

Výrobce absorpční jednotky	typ	vstupní rozsah teplotnosného média	minimální tepelný výkon vstupu
LBG Moravia a.s.	Thermax - HW	75-180 °C	300 kW
Systherm s.r.o.	WFC SC 5	70-95 °C	25,1 kW
Hope Deepblue Air Conditional Manufacture Corp.,Ltd	RXZ (95/85)-23	95-140 °C	233 kW
Thermax Europe Ltd	10-1730 TR	75-140 °C	35 kW
Hitachi-Johnson Controls Air Conditioning Inc.	HAU-BWGN 300EXAJ	88-120 °C	844 kW

Z tabulky č. 9 vyplývá, že sestavená výpočetní sestava pro těžbu kryptoměn, v rámci této práce, generuje příliš malý tepelný výkon pro chlazení pomocí absorpční jednotky. Nicméně, v případě malé těžební farmy, kde se například nachází těžební sestavy s celkovým odpadním teplem o výkonu 50 kWh, již přichází v úvahu chlazení pomocí absorpční jednotky od společnosti Systherm s.r.o. nebo Thermax Europe Ltd.

### 2.2.2 Adsorpční chlazení

Další možnost, jak využít odpadní teplo k chlazení, je pomocí adsorpční chladicí jednotky. Adsorpční chlazení funguje na podobném principu jako absorpční chlazení s tím rozdílem, že u absorpčního chlazení se odnímá okolní teplo rozpuštěním chladicího média v absorbéru. Zde se tak děje jeho přilnutím na povrchu adsorbentu. Chladivo, obvykle amoniak, je adsorbováno pevným adsorbentem, obvykle chloridem vápenatým a uvolňováno jeho samotným ohřátím. Pro provoz adsorpčních jednotek se využívá tepelná energie o teplotě od 180 až 350 °C. [17] Tato teplota několikanásobně převyšuje maximální teplotu odpadního tepla z těžby kryptoměn. Právě vysoká teplota na vstupu do technologie, je důvodem, proč chlazení pomocí adsorpční jednotky není vhodné v rámci této práce uvažovat.

## **2.3 Vytápění domu pomocí odpadního tepla – aplikované použití**

Zpracování odpadního tepla, pro zajištění tepelného komfortu budovy v zimních měsících z těžebního stroje, je technologicky méně náročná varianta. V případě, že otopná soustava v daném objektu je připravena například na připojení solární soustavy, tak samotná instalace těžebního stroje do otopné soustavy je velice jednoduchá.

Při implementování těžební jednotky, do otopné soustavy, byla nápomocna rodina Hřebcova, která byla ochotna do svého vytápěcího systému zabudovat sestavený těžební počítač a zpracovávat z něj odpadní teplo pro ohřev teplé užitkové vody a vytápění objektu.

### **2.3.1 Informace o objektu**

Jedná se o novostavbu, jednopodlažní rodinný dům s obytnou plochou 109 m<sup>2</sup>, který je podsklepený. Při výstavbě objektu byl použit konopný beton, který má výborné tepelně izolační vlastnosti. V objektu je umístěna krbová vložka, ve které se příležitostně zatápí. Hlavním zdrojem tepelné energie je elektrická energie (bojler pro ohřev TUV, elektrický kotel pro vytápění).

Umístění objektu: Brno – jih

Výpočtová tepelná ztráta (dle technické dokumentace): 4 kW

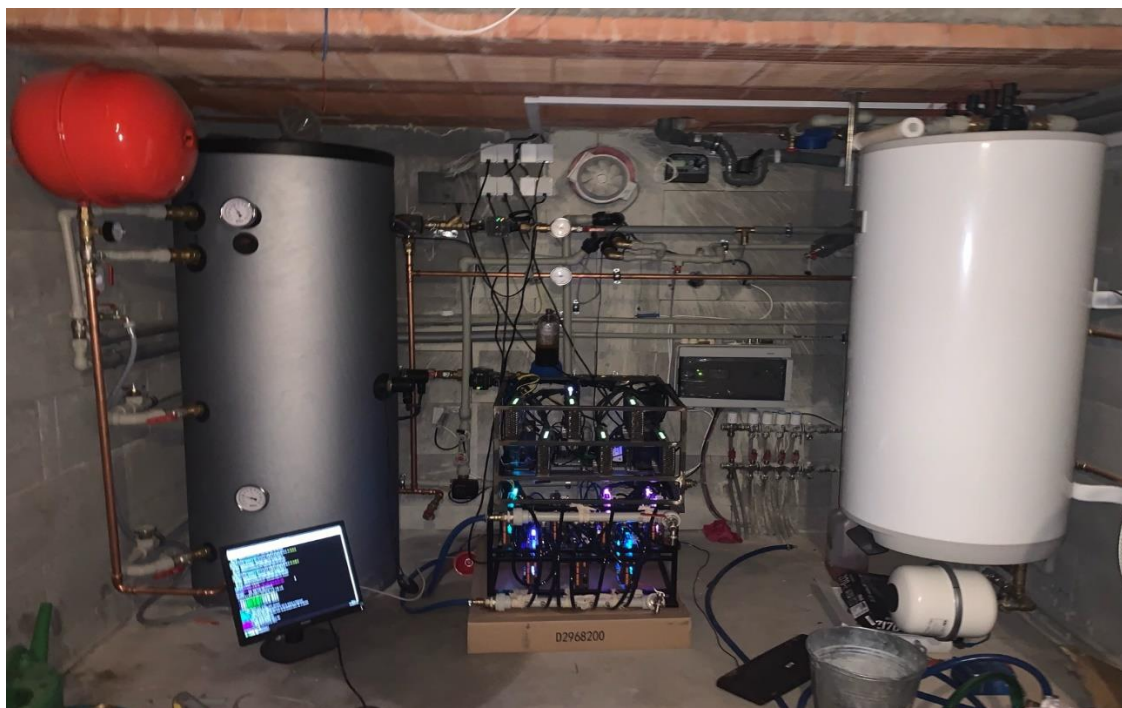
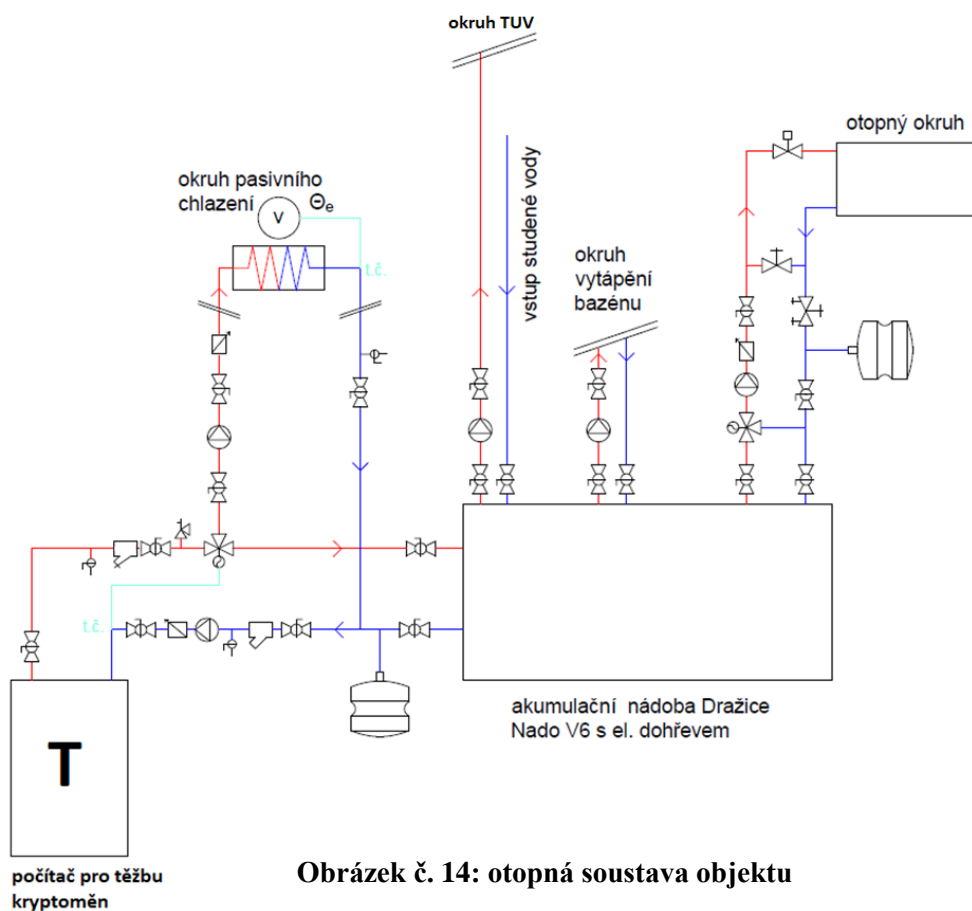
Obytná podlahová plocha: 109 m<sup>2</sup>

Počet lidí trvalého užívání: 4

Spotřeba elektrické energie na vytápění objektu a ohřevu TUV za rok 2017: 6 351 kW/h

Reálné vyúčtování za dodávku tepla v podobě elektrické energie za rok 2017: 25 404,- Kč

## 2.3.2 Otopná soustava objektu



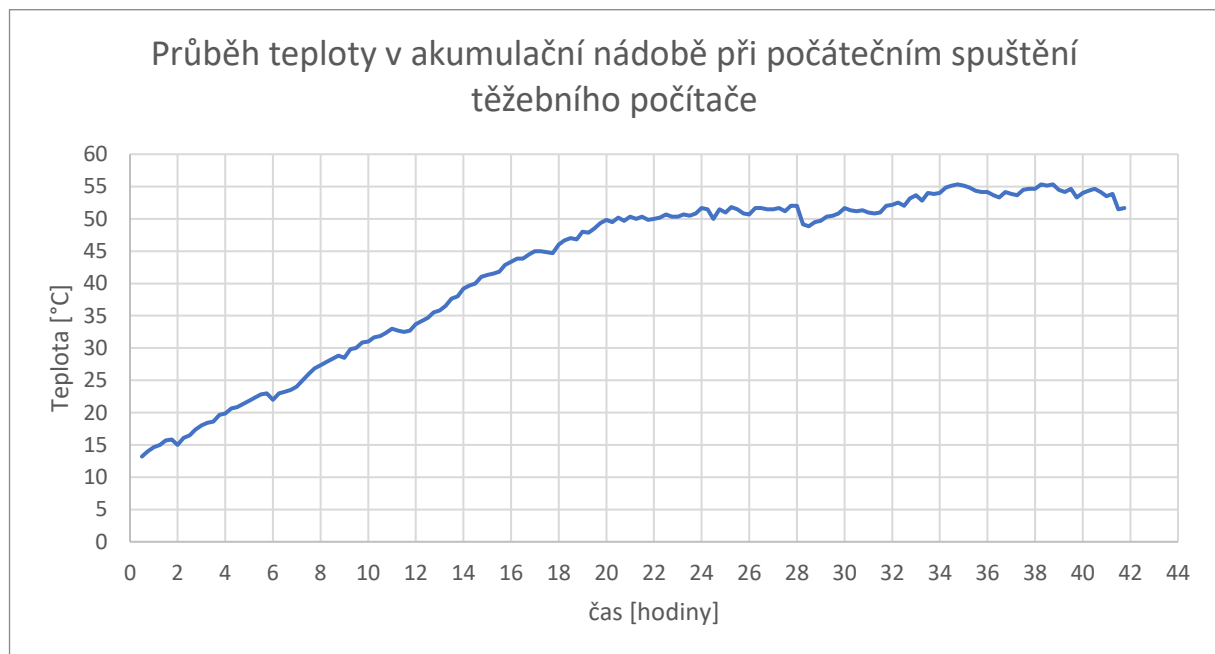
Obrázek č. 15: reálné provedení otopné soustavy (montáž akumulační nádoby, demontáž elektrického bojleru)

Významným uzlem celé otopné soustavy, je akumulční nádoba Dražice Nado 500/25 V6 s elektrickým ohřevem, která slouží k akumulaci přebytečného tepla od jeho zdroje. Zdrojem může být kotel na tuhá paliva, tepelné čerpadlo, solární kolektory, krbová vložka atd. Některé typy nádrží dovolují kombinovat i zapojení více zdrojů. Nádrže NADO (s přípravou TUV) dovoluje i přímý ohřev užitkové vody ve vnitřní smaltované nádobě nebo její předehřev pro další ohřívач vody. [18]

Do otopné soustavy byl dále přidán chladič, který se nachází v exteriéru. Ve schématu otopné soustavy je realizována i přípojka na externí výměník v podobě bazénu. Výstavba bazénu je plánovaná na rok 2019.

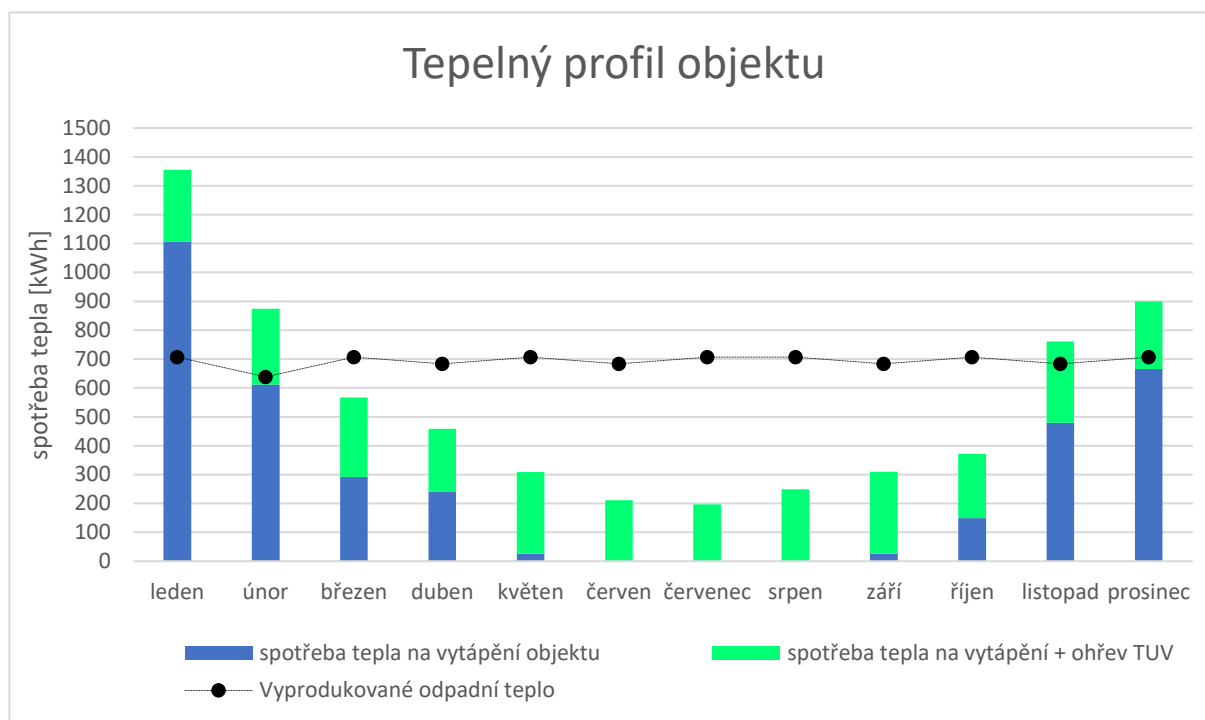
### 2.3.3 Měření využití odpadního tepla v rodinném domě

Při počátečním spuštění soustavy byla akumulční nádoba napuštěna vodou ze studně, která měla teplotu 13 °C. Pomocí odpadního tepla, z těžebního počítače, došlo k postupnému ohřevu akumulční nádrže a po 20ti hodinách se teplota ustálila na 50°C. Při prvním spuštění bylo nastaveno zapnutí chladicího okruhu již při dosažení 50°C. Později byla referenční teplota zvýšena.

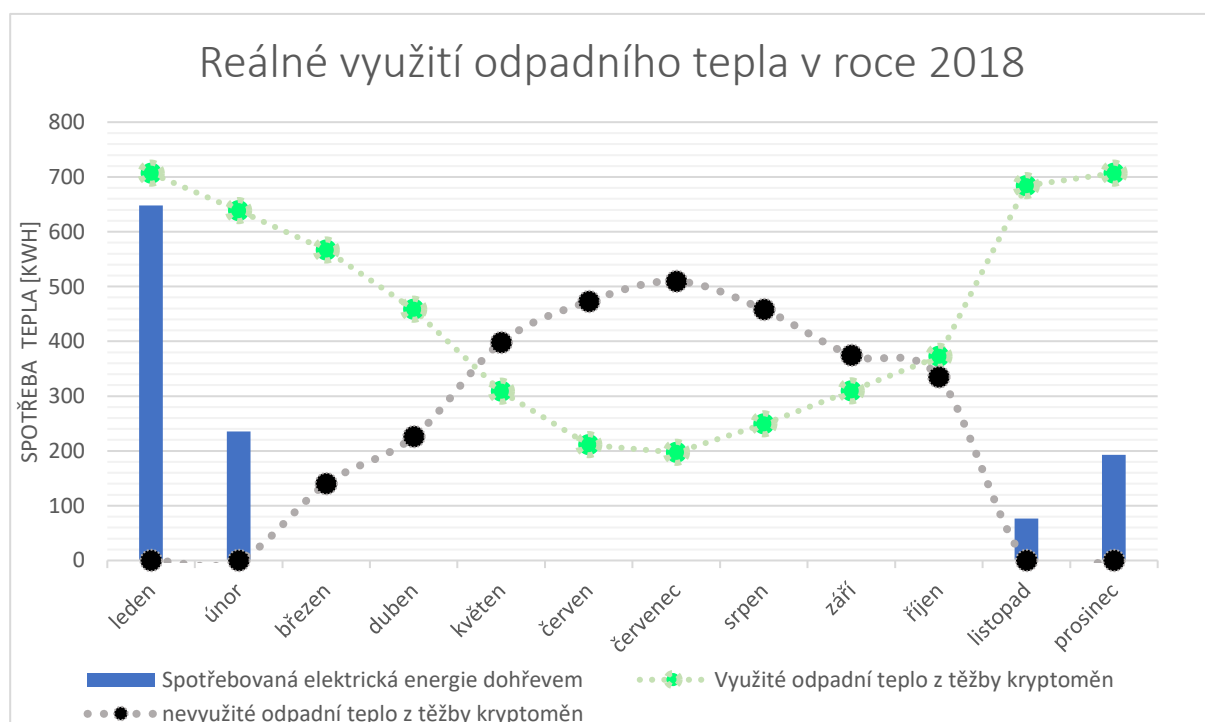


Obrázek č. 16: průběh teploty v akumulční nádobě při prvním spuštění těžebního stroje

Při testování maximální dosažitelné teploty v akumulční nádrži z odpadního tepla, bylo dosaženo teploty 71 °C s tím, že teplota na grafickém čipu výpočetní jednotky dosahovala v průměru 82 °C. Právě teplota 82 °C, byla stavena jako maximální kritická teplota pro spolehlivý chod výpočetního zařízení. V případě překročení této teploty, by došlo k automatickému zastavení těžby kryptoměn a následnému poklesu teploty.



**Obrázek č. 17: Graf popisující spotřebu tepla objektu bez využití odpadního tepla**



**Obrázek č. 18: Graf popisující reálnou spotřebu odpadního tepla v jednotlivých měsících a spotřebu elektrické topné spirály na nutný dohřev v zimních měsících**

Výpočetní jednotka pro těžbu kryptoměn byla implementována do otopné soustavy v lednu 2018 a od té doby běžela nepřetržitě do prosince téhož roku. V otopné soustavě bylo sledováno reálné využití odpadního tepla potřebného na vytápění a ohřev teplé užitkové vody v rodinném domě. Na obrázku č. 17 a 18 lze vidět, kolik bylo reálně využito odpadního tepla z těžebního stroje za dvanáct měsíců zpětně. V chladném ročním období bylo vyprodukované odpadní teplo celé spotřebované, a ještě bylo nutné zapínat elektrický dohřev k dosažení tepelného komfortu. Naopak, v letních měsících nebylo spotřebováno ani 30 % odpadního tepla. Zbylých 70 % odpadního tepla v letních měsících bylo chlazeno externím chladičem.

Z uvedených grafů plyne, že velikost odpadního tepla je dimenzována na zajištění tepelného komfortu daného objektu v podzimních nebo v jarních měsících. Samozřejmě při monitorování potřeby tepla, hraje velkou roli, kromě počasí, také chování samotného uživatele. Faktory, které ovlivňují potřeby tepla, jsou následovné: reálná tepelná ztráta objektu, počasí, tepelný komfort uživatele, časté větrání, zatápění v krbové vložce, dlouhodobé dovolené atd.

**Tabulka č. 10: porovnání tepelně energetické bilance vytápěné budovy**

celková spotřeba tepla za rok 2017	6 351 kWh
celkové náklady za teplo v roce 2017	25 404 Kč
celková spotřeba tepla za rok 2018	6 561 kWh
celková spotřeba tepla el. dohřevem za rok 2018	1 153 kWh
využití odpadního tepla za kalendářní rok 2018	5 408 kWh
nevyužití odpadní teplo za kalendářní rok 2018 -> chladič	2 914 kWh
využití odpadního tepla za rok 2018	65 %
úspora el. energie na vytápění a ohřev TUV v porovnání s předchozím rokem 2017	81,8 %
úspora el. energie na vytápění a ohřev TUV v porovnání s předchozím rokem 2017	20 791 Kč

Z tabulky č. 10 vyplývá, že při využití 65 % odpadního tepla z výpočetní jednotky, byla úspora elektrické energie na vytápění za rok 2018 téměř 82 % oproti předchozímu roku s tím, že bylo ušetřeno 20 791 Kč.

Uspořený zisk na elektrické energii za vytápění, je zavádějící číslo, neboť v dnešní době se na vytápění rodinných objektů používá spíše zemní plyn, který je 2x levnější než elektrická energie, nebo se dále používá topná sestava s tepelným čerpadlem, které je až 3x úspornější, než vytápění elektrickou energií viz kapitola 4.1. V případě, že by se dalo předpokládat, že těžba kryptoměn nebude nikdy ztrátová, tak by se jednalo o ekonomicky nejvýhodnější vytápěcí sestavu, která je dostupná na trhu.

V tomto konkrétním případě bylo za rok 2018 vyděláno těžbou kryptoměn 50 306,- Kč a ušetřeno za teplo v podobě elektrické energie 20 791,- Kč. Dalo by se tedy hovořit o celkovém zisku v hodnotě 71 097,- Kč.

### 3. Alternativní využití výpočetní jednotky

Jak již bylo zmíněno v kapitole č. 1, těžba kryptoměn nemusí být vždy zisková a potencionální majitel těžební jednotky se může nacházet v dlouhodobé finanční ztrátě. Z tohoto důvodu je nutné, najít další využití těžební jednotky, které bude finančně výdělečnémn v případě dlouhodobého úpadku kryptoměn. Následující kapitola se bude zabývat profitabilním využitím těžební jednotky pro jiné výpočetní účely, než je těžba kryptoměn.

Svým způsobem je k dispozici pouze jedno možné řešení, jak zpeněžit výpočetní výkon. Vždy se bude jednat o pronájem externího výpočetního výkonu. Tato služba se může nacházet v různých modifikovaných variantách, které jsou popsány níže.

#### 3.1 Cloud rendering

S vývojem zobrazovací techniky, jsou kladeny čím dál větší požadavky na 3D efekty u filmové tvorby. Právě při tvorbě reálného obrazu na základě 3D počítačového modelu, je potřeba vysoký výpočetní výkon. Ten ovšem nemusí být vždy k dispozici. Pro představu, u animovaného filmu G-FORCE, byla doba renderování efektů 18 247 198 hodin. Z tohoto důvodu se využívá externí síťové renderování neboli cloud rendering, kde jednotlivé výpočty probíhají paralelně na více výpočetních zařízeních. [19]

Díky tomu, že sestavený těžební stroj obsahuje právě grafické karty nVidia 1080 Ti, které jsou vhodné k renderování, tak můžeme uvažovat právě o tomto způsobu pro alternativní využití těžebního stroje.

Například u společnosti Fox RenderFarm, která je jedna z nejvyhledávanějších v oblasti cloud renderingu, se cena služeb pohybuje od 1 do 2,5 USD za hodinové využití jednoho vlákna u dvou grafických karet. Což by u sestaveného těžebního počítače znamenalo hodinový zisk 66 až 165 Kč za využití těžební jednotky. Když vezmeme v úvahu náklady na provoz těžební jednotky (hodina provozu 4 Kč), tak se stále jedná o ziskovou službu. [20]

Další možný způsob, jak poskytovat výpočetní výkon pro cloudové renderování, je přes síť <https://golem.network/rendering/>, kde po nainstalování aplikace lze zpřístupnit vlastní výpočetní výkon ostatním uživatelům. Uživatelé poté platí zcela automaticky za jednotku využitého výkonu konkrétnímu poskytovateli.<sup>4</sup>

Nicméně je nutné si uvědomit, že k tomu, aby poskytovatel služby cloudového renderování byl dlouhodobě ziskový, tak potřebuje pravidelnou klientelu a s tím jsou spojené další náklady. Například za marketing a webové stránky.

---

<sup>4</sup> Zde podotýkám, že [golem.network/rendering](https://golem.network/rendering/) je služba, která probíhá ve fázi BETA pomocí blockchainu. Nelze tedy přesně stanovit, o jak ziskovou službu se jedná.



### **3.2 Cloud Gaming PC**

Dalším příkladem využití těžebního stroje může být jeho poskytnutí na hraní náročných počítačových her. V dnešní době je plně rozvinutý průmysl s graficky náročnými hrami, které vyžadují výpočetní výkon. Proto se využívají externí grafické karty, uložené v datacentrech, na kterých běží výpočty pro vykreslení reálného obrazu. Výsledky těchto výpočtů se v reálném čase posílají uživateli do nevýkonného počítače, na kterém se momentálně hraje počítačová hra. Nicméně zatím neexistuje automatická služba, která by propojila potenciálního hráče s majitelem výkonného výpočetního hardwaru. Ve všech případech se jedná o sdílení výpočetního výkonu pomocí proprietárního protokolu ze strany společností, které se zabývají vývojem her nebo výpočetního zařízení. Například společnost nVidia poskytuje službu cloud gaming pod názvem GeForce Now za měsíční poplatek 260 Kč. [21]

### **3.3 Výpočetní výkon pro vědu**

Některé výzkumné organizace nabízejí zapojení do svého výzkumu. Dobrovolníci tak poskytují svůj vlastní výpočetní výkon výzkumné organizaci zcela zdarma. Samotné sdílení výpočetního výkonu grafických karet probíhá jednoduše přes webové rozhraní, například na webové adrese [boinc.berkeley.edu](http://boinc.berkeley.edu). Ovšem v tomto případě se jedná pouze o solidárnost a nikoliv o výtěžnou službu.

## 4. Ekonomická bilance konceptu

Při vyhodnocení jednotlivých konceptů zpracování odpadního tepla z těžby kryptoměn, záleží na možnostech daného uživatele a na samotné lokaci těžební jednotky. Majitel těžební jednotky v Egyptě, nebude pravděpodobně využívat odpadní teplo k vytápění, a naopak, majitel těžební jednotky na Sibíři k chlazení (pomocí absorpční jednotky). Vždy se jedná o kompromis mezi potřebou a návratností.

### 4.1 Těžební jednotka v rodinném domě

Jako nejefektivnější řešení zpracování odpadního tepla z výpočetních jednotek, na těžbu kryptoměn, je přímé využití pro vytápění nebo ohřev teplé užitkové vody, jak popisuje kapitola 2.3. Při návrhu musí uživatel vycházet z dlouhodobé potřeby tepla pro daný objekt a rozhodnout se, zdali těžební jednotku bude dimenzovat jako primární zdroj tepla nebo jako sekundární zdroj tepla.

Z ekonomického hlediska mohou nastat čtyři různé scénáře, při zpracování odpadního tepla, z těžby kryptoměn. Tyto scénáře jsou popsány v následující tabulce:

**Tabulka č. 11: Možné scénáře při vytápění objektu těžební jednotkou**

Potřeba vytápění	zisk z těžby > náklady na provoz	Popis:
ano	ano	Zde dochází k největšímu využití. Uživatel zdarma využívá odpadní teplo a zároveň získává výtěžek v podobě kryptoměn.
ne	ano	Zde se jedná o příklad, kdy je zisk ze samotné těžby mnohem výtěžnější než náklady na provoz výpočetního zařízení. V tomto případě uživatel inkasuje zisk z těžby a vzniklé teplo nezpracovává.
ano	ne	Uživatel využívá výpočetní jednotku primárně pro vytápění a malý zisk z těžby kryptoměn mu alespoň snižuje náklady na provoz zařízení.
ne	ne	V tomto případě se uživateli vyplatí zastavit těžbu kryptoměn, neboť se jedná o prodělečnou činnost. Nebo najít jiný způsob využití pro výpočetní jednotku

V případě, že majitel těžební jednotky bude predikovat celoroční provoz těžby, tak se zde vyskytuje možnost si objem elektrické energie dopředu nakoupit na burze a získat tak mnohem lepší cenu než od distributora.

**Tabulka č. 12: Porovnání ročních nákladů na vytápění dle [22]**

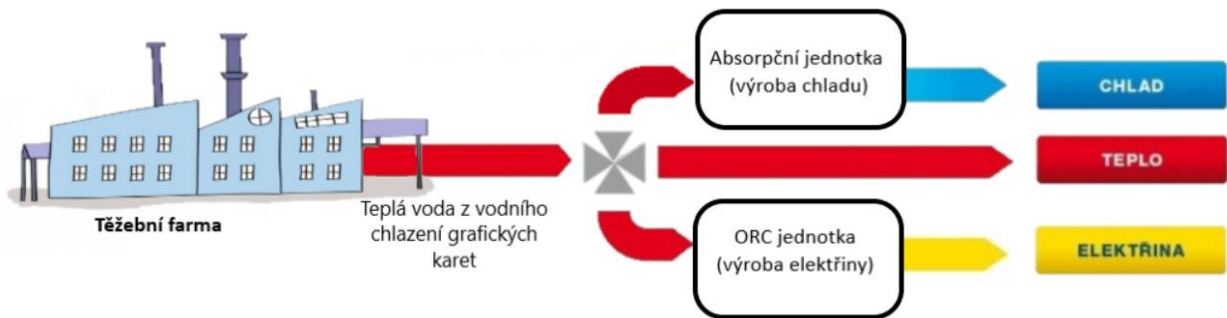
Palivo	cena	účinnost v %	spotřeba paliva	náklady/rok
HU-hnědé uhlí (18 MJ/kg)	2,5 Kč/kg	80 % automatický kotel na uhlí	1491 kg	3 728 Kč
ČU-černé uhlí (25 MJ/kg)	5 Kč/kg	80 % automatický kotel na uhlí	1 074 kg	5 368 Kč
dřevěné pelety (17 MJ/kg)	5 Kč/kg	90 % automatický kotel na pelety	1 404 kg	7 018 Kč
Dřevo (14,6 MJ/kg)	3 Kč/kg	75 % zplyňovací kotel na dřevo	1 961 kg	5 883 Kč
ZP-zemní plyn (37,82 MJ/m <sup>3</sup> )	1,55 Kč/kWh	102 % kotel kondenzační	6 498 kWh	10 072 Kč
E-PT elektro kotel / přímotopy	4 Kč/kWh	98 % přímotopné panely	6 087 kWh	24 347 Kč
E-TČ elektrina tepelné čerpadlo	4 Kč/kWh	3 COP (topný faktor)	1 988 kWh	7 953 Kč
Elektrina – těžba kryptoměn	4 Kč/kWh	90 % grafické karty (vodní chlazení)	6561 kWh	<b>zisk 45 694 Kč</b>

Z tabulky číslo 12 vyplývá, že vytápění pomocí odpadního tepla z výpočetní jednotky, je jediný způsob, jak v malém měřítku vytápet rodinný dům a zároveň ještě získávat finanční odměnu za provoz zdroje tepelné energie v podobě těžby kryptoměn. Informace ohledně vytápění pomocí těžby kryptoměn byly převzaty z kapitoly 2.3.

Na základě získaných informací z kapitoly 2.1 a 2.2 lze říci, že zatím neexistuje vhodná technologie pro využití odpadního tepla v řádu jednotek kWh z těžby kryptoměn pro generování elektrické energie, nebo k chlazení s ohledem na vhodné využití pro rodinný objekt.

## 4.2 Těžební farma

V případě těžebních farem, se často jedná o odpadní teplo ve stovkách kWh, které již splňuje podmínku minimální velikosti tepla na vstupu do zařízení typu ORC pro výrobu elektrické energie nebo pro výrobu chladu, pomocí absorpční jednotky. Tudíž zde se nabízí možnost využití odpadního tepla pomocí trigenerace, jak popisuje následující obrázek. Nevýhodou tohoto technologického provedení, je pořizovací cena, která je často příliš vysoká pro zrealizování. Dalším faktem je ekonomická návratnost v nedohlednu.



Obrázek č. 19: Koncept trigenerace pomocí těžební farmy

Mnohem zajímavější koncept z pohledu využití odpadního tepla u těžební farmy je následující model. Lokačně decentralizovat těžební hardware do jednotlivých domácností, kdy majitel těžebních stanic by hradil veškeré náklady na provoz zařízení a jednotlivé domácnosti by mohli za zvýhodněnou cenu využívat odpadní teplo z těžby kryptoměn.

## 5. Závěr

Na základě analýzy, provedené v Projektu I., jsem využil výpočetní jednotku pro těžbu kryptoměn. Dle získaných informací z Projektu II. jsem výpočetní jednotku pro těžbu kryptoměn implementoval do otopné soustavy rodinného domu. Ze změřených dat, získaných z dlouhodobého provozu těžebního zařízení, jsem vyjádřil roční energetický profil celé soustavy. Při využívání odpadního tepla z výpočetní jednotky na těžbu kryptoměn, bylo za kalendářní rok ušetřeno 82 % nákladů na vytápění a ohřev teplé užitkové vody v rodinném domě. Zároveň samotná těžba kryptoměn, za jeden kalendářní rok, vytvořila zisk v hodnotě 50 306,-Kč, což je přibližně 1/3 pořizovací ceny těžební jednotky.

Využití odpadního tepla z těžební jednotky, jsem analyzoval i z pohledu zpětné rekuperace na elektrickou energii, kde jsem došel k závěru, že je možné, vyrábět elektrickou energii i z takto nízkopotencionálního sekundárního zdroje, například pomocí termoelektrického generátoru. Nicméně, z ekonomického pohledu, se nejedná o rentabilní předpoklad, neboť odhadovaná návratnost v ideálním případě je okolo 50-ti let. Využití nízkopotencionální energie k převodu na elektrickou energii, je nedostatečně rozvinutý a zároveň lukrativní obor, který bohužel láká i podvodné společnosti. Při hledání vhodné technologie přeměny odpadního tepla na elektrickou energii, jsem otestoval speciální zařízení tzv. termohladinový generátor. Odhalil jsem, že se jedná o podvodné zařízení, které pracuje na bázi obyčejného termoelektrického jevu a nikoli, jak udává výrobce, na bázi polovodičových hranolů s účinností až 23 %.

Dále jsem se zabýval možností chlazení, pomocí odpadního tepla z těžební jednotky. Zde jsem došel k závěru, že je možné využít nízkopotencionální zdroj sekundární energie s následným dohřevem, na minimální teplotu, ke chlazení pomocí absorpční jednotky. Nutno podotknout, že se jedná o průmyslovou záležitost, z důvodu minimálního tepelného výkonu na vstupu do technologie, který začíná až na 25 kW.

Vzhledem k tomu, že zisk z těžby kryptoměn nemusí být vždy kladný s ohledem na vývoj kryptoměnového trhu, našel jsem v rámci této práce alternativní využití pro sestavenou těžební jednotku. Alternativní využití těžební jednotky je založeno na cloudovém renderingu, kde se hodinový zisk sestavené jednotky pohybuje od 66,- Kč v závislosti na poptávce.

V rámci této diplomové práce jsem dokázal, že lze zefektivnit těžbu kryptoměn pomocí využívání odpadního tepla na vytápění rodinného domu. S ohledem na dlouhodobé měření otopné soustavy, lze konstatovat, že tento způsob vytápění nemá z ekonomického hlediska konkurenci mezi konvenčními způsoby vytápění rodinných domů. V budoucnu je velmi důležité, aby se věda dále zabývala zpracováním nízkopotencionální energie, neboť právě tento obor není rozvinutý v domácím prostředí.

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: roční spotřeba elektrické energie vybraných států v porovnání s kryptoměnou Bitcoin + Ethereum dle [1] .....	12
Obrázek č. 2: blokové schéma zapojení těžebního zařízení .....	14
Obrázek č. 3: denní zisky z prodeje kryptoměn po odečtení ceny potřebné el. energie .....	15
Obrázek č. 4: Termoeltrický generátor TG12-25 ve výměňikovém provedení EHA-L50L50-R01-L1 dle [4] .....	21
Obrázek č. 5: termoelektrická charakteristika TG12-25 ve výměňikovém provedení EHA-L50L50-R01-L1 dle [4] .....	21
Obrázek č. 6: schéma zapojení soustavy pro odvod tepelné energie s použitím THG-200W .	24
Obrázek č. 7: schéma zapojení elektrické části .....	25
Obrázek č. 8: Rozebraný termohladinový generátor TEG-200W, pohled směrem na chladnou stranu .....	26
Obrázek č. 9: Principiální popis ORC jednotky .....	28
Obrázek č. 10: Rijkeova trubice – půlvlnný rezonátor dle [11] .....	30
Obrázek č. 11: Ilustrace vztahu mezi tlakem (-) a fází této vlny (-), modré přechodové pozadí představuje skutečné uspořádání molekul ve čtvrtvlnném vlnovodu ( $L = \lambda/4$ ) close – open rezonátor. Obrázek převzat ze zdroje [25] .....	31
Obrázek č. 12: principiální schéma zapojení absorpční jednotky, zdroj: katalogový list společnosti LBG Moravia a.s. ....	32
Obrázek č. 13: teoretické zapojení absorpční jednotky, která zpracovává odpadní teplo z výpočetní jednotky pro těžbu kryptoměn, inspirováno zdrojem [24] .....	33
Obrázek č. 14: otopná soustava objektu .....	36
Obrázek č. 15: reálné provedení otopné soustavy (montáž akumulární nádoby, demontáž elektrického bojleru) .....	36
Obrázek č. 16: průběh teploty v akumulární nádobě při prvním spuštění těžebního stroje ....	37
Obrázek č. 17: Graf popisující spotřebu tepla objektu bez využití odpadního tepla .....	38
Obrázek č. 18: Graf popisující reálnou spotřebu odpadního tepla v jednotlivých měsících a spotřebu elektrické topné spirály na nutný dohřev v zimních měsících .....	38
Obrázek č. 19: Koncept trigenerace pomocí těžební farmy .....	44

## Seznam použitých tabulek

Tabulka č. 1: spotřeba elektrické energie kryptoměny Bitcoin a Ethereum ke dni 23. 2. 2019 dle [1] .....	13
Tabulka č. 2: soupis potřebných komponent k sestavení těžebního počítače .....	14
<i>Tabulka č. 3: shrnutí výsledků z těžby kryptoměn za rok 2018</i> .....	16
Tabulka č. 4: Teplotní rozdělení zdrojů odpadního tepla dle [19] .....	18
Tabulka č. 5: Parametry termoelektrického generátoru EvergGen Energy Harvester dle [4] .	22
Tabulka č. 6: informace o produktu dle [5].....	23
Tabulka č. 7: Změřené a vypočtené hodnoty .....	26
Tabulka č. 8: průzkum trhu výrobců ORC jednotek vhodné pro zpracování odpadního tepla (zdroj: vlastní zpracování na základě kontaktování společnosti).....	29
Tabulka č. 9: průzkum trhu absorpčních jednotek vhodné ke zpracování odpadního tepla ....	34
Tabulka č. 10: porovnání tepelně energetické bilance vytápěné budovy.....	39
Tabulka č. 11: Možné scénáře při vytápění objektu těžební jednotkou .....	42
Tabulka č. 12: Porovnání ročních nákladů na vytápění dle [22].....	43

## Citovaná literatura

- [1] „Digiconomist,“ 17. 5. 2017. [Online]. Available: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>. [Přístup získán 23. 2. 2019].
- [2] V. Stupavský, „tzb info,“ [Online]. Available: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/16-prehled-cen-uhli-a-koksu>. [Přístup získán 24. 2. 2019].
- [3] I. M. Brázdil, „TZB-info,“ 12. 8. 2013 [Online]. Available: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickych-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>. [Přístup získán 10. 4. 2019].
- [4] M. I. Inc., „<https://www.marlow.com>,“ 1. 1. 2015 [Online]. Available: [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/547732/Data\\_Sheets/TG12-2.5.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/547732/Data_Sheets/TG12-2.5.pdf) ; [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/547732/Data\\_Sheets/EHA-LXXLXX-R01-L1.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/547732/Data_Sheets/EHA-LXXLXX-R01-L1.pdf). [Přístup získán 5. 4. 2019].
- [5] Jan Pliska, „Hydrogen Energy s.r.o.,“ 4. 1. 2011 [Online]. Available: [http://eshop.hydrogenenergy.cz/tepelne-hladinove-generatory/p\\_tepelne-hladinovy-generator-s-vodnim-chlazenim-prodej-pozastaven](http://eshop.hydrogenenergy.cz/tepelne-hladinove-generatory/p_tepelne-hladinovy-generator-s-vodnim-chlazenim-prodej-pozastaven). [Přístup získán 15. 2. 2019].
- [6] M. s. ČR, „Veřejný rejstřík a sbírka listin,“ 10. 1. 2011 [Online]. Available: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=275867&typ=UPLNY>. [Přístup získán 13. 5. 2019].
- [7] „GM electronic, spol. s.r.o.,“ [Online]. Available: <https://www.gme.cz/peltieruv-clanek-tec1-12710-vigan>. [Přístup získán 23. 4. 2019].
- [8] E. Slovensko, „engul.sk,“ Engul s.r.o., [Online]. Available: <https://www.engul.sk/produkty/organicky-rankinov-cyklus/>. [Přístup získán 19. 4. 2019].
- [9] P. D. A. P. Weiß, „DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO.,“ 1. 2. 2019 [Online]. Available: <https://www.deprag.com/cs/spolecnost/tiskove-zpravy/presse201902a/#>. [Přístup získán 30. 3. 2019].
- [10] P. Ing. Jakub Maščuch, „ASB - portál,“ 3. 11. 2016 [Online]. Available: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/energie/mikroelektrarna-wave-automaticky-kotel-s-vyrobu-elektriny>. [Přístup získán 2. 4. 2019].
- [11] „Wikipedia the free encyclopedia,“ 11. 9. 2018 [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rijke\\_tube](https://en.wikipedia.org/wiki/Rijke_tube). [Přístup získán 29. 3. 2019].
- [12] A. C. F. Z. O. A. P. a. L. S. Trapp, „Thermoacoustic heat engine modeling and design optimization,“ *Applied Thermal Engineering*, sv. 31, č. 14, pp. 2518-2528, 2011.
- [13] W. Gruener, „TG Daily is part of the TG Publishing network,“ 4. 6. 2007. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20070918072512/https://www.tgdaily.com/content/view/32323/118/>. [Přístup získán 3. 3. 2029].



- [14] „The Engineer,“ 17. 9. 2004 [Online]. Available: <https://www.theengineer.co.uk/making-waves-in-space/>. [Přístup získán 25. 4. 2019].
- [15] G. Foley, „The Future of Absorption Technology in America a Critical Look at the Impact of BCHP and Innovation,“ *Advanced Building Systems –2000 Conference*, pp. 1 - 12, Updated June 16, 2000.
- [16] Ing. Petr Kotek, „kataloguspor.cz,“ 21. 8. 2018 [Online]. Available: <http://www.kataloguspor.cz/Absorpcni-adsorpcni-chlazení.html>. [Přístup získán 4. 20. 2019].
- [17] I. K. Kázmérová, „tzb-info.cz,“ 8. 8. 2011 [Online]. Available: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7712-sorpcni-chladici-zarizení>. [Přístup získán 21. 4. 2019].
- [18] Družstevní závody Dražice - Strijárna s.r.o., [Online]. Available: <http://www.dzd.cz/akumulacni-nadrze>. [Přístup získán 26. 2. 2019].
- [19] „Readakce Kritiky,“ 9. 5. 2009 [Online]. Available: <https://www.kritiky.cz/clanky/2009/zajimavosti-k-filmu-g-force/>. [Přístup získán 3. 3. 2019].
- [20] „FOX RenderFarm, ceník společnosti,“ [Online]. Available: <https://www.foxrenderfarm.com/pricing.html>. [Přístup získán 3. 3. 2019].
- [21] „NVIDIA Corporation,“ [Online]. Available: <https://www.geforce.com/whats-new/tag/geforce-now>. [Přístup získán 3. 3. 2019].
- [22] „GAS komplet,“ [Online]. Available: <http://www.mojecerpadlo.cz/kalkulator.asp>. [Přístup získán 1. 5. 2019].
- [23] I. Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry Prepared by BCS, „United States Government,“ 2008. [Online]. Available: [https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste\\_heat\\_recovery.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf). [Přístup získán 1. 4. 2019].
- [24] M. Ing. Bejček, M. Ing. Urban, Ph.D., a M. Ing. arch. Ing. Kny, „TZB-info.cz,“ 25. 5. 2015 [Online]. Available: <https://vetrani.tzb-info.cz/12758-pripadova-studie-systemu-absorpcniho-solarniho-chlazení>. [Přístup získán 20. 4. 2019].
- [25] V. T. V. M. L. J. NOVOTNÝ Petr, „Standing-wave thermoacoustic engines,“ *EPJ Web of Conferences* 25, sv. 01061, pp. 1-10, 2012.