

VYTÁPĚNÍ LOGISTICKÉHO CENTRA TEPELNÝMI ČERPADLY S PODLAHOVÝM VYTÁPĚNÍM

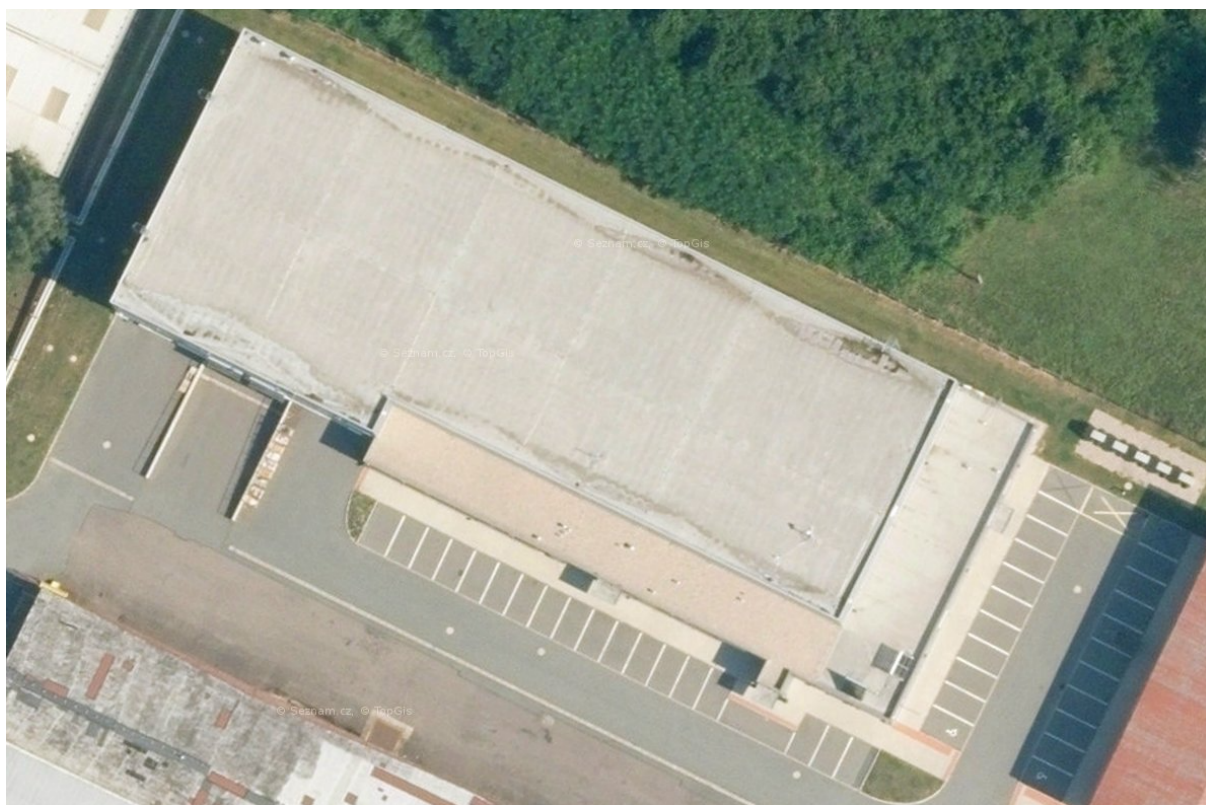
Ing. Petr Polívka

ANOTACE

Příspěvek hodnotí fungování otopné soustavy tvořené kaskádou tepelných čerpadel vzduch-voda instalovaných v areálu logistického centra. S ohledem na možnosti sledování všech parametrů tepelného čerpadla prostřednictvím vzdáleného přístupu prezentuje článek informace z provozu po 5-ti letech fungování. Hala byla uvedena do provozu v roce 2016.

ÚVOD

Logistický areál se nachází v Černé za Bory v okrese Pardubice. Logistické centrum je tvořeno skladovací halou s vestavěnou administrativní částí. Plocha skladové plochy je 1960 m² a světlá výška je 10 m. Administrativní část, která plynule navazuje na sklad, zaujímá plochu 520 m² se světlou výškou 3 m. Pro lepší představu je na obrázku 1 letecký pohled na logistické centrum. Okrajová část s nižší střechou je využita pro administrativu a v pravém kraji obrázku je viditelná sestava tepelných čerpadel.



Obr. 1 *Letecký pohled na logistický areál s kaskádou tepelných čerpadel v pravé části obrázku. [1]*

POPIS OTOPNÉ SOUSTAVY

Otopná soustava je rozdělena na administrativní část a sklad jak na straně koncových prvků, tak na straně zdrojů tepla. Toto rozdělení umožňuje samostatně vyhodnotit část skladové haly.

Administrativní část

Pro administrativní část objektu je jako zdroj tepla zvoleno primárně tepelné čerpadlo vzduch - voda alpha-innotech LW310A o jmenovitém výkonu 31 kW (A2/W35). Druhým zdrojem tepla 2 pole solárních termických panelů umístěné na administrativní části objektu. Každé pole se skládá z 30 vakuových trubíc. Jako zálohový zdroj tepla pro tepelné čerpadlo jsou použity elektrické topné patrony umístěné v multifunkčním akumulacním zásobníku. Akumulační zásobník o celkovém objemu 600 l slouží pro akumulaci energie ze všech zdrojů tepla a je vybaven nerezovým výměníkem pro průtočný ohřev teplé vody v administrativní části objektu a distribuci tepla do otopných těles, kterými je administrativní část vytápěna.

Pro administrativní část objektu bylo zvoleno vytápění otopnými tělesy s ohledem na rychlou reakci systému, která umožňuje snadné nastavení útlumu v časech mimo pracovní dobu a o víkendech. Teplota topné vody je upravována podle venkovní teploty a nastavené ekvitermní křivky. Návrhová teplota je s ohledem na nízkoteplotní zdroje tepla navržena na 50/40 °C při venkovní teplotě -12 °C.

Sklad

Zdrojem tepla pro skladovou část haly je kaskáda čtyř tepelných čerpadel vzduch - voda stejného typu jako v případě administrativy. Každé tepelné čerpadlo je vybaveno dvěma kompresory a vlastním regulátorem. Tři jsou provozně podřízeny jednomu hlavnímu tepelnému čerpadlu, což zajišťuje rovnoměrné využití všech kompresorů. Tepelná čerpadla jsou zapojena do akumulacního zásobníku o celkovém objemu 1500 l. Jako bivalentní zdroj je v tomto případě instalován elektrokotel o celkovém výkonu 40 kW, který je připojen jako obtok na výstupu ze zásobníku do otopné soustavy.

Otopná soustava je tvořena průmyslovým podlahovým vytápěním. Vnitřní výpočtová teplota haly uvažovaná projektem je 15 °C. Tepelná ztráta haly určená výpočtem je 64,2 kW prostupem a 90 kW větráním s intenzitou větrání 0,5 hod⁻¹. Pro celkovou tepelnou ztrátu 154,2 kW je navrženo průmyslové podlahové vytápění s tepelným spádem 40/30 °C. S ohledem na celkovou tloušťku betonové desky 180 mm tvořené drátkobetonem bylo navrženo potrubí PE-Xa 25x2,3 mm v rozteči 400 mm. Celý sklad tvoří jeden regulační celek a je vytápěn rovnoměrně na stejnou teplotu. Dimenze potrubí umožňuje délky smyček okolo 200 m a je instalováno na spodní straně desky a připojeno na dva rozdělovače umístěné v jednom místě. Dva rozdělovače jsou zvoleny s ohledem na celkový počet 27 okruhů. Jejich umístění je v rohu haly v blízkosti technické místnosti s ohledem na minimalizaci délky připojovacího potrubí.

Průmyslové podlahové vytápění je instalováno bez jakékoli spodní izolace. Při výstavbě hal podobných rozměrů se jedná o běžnou praxi, protože pod objektem se vytvoří tzv. teplotní oko, které zajistí stabilní teplotu podloží a tepelný tok směrem do země se minimalizuje. Teplotní oko se vytvoří pod budovou i v případě izolované desky, ve finálním porovnání desky s izolací a bez izolace se teplotní oko liší svojí hloubkou a tedy plochou předávající teplo na pomyslné ploše kulového tvaru. S ohledem na investiční cenu izolačního materiálu s vysokou únosností a snížení provozních nákladů jejich instalací je výhodné u výstavby hal podobného typu volit variantu bez izolace. Podmínkou pro instalaci betonové desky bez izolace je nepřítomnost spodní vody do hrany 2 m pod budovou.

Zaregulování systému proběhlo pouze s ohledem na různou délku jednotlivých smyček, protože podlahové vytápění je umístěné v prostoru, který je regulován jako jeden celek na stálou teplotu bez útlumu. Útlumu v tomto případě ani není možné docílit s ohledem na akumulacní schopnosti betonové desky.

PROVOZ SYSTÉMU

Regulátory tepelných čerpadel jsou od začátku provozu připojeny ke vzdálené správě, což umožňuje nastavení parametrů vytápění bez nutnosti návštěvy kotelny. Toho bylo využito zejména v začátcích provozu, kdy bylo nutné odladit ekvitermní křivky a jejich sklon s ohledem na skutečné fungování budovy. Aktuálně je vzdálená správa výhodná k získání provozních dat jak v krátkodobém horizontu v extrémních podmínkách, kterými právě skončené otopné období bylo, tak dlouhodobě zaznamenávané stavy jednotlivých tepelných čerpadel. Velkou výhodou je rovněž informování správcovské firmy o poruchových stavech.

Obecná data za celou dobu provozu

Data získaná z jednotlivých tepelných čerpadel jsou uvedena v tabulce 1 a můžeme z nich vyčíst několik užitečných informací. Tepelné čerpadlo pro administrativní část funguje samostatně, a proto se výrazně liší jeho časy provozu a počty startů jednotlivých kompresorů. Všechna data uvedená v tabulce 1 jsou za celou dobu provozu tepelných čerpadel od října 2016 do května 2021.

Kaskáda tepelných čerpadel určených pro vytápění skladové haly je určena pouze pro vytápění a můžeme data tedy vyhodnotit za 5 let provozu. Vzhledem ke kaskádovému zapojení je regulátor schopen střídat kompresory tak, aby jejich celkové zatížení bylo rovnoměrné. Celkem je zde k dispozici 8 kompresorů řízených principem on/off a při pohledu do tabulky vidíme, že doba chodu jednotlivých kompresorů je velice podobná.

Provoz skladové haly je na základě nastavených křivek podle přání investora nakonec nastaven na průměrnou vnitřní teplotu 18 °C oproti navrhovaným 15 °C.

Při sečtení celkového času provozu všech kompresorů v kaskádě získáme hodnotu 32148 h, a protože příkon každého kompresoru je 4,5 kW, tak celkový příkon elektrické energie pro tepelná čerpadla je 144 666 kWh/5 let. Každé tepelné čerpadlo má samostatné oběhové čerpadlo, jehož příkon při průměrném průtoku a tlakové ztrátě je 37 W a celková spotřeba elektrické energie všech oběhových čerpadel je 1096 kWh. Z akumulčního zásobníku pro distribuci do smyček podlahového vytápění je umístěno jedno oběhové čerpadlo s příkonem 158 W a celkovou spotřebou energie za 5 let provozu 3299 kWh. Cena elektrické energie pro průmyslové podniky se pohybuje okolo 2 Kč/kWh a provoz tepelných čerpadel tak vychází průměrně na 59624 Kč/rok. Pro snazší srovnání je vhodný přepočítání na 1 m² skladové plochy a měrná cena vytápění je v tomto případě 30,42 Kč/rok a m². Provoz bivalentního zdroje tepla si dovoluji zanedbat s ohledem na pouhých 8 hodin provozu za celých 5 let. Nutno podotknout, že nebylo možné získat informaci o příkonu druhého zdroje v okamžiku jeho sepnutí.

U tepelného čerpadla určeného pro vytápění administrativy není možné podobný výpočet udělat s ohledem na připojené solární kolektory. Za povšimnutí však stojí počet hodin sepnutí 2. zdroje, kterým jsou elektrické topné patrony. Zde stojí za to si říci, že tepelná ztráta určená při návrhu byla 29,9 kW, ale oproti původnímu předpokladu je skladová hala vytápěna na 18 °C oproti navrhovaným 15 °C a tepelná ztráta administrativní části je tak v konečném důsledku nižší.

Fungování systému v extrémních podmínkách

Pro informace o fungování systému v konkrétním čase máme ze vzdálené správy k dispozici křivky všech měřených hodnot a informace o vstupech a výstupech. Za tímto účelem bylo vybráno časové období s nejnižšími teplotami v otopném období 2020/2021. Na obrázku 2 jsou data z období od 12.2.2021 10:30 do 14.2.2021 10:30, kdy venkovní teplota naměřená v místě instalace klesla až k -17 °C. I v takto extrémních podmínkách můžeme vidět, že

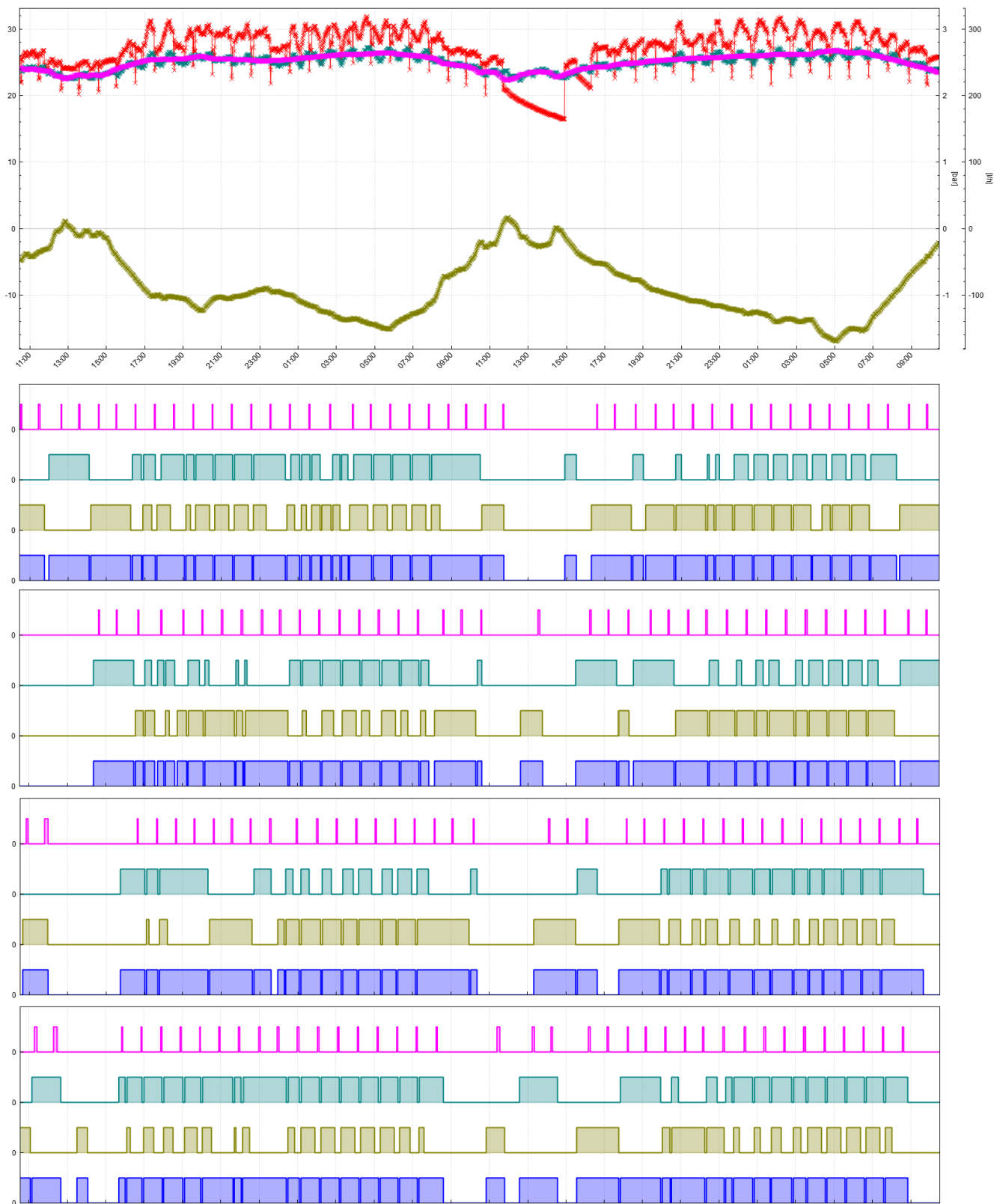
křivka požadované teploty na vratné vodě poměrně přesně kopíruje křivku teploty skutečné, která je měřena čidlem ve spodní části akumulčního zásobníku. Zároveň doplním informaci, která z uvedeného není vidět a to je sepnutí druhého zdroje energie, který ani při nejnižších zobrazených teplotách spuštěn nebyl. Při pohledu na tabulku 1 vidíme, že k sepnutí 2. zdroje energie došlo pouze na 8 hodin za 5 let provozu. K sepnutí pravděpodobně došlo pouze v roce 2018, kdy tepelné čerpadlo master hlásilo poruchu regulátoru. Bohužel při poruše regulátoru tohoto typu tepelného čerpadla označeného jako master je odpojena celá kaskáda a v tu chvíli se spouští automaticky 2. zdroj energie. Závada byla nahlášena správci, který ji velice rychle odstranil. Můžeme tak konstatovat, že celková potřeba tepelné energie je hrazena čistě z kaskády tepelných čerpadel.

Při podrobném sledování obrázku 2 můžeme sledovat spínání jednotlivých kompresorů. S ohledem na extrémní podmínky, které jsou v příložených grafech zobrazeny, jsou při poklesu teploty na nízké hodnoty spínány všechny instalované kompresory. Potřeba odtávání je řízena samostatně pro každé tepelné čerpadlo a v okamžiku odtávání jsou oba kompresory odepnuty. Při opakovaném startu obou kompresorů je vždy sepnut pouze jeden kompresor a druhý se připojuje teprve po 5-ti minutách provozu. Režim spínání kompresorů je dán s ohledem na technologické potřeby zařízení. Při nárůstu venkovní teploty je viditelné vypnutí všech kompresorů a při maximálních teplotách (kolem + 2 °C) je vypnuto i oběhové čerpadlo tepelného čerpadla, což má za následek pokles teploty otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla. Výstupní teplota otopné vody je měřena samostatně v každém tepelném čerpadle. Čidlo je tedy umístěno uvnitř venkovní jednotky.

Tab. 1 Provozní informace jednotlivých tepelných čerpadel za období říjen 2016 až květen 2021. K1 a K2 označují jednotlivé kompresory každého tepelného čerpadla. Doba provozu vytápění a solárního kolektoru je doba chodu oběhových čerpadel každého systému. [2]

	Admin.	Master	Slave I	Slave II	Slave III
Provoz K1 [h]	6381	3998	3972	4036	4040
Starty K1 [-]	14164	3551	3872	3961	3861
Ø doba chodu K1 [min]	27	67	61	61	62
Provoz K2 [h]	6294	3968	4049	4068	4017
Starty K2 [-]	14164	3552	3871	3960	3862
Ø doba chodu K2 [min]	26	67	62	61	62
Provoz 2. zdroje [h]	25	8			
Provoz vytápění [h]	5220	7401	7409	7408	7408
Provoz TV [h]	6045				
Provoz solární kolektor [h]	6602				

Pro zobrazený nejchladnější den vychází průměrná denní teplota na -9,2 °C a výraznější pokles teploty je obvykle krátkodobého charakteru, který je kompenzován akumulční schopností budovy. Výrobce tepelného čerpadla uvádí výkon 25 kW (A-7/W35), což je přibližně stav ve zkoumaném časovém úseku. Celkový výkon kaskády tepelných čerpadel je 100 kW a můžeme tedy s jistotou říci, že tepelná ztráta haly při -9 °C nepřesahuje 100 kW.



Obr. 2 Provoz tepelných čerpadel od 12.2.2021 10:30 do 14.2.2021 10:30. S ohledem na černobílý tisk popis křivek: Rozkolísaná křivka je teplota výstupu z TČ, níže méně rozkolísaná požadovaná teplota vratná a skutečná teplota vratná. Nejnižší teplota venkovní. Spodní křivky (0/1) jsou postupně pro všechny 4 tepelná čerpadla v kaskádě

a sestupně se opakují v tomto pořadí: odtávání, kompresor 1, kompresor 2, oběhové čerpadlo tepelného čerpadla [2]

Pokud tepelnou ztrátu původně vypočtenou při vnitřní teplotě 15 °C navýšíme na skutečně používanou hodnotu 18 °C, vyjde nám celková tepelná ztráta 171,3 kW. Problémem při určování tepelné ztráty průmyslových hal je tepelná ztráta větráním. Projektant určil tepelnou ztrátu větráním s předpokladem 0,5 násobné výměny vzduchu a při přepočtu na 18 °C je samotné větrání 100 kW. S ohledem na skutečnost, že tepelná ztráta je plně hrazena kaskádou tepelných čerpadel, můžeme potvrdit, že tepelná ztráta větráním musí být v případě velkoobjemových hal snížena. V tomto konkrétním případě, kdy po přepočtu je tepelná ztráta prostupem 71,3 kW vychází na tepelnou ztrátu větráním dalších cca 30 kW což je přibližně 1/3 hodnoty původně vypočtené.

ZÁVĚR

Ze získaných dat můžeme s jistotou tvrdit, že při výpočtu tepelné ztráty větráním u novostaveb průmyslových hal určených ke skladování není možné uvažovat půlnásobnou výměnu vzduchu přirozeným větráním. Dalším důležitým poznatkem, který plyne ze zkoumaných údajů, je venkovní výpočtová teplota. Záměrně byl pro hodnocení vybrán nejchladnější den otopného období na přelomu let 2020/2021, které je hodnoceno jako jedno z nejchladnějších posledních let. I přes tuto skutečnost je průměrná venkovní teplota v nechladičším dni pouze -9,2 °C. Tato zjištění mě vedou k závěru, že s ohledem na normu pro výpočet tepelných ztrát můžeme citlivě zasáhnout zejména do tepelné ztráty větráním, která u podobného typu hal nepřesahuje hodnotu 0,2 násobku.

Navržený systém tepelných čerpadel s průmyslovým podlahovým vytápěním má velice přívětivé provozní náklady a majitel je s navrženým řešením nadmíru spokojen. Na základě těchto zkušeností byly ve stejném systému pro stejného investora realizovány i další projekty. Základním prvkem úspěchu je provozování haly přímo majitelem objektu a prvotní investice je velice rychle kompenzována nízkými provozními náklady.

[1] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-6-17]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.8246660&y=50.0245921&z=20&base=ophoto>

[2] 5Ptechnologies, Vyšehradská 709/7; 36001 Karlovy Vary, Heatpump24 – vzdálená správa, 25. květen 2021