ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA
STROJNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

VÁCLAV
DĚDIČ

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dědič** Jméno: **Václav** Osobní číslo: **406250**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**

Studijní program: **Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Provoz tepleného čerpadla země-voda

Název diplomové práce anglicky:

Operation of Earth-to-Water Heat Pump

Pokyny pro vypracování:

V práci se zabývejte provozem tepelného čerpadla -zdroje chladu zadané budovy, Zpracujte data vyhodnoťte topné a chladicí faktory. Zabývejte se změnami teplot polomasivu dle naměřených hodnot.

Seznam doporučené literatury:

Chyský, J.; Hemzal, K. a kol. Větrání a klimatizace. Technický průvodce. BOLIT ? B press, Brno 1993. ISBN 80-901574-0-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Miloš Lain, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

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

Datum zadání diplomové práce: **24.04.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **24.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Miloš Lain, Ph.D.	doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	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.

24.4.2019 _____

Datum převzetí zadání Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Souhrn:

Tato práce se zabývá provozem tepelného čerpadla země-voda umístěného v areálu Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Toto čerpadlo slouží jako zdroj tepla i chladu. Data získaná měřením firmou TRONIC CONTROL, s.r.o. na tomto zařízení byla převedena z SQL databáze do tabulkového editoru a vyhodnocena. Analyzovaná období se liší dle hodnoceného parametru a vždy jsou uvedena v příslušné kapitole. Hodnocení se soustředí na problematiku teplot v jednotlivých vrtech, jejich hloubkách, na dlouhodobé chování zemského masivu, topné a chladicí výkony, spotřebu elektrické energie, použití jednotlivých provozních režimů, COP, EER a další parametry hodnotící provoz čerpadla.

Summary:

This diploma thesis describes operation of earth-to water heat pump placed in the area of Charles University, Faculty of Matematics and Physics. This heat pump is used as a source of heat and cold. Information obtained by TRONIC CONTROL, s.r.o. were transformed from SQL database to spreadsheet editor and analysed. The analysed periods differ according to the evaluated parametr and are always listed in the respektive chapter. The assessment focuses on temperatures in individual boreholes, their depths, long-term behavior of the Earth's massif, heating and cooling performance, power consumption, use of individual operating modes, COP, EER and other parmeters evaluating pump operation.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Provoz tepelného čerpadla země-voda“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miloše Laina, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 24. 6. 2019 Václav Dědič

Obsah:

1 ÚVOD 4
3 ČÁST TEORETICKÁ 5
3.1 Tepelné čerpadlo 5
3.2 Parní oběh 5
3.3 Princip fungování TČ 10
3.4 Rozdělení tepelných čerpadel 11
3.5 Země jako nízkopotencionální zdroj tepla 13
3.6 Provedení 14
3.7 Klimatizační zařízení 15
3.8 Třídění klimatizací 17
3.9 Klimatizační systémy 18
3.10 Prvky klimatizačního systému 19
3.11 Otopná soustava 28
4 Popis MFF 32
4.1 Budovy 32
4.2 Vrty 32
4.3 Tepelná čerpadla 34
4.4 Další části systému 35
4.5 Měření a řízení 35
4.6 Provozní režimy 36
4.7 Popis provedené simulace vrtného pole 37
5 Praktická část 39
5.1 Získání a zpracování dat 39
5.2 Analýza provozních režimů 40
5.3 Analýza teplot 45
5.4 Analýza teplot masivu 55
5.5 Analýza výkonů 58
5.6 Spotřeba elektrické energie 66
5.7 Hodnocení topného a chladicího faktoru 69
6 Závěr 77
7 Seznam literatury a použitých pramenů 78
8 Seznam obrázků 81
9 Seznam tabulek 83
10 Seznam příloh 84
11 Přílohy 85

Soupis používaného značení:

VELKÁ PÍSMENA

OZNAČENÍ VELIČINY	NÁZEV VELIČINY	JEDNOTKA VELIČINY
C_p	koncentrace příměsí před filtrem	$mg \cdot m^{-3}$, $\mu g \cdot m^{-3}$ nebo $1 \cdot m^{-3}$
C_v	koncentrace příměsí za filtrem	$mg \cdot m^{-3}$, $\mu g \cdot m^{-3}$ nebo $1 \cdot m^{-3}$
COP	topný faktor	-
COP-Carnotův	Carnotův topný faktor	-
COP-kombinovaný	kombinovaný topný faktor	-
EER	chladicí faktor	-
I	intenzita větrání	h^{-1}
$\mathrm{I_p}$	intenzita výměny vzduchu	h^{-1}
O	objem větraného prostoru	m^3
O_c	celková odlučivost	%
P_{ie}	příkon izoentropického kondenzátoru	W
$\dot{Q}_k$	výkon kondenzační	W
$\dot{Q}_o$	výkon chladicí	W
R	tepelný odpor	$\mathrm{m^2 \cdot K \cdot} W^{-1}$
S_n	plocha n	m^2
Tu	intenzita turbolence	-
V_e	objemový průtok čerstvého vzduchu	$m^3 \cdot h^{-1}$
V_p	objemový průtok přiváděného vzduchu	$m^3 \cdot h^{-1}$

MALÁ PÍSMENA

OZNAČENÍ VELIČINY	NÁZEV VELIČINY	JEDNOTKA VELIČINY
a_{ie}	měrná izoentropická kompresní práce	$kJ \cdot kg^{-1}$
h_n	enthalpie v bodě n dle grafu	$kJ \cdot kg^{-1}$
$\dot{m}$	množství obíhajícího chladiva	$kg \cdot s^{-1}$
p_k	tlak kondenzační	Pa
p_o	tlak vypařovací	Pa
$\dot{q}_k$	hmotnostní topivost	$kJ \cdot kg^{-1}$
$\dot{q}_o$	hmotnostní chladivost	$kJ \cdot kg^{-1}$
t	teplota vzduchu	°C
t_k	teplota kondenzační	°C
t_n	teplota plochy n	°C
t_o	teplota vypařovací	°C
t_r	střední radiační teplota	°C
$\overline{u}$	střední hodnota rychlosti	$m \cdot s^{-1}$
$\overline{u'_n}$	střední hodnota fluktuace rychlosti ve směru n	$m \cdot s^{-1}$
w	rychlost proudění vzduchu	$m \cdot s^{-1}$

ŘECKÁ PÍSMENA

OZNAČENÍ VELIČINY	NÁZEV VELIČINY	JEDNOTKA VELIČINY
λ	tepelná vodivost	$\mathrm{W} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
ρ_v	hmotnostní koncentrace vodních par ve vzduchu	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_{vs}	hmotnostní koncentrace sytých vodních par	$kg \cdot m^{-3}$
φ	relativní vlhkost vzduchu	-

1 ÚVOD

Cílem této práce je vyhodnocení funkce tepelného čerpadla země-voda, umístěného v budově Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze na Karlově. Toto zařízení je zde používáno jako zdroj tepla i chladu, areál však disponuje ještě plynovou kotelnou, která je používána v zimním období, a tak čerpadlo bývá používáno k vytápění převážně v přechodových obdobích. Zařízení je využíváno jako zdroj chladu nejen z důvodu chlazení budovy, ale též pro chlazení laboratorních přístrojů. Měření dat probíhá přímo v suterénu této budovy, jejich správu však zabezpečuje společnost TRONIC CONTROL s.r.o., která data pro tuto práci poskytla. Vzhledem k opakovanému napadení hackery však tato data nejsou kontinuální a některá období se dokonce nedochovala vůbec. Zpracováním těchto dat a jejich vyhodnocením se zabývá praktická část této práce. Teoretická část má za úkol seznámit čtenáře se základními principy fungování tepelných čerpadel, s jejich rozdělením a specifiky. Výstupem této práce je hodnocení teplot v jednotlivých vrtech a jejich hloubkách, hodnocení dlouhodobého chování zemského masivu, topného a chladicího výkonu, spotřeby elektrické energie, použití jednotlivých provozních režimů, hodnocení COP, EER a dalších parametrů hodnotících provoz čerpadla.

3 ČÁST TEORETICKÁ

3.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) je zařízení sloužící k přenosu tepla z látky chladnější na látku teplejší. Tento princip se zdá být fyzikálně nemožný, není totiž reálné, aby k takovémuto procesu docházelo samovolně. Podle druhého zákona termodynamiky totiž přechází teplo samovolně pouze z prostředí teplejšího na prostředí chladnější. Abychom dosáhli opačného jevu, musíme zařízení dodávat takzvanou energii pohonnou. Tou myslíme jinou energii, zejména elektrickou (pro parní oběh), tepelnou (pro proudový a sorpční oběh), nebo mechanickou. Samotným principem fungování TČ je pak samotný oběh. Výhodou tepelného čerpadla je vlastnost, že dokáže využívat takzvaného nízkopotenciálního tepla, které získává z okolí [L1], [L2]. O samotném rozdělení TČ pojednává kapitola 3.4.

3.2 Parní oběh

Parním oběhem nazýváme takový cyklus, jehož chladicího účinku je dosahováno vypařováním chladiva ve výparníku, přičemž pro odsávání par a jejich kompresi je použito objemového nebo lopatkového kompresoru. Ochlazovaná látka je přivedena do výparníku, kde je jí odnímáno teplo vypařujícím se chladivem. Páry, které tímto procesem vzniknou, jsou odsávány kompresorem a stlačovány na kondenzační tlak, následně potom zkapalněny v kondenzátoru. Vzhledem k tomuto principu fungování zavádíme dvě důležité hodnoty tlaku a dvě hodnoty teploty. Jedná se o:

p_k – tlak kondenzační [Pa]

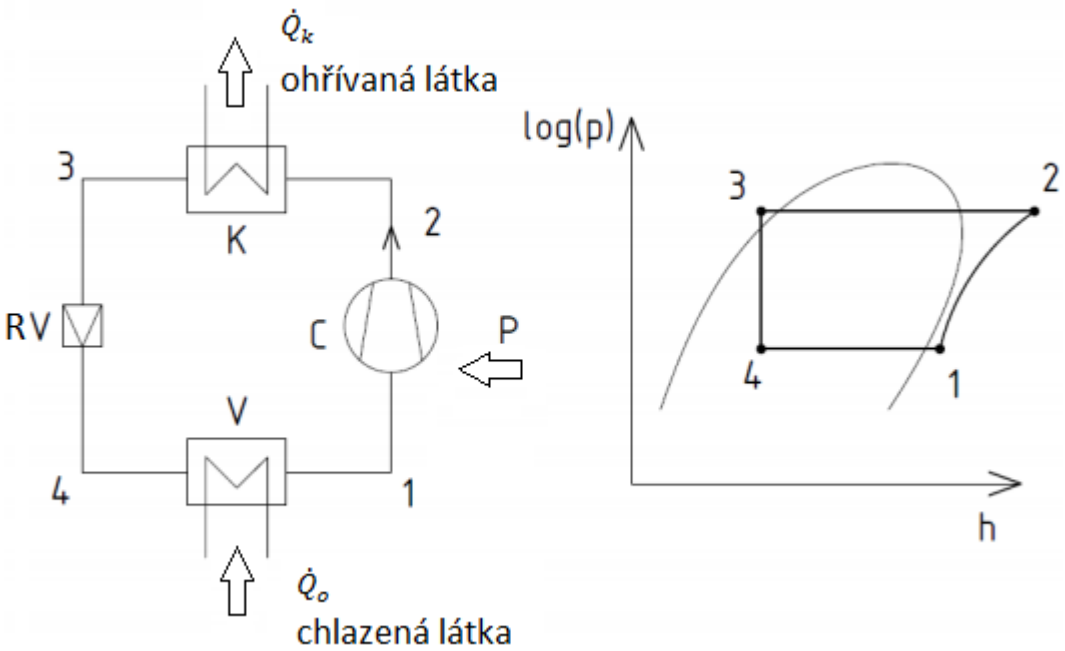
p_o – tlak vypařovací [Pa]

t_k – teplota kondenzační [°C]

t_o – teplota vypařovací [°C]

Pro samovolný přenos tepla skrz teplonosnou plochu je důležité, aby teplota varu chladiva byla nižší než nejnižší teplota chlazené látky a teplota kondenzační vyšší než nejvyšší teplota ohřívané látky. Teplotní rozdíl ve výměnících je různý pro kapaliny a plyny – pro kapaliny bývá 3 až 5 K, pro plyny pak 5 až 10 K [L1].

Pro snadnější výpočty oběhu používáme předpoklad tzv. Rankinova oběhu – tedy idealizovaného oběhu parního. Liší se od něho zanedbáním tepelné a hydraulické ztráty vznikající v aparátech i potrubí. Dále zanedbává zařazení pomocných aparátů a výměnu tepla s okolím během komprese a škrcení [L1].



Obr. 3-1 Schéma jednostupňového parního oběhu [O1]

Kondenzační výkon

Jedná se o součet vložených energií, tedy o součet tepelného výkonu přiváděného do výparníku a izoentropického příkonu kompresoru.

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_o + P_{ie} \qquad [1]$$

Legenda:

	$\dot{Q}_k$	kondenzační výkon [W]
	$\dot{Q}_o$	chladicí výkon [W]
	P_{ie}	příkon izoentropický kompresoru [W]

Zároveň platí, že:

$$\dot{Q}_k = \dot{q}_k \cdot \dot{m} \qquad [2]$$

Legenda:
- $\dot{Q}_k$ kondenzační výkon [W]
- $\dot{q}_k$ hmotnostní topivost $[kJ \cdot kg^{-1}]$
- $\dot{m}$ množství obíhajícího chladiva $[kg \cdot s^{-1}]$

Hmotnostní topivost

Jedná se o množství tepla předané látce v kondenzátoru hmotnostní jednotkou chladiva.

$$\dot{q}_k = h_2 - h_3 \qquad [3]$$

Legenda:
- $\dot{q}_k$ hmotnostní topivost $[kJ \cdot kg^{-1}]$
- h_2 enthalpie v bodě 2 dle grafu $[kJ \cdot kg^{-1}]$
- h_3 enthalpie v bodě 3 dle grafu $[kJ \cdot kg^{-1}]$

Topný faktor

Topný faktor je veličina udávající poměr mezi energií získanou a dodanou (pohonnou). Matematické vyjádření pak vypadá následovně:

$$\mathrm{COP} = \frac{\dot{Q}_k}{P_{ie}} \qquad [4]$$

Legenda:
- COP topný faktor [-]
- $\dot{Q}_k$ kondenzační výkon [W]
- P_{ie} příkon izoentropický [W]

Chladicí výkon

Jedná se o množství tepla za jednotku času odebrané zdroji tepla.

$$\dot{Q}_o = \dot{Q}_k - P_{ie} \quad [5]$$

Legenda:
- $\dot{Q}_o$ chladicí výkon [W]
- $\dot{Q}_k$ kondenzační výkon [W]
- P_{ie} příkon izoentropický kompresoru [W]

Zároveň platí, že:

$$\dot{Q}_o = \dot{q}_o \cdot \dot{m} \quad [6]$$

Legenda:
- $\dot{Q}_o$ chladicí výkon [W]
- $\dot{q}_o$ hmotnostní chladivost $[kJ \cdot kg^{-1}]$
- $\dot{m}$ množství obíhajícího chladiva $[kg \cdot s^{-1}]$

Hmotnostní chladivost

Jedná se o množství tepla odvedené chlazené látce ve výparníku hmotnostní jednotkou chladiva.

$$\dot{q}_o = h_1 - h_4 \quad [7]$$

Legenda:
- $\dot{q}_o$ hmotnostní chladivost $[kJ \cdot kg^{-1}]$
- h_1 enthalpie v bodě 1 dle grafu $[kJ \cdot kg^{-1}]$
- h_4 enthalpie v bodě 4 dle grafu $[kJ \cdot kg^{-1}]$

Chladicí faktor

Chladicí faktor vyjadřuje poměr mezi množstvím tepla odebraným z vnitřního prostředí a energií pohonnou

$$\mathrm{EER} = \frac{\dot{Q}_o}{P_{ie}} \qquad [8]$$

Legenda:

EER	chladicí faktor [-]
$\dot{Q}_o$	chladicí výkon [W]
P_{ie}	příkon izoentropický [W]

Příkon elektrický a izoentropický

Elektrický příkon je množství energie nezbytně nutné k uskutečnění procesu přečerpávání tepelné energie. My používáme pro zjednodušení příkon, ve kterém počítáme s izoentropickým průběhem.

$$P_{ie} = a_{ie} \cdot \dot{m} \qquad [9]$$

Legenda:

P_{ie}	příkon izoentropický [W]
a_{ie}	měrná izoentropická kompresní práce $[kJ \cdot kg^{-1}]$
$\dot{m}$	množství obíhajícího chladiva $[kg \cdot s^{-1}]$

Měrná izoentropická práce

Jedná se o rozdíl měrných enthalpií mezi body 3 a 2

$$a_{ie} = h_3 - h_2 \qquad [10]$$

Legenda:

a_{ie}	měrná izoentropická práce $[kJ \cdot kg^{-1}]$
h_3	enthalpie v bodě 3 dle grafu $[kJ \cdot kg^{-1}]$
h_2	enthalpie v bodě 2 dle grafu $[kJ \cdot kg^{-1}]$

3.3 Princip fungování TČ

Jak už bylo uvedeno výše, TČ funguje na principu oběhu. Pokud se zaměříme na majoritní část zařízení, bude se jednat o oběh parní. Samotný průběh ukazuje obr. 3-1, ze kterého je zřejmé, že oběh vyžaduje čtyři hlavní prvky – dva výměníky, škrticí element a kompresor. Kompresor má za úkol stlačovat páry chladiva. To dále pokračuje do výměníku, kde kondenzuje (výměník - kondenzátor). Samotný kondenzátor tak dává systému topný efekt. Odtud pokračuje chladivo přes škrticí element do výměníku, kde dochází k vypařování (výměník - výparník). Právě zde získáváme chladicí efekt systému. Pro parní oběh používáme dva druhy chladiv – azeotropní a zeotropní. U první ze jmenovaných skupin se během změny skupenství složení par a kapaliny nemění, u druhé jmenované ano. V případě použití TČ pro účel vytápění je velmi časté zařazení akumulační nádoby. Ta slouží k akumulaci tepla, jelikož provoz TČ jde často velmi těžko predikovat. Zároveň se tímto zvyšuje životnost kompresoru zařízení, jelikož požadavek na četnost zapnutí a vypnutí značně klesá. Jak již bylo uvedeno výše, často se tento proces přirovnává ke zjednodušenému tzv. Rankinovu oběhu. Toto přirovnání však někdy bývá vnímáno jako ne zcela korektní. [L2]

3.4 Rozdělení tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla můžeme rozdělit podle prostředí na primární a na sekundární straně. Setkáváme se tak se značením např.: VZDUCH – VODA nebo VODA – VODA. Následující odstavce pojednávají o rozdělení zdrojů tepla pro tepelné čerpadlo [L1], [L2].

a) <u>Venkovní vzduch</u>

Vzduch vyskytující se ve venkovním prostředí pro nás znamená téměř nevyčerpatelné množství tepla. Je však nutné, abychom výměníku dodávali skutečně velké množství vzduchu, jelikož jeho měrná tepelná kapacita je nízká. Stejně tak je malá i hustota vzduchu a součinitel přestupu tepla mezi vzduchem a výparníkem. Ze stejných důvodů je třeba zohlednit i příkon ventilátoru. Teplota vzduchu se v průběhu dne i ročních období mění, tedy i funkce TČ je proměnlivá. Už v návrhu takovéhoto čerpadla je třeba počítat i s přítomností vlhkosti ve vzduchu. Ta může dělat potíže při nízkých teplotách, kdy vzniká námraza na povrchu výparníku. Je tedy třeba námrazu odtávat obráceným procesem čerpadla. Tím se jeho uživatelská přínosnost snižuje spolu s topným faktorem. U současných TČ není zhoršení funkce takové, že by zcela bránilo jeho použití, umí pracovat i při teplotách -20 až -25°C. Velkými výhodami těchto čerpadel jsou ekologičnost provozu a také cenová dostupnost [L1], [L2], [L3].

b) <u>Půda</u>

Využití potenciálu Země můžeme v podstatě rozdělit do dvou skupin. Tou první je využití plošných kolektorů, k jejichž uložení potřebujeme rozsáhlejší územní celek. Samotná konstrukce spočívá v uložení polyethylenových trubek nebo svazků trubek do hloubky 1-2 metrů pod zemský povrch. Druhou skupinou jsou potom takzvané zemské vrty, které mohou být hluboké až 150 m. Ty jsou výhodnější z hlediska stability dodávaného tepla během roku, jejich vybudování je však velmi finančně náročné. Společná pro obě skupiny je nutnost využití tepla „nepřímo“, tedy teplo čerpadlo získá ve vhodném výměníku (kolektoru) a převádí se cirkulačním okruhem do výparníku pomocí teplonosné látky. Tato cirkulace je zajištěna oběhovým čerpadlem, které však samo pro svoji činnost potřebuje energii. Velmi často je právě u těchto TČ skloňována výhoda, že odebírají teplo z dostatečné hloubky země, kde je teplota podstatně vyšší než teplota venkovního vzduchu v zimním období. Nejedná se však o objektivní hodnocení, neboť teplo ze země se odvádí odlišným způsobem než ze vzduchu. Vždy dochází

k vychlazování zemského masivu v okolí místa odběru, teplota v bezprostředním okolí kolektoru se tak výrazně liší od teploty okolního masivu. Pokud jde o střední teplotu v průběhu otopného období, je u vzduchu dokonce vyšší než v případě odběru tepla ze země [L1], [L2], [L3].

c) Povrchová voda

Tento způsob využití tepla spočívá v uložení kolektorů na dno vodního toku nebo nádrže. Dalším častým řešením je pak čerpání samotné vody ze zdroje k výparníku. Zde je velmi důležitá čistota čerpané vody, hrozí totiž zanesení systému. Velký vliv na samotný provoz mají také výchylky teploty vody během roční doby. Dalším problémem může být i nedostatečný průtok. Pokud je toto čerpadlo určeno k použití i při nízkých teplotách, je třeba převést teplo nemrznoucí teplonosnou látkou, a to s dalším výměníkem. Energetická efektivita tak výrazně klesá. Další možností je pak čerpadlo se speciálním výparníkem odolným vůči poškození vlivem námrazy [L1], [L2], [L3].

d) Podzemní voda

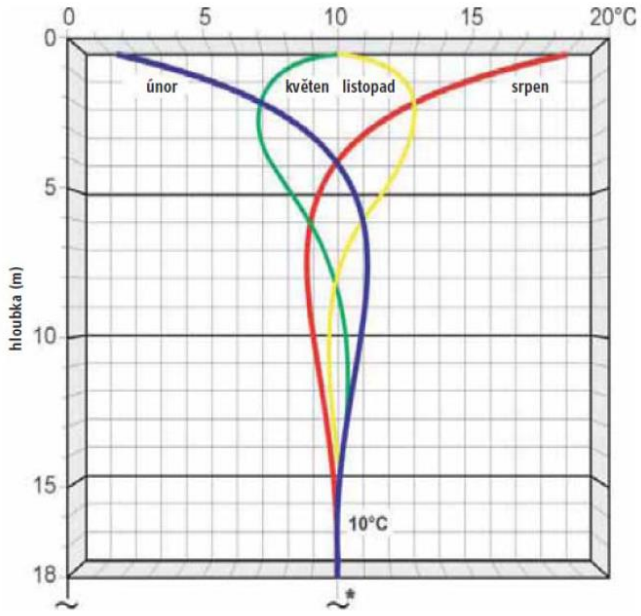
Konstrukce systému spočívá ve vybudování dvou studen v dostatečné vzdálenosti od sebe. Ze zdrojové studny je voda čerpána k výparníku, po jejím ochlazení pak putuje do druhé – vsakovací studny. Ta by měla být umístěna dostatečně daleko od studny zdrojové a zároveň je důležité zhodnotit proudění podzemních vod tak, aby chladnější voda ze vsakovací studny neochlazovala zdrojovou vodu. Vzhledem k využití neupravené vody je ještě před vybudováním důležitý její rozbor a schválení, hrozí totiž dlouhodobé zanášení celého systému. Velkou výhodou je pak velká stálost teploty během roční doby, ta se mění v řádu 1-2 K. Jelikož podzemní voda má ze všech zdrojů nízkopotenciálního tepla nejvyšší teplotu, je energetický efekt těchto čerpadel nejlepší. Dostupnost tohoto zdroje však nebývá příliš častá [L1], [L2], [L3].

e) Sluneční záření

Využití tohoto systému je možné například v podobě kolektorů k přímému ohřevu látek (vody nebo vzduchu). Je také na místě úvaha, že právě slunce je značným zdrojem energie k ohřevu výše uvedených látek sloužících k využití tepla [L1], [L2], [L3].

3.5 Země jako nízkopotencionální zdroj tepla

Využití potenciálu země se zdá být velmi výhodné kvůli stálosti vstupních parametrů, země si z dlouhodobého hlediska poměrně udržuje svoje vlastnosti. Co však nelze opomíjet je vychlazování, respektive vyhřívání zeminy přilehlé ke kolektoru. Další ovlivnění pak spočívá v klimatických změnách, které se odrážejí na teplotě podpovrchové vrstvy. Příčinou, proč je možno zemský masiv využít jakožto zdroj tepla, je z většiny sálání slunce. Tomuto principu přisuzujeme 10 až 40 $W \cdot m^{-2}$, výrazně méně tepelného toku (0,04 až 0,06 $W \cdot m^{-2}$) pak masiv získává vedením směrem od zemského jádra. Významným prvkem je nárůst teploty s hloubkou, který označujeme jako geotermální teplotní gradient. Má hodnotu 3 K na 100 metrů hloubky. Jak se teplota liší v souvislosti s ročním obdobím je možno vidět na obr. 3-2. Pro techniku prostředí je též zajímavou informací, že ani v nejchladnějších místech naší republiky neklesá teplota zeminy v hloubce 1 m pod bod mrazu. (Tento fakt je využíván například při ukládání vodovodního potrubí do zeminy.) Neméně důležitou hodnotou při zkoumání využitelnosti kolektoru je tepelná vodivost zeminy, které se pohybuje mezi 1,1 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pro suchou písčitou půdu a 3,3 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ pro mokrou žulu [L1], [L3], [L5].



Obr. 3-2 Znázornění typického průběhu teplot zeminy vhledem k hloubce a ročnímu období [O2]

3.6 Provedení

Jak již bylo řečeno v předešlých kapitolách, máme na výběr dvě možnosti konstrukce TČ získávajících teplo ze zemského masivu. První variantou je využití zemních kolektorů, které jsou ukládány horizontálně do hloubky 0,5 až 3 metrů pod zemský povrch v závislosti na druhu půdy. Kolektory jsou vyrobeny převážně z polyetylenu, v zahraničí je možno vidět i potrubí z korozivzdorné oceli. Průměr trubky se převážně pohybuje mezi 20 a 25 mm, jejich vzájemná rozteč potom je 0,5 až 1,8 m. Maximální délka trubky ve svazku je 100 m. Tímto potrubím protéká teplonosná látka odnímající teplo zemině, která toto teplo předává chladivu ve výparníku TČ. Jednotkové odnímané teplo se pohybuje mezi hodnotami 6 až 40 $W \cdot m^{-2}$. Vybudování takovéhoto systému je značně finančně náročné, zároveň pak vyžaduje i značnou plochu pozemku. Na místě je také otázka, zda toto čerpadlo zvládne monovalentní provoz, tedy bude-li schopno zabezpečit potřebu tepla na celý rok bez pomocného zdroje tepla. V neprospěch tohoto řešení mluví fakt, že v nejchladnějším období roku je možno zemině odejmout nejmenší množství tepla.

Druhou variantou jsou vertikální vrty, které jsou realizovány do hloubky 100 až 150 m. K tomuto systému je však nutno uvést, že vzhledem k hloubce se jedná o vodní dílo, projekce tak náleží pouze osobám s autorizací pro obor vodohospodářských staveb. Podloží je tvořeno řadou zvodnatělých vrstev, následkem neodborné projekce by mohla být realizace stavby, která by znamenala zásah do těchto vrstev a následně znehodnocení spodní vody, která je často čerpána pro vodárenské účely. Proto se v praxi používá takzvané pažení vrtů, kterým se myslí oddělení jednotlivých zvodnatělých vrstev od sebe. Průměr vrtu se pohybuje mezi 120 a 160 mm, přičemž by měla být zachována taková vzdálenost mezi jednotlivými vrty, aby nedocházelo k propojování ovlivněných oblastí, jejichž vzdálenost se pohybuje mezi 2 a 5 m. Konstrukce spočívá v uložení U-smyčky tvořené potrubím nebo hadicemi o průměru DN25 nebo DN32 do vrtu. Materiálem tohoto potrubí je HD-PE nebo PE-RC. Sonda je následně vyplněna tekutou cementovou směsí [L1], [L2], [L3].

3.7 Klimatizační zařízení

Klimatizací rozumíme takové zařízení, které upravuje teplotu, vlhkost a čistotu vzduchu [L5]. Proto je třeba hned na začátku definovat pojmy:

Teplota vzduchu – t [°C]

Teplota vnitřního vzduchu, kterou chceme regulovat, se pohybuje v rozmezí 20 až 26°C. S nižší z hodnot se můžeme setkat v zimě, s vyšší potom v létě, přičemž je pro nás důležité dbát na hygienická doporučení, která nám pro léto ukládají maximální rozdíl mezi venkovní teplotou a vnitřní teplotou vzduchu 6 K [L5], [L6].

Střední radiační teplota - t_r [°C]

Střední radiační teplotou myslíme rovnoměrnou společnou teplotu všech ploch v prostoru takovou, při níž by byl přenos tepla sáláním z těla v daném bodě prostoru stejný, jako ve skutečnosti [L5], [L6]. K výpočtu je možno využít zjednodušený vztah:

$$t_r = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + \cdots + t_n S_n}{S_1 + S_2 + \cdots + S_n} \qquad [11]$$

Legenda: t_n – teplota plochy n [°C]
S_n – plocha n [m^2]

Relativní vlhkost vzduchu – φ [-]

Relativní vlhkost je parametr udávající míru nasycení vzduchu vodními parami. Definice je dána poměrem hmotnostní koncentrace vodních par ve vzduchu ρ_v a hmotnostní koncentrace sytých vodních par ρ_{vs}. Vztah můžeme tedy vyjádřit jako:

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{vs}} \qquad [12]$$

Legenda: ρ_v - hmotnostní koncentrace vodních par ve vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]
ρ_{vs} - hmotnostní koncentrace sytých vodních par [$kg \cdot m^{-3}$]

Vzduch nasycený vodními parami bude mít relativní vlhkost φ = 1, hodnota pro nenasycený vzduch pak bude menší než 1. V klimatizacích se pohybujeme v rozmezí 0,3 až 0,7 [L5].

Rychlost proudění vzduchu – w [$m \cdot s^{-1}$]

Rychlost proudění vzduchu je pro nás důležitý hygienický prvek. V pásmu pobytu by se tato veličina měla pohybovat v rozmezí 0,1 až 0,2 $m \cdot s^{-1}$. Toho se snažíme docílit použitím správné výústky ve správné vzdálenosti od pásma pobytu [L5].

Intenzita turbolence Tu [-]

Intenzita turbolence vyjadřuje poměr velikosti fluktuací rychlosti a její střední hodnoty. Budeme-li uvažovat turbolenci ve 3D prostoru, její intenzitu pak vyjádříme jako:

$$Tu = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}\left(\overline{u'^2_x} + \overline{u'^2_y} + \overline{u'^2_z}\right)}}{\bar{u}} \qquad [13]$$

Legenda: $\overline{u'_n}$ - střední hodnota fluktuace rychlosti do směru n [$m \cdot s^{-1}$]

$\bar{u}$ – střední hodnota rychlosti [$m \cdot s^{-1}$]

Standartní hodnota Tu u výústky je 0,15 až 0,2 [L7].

3.8 Třídění klimatizací

Klimatizace najdou svoje uplatnění jak v obytných a společenských objektech, tak i v průmyslu nebo dopravních prostředcích. Vzhledem k četnosti a míře změn vstupních parametrů (venkovního klimatu, míře oslunění, vnitřních tepelných zátěží) se používá převážně regulace (automatické řízení) procesů úpravy vzduchu. Podle účelu použití můžeme klimatizace rozdělit do dvou základních skupin:

Komfortní klimatizace

Tato varianta se používá pro obytné a pobytové prostory, pro prostory pracovní, administrativní a podobně. Spočívá v úpravě vzduchu v návaznosti na činnost lidského organismu.

Technologická klimatizace

Jedná se o systém, který má za úkol úpravu ovzduší z hledisek technologických. Setkáme se s ní zejména v průmyslu, kde je zohledněna funkce strojů, biologických procesů nebo technologie.

Technologické klimatizace, můžeme rozdělit do dvou podskupin. Prvním případem jsou klimatizace *technologické – prostorové* – tam, kde se vyskytují osoby, například ve farmacii, výrobnách přesné elektrotechniky atd., druhým případem pak jsou klimatizace *technologické – procesní* - uvnitř technologických linek, kde se nevyskytují osoby [L5].

Dalším rozlišením můžeme dělit klimatizace na *úplné* a *dílčí*. O úplnou klimatizaci se bude jednat, pokud bude zahrnovat veškeré úpravy tepelného a vlhkostního stavu prostředí, a také čistoty vzduchu po celý rok. Bude-li sloužit pouze k částečné úpravě, tedy nebude-li zahrnovat veškeré vyjmenované úpravy, bude se jednat o klimatizaci dílčí. Tyto mohou být kombinovány i s vytápěcími zařízeními [L5].

3.9 Klimatizační systémy

Klimatizačním systémem rozumíme koncepční soubor funkčních prvků pro úpravu vzduchu, distribuci tepla, chladu a vzduchu v objektu. Systémy zahrnují filtraci, směšování, ohřev, chlazení, vlhčení a odvlhčování. Můžeme je rozdělit podle několika hledisek. Prvním z nich je druh tekutiny přenášející teplo a chlad v budově:

Systémy:

1. vzduchové
2. vodní
3. kombinované indukční vzduch – voda
4. chladivové

Systémy mohou disponovat i jiným způsobem sdílení tepla:

Systémy:

1. konvektivní
2. sálavé

Můžeme též upravovat ovzduší pro více zón, přičemž každá zóna může mít odlišné požadavky. Podle počtu zón tedy můžeme definovat:

Systémy:

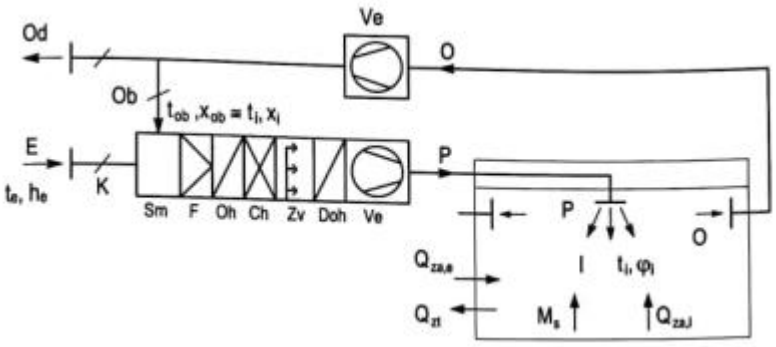
1. jednozónové
2. vícezónové

V praxi se však nevyskytují veškeré kombinace výše uvedených možností. Můžeme tak uvádět *hlavní typy klimatizačních systémů* [L5].

- Vzduchové systémy jednozónové
  -jednokanálový systém s konstantním průtokem vzduchu
- Vzduchové systémy vícezónové
  -jednokanálový systém s proměnným průtokem vzduchu
  -dvoukanálový systém s konstantním průtokem vzduchu
- Vodní systémy vícezónové
  -systém s ventilátorovými konvektory
  -systém s otopnými/chladicími plochami
- Kombinovaný indukční systém vzduch – voda
  -systém vícezónový s indukčními jednotkami/chladicími trámci
- Chladivové systémy jedno i vícezónové
  -systém jednozónový (split)
  -systém vícezónový (multisplit)

3.10 Prvky klimatizačního systému

V předchozích kapitolách bylo řečeno, že systém upravuje více parametrů. Na následujícím obrázku je přehledně znázorněn systém jako celek, který se skládá z dílčích prvků.



Obr. 3-3 Schéma vzduchového jednozónového systému pro celoroční úplnou úpravu vzduchu [O3]

3.10.1 Směšování

Venkovní vzduch je nejprve přiváděn do směšovací komory (Sm), kde dochází ke smísení se vzduchem oběhovým. To znamená výraznou úsporu energie na úpravu, je však nutné vysvětlit si následující pojmy:

Intenzita větrání – I [h^{-1}]

Intenzita větrání udává, kolikrát se objem větraného prostoru vymění za čerstvý vzduch [L4].

$$I = \frac{V_e}{O} \qquad [14]$$

Legenda: I – intenzita větrání - I [h^{-1}]

V_e – objemový průtok čerstvého vzduchu [$m^3 \cdot h^{-1}$]

O – objem větraného prostoru [m^3]

Intenzita výměny vzduchu - I_p [h^{-1}]

Jedná se o poměr průtoku vzduchu přiváděného (čerstvého + oběhového) do klimatizovaného prostoru ku objemu větraného/klimatizovaného prostoru [L4].

$$I_p = \frac{V_p}{O} \quad [15]$$

Legenda: I_p – intenzita výměny vzduchu - I [h^{-1}]

V_p – obj. průtok přiváděného (čerstvého + oběhového) vzduchu [$m^3 \cdot h^{-1}$]

O – objem větraného prostoru [m^3]

3.10.2 Filtrace

Následně vzduch putuje do prostoru určeného k filtraci (F). Ten slouží k dodržení hygienických limitů vnitřního vzduchu a k odloučení tuhých a kapalných znečišťujících látek, které by mohly poškodit některou z dalších komponent. Účinnost filtrace je závislá na frakční odlučivosti vláknité vrstvy a na charakteru znečištění vzduchu pevnými a kapalnými částicemi. V praxi se tato účinnost vyjadřuje pomocí celkové odlučivosti O_c [%], kterou můžeme vyjádřit jako:

$$O_c = \frac{C_p - C_v}{C_p} \cdot 100 \quad [16]$$

Legenda: O_c – celková odlučivost [%]

C_p – koncentrace příměsí před filtrem [$mg \cdot m^{-3}$], [$\mu g \cdot m^{-3}$] nebo [$1 \cdot m^{-3}$]

C_v – koncentrace příměsí za filtrem [$mg \cdot m^{-3}$], [$\mu g \cdot m^{-3}$] nebo [$1 \cdot m^{-3}$]

Při návrhu filtrace je také třeba počítat s tlakovou ztrátou filtračního materiálu, která se mění v závislosti na zanesení filtru.

Filtry je možno rozdělit do několika kategorií:

Tab. 3-1 Třídění filtrů podle odlučovacích vlastností

vzduchové	hrubé	G1 až G4
	střední	M5 a M6
	jemné	F7 až F9
s vysokou účinností	HEPA	H10 až H14
	ULPA	U15 až U17

Dalším možným rozdělením filtrů je na:

Vložkové
- -deskové
- -kapsové
- -kazetové
- -kompaktní

Pásové

V klimatizaci používáme zpravidla vícestupňovou filtraci, tedy kombinaci více filtrů. Kromě již zmíněných, dále je možno setkat se i s filtry sorpčními, které zachycují plynné škodliviny a pachy, případně s elektrofiltry nebo filtry dielektrickými [L5].

3.10.3 Ohřev vzduchu

Dále vzduch vzduch prostupuje do ohřívače. Ten je nedílnou součástí systému, neboť v našich podmínkách je nutno vzduch ohřívat nejen v zimních měsících, ale i v přechodném období. Způsobů rozlišení ohřívačů je celá řada.

Prvním kritériem může být počet řad a způsobu zapojení trubek:

Ohřívače:
- -sériové
- -paralelní

Dalším kritériem může být teplonosná látka:

Ohřívače:
- -vodní
- -parní
- -elektrické
- -chladivové (kondenzátory)

Nejčastější variantou jsou ohřívače vodní. Jedná se o jednoduchý výměník tepla voda – vzduch. Parní varianta se používá především tam, kde je pára k dispozici, tedy převážně v průmyslu. Konstrukce je stejná jako u vodních ohřívačů, je však třeba počítat s výrazně vyššími tlaky. Ne příliš často je možno najít ohřívače elektrické, které využívají k ohřevu vzduchu topných těles (spirál nebo tyčí). Jejich hlavní nevýhodou jsou provozní náklady. Ohřívač chladivový je pak klasický kompresorový oběh, jehož kondenzátor je určen ke sdílení tepla se vzduchem. Samostatnou kategorii pak tvoří plynové a olejové hořáky [L5].

Dále je možno rozlišit ohřívače podle konstrukce:

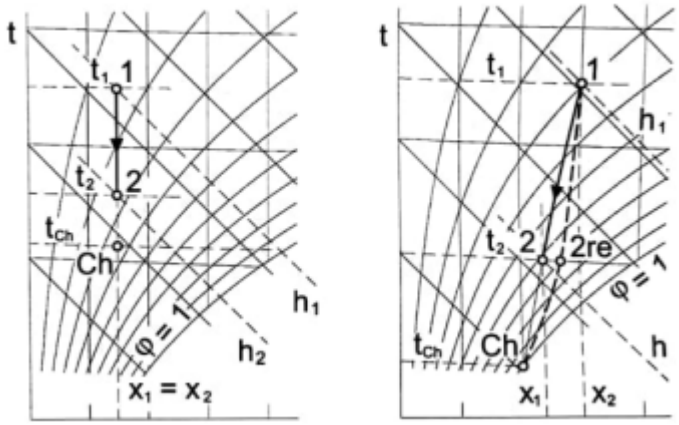
Ohřívače:	-z hladkých trubek -žebrované

3.10.4 Chlazení vzduchu

Po ohřívači následuje chladič, který je konstrukčně velmi podobný právě ohřívači. Významnou odlišností je ale výrazně nižší teplotní rozdíl mezi vzduchem a teplonosnou látkou a fakt, že ve většině případů dochází v chladiči ke kondenzaci vodních par ze vzduchu. Tím pádem potřebují větší teplosměnnou plochu, jsou tedy rozměrnější. Dále pak musí být ošetřena problematika kondenzátu. Ten je třeba bezpečně odvádět. Pro praxi rozlišujeme chladiče vodní a chladivové (přímé výparníky).

Vodní chladiče

Jak už název napovídá, teplonosnou látkou je v tomto případě voda. Konstrukčně se jedná o rekuperační výměník voda – vzduch, ve kterém je vstupní teplota chladicí vody 3 až 8°C, výstupní je potom o 5 až 8°C vyšší. Běžné provedení spočívá v měděných trubkách s hliníkovými lamelami pro zvětšení teplosměnné plochy. Ty jsou umístěny v sérii 2 až 5 řad za sebou. Proces chlazení může probíhat buďto v suchém režimu, kdy je střední povrchová teplota chladiče vyšší než teplota rosného bodu upravovaného vzduchu nebo v režimu mokrého chlazení, kdy se teplota vzduchu snižuje. Podobně se snižuje i měrná vlhkost a enthalpie, naopak relativní vlhkost roste. Vzhledem k umístění chladiče v sérii za ohřívač není nutná samostatná protimrazová ochrana [L5].



Obr. 3-4 Suché chlazení (vlevo) a chlazení s kondenzací (vpravo) v h-x diagram vlhkého vzduchu [O4]

Chladivové chladiče

V tomto případě je rekuperační výměník chladivo – vzduch součástí oběhu chladiva. Tento princip nachází poměrně značné uplatnění. Před přímým výparníkem je umístěn škrticí element, kapalné chladivo je pak do výparníku vstřikováno a odpařuje se, přes stěny výměníku pak odjímá teplo vzduchu. Značným plusem je oproti vodním chladičům vyšší chladicí faktor a nepřítomnost vodního okruhu. Je tu však zapotřebí systém odmrazování [L5].

3.10.5 Zvlhčování vzduchu

Z chladiče je vzduch přiveden do zvlhčovače. Tím označujeme zařízení určené ke zvýšení vlhkosti vzduchu. Používáme ho pro zajištění požadované vlhkosti v klimatizovaném prostoru v zimním období, dále potom například v technologických jednotkách. Rozlišujeme dva základní druhy zvlhčování vzduchu – vodní a parní [L5].

Zvlhčování vodou

Jedná se o princip, kdy se voda odpařuje buďto z vodní hladiny nebo z povrchu kapek. Je nutné si uvědomit, že teplo potřebné pro odpaření vody je odebíráno okolnímu vzduchu, jehož teplota klesá. Pokud není teplota vody upravována a dojde–li k odpaření veškeré vody, pak zůstává enthalpie vzduchu konstantní a změna stavu vzduchu je adiabatická. V praxi rozlišujeme sprchové pračky, pračky se smáčenými prvky a rozprašovací vodní zvlhčovače [L5].

Zvlhčování parou

V parních zvlhčovačích dochází k mísení vzduchu se sytou nebo mírně přehřátou párou. Tento systém se používá především tam, kde je již pára k dispozici. Pokud k dispozici není a i přesto trvá potřeba využití této technologie, je třeba ještě před zvlhčovač zařadit vyvíječ páry. Ty můžeme rozdělit na elektrodové a varné [L5].

3.10.6 Odvlhčování vzduchu

Tato technologie v našem regionu není zcela nutná pro komfortní klimatizace, naopak se využívá tam, kde dochází k vývinu vlhkosti. V zásadě můžeme využít tří principů vedoucích k odvlhčení vzduchu:

Odvlhčování větráním

V tomto případě je využíváno intenzivního větrání. Není zde zapotřebí žádných speciálních prvků, odvlhčování je docíleno pouze dimenzováním větracího zařízení.

Adsopční odvhlčování

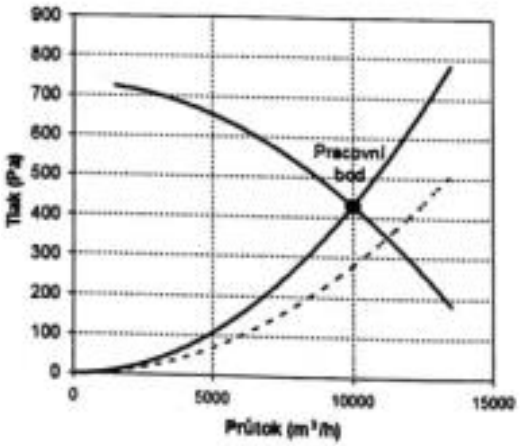
Tento případ využívá principu adsorpce, tedy vázání plynné látky na povrch látky pevné (adsorbentu). Nevýhodou tohoto principu je maximální možné množství látky, které je možné za daných podmínek adsorbovat. Pro kontinuální proces je nutné adsorbent regenerovat zvýšením jeho teploty. V praxi se používá rotor válcovitého tvaru, který obsahuje drobné kanálky. Na nich je nanesen adsorbent. Při provozu je jedna polovina rotoru v kontaktu s odvlhčovaným vzduchem a dochází k adsorpci, zatímco druhá polovina je regenerována horkým vzduchem. Dochází tak k desorpci této poloviny rotoru, ta je následně připravena na otočení a k novému cyklu. Jako adsorbent může fungovat například silikagel, chlorid lithný nebo zeolity.

Kondenzační odvlhčování

Tento princip je realizován chladičem a ohřívačem. Při chlazení vzduchu dochází ke kondenzaci vodních par na výměníku, jehož povrchová teplota je nižší než teplota rosného bodu. Pokud je požadavkem redukce pouze měrné vlhkosti, je třeba vzduch zpětně ohřát. Velkou nevýhodou je ale oproti předešlým variantám značná energetická náročnost [L5].

3.10.7 Doprava vzduchu

Dalším prvkem je ventilátor, který slouží k nucenému přívodu vzduchu. Stejně tak své uplatnění najde i u nuceného odvodu z místnosti. Pro přehlednost můžeme ventilátory rozdělit na radiální (právě tyto se v nízkotlakém a středotlakém provedení používají nejčastěji v rozsáhlejších zařízeních) a axiální (ty se uplatňují pro nucený odvod vzduchu). Toto rozlišení je dáno způsobem průchodu vzduchu oběžným kolem. Základní konstrukci ventilátoru tvoří rotor, skříň, základový rám a elektromotor s převodovým ústrojím. To je tvořeno buďto řemenicí nebo spojkou. Stejně jako potrubní síť (zde je třeba zohlednit i tlakové ztráty sítě), i ventilátor má svoji charakteristiku. Průsečík těchto charakteristik pak nazýváme pracovním bodem ventilátoru [L5].



Obr. 3-5 Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě [O5]

Velmi důležitou problematikou je regulace průtoku vzduchu ventilátorem. Ten je možno regulovat škrcením, obtokem nebo regulací otáček. Ta se v rámci problematiky klimatizací jeví jako nejefektivnější, protože nemaří energii proudícího vzduchu. Změna otáček může probíhat změnou počtu pólů asynchronního motoru, změnou napětí (tento způsob je však ztrátový), nebo pomocí frekvenčního měniče. Právě tato možnost se stává čím dál tím častější. Při průchodu vzduchu ventilátorem, je třeba počítat s tím, že se vzduch ohřeje o 1 až 2 K. Tato změna je dána ohřátím vzduchu od odpadního tepla elektromotoru [L5].

3.10.8 Distribuce vzduchu

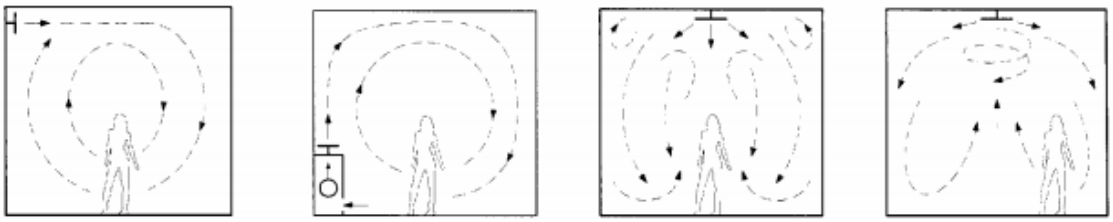
Posledním prvkem v sérii je výústka, která má za úkol rozptýlení vzduchu do místnosti. Výsledné prostorové proudění má zpravidla za cíl vytvořit rovnoměrné rychlostní, teplotní a koncentrační pole. Výsledné proudění je potom dáno třemi faktory:

1) primárními proudy z přiváděcích výústí
2) zdrojem tepla (chladu)
3) prouděním do odváděcích otvorů

Principy rozptýlení vzduchu v místnosti jsou známy tři:

Mísení

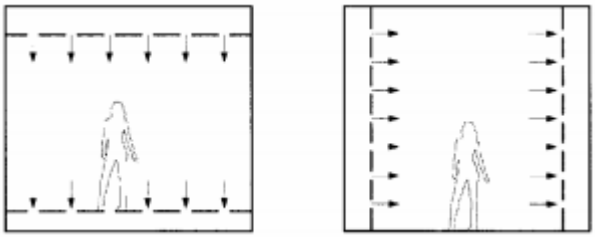
K přívodu vzduchu zpravidla dochází stěnovou výústí, dýzou, štěrbinou, stropním anemostatem žaluziovým nebo vířivým.



Obr. 3-6 Rozptýlení vzduchu mísením (zleva: stěnová výúst, parapetní indukční jednotka, anemostat žaluziový, anemostat vířivý) [O6]

Vytěsňování

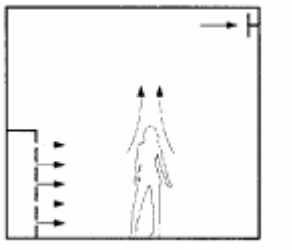
Tento princip se uplatňuje především v místnostech s vysokými nároky na kvalitu ovzduší (operační sály, laboratoře). Do těchto místností je rovnoměrně přiváděn primární vzduch, aniž by docházelo k tvorbě sekundárních proudů. Veškeré škodliviny v místnosti uvolněné jsou okamžitě odváděny z místnosti pryč. Systém může fungovat jak vertikálně, tak i horizontálně.



Obr. 3-7 Rozptýlení vzduchu vytěsňováním (zleva stropní přívod, stěnový přívod) [O7]

Zaplavování

Jedná se o systém velmi často uplatňovaný například v kancelářských prostorách nebo v halách. Narozdíl od předešlého případu tento využívá k vytvoření rovnoměrného proudění vzduchu neizotermičnosti přiváděného proudu [L4].



Obr. 3-8 Rozptýlení vzduchu zaplavováním, přívod velkoplošnou výústí [O8]

3.11 Otopná soustava

Otopná soustava je takové zařízení, které má za úkol přenášet tepelnou energii ze zdroje tepla do jednotlivých vytápěných místností. K zajištění tepelného komfortu v těchto místnostech dochází pomocí otopných těles nebo jiných otopných ploch. Celá soustava se skládá z dílčích částí – ze zdroje tepla, potrubní sítě, pojistného a zabezpečovacího zařízení, čerpadel, armatur, regulačních prvků a samotných otopných ploch. Pokud se zaměříme na soustavy teplovodní, můžeme je rozdělit podle několika kritérií:

a) Podle zajištění oběhu otopné plochy:
   -soustavy s přirozeným oběhem (dispozičního rozdílu tlaku je docíleno rozdílem hustot)
   -soustavy s nuceným oběhem (dispozičního rozdílu tlaku je docíleno převážně čerpadlem)
b) Podle většinového principu přenosu tepla:
   -soustavy s převážně konvektivním přenosem tepla
   -soustavy s převážně sálavým přenosem tepla
c) Podle spojení s atmosférou:
   -soustavy otevřené (s otevřenou expanzní nádobou)
   -soustavy uzavřené (s uzavřenou expanzní nádobou nebo automatickým expanzním zařízením)
d) Podle teploty teplonosné látky:
   -soustavy nízkoteplotní (teplota otopné vody do 65°C)
   -soustavy teplovodní (teplota otopné vody mezi 65 a 115°C)
   -soustavy horkovodní (teplota otopné vody vyšší než 115°C)
e) Podle provedení hlavního ležatého rozvodu:
   -soustavy se spodním rozvodem
   -soustavy s horním rozvodem
   -soustavy kombinované

f) Podle rozvodu otopné vody k otopným tělesům:
   -jednotrubkové bez obtoků (průtočné, z 4-cestnými armaturami)
   -jednotrubkové s obtoky (např. jezdecké napojení)
   -dvoutrubkové protiproudé
   -dvoutrubkové souproudé (Tichelmann)
g) Podle materiálu potrubní sítě:
   -ocelové
   -měděné
   -plastové (síťovaný polyetylen, polybuten, chlorované PVC…)
   -vícevrstvé
h) Podle způsobu přívodu a odvodu otopné vody k tělesům nebo od těles:
   -soustavy vertikální
   -soustavy horizontální
   -soustavy hvězdicovité
   -soustavy smíšené

Zdrojem tepla může být kotel, solární kolektor, tepelné čerpadlo nebo kombinace předešlých. Kotle je možno dále rozdělit podle druhu paliva na kotle na tuhá, kapalná a plynná paliva. Dnes se upřednostňují kotle na plynná paliva, a to především kvůli vysoké účinnosti, spolehlivosti, rychlosti zátopu a spolehlivosti měření spotřeby paliva. Je však třeba dbát na bezpečnost provozu, proto by takovéto kotle měly disponovat bezpečnostním termostatem a pojistným zapalovačem, při nedostatku plynu je tak uzavřen přívod plynu do kotle. Z důvodu bezpečnosti je také důležité neopomenout pojistné a zabezpečovací zařízení. Pojistným zařízením myslíme takové zařízení, které jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku. Pro tento účel se dnes používají především pružinové nebo vahadlové pojistné ventily. Zabezpečovacím zařízením pak označujeme takové zařízení, které zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teploty a potažmo tlaků v rámci tepelné roztažnosti otopné vody v soustavě. Tato zařízení pak můžeme rozdělit do dvou kategorií – na tlakové expanzní nádoby (vakuové nebo membránové) a na automatická expanzní zařízení. Samostatnou kapitolou je potom otevřená expanzní nádoba, která slouží jako pojistné i zabezpečovací zařízení zároveň. Otopné soustavy s nuceným oběhem využívají k získání dispozičního rozdílu tlaku čerpadla. Ta však jsou vyráběna v řadách, a tak je třeba je regulovat, aby se

přizpůsobila potrubní síti. Regulace může probíhat škrcením (nejčastější případ), obtokem nebo změnou otáček. Regulací se snažíme pracovat s charakteristikou čerpadla, a tak posouváme pracovní bod čerpadla. Zároveň je dobré si uvědomit i fakt, že čerpadla je možno řadit buďto za sebe (sériově) pro zvýšení měrné energie otopné vody nebo vedle sebe (paralelně) pro zvýšení jejího průtoku. U teplovodních otopných soustav se setkáváme s problematikou difúze kyslíku potrubím, ten způsobuje korozi. I proto je třeba volit správný materiál potrubí. Ocelové potrubí se dnes používá hlavně pro vertikální vedení, měděné má oproti předešlému výhodu vyšší hladkosti, naopak nevýhodami pak jsou o přibližně 40 % vyšší teplotní délková roztažnost a především vyšší cena. I přes výrazně vyšší délkovou teplotní roztažnost (oproti oceli zhruba desetinásobně) je plastové potrubí čím dál tím používanější. Síťovaný polyetylen PEX-A totiž propouští naprosté minimum kyslíku, lépe už je na tom pouze potrubí vícevrstvé. Pro distribuci otopné vody jsou nezbytné také armatury. Ty můžeme rozdělit podle použití, činnosti nebo způsobu instalace:

Rozdělení armatur podle použití:

-do rozvodu potrubí	-uzavírací klapka
	-kulový kohout (pro malé průměry)
-k otopným tělesům	-regulační šroubení
	-termostatické ventily
-regulační, směšovací a rozdělovací	
-kontrolní a měřicí	

Rozdělení armatur podle činnosti:

-uzavírací	-kulový kohout
	-šoupě
	-dvoucestný ventil, klapky
-regulační	-2-cestný regulační
	-regulátor tlakové diference
	-termostatický ventil

-vyvažovací	-3-cestný ventil či klapka
	-4-cestný ventil či klapka
	-vyvažovací ventil
-rozdělovací	-3-cestný ventil či klapka
	-přepouštěcí klapka
-specificky funkční	-filtr, průtokoměr, odplyňovač…
-sdružené	

Rozdělení armatur podle instalace:

-závitové
-přírubové
(-čepové)

Aby bylo dosaženo tepelného komfortu, je třeba regulovat teplotu. K tomu slouží termostatické hlavice (s kapalinovou nebo paroplynovou náplní), nebo pohon na ventilu. Je možné se setkat také s elektronickou hlavicí, která je však pouze mezistupněm umožňujícím nastavení režimu dne nebo dlouhodobějšího časového horizontu [L6], [L8].

4 Popis MFF

4.1 Budovy

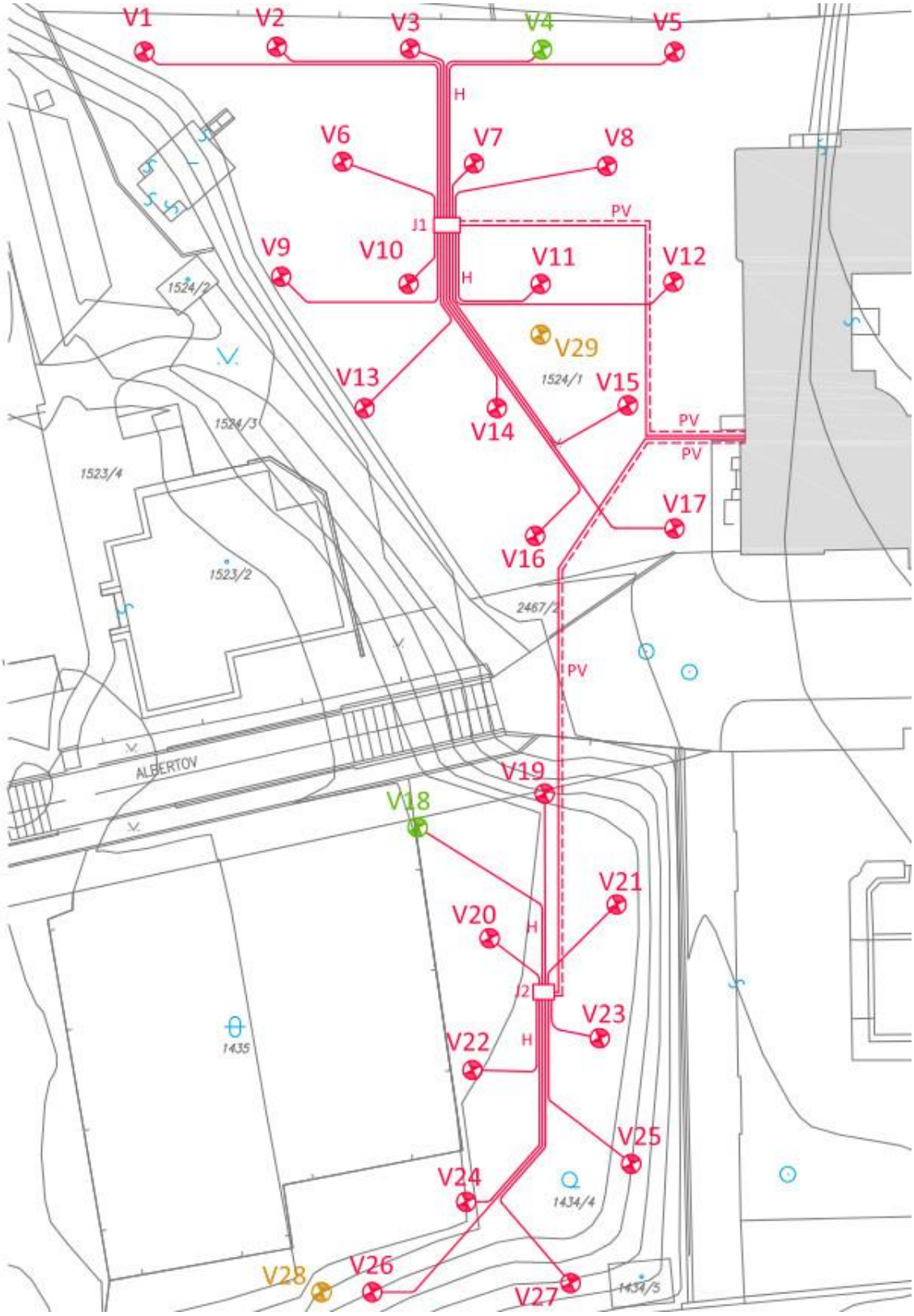
Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy sídlí v několika budovách. Tato práce pojednává o budovách v rámci Areálu Karlov. Tento areál vyžíval až do roku 2012 konvenčních technologií vytápění i chlazení, následně však došlo ke změně koncepce a instalaci dvou tepelných čerpadel pracujících s teplem a chladem získaným ze zemského masivu svislými zemními vrty umístěnými v přilehlé zahradě. Příčinou tohoto rozhodnutí byla přítomnost řady laboratoří pracujících s množstvím přesných přístrojů vyžadujících chlazení. To bylo v dřívější době řešeno vodou z vodovodního řadu, nevýhodou však bylo odvádění odpadního tepla do kanalizační stoky.

4.2 Vrty

Jako zdroj tepla nebo chladu je využito 27 geotermálních vertikálních vrtů umístěných v zahradě.

Obr. 4-1 Pohled na jeden z vrtů v areálu MFF UK

Tyto vrty mají hloubku 135 m a jsou umístěny ve dvou polích. Jednotlivé vrty jsou od sebe vzdáleny 13 m, tedy v takové vzdálenosti, aby se vzájemně neovlivňovaly. Rozdělovač a sběrač jsou umístěny ve sběrné jímce. [L13] Odtud je pak vedeno potrubí ke dvěma tepelným čerpadlům. Jednotlivé rozmístění je znázorněno na následujícím obr. 4-2.



Obr. 4-2 Umístění vrtů v areálu MFF UK [O9]

4.3 Tepelná čerpadla

Jako zdroj tepla sloužila až do roku 2012 pouze plynová kotelna o výkonu 1360 kW. V tomto roce k ní byla přidána ještě dvě tepelná čerpadla Viessmann 300-G PRO, která disponují jmenovitým topným výkonem 270 kW a jmenovitým chladicím výkonem 200 kW. Čerpadla jsou zapojena paralelně a jsou schopna přípravy otopné vody o teplotě maximálně 55°C. Pro venkovní teplotu 0°C je celkový tepelný výkon čerpadel 250 kW a jedná se zároveň i o bod bivalence [L9], [L13].

Obr. 4-3 Tepelné čerpadlo Viessmann 300-G PRO umístěné v suterénu budovy MFF UK

4.4 Další části systému

Celý systém má dva okruhy, mezi kterými jsou dva deskové výměníky. Prvním z nich je Alfa Laval CB76-501, druhým potom Alfa Laval CB200-801. Teplonosnou látkou prvního okruhu je 30% roztok ethylenglykolu (nemrznoucí směs), druhého potom voda. K akumulaci tepla slouží tři akumulační nádoby Regulus PS 1000 o celkovém objemu 3 m³, akumulaci chladu potom zabezpečují dvě akumulační nádoby Regulus PS 800 o celkovém objemu 1,6 m³. Otopná soustava je zabezpečena automatickým expanzním zařízením, zdroj tepla je jištěn pojistným ventilem. Pojistné výfukové potrubí je svedeno do kanalizace tak, aby neohrožovalo obsluhu, a zároveň aby byla zachována vizuální kontrola. Veškeré potrubí je vyrobeno z ocelových bezešvých trubek a je svařováno. Z důvodu použití právě oceli slouží ke kompenzaci dilatací přirozené ohyby v průběhu trasy. Aby bylo možné soustavu vypustit, je osazena vypouštěcím ventilem v nejnižším bodě, naopak v nejvyšším bodě najdeme odvzdušňovací ventil. Veškeré armatury jsou vyrobeny z litiny nebo mosazi [L10], [L11], [L13].

4.5 Měření a řízení

Celý systém je velmi náročný na regulaci, proto je osazen řídicím systémem TRONIC 2000. Ten má za úkol přepínání mezi čtyřmi režimy provozu. Systém využívá 140 senzorů monitorujících hodnoty teploty v jednotlivých vrtech a v jejich hloubkách, spotřebu elektrické energie a podobně. Aby docházelo k objektivním měřením, data jsou získávána ze čtyř vrtů, přičemž dva z nich vůbec neslouží k odběru tepla nebo chladu, ale pouze k hodnocení funkce systému. Získaná data jsou pomocí Ethernetu přenesena do centrálního dispečinku, kde jsou vyhodnocována a vizualizována. Některá aktuální data jsou dokonce veřejně k dispozici na webových stránkách fakulty. Vzhledem k četnosti měření je využíváno SQL databáze, ze které jsou získána data pro praktickou část. Ta byla dále převedena do tabulkových souborů, z nichž byla data následně přenášena do souborů sestavených pro vyhodnocení provozu tepelného čerpadla [L13].

4.6 Provozní režimy

REŽIM 1 – Vytápění

-V tomto režimu tepelná čerpadla pracují v kaskádě a mají za úkol přípravu otopné vody v návaznosti na aktuální venkovní teplotu.

REŽIM 2 – Vytápění + chlazení

-Vzhledem k nutnosti chlazení řady přístrojů je zde chlad vzniklý odebíráním tepla z masivu předáván do zásobníku chladné vody centrálního chladicího okruhu. Zároveň však čerpadla pracují v kaskádě a připravují otopnou vodu v návaznosti na aktuální teplotu.

REŽIM 3 – Přirozené chlazení

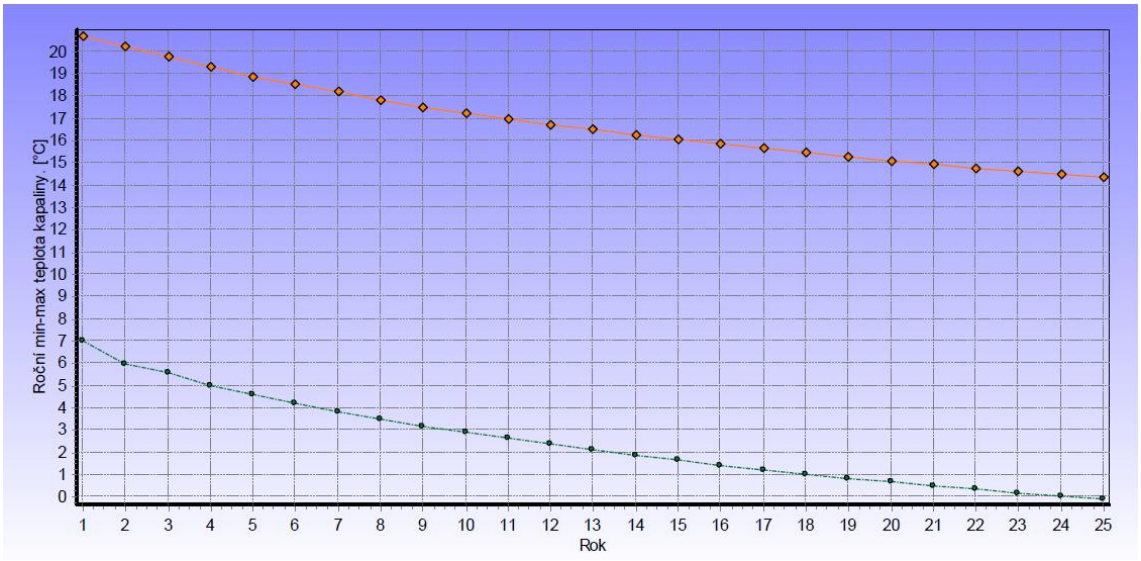
-Během tohoto režimu jsou tepelná čerpadla vyřazena z provozu. Dochází k cirkulaci teplonosné látky v primárním okruhu a v případě potřeby chladicí vody je pomocí výměníku nabíjena akumulace chladu.

REŽIM 4 – Aktivní chlazení

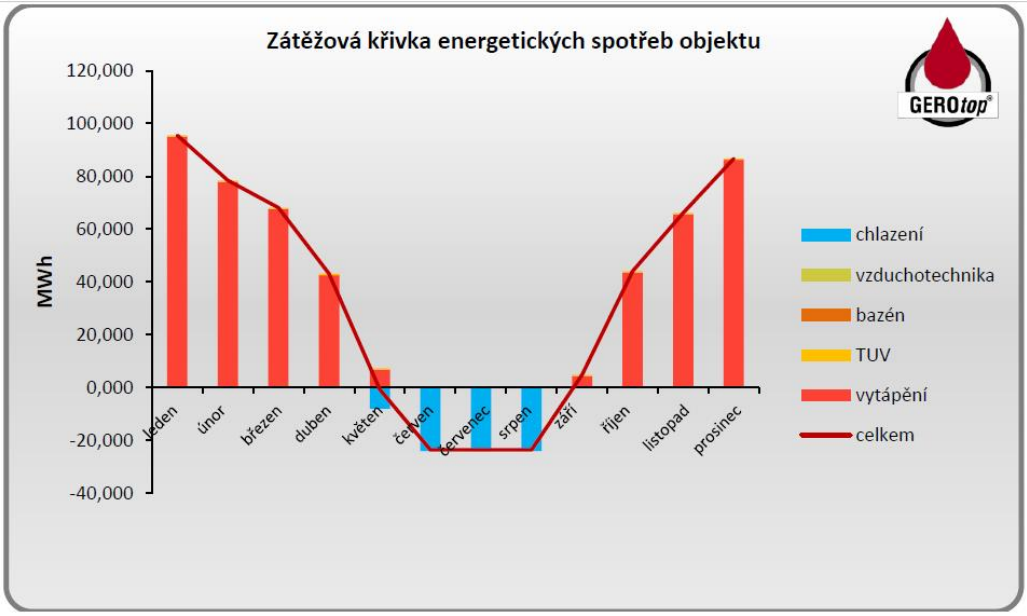
-Tento režim znamená práci obou čerpadel v kaskádě v návaznosti na regulaci chlazení. Tato čerpadla připravují otopnou vodu. Akumulované teplo je v tuto chvíli předáváno přes výměník zpět do vrtů tak, aby se tyto regenerovaly. Chlad, který systém získá odebíráním tepla je přes výměník předáván do zásobníku chladné vody centrálního chladicího okruhu [L13].

4.7 Popis provedené simulace vrtného pole

Aby bylo možné predikovat provoz celého zařízení, proběhl v srpnu roku 2011 test zkoumající tepelné vlastnosti podloží (GRT test). Ten probíhal v jednom z 27 vrtů, který byl osazen dvouokruhovým vystrojením GVS GEROtherm a tlakově injektován cemento-bentonitovou směsí. Měřením byla zjištěna hodnota tepelného odporu vrtu (R) 0,095 $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$a hodnota tepelné vodivosti podloží (λ) 1,8 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Velmi důležitou zjištěnou hodnotou byla také teplota masivu neovlivněná provozem zařízení, která byla určena na 14,17°C. Aby se jednalo o skutečně dlouhodobější simulaci, bylo počítáno s provozem trvajícím 25 let. Využito bylo programu Earth Energy Designer, ve kterém bylo uvažováno chování nemrznoucí směsi STABILfrost. Jelikož tepelná čerpadla v zimním provozu odebírají teplo zemskému masivu, je zapotřebí zaručit, že ani z dlouhodobého hlediska nedojde k zamrznutí tohoto zdroje, tedy poklesnutí teploty pod bod mrazu. Výsledky výpočtu tepelného průběhu je možno vidět na obr. 4-4, směrodatnou informací pak je, že ani za dobu provozu 25 let nedojde k poklesnutí teploty pod bod mrazu. Výstupem pak je též získatelná energetická bilance, která byla použita pro získání zátěžové křivky (viz obr. 4-5) ukazující využití vrtů v průběhu roku [L13].



Obr. 4-4 Předpokládaný pokles teploty kapaliny pro následující roky od uvedení do provozu



Obr. 4-5 Zátěžová křivka

5 Praktická část

5.1 Získání a zpracování dat

Pro potřeby této práce jsem společně se svým vedoucím práce Ing. Milošem Lainem Ph.D. oslovil pana Ing. Víta Mráze zastupujícího firmu TRONIC CONTROL s.r.o., která je pověřena správou dat. Tento mi zaslal data získaná za posledních téměř 6 let, která však nebyla kontinuální, jelikož došlo hned ke dvěma napadením hackery. Data za duben 2016 a říjen 2017 se tak nedochovala. Z tohoto důvodu a z důvodu kapacity programu Microsoft Excel jsem dospěl k rozhodnutí, že provedu analýzu dat pro období od 1.11.2017 do 15.2.2019. Pouze pro hodnocení dlouhodobého chování masivu jsem zpracoval kompletní získaná data, a tak právě toto chování můžeme sledovat v časovém rozmezí od 1. 6. 2013 do 1. 2. 2019. Aby bylo možné vyhodnocovat funkci čerpadla ve zmíněném tabulkovém procesoru, bylo nutné získaná data převést z SQL databáze do formátu xlsx. Za účelem pomoci s tímto transferem jsem požádal Ing. Matěje Bránského, se kterým jsme data za použití aplikace TeamViewer 14 převedli. Získali jsme tak celou řadu souborů (přesněji 96) nazvaných kódy, jejichž význam byl popsán v jednom z nich nazvaném „Registr“. Importem vybraných dat do vytvořených souborů pak vznikly celky, které sloužily jako základna k následným výpočtům a grafickým výstupům. Aby bylo možné použít k analýze program MS Excel, bylo nutné přikročit k redukci dat, která proběhla zvětšením kroku, který se z hodnoty jedné minuty zvýšil na desetinásobek. Toto však neplatí pro data týkající se spotřeby elektrické energie, jelikož dodaná data firmou TRONIC CONTROL s.r.o. již byla v kroku patnácti minut (a následně převedena do hodinového kroku) a na data určená k dlouhodobému hodnocení chování zemského masivu, která byla redukována na krok jednoho měsíce. Vzhledem k časté chybovosti časové osy systému je v některých přiložených souborech provedena manuální synchronizace časových kroků, tento jev je možno poznat podle dvou časových os umístěných vedle sebe. Veškerá získaná data jsou k nahlédnutí na přiloženém nosiči.

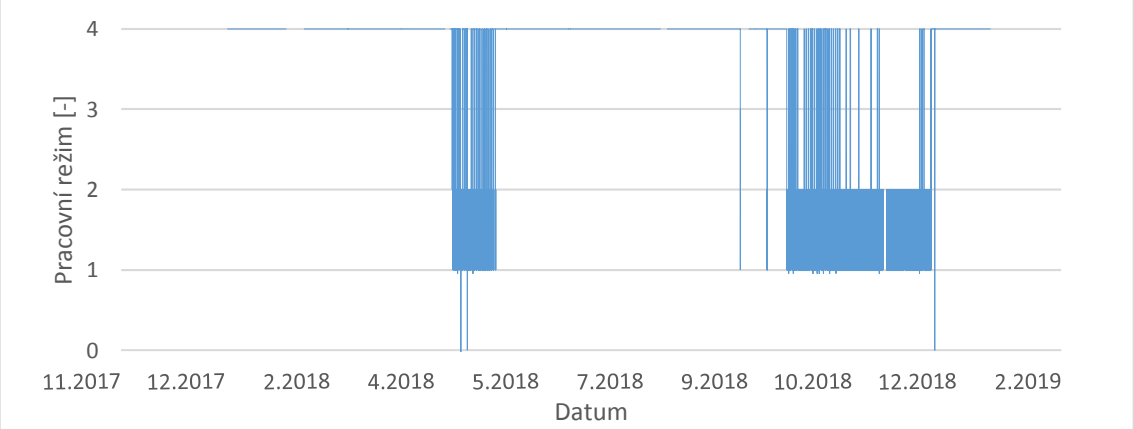
5.2 Analýza provozních režimů

V kapitole 4.6 – Provozní režimy jsou popsány čtyři možné varianty funkce čerpadla. Nyní se budeme zabývat jejich střídáním v rámci analyzovaného období. Hodnotit budeme několik časových úseků. Prvním z nich je celé sledované období, tedy od 1. 11. 2017 do 15. 2. 2019. Je třeba předeslat, že vzhledem k desetiminutovému kroku se nejedná o kompletní výpis změn režimů. Pokud během trvání zmíněných deseti minut došlo k více změnám, nebudou tyto všechny změny zaznamenány ve zpracovávaných datech. Jedná se tak pouze o orientační výpis, který však k hodnocení systému postačuje.

Tab. 5-1 Četnosti pracovních režimů v období 1. 11. 2017 až 15. 2. 2019

Režim	1	2	3	4	Suma
Četnost	4769	11843	11863	64499	92974
Percentil	5,1	12,7	12,8	69,4	100

Jak je možno vyhodnotit z tabulky, ve zkoumaném období došlo k vystřídání všech čtyř pracovních režimů. Nejhojněji zastoupený je s 69,4 % čtvrtý pracovní režim – aktivní chlazení. Na druhé a třetí příčce četnosti se s malým rozdílem umísťují režimy 2 a 3, nejméně zastoupený je první režim, tedy vytápění. To přisuzuji aktivaci jiného zdroje tepla, jehož činnost je nezávislá na mnou zkoumaném zařízení. Zajímavé však je, že podle hodnocení čidla č.73 byl systém touto dobou v automatickém režimu. Dalším sledovaným obdobím je rok 2018.

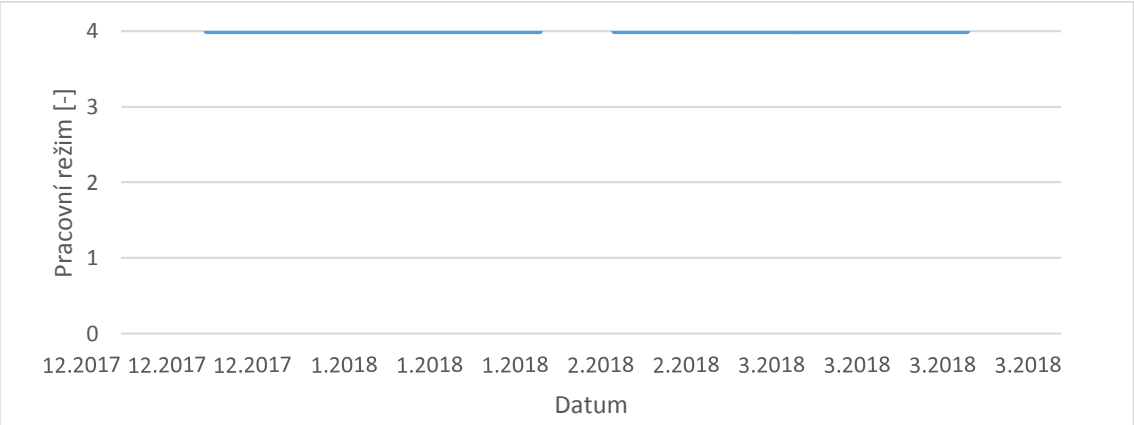


Obr. 5-1 Průběh pracovních režimů v období 1. 1. 2018 až 31. 12. 2018

Tab. 5-2 Četnosti pracovních režimů v období 1. 1. 2018 až 31. 12. 2018

Režim	1	2	3	4	Suma
Četnost	3532	9776	9796	49435	72539
Percentil	4,9	13,5	13,5	68,1	100

Zde je možno vyčíst velmi podobná data jako v předchozím případě. Nejhojněji je zastoupen opět pracovní režim číslo 4, na druhém a třetím místě s velmi podobnými hodnotami režimy 2 a 3, nejmenší procento zastoupení pak připadá na první pracovní režim. Pokud se podíváme na graf popisující průběh pracovních režimů, zjistíme, že obsahuje také hodnotu „0“. Takovým režimem sice systém nedisponuje, znamená však chybu nebo odstavení systému. Abychom mohli analyzovat data pro různá období, zaměřme se nyní na roční období. Jako první si vyhodnotíme zimu 2017/2018, tedy období od 21. 12. 2017 až 19. 3. 2018.



Obr. 5-2 Průběh pracovních režimů v období 21. 12. 2017 až 19. 3. 2018

Tab. 5-3 Četnosti pracovních režimů v období 21. 12. 2017 až 19. 3. 2018

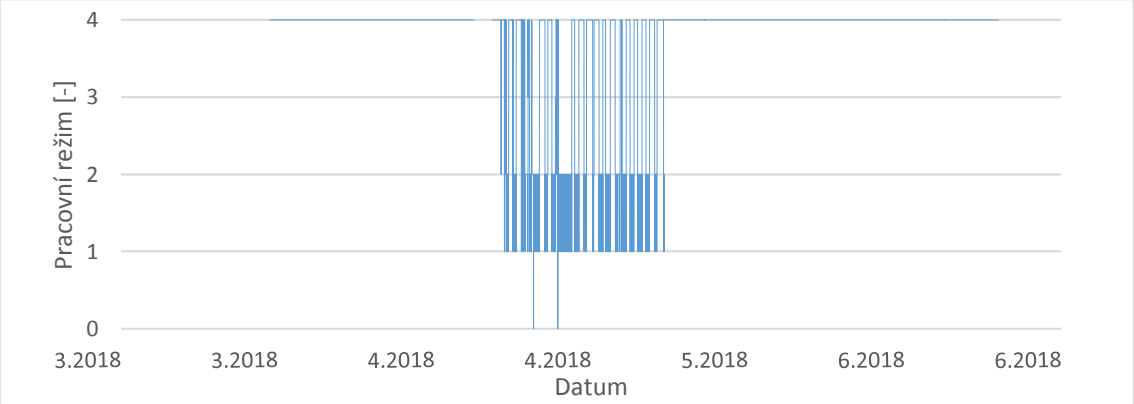
Režim	1	2	3	4	Suma
Četnost	0	0	0	11561	11561
Percentil	0	0	0	100	100

Jak můžeme vyčíst z grafu výše, v tomto období pracoval systém plných 100 % časového průběhu v režimu aktivního chlazení. To samé platilo i pro období následující zimy, tedy od 21. 12. 2018 do 15. 2. 2019, kdy byl záznam dat stažen. Nejedná se však o každoroční využití, například v zimě 2013/2014 byla četnost čtvrtého režimu, jak je

možno vidět v níže uvedené tabulce, výrazně nižší. Zachován však zůstal poměr mezi využitím druhého a třetího režimu – přibližně jedna ku jedné. Pokud by byl tento systém používán celoročně jako jediný zdroj tepla a chladu, předpokládal bych nejvyšší četnost prvního pracovního režimu právě v zimním období.

Tab. 5-4 Četnosti pracovních režimů v období 21. 12. 2013 až 19. 3. 2014

Režim	1	2	3	4	Suma
Četnost	7007	11300	11379	12578	42264
Percentil	16,57912	26,7367	26,92362	29,76055	100

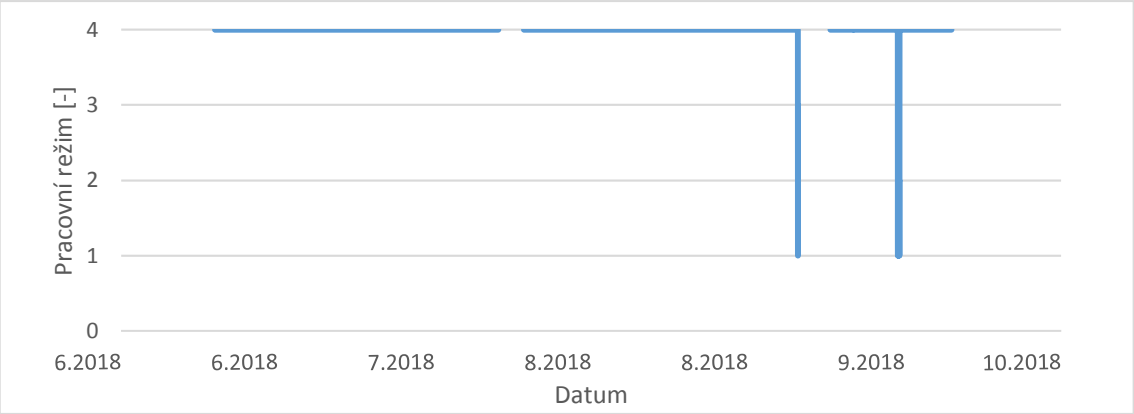


Obr. 5-3 Průběh pracovních režimů v období 20. 3. 2018 až 20. 6. 2018

Tab. 5-5 Četnosti pracovních režimů v období 20. 3. 2018 až 20. 6. 2018

Režim	1	2	3	4	Suma
Četnost	354	1496	1515	12936	16301
Percentil	2,2	9,2	9,3	79,4	100

Jarní období už vykazuje výrazné změny. Zde je možno vidět zastoupení všech pracovních režimů. Pořadí je však stejné jako v případě hodnocení celého analyzovaného období. Dokonce i poměr využití druhého a třetího systému zůstává téměř nezměněn.

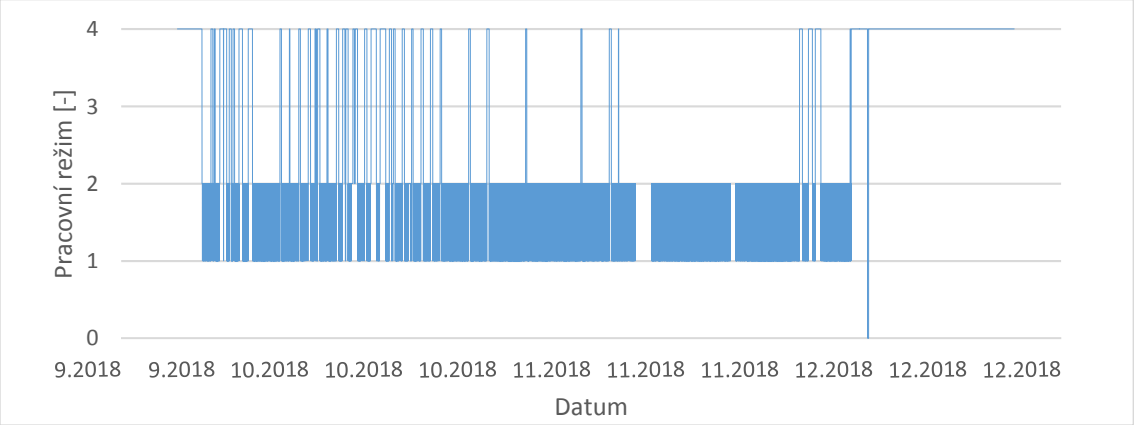


Obr. 5-4 - Průběh pracovních režimů v období 21. 6. 2018 až 22. 9. 2018

Tab. 5-6 – Četnosti pracovních režimů v období 21. 6. 2018 až 22. 9. 2018

Režim	1	2	3	4	Suma
Četnost	8	34	35	12458	12535
Percentil	0,1	0,3	0,3	99,4	100

Letní období využívá logicky nejčastěji aktivního chlazení. Ostatní pracovní režimy jsou zastoupeny sice nenulovými hodnotami percentilu, ale hodnoty se k nule velmi blíží.



Obr. 5-5 Průběh pracovních režimů v období 23. 9. 2018 do 20. 12. 2018

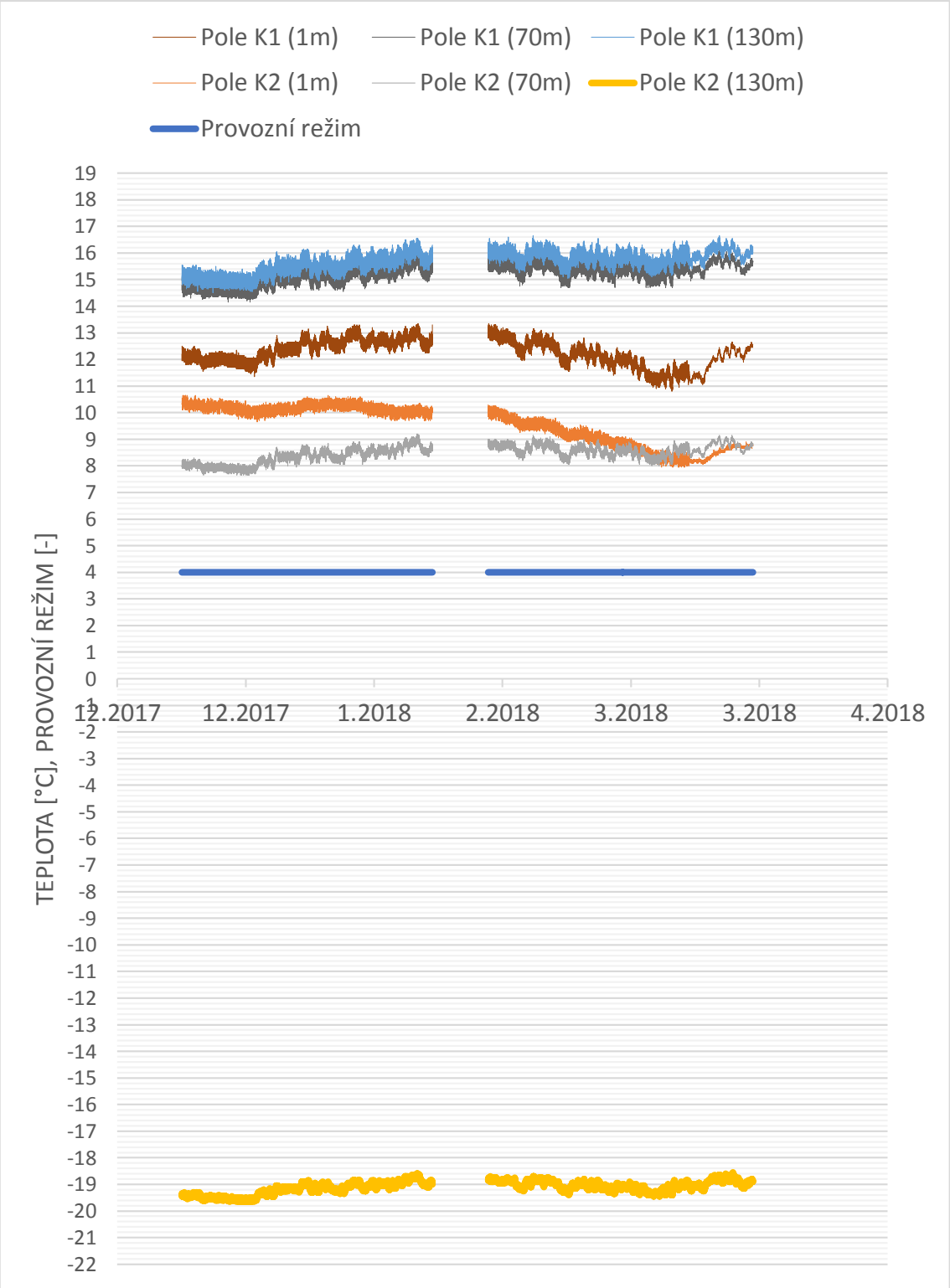
Tab. 5-7 Četnosti pracovních režimů v období 23. 9. 2018 do 20. 12. 2018

Režim	1	2	3	4	Suma
Četnost	3170	8246	8246	12480	32142
Percentil	9,9	25,7	25,7	38,8	100

Posledním nepopsaným ročním obdobím je podzim, tedy období od 23. 9. 2018 do 20. 12. 2018. Z výše uvedené tabulky můžeme jasně zpozorovat, že pořadí je sice neměnné, ale je zde zřetelný nárůst četnosti použití režimů 1, 2 a 3. Zajímavá je shoda četnosti dvou posledně jmenovaných, obě hodnoty jsou 8246.

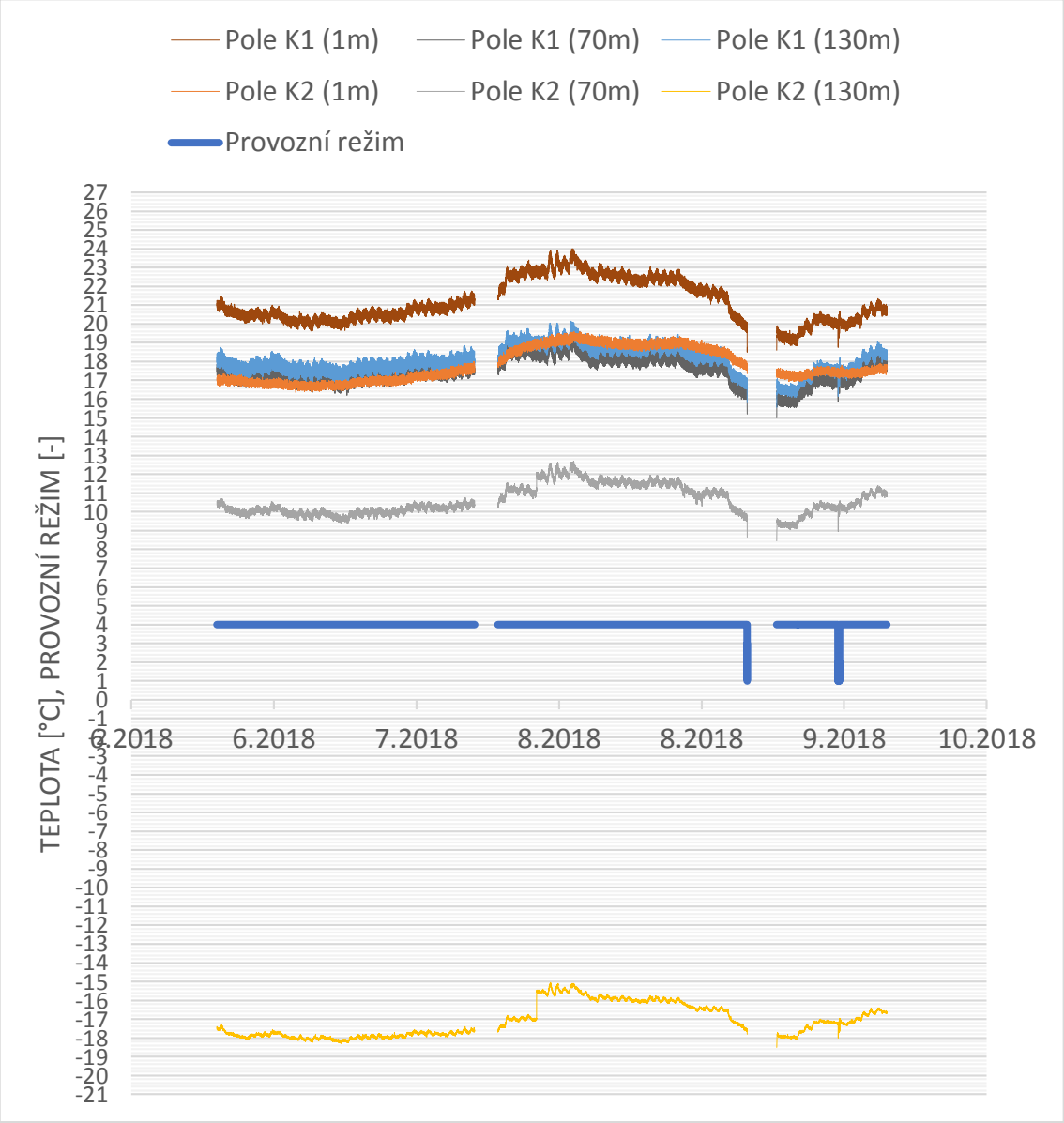
5.3 Analýza teplot

Jak bylo řečeno v kapitole 4.2 – Vrty, zkoumaný systém disponuje celkem 27 geotermálními vrty umístěnými do dvou polí (K1 a K2). Teplotní čidla najdeme v hloubkách 1 m, 8 m, 20 m, 70 m a 130 m, a sice v poli K1 na vrtu M1 a M2, v poli K2 potom na vrtu M3 a M4. Pro účely zkoumání byla data z vrtů jednotlivých polí zprůměrována a vybrána čidla v hloubkách 1 m, 70 m a 130 m. Stejně jako v předchozí kapitole, i zde se na problematiku zaměříme vzhledem k ročním obdobím. Na následujícím grafu je vidět průběh teplot během zimního období 21. 12. 2017 až 19. 3. 2018. Z grafu je patrná velmi nízká teplota pole K2 v hloubce 130 metrů, dalším zjištěním je potom podobný průběh teplot v hloubce jednoho metru, ovšem na jiných teplotních hladinách. Pole K1 je zhruba o 2°C teplejší než pole K2, v prvním případě se teplota pohybuje okolo 12°C, ve druhém potom okolo 10°C. Stejně tak podobný je průběh teplot i v případě hloubky 70 metrů, rozdíl mezi jednotlivými teplotními hladinami se však velmi zvětšil. V případě pole K1 se průměrná teplota blíží 15°C, ve druhém poli pak teplota dosahuje hodnot mezi 7,8 a 10°C. V případě hloubky 130 metrů je rozdíl teplot jednotlivých polí ještě daleko větší. Zatímco v případě prvního pole se teplota pohybuje mezi 15 a 16,5°C, teplota pole K2 je hluboko pod bodem mrazu a kolísá mezi -19,7 a -18,5°C. Rozdíl mezi teplotou pole K1 a K2 je tak v této hloubce více než 36°C.



Obr. 5-6 Grafické znázornění období 21. 12. 2017 - 19. 3. 2018 (ZIMA)

Zaměříme-li se na období léta roku 2018, tedy období 21. 6. 2018 až 22. 9. 2018, zjistíme výrazně větší rozdíl teplot jednotlivých polí už v hloubce 1 metru. Místo zimní hodnoty zhruba 2°C se nyní hodnota mění na přibližně 5°C. Průměrná teplota vrtů pole K1 se v této hloubce pohybuje mezi 18,4 a 24°C, zatímco ekvivalentní hodnota pro vrty pole K2 je 16,5 až 19,5°C. V případě hloubky 70 metrů obě teploty klesají. Vrty prvního pole v této hloubce mají teplotu mezi 15 a 19°C, zatímco teplotní průběh druhého pole se pohybuje mezi hodnotami 8,3 a 12,8°C. I zde je možno vidět podobnost průběhů pro stejné hloubky. Nejhlouběji uložená čidla potom hlásí teploty pro pole K1 mezi 16 a 21,2°C, pro pole K2 potom mezi -18,4 a -15°C. Teplotní rozdíl mezi jednotlivými poli se tak od zimního provozu liší jen málo.

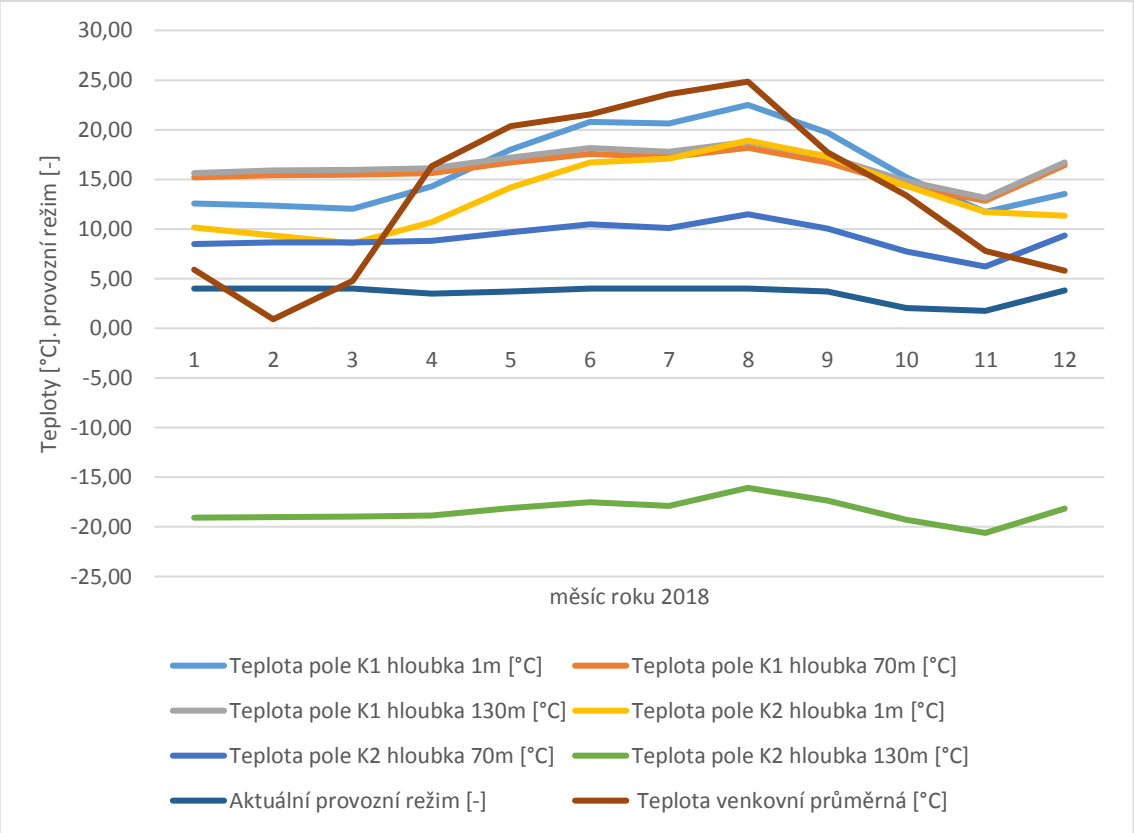


Obr. 5-7 Grafické znázornění období 21. 6. 2018 - 23. 9. 2018 (LÉTO)

Tab. 5-8 Vyjádření průměrných měsíčních hodnot teploty ve vrtech, venkovní teploty a provozních režimů

ROK 2018	**Teplota pole K1 hloubka 1m [°C]**	**Teplota pole K1 hloubka 70m [°C]**	**Teplota pole K1 hloubka 130m [°C]**	**Teplota pole K2 hloubka 1m [°C]**	**Teplota pole K2 hloubka 70m [°C]**	**Teplota pole K2 hloubka 130m [°C]**	**Aktuální provozní režim [-]**	**Převažující provozní režim [-]**	Teplota venkovní průměrná [°C]
leden	12,58	15,20	15,61	10,15	8,46	-19,09	4,00	4	5,9
únor	12,37	15,44	15,88	9,36	8,63	-19,01	4,00	4	0,9
březen	12,03	15,49	15,95	8,55	8,66	-18,99	4,00	4	4,8
duben	14,30	15,63	16,10	10,70	8,83	-18,84	3,49	3	16,3
květen	18,01	16,68	17,21	14,17	9,69	-18,09	3,69	4	20,4
červen	20,78	17,58	18,14	16,72	10,46	-17,49	4,00	4	21,6
červenec	20,61	17,23	17,80	17,09	10,07	-17,87	4,00	4	23,6
srpen	22,49	18,18	18,77	18,91	11,48	-16,07	4,00	4	24,8
září	19,73	16,71	17,28	17,29	10,03	-17,37	3,68	4	17,7
říjen	15,20	14,37	14,80	14,34	7,76	-19,29	2,06	2	13,4
listopad	11,72	12,84	13,13	11,70	6,22	-20,61	1,75	2	7,8
prosinec	13,55	16,43	16,70	11,32	9,34	-18,19	3,79	4	5,8

Výše uvedená tabulka popisuje měsíční průměrné hodnoty teplot jednotlivých polí v závislosti na měsíci v roce. Dále potom ukazuje na souvislosti těchto teplot a provozního režimu s průměrnou venkovní teplotou. Popis aktuálního režimu pomocí desetinných míst se nemusí zdát zcela korektní, ve skutečnosti existuje pouze číslování samostatných režimů, nicméně toto pojetí nám dává informaci a četnosti jednotlivých režimů v konkrétních měsících. Následný sloupec tabulky označuje převažující režim. Celou problematiku můžeme prostudovat v následujícím grafu.



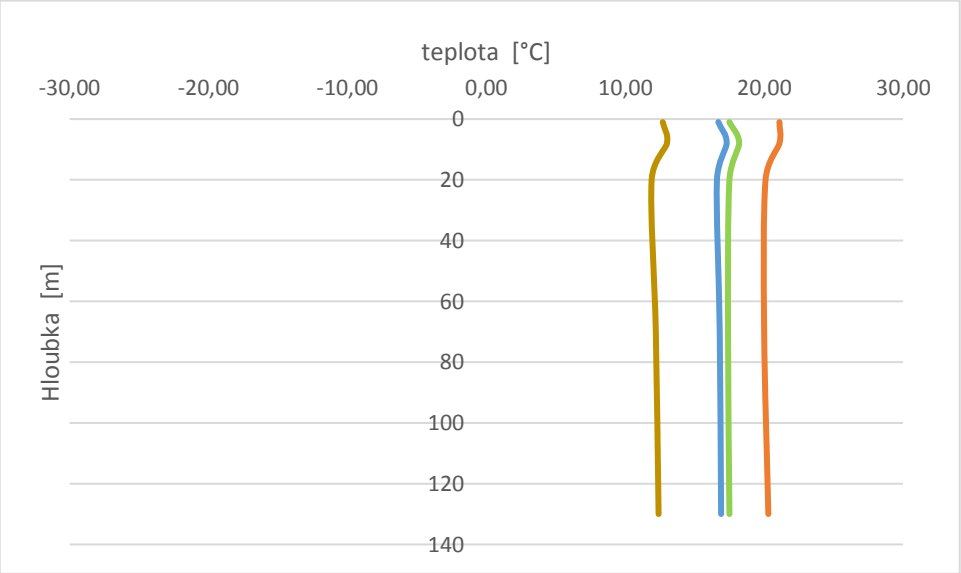
Obr. 5-8 Vyjádření průměrných měsíčních hodnot teploty ve vrtech, venkovní teploty a provozních režimů

Z grafu i tabulky je zřetelný průběh průměrných měsíčních venkovních teplot (myšleno měsíční průměr naměřených hodnot venkovní teploty), kdy nejnižší hodnotu najdeme v měsíci únoru (0,9°C), nejvyšší potom v srpnu (24,8°C). Významný pokles je zaznamenán od srpna do listopadu, kdy se průměrná měsíční venkovní teplota snížila o 17°C. Teploty vrtných polí v různých hloubkách vykazují podobný průběh s rozdílem teplotní hladiny, významnější zlomy najdeme v březnu a listopadu, kdy se jejich teplota mění směrem k vyšším hodnotám, dále potom v srpnu, kdy teplota naopak začíná klesat. Pokud budeme porovnávat ekvivalentní hodnoty obou polí, zjistíme, že v hloubce 1 m mají obě pole velmi podobné rozdíly průměrných měsíčních venkovních teplot. Lze také označit pole K2 za chladnější, jeho maximální teplota činí podle tabulky 18,91°C, což je o 3,58°C méně než v případě pole K1. Přestože obě maximální hodnoty byly zaznamenány v srpnu, je možné vysledovat posunutí cyklu změny teplot mezi oběma poli, zatímco pole K1 vykazuje svoji minimální hodnotu 11,72°C v listopadu, poli K2 klesá teplota až do února. Také v hloubce 70 metrů je rozdíl maximálních a minimálních hodnot pro obě pole velmi podobný, i zde pak můžeme zpozorovat obdobnou situaci jako

v předchozím případě – pole K1 má vyšší maximální hodnotu průměrné měsíční venkovní teploty, zde už ale o 6,7°C, tedy o téměř dvojnásobnou hodnotu než v metrové hloubce. Naopak posunutí cyklu zde nenajdeme, obě minimální hodnoty jsou v měsíci listopadu a činí pro pole K1 12,84°C, pro K2 potom 6,22°C. V případě hloubky 130 metrů můžeme vysledovat rozdílný trend pro obě pole. Zatímco v prvním případě teplota s hloubkou mírně roste, v druhém případě výrazně klesá. Minimální teplota pole K1 činí 13,13°C, ekvivalentní hodnota pro pole K2 je pak -20,61°C, přičemž obě hodnoty byly naměřeny v listopadu. Rozdíl tedy činí 33,74°C. Za zajímavý poznatek pro techniku tepelných čerpadel považuji také informaci, že přestože v zimě venkovní teplota často dosahuje hodnot pod bodem mrazu, nejnižší průměrná měsíční venkovní teplota byla pro rok 2018 na hodnotě 0,9°C. Tabulka také potvrzuje předpoklad, že v hloubce 130 metrů bude teplota během roku stálejší než tomu je v hloubce 1 metru. Na teploty ve vrtných polích má vliv zejména provozní stav – odběr nebo dodávka tepla do polomasivu, dále potom také teplota vzduchu. Dále můžeme zkoumat teploty jednotlivých vrtů v konkrétních hloubkách a ročních obdobích. Pro přehlednost jsem k analýze vybral měsíce leden, duben, červenec a září, které nám budou symbolizovat čtyři roční období. Hodnoty uvedené v tabulce platí vždy pro první den v měsíci a čas 12:00. Aby bylo možné jednotlivé vrty mezi sebou komparovat, grafická znázornění jsou vyobrazena ve stejných osách. Na přiloženém nosiči pak je možno nalézt tytéž grafy s upravenými osami.

Tab. 5-9 Popis teplot vrtu M1 pro konkrétní hloubky a roční období

hloubka [m]	1	8	20	70	130
	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]
LEDEN	16,70	17,3	16,60	16,80	16,90
DUBEN	17,5	18,2	17,5	17,4	17,5
ČERVENEC	21,1	21,1	20,1	20	20,3
ŘÍJEN	12,7	13	11,9	12,2	12,4

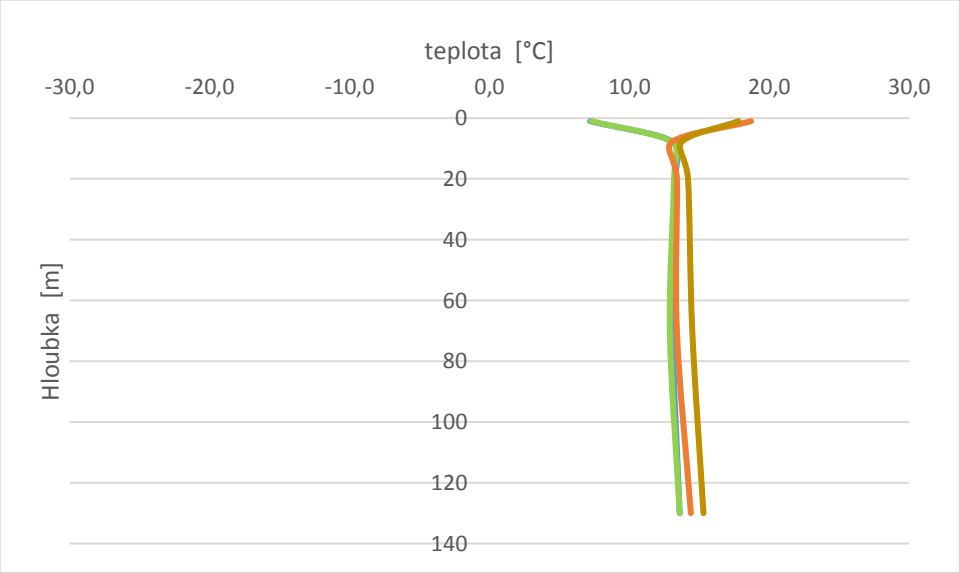


Obr. 5-9 Grafické znázornění teplot vrtu M1 pro konkrétní hloubky a roční období

Jak je z výše uvedené tabulky a grafu patrné, teplota se v tomto vrtu s hloubkou liší jen v řádu desetin až jednotek stupňů Celsia, liší se však vzhledem k ročnímu období. Zde je rozdíl i více než 4°C. Zajímavá je stálost teplot za všech ročních období ve hloubce větší než 20 m.

Tab. 5-10 Popis teplot vrtu M2 pro konkrétní hloubky a roční období

hloubka [m]	1	8	20	70	130
	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]
LEDEN	7,2	13,2	13,3	13,1	13,6
DUBEN	7,3	13,1	13,2	12,9	13,6
ČERVENEC	18,7	13,0	13,4	13,4	14,4
ŘÍJEN	17,8	13,7	14,2	14,5	15,3

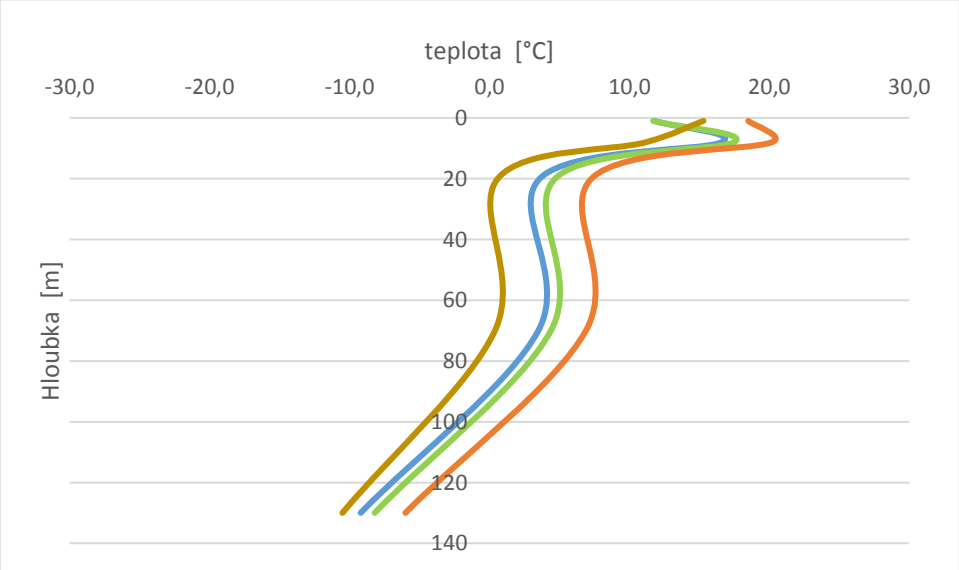


Obr. 5-10 Grafické znázornění teplot vrtu M2 pro konkrétní hloubky a roční období

Vrt M2 je druhým vrtem pole K1. Zde je již velmi zřetelný rozdíl mezi první a druhou polovinou roku v hloubce do 20 m. Zatímco lednové teploty se velmi podobají dubnovým (proto jsou také těžko zpozorovatelné na grafu), červencové a říjnové teploty jsou o více než 10°C vyšší než v případě první poloviny roku. Čidla v hloubce větší než 20 metrů potom hlásí poměrně podobné hodnoty pro všechna roční období.

Tab. 5-11 Popis teplot vrtu M3 pro konkrétní hloubky a roční období

hloubka [m]	1	8	20	70	130
	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]
LEDEN	11,8	16,6	3,6	3,5	-9,2
DUBEN	11,7	17,5	4,7	4,4	-8,2
ČERVENEC	18,5	20,2	7,3	6,9	-6,0
ŘÍJEN	15,3	11,2	0,6	0,4	-10,5

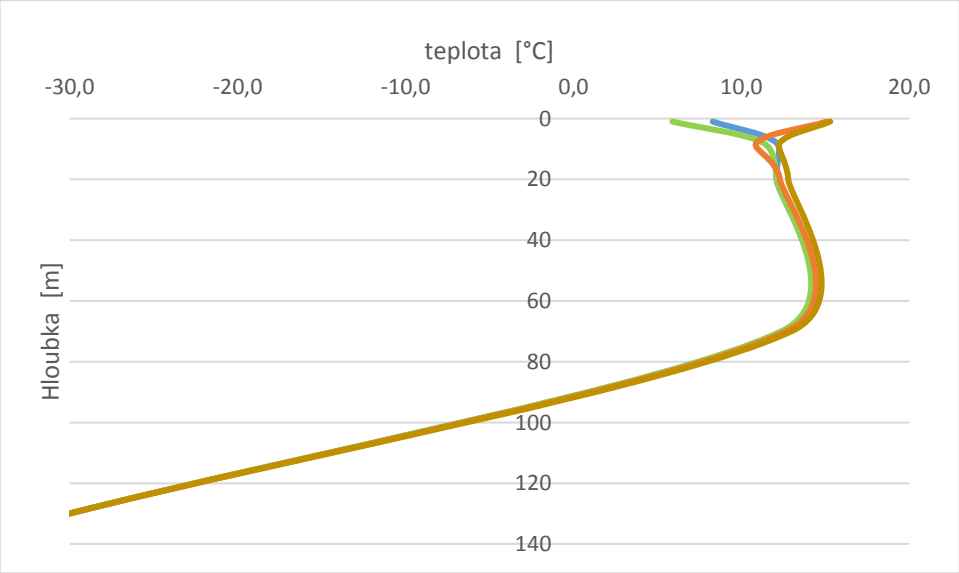


Obr. 5-11 Grafické znázornění teplot vrtu M3 pro konkrétní hloubky a roční období

Průběhy teplot vrtu M3 mají zcela odlišný charakter od dvou předchozích. Z grafu je patrný průběh, který je velmi podobný pro všechna roční období. Jedinou výjimkou je období zimní, které neobsahuje typickou smyčku danou ochlazováním povrchové zeminy z důvodu nízké venkovní teploty. Dále můžeme v grafu zpozorovat nárůst teploty mezi hloubkami 20 až 70 metry, dále už s hloubkou teplota opět klesá. Největší rozdíl mezi teplotami v hloubkách 1 a 130 metrů má říjen, kdy rozdíl činí 25,8°C.

Tab. 5-12 Popis teplot vrtu M4 pro konkrétní hloubky a roční období

hloubka [m]	1	8	20	70	130
	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]	teplota [°C]
LEDEN	8,3	12,1	12,1	12,5	-30,0
DUBEN	5,9	11,3	12,1	12,4	-30,0
ČERVENEC	15,1	10,9	12,3	12,7	-30,0
ŘÍJEN	15,3	12,3	12,8	13,0	-30,0

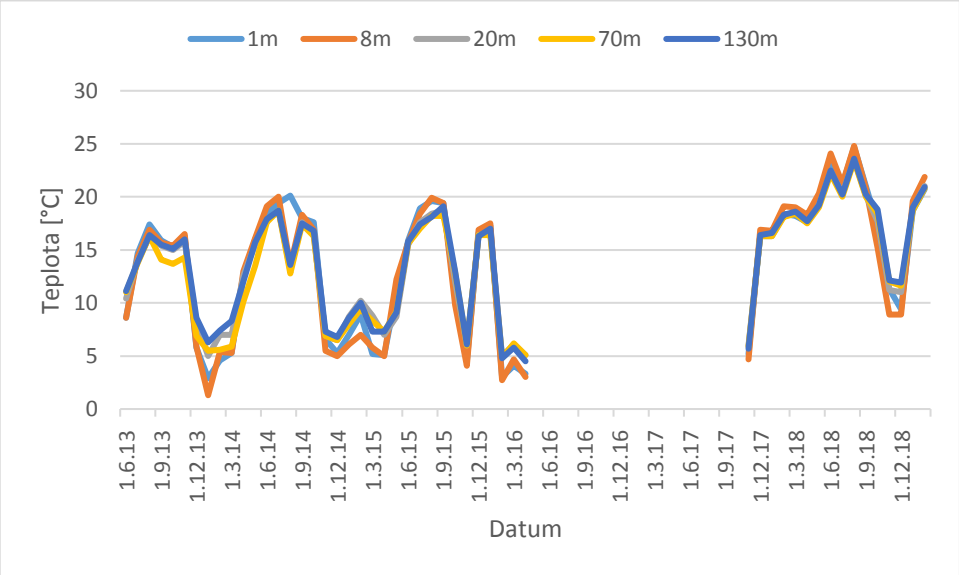


Obr. 5-12 Grafické znázornění teplot vrtu M4 pro konkrétní hloubky a roční období

V případě vrtu M4 najdeme větší rozdíly teplot pouze do hloubky 20 metrů. Dále jsou teplotní křivky velmi podobné, do hloubky 70 metrů teplota roste a dále strmě klesá až k hodnotě -30°C. Ta je shodná pro všechna roční období, a tak je zde na místě pochybovat o věrohodnosti naměřených hodnot. Tuto teorii potvrzuje obr. 5-16, který pro období po posledním výpadku sběru dat skutečně ukazuje konstantní hodnotu -30°C. Na obr. 5-12 můžeme zjistit již známou skutečnost ovlivnění povrchové zeminy nízkou venkovní teplotou pro období zimy a jara, pro zbylá dvě období je naopak teplota i o více než 6°C vyšší. Je na místě uvést, že se nejedná o zcela legitimní popis situace, omezujeme se na konkrétní hloubky, ze kterých máme pomocí čidel informace o teplotách. Další omezení spočívá v reprezentaci ročních období čtyřmi vybranými měsíci.

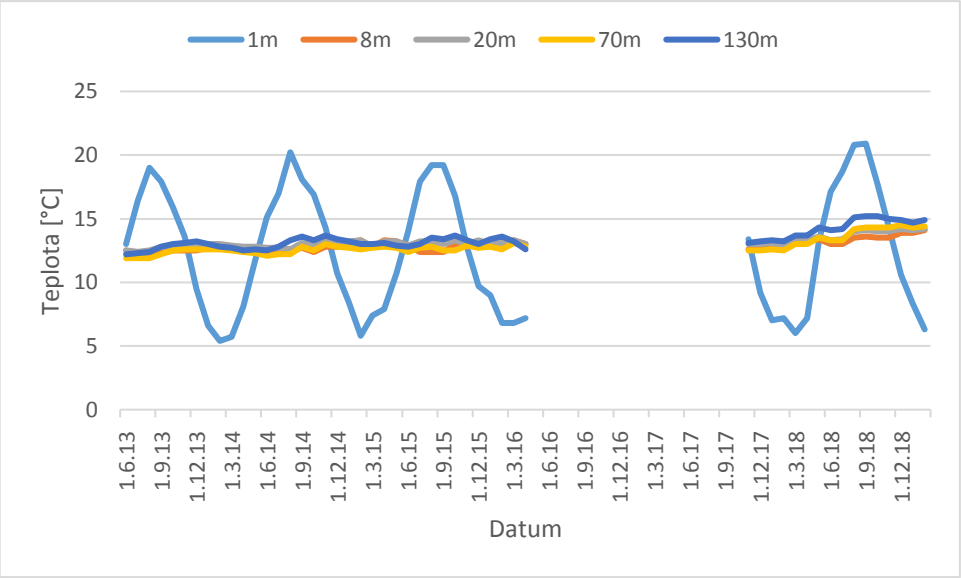
5.4 Analýza teplot masivu

Pro potřeby dlouhodobého zkoumání změn teplot v masivu byla zpracována data za období od 1. 6. 2013 do 1. 2. 2019, a sice vždy první den v měsíci v 0 hodin a 0 minut. Není bohužel možné hodnotit období od 1. 5. 2016 do 1. 10. 2017, jelikož se data z těchto časů nezachovala pro hackerský útok. Analyzovány byly 4 vrty osazené měřidly. Jedná se o dva vrty pole K1 (vrty M1 a M2) a dva vrty pole K2 (vrty M3 a M4). Zmíněná měřidla jsou umístěna vždy v hloubkách 1 m, 8 m, 20 m, 70 m, a 130 m. Tyto hloubky jsou na grafu barevně odlišeny.



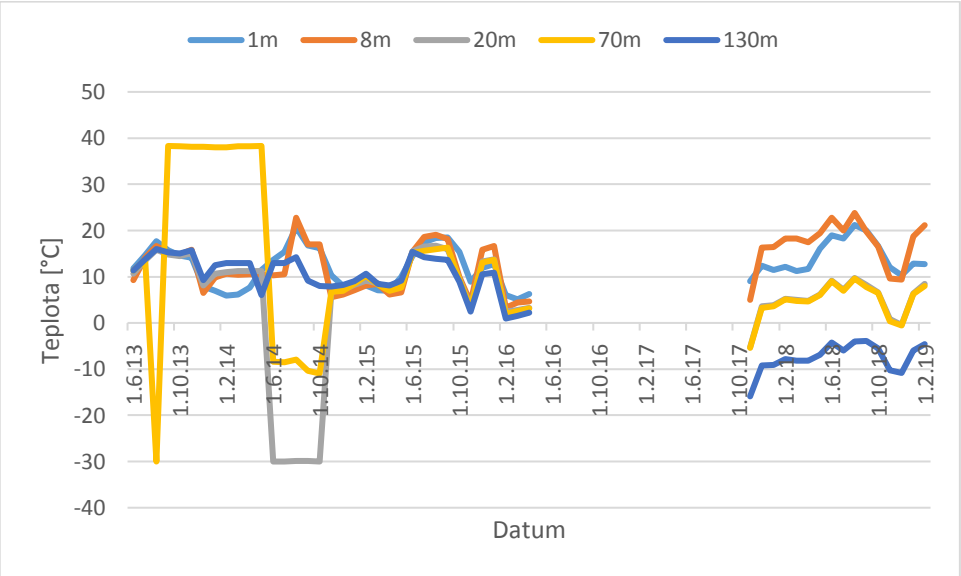
Obr. 5-13 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K1M1

Z tohoto grafu je patrná podobnost teplot ve všech hloubkách. Ty se od sebe téměř neliší, jejich hodnoty se pohybují v rozmezí 2 až 25 °C. Patrný je také pravidelný pokles teplot v zimním období, naopak v létě jsou teploty nejvyšší. Jedná se tak o pravidelné cyklování teplot ve zmíněném rozmezí, jehož hnací silou jsou vždy roční období.



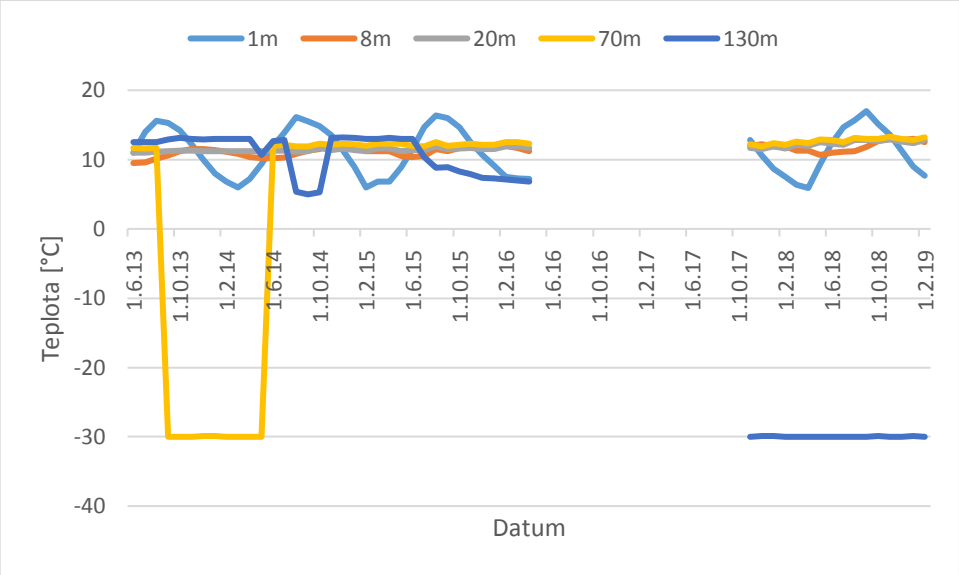
Obr. 5-14 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K1M2

Obr. 5-14 ukazuje výrazně jiné průběhy než graf předešlý. Průběhy se liší pro všechny hloubky vyjma 1 m, který zaujímá podobný postoj jako vrt M1. Větší hloubky vykazují výraznou setrvačnost, tyto hodnoty se liší minimálně, každopádně je zde pozorovatelné oteplování vrtu. Teploty v roce 2019 jsou totiž o téměř 3 °C vyšší než byly v roce 2013.



Obr. 5-15 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K2M3

Vrt M3 vykazuje významné rozdíly hladin hodnot teploty pro různé hloubky. Výrazné výkyvy můžeme zjistit pro hloubky 20 m a 70 m, kdy v prvním případě klesá hodnota až na teplotu -30°C, ve druhém případě se pak teplota snižuje na stejnou hodnotu, ale následně roste až k teplotě 40 °C. Od 1. 10. 2017 je potom znatelné snižování teploty masivu s rostoucí hloubkou.

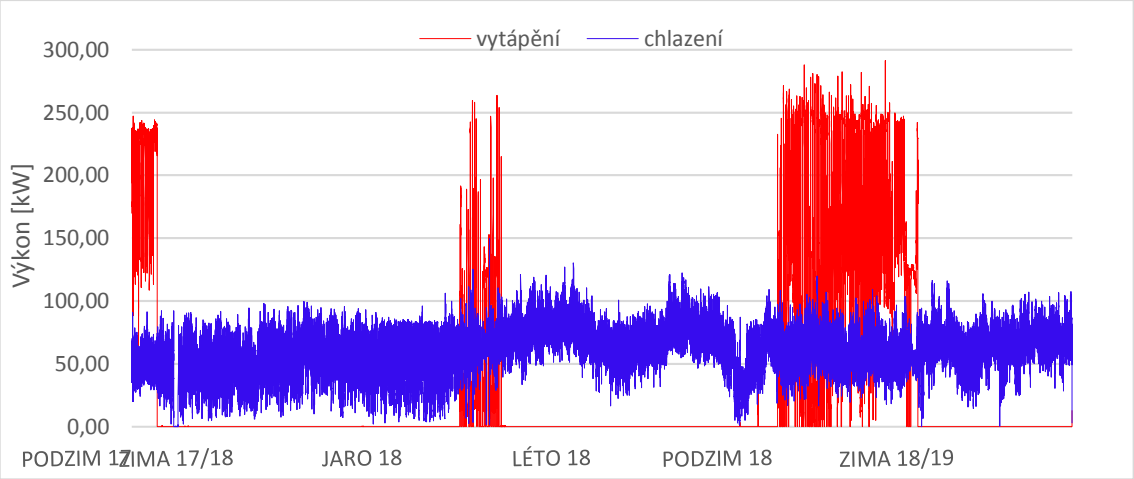


Obr. 5.16 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K2M4

Vrt M4 vykazuje vcelku stabilní teploty v hloubkách 1 až 20 metrů, hloubka 70 m pak obsahuje stejný pokles jako vrt M3, naopak po zbytek analyzovaného období je teplota právě v této hloubce velmi stabilní. Z grafu je též patrná velmi nízká teplota v hloubce 130 m pro období po hackerském útoku. Jak už bylo řečeno během hodnocení obr. 5-12, zde je na místě předpokládat, že se jedná o chybu měření. Podobnou příčinu bych hledal i v případě hloubky 70 m a období přelomu let 2013 a 2014, kdy data poukazují na stejnou teplotu jako v prvním případě – tedy na -30°C. Vysvětlením této problematiky by mohlo být tvrzení, že v případě nesprávné funkce teplotního čidla toto čidlo hodnotí teplotu jako nejnižší měřitelnou hodnotu odpovídající tomuto čidlu.

5.5 Analýza výkonů

Stejně jako v případě četnosti provozních režimů, pojďme se na problematiku výkonů zaměřit nejprve za celé zkoumané období, dále potom za rok 2018, jeho roční období, a nakonec potom z pohledu měsíců v roce.

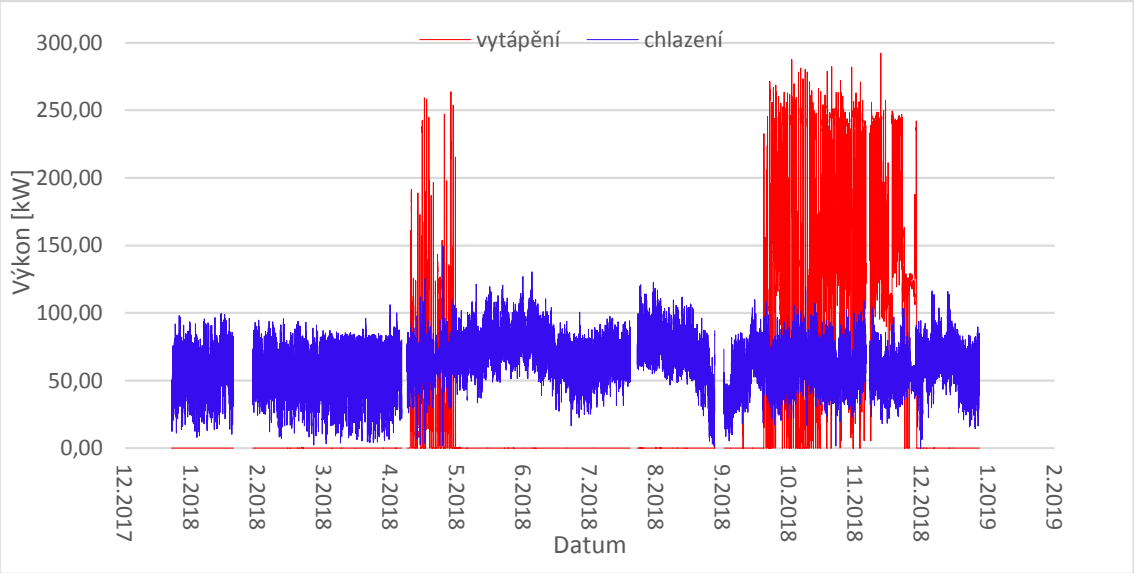


Obr. 5-17 Průběh výkonů pro celé zkoumané období (1. 11. 2017 až 15. 2. 2018)

Jak můžeme vyčíst z obr. 5-17, průběhy obou výkonů mají velmi proměnlivé hodnoty. V přiložené tabulce se můžeme zaměřit na četnost nulové hodnoty obou výkonů. Zjistíme, že v případě výkonu tepelného je tato četnost více než dvojnásobná.

Tab. 5-13 Četnost jednotlivých hladin výkonů za celé zkoumané období (1. 11. 2017 až 15. 2. 2018)

Tabulka četností jednotlivých úrovní výkonů		Výkon vytápěcí [kW]		Výkon chladicí [kW]	
Výkony	**Hodnoty**	**Četnost**	**Percentil**	**Četnost**	**Percentil**
10	0 až 10	53626	83,13%	26657	41,32%
20	10 až 20	661	1,02%	1399	2,17%
30	20 až 30	268	0,42%	2378	3,69%
40	30 až 40	144	0,22%	2128	3,30%
50	40 až 50	142	0,22%	1803	2,79%
60	50až 60	145	0,22%	1702	2,64%
70	60 až 70	186	0,29%	1583	2,45%
80	70 až 80	212	0,33%	2270	3,52%
90	80 až 90	244	0,38%	2826	4,38%
100	90 až 100	268	0,42%	1560	2,42%
110	100 až 110	357	0,55%	1084	1,68%
120	110 až 120	687	1,06%	1212	1,88%
130	120 až 130	706	1,09%	1907	2,96%
140	130 až 140	620	0,96%	3663	5,68%
150	140 až 150	552	0,86%	5601	8,68%
160	150 až 160	359	0,56%	5513	8,55%
170	160 až 170	310	0,48%	1206	1,87%
180	170 až 180	239	0,37%	8	0,01%
190	180 až 190	280	0,43%	4	0,01%
200	190 až 200	265	0,41%	1	0,00%
210	200 až 210	320	0,50%	3	0,00%
220	210 až 220	443	0,69%	0	0,00%
230	220 až 230	896	1,39%	0	0,00%
240	230 až 240	893	1,38%	0	0,00%
250	240 až 250	795	1,23%	0	0,00%
	nad 250	891	1,38%	1	0,00%
	CELKEM	**64509**	**100,00%**	**64509**	**100,00%**

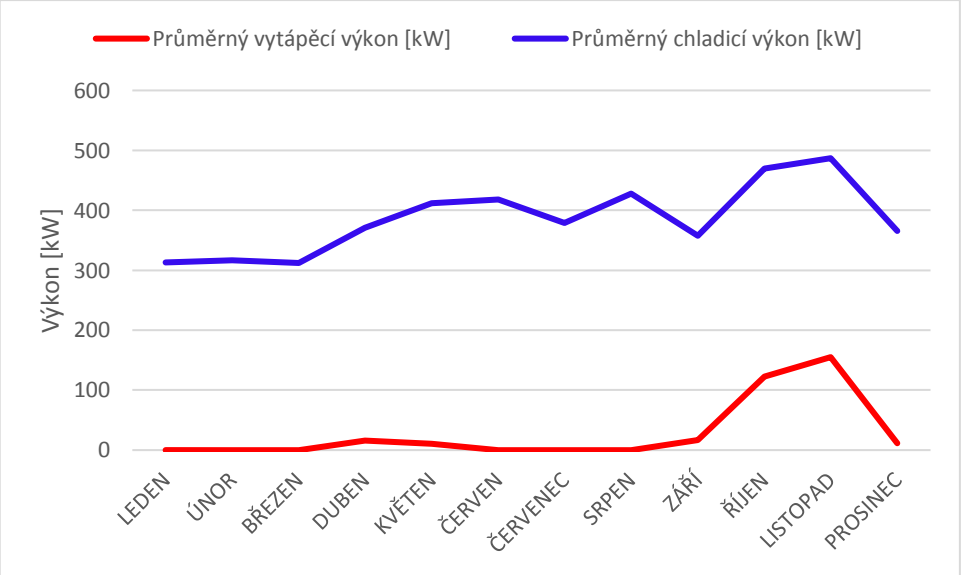


Obr. 5-18 Průběh výkonů pro období celého roku 2018

Nyní můžeme analyzovat období průběhu roku 2018. Z tohoto grafu je kromě již výše popsaného možno zpozorovat špičky vytápěcího výkonu. Horní špičky jsou často vztaženy na brzké ranní hodiny, zatímco špičky dolní na hodiny odpolední. Za účelem analýzy jsem data výkonů zprůměroval za jednotlivé měsíce. Z následující tabulky vyplývá, že nejvyšší průměrnou hodnotu vytápěcího výkonu měl v roce 2018 měsíc listopad, zatímco měsíce leden, únor, březen, červenec a srpen mají hodnotu nulovou. Nulová hodnota v tomto případě neznamená zcela nulový průběh v rámci celého měsíce, jedná se o průměrnou hodnotu zaokrouhlenou na celé číslo. Hodnoty chladicího výkonu však nulové nejsou, pohybují se od 312 kW pro měsíc březen do 487 kW pro listopad. Tento výkon je důležitý pro chlazení nejen budovy jako takové, ale především pro chlazení laboratorních přístrojů. Totéž znázorňuje i následující tabulka a graf.

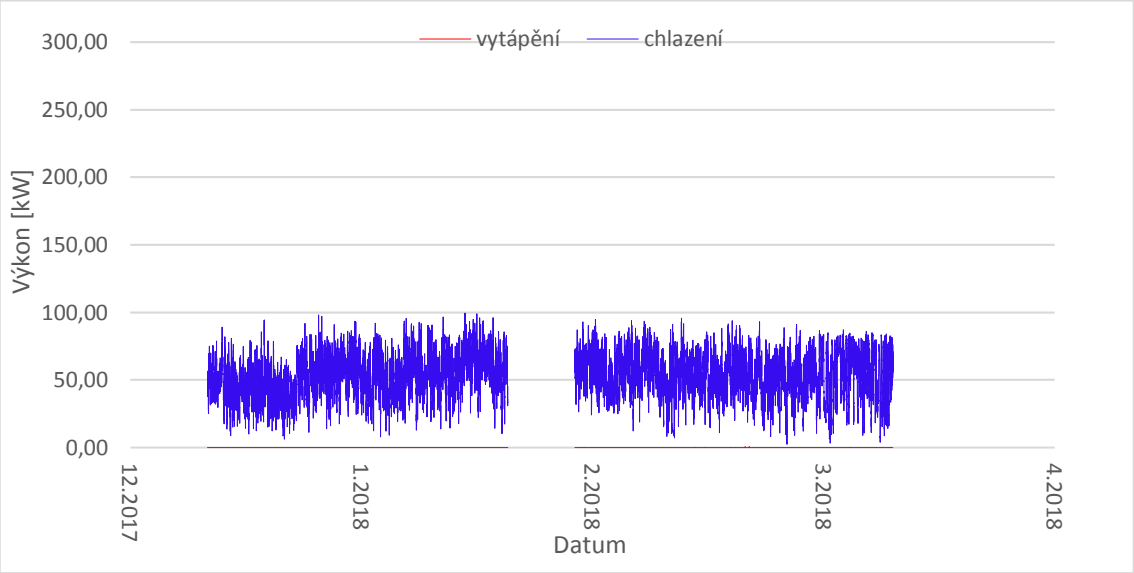
Tab. 5-14 Průměrné měsíční hodnoty výkonů pro období celého roku 2018

	Průměrný vytápěcí výkon [kW]	Průměrný chladicí výkon [kW]
LEDEN	0	313
ÚNOR	0	317
BŘEZEN	0	312
DUBEN	16	371
KVĚTEN	11	412
ČERVEN	0	418
ČERVENEC	0	379
SRPEN	0	428
ZÁŘÍ	17	358
ŘÍJEN	122	470
LISTOPAD	155	487
PROSINEC	11	366



Obr. 5-19 Průměrné měsíční hodnoty výkonů pro období celého roku 2018

Následně si můžeme zhodnotit jednotlivá roční období. Jak je vidět na následujícím grafu, zde se potvrzuje tvrzení, že v zimním období 2017/2018 byl zvolen jiný systém určený k vytápění. Po celou zimu je totiž vytápěcí výkon sledovaného zařízení buďto zcela nebo téměř nulový. Nenulových hodnot nabývá například 1. 3. 2018 od 7:50 do 9:00 hodin. Zároveň je ale patrná potřeba celou zimu chladit. Chladicí výkon se pohybuje mezi 2 a 100 kW, přičemž průměrná hodnota a medián jsou přibližně stejné, tedy 53 a 54 kW.



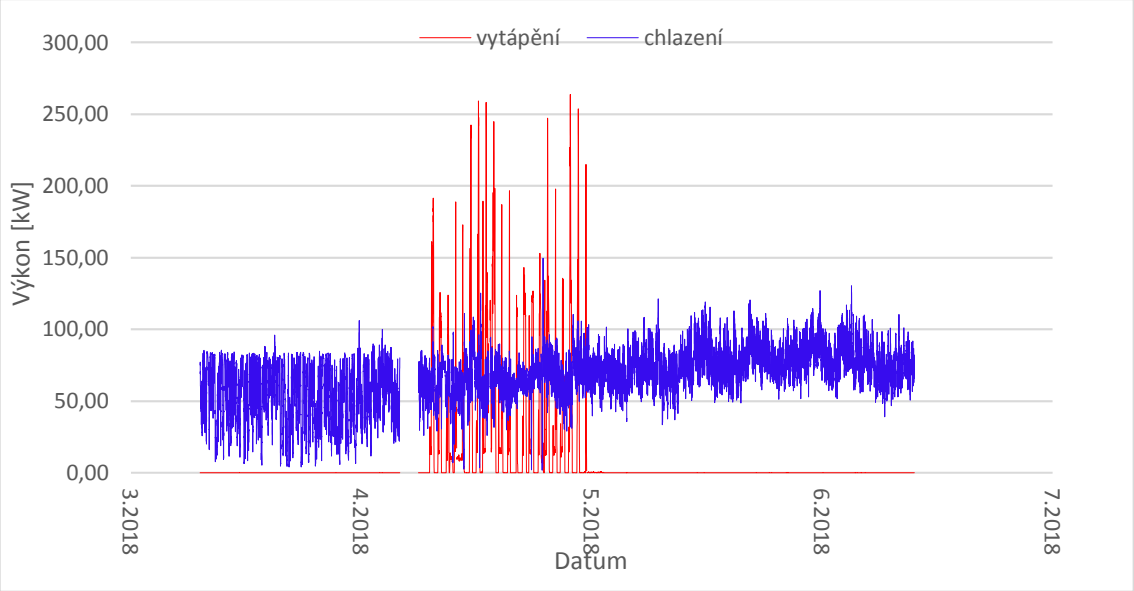
Obr. 5-20 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v zimním období 2017/2018 (21. 12. 2017 až 19.03. 2018)

Tab. 5-15 Tabulka hodnocení výkonů pro období zimy 2017/2018 (21. 12. 2017 až 19.03. 2018)

	Vytápěcí výkon [kW]	Chladicí výkon [kW]
Maximum	1	100
Minimum	0	2
Medián	0	54
Průměr	0	53

Jarní období už nám jasně ukazuje, že systém dokáže vytápět i chladit v ten samý moment. Z grafu je zcela zřetelné období od 2. 5. 2018, kdy systém začal vytápět o půlnoci na nižší výkon, který byl okolo 4. hodiny ranní výrazně zvýšen, následně potom okolo 9:30 hodin systém výrazně ubíral na výkonu. Ten byl už od zhruba 11 hodin téměř nebo zcela nulový. V některých dnech je dokonce možno vypozorovat sepnutí vytápění již večer předchozího dne (například dne 24. 4. 2018 ve 22:30), jedná se však o výjimky. Z tabulky je patrné, že maximum vytápěcího výkonu bylo v tomto období 264 kW, časový průměr je však pouze 8 kW. To je způsobeno převážně dlouhými časovými úseky s nulovým vytápěcím výkonem. U chladicího výkonu můžeme vysledovat trend zvyšování. To přisuzuji oteplování během jarního období a následnou vyšší potřebou chladu. Stejně jako v období zimy, i zde platí, že průměrná hodnota chladicího výkonu

a jeho medián jsou přibližně stejné. Chladicí výkon se v průběhu dne vychyluje od průměrných hodnot na obě strany, dochází k tomu nepravidelně a velmi náhle.

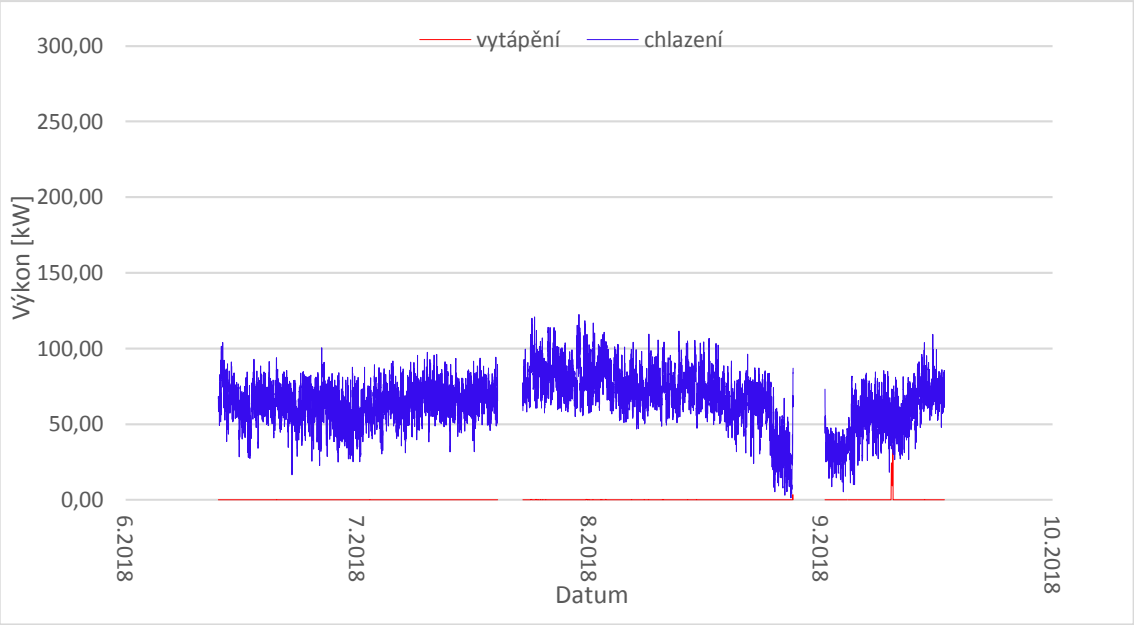


Obr. 5-21 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v jarním období 2018 (20. 3. 2018 až 21. 6. 2018)

Tab. 5-16 Tabulka hodnocení výkonů pro období jara 2018 (20. 3. 2018 až 21. 6. 2018)

	Vytápěcí výkon [kW]	Chladicí výkon [kW]
Maximum	264	150
Minimum	0	2
Medián	0	70
Průměr	8	68

V případě letního období je logická absence vytápěcího výkonu. Ten nalezneme pouze ve dni 16. 9. 2018 od 2:10 do 8:20 hodin. Ve stejném čase můžeme zaznamenat také sníženou potřebu chladu a nižší naměřenou venkovní teplotu. Jednalo se tak pravděpodobně o náhlou změnu počasí směrem k nižším teplotám. Z grafu je také možno vypozorovat trend popisující zvýšenou potřebu chladu při vyšších venkovních teplotách v průběhu srpna a naopak sníženou potřebu v případě chladnějšího září. Stejně jako v případě jara, ani zde se medián a průměrná hodnota chladicího výkonu téměř neliší.

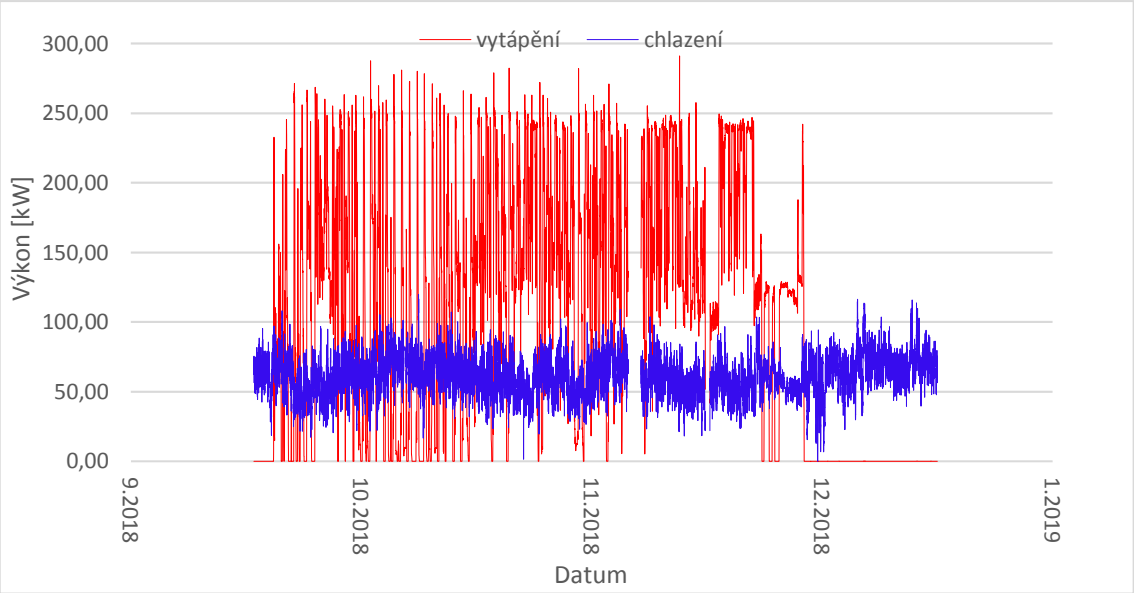


Obr. 5-22 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v letním období 2018 (21. 6. 2018 až 22. 9. 2018)

Tab. 5-17 Tabulka hodnocení výkonů pro období léta 2018 (21. 6. 2018 až 22. 9. 2018)

	Vytápěcí výkon [kW]	Chladicí výkon [kW]
Maximum	36	123
Minimum	0	1
Medián	0	67
Průměr	0	66

Naopak uklidnění výkyvů hodnot chladicího výkonu můžeme zpozorovat na grafu znázorňujícím podzim roku 2018. V tomto období se průměrná hodnota a medián chladicího výkonu neliší téměř vůbec. Jeho maximální hodnota 120 kW se jen málo liší od letního období. Výrazné výkyvy však můžeme zpozorovat u výkonu vytápěcího, jehož maximum činí 291 kW. Je zde také zajímavá hodnota mediánu 114 kW, která poukazuje na výrazně sníženou četnost nulového výkonu. Vytápěcí výkon v tomto období mění svoji hodnotu poměrně pravidelně, nejedná se však o podobnou závislost jako v jarním období. Zde můžeme vysledovat sepnutí několikrát do dne, zdaleka ne tolikrát pak systém vypíná zcela na nulu. Změnu je možno vidět až 3. 12. 2018, kdy roli vytápění pravděpodobně převzal jiný zdroj tepla.



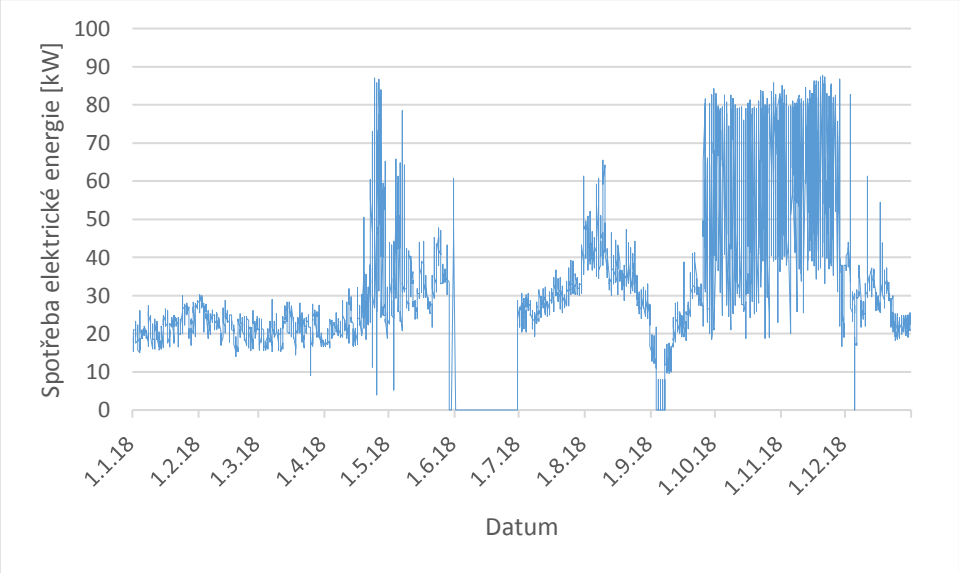
Obr. 5-23 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v podzimním období 2018 (23. 9. 2018 až 20. 12. 2018)

Tab. 5-18 Tabulka hodnocení výkonů pro období podzimu 2018 (23. 9. 2018 až 20. 12. 2018)

	Vytápěcí výkon [kW]	Chladicí výkon [kW]
Maximum	291	120
Minimum	0	0
Medián	114	62
Průměr	102	62

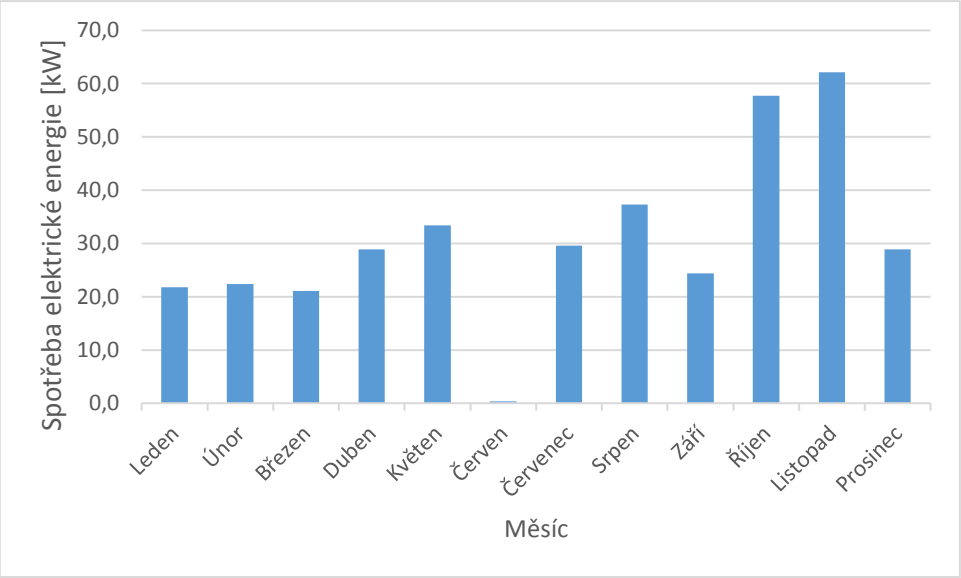
5.6 Spotřeba elektrické energie

Data potřebná pro analýzu spotřeby elektrické energie byla získána v podobě čtvrthodinových maxim. Tento termín je v odborné veřejnosti vnímán jako průměrná hodnota elektrického příkonu za jednu čtvrthodinu. Nejedná se tak o kWh jak by se mohlo zpočátku zdát, ale už o jednotky kW [L12]. Maxima pro rok 2018 byla zahrnuta v balíčku poskytnutém Ing. Vítem Mrázem – jednatelem TRONIC CONTROL s.r.o. Aby bylo možné sledovat průběh křivek přehledněji, byla tato data zprůměrována pro hodinový krok.



Obr. 5-24 Spotřeba elektrické energie za rok 2018

Z obr. 2-24 je patrný květnový výrazný nárůst spotřeby energie, který na období letních prázdnin zase pomine. Začátkem akademického roku potom můžeme zaznamenat další nárůst, který trvá až do prosince. Bohužel v období 29. 5. 2018 až 30. 5. 2018 došlo ke ztrátě dat. Graficky je tak vynesena spotřeba elektrické energie nulová, což zcela jistě nekoresponduje se skutečností. To samé platí pro téměř celé období června, rozmezí od 3. do 7. září 2018 a tříhodinové období dne 5. 12. 2018. Příčinou této ztráty je patrně technická závada.

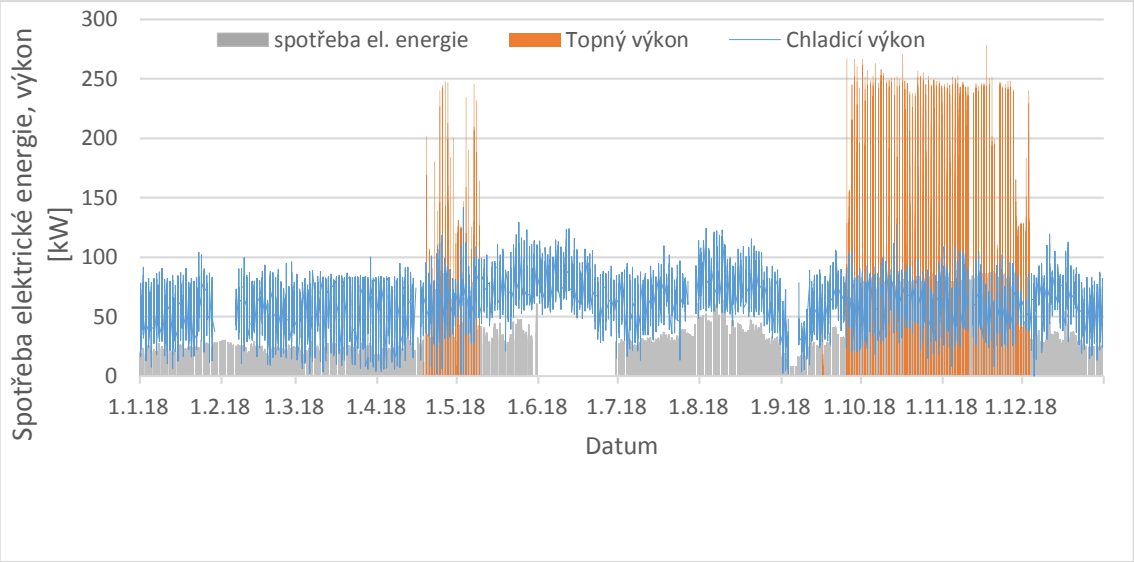


Obr. 5-25 Grafické vyjádření průměrných měsíčních hodnot spotřeby elektrické energie

Tab. 5-19 Roční hodnocení spotřeby elektrické energie

MĚSÍC	PRŮMĚR [kW]	MAXIMUM [kW]	MINIMUM [kW]	MEDIÁN [kW]
Leden	21,7	30	15	21,25
Únor	22,4	30,25	14	22,75
Březen	21,0	29	9	21
Duben	28,8	87	4	23,5
Květen	33,3	78,5	0	33,125
Červen	0,3	28,75	0	0
Červenec	29,6	61,25	19,25	29,25
Srpen	37,3	65,5	16,75	36
Září	24,4	84,25	0	22,625
Říjen	57,8	85,75	18,75	62,75
Listopad	62,2	87,75	16,75	67,125
Prosinec	28,9	82,75	0	28,25

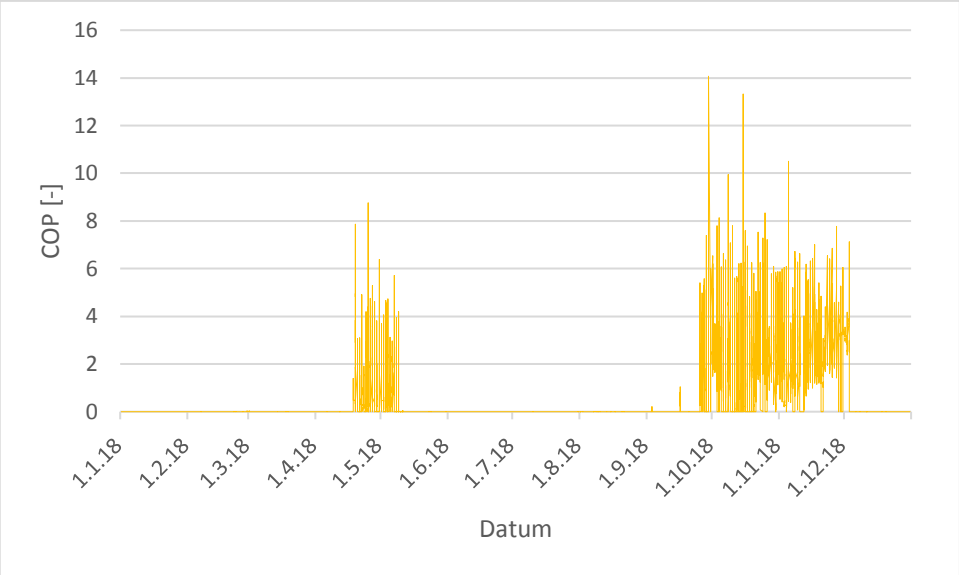
Jak můžeme z předešlé tabulky a grafu zjistit, průměrné měsíční hodnoty se standartně pohybují v rozmezí 21 až 62,2 kW. Průměr je nejvyšší pro měsíce říjen a listopad, kdy je hodnota průměru oproti měsíci březnu téměř trojnásobná. Červeně označená čísla symbolizují data ovlivněná ztrátou dat. Abychom neovlivnili objektivnost analýzy naměřených dat, tato do vyhodnocování nezahrneme. Velmi zajímavé jsou hodnoty maxim pro měsíce září, říjen, listopad a prosinec. Tyto hodnoty jsou si totiž meziměsíčně velmi podobné. Hodnoty minim se pohybují v rozmezí od 4 kW pro období dubna 2018 až po červencovou hodnotu 19,25 kW.



Obr. 5-26 Grafické vyjádření průběhu spotřeby el. energie, topného a chladicího výkonu

Z předešlého grafu je možné vyhodnotit, že spotřeba elektrické energie je velmi závislá na topném a chladicím výkonu. Zatímco topný výkon je nenulový jen v některých obdobích roku, chladicí výkon je až na malé výjimky velmi předvídatelný. Zřejmý je nárůst chladicího výkonu v období léta.

5.7 Hodnocení topného a chladicího faktoru



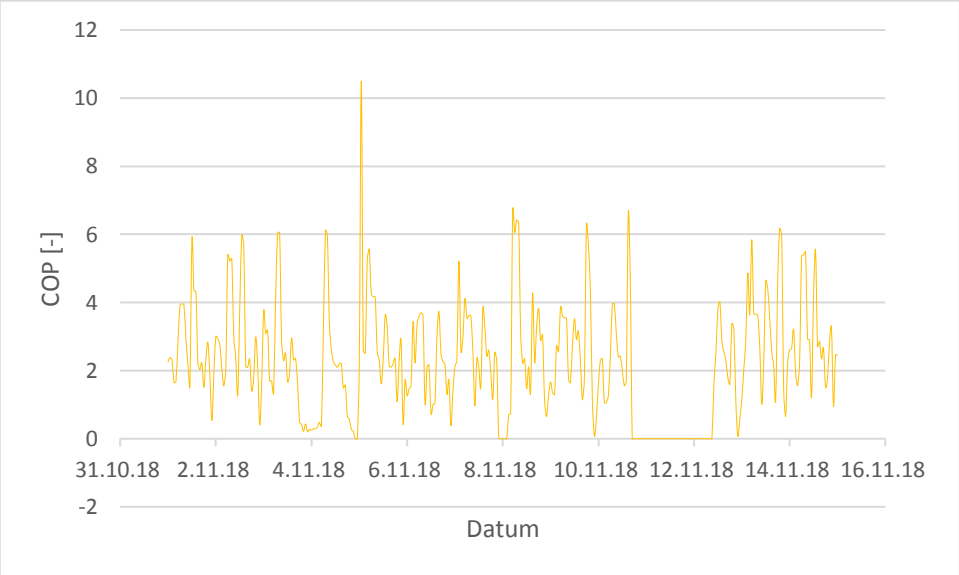
Obr. 5-27 Grafické znázornění průběhu COP v průběhu roku 2018

Tab. 5-20 Měsíční znázornění průběhu COP v průběhu roku 2018

MĚSÍC	PRŮMĚR [-]	PRŮMĚR korigovaný [-]	MAXIMUM [-]	MINIMUM [-]	MEDIÁN [-]
Leden	0,00	celý měsíc nula	0,00	0,00	0,00
Únor	0,00	0,017	0,04	0,00	0,00
Březen	0,00	0,008	0,01	0,00	0,00
Duben	0,39	1,541	8,76	0,00	0,00
Květen	0,22	1,112	5,72	0,00	0,00
Červen	0,00	celý měsíc nula	0,00	0,00	0,00
Červenec	0,00	0,004	0,01	0,00	0,00
Srpen	0,00	0,004	0,01	0,00	0,00
Září	0,42	2,697	14,07	0,00	0,00
Říjen	2,19	2,573	13,32	0,00	1,96
Listopad	2,46	2,807	10,50	0,00	2,40
Prosinec	0,20	2,756	7,12	0,00	0,00

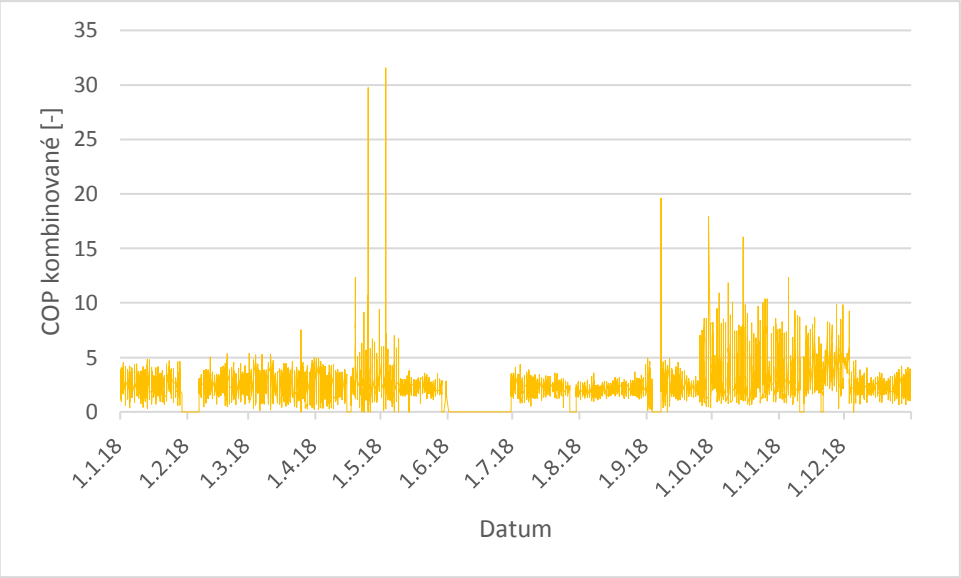
Hodnota topného faktoru je nenulová jen pro případ nenulového topného výkonu a zároveň nenulové spotřeby elektrické energie. Proto jej můžeme hodnotit jen ve dvou obdobích roku 2018. Jedná se o období 21. 4. až 11. 5. a o čas v rozmezí od 25. 9. do 3. 12.2018. Maximem pro první období je hodnota 8,8 [-], pro druhé potom více než 14 [-]. Minimem je pro každý měsíc v roce nula. Červeně označené hodnoty v tabulce znázorňují data, která jsou ovlivněna ztrátou dat za konkrétní období. V souvislosti

s interpretací tabulky 5-20 je nutno dodat, že průměrné hodnoty uvedené bez korekce jsou vypočítány na základě všech hodnot v měsíci. Jsou tedy ovlivněny případy, kdy je hodnota COP nulová. Abychom byli schopni hodnotit tuto problematiku objektivně, bylo třeba nulové hodnoty z analýzy vyloučit a získat tak korigované průměrné hodnoty COP. Toto opatření znamená, že analýza COP probíhá pouze na základě období, kdy bylo zařízení v běhu za účelem vytápění. S podobným postupem se budeme setkávat i při hodnocení COP-kombinovaného, COP-Carnotova a EER. Záměrné je také uvádění těchto dat s rozšířením desetinných míst tak, aby bylo možné snáze rozeznat měsíce se zcela a s téměř nulovými hodnotami. Z tabulky je zřejmé, že nejvyšší korigovaná průměrná hodnota COP je pro listopad 2018. Tato hodnota činí 2,8 [-]. Naopak v měsíci lednu a červnu vůbec nebyl systém použit za účelem vytápění.



Obr. 5-28 Grafické znázornění průběhu COP v období 1. 11 až 14. 11. 2018

Čtrnáctidenní průběh ukazuje cyklování topného faktoru mezi ranními hodnotami a hodnotami po zbytek dne. Vytápění je spínáno v časných ranních hodinách, pro období mezi 6. a 8. hodinou je typická hodnota COP mezi 3 a 7 [-]. Kolem 14. hodiny potom tato hodnota klesá a pohybuje se typicky mezi 1 a 3 [-]. Další vzestup je možno v některé dny sledovat mezi 12. a 14. hodinou. Toto hodnocení vychází z potřeby využití budovy především přes den.

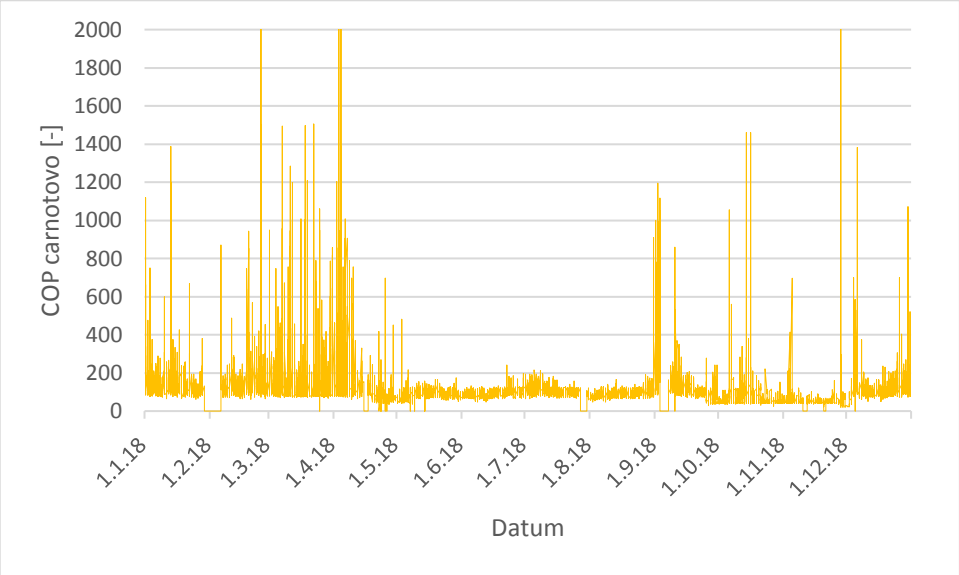


Obr. 5-29 Grafické znázornění průběhu COP-kombinovaného v průběhu roku 2018

Tab. 5-21 Měsíční znázornění průběhu COP-kombinovaného v průběhu roku 2018

MĚSÍC	PRŮMĚR [-]	PRŮMĚR korigovaný [-]	MAXIMUM [-]	MINIMUM [-]	MEDIÁN [-]
Leden	2,23	2,604	4,83	0,00	2,48
Únor	2,18	2,571	5,35	0,00	2,43
Březen	2,64	2,647	5,35	0,00	2,78
Duben	2,50	2,764	29,75	0,00	2,34
Květen	2,16	2,404	31,56	0,00	2,16
Červen	0,15	2,404	4,06	0,00	0,00
Červenec	1,98	2,211	4,35	0,00	2,14
Srpen	2,06	2,057	4,93	0,13	2,03
Září	2,31	2,686	19,63	0,00	2,24
Říjen	3,47	3,466	16,02	0,60	2,96
Listopad	3,50	3,782	12,33	0,00	3,43
Prosinec	2,37	2,379	9,26	0,00	2,28

Kombinovaný topný faktor už nezahrnuje pouze topný výkon a spotřebu elektrické energie, ale i chladicí výkon. To je zřejmé z grafu, jelikož i v období nulového topného výkonu nemusí být hodnoty kombinovaného topného faktoru nulové. Vrchol nalezneme v květnu, kdy systém vytápí i chladí zároveň. Tento vrchol je 31,6 [-]. Zajímavé však jsou rozdíly mezi maximální a průměrnou hodnotou. Například pro zmíněné květnové maximum je průměrná hodnota v měsíci s korekcí pouze 2,4 [-], tedy pouze necelých 7 % maximální hodnoty. Korigované hodnoty měsíčních průměrů se pohybují v rozmezí 2,1 až 3,8 [-].



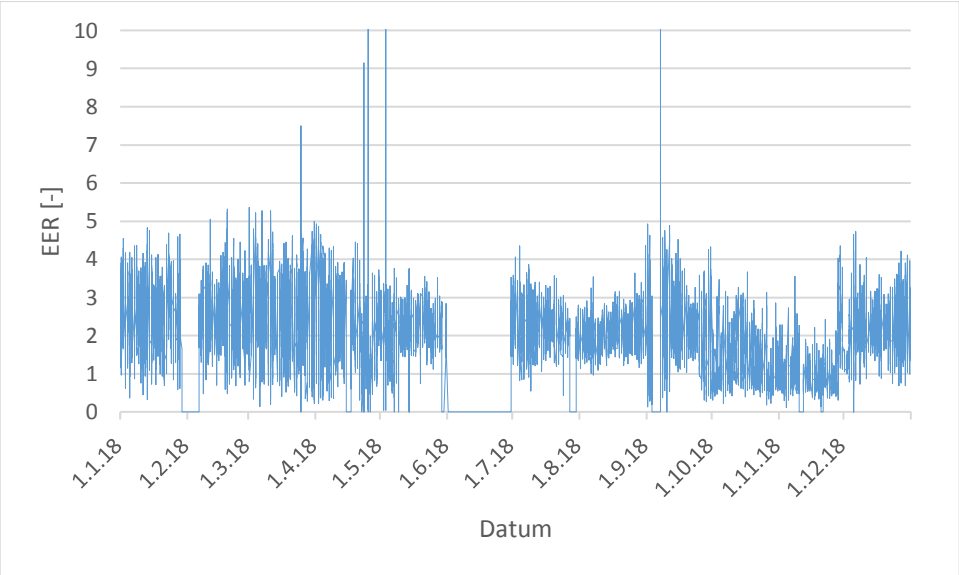
Obr. 5-30 Grafické znázornění průběhu COP-Carnotova v průběhu roku 2018

Tab. 5-22 Měsíční znázornění průběhu COP-Carnotova v průběhu roku 2018

MĚSÍC	PRŮMĚR [-]	PRŮMĚR korigovaný [-]	MAXIMUM [-]	MINIMUM [-]	MEDIÁN [-]
Leden	113,86	136,408	1388,69	0,00	110,04
Únor	154,63	177,022	18122,00	0,00	114,74
Březen	180,54	180,783	18122,00	0,00	109,94
Duben	132,52	146,568	9026,00	0,00	84,02
Květen	91,09	91,708	480,70	0,00	87,21
Červen	95,74	95,736	240,84	48,15	90,19
Červenec	94,14	105,161	215,23	0,00	99,06
Srpen	113,72	113,717	1195,00	49,17	90,04
Září	95,20	110,731	1116,00	0,00	93,10
Říjen	70,00	70,003	1459,69	25,37	47,01
Listopad	72,28	78,143	6269,67	0,00	43,94
Prosinec	124,35	124,529	1381,69	0,00	106,61

Hodnota COP–Carnotova je dána teplotami na vstupu a zpátečce konkrétního tepelného čerpadla. Z grafu je možno vyčíst několik ostrých špiček, například 25. 2. 2018 můžeme zjistit maximální hodnotu 18122 [-], která je dána naprosto minimálním rozdílem teplot na vstupu a zpátečce. Tyto špičky však nepovažuji za relevantní, přisuzoval bych je spíše chybě měření. Pro přehlednost průběhu skutečných hodnot jsou potom tyto nepravděpodobné oříznuty. Průměrné hodnoty bez korekce se meziměsíčně mění od 70 do 180 [-], tedy více než dvojnásobně. Hodnoty s korekcí v tomto případě

nejsou o mnoho vyšší a pohybují se ve stejném rozmezí – tedy od 70 do 180 [-]. Minimální hodnoty jsou v měsících lednu, únoru, březnu, dubnu a listopadu nulové, pro měsíce srpen a říjen potom dosahují hodnot zhruba od 20 do 49 [-]. Pro měsíce květen, červen, září a prosinec nejsme schopni konstatovat relevantní hodnoty, protože výsledky výpočtů jsou ovlivněny již výše skloňovanou ztrátou dat.



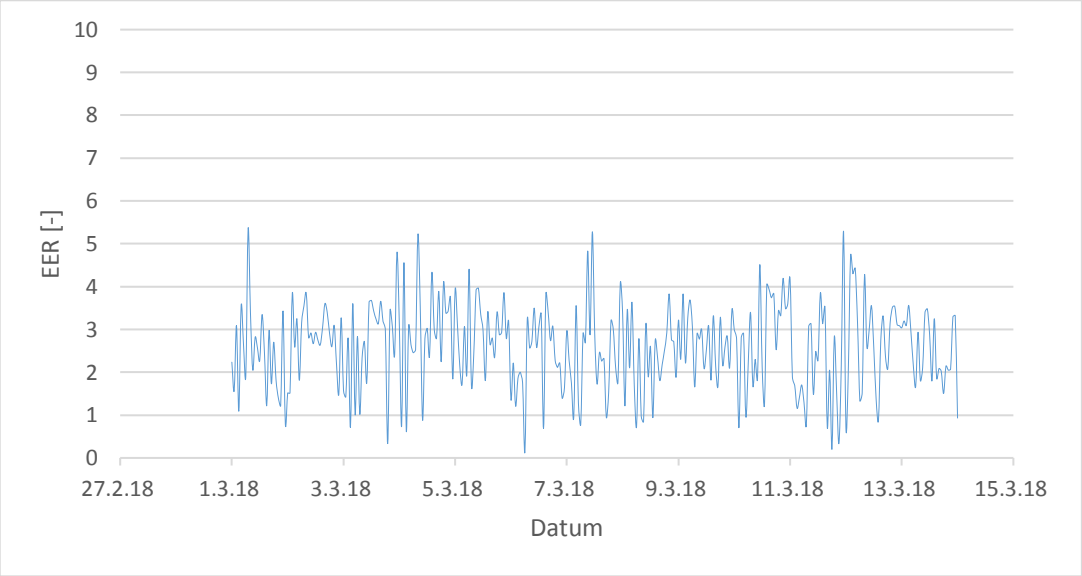
Obr. 5-31 Grafické znázornění průběhu EER v průběhu roku 2018

Tab. 5-23 Měsíční znázornění průběhu EER v průběhu roku 2018

MĚSÍC	PRŮMĚR [-]	PRŮMĚR korigovaný [-]	MAXIMUM [-]	MINIMUM [-]	MEDIÁN [-]
Leden	2,11	2,604	4,83	0,00	2,39
Únor	2,31	2,574	5,35	0,00	2,51
Březen	2,65	2,649	5,35	0,00	2,76
Duben	2,11	2,333	29,63	0,00	1,98
Květen	1,82	2,148	3,77	0,00	2,03
Červen	0,26	2,402	4,06	0,00	0,00
Červenec	1,96	2,184	4,35	0,00	2,11
Srpen	2,03	2,059	4,93	0,00	2,03
Září	1,82	2,082	19,63	0,00	1,96
Říjen	1,27	1,269	3,66	0,19	1,07
Listopad	1,06	1,146	4,35	0,00	0,93
Prosinec	2,27	2,285	4,72	0,00	2,26

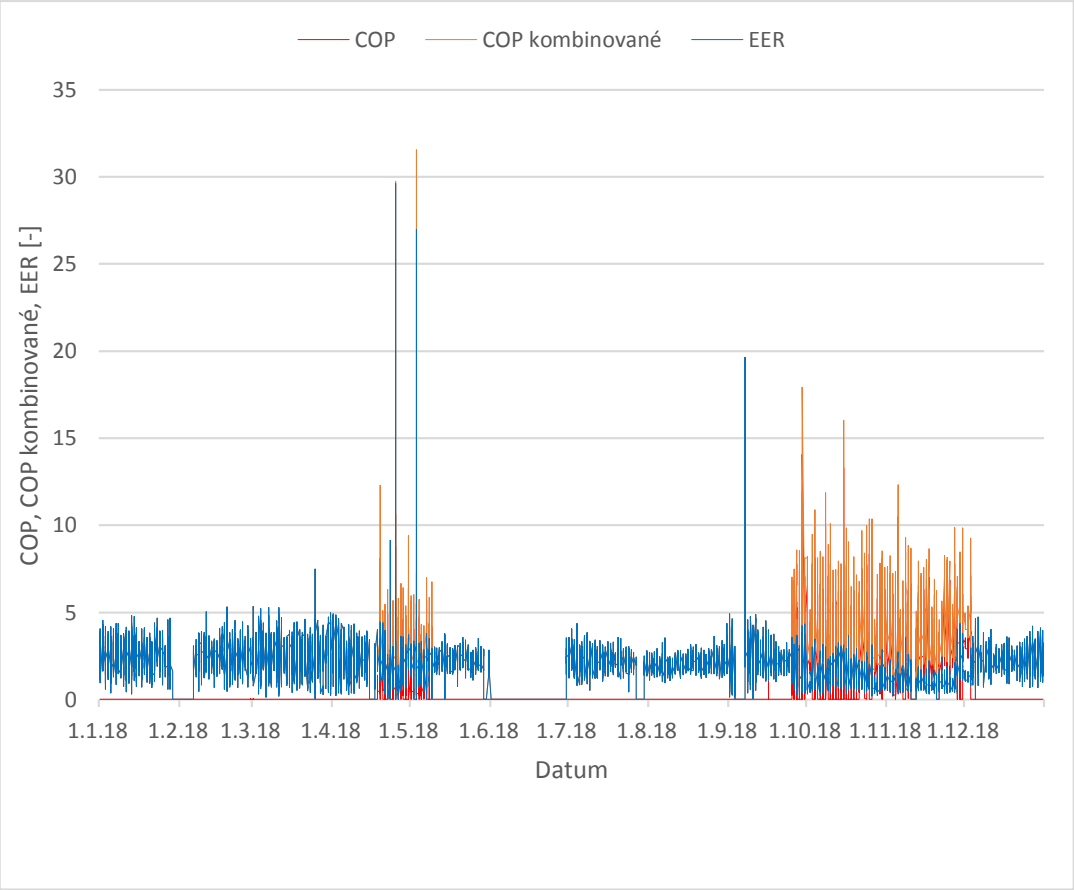
Chladicí faktor se projevuje poměrně předvídatelným průběhem, jelikož změny jeho hodnot mají sinusový charakter. Kromě pomezí února a března a měsíců června a července, kdy jsou tyto hodnoty velmi silně ovlivněny absencí dat, se průměrné

korigované měsíční hodnoty pohybují v rozmezí 1,15 [-] pro listopad až po 2,65 [-] pro březen. Příčinou nenulového chladicího faktoru v zimním období je fakt, že systém se používá pro celoroční chlazení laboratorních přístrojů, průměrné hodnoty se tak meziměsíčně sice liší podle míry potřeby chladit, nejsou však nulové. Naopak minimální měsíční hodnoty jsou až na měsíc říjen nulové vždy. Maximální hodnoty jsou nejvyšší v dubnu (29,63 [-]) a v září (19,63 [-]). Je však na místě o těchto maximech pochybovat, jelikož za tyto hodnoty mohou nezvykle velké chladicí výkony a razantní minima spotřeby elektrické energie. Stejně jako v případě COP-Carnotova, i zde je tedy otázkou, zda v tyto momenty skutečně všechna čidla měřila správně a nejedná se o chybu měření. Proto jsou tyto hodnoty opět oříznuty z grafu.



Obr. 5-32 Grafické znázornění průběhu EER v období 1.3. až 14.3. 2018

Předchozí graf znázorňuje cyklování hodnot EER v krátkodobém časovém horizontu. Ten spočívá v předvídatelné změně, která je dána potřebou chladit a liší se vzhledem k denní době. Nejvyšší hodnoty EER najdeme zpravidla v odpoledních hodinách, kdy má budova nejvyšší tepelné zisky. Vzhledem ke stavbě budovy je třeba zohlednit i akumulaci tepla, tedy stav chlazení často trvá až do pozdních večerních hodin.



Obr. 5-33 Průměrné měsíční hodnoty COP, COP-kombinovaného a EER

Tab. 5-24 Průměrné korigované měsíční hodnoty COP, COP-kombinovaného, COP-Carnotova a EER

MĚSÍC	COP [-]	COP-kombinované [-]	COP-Carnot [-]	EER [-]
Leden	celý měsíc nula	2,60	136,41	2,60
Únor	0,02	2,57	177,02	2,57
Březen	0,01	2,65	180,78	2,65
Duben	1,54	2,76	146,57	2,33
Květen	1,11	2,40	91,71	2,15
Červen	celý měsíc nula	2,40	95,74	2,40
Červenec	0,00	2,21	105,16	2,18
Srpen	0,00	2,06	113,72	2,06
Září	2,70	2,69	110,73	2,08
Říjen	2,57	3,47	70,00	1,27
Listopad	2,81	3,78	78,14	1,15
Prosinec	2,76	2,38	124,53	2,28

Na závěr je možno shrnout průměrné korigované hodnoty zjištěných parametrů pro konkrétní měsíce. Jak je vidět z tabulky, hodnoty pro měsíce květen, červen, září a prosinec jsou ovlivněny nedochováním dat. Stejně jako při hodnocení zmíněných parametrů odděleně, i zde jsou tyto hodnoty označeny červenou barvou. Z tabulky je jasně vidět, že nejvíce se v průběhu roku pohybují hodnoty COP-Carnotova, naopak ostatní hodnoty se chovají relativně poklidně. Je na místě uvést, že výpočty jsou provedeny po přepočtu na průměrné hodinové hodnoty, špičky jsou tak poněkud potlačeny. Výsledky výpočtů je možno charakterizovat i tak, že málokdy dochází k paralelnímu chlazení a vytápění. Vyšší četnost tohoto provozního režimu by vedla ke zvýšení efektivity činnosti celého systému. Dalším otazníkem je příkon dalších prvků celé sestavy. Například čerpadla zajišťující potřebné průtoky svými příkony ovlivňují celkové hodnocení systému. Zároveň bych ale předpokládal i po zohlednění těchto činitelů lepší hodnoty pro tepelné čerpadlo země-voda.

6 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na analýzu provozu tepelného čerpadla země-voda umístěného v rámci areálu MFF UK. Vstupní data k této činnosti byla získána od firmy TRONIC CONTROL s.r.o., která je pověřena správou dat. Analyzované období se liší dle hodnoceného parametru a je vždy uvedeno v konkrétní kapitole. Výstupem práce je potom hodnocení četností jednotlivých provozních režimů, teplot ve vrtech a jejich dlouhodobý vývoj, topných a chladicích výkonů systému, spotřeby elektrické energie, COP, COP–kombinovaného, COP–Carnotova a EER. Topný výkon je nenulový pouze v přechodových obdobích, jelikož pro zimní období je využit jiný zdroj tepla. Naopak chladicí výkon je zaznamenán v průběhu celého roku, jelikož zařízení slouží k chlazení nejen budovy jako takové, ale též laboratorních systémů. Z hodnocení teplot polomasivu vyplývá, že každý z analyzovaných vrtů má jiné použití. V případě odběru tepla z vrtu se tento vrt bude vychlazovat, pokud do něho budeme teplo naopak ukládat, bude se vrt vyhřívat. Změna teplot ve vrtech též závisí na konkrétní hloubce. Například hodnocením vrtu K1M2 můžeme zjistit vzestup teploty polomasivu v hloubkách větších než 1 m v časovém rozmezí od roku 2013 do roku 2019 přibližně o 3°C. Za dobu hodnocení byl nejčastěji aktivován 4. provozní režim – aktivní chlazení. Ten byl aktivní zhruba v 70 % časového průběhu. 2. režim – vytápění + chlazení byl použit zhruba ve 13 % času, stejně jako 3. režim – přirozené chlazení. Naopak 1. režim – vytápění byl aktivní jen asi v 5 % časového průběhu. Průměrné měsíční hodnoty COP a EER jsou nižší než bylo očekáváno. Velmi častým jevem bylo střídání 1. a 2. režimu. V takovém případě by bylo výhodnější ponechat provoz ve 2. režimu, což by mělo kladný vliv na COP a EER. Měření a analýza dat byla zkomplikována dvěma dlouhodobějšími hackerskými útoky, nebylo tak možné hodnotit parametry z dlouhodobého hlediska kontinuálně. Dalším problémem byly občasné ztráty dat ze systému nebo chybně naměřené hodnoty. Toto bylo vždy označeno v konkrétní kapitole práce.

7 Seznam literatury a použitých pramenů

[L1] – PETRÁK, J. a PETRÁK, M. *Tepelná čerpadla.* Praha: České vysoké učení technické v Praze – Fakulta strojní, 2004. 245 s. ISBN 80-01-03126-8.

[L2] – KLAZAR, L. *Tepelná čerpadla.* Tepelná čerpadla jako zdroj tepla pro vytápění. Litomyšl, 2004. 57 s. Grantový projekt GaČr č. 101/02/0741

[L3] – MATUŠKA, Tomáš. Nízkopotenciální zdroje tepla. *Nízkopotenciální zdroje tepla – ČVUT* [online]. 2017 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna_cerpadla_NPT.pdf

[L4] – DRKAL, F. a ZMRHAL, V. *Větrání.* Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2015. 157 s. ISBN 978-80-01-05181-8

[L5] – DRKAL, F., LAIN, M. a ZMRHAL, V. *Klimatizace*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. 133 s. ISBN 978-80-01-05652-3

[L6] – NOVÝ, R. a kol. *Technika prostředí*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006. 264 s. ISBN 80-01-03492-5

[L7] – JAHODA, Milan. Hydromechanické procesy: Turbolence. *VŠCHT* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/hydro/turbulentni.proudeni.pdf

[L8] – BAŠTA, J a KABELE, K. *Otopné soustavy teplovodní.* Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2008. 96 s. ISBN 978-80-02-02064-6

[L9] – *Viessmann, spol. s.r.o.: Vitocal 300-G Pro* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/tepelna-cerpadla/velka-tepelna-cerpadla/vitocal-300g-pro.html

[L10] – *Regulus spol. s.r.o.: Akumulační nádrž PS 1000 N+* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://www.regulus.cz/cz/akumulacni-nadrz-ps-1000-n~1

[L11] – *Regulus spol. s.r.o.: Akumulační nádrž PS 800* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://www.regulus.cz/cz/akumulacna-nadrz-ps-800

[L12] – *Elektro:* MAJDA, František. Čtvrthodinové maximum. *Elektro: Recenzovaný odborný časopis pro elektrotechniku*[online]. Praha: FCC Public, 2008, 1.12.2008, **2008**(12), 68 [cit. 2019-04-30]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/ctvrthodinove-maximum--12120

[L13] – *OCTOPUS (Oběh Chlazení a TOPení ÚSporně).: Vytápění a chlazení budovy technologií MFF UK tepelnými čerpadly země-voda.* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://www.mff.cuni.cz/cs/vnitrni-zalezitosti/it-a-sluzby/sluzby/octopus-obeh-chlazeni-a-topeni-usporne

Zdroje obrázků:

[O1] – PETRÁK, M. Schéma parního oběhu. In: PETRÁK, Miroslav. *Chladicí technika a tepelná čerpadla – podklady pro cvičení*. Praha, 2009. S. 4-5.

[O2] – MATUŠKA, Tomáš. Teplota zeminy. In: MATUŠKA, Tomáš. Nízkopotenciální zdroje tepla. *Nízkopotenciální zdroje tepla – ČVUT* [online]. 2017 [cit. 2019-02-27]. str. 5. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna_cerpadla_NPT.pdf

[O3] – DRKAL, F., Schéma vzduchového jednozónového klimatizačního systému pro celoroční úplnou úpravu vzduchu. In: DRKAL, F., LAIN, M. a ZMRHAL, V. *Klimatizace*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. s. 77. ISBN 978-80-01-05652-3

[O4] – DRKAL, F., Suché chlazení a chlazení s kondenzací v h-x diagram vlhkého vzduchu. In: DRKAL, F., LAIN, M. a ZMRHAL, V. *Klimatizace*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. s. 40. ISBN 978-80-01-05652-3

[O5] – DRKAL, F., Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě. In: DRKAL, F., LAIN, M. a ZMRHAL, V. *Klimatizace*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. s. 42. ISBN 978-80-01-05652-3

[O6] – DRKAL, F., Rozptýlení vzduchu mísením. In: DRKAL, F. a ZMRHAL, V. *Větrání.* Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2015. str. 35. ISBN 978-80-01-05181-8

[O7] – DRKAL, F., Rozptýlení vzduchu vytěsňováním. In: DRKAL, F. a ZMRHAL, V. *Větrání.* Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2015. str. 35. ISBN 978-80-01-05181-8

[O8] – DRKAL, F., Rozptýlení vzduchu zaplavováním. In: DRKAL, F. a ZMRHAL, V. *Větrání.* Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2015. str. 35. ISBN 978-80-01-05181-8

[O9] – MRÁZ, Vít. Geotermální vertikální vrty. In: MRÁZ, Vít. MFF Karlova Univerzita v Praze. *Situace vrtného pole* [online]. 2013 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: https://www.mff.cuni.cz/cs/vnitrni-zalezitosti/it-a-sluzby/sluzby/octopus-obeh-chlazeni-a-topeni-usporne/oc-situace.pdf

8 Seznam obrázků

Obr. 3-1 Schéma jednostupňového parního oběhu [O1]

Obr. 3-2 Znázornění typického průběhu teplot zeminy vhledem k hloubce a ročnímu období [O2]

Obr. 3-3 Schéma vzduchového jednozónového systému pro celoroční úplnou úpravu vzduchu [O3]

Obr. 3-4 Suché chlazení (vlevo) a chlazení s kondenzací (vpravo) v h-x diagram vlhkého vzduchu [O4]

Obr. 3-5 Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě [O5]

Obr. 3-6 Rozptýlení vzduchu mísením (zleva: stěnová výúst, parapetní indukční jednotka, anemostat žaluziový, anemostat vířivý) [O6]

Obr. 3-7 Rozptýlení vzduchu vytěsňováním (zleva stropní přívod, stěnový přívod) [O7]

Obr. 3-8 Rozptýlení vzduchu zaplavováním, přívod velkoplošnou výústí [O8]

Obr. 4-1 Pohled na jeden z vrtů v areálu MFF UK

Obr. 4-2 Umístění vrtů v areálu MFF UK [O9]

Obr. 4-4 Předpokládaný pokles teploty kapaliny pro následující roky od uvedení do provozu

Obr. 4-5 Zátěžová křivka

Obr. 5-1 Průběh pracovních režimů v období 1. 1. 2018 až 31. 12. 2018

Obr. 5-2 Průběh pracovních režimů v období 21. 12. 2017 až 19. 3. 2018

Obr. 5-3 Průběh pracovních režimů v období 20. 3. 2018 až 20. 6. 2018

Obr. 5-4 Průběh pracovních režimů v období 21. 6. 2018 až 22. 9. 2018

Obr. 5-5 Průběh pracovních režimů v období 23. 9. 2018 do 20. 12. 2018

Obr. 5-6 Grafické znázornění období 21. 12. 2017 - 19. 3. 2018 (ZIMA)

Obr. 5-7 Grafické znázornění období 21. 6. 2018 - 23. 9. 2018 (LÉTO)

Obr. 5-8 Vyjádření průměrných měsíčních hodnot teploty ve vrtech, venkovní teploty a provozních režimů

Obr. 5-9 Grafické znázornění teplot vrtu M1 pro konkrétní hloubky a roční období

Obr. 5-10 Grafické znázornění teplot vrtu M2 pro konkrétní hloubky a roční období

Obr. 5-11 Grafické znázornění teplot vrtu M3 pro konkrétní hloubky a roční období
Obr. 5-12 Grafické znázornění teplot vrtu M4 pro konkrétní hloubky a roční období
Obr. 5-13 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K1M1
Obr. 5-14 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K1M2
Obr. 5-15 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K2M3
Obr. 5.16 Průběhy teplot v jednotlivých hloubkách vrtu K2M4
Obr. 5-17 Průběh výkonů pro celé zkoumané období (1. 11. 2017 až 15. 2. 2018)
Obr. 5-18 Průběh výkonů pro období celého roku 2018
Obr. 5-19 Průměrné měsíční hodnoty výkonů pro období celého roku 2018
Obr. 5-20 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v zimním období 2017/2018 (21. 12. 2017 až 19.03. 2018)
Obr. 5-21 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v jarním období 2018 (20. 3. 2018 až 21. 6. 2018)
Obr. 5-22 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v letním období 2018 (21. 6. 2018 až 22. 9. 2018)
Obr. 5-23 Průběh chladicího a vytápěcího výkonu v podzimním období 2018 (23. 9. 2018 až 20. 12. 2018)
Obr. 5-24 Spotřeba elektrické energie za rok 2018
Obr. 5-25 Grafické vyjádření průměrných měsíčních hodnot spotřeby elektrické energie
Obr. 5-26 Grafické vyjádření průběhu spotřeby el. energie, topného a chladicího výkonu
Obr. 5-27 Grafické znázornění průběhu COP v průběhu roku 2018
Obr. 5-28 Grafické znázornění průběhu COP v období 1. 11 až 14. 11. 2018
Obr. 5-29 Grafické znázornění průběhu COP-kombinovaného v průběhu roku 2018
Obr. 5-30 Grafické znázornění průběhu COP-Carnotova v průběhu roku 2018
Obr. 5-31 Grafické znázornění průběhu EER v průběhu roku 2018
Obr. 5-32 Grafické znázornění průběhu EER v období 1.3. až 14.3. 2018
Obr. 5-33 Průměrné měsíční hodnoty COP, COP-kombinovaného a EER

9 Seznam tabulek

Tab. 5-1 Četnosti pracovních režimů v období 1. 11. 2017 až 15. 2. 2019

Tab. 5-2 Četnosti pracovních režimů v období 1. 1. 2018 až 31. 12. 2018

Tab. 5-3 Četnosti pracovních režimů v období 21. 12. 2017 až 19. 3. 2018

Tab. 5-4 Četnosti pracovních režimů v období 21. 12. 2013 až 19. 3. 2014

Tab. 5-5 Četnosti pracovních režimů v období 20. 3. 2018 až 20. 6. 2018

Tab. 5-6 – Četnosti pracovních režimů v období 21. 6. 2018 až 22. 9. 2018

Tab. 5-7 Četnosti pracovních režimů v období 23. 9. 2018 do 20. 12. 2018

Tab. 5-8 Vyjádření průměrných měsíčních hodnot teploty ve vrtech, venkovní teploty a provozních režimů

Tab. 5-9 Popis teplot vrtu M1 pro konkrétní hloubky a roční období

Tab. 5-10 Popis teplot vrtu M2 pro konkrétní hloubky a roční období

Tab. 5-11 Popis teplot vrtu M3 pro konkrétní hloubky a roční období

Tab. 5-12 Popis teplot vrtu M4 pro konkrétní hloubky a roční období

Tab. 5-13 Četnost jednotlivých hladin výkonů za celé zkoumané období (1. 11. 2017 až 15. 2. 2018)

Tab. 5-14 Průměrné měsíční hodnoty výkonů pro období celého roku 2018

Tab. 5-15 Tabulka hodnocení výkonů pro období zimy 2017/2018 (21. 12. 2017 až 19.03. 2018)

Tab. 5-16 Tabulka hodnocení výkonů pro období jara 2018 (20. 3. 2018 až 21. 6. 2018)

Tab. 5-17 Tabulka hodnocení výkonů pro období léta 2018 (21. 6. 2018 až 22. 9. 2018)

Tab. 5-18 Tabulka hodnocení výkonů pro období podzimu 2018 (23. 9. 2018 až 20. 12. 2018)

Tab. 5-19 Roční hodnocení spotřeby elektrické energie

Tab. 5-20 Měsíční znázornění průběhu COP v průběhu roku 2018

Tab. 5-21 Měsíční znázornění průběhu COP-kombinovaného v průběhu roku 2018

Tab. 5-22 Měsíční znázornění průběhu COP-Carnotova v průběhu roku 2018

Tab. 5-23 Měsíční znázornění průběhu EER v průběhu roku 2018

Tab. 5-24 Průměrné korigované měsíční hodnoty COP, COP-kombinovaného, COP-Carnotova a EER

10 Seznam příloh

Příloha 1
Dodávka a instalace technologie (12/2011)

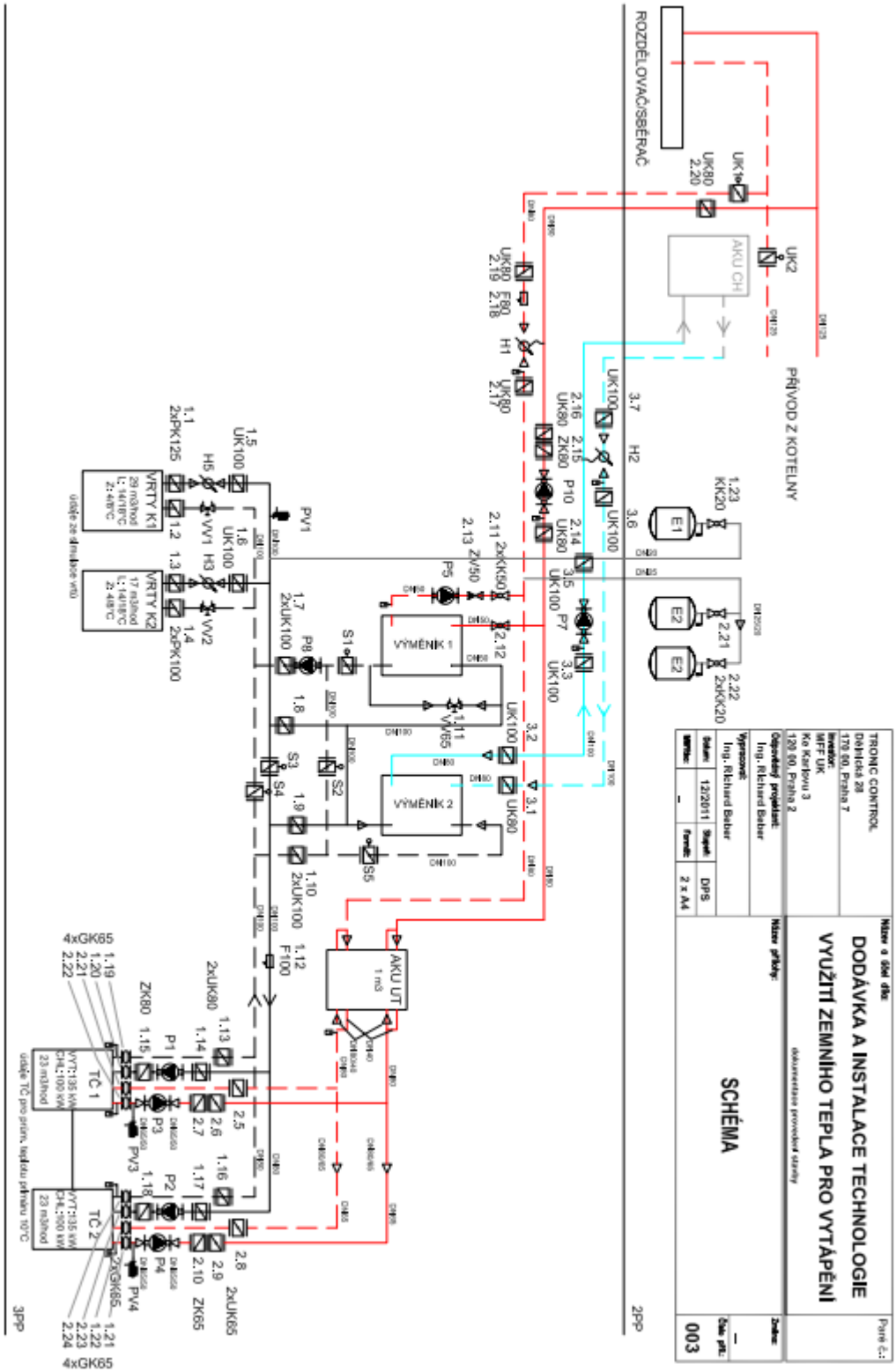
Příloha 2
Úprava systému chlazení ve strojovně (4/2015)

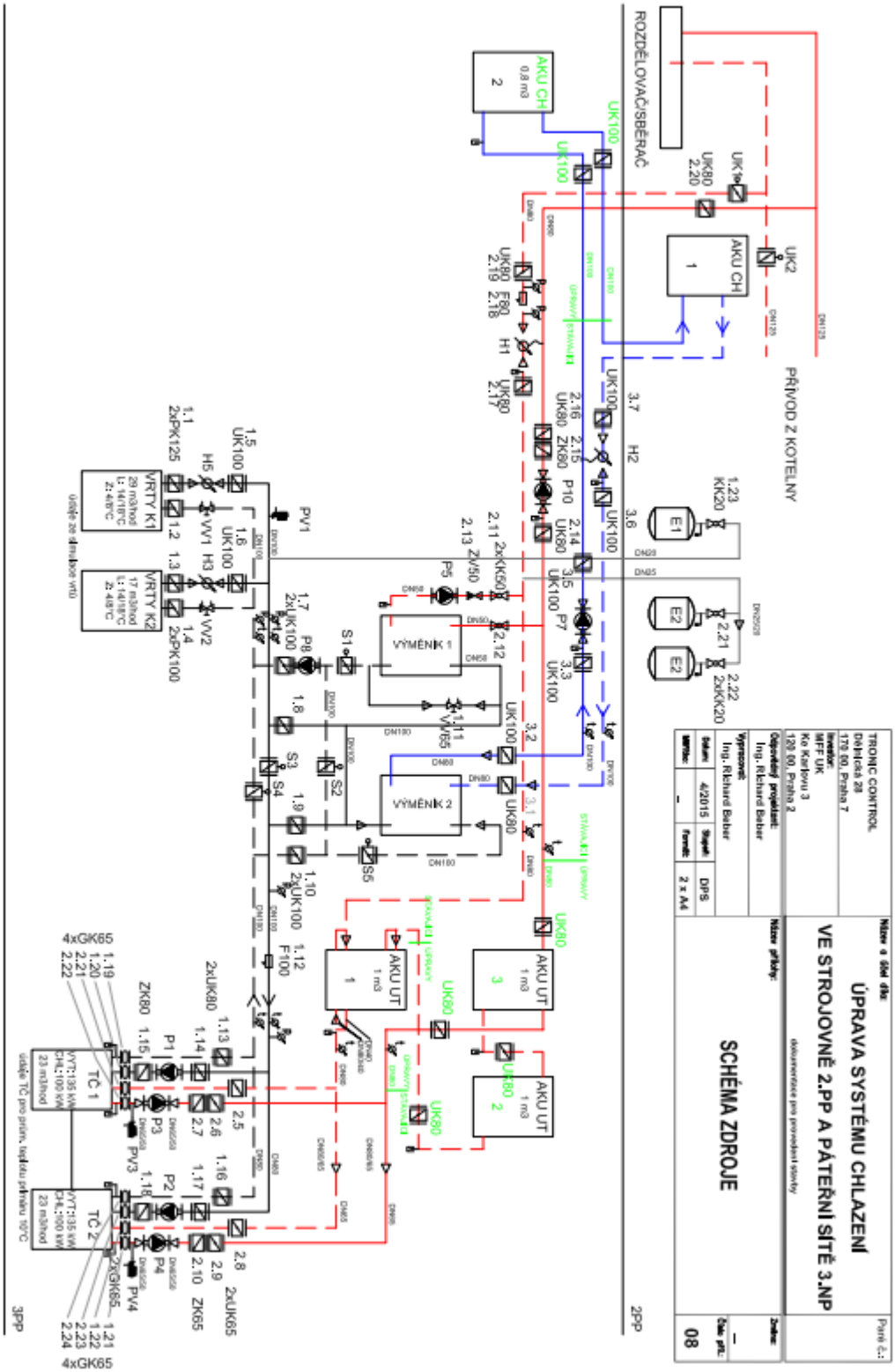
Příloha 3
Data převedená do formátu xlsx a zpracovaná s grafickými výstupy (Tato příloha je k nalezení na přiloženém nosiči.)

11 Přílohy

Příloha 1

Dodávka a instalace technologie (12/2011)



Příloha 2

Úprava systému chlazení ve strojovně (4/2015)