



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## ENERGETICKÉ ÚSPORY VELKÝCH OBJEKTŮ

ENERGY SAVING OF LARGE OBJECTS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Řehák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2018



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	<b>Bc. Pavel Řehák</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2017/18

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

## **Energetické úspory velkých objektů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce je zaměřena na posouzení možností zásobování velkých objektů elektřinou, teplem a chladem. Konkrétní posouzení bude provedeno na zvoleném objektu s cílem snížit energetickou náročnost a zvýšit autonomnost dodávky energií. V rámci posuzování možných řešení bude mimo jiné zvážena možnost prediktivního řízení prvku otopného systému a akumulace energie. Vybrané varianty řešení budou posouzeny z hlediska technického a ekonomického.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Zpracovat obecný přehled požadavků velkých objektů z hlediska energetického zásobování a přehled dostupných technologií pro zajištění dodávky energie.
2. Popsat konkrétní zvolený objekt z hlediska požadavků na zásobování energií.
3. Navrhnout opatření ke snížení energetické náročnosti zvoleného objektu.
4. Zpracovat varianty návrhu zdrojů energie pro zásobování objektu, včetně uvažování kogenerace.
5. Provést technicko ekonomické posouzení navržených variant.

### **Seznam doporučené literatury:**

DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ, 2005. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 8073001187.

PAVELEK, Milan, 2011. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 9788021443006.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Obsahem této diplomové práce je vyhodnocení úsporných opatření využívající vlastní výrobu tepla a elektrické energie za pomoci kogeneračních jednotek, využití obnovitelných zdrojů pro částečné pokrytí spotřeb objektů, snížení tepelných ztrát odparem na venkovním koupališti a celkového zvýšení využití odpadního tepla výměníky regenerující teplo ze spalin a z odpadní vody.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

Kogenerační jednotka, fotovoltaika, kolektor, fototermika, výměník, tepelné ztráty, úspora, spotřeba, obnovitelné zdroje, odpadní teplo, vlastní výroba, odpar z vodní hladiny

## **ABSTRACT**

The aim of this diploma thesis is to evaluate the economical measures using own heat and power production using cogeneration units, use of renewable resources to partially cover the consumption of objects, reduction of thermal losses by evaporation in the outdoor swimming pool and overall increase of waste heat utilization by exchanger heat exchangers from flue gas and heat from waste water.

### **KEYWORDS:**

Cogeneration unit, photovoltaic, collector, photothermics, heat exchanger, heat loss, saving, consumption, renewable sources, waste heat, own production, evaporation from the water level



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:**

ŘEHÁK, P. Energetické úspory velkých objektů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 117 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jirí Pospíšil, Ph.D.





## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Energetické úspory velkých objektů“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s užitím uvedené odborné literatury a podkladů.

V Brně, dne .....

Podpis:



## **Poděkování**

Tímto děkuji za nápomocné připomínky vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. a dále týmu akciové společnosti Amper Savings a.s. za podporu a poskytnutí cenných informací.



## Obsah

ÚVOD .....	- 15 -
1 Požadavky na zásobování velkých objektů energií .....	- 17 -
1.1 Zásobování velkých objektů tepelnou energií.....	- 17 -
1.2 Zásobování velkých objektů plynem.....	- 17 -
1.3 Zásobování velkých objektů elektrickou energií .....	- 17 -
1.4 Zásobování velkých objektů chladem .....	- 18 -
1.5 Zásobování velkých objektů párou .....	- 18 -
1.6 Vlastní výroba.....	- 18 -
1.7 Areálové požadavky.....	- 18 -
1.7.1 Servis zařízení .....	- 18 -
1.7.2 Akumulace.....	- 18 -
1.7.3 Řízení systému.....	- 19 -
2 Přehled energeticky úsporných technologií a zařízení.....	- 20 -
2.1 Kotle.....	- 20 -
2.2 Kogenerační jednotka .....	- 22 -
2.3 MaR.....	- 27 -
2.3.1 Ekvitermní regulace .....	- 28 -
2.3.2 Predikce počasí.....	- 28 -
2.3.3 Hlídaní překročení rezervované kapacity.....	- 29 -
2.3.4 Termo elektrické hlavice .....	- 30 -
2.4 Chladicí zařízení .....	- 30 -
2.5 Tepelná čerpadla .....	- 34 -
2.6 VZT.....	- 35 -
2.7 Obnovitelné zdroje .....	- 35 -
2.7.1 Fotovoltaické elektrárny .....	- 35 -
2.7.2 Solární termické kolektory .....	- 37 -
2.8 LED osvětlení.....	- 39 -
3 Popis sportovního areálu .....	- 40 -
3.1 Plavecký bazén .....	- 41 -
3.1.1 Vytápění a příprava TV.....	- 42 -
3.1.2 VZT .....	- 42 -
3.1.3 Měření a regulace.....	- 42 -
3.1.4 Elektrická energie .....	- 43 -
3.1.5 Voda.....	- 43 -

---

3.2	Zimní stadion.....	- 44 -
3.2.1	Vytápění a příprava TV.....	- 44 -
3.2.2	VZT, chlazení a další systémy .....	- 44 -
3.2.3	Strojovna chladu.....	- 44 -
3.2.4	Elektřina .....	- 45 -
3.2.5	Voda.....	- 46 -
3.3	Sportovní hala .....	- 46 -
4	Ekonomicko technické vyhodnocení .....	- 49 -
4.1	Kogenerační jednotka .....	- 49 -
4.1.1	Návrh kogenerační jednotky .....	- 51 -
4.1.2	Návrh spalínového ekonomizéru pro kogenerační jednotku .....	- 58 -
4.1.3	Výpočet návratnosti ekonomizéru .....	- 61 -
4.1.4	Výpočet návratnosti kogenerační jednotky .....	- 62 -
4.2	Fotovoltaická elektrárna .....	- 63 -
4.2.1	Návrh fotovoltaické elektrárny s ohledem na KJ.....	- 65 -
4.2.2	Výpočet návratnosti fotovoltaické elektrárny.....	- 67 -
4.3	Solární tepelné kolektory.....	- 69 -
4.3.1	Výpočet tepelných ztrát bazénu.....	- 69 -
4.3.1.1	Tepelné ztráty radiací .....	- 70 -
4.3.1.2	Tepelné ztráty z hladiny .....	- 71 -
4.3.1.3	Tepelné ztráty dnem a stěnami bazénu.....	- 77 -
4.3.1.4	Tepelný přínos slunečním ozářením.....	- 80 -
4.3.1.5	Tepelné ztráty ohřevem připouštěné vody.....	- 80 -
4.3.1.6	Celkové tepelné ztráty .....	- 81 -
4.3.2	Návrh fototermických solárních kolektorů .....	- 85 -
4.3.3	Výpočet návratnosti plachty na zakrytí části bazénu .....	- 88 -
4.3.4	Výpočet návratnosti solárních kolektorů .....	- 88 -
4.4	Regenerace tepla z odpadní vody .....	- 89 -
4.4.1	Výpočet výměníku na odpadní teplo .....	- 90 -
4.4.2	Výpočet návratnosti výměníku na odpadní teplo .....	- 94 -
5	Vyhodnocení metodou EPC .....	- 95 -
6	Závěr .....	- 98 -
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	- 99 -
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	- 103 -
	SEZNAM PŘÍLOH.....	- 108 -

---

## ÚVOD

Úspory, šetření, to je trend dnešní doby. Na slevy nás lákají prodejci potravin, spotřebního zboží, automobilů. V poslední době, především v souvislosti s využitím moderních technologií ve stavebnictví, se stále více setkáváme s nabídkami úspor energií. A protože vidím v energetických úsporách smysl a domnívám se, že je důležité je neopomíjet, rozhodl jsem se tímto tématem zabývat ve své diplomové práci.

Úspory energií můžeme najít, dá se říci, kdekoliv a v kterémkoliv oboru. V případě objektů jsou úspory energií citlivější v souvislosti s rozlohou stavby, stářím objektu a použitou technologií. Jelikož výzkum a pokrok technologií jde prudce nahoru, zatím co jejich ceny jsou stále dostupnější, má v dnešní době smysl zabývat se rekonstrukcí zázemí energetických zařízení či pořízením úplně nových, dříve nevyužívaných nebo cenově nedostupných technologií.

Objekty, jako jsou zimní stadiony, plavecké bazény a sportovní haly mají oproti ostatním objektům zdatně vyšší spotřeby energií a to ať už se jedná o teplo, plyn, elektřinu nebo vodu. Je zde velká škála možností úspor, jako je úspora na teple či plynu renovací kotelny, na elektrické energii osvětlením a jinými elektrickými zařízeními nebo na vodě výstavbou vrtů pro čerpání vody. Dalším klíčovým tématem, které bude popsáno v této diplomové práci, je měření a regulace celého systému zásobování objektů energiemi a následná jeho optimalizace. Můžeme sem zahrnout dohled nad systémem, automatické ovládání topné vody pomocí ekvitermní regulace tepla, hlídání rezervované kapacity na elektřině a v neposlední řadě také predikce počasí a následné zohlednění v systému. Spotřeby energií je možné snížit o vlastní výrobu energie tepelné a elektrické s využitím tepelných čerpadel, kogeneračních jednotek, fototermických solárních kolektorů nebo fotovoltaických elektráren. Tato problematika je řešena v druhé části této diplomové práce, kde jsou navržena úsporná opatření pro daný areál.

I přes klesající ceny zařízení se často pohybuje návratnost vysoko nad deset let nebo nad samotnou životností celého zařízení. Další častou překážkou bývá vstupní investice, která je příliš vysoká a nebyli bychom schopni takovou investici zaštitit. Jsou zde řešení, jako je státní či evropská podpora ve formě dotací pro veřejný, podnikatelský i soukromý sektor. Můžeme se také obrátit na firmy tvořící EPC (energy performance contracting) projekty, které zaručují úsporu, návratnost, realizaci, financování a kontrolu celého energetického systému. Ať už využijeme jakoukoliv možnost nabízených energetických úspor, ve všech případech nám to nepřinese pouze ušetřené náklady za energie, ale také částečně přispějeme na obnovu a zlepšení životního prostředí.





## 1 Požadavky na zásobování velkých objektů energií

Velké objekty, jako jsou výrobní haly a sportoviště, mají na rozdíl od rodinných domů poměrně odlišné, vyšší, nároky a požadavky na jednotlivé energie. Díky vysokým odběrům mají tito velkoodběratelé možnost nasmlouvání nižších cen energií u dodavatele než je tomu u malých spotřebitelů, jako jsou rodinné domy a bytové jednotky. Běžně se jedná o cenové požadavky na tepelnou energii a elektrickou energii, ze kterých jsou odběratelé schopni vyrábět také chlad.

### 1.1 Zásobování velkých objektů tepelnou energií

Centrální zásobování teplem (CZT) zajišťují výtopny, teplárny, paroplynové teplárny, případně to může být i kogenerační jednotka (KJ) jako CZT. Tyto výrobní tepelné energie mají za úkol zásobovat teplem objekty, které nemají vlastní zdroj tepla. Teplo je vedeno v rozvodech za pomoci teplé nebo horké vody (případně páry) až do výměňkových stanic nebo předávacích stanic, které předávají teplo pro topný okruh domácnosti nebo podniku s radiátory a pro okruh s teplou užitkovou vodou (TUV). Takto vedených tepelných sítí je po ČR přibližně 10 000 km.

Hodnota odebraného tepla v objektu se měří pomocí kalorimetru na přívodu tepla (na patě objektu). Toto teplo je účtováno dle zákona o cenách č. 526/1990 Sb. a energetického regulačního úřadu (ERU). Dodavatelská cena tepla se skládá z nákladů způsobených výrobou a dopravou tepla, ze zisků dodavatele a z daně. Další možnou složkou ceny je sjednání rezervované kapacity (RK) dle potřebného tepelného výkonu (kW).[1]

### 1.2 Zásobování velkých objektů plynem

V případě, kdy objekt není napojený na CZT je možné tepelnou energii získat přivedením plynu plynovodem a následným spálením v místním zdroji tepla. Dříve byly takto využívány a dopravovány tuhá paliva (zejména hnědé/černé uhlí).

Dle spotřeb tepla daného objektu je zapotřebí plynovod s určitou kapacitou plynu pro pokrytí spotřeb objektu. Může se jednat o plynovod nízkotlaký, středotlaký nebo vysokotlaký.

Pro nákup plynu u velkých objektů je důležité stanovit správně rezervovanou kapacitu (RK). Rezervovaná kapacita se stanovuje dle denní spotřeby plynu v objektu. Ceny za RK, přepravu, distribuci plynu a služby operátora (regulované složky ceny za plyn) určuje každý rok nově ERU. Tyto ceny nelze ovlivnit změnou dodavatele plynu a je možné tak ovlivnit pouze množství RK. Výběrem dodavatele můžeme ovlivnit samotnou cenu plynu (komoditu) a cenu za obchod. [2]

### 1.3 Zásobování velkých objektů elektrickou energií

Elektrická energie je nejušlechtlejší forma energie, kterou umíme vyrobit a distribuovat. Za pomoci elektrické energie je možné vyrobit tepelnou energii v elektrických kotlích či pomocí tepelných čerpadel. Jedná se o tzv. exergii (schopnost transformace energie na jinou energii).

Elektrina je odebírána v objektech v nízkém (NN), vysokém napětí (VN) a ve velmi vysokém napětí (VVN). Ceny se odvíjí dle kategorie spotřebitele. Velkoodběratelé spadají pod kategorie značené písmeny „A“ (VVN s napětím mezi fázemi do 52 kV) a „B“ (VN s napětím mezi fázemi od 1 kV do 52 kV). Jejich výhodou je možnost sjednání individuálních cenových nabídek a úspory za jednotkovou cenu el. energie. Pevné ceny a tarify jsou určeny podle ERU pro nízké napětí, tedy pro kategorie „C“ a „D“ (NN s napětím mezi fázemi do 1 kV). Kategorie „C“ a „D“ disponují tarify s odběrem el. energie ve vysokém a nízkém tarifu (VT a NT). To

znamená že po určitou dobu v průběhu dne mají levnější elektřinu než ve zbylé hodiny. U takových tarifů je zapotřebí splnit podmínky psané v sekci cenové rozhodnutí na ERU.

U velkoodběratelů, podobně jako u plynu, je zapotřebí rezervovat  $\frac{1}{4}$  hodinovou kapacitu podle příkonu spotřebičů v objektu. Jedná se taktéž o jedinou položku z regulovaných složek ceny za elektřinu, která je možná optimalizovat a sjednat. [2]

#### **1.4 Zásobování velkých objektů chladem**

Chlad, jako druh „energie“ je obvykle vyráběn přímo na místě spotřeby za pomoci chladicích zařízení. K tomu slouží chladicí jednotky poháněné elektrickou či tepelnou energií. Velké i malé objekty mají velmi často požadavek na chlad. Jedná se o klimatizování kancelářských prostor, výrobních hal z důvodu předepsaných pracovních podmínek nebo se může jednat o chlazení ledové plochy a prostoru zimního stadionu. U velkých chladicích zařízení vzniká velké množství odpadního tepla, které je možné zpětně získat.

#### **1.5 Zásobování velkých objektů párou**

Pára je převážně vyráběna přímo na místě spotřeby. K její výrobě slouží kotle na výrobu páry o různém tlaku a teplotách. Tyto kotle (parní generátory) využívají jako palivo zemní plyn. Dříve byla pára využívána jako nositel tepelné energie pro vytápění objektů. Dnes se s ní můžeme setkat především v elektrárnách pro výrobu elektrické energie nebo ohřevu vody, ale také v různých odvětvích technologie úpravy kovů, v pekárnách, v prádelnách apod.

#### **1.6 Vlastní výroba**

Vlastní výroba spočívá v instalaci takových zařízení, které jsou schopny vyrobit některé z již zmíněných energií a případně tak snížit celkové náklady na energie nakupované. K zařízením, která vyrábí energii patří např. kogenerační jednotky (KJ), tepelná čerpadla (TČ), ale také obnovitelné zdroje, jako jsou fotovoltaické elektrárny (FVE) nebo solární termické kolektory. Tyto zařízení potřebují EE pro chod kompresorů, ventilátorů a oběhových čerpadel a případně ZP.

#### **1.7 Areálové požadavky**

Mezi areálové požadavky patří opatření, která se nachází přímo v místě spotřeby energií. Jedná se zejména o servis zařízení, akumulaci tepelné energie a řídicí systém, který hlídá jednotlivé požadavky v celém objektu.

##### **1.7.1 Servis zařízení**

Z hlediska zaručené dodávky energií do objektu je nezbytné, aby veškeré zařízení pracovalo. Při poruše ať už z důvodu životnosti zařízení, lidské chyby nebo přírodním živlům je nutná okamžitá oprava nebo výměna komponentů. Nejčastěji se jedná o kompresory a čerpadla. Můžou to být také například frekvenční měniče, zanesené potrubí nebo vadné senzory a snímače, které regulují chod energetických zařízení. Dále se musíme starat o servis, kde je vyžadována kontrola a revize. Například hladina a výměna oleje, revize spalínovodů, hořáků, výměňkových stanic, tlakových nádob apod.

##### **1.7.2 Akumulace**

Akumulace, především tepla, je nezbytnou součástí každého objektu pro efektivní a úsporný chod. Zásobníky teplé vody zaručí plynulejší regulaci topných větví a úsporu spojenou s nižším počtem spínání kotlů.

Pro akumulaci EE jsou využívány baterie nebo taktéž akumulční zásobníky vody, kde je EE přeměněna na tepelnou. Akumulace EE je využívána především u výroby EE z FVE k ukládání přebytků vyrobené EE. Jako potenciální varianta se jeví nabíjení baterií v NT místo odebírání EE ve VT případně pro pokrytí denní špičkové spotřeby objektu a možnost nasjednání nižší RK.

### **1.7.3 Řízení systému**

Nezbytnou součástí je monitoring, měření a regulace (MaR) celého systému zásobování energiemi. Optimální nastavení a regulace zaručí úsporný a šetrný chod zařízení a požadovaný komfort. Hlavními aspekty optimalizace je nastavení teplot ekvitermních křivek, útlumy kotlů, čerpadel, hlídání RK, predikce počasí a úprava vzduchu ve vzduchotechnické jednotce (VZT).

## 2 Přehled energeticky úsporných technologií a zařízení

### 2.1 Kotle

Základní zařízení pro vytápění objektů a přípravu TUV jsou kotle na zemní plyn (CH<sub>4</sub>). Jedná se o první zařízení, na které se bere ohled při rekonstrukci objektů a kotelen. Dříve využívané kotle na tuhá paliva již vymizely a byly nahrazeny plynovými kotli díky rozšíření plynárenství. To také způsobilo nižší cenu za dopravu oproti palivu pevnému.

Kotle na zemní plyn měly vysoké komínové ztráty, aby nedocházelo ke kondenzaci spalin obsahujících síru, která způsobuje nízkoteplotní korozi. Tyto kotle byly a jsou nahrazovány kondenzačními kotli, které mají vyšší účinnost o latentní teplo získané snížením teplot spalin pod rosný bod a tím snížené komínové ztráty.

#### **Rozdělení plynových kotlů v objektech podle vyráběného média [3]:**

- Teplovodní kotle
  - Závěsné kotle (do 50 kW jmenovitého výkonu)
  - Stacionární kotle (nad 50 kW jmenovitého výkonu)
- Parní generátor
  - Nízkotlaký (do 0,6 MPa)
  - Středotlaký (od 0,6 MPa do 2 MPa)

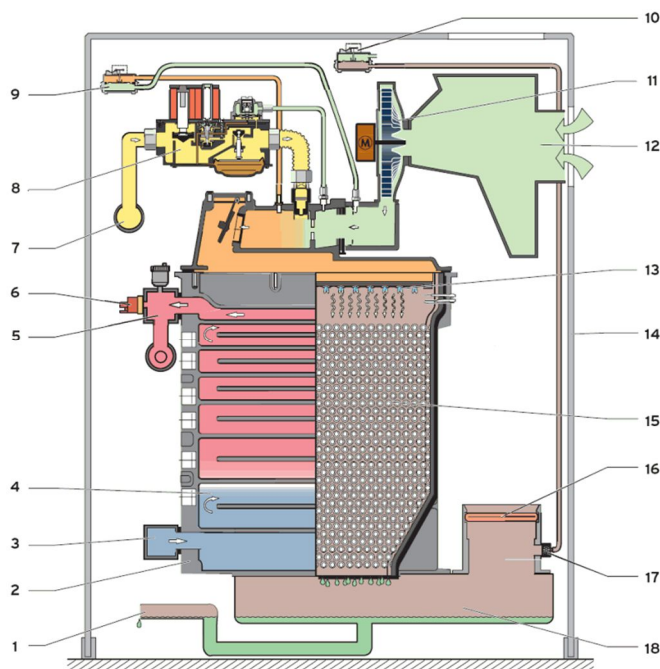
#### **Rozdělení plynovodů podle tlaku dopravovaného plynu:**

- Nízkotlaké plynovody do 5 kPa
- Středotlaké plynovody od 5 kPa do 0,4 MPa
- Vysokotlaké plynovody od 0,4 MPa do 4 MPa
- Velmivysokotlaké plynovody od 4 MPa

Kvůli vysokému odběru plynu u větších objektů je potřeba přípojka ke středotlakému plynovodu. [6]

Teplovodní kotle se využívají v každém objektu kde není CZT, případně i v takových objektech nalezneme alespoň záložní kotle pro přípravu TUV a vytápění.

Parní generátory se používají pro technologickou páru, která je využívána nejčastěji v prádelnách a potravinářském průmyslu. Zde je zapotřebí i úprava vody. [4,5]

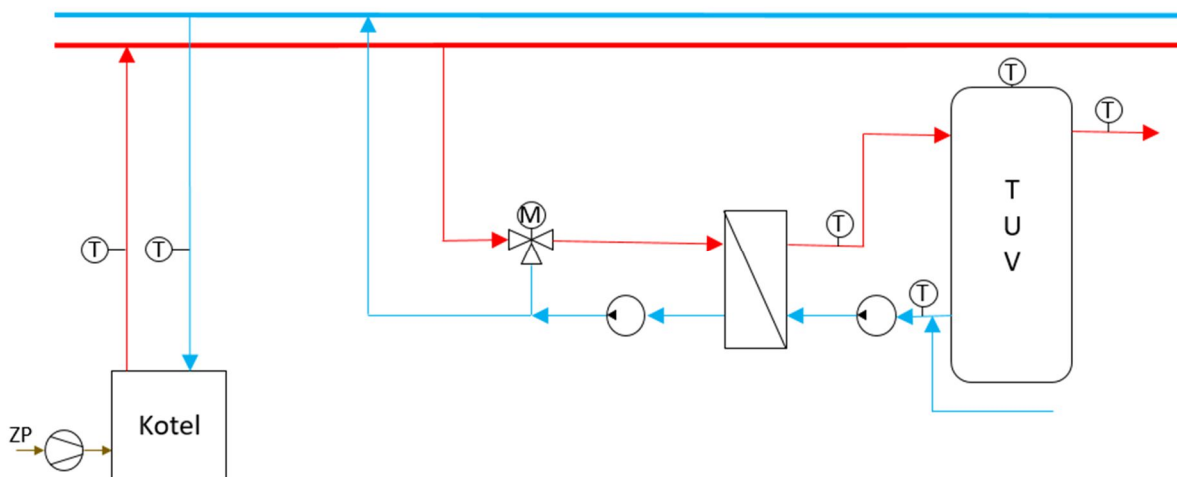


Obr. č. 1 Řez kondenzačním stacionárním kotlem [5]

Na obrázku č.1 je vidět řez kondenzačním kotlem, kde v bodě 12 přivádíme spalovací vzduch, který je nasáván ventilátorem (11) do směšovací komory, kam také vstupuje plyn (7) a je regulován armaturou (8). Následně směs vzduchu a plynu vstupuje do hořáku (13), kde dochází k hoření. Spaliny následně prochází přes teplosměnnou kondenzační plochu (15), kde předávají teplo topné vodě (4). Spaliny následně odchází do odtahu (16) o teplotě nižší než je rosný bod. Odvod kondenzátu (1) je umístěn ve spodní části kotle (18) odkud je odvedený do kanalizace. Rozdělovače na vstupu a výstupu topné vody (3,5) slouží ke správnému směru proudu topné vody. Dále je zde opláštění kotle (14) a samotný výměník tepla (2). V neposlední řadě jsou zde monostaty (9,10), které hlídají tlak vstupující směsi vzduchu s plynem a spalín (17) a tlakový spínač (6), který může blokovat chod kotle v případě nedostatku topné vody. [5]

Za kotel je zapotřebí připojit akumulární nádrž na teplou vodu pro plynulý chod kotle a zásobování celého objektu teplem. Senzory tepla, trojcestné ventily ovládané ekvitermní regulací, v systému slouží k regulaci teplot v otopných větvích dle požadavků.

Na obrázku č.2 je vidět zapojení plynového kotle k topné větvi včetně akumulární nádrže pro TUV s výměníkem, s trojcestným ventilem pro regulaci teploty vstupující na výměník a s teplotními čidly pro kontrolu chodu systému.



Obr. č. 2 Schéma zapojení kotlů s výměníkem vč. regulačních prvků

Voda v topném okruhu a voda pro výrobu páry musí být chemicky ošetřena a filtrována. To zajišťuje chemická úprava vody. Vodu můžeme čistit například v tlakových filtrech od mechanických nečistot a membránovými procesy, jako jsou reverzní osmózy, které jsou schopny čistit vodu od zbylých solí a plynů, které mohou zanášet teplosměnné plochy a tvořit korozi kotlů a potrubí [7]. Úpravny vody musí splňovat požadavky na kvalitu vody dle norem ČSN 07 7401 a ČSN 83 0616 pro TUV.

## 2.2 Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotka (KJ) je zařízení, které za pomoci nejčastěji využívaného pístového motoru vyrábí el. energii za pomoci generátoru, přičemž zbylá energie, přeměněná na tepelnou, je využita pro vlastní zásobování teplem.

Kogenerační jednotka je schopna pracovat s vysokou celkovou účinností a to okolo 85%.

Ze 100% plynu je schopna vyrobit přibližně 35% el. energie a ze zbylé tepelné energie regeneruje přibližně 70 – 80 % tepla. Zbylé teplo připadá na tepelné a generátorové ztráty, které jsou tvořeny

- Komínovou ztrátou z 16 – 17 % (ztráta odvodem horkých spalin do atmosféry)
- Sálavou složkou tepla do okolí z 3 – 4 %
- Ztrátami na generátoru 1 – 1,5 %

Takto vysoké celkové účinnosti oproti samotné výrobě elektřiny ( v elektrárnách) a na rozdíl od samotné výroby tepla ( ve výtopnách ) se dosahuje díky sdružené výrobě. Rozdíl lze posoudit z níže uvedených rovnic.

### Účinnost transformace primárního paliva

#### Účinnost elektrická

$$\eta_E^{KVET} = \frac{E}{m_{PAL} \times Q_i} \quad (2.1)$$

**Účinnost teplená**

$$\eta_T^{KVET} = \frac{Q_{UV}}{m_{PAL} \times Q_i} \quad (2.2)$$

**Účinnost KJ celková**

$$\eta_C^{KVET} = \frac{Q_{UV} + E}{m_{PAL} \times Q_i} \quad (2.3)$$

Celková účinnost lze také vyjádřit pomocí teplotního modulu a elektrické účinnosti

$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} \times \left(1 + \frac{1}{e}\right) \quad (2.4)$$

$$e = \frac{E}{Q} \quad (2.5)$$

K teplotnímu modulu se můžeme také dopočítat poměrem jednotlivých účinností

$$e = \frac{\eta_E^{KVET}}{\eta_T^{KVET}} = \frac{\eta_E^{KVET}}{\eta_C^{KVET} - \eta_E^{KVET}} \quad (2.6)$$

Jelikož elektrická energie je exergetická, na rozdíl od tepelné, je vhodné tepelnou účinnost přepočítat na exergetickou tepelnou účinnost

$$\zeta_T^{KVET} = \frac{E_{UV}}{E_{PAL}} = \frac{E_{UV}}{m_{PAL} \times \varepsilon_i} \quad (2.7)$$

Exergetický tok nebo měrná exergie paliva v případě chemických paliv je přibližně 95 % celkového anenergetického tepelného toku.

Celková exergetická účinnost je tedy potom vyjádřena vztahem

$$\zeta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \zeta_T^{KVET} = \frac{E + E_{UV}}{E_{PAL}} \quad (2.8)$$

Pokud je již známá účinnost jednotlivých výrobních procesů, určení výroby požadované energie se určí pomocí rovnic

**Výroba elektřiny v elektrárně:**

$$Q_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} \quad (2.9)$$

**Výroba tepelné energie ve výtopně**

$$Q_{výt} = \frac{Q}{\eta_{výt}} \quad (2.10)$$

**Výroba sdružená v KJ**

$$Q_{kj} = \frac{E + Q}{\eta_{kj}} \quad (2.11)$$

Je zřejmé, že nedochází k navýšení účinnosti strojů, ale pouze k úspoře paliva díky sjednocení výroby tepla a elektřiny.

**Úsporu na palivu** lze vyjádřit vzorcem

$$Q_u = \frac{E}{\eta_{el}} + \frac{Q}{\eta_{výt}} - \frac{E + Q}{\eta_{kj}} \quad (2.12)$$

Toto vyjádření úspory můžeme upravit tak, abychom si vyjádřili teplotní modul (poměr výroby elektřiny a tepla v KJ)

$$\frac{Q_u}{Q} = \frac{E}{Q} \times \left( \frac{1}{\eta_{el}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right) \Rightarrow \frac{Q_u}{Q} = e \times \left( \frac{1}{\eta_{el}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right) \quad (2.13)$$

Měrná úspora tepelné energie při využití KJ oproti klasické oddělené výrobě.

$$\frac{Q_u}{Q_{el} + Q_{výt}} = 1 - \frac{\eta_{el} \times \eta_{výt}}{\eta_{kj}} \times \frac{e + 1}{e \times \eta_{výt} + \eta_{el}} \quad (2.14)$$

Tato měrná úspora je tedy závislá na velikosti teplotního modulu, který může nabýt hodnoty 0,1 – 1,5 (2) a může tak dosáhnout až 50 % tepelných úspor.

Účinnost KJ s vnitřním spalováním se může pohybovat v rozmezí 75 – 92 %. Díky takové sdružené výrobě dosahujeme nižších emisí na jednotku vyrobené energie.

### **Rozdělení KJ:**

#### **podle technologie pohonu**

- Parní turbíny
- Spalovací turbíny
- Paroplynová zařízení ( kombinace prvních dvou bodů)
- Spalovací motory
  - Ottův tepelný oběh ( plyn)
  - Dieselův tepelný oběh ( nafta aj. kapalné paliva)

Méně časté pohony

- Stirlingův motor
- Mikroturbíny
- Zařízení s ORC cyklem ( organický rankinův cyklus )
- Parní motory
- Palivové články (patří jako jediné mezi přímé přeměny energie)

#### **podle výkonu**

- Micro KJ do 50 kW
- Mini KJ do 500 kW
- Malé KJ do 1 MW
- Střední KJ do 50 MW
- Velké KJ nad 50 MW

Běžně se v objektech jako jsou výroby, střední průmysl, bazény, zimní stadiony, školy, ubytovny, hotely, nemocnice apod. využívají KJ se spalovacím čtyřdobým pístovým motorem. Jedná se o motory s vnitřním spalováním, které přeměňují tepelnou energii na mechanickou přímočarou energii, která je dále přes klikový mechanismus převedena na rotační pohyb s otáčkami až 3 600 za minutu. Takto transformovaná energie může být předána na generátor, který generuje elektrickou energii.

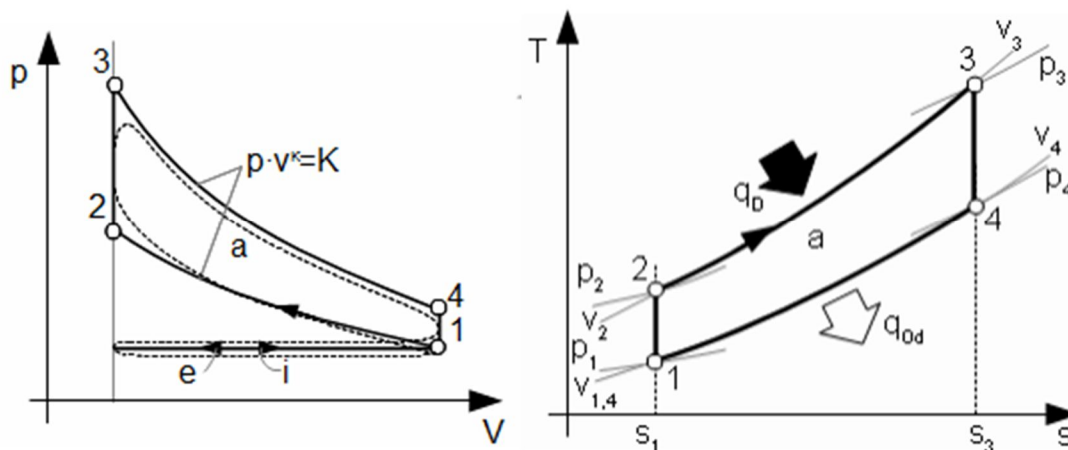


KJ se spalovacím motorem je vyráběna v rozmezí výkonu 10 kW až 50 MW. U výkonějších KJ se teplotní modul pohybuje okolo hodnoty 1.

### KJ mohou spalovat

- tuhá paliva – není možné je využít při využití KJ s vnitřním spalováním kvůli velkému objemu paliva. Je také zapotřebí velký přebytek vzduchu pro spálení paliva. Tvoří se více emisí spojených s přebytkem vzduchu a složením paliva a také se zde tvoří tuhé zbytky (popílek, škvára) způsobující zanášení výměňkových ploch, což vyžaduje hospodářství pro odstraňování tuhých zbytků. To není zapotřebí u paliv kapalných a plyných.
- kapalná paliva – jsou vhodná i pro KJ s vnitřním spalováním. Mají menší procento emisí a nepotřebují tak vysoký přebytek vzduchu jako tuhá paliva
- plyná paliva – patří k nevhodnějším palivům pro KJ. Jedná se především o zemní plyn. Je snadné jeho promíchání se vzduchem, regulace dodávky a potřeba přebytku vzduchu je minimální. Emise jsou díky tomu na nízké úrovni. Jelikož jsme schopni dosáhnout vysoké účinnosti spálení paliva, dochází tak k minimálnímu usazování sazí (čistý nespálený uhlík) a zanášení teplosměnných ploch. Výhodou plyných paliv je také velmi malé procentuální zastoupení síry a  $\text{NO}_x$ . [8]

KJ pro velké objekty jsou nejčastěji poháněny spalovacím motorem na zemní plyn. To se jako palivo jeví nevhodnější. Takový motor pracuje na principu výbušného (Otto) tepelného oběhu.



Obr. č. 3 p-v diagram výbušného oběhu [9] Obr. č. 4 T-s diagram výbušného oběhu [9]

### Zdvihový teoretický objem

$$V_Z = V_1 - V_2 \quad (2.15)$$

### Kompresní objem

$$V_K = V_2 \quad (2.16)$$

### Kompresní poměr

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.17)$$

**Izochorický odvod tepla**

$$Q_C = m \times c_V \times (T_1 - T_4) \quad (2.18)$$

**Izochoricky přivedené teplo**

$$Q_H = m \times C_V \times (T_3 - T_2) \quad (2.19)$$

**Práce**

$$A_0 = Q_H - |Q_C| \quad (2.20)$$

**Teoretická termická účinnost motoru**

$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H} \quad (2.21)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{m \times C_V \times (T_4 - T_1)}{m \times C_V \times (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{(\kappa-1)} \quad (2.22)$$

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{(\kappa-1)} \quad (2.23)$$

Teoretická termická účinnost tohoto tepelného cyklu se pohybuje v rozmezí 28 – 42 % dle výkonu motoru.

Cyklus je popsán těmito termomechanickými ději

**Izochorický děj** – okamžitý nárůst tlaku při výbuchu zápalné směsi a pokles tlaku při výfuku

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (2.24)$$

$$\text{nebo } \frac{p}{T} = \text{konst.} \quad (2.25)$$

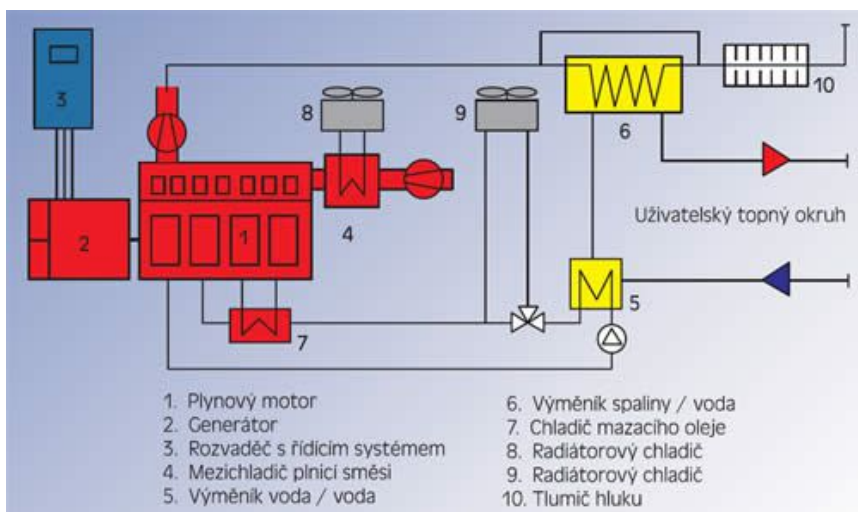
**Izoentropický děj** – ideální komprese a expanze spalin

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa \quad (2.26)$$

$$\text{nebo } p \times v^\kappa = \text{konst.} [10] \quad (2.27)$$

KJ s vnitřním spalováním jsou napojeny na přípojku zemního plynu, který je zaveden do motoru jako směs plynu a stlačeného vzduchu, kde dochází ke samovznícení směsi. Pro ohřev vody jsou v KJ kaskádovitě umístěny výměníky tepla od nejnižších teplot. Jedná se o chlazení oleje, chlazení motoru (přibližně 50 % celkového tepla) a chlazení spalin. Okruh chladiče motoru s výměníkem voda/voda dosahuje 110 – 130 °C. Okruh na chlazení oleje odvádí teplo z oleje o teplotách 70 – 90 °C. Poslední okruh s výměníkem spaliny/voda chladí spaliny o teplotách mezi 450 – 650 °C na teploty blízké rosnému bodu spalin nebo nižší tak, aby bylo využité i latentní teplo. Výstupní topná voda dosahuje teplot 90 – 110 °C (teplotní spád 90/70 nebo 110/80 °C). Odvod spalin a přívod vzduchu je zajištěn ventilátory a na výstupu spalin je umístěn tlumič hluku. Schéma KJ je znázorněn na obrázku č.5. Dále KJ disponuje úpravou primárního paliva (odstranění vody, CO<sub>2</sub>, pevných částic, síry a úprava teploty a tlaku), elektrickým kondicionérem pro úpravu frekvence elektrické energie. [11]

V případě nevyužití elektrické energie je elektřina prodávána do sítě distributora, avšak přebytek tepla je možné pouze akumulovat do zásobníku nebo za pomoci absorpčního cyklu u trigenerace pro chlazení. V případě přebytku tepla se zvyšuje teplota vody v systému a tím i vratné vody do doby, než dosáhne maximální teploty (70 °C) a KJ se sama odstaví. Proto je vhodné mít KJ navrženou dle spotřeb objektu tak, aby nedošlo k přebytkům tepelné energie. Tato problematika je řešena v kapitole 4.2.



Obr. č. 5 Schéma KJ [12]

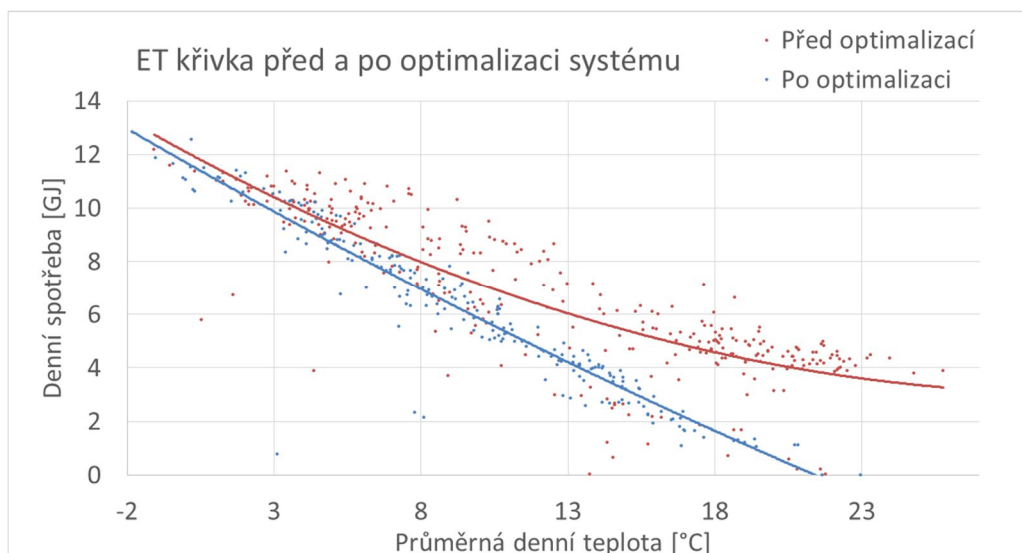
### 2.3 MaR

Měření a regulace jsou velmi blízko spjaté s úsporami. Bez regulace a měření není možné dohledu a ovládání jednotlivých prvků vzdáleně. Jedná se o informace jako aktuální výkon kotlů, otevření trojcestných ventilů, teploty v systému a v akumulacích nádržích. Vzdálený přístup přes internetový prohlížeč nebo aplikaci umožňuje dohled a zásah do systému. Jde o nastavení požadovaných teplot, omezení toku topné vody pro otopné větve mimo provozní dobu objektu, nastavení ekvitermních křivek na vyšší/nížší teploty dle ročního období a venkovních teplot, zabránění přetápění místností a případného následného neekonomického chlazení místností apod.

Do MaR je také možné zaimplementovat predikci počasí, která je schopna spustit vytápění či chlazení s předstihem. RK je také možno hlídat a regulovat a to za pomoci hlídání aktuální spotřeby a případným odstavením velkých elektrických spotřebičů.

MaR slouží ke sledování a následné optimalizaci procesu, který následně funguje automaticky s nepatrnými zásahy obsluhy při krizových situacích apod. případech.

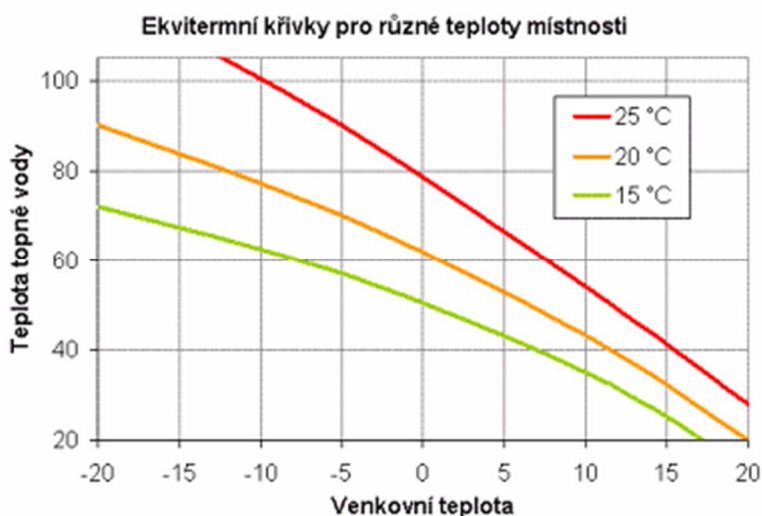
Na obrázku č.6 je znázorněna ET křivka, která ukazuje spotřebu tepelné energie v daný den při průměrné denní teplotě před a po optimalizaci.



Obr. č. 6 Graf ET křivky před a po optimalizaci systému [14]

### 2.3.1 Ekvitermní regulace

Ekvitermní regulace se řídí požadovanou teplotou v místnosti, teplotou venkovní a skutečnou teplotou v místnosti. Systém za pomoci termočlánků získává teploty venkovní a vnitřní, podle kterých vyhodnocuje jakou teplotu vody má mít voda v otopné větvi. Tu reguluje trojcestný ventil tak, že se částečně otevře a dovolí smíšení vratné (chladnější) vody s topnou vodou.[13]

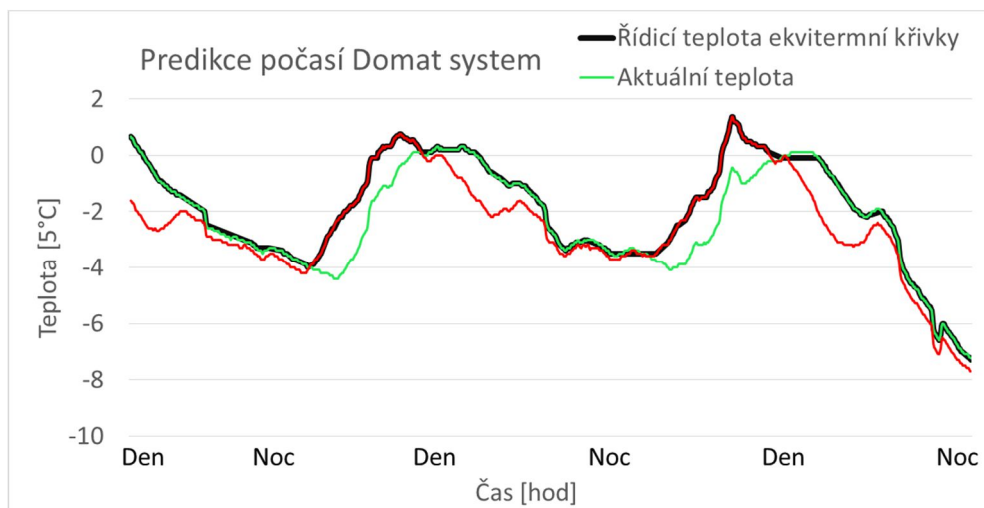


Obr. č. 7 Ekvitermní křivky [13]

### 2.3.2 Predikce počasí

Predikce počasí slouží k co možná největším úsporám energií ve větších objektech. Prediktivní řízení (model of prediction control – MPC) pro určení vnitřních teplot musí vypočítat teplotu okolního vzduchu, sluneční ozáření a jaké budou povětrnostní podmínky, které velkým podílem ovlivňují tepelné ztráty budovy. Jedná se o regulátor, který nahrazuje klasické ekvitermní regulační zařízení a využívá data předpovědi počasí, které musí být vhodné k technickým účelům jako je MPC. Takové data nejsou dostupná běžným uživatelům a jsou placená. [15] Porovnání MPC a ekvitermní regulace proběhlo např. na ČVUT Strojní fakultě, kde naměřily rozdíl úspor přibližně 16 % v prospěch MPC. [16]

Domat control system využívá zjednodušenou predikci pouze teploty v určité lokalitě. K aktuální teplotě v daný čas přičte nastavenou konstantu, která odpovídá nastavené požadované předpovědi počasí např. dvě hodiny. Díky tomu získá informaci o teplotě za dvě hodiny, která pokud je vyšší (obvykle do druhé odpolední hodiny) zavede tuto korigovanou teplotu do ekvitermní křivky. Je-li teplota predikovaná naopak nižší, ekvitermní křivka se řídí aktuální teplotou. [17]

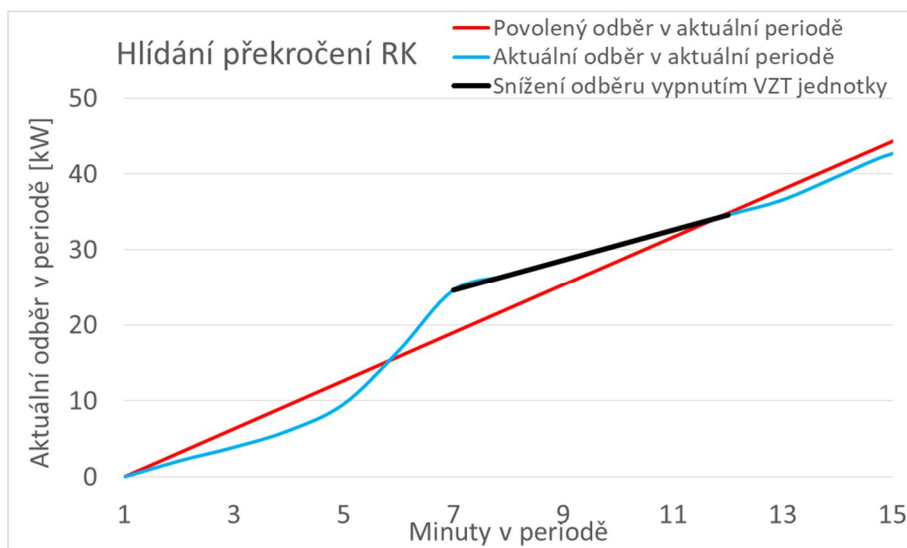


Obr. č. 8 Graf predikce počasí a řízení ekvitermní křivky [14]

### 2.3.3 Hlídaní překročení rezervované kapacity

K úsporným opatřením patří také správné nasmlouvání rezervované kapacity. Jako možná varianta se jeví nastavit RK na minimální nebo nižší  $\frac{1}{4}$  hodinové maximum odběru ze sítě a hlídat překročení. K tomu slouží hlídání  $\frac{1}{4}$  hodiny, které funguje na principu hlídání sumy dosažené spotřeby za daný časový úsek (15 minut). Jako příklad je uvedeno hlídání RK na zimním stadionu s rezervovanou kapacitu 190 kW. Tzn., že za hodinu je možné spotřebovat maximálně 190 kWh (47,5 kWh za  $\frac{1}{4}$  hodinu). Jestli bude spotřeba rozložena rovnoměrně po celých 15 minut nebo bude nárazově dosažena za 5 minut a předchozích 10 minut bude nulová spotřeba není důležité. Záleží na celkové sumě příkonů. Jestliže hlídání  $\frac{1}{4}$  hodiny zjistí možné překročení RK (aktuální odběr v aktuální periodě bude vyšší než povolený odběr v aktuální periodě) dá povel na vypnutí některých ze spotřebičů.

Ke snížení příkonu může posloužit krátkodobé, automatické odstavení kompresorů, ventilátorů ve vzduchotechnice nebo také v krajním případě osvětlení jak je tomu v grafu na obrázku č.9.



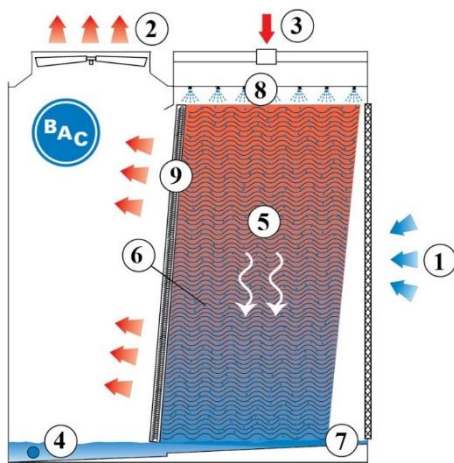
Obr. č. 9 Lineární hlídání překročení RK

### 2.3.4 Termo elektrické hlavice

Termoelektrické hlavice (IRC) slouží k regulaci množství topné vody vpouštěné do radiátorů. Jsou ovládány servomotorem v závislosti na vnitřní teplotě měřenou termostatem umístěným v místnosti nebo přímo v hlavici. Požadovanou vnitřní teplotu můžeme nastavit na místě nebo dálkově přes monitoring. Jedná se o poslední, koncové, ale velmi důležité zařízení k dosažení tepelných úspor a celkové optimalizace otopného systému. Využití můžeme najít především v administrativních místnostech a v prostorech, kde je zapotřebí zaručit určitý tepelný komfort dle ČSN EN 12831.[18]

### 2.4 Chladicí zařízení

Chladicí zařízení, které obvykle pohání kompresor poháněný elektromotorem vytváří teplo a chlad současně a přitom spotřebuje elektrickou energii (případně palivo). Jedná se o stejné zařízení jako je tepelné čerpadlo (TČ) s rozdílem, že je odebírán chlad a do okolí se odevzdává teplo. V případě kompresorového chlazení se jedná o Rankin –Clausiův (RC) tepelný cyklus. Chladicí jednotky jsou schopné dodávat teplo i chlad a to za pomoci čtyřcestného ventilu. Chladicí zařízení disponuje jak chladícím (EER), tak i topným faktorem (COP příp. SCOP). Jedná se nejpoužívanější typ chlazení.



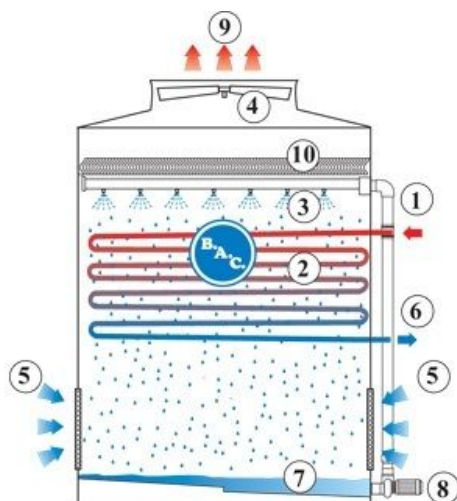
Obr. č. 10 Chladicí věž otevřená [19]

Jediný rozdíl u chladicích zařízení na principu RC cyklu je v typu chladicí věže, které se rozdělují dle typu chlazení teplotnosné kapaliny na:

#### -Otevřené chladicí věže

Chladicí voda je rozprašována ve věži (8), kde gravitačně stéká (5) do vany (7), odkud se vrací zpět (4) ke zdroji tepla. Chladicí voda je přímo v kontaktu s proudícím (chladícím) vzduchem (1), který je poháněn axiálními ventilátory (2,3) křížem proti stékající vodě. Část teplotnosné vody je odpařována a je odváděna s ohřátým vzduchem.

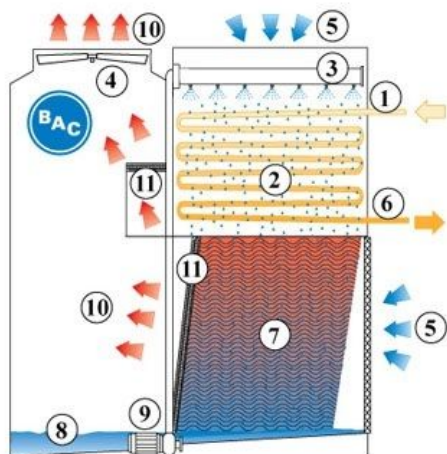




Obr. č. 11 Chladicí věž uzavřená [19]

### - Uzavřené chladicí věže

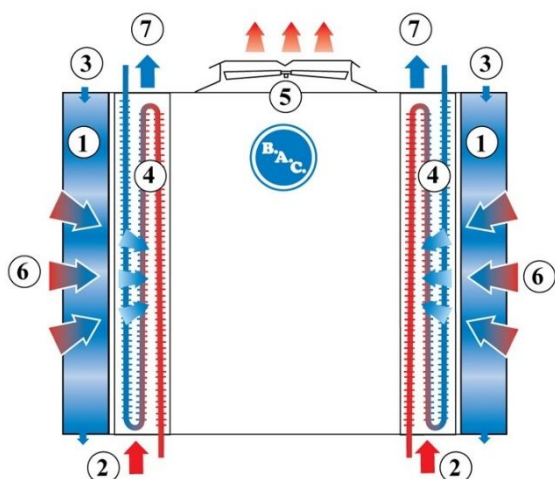
Uzavřená věž má uzavřený systém teplotně kapaliny (2), která je ochlazována rozprašovanou vodou ve věži (3). Tato voda má vlastní okruh (3,7,8,10) a je dále ochlazována vzduchem (5) poháněný axiálními ventilátory (4). S tímto vzduchem odchází i část odpařené vody (9). Teplotně kapalina nepřichází do kontaktu se vzduchem (1,6).



Obr. č. 12 Chladicí věž - odpařovací kondenzátor [19]

### - Odpařovací kondenzátory

Jedná se o stejný princip jako je tomu u uzavřené chladicí věže, jen do trubkovnice nevstupuje teplotně kapalina, ale páry chladiva (1), které zde kondenzují a vrací se jako kapalina ke zdroji tepla (6).



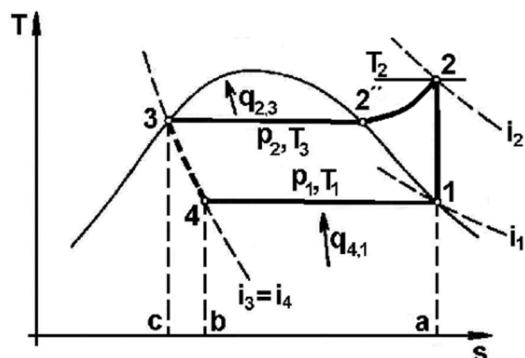
Obr. č. 13 Chladicí věž - adiabatická [19]

### - Adiabatické chladiče

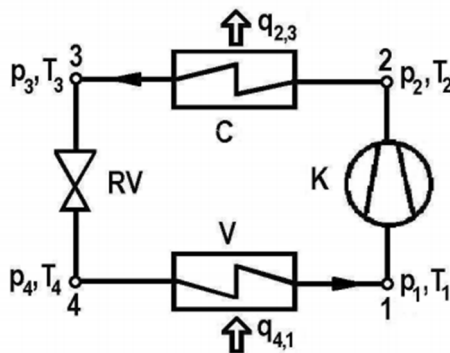
Díky speciální výplni, která je zaplavena vodou (3) nedochází ke kontaktu vody s lamelami a trubkovnicí a díky tomu není zapotřebí úprava vody. Nasávaný vzduch (6) prochází skrz tyto výplně a je ochlazován. Takto adiabaticky ochlazený vzduch proudí okolo trubkovnic (výměníku) (4), kde dochází k ochlazení chladiva (2,7). Ohřátý vzduch je odváděn pomocí axiálního ventilátoru pryč z věže (5).

Chladicí jednotky nebo chillery se mohou pohybovat výkonově od jednotek kW až po MW. Záleží pouze na velikosti chlazeného objektu. Většina chladicích jednotek je navíc modulární pro jednoduché navyšování chladicího/topného výkonu.

Jak již bylo zmíněno, v chladicím kompresorovém chladiči je využíván Rankin – Clausiův cyklus.



Obr. č. 14 T-S diagram RC cyklu [20]



Obr. č. 15 Schéma oběhu RC cyklu [20]

Na obrázku č.14 a č.15 je přiváděná pára (1), izoentropicky stlačena kompresorem z  $p_1$  na  $p_2$  a navýšena teplota z  $T_1$  na  $T_2$ . Dále je pára přivedena na kondenzátor, kde odevzdá své teplo topnému okruhu (v případě topení) nebo je mařeno (v případě chlazení) a zkondenzuje na kapalinu za konstantního tlaku (izobarický děj). Za pomocí expanzního ventilu je tento kondenzát přiveden adiabaticky do oblasti mokré páry, díky čemuž je snížen tlak a teplota chladiva. Na výparníku, kde je „odebírán“ chlad (v případě chlazení) nebo je chlad mařen (v případě topení) páry chladiva přijímají teplo.

#### Základní rovnice popisující RC cyklus:

##### Příkon kompresoru

$$a_k = i_2 - i_1 \quad (2.28)$$

##### Teplo přivedené

$$q_{4,1} = i_1 - i_4 \quad (2.29)$$

##### Teplo odvedené

$$q_{2,3} = i_2 - i_3 \quad (2.30)$$

##### Chladicí faktor

$$EER = \frac{q_{4,1}}{a_k} \quad (2.31)$$

kde

$i$  – entalpie v bodě  $i = f(T, p)$

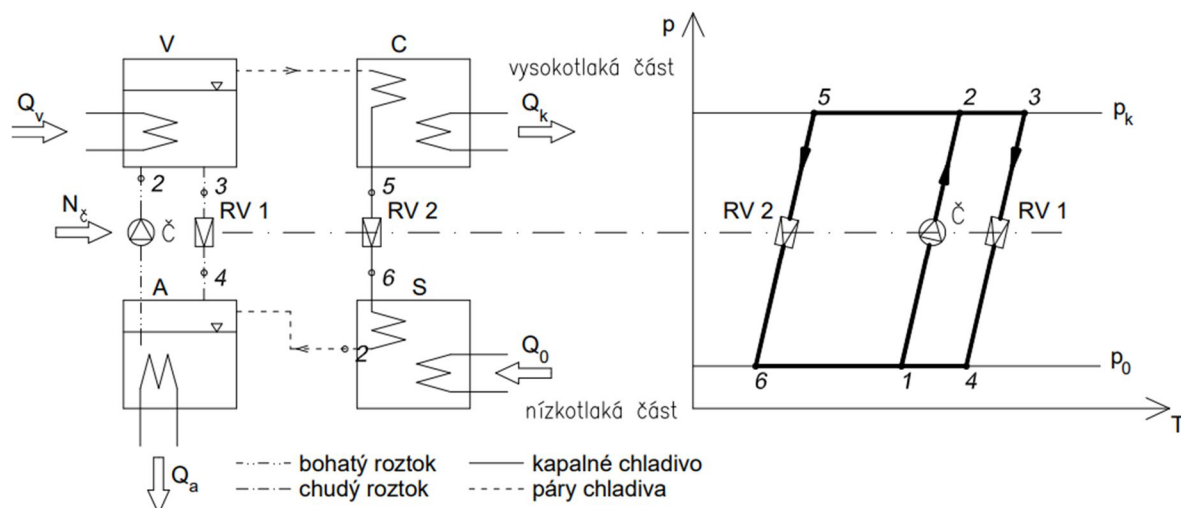
$q$  – měrná energie [J/kg]

$a_k$  – práce na kompresoru [W]

EER – chladicí faktor [-]

Druhým typem je chlazení pomocí absorpčního cyklu, který se využívá u trigenerace a tam, kde je velké množství odpadního tepla na výparníku a je zapotřebí a výhodné zužitkovat toto teplo na chlad.





Obr. č. 16 Schéma a  $p$ - $T$  diagram absorpčního cyklu [20]

Chladivo (čpavek), které je absorbováno absorbentem v absorbentu (A) je čerpadlem jako obohacený roztok přiveden na vyšší tlak a ve varníku (desorberu) je ohřát na vyšší teplotu přivedením tepla ( $Q_v$ ). Při této teplotě a tlaku se čpavek opět uvolňuje (vypařuje). Díky rozdílné teplotě vypařování se vypařuje pouze čpavek. Čpavek ve formě par o vysoké teplotě a tlaku je přiveden na kondenzátor, kde odevzdá teplo a následně přes expanzní ventil je zkondenzovaný čpavek adiabaticky přiveden do oblasti mokré páry o nižší teplotě a nižšího tlaku, jak tomu bylo u klasického levotočivého RC cyklu. Dále je čpavek veden skrze výparník, kde jsou páry chladiva ohřáty a vedeny zpět do absorbéru. Zde vzniká zdroj pro zásobování objektů chladem.

Absorbent ochuzený o chladivo je veden zpět do absorbéru přes redukční ventil, kde je část tepla z absorbentu odvedeno, aby byl absorbent schopen znovu absorbovat čpavek.

Absorbční cyklus dosahuje výrazně nižšího chladicího a tepelného faktoru (přibližně 1,4 – 1,5) oproti kompresorovým zařízením, kde se dosahuje faktoru 3 a více. Tento cyklus však využívá především odpadní teplo z parního zařízení nebo z kogenerace pro získávání chladu nebo navýšení potenciálu tepla.

$Q_v$  – teplo z kogenerace nebo jiné odpadní teplo o vysokém potenciálu ( 100 a více °C) [J]

$Q_0$  – teplo přivedené z okolí (v případě topení) nebo z objektu (v případě chlazení), které je nízkopotenciální [J]

$Q_k$  a  $Q_a$  – je teplo odvedené z cyklu a využito pro zásobování teplem nebo mařeno [J]

COP – topný faktor [–]

$N_c$  – práce na kompresoru [W]

Jak již bylo zmíněno, na kondenzátoru se vytváří velké množství tepla, které je mařeno. Toto teplo je v případě úspor vhodné rekuperovat zpět do otopného systému a zvýšit tak celkovou účinnost systému.[20]

Pro absorbční systém platí rovnice pro

### Chladicí faktor

$$EER = \frac{Q_0}{Q_v} \sim 0,5$$

### Topný faktor

$$COP = \frac{Q_a + Q_k}{Q_V} \sim 1,5 \quad (2.32)$$

### Bilanční rovnice

$$Q_0 + Q_V + N_{\dot{\zeta}} = Q_a + Q_k \quad (2.33)$$

Při zanedbání spotřeby EE čerpadla, platí:

$$Q_0 = Q_k$$

$$Q_V = Q_a$$

## 2.5 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla fungují na stejném principu jako kompresorové chladicí zařízení (popis principu v kapitole 2.4). Tedy tepelný oběh je Rankin – Clausiův a je také levotočivý. Jediný rozdíl je v umístění kondenzátoru a výparníku. U tepelného čerpadla bude kondenzátor umístěn uvnitř budovy a výparník venku.

Tepelná čerpadla se provádí ve variantách

- Vzduch – voda (teplo odebrané z okolního vzduchu)
- Země – voda (teplo odebrané ze země (vrt nebo plošný kolektor pod vrstvou půdy)
- Geotermální – voda (teplo odebrané geotermálně ze spodní vody nebo řeky)
- Vzduch – vzduch (teplo získané z okolního vzduchu a je ohříván vzduch (klimatizace))

Nejčastěji využívaný je právě voda – vzduch, kde se dá říct, že jde o chladicí zařízení (kapitola 2.4). Výkon zařízení se může pohybovat od jednotek kW do MW dle potřeby zásobování teplem.

Na obrázku č.14 a č.15, kde je schéma RC cyklu a RC cyklus v T – S diagramu je vidět, že práci vykonává kompresor a teplo odvedené, je teplo, které využíváme pro vytápění. Pak

### Topný faktor

$$COP = \frac{q_{2,3}}{a_k} \sim 3$$

COP se uvádí obvykle výrazně vyšší, jedná se totiž o topný faktor v ideálních podmínkách pro TČ (venkovní teplota cca 7 °C a ohřívána voda 30 – 35 °C). Dalším parametrem je SCOP, který udává reálný průměrný topný faktor v průběhu roku. Ten se již pohybuje okolo hodnoty 3.

COP se také liší dle typu získávání tepla. U typu země – voda a geotermální – voda se jedná o nejstabilnější zdroj tepla.

Tepelná čerpadla vzduch – voda se instalují bivalentně jak pro velké objekty, tak pro menší budovy z důvodu snížení tepelného výkonu v nejmrazivějších dnech otopné sezóny. TČ se dimenzují přibližně na 70 – 80 % tepelných ztrát objektu. Zbylé teplo může být pokryto CZT, plynovým nebo elektrickým kotlem.

## 2.6 VZT

Vzduchotechnika slouží k celkové úpravě a výměně vzduchu v halách a objektech. Primárně vyměňuje stávající vzduch za čerstvý vzduch z venku. Obvykle je výměna vzduchu řízena množstvím CO<sub>2</sub> ve vzduchu objektu. Jelikož by docházelo k velkým tepelným ztrátám větráním, zařadila se do vzduchotechniky rekuperace vzduchu, která regeneruje 60 – 90 % tepla z odvětrávaného vzduchu. Rekuperátor regenerující teplo odebírá EE na pohon, avšak jde o velmi malý, až zanedbateplný výkon. Samotná vzduchotechnika má hlavní spotřebu na přitahu a odtahu v podobě ventilátorů. Dále se do vzduchotechniky zařazují výměníky či kondenzátory s přívodem teplotnosného média nebo elektrické ohříváče pro vytápění a výměníky (výparníky) s přívodem chlazeného média pro chlazení. Další možností je vlhčení vzduchu kvůli požadavkům na kvalitu vzduchu nebo z hygienických důvodů. To se může provádět vlhčením vodou (adiabatický děj) nebo vlhčením párou (izotermický děj). Při vlhčení vodou dochází k ochlazení vzduchu. Vlhčení probíhá ve vodních pračkách nebo přímé rozprašování vodou (studená pára). Při cirkulaci vody u vodních praček se dbá na kvalitu vody a množení mikroorganismů (legionella) a je proto třeba zavést úpravnu vody. V případě, že venkovní vzduch má vyšší vlhkost jak vzduch uvnitř objektu, kde je požadavek na vlhčení, může být vzduch směšován se vzduchem o vyšší vlhkosti a docílit tak požadované vlhkosti.

Může být vyžadováno naopak i odvlhčení vzduchu, které se může dít pomocí mokrého chlazení a následného ohřevu, avšak je zde vysoká spotřeba energie na chladič. Druhým řešením je sorbční odvlhčování, které funguje na podobném principu jako absorpční chlazení. Tedy voda je ze vzduchu pohlcena absorbentem (Silikagel, aktivovaný oxidovaný hliník apod.) a je potřeba regenerace absorbentu.

Kombinací popsaných zařízení pro úpravu vzduchu pro vzduchotechniky je možné docílit požadavků na kvalitu vzduchu. [21]

## 2.7 Obnovitelné zdroje

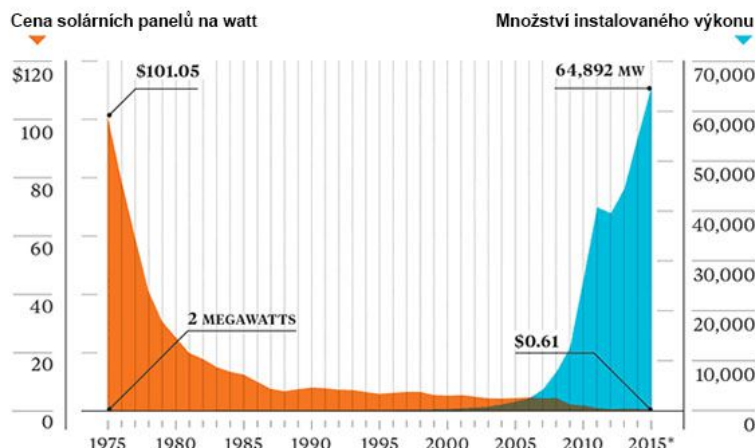
Do úsporných opatření patří i obnovitelné zdroje, díky kterým lze snížit náklady na energie. Využití těchto zdrojů je potřeba promyslet před realizací a investicí, jelikož velmi často se návratnost pohybuje nad samotnou životností zdrojů nebo je prostá návratnost natolik vysoká, že je nevýhodné investovat finance do obnovitelného zdroje. Mezi nejčastěji uvažované obnovitelné zdroje patří fotovoltaické panely a solární termické kolektory.

### 2.7.1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny patří mezi nejčastěji instalované obnovitelné zdroje. Rozlišují se podle struktury křemíkových buňek, která vzniká podle typu výroby na polykristalické a monokristalické. Jediný rozdíl je, že polykristalické lépe reagují na difúzní ozáření na rozdíl od monokristalických, které lépe využívají naopak přímé ozáření díky jednoduté struktuře článku (buňky). Jejich cena i roční výnos (v kWh) v podmínkách pro ČR jsou prakticky stejné. Průměrná účinnost pro předběžné výpočty a úvahy je 20 % z celkového slunečního ozáření dopadající na povrch Země.

Z fotovoltaických panelů se získá stejnosměrný proud, který je možné využít na ohřev vody nebo pomocí měniče AC/DC (stejnosměrný na střídavý proud) využít elektrinu jako zdroj pro elektrické spotřebiče. Tuto energii můžeme také akumulovat do baterií.

I přes trend klesající ceny za FVE je stále návratnost velmi vysoká a to především u podniků, kde je sjednána cena za nákup elektřiny velmi nízko.



Obr. č. 17 Trend poklesu ceny za jednotku instalovaného výkonu a nárůst celkového instalovaného výkonu [22]

Je možné získat část investovaných peněz zpět z dotačních systémů jako je Nová zelená úsporám, která nabízí několik programů dle velikosti elektrárny a podle typu akumulace. Pro získání dotace je potřeba splnit podmínky stanovené dotačním programem pro daný sektor.

Podnikatelé mohou využít OPPIK (Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost). Jeden z programů OPPIK je zaměřený na podporu ve všech oblastech energetických úspor, kde je podle velikosti podniku možné získat dotaci až 50 % z prokázaných způsobilých výdajů. Pro soukromý sektor existuje program Nová Zelená Úsporám. [23,24]

Fotovoltaické panely se navrhují vždy tak, aby jejich výroba byla spotřebována a přetok do sítě byl pokud možno nulový. Cena za výkup elektřiny se pohybuje v řádu halířů dle distributora. ERU již delší dobu (v řádu let) nenabízí zelený bonus na vyrobenou a dodanou energii do sítě jako tomu bylo přibližně před deseti lety.[2]

Jelikož v letní měsíce je největší úhrn slunečního ozáření a tedy nejvyšší produkce fotovoltaických elektráren, jsou tyto měsíce vhodné pro správnou bilanci a nastavení instalovaného výkonu. Průměrná měsíční spotřebovaná energie by se měla rovnat průměrné vyrobené energii. Do výpočtu tedy vstupuje pouze účinnost FV panelů, sluneční ozáření ať už skutečné nebo teoretické a spotřeby objektu. Tyto parametry jsou dostačující pro zjištění plochy a celkového instalovaného výkonu FVE.

Pro výpočet teoretického slunečního ozáření se dá využít planimetrování plochy pod křivkou nebo číselný součet hodnot  $I$  pro jednotlivé hodiny v případě, že je známe.

$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \times d\tau = I \times \Delta\tau = I \times (\tau_2 - \tau_1) \quad (2.34)$$

kde

$\tau_1$  – čas východu slunce

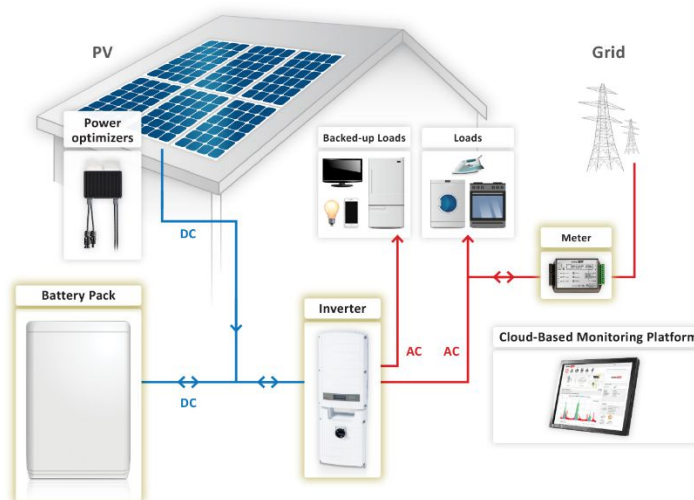
$\tau_2$  – čas západu slunce

$I = f(\tau)$  – denní průběh sluneční intenzity [W]

$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \times d\tau = \int_9^{16} I \times d\tau = I \times \Delta\tau = I \times (16 - 9) [kWh]$$

Pro vyrobenou energii v tomto časovém intervalu potom platí rovnice (2.35), kterou vynásobíme celkovou účinností FV systému vč. ztrát.

$$E_{den,prům}^{FVE} = I \times \Delta\tau \times \eta_{PAN} \times (1 - z_{ref} - z_{sys} - z_{cbl}) [kWh] \quad (2.35)$$



Obr. č. 18 zjednodušené schéma zapojení FVE [25]

Na obrázku č.18 je zapojení FV panelů přes MPPT regulátor (power optimizer) k měniči a případně k baterii. Dále již z měniče vystupuje střídavý proud, který je spotřebovaný spotřebiči nebo dodán do distribuční sítě přes kvadratický elektroměr.

V případě komerčního využití se obvykle jedná o více jak jeden měnič a více stringů, na kterých jsou připojeny FV panely.

## 2.7.2 Solární termické kolektory

Další možností jsou solární termické panely. Tyto panely přeměňují solární energii na tepelnou energii nízkého potenciálu (tedy do 100 °C). Jelikož panely potřebují dostatek slunečního svitu a jsou ovlivněny i okolní teplotou vzduchu, přes zimu za podmínek v ČR nejsou schopny ohřívat vodu v zásobníku na obvykle požadovaných 50 – 55 °C. Oproti fotovoltaickým panelům vyrobí v zimních měsících méně energie. Ve zbylých měsících je tomu ovšem naopak díky celkové účinnosti termických kolektorů. V letních měsících se může pohybovat účinnost plochých kolektorů okolo 80 % a více, ale v zimě účinnost kolektorů padá na 10 % a méně. Proto se jedná spíše o sezónní zdroj tepla.

**Teoretická účinnost solárních termických kolektorů** se určí jako

$$\eta_K = \frac{q_K}{q_S} = (1 - r) - \frac{(k_1 + k_2)(t_K - t_V)}{q_S} \quad [-] \quad (2.36)$$

Kde

$q_K$  – měrný tepelný tok zachycený kolektorem [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$q_S$  – měrný tepelný tok neboli sluneční záření [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$r$  – poměrná reflexní schopnost, která se liší čistotou skel (0,10 – 0,20)

$k_1$  – součinitel prostupu tepla vrstvou na přední straně kolektoru (skla) [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$k_2$  – součinitel prostupu tepla vrstvou na zadní straně kolektoru (tepelnou izolací)

[ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$t_K$  – teplota proudící kapaliny kolektorem = 30 – 100 °C

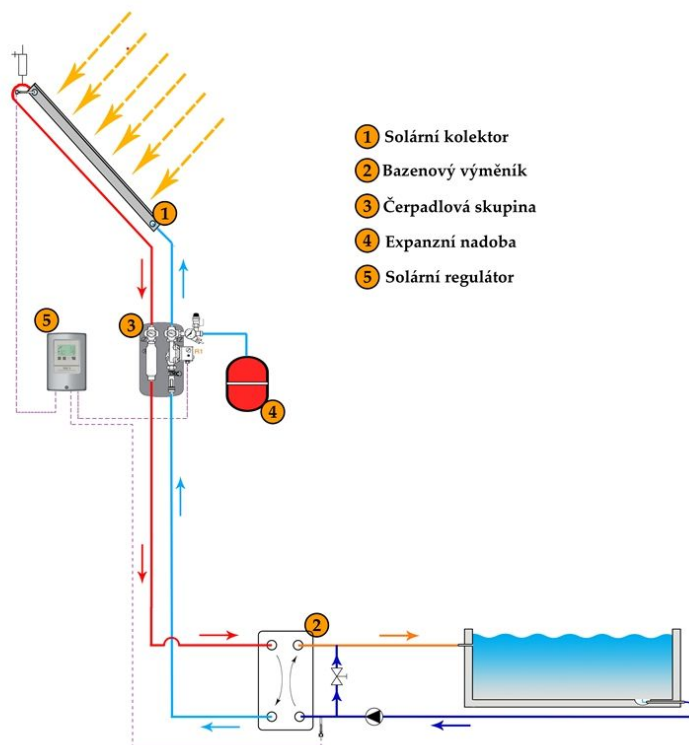
$t_V$  – teplota okolního vzduchu [°C]

$(k_1 + k_2) = 4 - 6$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

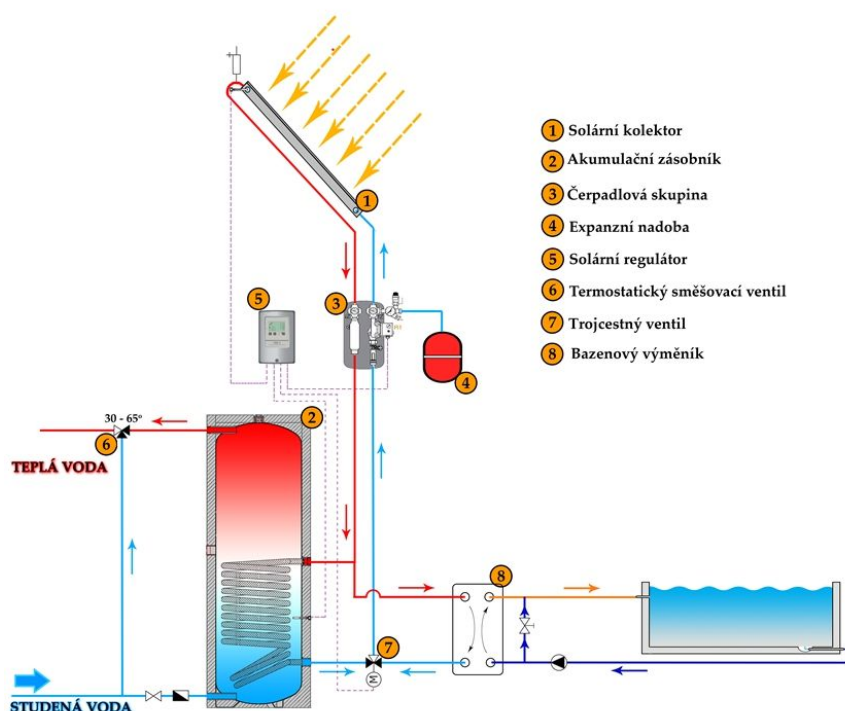
Pro tento zdroj je tedy důležité sluneční ozáření stejně jako pro FVE a taky je zde důležitá teplota okolního vzduchu, která naopak u FVE je nežádoucí z důvodu poklesu výkonu polovodičů s rostoucí teplotou.

Vynásobením účinnosti solárních termických kolektorů tepelným průměrným ziskem za jednotlivé měsíce se určí množství energie, které vyrobí tyto kolektory a je tak dopočitatelné potřebné množství kolektorů dle spotřeb objektu.

Jak již bylo zmíněno, jedná se kvůli slunečnímu ozáření spíše o sezónní pokrytí tepelných spotřeb a okrajových měsíců topné sezóny. Z tohoto důvodu je potřeba k pokrytí spotřeb připojit do systému i další zdroj tepla jako je tepelné čerpadlo, elektrokotel nebo plynový kotel.[40]



Obr. č. 19 zapojení solárních termických kolektorů jako zdroj tepla pro bazén bez akumulční nádoby [26]



Obr. č. 20 zapojení solárních termických kolektorů jako zdroj tepla pro bazén s akumulací nádobou [26]

## 2.8 LED osvětlení

Osvětlení se řadí mezi úsporné opatření z důvodu LED technologií, které namísto odporového drátku pro emaci tepla a světla využívají polovodičové součástky. LED osvětlení tak pracuje s nižší teplotou, se kterou je spojena i životnost. Teplota naměřená na 100 W klasické žárovce byla 168 °C. Oproti tomu na LED čipu byla teplota pouze 30,6 °C. Další výhodou spojenou i s tepelnými ztrátami a účinností osvětlení je svítivost LED čipů. Ty jsou schopny produkovat až 85 lumenů na watt oproti klasické žárovce která produkuje 14 lumenů na watt. To dělá přibližně 83 % úspor za energie. V případě osvětlení CFL či zářivky je svítivost výrazně lepší než u klasických žárovek a úspory oproti LED nebudou tak markantní. LED osvětlení dále disponuje velkou životností a to až 50 000 hodin provozu. [27]

Tab. č. 1 Srovnání paramterů jednotlivých typů zdrojů světla [28]

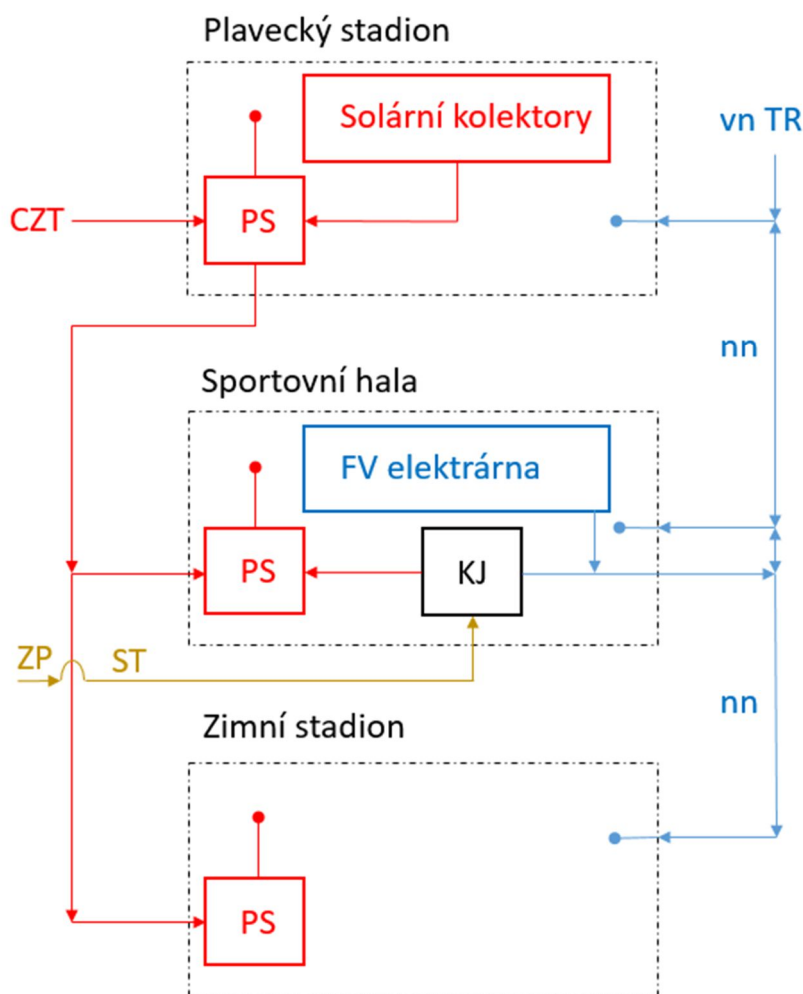
Typ	Svítivost [W/lm]	Životnost [h]	Teplota [K]
LED bílá studená	132	50 000	6 500
LED bílá teplá	78	50 000	3 150
Zářivka	97	25 000	4 100
CFL	63	12 000	2 700
Halogen	20	4 000	2 750
Žárovka	15	1 000	3 300

V tabulce č.1 je vidět, že svítivost LED osvětlení je také ovlivněna teplotou barvy vyzařovaného spektra, tedy vlnovou délkou viditelného elektromagnetického záření.

### 3 Popis sportovního areálu

Sportovní areál se skládá z plaveckého bazénu, zimního stadionu a venkovního koupaliště. Do areálu přibude sportovní hala pro sálové sporty. Celý areál bude sloučen do jednoho odběrného místa. Veškeré energie tedy budou společné.

Sportovní areál se nachází ve městě Chrudim. Je zásobovaný teplem z nedaleké elektrárny Opatovice. Je zde připravená přípojka středotlakého plynovodu a elektrická energie je odebírána z místní trafostanice (Obr. č.21).



Obr. č. 21 Schéma areálu vč. úsporných opatření

CZT – centrální zásobování teplem	● vlastní odběr tepla
PS – předávací stanice	● vlastní odběr EE
vn – vysoké napětí	→ směr toku tepla
TR – trafostanice	→ směr toku EE
nn – nízké napětí	
ZP – zemní plyn	
ST – středotlaký plynovod	
KJ – kogenerační jednotka	

Obr. č. 22 Legenda k Obr.č 21



Uvedené referenční spotřeby níže platí pro klimatologii pardubického kraje za rok 2012

Tab. č. 2 Klimatologie pro pardubický kraj 2017

Měsíc	Topné dny	Průměrná měsíční teplota	Denostupně
		[°C]	
leden	31	-5,9	772
únor	28	1	504
březen	31	5,9	406
duben	30	6,8	366
květen	20	13,9	102
červen	0	17,8	0
červenec	0	18,2	0
srpen	0	19	0
září	15	11,9	107
říjen	31	9,6	291
listopad	30	3,9	453
prosinec	31	1	558
<b>Celkem</b>	<b>247</b>	<b>8,59</b>	<b>3 559</b>

Nárůst spotřeb na novou sportovní halu se předpokládá o 3 % na elektrické energii a 18 % na teple dle kapitoly 3.3. Celková spotřeba areálu je uvedena v tabulce č.3.

Tab. č. 3 Přehled spotřeb za rok 2017 vč. nově plánované haly

Celkem ZS PS SH			
měsíc	Teplo	EE	Teplo
	[GJ]	[kWh]	[kWh]
leden	1 119	76 068	310 854
únor	844	72 596	234 331
březen	747	79 563	207 574
duben	514	41 831	142 905
květen	374	47 674	103 979
červen	280	63 449	77 778
červenec	223	56 618	61 944
srpen	252	110 946	70 000
září	524	109 097	145 601
říjen	644	106 457	178 971
listopad	794	79 123	220 630
prosinec	886	76 693	246 153
<b>Celkem</b>	<b>7 203</b>	<b>920 110</b>	<b>2 000 719</b>
<b>Navýšení o halu</b>		3%	18%

Tab. č. 4 Jednotkové ceny pro výpočet úspor

Jednotkové ceny pro výpočty			
Značka	CT <sub>i,RC</sub>	CP <sub>i,RC</sub>	CE <sub>i,RC</sub>
Jednotka	[Kč/GJ]	[Kč/m <sup>3</sup> ]	[Kč/kWh]
Areál	230	12	2,089

### 3.1 Plavecký bazén

Bazén se skládá ze dvou hal železobetonové zateplené konstrukce o rozměru 18×30×2,5 metrů s bazénovou vanou o ploše 12,5×25 metrů (cca 390 m<sup>3</sup>) a halou, kde se nachází dětský bazén (35 m<sup>3</sup>), šatny a zázemí kanceláří. Objekt je podsklepený, kde se nachází bazénová technologie, soustava vytápění a vzduchotechnika. Dvouplášťová střeška je tvořena železobetonovými panely a je zateplena. Okna jsou hliníková s dvojitým sklem.

Zastavěná plocha je přibližně 2 123 m<sup>2</sup>, vytápěná plocha pak 2 593 m<sup>2</sup>, objem je cca 16 870 m<sup>3</sup> a z toho 16 645 m<sup>3</sup> vytápěno.

Součástí celého bazénu je také venkovní koupaliště, které je celé v nerezovém provedení a hala stolního tenisu. Plocha venkovního koupaliště je přibližně 1353 m<sup>2</sup> (příloha č.1).

### 3.1.1 Vytápění a příprava TV

Prostory bazénu, šaten, osušoven apod. jsou převážně vytápěny pomocí VZT jednotek napojené na CZT. Zbylé prostory jsou vytápěny otopnými tělesy nebo podlahovým vytápěním. Výměníková stanice se nachází v suterénu. Je osazena deskovými výměníky pro vytápění a ohřev TV. Ohřev TV je zajišťován ve dvou kombinovaných zásobnících Viessmann. Tyto zásobníky jsou opatřeny elektrickými patronami (6 kW) pro případ výpadku dodávky tepla. V objektu se ve vybraných prostorách ohřívá voda i v el. boilerech. Pro sprchy se využívá vyčištěná voda z bazénu s dohřevem.

Objekt je osazen litinovými otopnými tělesy s termostatickými hlavicemi. V prostorách bazénu jsou teplovodní podlahová vytápění.

CZT také slouží pro ohřev bazénové vody ve vnitřním bazénu na 28 – 30 °C, ohřev venkovního koupaliště na 26 °C a vytápění haly pro stolní tenis.

### 3.1.2 VZT

Pro nucené větrání s možností ohřevu vzduchu šaten velkého a dětského bazénu, vstupní haly a osušoven slouží jedna ze tří strojoven VZT umístěna pod střechou v 3. NP, kde se nachází jednotky pro odtah a přívod vzduchu. Tato strojovna byla rekonstruovaná s dosaženou garantovanou úsporou 15 500 kWh ročně projektem EPC.

Tab. č. 5 Úspora dosažena rekonstrukcí VZT jednotek

VZT jednotky	Původní příkon [kW]	Stávající příkon [kW]	Provozní hodiny [hod/rok]	Spotřeba původní [kWh/rok]	Stávající spotřeba [kWh/rok]	Úspora [kWh/rok]
Hala	2,5	2	4 500	11 250	9 000	2 250
Osušovny	2,5	2	4 500	11 250	9 000	2 250
Šatny 1	7	5,6	5 000	35 000	28 000	7 000
Šatny 2	4	3,2	5 000	20 000	16 000	4 000

Výsledek vychází z rozdílu spotřeb (kWh) stávajícího a nového stavu příkonů zařízení při stejném počtu provozních hodin.

Další dvě jednotky s rekuperací a možností recirkulace pro velký a malý bazén jsou umístěny v druhé strojovně v 1 PP.

Poslední dvě jednotky jsou umístěny samostatně. Jedna slouží pro odtah a přívod vzduchu prostoru tobogánu s možností recirkulace a druhá pro větrání a vytápění prostoru šaten a sauny.

### 3.1.3 Měření a regulace

Instalované technologie pro vytápění, větrání, chlazení apod. jsou monitorovány a částečně i regulovány s centrálního počítače. Řídicí systém umožňuje nastavovat požadované teploty, monitorovat stavy a vyvolávat historické trendy. Obsluha zajišťuje nastavování požadovaných teplot dle provozního využití bazénů.

### 3.1.4 Elektrická energie

Bazén je napojený na trafostanici, odkud je napojený rozdělovač v suterénu bazénu. Zde se nachází hlavní měření elektrické spotřeby a regulátor jalového výkonu. Měření je společné pro krytý bazén i venkovní koupaliště.

Hlavní odběr EE tvoří především čerpadla, které jsou zapojeny kaskádovitě nebo disponují frekvenčními měniči (FM), vzduchotechnické jednotky a osvětlení. Byly doplněny frekvenční měniče na cirkulační čerpadla bazénové vody s dosaženou garantovanou úsporou 7 823 kWh ročně projektem EPC.

Tab č. 6 Úspora dosažena přidáním FM na oběhová čerpadla

FM	Původní příkon [kW]	Stávající příkon [kW]	Provozní hodiny hod/rok	Spotřeba původní [kWh/rok]	Stávající spotřeba [kWh/rok]	Úspora [kWh/rok]
Velký bazén	4,8	4,08	7 000	33 600	28 560	5 040
Malý bazén	2,65	2,25	7 000	18 550	15 768	2 783

Výsledek vychází z rozdílu spotřeb (kWh) stávajícího a nového stavu příkonů zařízení při stejném počtu provozních hodin.

Byly doplněny LED svítidla s dosaženou garantovanou úsporou 13 219 kWh ročně projektem EPC, které jsou využívány v době provozu. V době závodů a jiných akcí se využívá kombinace původních výbojkových svítidel se novými LED svítidly.

Tab č. 7 Úspora dosažena výměnou osvětlení

Výměna zdrojů	Provozní hodiny [hod/rok]	Počet kusů [-]	Původní		Stávající		Úspora [kWh/rok]
			Příkon / Výkon	Spotřeba [kWh/rok]	Příkon / Výkon	Spotřeba [kWh/rok]	
Bazén	3 400	12 ks	Výbojky 400/440	17 952	LED 200/206	8 405	9 547
Šatny	3 400	50 ks	Zářivky 36/39,6	6 732	LED 18/18	3 060	3 672

Výsledek vychází z rozdílu spotřeby (kWh) stávajícího a nového osvětlení.

S výše uvedenými úsporami vznikla úspora na celkovém příkonu objektu a tak i snížení ¼ rezervované kapacity s dosaženou úsporou 14 537 Kč ročně.

Celkový instalovaný příkon je 260 kW, z toho

- motory – 179 kW (280 hod/měs.)
- tepelné přístroje (sauna, osoušeče apod.) – 35 kW (260 hod/měs.)
- světla – 31 kW (320 hod/měs.)
- ostatní – 10 kW (250 hod/měs.)

### 3.1.5 Voda

Většina spotřebované vody je získávána z vlastního vrtu, což zásadně snižuje náklady spojené s nákupem vody. Tato voda se využívá pro napouštění bazénů, sprchy, WC, úklid. Jako pitná voda je pak využita voda z vodovodního řadu. Jako výtokové baterie jsou použity zejména pákové a tlačítkové baterie. Sprchy v šatnách jsou osazeny tlačítkovými bateriemi.

Bylo provedeno osazení tlačítkovými bateriemi u některých sprch a umyvadla se směšovacími bateriemi v prostorách tenisové haly. Perlátory jsou schopny ušetřit přibližně 30 % spotřeb vody a vznikla tak úspora 167 m<sup>3</sup> z původní spotřeby 555 m<sup>3</sup> za rok.

### 3.2 Zimní stadion

Zimní stadion je jednopodlažní halový objekt s přístavbou (vstupní prostor). Obvodový plášť je ze samonosných kovových panelů s tepelnou izolací. Střecha jednoplášťová, tvořená trapézovým plechem a s tepelnou izolací. Zastavěná plocha zimního stadionu činí 3 174 m<sup>2</sup>, z toho vytápěná plocha je 3 007 m<sup>2</sup>. Objem budovy 38 934 m<sup>3</sup>.

Součástí objektu je dvoupodlažní podsklepená ubytovna. Ubytovna je cihlová z roku 1975. Rozměry jsou 34,5x13 m s výškou místností 2,55 m. Střecha je sedlová s eternitovou krytinou. Je zde hlavní vstup v 1. PP, ze které je rozvod tepla do objektových předávacích stanic (PS). Ubytovna má zastavěnou plochu 439 m<sup>2</sup> a vytápěná plocha je 746 m<sup>2</sup>. Celkový objem je 3 684 m<sup>3</sup> a z toho vytápěných 2 544 m<sup>3</sup>.

Strojovna chladu se zázemím pro obsluhu strojovny a rolby je umístěna v samostatně stojícím objektu v blízkosti stadionu.

#### 3.2.1 Vytápění a příprava TV

Objekt je napojený na CZT. V objektu ubytovny je osazen R/S ze kterého je vyvedena otopná větev pro TUV, ubytovnu, tribunu a VZT pro halu.

Dále jsou po vytápěných objektech rozmístěny R/S. První je v místnosti zimního stadionu vedle sněžné jámy, jsou z něho vyvedeny dvě otopné větve, pro VZT a teplovzdušné jednotky. Druhý je osazen v tribuně a zajišťuje rozvod otopné vody pro sociální zázemí, VZT, ÚT 1.NP, ÚT 2.NP, TUV.

Pro vytápění strojovny chladu, ohřev teplé vody pro úpravu ledu a tání ledu ve sněžné jámy slouží dva plynové kotle umístěné v technické místnosti objektu strojovny chladu. Zde je osazen i nepřímotopný zásobník TV.

Regulace systému vytápění a ohřevu TV je prováděná ručně a ne zcela optimálně.

#### 3.2.2 VZT, chlazení a další systémy

Nucené větrání je provozováno zejména v šatnách tribuny, kde je prováděna výměna vzduchu a dohřev každý den a v objektu ubytovny, kde však VZT není funkční.

Další VZT jednotka slouží pro udržování klimatu v prostoru ledové plochy. Její provoz je však omezen jen na období začátku lední sezóny, kdy může docházet ke kondenzaci.

#### 3.2.3 Strojovna chladu

Strojovna chladu je osazena v samostatně stojícím objektu. Jedná se o strojovnu, kde v roce 2000 proběhla rekonstrukce. Je osazena dvěma chladicími kompresorovými jednotkami SCHORCH o el. příkonu 90 kW a 132 kW. Strojovna chladu je hlavním spotřebičem elektrické energie. Kompresory jsou využívány současně jen při náběhu, v zimním období je využívána jen 90 kW jednotka. Odpařovací kondenzátor je umístěn na střeše strojovny chladu.

Ve strojovně je mimo jiné osazena nádrž na TV (teplota 45 – 50 °C) pro úpravu ledové plochy a tání ledové tříště ve sněžné jámě. Ohřev TV je zajištěn pomocí plynových kotlů, přičemž přehřev se provádí částečným využitím přehřátých pár vystupujících z kompresorů.

Byly instalovány nové chladicí věže o výkonu 2×11 kW pro účinnější využití přehřátých par. Opatření snížilo spotřebu EE na chod ventilátorů, zvýšilo účinnost regenerace odpadního tepla a snížilo spotřebu vody nutnou pro odpar.

Odpadní teplo je využíváno pro predehřev teplé vody, jež bude distribuována zejména pro rozmrazování sněhu ve sněžné jámě skrápěním, napouštění vody do rolby a ve druhém stupni i pro vytápění.

Tab. č. 8 Úspora dosažená výměnou chladicích věží na EE

Chladicí věže	Příkon [kW]	Provozní hodiny Stávající [hod/rok]	Nové provozní hodiny [hod/rok]	Spotřeba původní [kWh/rok]	Stávající spotřeba [kWh/rok]	Úspora [kWh/rok]
BALTIMORE	2x11	1 680	1 200	36 960	26 400	10 560

Výsledek vychází z rozdílu spotřeb (kWh) stávajícího a nového provozního režimu.

### 3.2.4 Elektřina

Podobně jako plavecký areál je zimní stadion napojen na trafostanici. Měření spotřeby elektřiny je na straně VN.

Hlavními spotřebiči jsou strojovna chladu, VZT jednotky, osvětlení, rolba.

Pro osvětlení šaten, chod a zázemí jsou použita zářivková svítidla v kombinaci se svítidly žárovkovými. Pro osvětlení ledové plochy jsou využita výbojková svítidla (400 W) doplněná o LED svítidla.

Doplněná LED svítidla s dosaženou garantovanou úsporou 56 972 kWh ročně projektem EPC jsou využívány v době provozu. V době utkání a jiných akcí se využívá kombinace původních výbojkových svítidel s novými LED svítidly.

Tab. č. 9 Úspora dosažena výměnou osvětlení

Výměna zdrojů	Provozní hodiny [hod/rok]	Původní			Stávající			Úspora [kWh/rok]
		Počet kusů [-]	Příkon / Výkon Výbojky	Spotřeba [kWh/rok]	Počet kusů v provozu z 206 [-]	Příkon / Výkon LED	Spotřeba [kWh/rok]	
Hala ZS	654	21 ks	400/440	6 043	75	80/80	3 924	2 119
	528	61 ks	400/440	14 172	150	80/80	6 336	7 836
	2 116	88 ks	400/440	81 932	206	80/80	34 914	47 018

Výsledek vychází z rozdílu spotřeb stávajícího a nového osvětlení.,

S výše uvedenými úsporami vznikla úspora na celkovém příkonu objektu a tak i snížení ¼ rezervované kapacity s dosaženou úsporou 149 838 Kč ročně.

Celkem instalovaný výkon je 345 kW, z toho

- motory – 250 kW (180 hod/měs.)
- tepelné př. – 35 kW (260 hod/měs.)
- světla – 31 kW
- ostatní – 10 kW (hod/měs.)

### 3.2.5 Voda

Zimní stadion odebírá pitnou vodu z vodovodního řádu a vodu na technologii z vrtu jako u Plaveckého bazénu. Voda je využívána ve sprchách, WC a zejména pro přípravu a úpravu ledu.

Ledová plocha se upravuje průměrně 10 krát za den. Spotřeba vody na jednu úpravu je cca 1 m<sup>3</sup>. Voda ze sněžné jámy je zpětně využita pro napouštění rolby a následnou úpravu ledu.

Proběhlo osazení tlačítkových baterií u cca 20 umyvadel s jednoduchou baterií a u cca 15 umyvadel se směšovací baterií. Perlátory jsou schopny ušetřit přibližně 30 % spotřeb vody a vznikla tak úspora 302 m<sup>3</sup> z původní spotřeby 1 008 m<sup>3</sup> za rok.

### 3.3 Sportovní hala

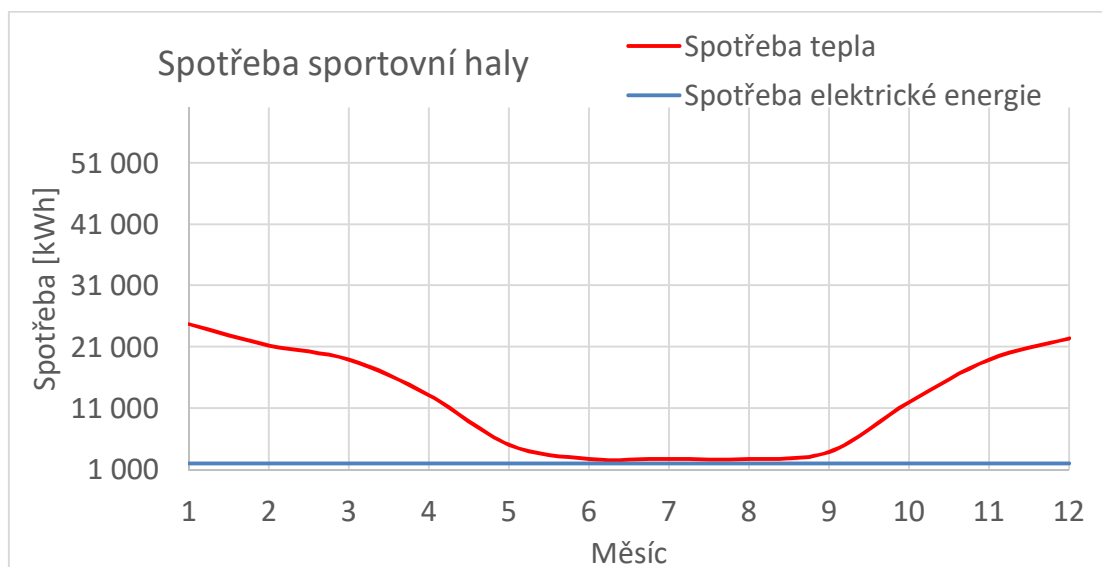
Sportovní hala je ve fázi plánované výstavby a proto jsou spotřeby zatím pouze předběžně stanoveny s uvažováním zatepleného pláště i střechy a s plastovými okny s dvousklem. Základní spotřebou je spotřeba na pokrytí tepelných ztrát které jsou dle [29] 61,9 kWh/m<sup>2</sup> ročně. Spotřeba elektrické energie na osvětlení o celkovém výkonu 6,6 kW a VZT jednotce o celkovém výkonu 2 kW je stanovena na 24 966 kWh/rok. Uvažovanou spotřebou na ohřev TUV je 100 GJ ročně. Veškeré spotřeby byly namodelovány na objekt o zastavěné ploše 51×33 m (tabulka č.10), která bude umístěna mezi plaveckým bazénem a zimním stadionem (příloha č.2). Rozměry jsou stanoveny dle běžných rozměrů hal a tak, aby byla možná výstavba objektu.

Tab č. 10 Rozměry sportovní haly

Skladba haly		Jednotka
délka	51,30	[m]
šířka	33,30	[m]
výška	8,45	[m]
Střecha složení	0,85	[m]
plocha zem	1600	[m <sup>2</sup> ]
plocha plast	1330	[m <sup>2</sup> ]
Okna	100	[m <sup>2</sup> ]
Střecha plocha	1708	[m <sup>2</sup> ]
objem vnější	14435	[m <sup>3</sup> ]
objem vnitřní	12160	[m <sup>3</sup> ]

Tab č. 11 Celková spotřeba energií sportovní haly

měsíc	Celkem SH		
	Teplo [GJ]	EE [kWh]	Teplo [kWh]
leden	89	2 081	24 743
únor	77	2 081	21 275
březen	68	2 081	18 963
duben	47	2 081	13 182
květen	18	2 081	5 090
červen	10	2 081	2 778
červenec	10	2 081	2 778
srpen	10	2 081	2 778
září	14	2 081	3 934
říjen	43	2 081	12 026
listopad	68	2 081	18 963
prosinec	81	2 081	22 431
<b>Celkem</b>	<b>536</b>	<b>24 967</b>	<b>148 941</b>



Obr. č. 23 Celková spotřeba sportovní haly

Osvětlení musí splňovat dle normy ČSN EN 12193 [30] svítivost 500 lux/m<sup>2</sup> pro sportovní akce a 300 lux/m<sup>2</sup> pro běžný režim (uvažujeme 40 % ze jmenovitého výkonu). V průběhu dne je částečně osvětlena plocha i slunečním ozářením a není tak potřeba plného výkonu osvětlení.[30]

Tab č. 12 Provozní spotřeba EE na osvětlení sportovní haly

	Počet [ks]	Výkon [W]	Provoz [h/rok]	Celkový výkon [kW]	Celková spotřeba [kWh/rok]
Sportovní akce	27	245	1 250	6,615	8 269
Běžný režim	27	98	3 000	2,646	7 938
<b>Celkem</b>					<b>16 207</b>

U VZT jednotky uvažujeme chod 12 hodin denně s využitím rekuperace o účinnosti 70 %, která je zahrnuta v tepelných ztrátách, tedy ve spotřebě tepla.

Tab č. 13 Provozní spotřeba EE na VZT jednotku

	Počet [ks]	Výkon [W]	Provoz [h/rok]	Celkový výkon [kW]	Celková spotřeba [kWh/rok]
VZT větrání	2	1 000	4 380	2	<b>8 760</b>

Spotřeby EE byly dopočteny jako násobek celkového výkonu a provozních hodin.

Spotřeb na pokrytí tepelných ztrát bylo dosaženo za pomoci online kalkulačky [29], která vychází ze zjednodušených vztahů pro prostup tepla dle ČSN EN 12831 [31]. Jednotlivé zadané parametry jsou v příloze č.3 a č.4

### Ztráta prostupem tepla

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig}) \times (\theta_{int} - \theta_o) [W] \quad (3.1)$$

### Součinitel tepelné ztráty prostupem tepla z haly do okolí

$$H_{T,ie} = \sum_K A_k \times U_k + \sum_l \Psi_l \times I_l \times e_l [W \cdot K^{-1}] \quad (3.2)$$

### Tepelné ztráty prostupem z haly do zeminy

$$H_{T,ig} = f_{g1} \times f_{g2} \times \left( \sum_K A_k \times U_{equiv,k} \right) \times G_w [W \cdot K^{-1}] \quad (3.3)$$

kde

$A_k$  – zastavěná plocha [m<sup>2</sup>]

### Tepelné ztráty větráním

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \times (\theta_{int,i} - \theta_o) [W] \quad (3.4)$$

### Součinitel tepelné ztráty větráním

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \times \rho \times c_p [W \cdot K^{-1}] \quad (3.5)$$

### Tepelný výkon

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} [W] \quad (3.6)$$

Tepelné mosty jsou brány z katalogů tepelných mostů a v kalkulačce se volí mezi pěti základními zjednodušenými varianty. Pro tento případ byla volena konstrukce s tepelnými mosty  $\Delta U=0,02 [W/m^2K]$ .



## 4 Ekonomicko technické vyhodnocení

### 4.1 Kogenerační jednotka

Instalaci kogenerační jednotky se ušetří nejen komoditní složky za vyrobenou elektřinu nebo teplo, ale také za distribuci energie. Proti tomu, vznikají náklady na zemním plynu. Jednou z dalších výhod je výroba přímo v místě odběru a tedy snížení ztrát při dopravě na minimum.

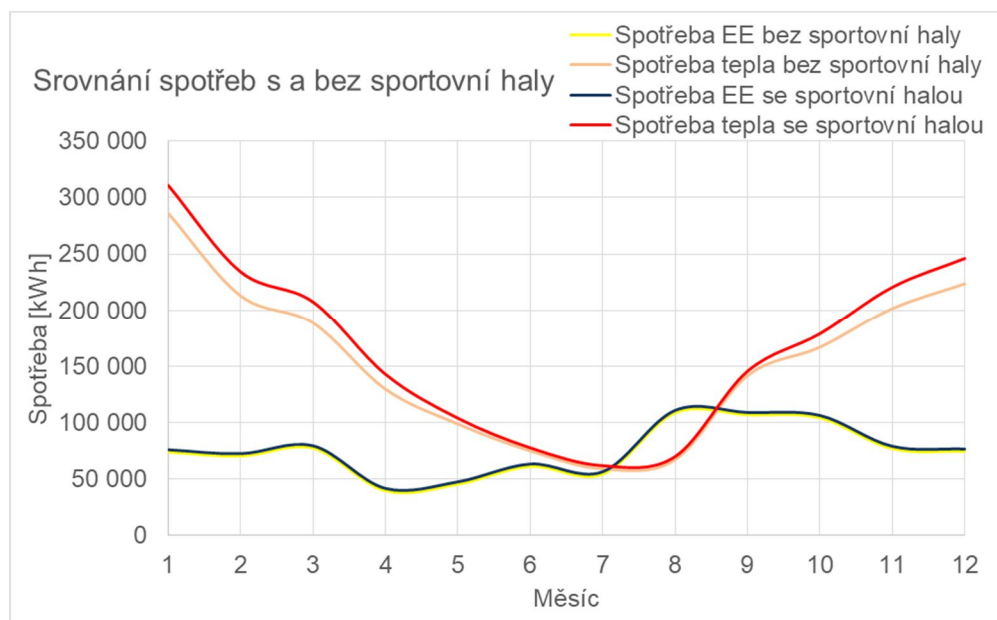
KJ může být vybráno dle kritéria účelového, tedy zda se jedná o základní, špičkový, záložní nebo rezervní zdroj tepla a elektrické energie. Dále se vybírá KJ podle sféry, která bude zásobována jako jsou rodinné domy, bytové domy, průmysl nebo komerční objekty.

V případě výběru KJ se také musí brát v úvahu vibrace, hluchnost, ztrátové teplo, emisní limity (dle vyhlášky č. 415/2012 Sb. [32]) a prostor na umístění KJ při provozu. Zejména pak u obytných budov.

Hlavní kritéria výběru KJ:

- Splnění podmínky tarifu 4000 nebo 3000 pro získání zeleného bonusu ( $\leq 4\ 000$  nebo  $\leq 3\ 000$  motohodin) [2]
- Co nejnižší přetok EE do DS
- Možnost snížení RK bez rizika překročení nasmlouvané  $\frac{1}{4}$  hodiny

Kogenerační jednotka je navržena na spotřeby elektřiny a tepla objektů zimní stadion, plavecký bazén a sportovní halu. Sportovní hala velmi málo ovlivní spotřeby (Obr. č. 24) a to především EE. Taková spotřeba není schopna navýšení motohodin KJ natolik, aby došlo k navýšení instalovaného výkonu KJ.



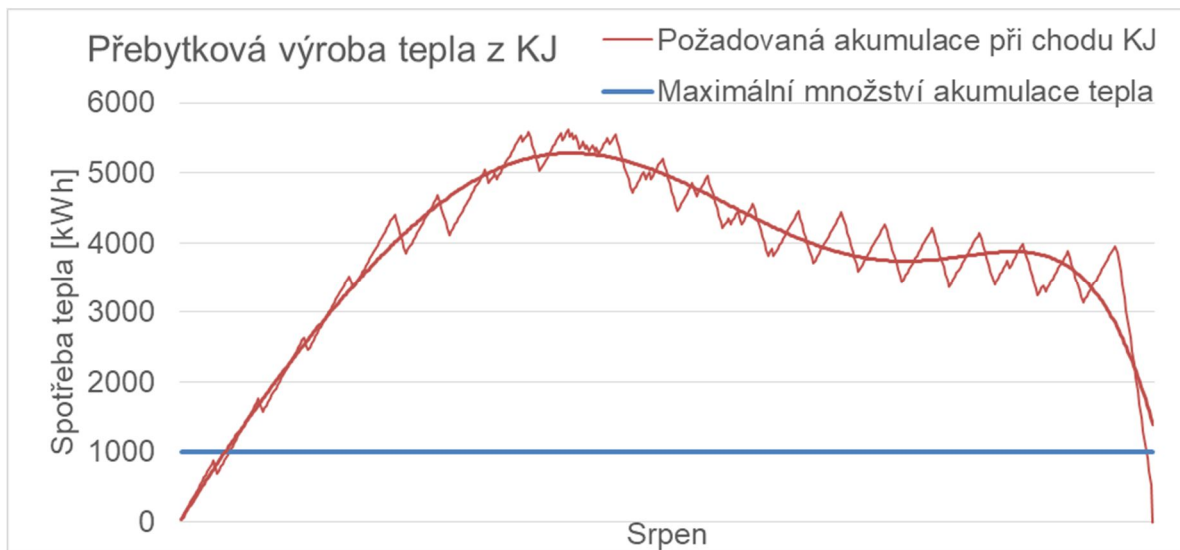
Obr. č. 24 Nárůst spotřeb s uvažováním sportovní haly

Tab. č. 14 Spotřeby elektrické energie a tepelné energie celkem za celý areál

měsíc	Celkem ZS PS SH		
	Teplo [GJ]	EE [kWh]	Teplo [kWh]
leden	1 119	76 068	310 854
únor	844	72 596	234 331
březen	747	79 563	207 574
duben	514	41 831	142 905
květen	374	47 674	103 979
červen	280	63 449	77 778
červenec	223	56 618	61 944
srpen	252	110 946	70 000
září	524	109 097	145 601
říjen	644	106 457	178 971
listopad	794	79 123	220 630
prosinec	886	76 693	246 153
<b>CELKEM</b>	<b>7 203</b>	<b>920 110</b>	<b>2 000 719</b>
<b>Navýšení spotřeb o sportovní halu</b>		3%	8%

Přepočtem spotřeby tepla a elektrické energie na stejnou jednotku a podělením spotřeby tepla počtem dnů a hodin v jednotlivých měsících, dostaneme spotřeby EE a tepla do hodinového diagramu (Obr. č.28), ve kterém je také vidět spotřeba před a po instalaci KJ.

Z Obr. č. 28 je vidět, že v letní měsíce může dojít k přebytku tepelné energie v takovém množství, že by nebylo kam jej akumulovat. Tento stav dle Obr. č. 25 může nastat například v srpnu, kde je vidět křivka tepelné energie, kterou by bylo zapotřebí akumulovat. Akumulační nádrž je schopna akumulovat přibližně 1 000 kWh.



Obr. č. 25 Přebytková výroba tepla z KJ v měsíci Srpen

To zapříčiní, že chod KJ musí být v tento měsíc přerušen nebo omezen na množství, které se spotřebuje a je možné akumulovat. I přes omezení, snížení výkonu KJ nebo úplné odstávky je možné dosáhnout maximálních možných motohodin tak, aby byl získaný zelený bonus v co možná největší míře.

#### 4.1.1 Návrh kogenerační jednotky

Při výpočtu se vychází z dvou variant. První varianta počítá s KJ TEDOM T100 s nulovými přetoky do DS a splněním tarifu 3000 pro zelený bonus. Druhá varianta je navržena tak, aby bylo možné snížit RK na teple i EE. To vyžaduje dvě KJ TEDOM T80 a tím způsobenou vyšší investici. Tato varianta je opět navržena na tarif 3000 pro obě jednotky, tak aby byl přetok do sítě co nejnižší (<1%).

##### Parametry vstupující do výpočtu investice KJ [8]

- Tarif – snažíme se určit, do kterého tarifu spadá námi volená KJ kvůli výnosu ze zeleného bonusu a nákladu na servis KJ
- Pro přepočítání spotřeby zemního plynu v m<sup>3</sup> na kWh použijeme spalné teplo 10,55 kWh/m<sup>3</sup>
- Vlastní spotřeba je uvažovaná celková spotřeba za jeden rok, která je uvedena výše v tabulce č. 14
- Spotřeba ZP v KJ za rok - výrobce uvádí spotřebu ZP při jmenovitém výkonu KJ za hodinu

##### Výroba elektrické energie celkem

$$E_c^{KJ} = (P_E^{KJ} - k_{tech}^{KJ}) \times h [W \cdot h] \quad (4.1.1)$$

##### Dodaná elektrická energie na vlastní spotřebu

$$E_{vl}^{KJ} = (P_E^{KJ} - k_{tech}^{KJ} - k_{RDS}^{KJ}) \times h [W \cdot h] \quad (4.1.2)$$

##### Dodaná elektrická energie do RDS

$$E_{RDS}^{KJ} = P_E^{KJ} \times k_{RDS}^{KJ} \times h [W \cdot h] \quad (4.1.3)$$

##### Vyrobené teplo

$$Q_c^{KJ} = (P_T^{KJ} - k_{tech}^{KJ}) \times h [J] \quad (4.1.4)$$

##### Náklady

##### Spotřeba ZP

$$N_{ZP}^{KJ} = V_{ZP}^{KJ} \times h [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (4.1.5)$$

##### Servis KJ vztažený na motohodinu

$$N_{servis}^{KJ} = N_{servis, mth}^{KJ} \times h [Kč] \quad (4.1.6)$$

##### Regulované poplatky

$$N_{RP}^{KJ} = E_{vl}^{KJ} \times SS [Kč] \quad (4.1.7)$$

##### Celkové náklady

$$N_c^{KJ} = N_{ZP}^{KJ} + N_{servis}^{KJ} + N_{RP}^{KJ} [Kč] \quad (4.1.8)$$

**Výnosy****Celkový výnos**

$$V_c^{KJ} = V_T^{KJ} + V_{ZB}^{KJ} + V_{EE,RDS}^{KJ} + V_{EE,vl}^{KJ} + V_{RK,EE}^{KJ} + V_{RK,EE}^{KJ} \text{ [Kč]} \quad (4.1.9)$$

**Výnos za dodané teplo**

$$V_T^{KJ} = Q_c^{KJ} \times C_T \text{ [Kč]} \quad (4.1.10)$$

**Výnos za dodanou elektrickou energií na vlastní spotřebu**

$$V_{EE,vl}^{KJ} = E_{vl}^{KJ} \times C_E \text{ [Kč]} \quad (4.1.11)$$

**Výnos za dodanou elektrickou energií do DS**

$$V_{EE,vl}^{KJ} = E_{RDS}^{KJ} \times C_{E,vykup} \text{ [Kč]} \quad (4.1.12)$$

**Výnos za snížení RK na teple**

Snížením původní rezervované kapacity 900 kW na 800 kW (o výrobu jedné KJ) dosáhneme měsíční úspory 4 983 Kč a roční 59 800 Kč

Kde jednotková cena za  $RK_T$  je 49, 83 Kč/kW.

$$V_{RK,T}^{KJ} = (RK_{T1} - RK_{T2}) \times C_{RK,T} \times 12 \text{ [Kč]} \quad (4.1.13)$$

**Výnos za snížení RK na EE**

Snížením rezervované kapacity o 80 kW<sub>e</sub> (o výrobu jedné KJ) dosáhneme roční úspory 187 750 Kč. Do výpočtu vstupuje jednotková cena za RK měsíční a roční a také původní a nová nasmlouvaná RK měsíční a roční (příloha č.9).

$$V_{RK,EE,R}^{KJ} = (RK_{E1,R} - RK_{R2,R}) \times C_{RK,R} \text{ [Kč]} \quad (4.1.14)$$

$$V_{RK,EE,M}^{KJ} = (RK_{E1,M} - RK_{R2,M}) \times C_{RK,M} \text{ [Kč]} \quad (4.1.15)$$

$$V_{RK,EE}^{KJ} = V_{E,R}^{RK} + V_{E,M}^{RK} \text{ [Kč]} \quad (4.1.16)$$

Tab. č. 15 Úspora na RK EE

Období	Celkem před instalací KJ [Kč]	Celkem po instalaci KJ [Kč]
leden	52 437	37 826
únor	52 437	37 826
březen	52 437	37 826
duben	52 437	37 826
květen	30 454	15 843
červen	30 454	15 843
červenec	30 338	3 318
srpen	64 863	50 251
září	64 863	50 251
říjen	52 437	37 826
listopad	52 437	37 826
prosinec	52 437	37 826
<b>Celkem</b>	<b>588 034</b>	<b>400 284</b>

### Výnos z KVET (zelený bonus)

$$V_{ZB}^{KJ} = E_c^{KJ} \times C_{ZB} [Kč] \quad (4.1.17)$$

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
a	b	c	f	g	k	m	
700		-	31.12.2018	0	200	3 000	1 283
701	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2018	0	200	4 400	864
703		-	31.12.2018	200	1 000	3 000	915
704		-	31.12.2018	200	1 000	4 400	549
706		-	31.12.2018	1 000	5 000	3 000	626
707		-	31.12.2018	1 000	5 000	4 400	318
709		Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400

Obr. č. 26 Přehled zelených bonusů pro KVET dle věštníku ERU pro rok 2018 [2]

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
a	b	c	f	g	k	m	
770	Výroba elektřiny spalující čistou biomasu	1.1.2013	31.12.2013	0	5 000	O	100
772	Výroba elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1.1.2013	31.12.2015	0	2 500	O	455
774	Výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1.1.2013	31.12.2013	0	2 500	AF	455
777	Výroba elektřiny spalující dříví plyn	1.1.2013	31.12.2015	0	5 000	-	455
778	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5 000	-	155
779	Výroba elektřiny spalující (samostatně) plynné palivo s výjimkou OZE a DZ	-	31.12.2018	0	5 000	-	455

Obr. č. 27 Přehled doplňkových zelených bonusů pro KVET dle věštníku ERU pro rok 2018 [2]

Tab. č. 16 Jednotkové ceny vstupující do návrhu KJ [14,33]

Ceny pro návrh KJ			
Dodávka do RDS	600		[Kč/MWh]
Dodávka vlastní	2089		[Kč/MWh]
Cena za plyn	12		[Kč/m <sup>3</sup> ]
Údržba KGJ	36 (T80) a 39 (T100)		[Kč/mth]
Účinnost KGJ	0,95		[-]
Teplo z plynu	230		[Kč/GJ]
Poskytování systémových služeb		93,63	[Kč/MWh]

Tab. č. 17 Shrnutí KVET zeleného bonusu

Dotace KVET			
0-200 kW	1283	[Kč/MWh]	Tarif 3000
200-1000 kW	915	[Kč/MWh]	
0-200 kW	864	[Kč/MWh]	Tarif 4000
200-1000 kW	549	[Kč/MWh]	
Doplňková sazba ZB	455	[Kč/MWh]	

## Varianta Tedom T100

Tab. č. 18 Cena investice do KJ Tedom Cento T100

KJ Cento T100 Investice		
KGJ	2 470 000	[Kč]
Úpravy elektroinstalací	400 000	[Kč]
Úpravy topení	250 000	[Kč]
MaR	300 000	[Kč]
Komín vložkování	150 000	[Kč]
Připojení plynu	150 000	[Kč]
St. úpravy	50 000	[Kč]
Ostatní	100 000	[Kč]
bez financování	3 870 000	[Kč]
bez DPH	<b>4 682 700</b>	[Kč]

Tab. č. 19 Návrh výnosu a návratnosti KJ Tedom T100

KJ Cento T100			
Výkon elektrický	104	100,88	[kWe]
Výkon tepelný	142	137,74	[kWt]
Spotřeba plynu	26,6		[m3/h]
Technologie spotř.	0,97		[-]
<b>Samotný výpočet</b>			
Tarif	<b>4000</b>	[hod/rok]	hod/rok
Provozní hod./rok 100% výkon	4 000	3 000	[hod/rok]
Příkon v palivu	282,00	282,00	[kW]
Prodej do RDS	0,01	0,01	[-]
Vlastní spotřeba	0,99	0,99	[-]
Spotřeba ZP v KGJ	106 415	79 811	[m3/rok]
Spotřeba ZP v KGJ	1 128	846	[MWh/rok]
Výroba EE celkem	404	303	[MWh/rok]
Výroba EE dodávka do RDS	4	3	[MWh/rok]
Výroba EE dodávka vlastní	399	300	[MWh/rok]
Výroba EE pro zelený bonus	404	303	[MWh/rok]
Výroba tepla	2 045	1 534	[GJ/rok]
Náklad - spotřeba ZP	1 276 981	957 736	[Kč/rok]
Náklad - servis KGJ	156 000	117 000	[Kč/rok]
Výnos - dodávka EE do RDS	2 421	1 816	[Kč/rok]
Výnos - dodávka EE vlastní	834 524	625 893	[Kč/rok]
Výnos - dodávka tepla	470 304	352 728	[Kč/rok]
Výnos - zelený bonus	532 243	525 988	[Kč/rok]
Náklad - regulované poplatky	37 404	28 053	[Kč/rok]
Náklad - celkem	1 470 385	1 102 789	[Kč/rok]
Výnos - celkem	1 839 492	1 506 435	[Kč/rok]
Zisk	369 107	403 646	Kč/rok
Prostá návratnost – T100	<b>10,48</b>	<b>9,59</b>	let

## Varianta 2× Tedom T80

Tab. č. 20 Cena investice do KJ Tedom Cento 2×T80

KJ Cento 2×T80 Investice		
KGJ	4 700 000	Kč
Úpravy elektroinstalací	500 000	Kč
Úpravy topení	300 000	Kč
MaR	350 000	Kč
Komín vložkování	300 000	Kč
Připojení plynu	200 000	Kč
St. úpravy	50 000	Kč
Ostatní	100 000	Kč
bez financování	0	Kč
bez DPH	<b>6 500 000</b>	Kč

Tab. č. 21 Návrh výnosu a návratnosti KJ Tedom 2× T80

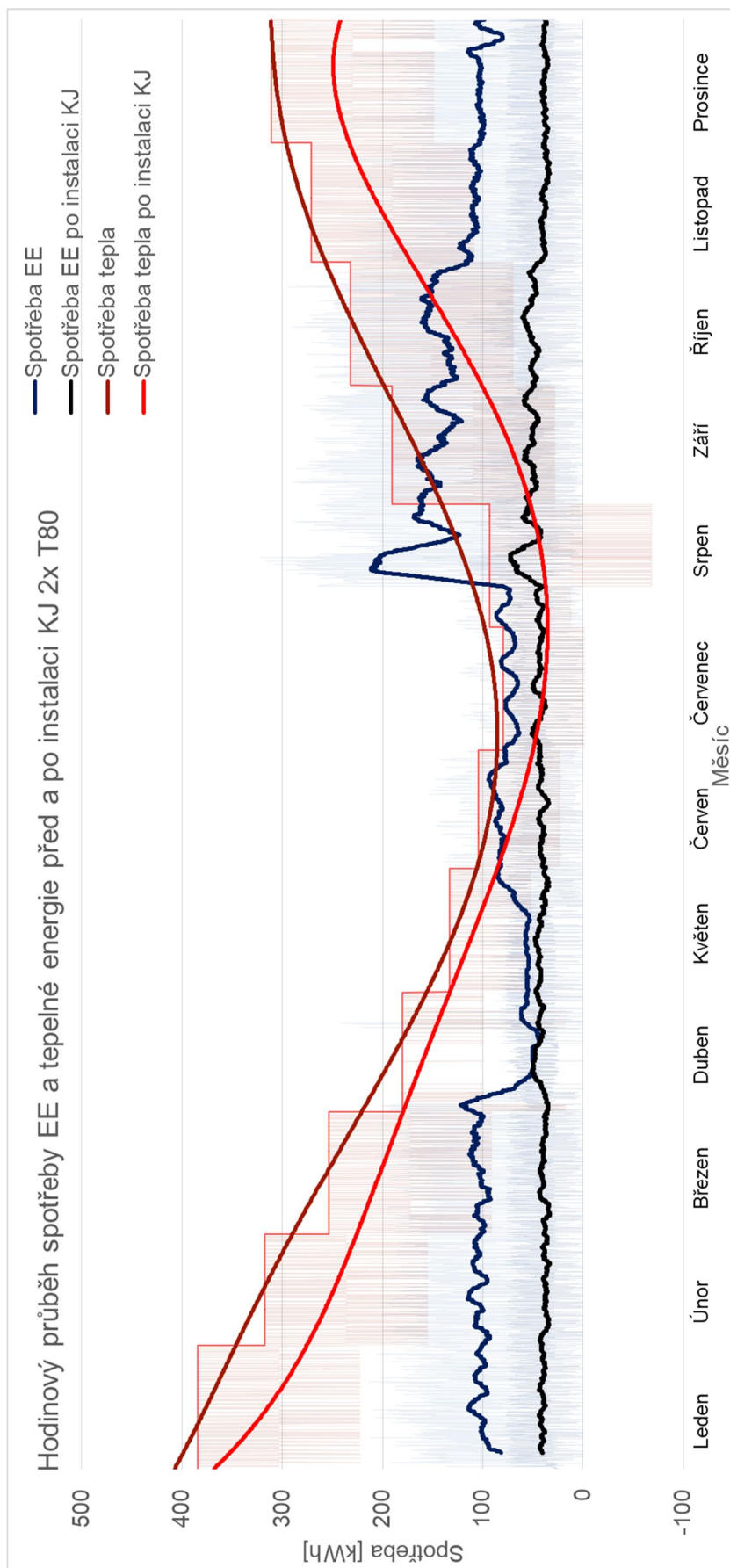
KJ Cento T100 2× 81 kWe			
Výkon elektrický	81	78,57	[kWe]
Výkon tepelný	120	116,4	[kWt]
Spotřeba plynu	21,8		[m <sup>3</sup> /h]
Technologie spotř.	0,97		[-]
<b>Samotný výpočet</b>			
Tarif	<b>8000</b>	<b>6000</b>	[hod/rok]
Provozní hod./rok 100% výkon	8 000	6 000	[hod/rok]
Příkon v palivu	231,00	231,00	[kW]
Prodej do RDS	0,08	0,08	[-]
Vlastní spotřeba	0,92	0,92	[-]
Spotřeba ZP v KGJ	174 340	130 755	[m <sup>3</sup> /rok]
Spotřeba ZP v KGJ	1 848	1 386	[MWh/rok]
Výroba EE celkem	629	471	[MWh/rok]
Výroba EE dodávka do RDS	50	38	[MWh/rok]
Výroba EE dodávka vlastní	578	434	[MWh/rok]
Výroba EE pro ZB	629	471	[MWh/rok]
Výroba tepla	3 456	2 592	[GJ/rok]
Náklad - spotřeba ZP	2 092 075	1 569 057	[Kč/rok]
Náklad - servis KGJ	288 000	216 000	[Kč/rok]
Výnos - dodávka EE do RDS	30 171	22 628	[Kč/rok]
Výnos - dodávka EE vlastní	1 208 017	906 013	[Kč/rok]
Výnos - dodávka tepla	794 880	596 160	[Kč/rok]
Výnos - zelený bonus	829 071	819 328	[Kč/rok]
Výnos - úspora RK EE	187 785	187 785	[Kč/rok]
Náklad - regulované poplatky	54 144	40 608	[Kč/rok]
Výnos - úspora RK teplo	59 800	59 800	[Kč/rok]
Náklad - celkem	2 434 219	1 825 665	[Kč/rok]
Výnos - celkem	3 109 688	2 591 688	[Kč/rok]
Zisk	675 468	766 024	[Kč/rok]
Prostá návratnost	<b>9,62</b>	<b>8,49</b>	let

Je zřejmé, že z pohledu prosté návratnosti je nejlepší varianta 2× Tedom T80 s tarifem 3000. Investice zde je však výrazně vyšší než u varianty Tedom T100. Pro další úsporné opatření bude uvažována varianta 2× Tedom T80, tedy s instalací dvou jednotek o elektrickém výkonu 81 kW<sub>e</sub>.

Tab. č. 22 Srovnání spotřeb před a po realizaci v technických jednotkách a úspory

Měsíc	Spotřeba EE z DS	Výroba EE z KJ	Nová spotřeba EE s KJ	Úspora EE z DS	Spotřeba tepla z CZT	Výroba tepla z KJ	Nová spotřeba tepla s KJ	Úspora tepla z CZT
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]
Leden	76 068	43 750	<b>32 317</b>	57,51	310 854	68 564	<b>242 290</b>	22,06
Únor	72 596	45 593	<b>27 002</b>	62,80	234 331	66 554	<b>167 777</b>	28,40
Březen	79 563	48 720	<b>30 842</b>	61,24	207 574	68 292	<b>139 282</b>	32,90
Duben	41 831	8 062	<b>33 769</b>	19,27	142 905	23 955	<b>118 949</b>	16,76
Květen	47 674	14 905	<b>32 768</b>	31,27	103 979	22 019	<b>81 960</b>	21,18
Červen	63 449	31 446	<b>32 003</b>	49,56	77 778	33 257	<b>44 521</b>	42,76
Červenec	56 618	21 711	<b>34 906</b>	38,35	61 944	23 352	<b>38 593</b>	37,70
Srpen	110 946	0	<b>110 946</b>	0,00	70 000	0	<b>70 000</b>	0,00
Září	109 097	70 239	<b>38 858</b>	64,38	145 601	77 192	<b>68 409</b>	53,02
Říjen	106 457	66 937	<b>39 519</b>	62,88	178 971	74 340	<b>104 631</b>	41,54
Listopad	79 123	49 449	<b>29 674</b>	62,50	220 630	76 741	<b>143 888</b>	34,78
Prosinec	76 693	46 212	<b>30 480</b>	60,26	246 153	61 306	<b>184 848</b>	24,91
<b>Celkem</b>	<b>920 110</b>	<b>447 024</b>	<b>473 086</b>	<b>48,58%</b>	<b>2 000 719</b>	<b>595 572</b>	<b>1 405 147</b>	<b>29,77%</b>





Obr. č. 28 Hodinový průběh spotřeb EE a tepelné energie před a po instalaci KJ 2x T80

#### 4.1.2 Návrh spalínového ekonomizéru pro kogenerační jednotku

Přidáním ekonomizéru (výměníku) na výstup spalín o teplotě 120 °C a předáním tepla zpětné vody o teplotě 60 °C (maximální teplota vratné vody do KJ je 70 °C) se zvýší účinnost o 2,25 % na každé KJ [34]. Výpočet ekonomizéru je proveden dle [8,10,58]

Tab. č. 23 Vstupní parametry pro výpočet ekonomizéru

Měrná tepelná kapacita spalín	1 169	[J/kg.K]
Měrná hmotnost spalín	1,23	[kg/ m <sup>3</sup> ]
Teplota spalín na vstupu	120	[°C]
Teplota spalín na výstupu	80	[°C]
Měrná tepelná kapacita vody	4 184	[J/kg.K]
Průtok vody	1,4	[kg/s]
Výhřevnost ZP	35,88	[kJ/m <sup>3</sup> ]
Množství ZP	21,8	[m <sup>3</sup> /h]
Teplota vody na vstupu	60	[°C]

#### Objem vlhkých spalín s přebytkem vzduchu $\alpha = 1$

$$V_{sp,v,min} = K_3 \times \frac{Q_i}{4,187} + K_4 = 1,09 \times \frac{35,88}{4,187} + 0,47 = 9,8106 \text{ [m}^3 \cdot \text{m}^{-3}\text{]} \quad (4.1.18)$$

#### Celkový objem spalín za hodinu

$$V_{sp,celk} = V_{sp,v,min} \times v_{plyn} = 9,8106 \times 21,8 = 213,798 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \quad (4.1.19)$$

#### Hmotností průtok spalín

$$m_{sp,celk} = V_{sp,celk} \times \rho_{sp} = \frac{213,798}{3600} \times 1,23 = 0,0483 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (4.1.20)$$

#### Tepelný výkon odevzdaný spalínami

$$\begin{aligned} Q_{sp} &= m_{sp,celk} \times c_{p_{sp}} \times (T_{si} - T_{so}) = 0,0483 \times 1169 \times (120 - 80) = \\ &= 2\,258,24 \text{ [W]} \end{aligned} \quad (4.1.21)$$

#### Bilanční rovnice, ZZE

$$Q_{sp} = Q_{H_2O} \quad (4.1.22)$$

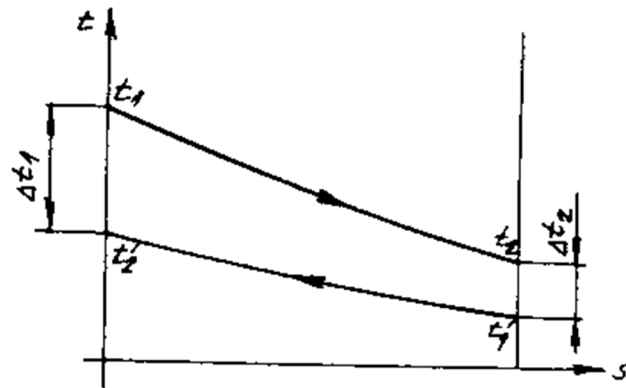
$$m_{sp,celk} \times c_{p_{sp}} \times (T_{si} - T_{so}) = m_{H_2O} \times c_{p_{H_2O}} \times (T_{ci} - T_{co}) \quad (4.1.23)$$

#### Teplota výstupní vody po vyjádření z rovnice (4.1.23)

$$T_{co} = \frac{Q_{sp}}{m_{H_2O} \times c_{p_{H_2O}}} + T_{ci} = \frac{2\,258,24}{1,4 \times 4\,184} + 60 = 60,3855 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.1.24)$$

Pro udržení vratné vody pod 70 °C je možné instalovat před ekonomizér třicestný ventil, který bude regulovat množství průtoku přes ekonomizér a tak předejít odstavení KJ kvůli překročení teploty vratné vody. Toto řešení slouží hlavně v přechodové období, kdy je spotřebované a akumulované teplo přibližně rovno vyrobenému teplu v KJ a může tak dojít k nárůstu teploty zpětné vody.

Pro přibližný výpočet teplosměnné plochy se vychází z tepelného výkonu ekonomizéru, střední logaritmické teploty pro protiproudý výměník a celkového součinitele přestupu tepla.



Obr. č. 29  $t$ - $s$  diagram protiproudého výměníku vhodný pro určení stř. log. teploty [35]

### Střední logaritmická teplota

$$\begin{aligned} \Delta T_{ln} &= \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(T_{si} - T_{co}) - (T_{so} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{si} - T_{co})}{(T_{so} - T_{ci})}} = \\ &= \frac{(120 - 60,385) - (80 - 60)}{\ln \frac{(120 - 60,385)}{(80 - 60)}} = 36,27 \text{ [}^\circ\text{C]} \end{aligned} \quad (4.1.25)$$

### Celkový součinitel přestupu tepla

$$\begin{aligned} \frac{1}{k} &= \frac{1}{\alpha_{H_2O}} + \frac{1}{\alpha_{sp}} + \frac{t_{deska}}{\lambda_{ocel}} = \frac{1}{1292,05} + \frac{1}{60,61} + \frac{0,002}{50} = \\ &= 0,01731 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \end{aligned} \quad (4.1.26)$$

$\lambda_{ocel}$  – měrná tepelná vodivost pro ocel je volena dle [54] jako 50 W/(m.K)

### Součinitel přestupu tepla vody

$$\alpha_{H_2O} = \frac{Nu_D \times \lambda_{H_2O}}{D_h} = \frac{7,54 \times 0,68}{0,0078} = 657,99 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4.1.27)$$

### Součinitel přestupu tepla spalin

$$\alpha_{H_2O} = \frac{Nu_D \times \lambda_{H_2O}}{D_h} = \frac{7,54 \times 0,0319}{0,0078} = 30,867 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4.1.28)$$

### Teplosměnná plocha celého ekonomizéru

$$S_{EK} = \frac{Q_{sp}}{k \times \Delta T_{ln}} = \frac{2\,258,23}{0,01731 \times 36,27} \times 2^{-1} = 1,057 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.1.29)$$

**Jmenovitý rozměr průtočného kanálu**, kde volíme tloušťku kanálu  $a = 4$  mm a šířku kanálu  $x = 150$  mm určíme jako

$$D_h = \frac{4 \times S_{kanal}}{o} = \frac{4 \times a \times b}{2 \times a + 2 \times b} = \frac{4 \times 0,004 \times 0,15}{2 \times 0,004 + 2 \times 0,15} = 0,0078 \text{ [m]} \quad (4.1.30)$$

**Celková průtočná plocha obou proudů**

$$S_{prut} = a \times h_{pr} \times n = 0,004 \times 0,15 \times 35 = 0,0204 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.1.31)$$

kde počet desek volíme  $n = 35$

Potom pro každý proud platí

$$S_{prut,H2O} = S_{prut,sp} = \frac{S_{prut}}{2} = 0,0102 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.1.32)$$

**Rychlost proudění spalin** určíme jako

$$v_{sp} = \frac{1}{S_{prut,sp}} \times \frac{V_{sp,celk}}{3600} = \frac{1}{0,0102} \times \frac{213,78}{3600} = 5,82 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (4.1.33)$$

**Rychlost proudění vody**

$$v_{H2O} = V_{H2O} \times \frac{1}{\rho_{H2O} \times S_{prut,H2O}} = 1,4 \times \frac{1}{977,76 \times 0,102} = 0,14 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (4.1.34)$$

**Hloubku celého výměníku** určíme jako

$$h = n \times t_{pl} + (n - 1) \times a = 35 \times 0,002 + (35 - 1) \times 0,004 = 0,206 \text{ [m]} \quad (4.1.35)$$

**Délka ekonomizéru** se vypočítá jako

$$L_{EK} = \frac{S_{EK}}{x \times n} = \frac{1,057}{0,15 \times 35} = 0,201 \text{ [m]} \quad (4.1.36)$$

**Tlakové ztráty****Reynoldsovo číslo pro spaliny**

$$Re_{sp} = \frac{v_{sp} \times D_h}{\nu_{sp}} = \frac{5,82 \times 0,0078}{0,0000208} = 2181,21[-] \quad (4.1.37)$$

**Reynoldsovo číslo pro vodu**

$$Re_{H2O} = \frac{v_{H2O} \times D_h}{\nu_{H2O}} = \frac{0,14 \times 0,0078}{0,0000413} = 26,485 [-] \quad (4.1.38)$$

Jedná se o laminární proudění ( $Re < 2300$ ) v obou proudech a proto tlaková ztráta je

**pro spaliny**

$$\Delta p_{sp} = \frac{64}{Re_{sp}} \times \frac{\rho_{sp} \times v_{sp}^2}{2 \times D_h} = \frac{64}{2181,21} \times \frac{1,23 \times 5,82^2}{2 \times 0,0078} = 15,7 \text{ [Pa]} \quad (4.1.39)$$

**pro vodu**

$$\Delta p_{H2O} = \frac{64}{Re_{H2O}} \times \frac{\rho_{H2O} \times v_{H2O}^2}{2 \times D_h} = \frac{64}{26,48} \times \frac{977,76 \times 0,14^2}{2 \times 0,0078} = 597,5 \text{ [Pa]} \quad (4.1.40)$$

Takový ekonomizér sníží komínové ztráty o 2,2 kW na každé jednotce. To je nárůst tepelného výkonu o 1,94 % pro vlastní spotřebu na každé jednotce.

Výměník o stejných vstupních parametrech dle online kalkulačky dostupné z [36] vyhovuje výměník tepla od firmy SWEP B12x40. Tento výměník je schopen maximálního výkonu 3 kW při zadaném průtoku vody a spalin a při vychlazení spalin na 65,5 °C.

Tab. č. 24 Srovnání navrženého a použitého výměníku [37]

	B12x40 SWEP	Navržený
Rozměry výměníku (L/b/h) mm	287/117/98	200/150/201
Počet desek	40	35
Materiál	Nerezová ocel	Nerezová ocel
Hmotnost [kg]	6,24	
Cena [kč bez DPH]	7 590	

Je patrný rozdíl mezi výpočtem rovných desek bez kanálů se žebrováním a reálného provedení deskového výměníku na rozměrech. Především mezera mezi deskami je přibližně dvakrát menší a také navržený výměník je řešen jako hladké desky bez kanálků (bez žebrování).

#### 4.1.3 Výpočet návratnosti ekonomizéru

##### Vyrobené teplo na ekonomizéru

$$Q_c^{EK} = P_{EK}^{EK} \times h = 2,258 \text{ kW} \times 3\,000 \times 0,0036 = 24,3864 \text{ [GJ]} \quad (4.1.41)$$

##### Náklad na jeden ekonomizér

$$N_c^{EK} = N_{inst}^{EK} + N_{ost}^{EK} + N_{EK}^{EK} = 0 + 6\,000 + 7\,590 = 13\,590 \text{ [Kč]} \quad (4.1.42)$$

kde ostatní náklady zahrnují materiál a trojcestný ventil pro regulaci množství vstupní vody. Instalace uvažována v rámci ceny KJ.

##### Výnos na jeden ekonomizér

$$V_T^{EK} = Q_c^{EK} \times C_T = 24,38 \text{ GJ} \times 230 \frac{\text{Kč}}{\text{GJ}} = 5\,608,9 \text{ [Kč]} \quad (4.1.43)$$

##### Prostá návratnost ekonomizéru

$$PBP = \frac{N_c^{EK}}{V_T^{EK}} = \frac{13\,590}{5\,608,9} = 2,42 \text{ roku} \quad (4.1.44)$$

Pro oba ekonomizéry platí stejná návratnost, avšak dvojnásobné celkové náklady a dvojnásobný zisk.

Tab. č. 25 Shrnutí celkové výroby, výnosu a nákladů KJ a ekonomizéru

Tarif 3000	Výroba EE	Výroba tepla	Výnos [Kč]	Náklady [Kč]
KJ	471 [MWh]	2 592 [GJ]	2 588 925	7 865 000
EK		49 [GJ]	11 218	27 180
Celkem	471 [MWh]	2 641 [GJ]	2 600 143	7 892 180

#### 4.1.4 Výpočet návratnosti kogenerační jednotky

**Průměrná výnosnost investice** (average rate of return – ARR)

Určuje jaká část investovaných financí se nám ročně vrátí (procentuelně)

$$ARR = \frac{\Delta N_{c,prum,r}}{N_{i,c}} = \frac{Výnos - Náklad}{N_{i,c}} = \frac{2\,591\,688 - 1\,825\,665}{6\,500\,000} =$$

$$= 0,1178[-] = 11,78\% \quad (4.1.45)$$

**Prostá doba návratnosti**

Určuje kolik let potrvá prosté navrácení investice (bez úrokových sazeb)

$$PBP = \frac{N_{i,c}}{\Delta N_{c,r}} = \frac{6\,500\,000}{766\,024} = 8,49 \text{ let} \quad (4.1.46)$$

**Aktualizace finančních toků**

Vyhodnocení, zda je návratnost splnitelné ve stanoveném období s uvažováním úrokové diskontní sazby.

$$NPV = -N_{i,c} + \Delta N_{c,r} \sum_{j=1}^n r^{-j} \quad (4.1.47)$$

Kde

$$r = 1 + p \quad (4.1.48)$$

$p = 3\%$  - diskontní úroková sazba

$r$  - diskontní sazba

$j$  - roky 1 -  $n$

$$NPV = -6\,500\,000 + 773\,670 \times \left( \frac{1}{(1 + 0,03)^1} + \frac{1}{(1 + 0,03)^2} \dots \dots \frac{1}{(1 + 0,03)^{10}} \right)$$

$$NPV = -6\,500\,000 + 6\,534\,337 = 34\,337 \text{ [Kč]}$$

Tab. č. 26 Aktualizace příjmových a výdajových položek do KJ

Rok	NPV [Kč]	Úspory [Kč]
0	-6 500 000	
1	743 712	766 024
2	722 051	766 024
3	701 020	766 024
4	680 602	766 024
5	660 779	766 024
6	641 533	766 024
7	622 847	766 024
8	604 706	766 024
9	587 093	766 024
10	569 994	766 024
Celkem	34 337	

Jelikož NPV vychází v kladných číslech, můžeme říct, že je investice se do deseti let splatí.

Úroková sazba navýší investici za deset let o

$$\Delta N_{c,r} - \Delta N_{c,r} \sum_{j=1}^n r^{-j} = 7\,660\,237 - 6\,534\,337 = 1\,125\,899 \text{ [Kč]} \quad (4.1.49)$$

### Reálná návratnost

$$PBP_{skut} = \frac{6\,500\,000 - 1\,125\,899}{766\,024} = 9,955 \text{ let} \quad (4.1.50)$$

Po dobu 9,955 let budou úspory využity na splácení investice. Po deseti letech bude čistý zisk 34 337 Kč.[8]

## 4.2 Fotovoltaická elektrárna

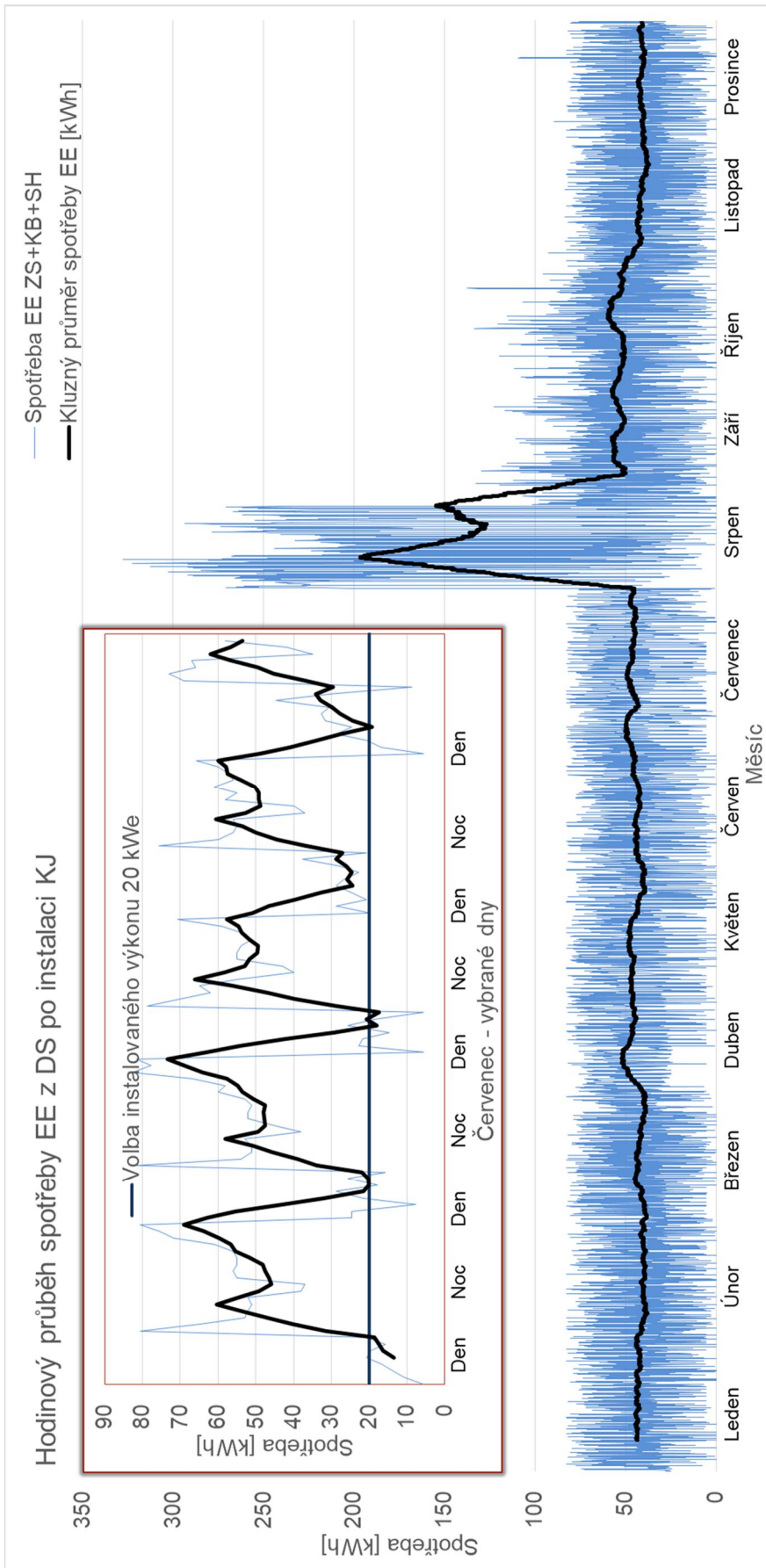
Fotovoltaická elektrárna je navržena tak, aby byly ztráty (přetoky do místní sítě) co nejnižší. Pro výpočet jsou použity hodinové spotřeby elektrické energie zimního stadionu, plaveckého bazénu a nově budované sportovní haly za předpokladu instalovaných dvou KJ TEDOM T80.

Instalovaný výkon volíme tak, aby byla v letní měsíce vyrobená elektřina z FVE z velké části spotřebována. To zapříčiní, že v ostatní měsíce, kdy je menší úhrn slunečního ozáření bude přetok do DS uvažován nulový.

Pro stanovení jmenovitého výkonu se vychází ze spotřeb EE odebrané z DS zimního stadionu, plaveckého stadionu a sportovní haly pro měsíc červenec.

Tab. č. 27 Vstupní parametry pro výpočet FVE [38]

	$\eta$	Plocha panelu	Spotřeba z DS	HT, den
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[kWh]	[kWh/(m <sup>2</sup> *den)]
Leden	0,2	1,375	32 317	1,01
Únor	0,2	1,375	27 002	1,86
Březen	0,2	1,375	30 842	3,49
Duben	0,2	1,375	33 769	5
Květen	0,2	1,375	32 768	5,27
Červen	0,2	1,375	32 003	5,48
Červenec	0,2	1,375	34 906	5,41
Srpen	0,2	1,375	110 946	5,04
Září	0,2	1,375	38 858	3,81
Říjen	0,2	1,375	39 519	2,59
Listopad	0,2	1,375	29 674	1,31
Prosinec	0,2	1,375	30 480	0,878
Celkem			473 086	



Obr. č. 30 Hodinový průběh spotřeby EE z DS pro celý areál



Z výše uvedeného grafu (Obr. č.30) je podle kluzného průměru volen instalovaný výkon FVE 20 kW<sub>e</sub>.

#### 4.2.1 Návrh fotovoltaické elektrárny s ohledem na KJ

Pro výpočet FVE a celkového přínosu dle [8,39] potřebujeme znát:

##### Plocha fotovoltaických panelů

$$P_{inst} = A_{FVE} \times G_{STC} \times \eta_{PAN} \Rightarrow A_{FVE} = \frac{P_{inst}}{G_{STC} \times \eta_{PAN}} = \frac{20\,000}{1\,000 \times 0,2} = 100 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.2.1)$$

kde

$G_{STC}$  – standartní podmínky pro laboratorní měření výkonu fotovoltaických panelů ( ozáření 1 000 W/m<sup>2</sup>, teplota 25°)

##### Výnos z FVE v 7. měsíci

$$E_7^{FVE} = H_{T,den} \times n_{dny,7} \times \eta_{PAN} \times A_{FVE} \times (1 - z_{ref} - z_{sys} - z_{cbl}) =$$

$$= 5,41 \times 31 \times 0,2 \times 100 \times (1 - 0,08 - 0,02 - 0,032) = 2\,911,446 \text{ [kWh]} \quad (4.2.2)$$

##### EE, která bude nadále odebírána z DS

$$E_{7,nová,DS} = E_{7,DS}^{FVE} - E_7^{FVE} = 34\,906 - 2\,911 = 31\,995 \text{ [kWh]} \quad (4.2.3)$$

##### Procentuální úspory jsou tedy (7. měsíc)

$$\text{úspora} = \frac{E_{využita}^{FVE}}{\text{Spotřeba}} \times 100 = \frac{2\,911}{34\,906} \times 100 = 8,34 \text{ [%]} \quad (4.2.4)$$

##### Výroba elektrické energie celkem

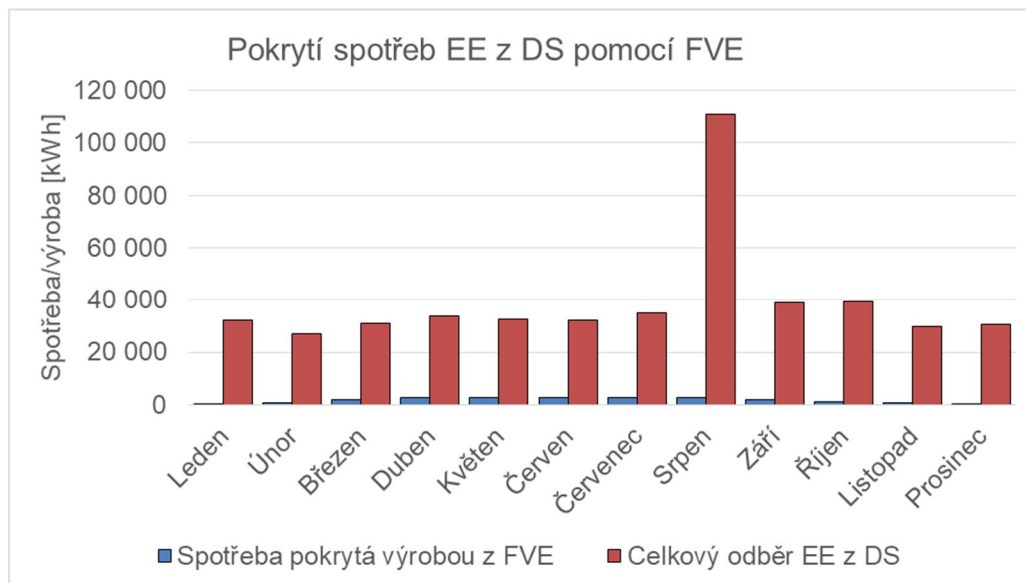
$$E_c^{FVE} = \sum_{n=1}^{12} E_n^{FVE} = 21\,718 \text{ [kWh]} \quad (4.2.5)$$

$$n_{pan}^{FVE} = \frac{A_{FVE}}{A_{pan}} = \frac{200}{1,375} = 72,72 \sim 73 \text{ panelů} \quad (4.2.6)$$

Tab č. 28 Shrnutí výroby z FVE o výkonu 20 kW<sub>e</sub> a nová snížená spotřeba EE s KJ

Měsíc	Spotřeba z DS [kWh]	Výroba z FVE [kWh]	Nová spotřeba s FVE [kWh]	Úspora [%]
Leden	32 317	544	31 774	1,68
Únor	27 002	904	26 098	3,35
Březen	30 842	1 878	28 964	6,09
Duben	33 769	2 604	31 165	7,71
Květen	32 768	2 836	29 932	8,65
Červen	32 003	2 854	29 149	8,92
Červenec	34 906	2 911	31 995	8,34
Srpen	110 946	2 625	108 321	2,37
Září	38 858	2 050	36 808	5,28
Říjen	39 519	1 349	38 171	3,41
Listopad	29 674	705	28 969	2,38
Prosinec	30 480	457	30 023	1,50
<b>Celkem</b>	<b>473 086</b>	<b>21 718</b>	<b>451 368</b>	<b>4,59%</b>

Z důvodu velkých spotřeb v nočních hodinách jsou průměrné úspory na EE 4,79 %. Akumulace do baterií je neekonomická z důvodu ceny baterií a akumulace do tepla se neuvažuje z důvodu nízké ceny tepla za GJ.



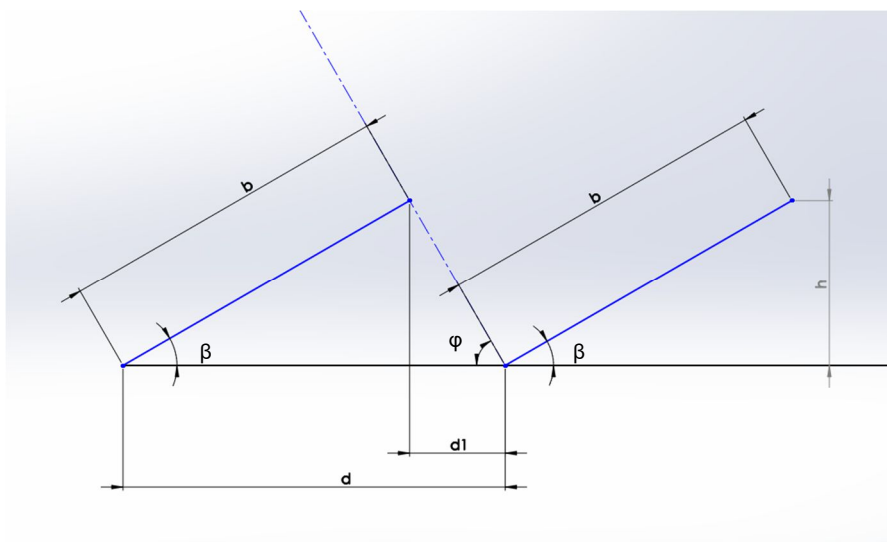
Obr. č. 31 Pokrytí spotřeb FV elektrárnou ze spotřeb EE odebraných z DS po instalaci KJ

V případě instalace pouze FVE bez uvažování KJ by byl instalovaný výkon 95 kW<sub>e</sub> dle grafu v příloze č.5 by bylo průměrně dosaženo úspory ve výši 11,21 % z roční spotřeby.

Tab č. 29 Shrnutí výroby z FVE o výkonu 95 kW<sub>e</sub> a nová snížená spotřeba EE bez KJ

Měsíc	Spotřeba z DS [kWh]	Výroba z FVE [kWh]	Nová spotřeba s FVE [kWh]	Úspora [%]
Leden	76 068	2 582	73 486	3,39
Únor	72 596	4 295	68 301	5,92
Březen	79 563	8 921	70 641	11,21
Duben	41 831	12 369	29 462	29,57
Květen	47 674	13 471	34 202	28,26
Červen	63 449	13 556	49 892	21,37
Červenec	56 618	13 829	42 788	24,43
Srpen	110 946	12 468	98 478	11,24
Září	109 097	9 739	99 357	8,93
Říjen	106 457	6 407	100 049	6,02
Listopad	79 123	3 349	75 774	4,23
Prosinec	76 693	2 172	74 521	2,83
<b>Celkem</b>	<b>920 110</b>	<b>103 159</b>	<b>816 951</b>	<b>11,21%</b>

Nejvhodnějším umístěním se jeví střecha bazénové haly, která dle přílohy č.6 má plochu necelých 700 m<sup>2</sup> a nebo střecha nové sportovní haly. Plocha 73 kusů kolektorů o ploše 1,375 m<sup>2</sup> by zabírala 115,903 m<sup>2</sup> při sklonu panelů 30°. [41]



Obr. č. 32 Náskres umístění FV panelů

#### Šířka mezery mezi řady kolektorů

$$d_1 = \frac{b \times \sin(\beta)}{\operatorname{tg}(\varphi)} = \frac{1 \times \sin\left(\frac{\pi}{6}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)} = 0,2887 \text{ [m]} \quad (4.2.7)$$

#### Minimální potřebná šířka pro instalaci

$$d = b \times \cos(\beta) + d_1 = 2,079 \times \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) + 1,0395 = 1,1547 \text{ [m]} \quad (4.2.8)$$

#### Rozměry kolektoru

$$b = 1 \text{ [m]} \\ a = 1,375 \text{ [m]}$$

#### Plocha kolektoru vč. mezery mezi jednotlivými kolektory

$$S_{\text{pan, horizontal}} = a \times d = 1,375 \times 1,1547 = 1,58771 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.2.9)$$

Úhel  $60^\circ$  odpovídá dle [40] úhlu dopadu slunečních paprsků v červenci v poledních hodinách. Proto  $115,903 \text{ m}^2$  je minimální navrhovaná plocha celé instalace. Vhodné je využít plochu střechy a mezi panely vytvořit větší mezery než je minimální vypočtená  $0,2887 \text{ m}$ , aby nedocházelo ke zbytečnému zastínění v průběhu dne a v měsíce, kdy je slunce níž nad obzorem.

### 4.2.2 Výpočet návratnosti fotovoltaické elektrárny

#### Parametry vstupující do výpočtu návratnosti FVE

#### Dodaná elektrická energie na vlastní spotřebu

$$E_{\text{spotřeba}}^{FVE} = E_{\text{červenec}}^{FVE} - E_{\text{červenec, DS}}^{FVE} = 2\,911 - E_{\text{červenec, DS}}^{FVE} \text{ [kWh]} \quad (4.2.10)$$

$E_{\text{červenec, DS}}^{FVE}$  – se může pohybovat od 0 do 100 % z  $E_{\text{červenec}}^{FVE}$  v případě odstávky celého areálu. Ve výpočtu se uvažuje maximální využití pro vlastní spotřebu, tedy přetok do DS < 1 %.

**Výnosy****Celkový výnos**

$$V_c^{FVE} = V_{RDS}^{FVE} + V_{vl}^{FVE} = 44\,915 + 454 = 45\,369 \text{ [Kč]} \quad (4.2.11)$$

**Výnos za dodanou elektrickou energií na vlastní spotřebu**

$$V_{EE,vl}^{FVE} = E_{vl}^{FVE} \times C_E = 21,718 \times 0,99 \times 2089 = 44\,915 \text{ [Kč]} \quad (4.2.12)$$

**Výnos za dodanou elektrickou energií do DS**

$$V_{DS}^{FVE} = E_{RDS}^{FVE} \times C_{E,vykup} = 21,718 \times 0,01 \times 500 = 454 \text{ [Kč]} \quad (4.2.13)$$

**Náklady****Cena za panely**

$$N_{pan}^{FVE} = n_{pan}^{FVE} \times C_{pan} = 73 \times 3\,059 = 223\,307 \text{ [Kč]} \quad (4.2.14)$$

**Cena za příslušenství – kabeláž, hliníková konstrukce**

$$N_{cbl}^{FVE} = l_{cbl}^{FVE} \times C_{cbl} = 90 \times 168 = 15\,120 \text{ [Kč]} \quad (4.2.15)$$

**Cena za instalaci**

$$N_{inst}^{FVE} = n_{pan}^{FVE} \times C_{inst} = 73 \times 1\,300 = 94\,900 \text{ [Kč]} \quad (4.2.16)$$

**Cena za dopravu**

$$N_{dop}^{FVE} = n_{pan}^{FVE} \times C_{dop} \text{ [Kč]} \quad (4.2.17)$$

Může být stanovena jako jednotková cena na panel nebo jako fixní cena

**Cena za měnič a příslušenství**

$$N_{invr}^{FVE} = n_{pan}^{FVE} \times C_{invr} \text{ [Kč]} \quad (4.2.18)$$

Může být stanovena jako jednotková cena na panel nebo jako fixní cena

Tab. č. 30 Položkový seznam investice FVE 20 kW

Investice FVE 20 kW				
Položka	počet	j. cena [Kč]	Cena celkem [Kč]	
FV panely 275 Wp	73	3 059	223 307	Kč
Střídač	1	73 881	73 881	Kč
FV konstrukce	73	1 580	115 340	Kč
Kabeláž	90	168	15 120	Kč
Rozvaděč	1	80 000	80 000	Kč
Jistič	1	5 000	5 000	Kč
Montáž	73	1 300	94 900	Kč
Doprava	1	10 000	10 000	Kč
Revize	1	10 000	10 000	Kč
Ostatní	1	50 000	50 000	Kč
Celkem bez DPH			<b>677 548</b>	Kč
Cena / kW bez DPH			<b>9 281</b>	Kč/kW

## Prostá návratnost

$$PBP = \frac{N_{celk}^{FVE}}{V_c^{FVE}} = \frac{677\,548}{45\,369} = 14,93 \text{ let} \quad (4.2.19)$$

Prostá návratnost přesahuje období deseti let, to je způsobeno nízkou cenou za dodávku EE a cenou FVE bez dotace.

V případě, že bude uvažován PID (potential induced degradation), který záporně ovlivňuje účinnost a tedy i celkovou návratnost FVE se můžeme dostat na návratnost zhoršenou až o 15 %. Hlavními faktory PID jsou vysoký rozdíl napětí na stringu, teplota panelů a vlhkost okolního vzduchu. Jako další nežádoucí faktor můžeme uvažovat snížení účinnosti znečištěním FV panelů.

Přínos FVE při cenách EE pro velké odběrná místa a bez uplatnění dotací je příliš nízký a reálná návratnost příliš vysoká. Není vhodné investovat do fotovoltaické elektrárny bez uvažování dalšího úsporného opatření.

Jelikož investice klesá úměrně se snižováním instalovaného výkonu a vyrobenou energií, návratnost se nesníží i při instalaci nižšího výkonu. Z tohoto důvodu nebudeme uvažovat návrh menšího výkonu FVE při kombinaci s jinými úspornými opatřeními.

### 4.3 Solární tepelné kolektory

Solární tepelné kolektory budou navrhovány na venkovní sezónní koupaliště z důvodu velmi malého přínosu v zimní měsíce. Naopak v letních měsících tepelné kolektory produkují daleko více energie než je tomu například u fotovoltaických panelů.

#### 4.3.1 Výpočet tepelných ztrát bazénu

Jelikož víme pouze přibližné množství vyměňované vody na osobu a to 60 litrů na osobu dle vyhlášky č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště [42], musíme dopočítat tepelnou náročnost (tepelné ztráty) venkovního koupaliště.

Přibližná spotřeba vody se pohybuje mezi 8 – 10 m<sup>3</sup> vody denně [14]. Bude uvažováno 8 m<sup>3</sup>. Jedná se o bazén o rozměrech 1353 m<sup>2</sup> (příloha č.1) z měření na google maps.



Obr. č. 33 Snímek koupaliště z google map [43]

Tepelná náročnost se stanoví výpočtem tepelných ztrát bazénu odparem, radiací a konvekcí z hladiny a prostupem tepla dnem a stěnami bazénu.[40,51]

Celá bilance bude prováděna pro celou dobu provozu a to pro měsíc květen – ½ září.

Z důvodu přehledu a pro určení snížení tepelných ztrát za pomoci plachty jsou ztráty rozděleny na tepelné ztráty v průběhu provozu (10 – 21 hodina) bazénu a na dobu mimo provoz (22 – 9 hodina).

Vlastnosti vody jsou přepočteny pro teplotu 26 °C.

Vlastnosti vzduchu byly převzaty z [44] poblíž města Chrudim.

Tab č. 31 Naměřené vlastnosti vzduchu v Chlumci nad Cidlinou

	Teplota	Relativní vlhkost	Tlak	Měrná vlhkost	Absolutní vlhkost	Měrná hmotnost vzduchu	Parciální tlak par	Teplota rosného bodu	Teplota mokrého teploměru	Entalpie vzduchu
Měsíc	[°C]	[%]	[Pa]	[g/kg s.v.]	[g/m3]	[kg/m3]	[Pa]	[°C]	[°C]	[kJ/kg s.v.]
<b>V provozu</b>										
Květen	18,13	52,47	98757	7,32	8,49	1,17	1147	8,48	13,01	37,89
Červen	22,21	50,74	98503	9,08	10,34	1,15	1414	11,67	16,12	46,53
Červenec	22,78	57,37	98534	10,57	12	1,15	1645	14,11	17,54	50,91
Srpen	22,45	57,72	98860	10,39	11,84	1,15	1622	13,82	17,3	50,11
Září	14,82	74,38	98683	8,37	9,82	1,18	1310	10,73	12,86	37,15
<b>Mimo provoz</b>										
Květen	13,49	79,69	98752	7,86	9,29	1,19	1232	9,55	11,28	33,49
Červen	17,16	75,23	98533	9,31	10,83	1,18	1451	12,15	14,17	40,91
Červenec	18,28	83,66	98536	11,19	12,93	1,17	1741	15,05	16,22	46,83
Srpen	18,04	82,68	98852	10,89	12,63	1,18	1700	14,59	15,86	45,83
Září	11,84	94,09	98700	8,39	9,98	1,2	1314	10,81	11,26	33,13

#### 4.3.1.1 Tepelné ztráty radiací

Každé těleso má vlastní emisivitu a tím způsobenou i tepelnou ztrátu radiací.

##### Tepelná ztráta radiací ve dne

$$\begin{aligned}
 Q_{rad,i,den} &= \varepsilon \times \sigma \times S_h \times (T_{V,i,den}^4 - T_{o,i,den}^4) \times h_d \times n \times 1000^{-1} = \\
 &= 0,98 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 1353 \times ((273,15 + 26)^4 - (273,15 + 18,13)^4) \times 11 \times \\
 &\times 31 \times 1000^{-1} = 16\,346 \text{ [kWh]}
 \end{aligned}
 \tag{4.3.1}$$

##### Tepelná ztráta radiací v noci

$$\begin{aligned}
 Q_{rad,i,noc} &= \varepsilon \times \sigma \times (T_{V,i,noc}^4 - T_{o,i,noc}^4) \times (24 - h_d) \times n \times 1000^{-1} = \\
 &= 0,98 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 1353 \times ((273,15 + 26)^4 - (273,15 + 13,49)^4) \times \\
 &\times (24 - 11) \times 31 \times 1000^{-1} = 32\,197 \text{ [kWh]}
 \end{aligned}
 \tag{4.3.2}$$

kde

$\varepsilon$  – 0,98 – emisivita vody [–]

$\sigma$  –  $5,67 \times 10^{-8}$  – Stefan – Boltzmannova konstanta

Tab č. 32 Shrnutí tepelných ztrát radiací v jednotlivé měsíce

	$\sigma$	$\varepsilon$	S	$T_{V,i}^4 - T_{O,i}^4$	$Q_{rad,i}$
Měsíc/Jednotka	[-]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[K]	[kWh]
<b>V provozu</b>					
Květen	0,0000000567	0,98	1 353	637 610 517	16 346
Červen	0,0000000567	0,98	1 353	266 770 073	6 618
Červenec	0,0000000567	0,98	1 353	226 642 088	5 810
Srpen	0,0000000567	0,98	1 353	257 615 842	6 391
Září	0,0000000567	0,98	1 353	957 305 198	12 271
<b>Mimo provoz</b>					
Květen	0,0000000567	0,98	1 353	1 062 689 491	32 197
Červen	0,0000000567	0,98	1 353	748 307 449	21 941
Červenec	0,0000000567	0,98	1 353	665 128 442	20 152
Srpen	0,0000000567	0,98	1 353	684 101 721	20 058
Září	0,0000000567	0,98	1 353	1 216 526 681	18 429

#### 4.3.1.2 Tepelné ztráty z hladiny

Tepelné ztráty z hladiny jsou složeny ze sálavé složky tepelných ztrát, ztrátami konvekcí a ztráty odparem vody. Ztráty z hladiny jsou závislé na vlhkosti, tlaku a teplotě okolního vzduchu a teplotě hladiny.

Pro zjištění tepelných ztrát a objemových ztrát vody spojené s odparem musíme zjistit součinitele přestupu tepla konvekcí.

#### Součinitel přestupu tepla konvekcí z hladiny ve dne a v noci

$$\alpha_{k,i,den} = \frac{Nu_{i,den} \times \lambda_{vzduch,i,den}}{l} = \frac{7\,107 \times 0,02507}{36,78} =$$

$$= 4,843 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

$$\alpha_{k,i,noc} = \frac{Nu_{i,noc} \times \lambda_{vzduch,i,noc}}{l} = \frac{11\,061 \times 0,02474}{36,78} =$$

$$= 7,44 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

#### Nusseltovo číslo pro $Re > 5 \times 10^5$ ve dne a v noci

$$Nu_{i,den} = 0,057 \times Re_{i,den}^{0,78} \times Pr_{i,den}^{0,78} = 0,057 \times 4\,686\,330^{0,78} \times 0,728^{0,78} = 7\,107 [-]$$

$$Nu_{i,noc} = 0,057 \times Re_{i,noc}^{0,78} \times Pr_{i,noc}^{0,78} = 0,057 \times 8\,257\,820^{0,78} \times 0,729^{0,78} = 11\,061 [-]$$

#### Prandtlovo kritérium pro podmínky ve dne a v noci

$$Pr_{i,den} = \frac{v_{vzduch,i,den} \times \rho_{vzduch,i,den} \times c_{p,vzduch,i,den}}{\lambda_{vzduch,i,den}} =$$

$$= \frac{0,0000153 \times 1,17 \times 1\,022}{2,507} = 0,728 [-]$$

$$Pr_{i,noc} = \frac{v_{vzduch,i,noc} \times \rho_{vzduch,i,noc} \times c_{p,vzduch,i,noc}}{\lambda_{vzduch,i,noc}} =$$

$$= \frac{0,0000148 \times 1,19 \times 1,02}{2,474} = 0,729 [-] \quad (4.3.8)$$

**Tepelná vodivost vzduchu** se určí lineární interpolací pro každý měsíc [45]

$$\lambda_{vzduch,t_o,i,den} = \frac{\lambda_{vzduch,t_{o2}} - \lambda_{vzduch,t_{o1}}}{t_{o2} - t_{o1}} \times (t_o - t_{o1}) + \lambda_{vzduch,t_{o1}} =$$

$$= \frac{0,0252 - 0,0245}{20 - 10} \times (18,13 - 10) + 0,0245 = 0,02507 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (4.3.9)$$

$$\lambda_{vzduch,t_o,i,noc} = \frac{\lambda_{vzduch,t_{o2}} - \lambda_{vzduch,t_{o1}}}{t_{o2} - t_{o1}} \times (t_o - t_{o1}) + \lambda_{vzduch,t_{o1}} =$$

$$= \frac{0,0252 - 0,0245}{20 - 10} \times (13,49 - 10) + 0,0245 = 0,02474 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (4.3.10)$$

**Reynoldsovo číslo vzduchu**

$$Re_{i,den} = \frac{w \times l}{v_{vzduch,i,den}} = \frac{w \times \sqrt{S_h}}{v_{vzduch,i,noc}} = \frac{1,94 \times 36,78}{0,0000153} = 4\,686\,330 [-] \quad (4.3.11)$$

$$Re_{i,noc} = \frac{w \times l}{v_{vzduch,i,noc}} = \frac{w \times \sqrt{S_h}}{v_{vzduch,i,noc}} = \frac{3,33 \times 36,78}{0,0000148} = 8\,257\,820 [-] \quad (4.3.12)$$

Kde

w – rychlost větru nad povrchem hladiny [ $\text{m.s}^{-1}$ ] [46]

**Tepelné ztráty konvekci ve dne a v noci** v jednotlivé měsíce se dopočítají pomocí

$$Q_{k,i,den} = \left( \alpha_{k,i,den} \times S_h \times (t_v - t_{o,i,den}) \right) \times \left( \frac{n_i}{1000} \right) \times h_d =$$

$$= (4,844 \times 1353 \times (26 - 18,13)) \times \left( \frac{31}{1000} \right) \times 11 = 17\,588 [\text{kWh}] \quad (4.3.13)$$

$$Q_{k,i,noc} = \left( \alpha_{k,i,noc} \times S_h \times (t_v - t_{o,i,noc}) \right) \times \left( \frac{n_i}{1000} \right) \times (24 - h_d) =$$

$$= (7,441 \times 1353 \times (26 - 13,49)) \times \left( \frac{31}{1000} \right) \times (24 - 11) = 50\,753 [\text{kWh}] \quad (4.3.14)$$



Tab. č. 33 Shrnutí tepelných ztrát konvekcí v dané měsíce část 1.

Měsíc	w $m \cdot s^{-1}$	l m	$Re_i$ -	$c_{p,vzduch}$ $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$\rho_{vzduch}$ $kg \cdot m^{-3}$	$U_{vzduch}$ $m^2 \cdot s^{-1}$	$\lambda_{vzduch} \cdot 10^2$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	$Pr_i$ -
<b>V provozu</b>								
Květen	1,94	36,78	4 686 330	1 022	1,17	0,0000153	2,507	0,728
Červen	1,94	36,78	4 563 300	1 027	1,15	0,0000157	2,534	0,730
Červenec	1,94	36,78	4 549 508	1 030	1,15	0,0000157	2,538	0,733
Srpen	1,94	36,78	4 573 397	1 029	1,15	0,0000156	2,536	0,730
Září	1,94	36,78	4 775 686	1 023	1,18	0,0000150	2,484	0,728
<b>Mimo provoz</b>								
Květen	3,33	36,78	8 257 820	1 020	1,19	0,0000148	2,474	0,729
Červen	3,33	36,78	8 061 638	1 025	1,18	0,0000152	2,500	0,736
Červenec	3,33	36,78	8 008 625	1 029	1,17	0,0000153	2,508	0,735
Srpen	3,33	36,78	8 045 717	1 028	1,18	0,0000152	2,506	0,738
Září	3,33	36,78	8 335 295	1 021	1,20	0,0000147	2,463	0,732

Tab. č. 34 Shrnutí tepelných ztrát konvekcí v dané měsíce část 2.

Měsíc	$Nu_i$ [-]	$\alpha_k$ $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	$Q_k$ [kWh]
<b>V provozu</b>			
Květen	7 107	4,844	15 353
Červen	6 976	4,807	5 988
Červenec	6 983	4,818	4 935
Srpen	6 986	4,816	5 483
Září	7 210	4,868	11 432
<b>Mimo provoz</b>			
Květen	11 061	7,225	46 037
Červen	10 937	7,219	30 320
Červenec	10 871	7,198	26 776
Srpen	10 943	7,240	26 996
Září	11 177	7,266	26 469

Kinematická viskozita lze dopočítat dle [47], kde je využita Arrheniova rovnice pro dynamickou viskozitu a stavová rovnice pro hustotu ideálního plynu – vzduchu ( $N_2, O_2$ )

#### Arrheniova rovnice

$$\eta = \eta_0 \times e^{\left(\frac{A+E}{T}\right)} \quad (4.3.15)$$

#### Stavová rovnice

$$\rho = \frac{1}{r} \times \frac{p}{T} \quad (4.3.16)$$

Kde

r – měrná plynová konstanta pro ideální vzduch ( $N_2, O_2$ ) = 287,0787 [J. kg<sup>-1</sup>]

T – teplota vzduchu [K]

$\eta_0$  – limitní viskozita [Pa. s]

A, E – empirické konstanty [-]

Jako další krok potřebujeme zjistit součinitel přestupu tepla vypařováním vody

### Součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny pro den a noc

$$\begin{aligned}\alpha_{vyp,i,den} &= \frac{\alpha_{k,i,den}}{c_{p,i,den}} \times \frac{(x''_{i,den} - x_{i,den})}{(t_{v,i} - t_{o,i,den})} \times r_{i,den} = \\ &= \frac{4,844}{1\,022} \times \frac{(0,02008 - 0,00723)}{(26 - 18,13)} \times 2\,535\,887 = 21,6 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]\end{aligned}\quad (4.3.17)$$

$$\begin{aligned}\alpha_{vyp,i,noc} &= \frac{\alpha_{k,i,noc}}{c_{p,i,noc}} \times \frac{(x''_{i,noc} - x_{i,noc})}{(t_{v,i} - t_{o,i,noc})} \times r_{i,noc} = \\ &= \frac{7,441}{1\,020} \times \frac{(0,02008 - 0,00741)}{(26 - 13,49)} \times 2\,525\,608 = 18,7 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]\end{aligned}\quad (4.3.18)$$

### Měrná vlhkost vzduchu při teplotě vody

$$\begin{aligned}x''_{i,den} &= 0,622 \times \frac{p''_{Ph,i}}{(p_b - p''_{Ph,i})} = 0,622 \times \frac{3\,169}{(98\,757 - 3\,169)} = \\ &= 0,02008 [kg \cdot kg_{sv}^{-1}]\end{aligned}\quad (4.3.19)$$

$$\begin{aligned}x''_{i,noc} &= 0,622 \times \frac{p''_{Ph,i}}{(p_b - p''_{Ph,i})} = 0,622 \times \frac{3\,169}{(98\,752 - 3\,169)} = \\ &= 0,02008 [kg \cdot kg_{sv}^{-1}]\end{aligned}\quad (4.3.20)$$

### Měrná vlhkost vzduchu při teplotě vzduchu pro den a noc

$$\begin{aligned}x_{i,den} &= 0,622 \times \frac{p_{P,i,den}}{(p_b - p_{P,i,den})} = 0,622 \times \frac{1\,165}{(98\,757 - 1\,165)} = \\ &= 0,00723 [kg \cdot kg_{sv}^{-1}]\end{aligned}\quad (4.3.21)$$

$$x_{i,noc} = 0,622 \times \frac{p_{P,i,noc}}{(p_b - p_{P,i,noc})} = 0,622 \times \frac{1\,193}{(98\,752 - 1\,193)} = 0,00741 [kg \cdot kg_{sv}^{-1}]\quad (4.3.22)$$

### Tlak syté vodní páry při teplotě vody

$$\begin{aligned}p''_{Ph,i} &= EXP \times \left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t_v}\right) = EXP \times \left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + 25}\right) \\ &= 3\,169 [Pa]\end{aligned}\quad (4.3.23)$$

### Parciální tlak vodní páry při teplotě vzduchu

$$\begin{aligned}p_{P,i,den} &= p''_{Pm,i,den} - A \times p_{b,i,den} \times (t_{o,i,den} - t_{m,i,den}) = \\ &= 1\,499 - 662 \times 10^{-6} \times 98\,757 \times (18,13 - 13,01) = 1\,165 [Pa]\end{aligned}\quad (4.3.24)$$

$$\begin{aligned}p_{P,i,noc} &= p''_{Pm,i,noc} - A \times p_{b,i,noc} \times (t_{o,i,noc} - t_{m,i,noc}) = \\ &= 1\,338 - 662 \times 10^{-6} \times 98\,752 \times (13,49 - 11,28) = 1\,193 [Pa]\end{aligned}\quad (4.3.25)$$

### Tlak syté vodní páry při teplotě mokrého teploměru

$$p''_{Pm,i,den} = EXP \times \left( 23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + 13,01} \right) = 1\,499 \text{ [Pa]} \quad (4.3.26)$$

$$p''_{Pm,i,noc} = EXP \times \left( 23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + 11,28} \right) = 1\,338 \text{ [Pa]} \quad (4.3.27)$$

### Tepelná vodivost suchého vzduchu se určí lineární interpolací [45]

$$\begin{aligned} c_{p,sv,iden} &= \frac{c_{p,sv2} - c_{p,sv1}}{t_{o2} - t_{o1}} \times (t_o - t_{o1}) + c_{p,sv1} = \\ &= \frac{1010 - 1005}{20 - 10} \times (18,13 - 10) + 1005 = 1\,009,07 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \end{aligned} \quad (4.3.28)$$

$$\begin{aligned} c_{p,sv,i,noc} &= \frac{c_{p,sv2} - c_{p,sv1}}{t_{o2} - t_{o1}} \times (t_o - t_{o1}) + c_{p,sv1} = \\ &= \frac{1010 - 1005}{20 - 10} \times (13,49 - 10) + 1005 = 1\,006,75 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \end{aligned} \quad (4.3.29)$$

Potom tepelná vodivost vzduchu

$$\begin{aligned} c_{p,i,den} &= c_{p,sv,i,den} + c_{p,vp} \times x_{i,den} = 1\,009,07 + 1840 \times 0,00723 = \\ &= 1\,022 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \end{aligned} \quad (4.3.30)$$

$$\begin{aligned} c_{p,i,noc} &= c_{p,sv,i,noc} + c_{p,vp} \times x_{i,noc} = 1\,006,75 + 1840 \times 0,00741 = \\ &= 1\,020 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \end{aligned} \quad (4.3.31)$$

Kde

$A = 662 \times 10^{-6}$  – psychomerický součinitel psychometru při teplotě  
 $0 \leq t_m \leq 30^\circ\text{C}$  [ $\text{K}^{-1}$ ]

### Tepelné ztráty odparem vody

$$\begin{aligned} Q_{vyp,i,den} &= \left( \alpha_{vyp,i,den} \times S_h \times (t_v - t_{o,i,den}) \right) \times \left( \frac{n_i}{1000} \right) \times h_d = \\ &= (21,6 \times 1353 \times (26 - 18,13)) \times \left( \frac{31}{1000} \right) \times 11 = 78\,266 \text{ [kWh]} \end{aligned} \quad (4.3.32)$$

$$\begin{aligned} Q_{vyp,i,noc} &= \left( \alpha_{vyp,i,noc} \times S_h \times (t_v - t_{o,i,noc}) \right) \times \left( \frac{n_i}{1000} \right) \times (24 - h_d) = \\ &= (18,7 \times 1353 \times (26 - 13,49)) \times \left( \frac{31}{1000} \right) \times (24 - 11) = 127\,224 \text{ [kWh]} \end{aligned} \quad (4.3.33)$$

### Množství odpařené vody

$$\begin{aligned} m_{odp,i,den} &= \frac{Q_{vyp,i,den}}{\left( \frac{n_i}{1000} \right) \times h_d \times r_{i,den}} = \frac{78\,266}{\left( \frac{31}{1000} \right) \times 11 \times 2\,535\,887} = \\ &= 0,091 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \end{aligned} \quad (4.3.34)$$

$$m_{odp,i,noc} = \frac{Q_{vyp,i,noc}}{\left(\frac{n_i}{1000}\right) \times (24 - h_d) \times r_{i,noc}} =$$

$$= \frac{127\,224}{\left(\frac{31}{1000}\right) \times (24 - 11) \times 2\,525\,608} = 0,125 [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (4.3.35)$$

$$M_{odp,i,den} = \frac{Q_{vyp,i,den} \times 3600 \times 1000}{\rho_{H_2O} \times r_{i,den}} = \frac{78\,266 \times 3600 \times 1000}{997,1 \times 2\,535\,887} =$$

$$= 111,44 [m^3] \quad (4.3.36)$$

$$M_{odp,i,noc} = \frac{Q_{vyp,i,noc} \times 3600 \times 1000}{\rho_{H_2O} \times r_{i,noc}} = \frac{127\,224 \times 3600 \times 1000}{997,1 \times 2\,525\,608} =$$

$$= 181,89 [m^3] \quad (4.3.37)$$

Tab. č. 35 Shrnutí tepelných ztrát odparem v jednotlivé měsíce část 1.

	$\alpha_k$	$r$	$c_p$	$p''_{Pm,i}$	$p''_{Ph,i}$	$p_{P,i}$	$x''_i$	$x_i$
Měsíc	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	[J.kg <sup>-1</sup> ]	[kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[kg.kg <sup>-1</sup> ]	[kg.kg <sup>-1</sup> ]
<b>V provozu</b>								
Květen	4,844	2 535 887	1 022	1 499	3 363	1 165	0,02135	0,00723
Červen	4,844	2 543 299	1 027	1 833	3 363	1 436	0,02135	0,00894
Červenec	4,844	2 544 333	1 030	2 006	3 363	1 664	0,02135	0,01039
Srpen	4,844	2 543 734	1 029	1 976	3 363	1 639	0,02135	0,01022
Září	4,844	2 529 859	1 023	1 485	3 363	1 357	0,02135	0,00844
<b>Mimo provoz</b>								
květen	7,441	2 525 608	1 020	1 338	3 363	1 193	0,02135	0,00741
Červen	7,434	2 532 301	1 025	1 617	3 363	1 422	0,02135	0,00885
Červenec	7,412	2 534 340	1 029	1 845	3 363	1 710	0,02135	0,01068
Srpen	7,456	2 533 903	1 028	1 803	3 363	1 660	0,02135	0,01036
Září	7,484	2 522 594	1 021	1 336	3 363	1 298	0,02135	0,00807

Tab. č. 36 Shrnutí tepelných ztrát odparem v jednotlivé měsíce část 2.

	$\alpha_{vyp,i}$	$Q_{vyp,i}$	$m_{odp,i}$	$M_{odp,i}$
Měsíc	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	[kWh]	[kg.s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
<b>V provozu</b>				
Květen	21,6	78 266	0,091	111
Červen	39,0	65 970	0,079	94
Červenec	40,6	60 242	0,069	85
Srpen	37,3	59 136	0,070	84
Září	13,9	35 858	0,083	51
<b>Mimo provoz</b>				
Květen	18,7	127 224	0,125	182
Červen	23,3	108 836	0,110	155
Červenec	22,2	93 604	0,092	133
Srpen	22,4	94 264	0,095	134
Září	15,7	60 556	0,119	87

**Výpočet tepelné ztráty z hladiny v kWh za jednotlivé měsíce**

$$Q_{hl,i,den} = Q_{k,i,den} + Q_{rad,i,den} + Q_{vyp,i,den} = 17\,588 + 16\,346 + 78\,266 =$$

$$= 112\,200 \text{ [kWh]} \quad (4.3.38)$$

$$Q_{hl,i,noc} = Q_{k,i,den} + Q_{rad,i,den} + Q_{vyp,i,den} = 50\,753 + 32\,197 + 127\,224 =$$

$$= 210\,174 \text{ [kWh]} \quad (4.3.39)$$

**Tepelná ztráta hladinou za celé období provozu**

$$Q_{hl} = \sum_{i=5}^8 (Q_{hl,i,den} + Q_{hl,i,noc}) + \frac{Q_{hl,9,den}}{2} + \frac{Q_{hl,9,noc}}{2} = 1\,174\,076 \text{ [kWh]} \quad (4.3.40)$$

Tab. č. 37 Celkové tepelné ztráty přestupem z hladiny

<b>Celkové ztráty</b>	$Q_{rad,i}$	$Q_{k,i}$	$Q_{vyp,i}$	$Q_{hl,i}$
Měsíc/Jednotka	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>V provozu</b>				
Květen	16 346	17 588	78 266	112 200
Červen	6 618	8 134	65 970	80 723
Červenec	5 810	7 158	60 242	73 210
Srpen	6 391	7 634	59 136	73 161
Září	12 271	12 555	35 858	60 685
<b>Mimo provoz</b>				
Květen	32 197	50 753	127 224	210 174
Červen	21 941	34 676	108 836	165 453
Červenec	20 152	31 200	93 604	144 956
Srpen	20 058	31 318	94 264	145 640
Září	18 429	28 891	60 556	107 875
Celkem	160 215	229 906	783 955	1 174 076

**4.3.1.3 Tepelné ztráty dnem a stěnami bazénu**

Tepelné ztráty prostupem stěnami a dnem jsou závislé na složení bazénové vany. Jedná se o nerezový bazén, u kterého předpokládáme složení z 3 mm tlustého nerezového plechu, z vrstvy polystyrenu o tloušťce 50 mm a betonového základu o tloušťce 400 mm. Poslední vrstvou je zemina, ve které je zapuštěna celá vana bazénu. V tabulce č.37 jsou uvedeny odpory a tepelné součinitele jednotlivých vrstev.

Tab. č. 38 Vlastnosti vrstev pro výpočet prostupu tepla dnem a stěnou bazénu [49]

$d_z$	tloušťka zeminy	1,000	[m]
$\lambda_z$	zemina s přirozenou vlhkostí	1,400	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$d_p$	tloušťka plechu	0,003	[m]
$\lambda_p$	plech - nerez	33,00	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$d_{iz}$	tloušťka polystyrenu	0,050	[m]
$\lambda_{iz}$	polystyrenu	0,037	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$d_b$	tloušťka betonu	0,400	[m]
$\lambda_b$	beton	1,360	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]

Tab č. 39 Vlastnosti vody při 26 °C [48]

$c_{p,H_2O}$	měrná tepelná kapacita vody při 26 °C	4 178,400	[J/kg*K]
$\rho_{H_2O}$	hustota vody při 26 °C	997,100	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\eta_{H_2O} \cdot 10^6$	dynamická viskozita vody při 26 °C	880,600	[N*s/m <sup>2</sup> ]
$\nu_{H_2O} \cdot 10^8$	kinematická viskozita vody při 26 °C	88,400	[m <sup>2</sup> /s]
$\lambda_{H_2O}$	Tepelná vodivost vody při 26 °C	0,606	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]

### Rovnice závislosti mezi kinematickou a dynamickou viskozitou

$$\nu_{H_2O} = \frac{\eta_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \Rightarrow \eta_{H_2O} = \nu_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \quad (4.3.41)$$

### Prandtlovo kritérium podobnosti

$$Pr = \frac{\nu_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \times c_{p,H_2O}}{\lambda_{H_2O}} = \frac{88,4}{10^8} \times 997,1 \times 4178,4}{0,606} = 6,0718 [-] \quad (4.3.42)$$

### Grashofovo kritérium podobnosti

$$Gr = \frac{g \times l^3}{\nu_{H_2O}^2} \times \beta \times (t_V - t_s) = \frac{9,81 \times 1,4}{\frac{88,4}{10^8}} \times 0,000256 \times (25 - 24) =$$

$$= 8,81839^9 [-] \quad (4.3.43)$$

### Rayleighovo kritérium podobnosti

$$Ra = GrPr = \frac{g \times l^3}{\nu_{H_2O}^2} \times \beta \times (t_V - t_s) \times \frac{\nu_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \times c_{p,H_2O}}{\lambda_{H_2O}} =$$

$$= 8,81839^9 \times 6,0718 = 5,354310^{10} [-] \quad (4.3.44)$$

### Nusseltovo kritérium podobnosti pro prostup tepla dnem

$$Nu_{dno} = 1,135 \times (Ra)^{\frac{1}{3}} = 1,135 \times (5,354310^{10})^{\frac{1}{3}} = 565,361 [-] \quad (4.3.45)$$

### Nusseltovo kritérium podobnosti pro prostup tepla stěnou

$$Nu_{stěna} = 0,68 \times Pr^{\frac{1}{2}} \frac{Gr^{\frac{1}{4}}}{(0,925 \times Pr)^{\frac{1}{4}}} =$$

$$= 0,68 \times 6,0718^{\frac{1}{2}} \frac{(8,81839^9)^{\frac{1}{4}}}{(0,925 \times 6,0718)^{\frac{1}{4}}} = 315,407 [-] \quad (4.3.46)$$

Za pomocí Nusseltova kritéria, tepelné vodivosti vody a charakteristického rozměru bazénu získáme **součinitele přestupu tepla**

### pro dno

$$\alpha_{V,dno} = \frac{Nu_{dno} \times l}{\lambda_{H_2O}} = \frac{565,361 \times 1,4}{0,606} = 244,72 [W.m^{-2}.K^{-1}] \quad (4.3.47)$$

**a stěnu**

$$\alpha_{V,stěna} = \frac{Nu_{stěna} \times l}{\lambda_{H_2O}} = \frac{315,407 \times 1,4}{0,606} = 136,5262 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (4.3.48)$$

Tab. č. 40 Souhrn parametrů pro výpočet tepelných ztrát stěnou a dnem

Měsíc	$t_V$	$t_S$	$\beta$	$\Delta T$	$l$	$\nu_{H_2O}$	$Gr$	$Pr$	$Ra$	$Nu_{stěna}$	$\lambda_{H_2O}$	$\alpha_{V,stěna}$
Květen	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	315,407	0,606	136,52
Červen	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	315,407	0,606	136,52
Červenec	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	315,407	0,606	136,52
Srpen	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	315,407	0,606	136,52
Září	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	315,407	0,606	136,52
Měsíc	$t_V$	$t_S$	$\beta$	$\Delta T$	$l$	$\nu_{H_2O}$	$Gr$	$Pr$	$Ra$	$Nu_{dno}$	$\lambda_{H_2O}$	$\alpha_{V,dno}$
Květen	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	565,361	0,606	244,72
Červen	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	565,361	0,606	244,72
Červenec	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	565,361	0,606	244,72
Srpen	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	565,361	0,606	244,72
Září	26	25	0,000256	1	1,4	$88,4^{-8}$	8,8183 <sup>9</sup>	6,072	5,3543 <sup>10</sup>	565,361	0,606	244,72

Z parametrů v tabulkách č.38 a č.40 určíme odpor celého dna

**Odpor dna**

$$k_{dno} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{V,dno}} + \frac{d_z}{\lambda_z} + \frac{d_p}{\lambda_p} + \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{d_b}{\lambda_b}} = \quad (4.3.49)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{244,72} + \frac{1}{1,4} + \frac{0,003}{33} + \frac{0,05}{0,037} + \frac{0,4}{1,36}} = 0,42302 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

**Odpor stěny**

$$k_{stěna} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{V,stěna}} + \frac{d_z}{\lambda_z} + \frac{d_p}{\lambda_p} + \frac{d_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{d_b}{\lambda_b}} = \quad (4.3.50)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{136,52} + \frac{1}{1,4} + \frac{0,003}{33} + \frac{0,05}{0,037} + \frac{0,4}{1,36}} = 0,42245 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

**Výpočet tepelné ztráty dna v kWh za jednotlivé měsíce**

$$Q_{dno,i} = k_{dno} \times S_{dno} \times (T_V - T_O) \times \left(\frac{n_i}{1000}\right) \times 24 = \quad (4.3.51)$$

$$= 0,42306 \times 1353 \times (26 - 18) \times \left(\frac{31}{1000}\right) \times 24 = 3\,407 [kWh]$$

**Výpočet tepelné ztráty stěnami v kWh za jednotlivé měsíce**

$$Q_{stěna,i} = k_{stěna} \times S_{stěna} \times (T_V - T_O) \times \left(\frac{n_i}{1000}\right) \times 24 = \quad (4.3.52)$$

$$= 0,42250 \times 297 \times (26 - 18) \times \left(\frac{31}{1000}\right) \times 24 = 374 [kWh]$$

### Plocha dna

$$S_{dno} = S_{hladina} = 1353 [m^2] \quad (4.3.53)$$

$$S_{stěna} = o \times h_{stěna} = 212 \times 1,4 = 297 [m^2] \quad (4.3.54)$$

### Tepelná ztráta stěn a dna za jeden měsíc

$$Q_{s+d,i} = Q_{dno,i} + Q_{stěna,i} = 2\,981 + 280 = 3\,780 [kWh] \quad (4.3.55)$$

Hodnoty byly dosazeny pro měsíc  $i = 5$  (květen). Zbylé měsíce byly vypočteny stejným způsobem a jsou zapsány v tabulce č.41

**Celková tepelná ztráta v kWh** za provozní období květen až polovina září je tedy

$$Q_{s+d} = \sum_{i=5}^8 (Q_{dno,i} + Q_{stěna,i}) + \left( \frac{Q_{dno,9}}{2} + \frac{Q_{stěna,9}}{2} \right) = 18\,658 [kWh] \quad (4.3.56)$$

Tab č. 41 Souhrn tepelných ztrát prostupem tepla dnem a stěnami

Měsíc	$k_{dno}$	$k_{stěna}$	n	$S_{dno}$	$S_{stěna}$	$T_V$	$T_O$	$T_O$	$Q_{dno,i}$	$Q_{stěna,i}$	$Q_{s+d}$
Květen	0,42302	0,42245	31	1353,00	297	26	18	22	3 407	374	3 780
Červen	0,42302	0,42245	30	1353,00	297	26	18	22	3 297	362	3 658
Červenec	0,42302	0,42245	31	1353,00	297	26	18	22	3 407	374	3 780
Srpen	0,42302	0,42245	30	1353,00	297	26	18	22	3 297	362	3 658
Září	0,42302	0,42245	31	1353,00	297	26	18	22	3 407	374	3 780
Celkem									<b>16 813</b>	<b>1 844</b>	<b>18 658</b>

#### 4.3.1.4 Tepelný přínos slunečním ozářením

Celkovou tepelnou bilanci zahrnuje i přínos ze slunečního ozáření

#### Přínos slunečním ozářením

$$Q_{sun,i} = S_h \times n_i \times H_{d,i} \times 0,85 = 1353 \times 31 \times 5,27 \times 0,85 = 187\,884 [kWh] \quad (4.3.57)$$

$$Q_{sun} = \sum_{i=5}^8 \sum_{i=5}^8 (Q_{sun,i}) + \left( \frac{Q_{sun,9}}{2} \right) = 811\,631 [kWh] \quad (4.3.58)$$

reflektivita vodní hladiny se udává 0,85 [ - ]

Tab č. 42 Přínos tepla dopadajícím slunečním zářením na hladinu

Slunce	$H_{d,i}$	$n_i$	$S_h$	$Q_{sun,i}$
Měsíc/Jednotka	$[kWh \cdot m^{-2}]$	[ - ]	$[m^2]$	$[kWh]$
<b>Celý den</b>				
Květen	5,270	31	1 353	187 884
Červen	5,480	30	1 353	189 068
Červenec	5,410	31	1 353	192 875
Srpen	5,040	30	1 353	173 888
Září	3,810	15	1 353	67 916
Celkem				811 631

Celkový zisk ze slunečního záření činí 811,6 MWh za dobu provozu, kde uvažujeme květen – ½ září.

#### 4.3.1.5 Tepelné ztráty ohřevem připouštěné vody

Z hygienických důvodů je stanovena dle vyhlášky č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště výměna 60 litrů vody na každou osobu vstupující na koupaliště. Počítáme průměrně se 133 osobami denně.



**Tepelná náročnost na výměnu vody z hyg. požadavků**

$$Q_{hyg,i} = \frac{k_i \times n_i \times m_{hyg} \times c_{p,H_2O} \times \rho_{H_2O} \times (t_V - t_{vrt})}{3600 \times 1000} =$$

$$= \frac{133 \times 31 \times 0,06 \times 4\,182 \times 997,1 \times (26 - 8)}{3600 \times 1000} = 5\,157 \text{ [kWh]} \quad (4.3.59)$$

**Tepelná náročnost na dopouštění vody, která se odpařila**

$$Q_{odp,i} = \frac{M_{odp,i} \times c_{p,H_2O} \times \rho_{H_2O} \times (t_V - t_{vrt})}{3600 \times 1000} =$$

$$= \frac{293 \times 4\,182 \times 997,1 \times (26 - 8)}{3600 \times 1000} = 6\,115 \text{ [kWh]} \quad (4.3.60)$$

**Množství odpařené vody celkem za měsíc**

$$M_{odp,i} = M_{odp,i,den} + M_{odp,i,noc} = 111,43 + 181,78 = 293 \text{ [m}^3\text{]} \quad (4.3.61)$$

**Množství potřebné k výměně za měsíc**

$$M_{hyg,i} = k_i \times n_i \times m_{hyg} = 133 \times 31 \times 0,06 = 248 \text{ [m}^3\text{]} \quad (4.3.62)$$

Odpařené vody je více v každém měsíci kromě července a srpna a tedy do celkové tepelné bilance započítáváme teplo za právě vyšší množství vody.

Tab. č. 43 Souhrn tepelné náročnosti pro ohřev dopouštěné vody a celkové množství vody

	$k_i$	$n_i$	$m_{hyg}$	$\rho_{H_2O}$	$c_{p,H_2O}$	$t_{vrt}$	$t_V$	$Q_{hyg,i}$	$Q_{odp,i}$	$M_{odp,i}$	$M_{hyg,i}$
Měsíc	[os/den]	[-]	[m <sup>3</sup> /os]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
<b>Celý den</b>											
Květen	133	31	0,060	997,1	4 182	8	26	5 157	6 115	293	248
Červen	133	30	0,060	997,1	4 182	8	26	4 991	5 187	249	240
Červenec	133	31	0,060	997,1	4 182	8	26	5 157	4 562	219	248
Srpen	133	30	0,060	997,1	4 182	8	26	4 991	4 550	218	240
Září	133	15	0,060	997,1	4 182	8	26	2 579	2 874	138	124

**4.3.1.6 Celkové tepelné ztráty**

$$Q_{celk,i} = Q_{s+d,i} + Q_{hl,i} + Q_{odp,i} - Q_{sun,i} =$$

$$= 3\,261 + 424\,141 + 8\,165 - 187\,884 = 247\,684 \text{ [kWh]} \quad (4.3.63)$$

$$Q_{celk} = Q_{s+d} + Q_{hl} + Q_{odp} - Q_{sun} =$$

$$= 14\,466 + 1\,532\,538 + 30\,921 - 811\,631 = 766\,294 \text{ [kWh]} \quad (4.3.64)$$

Tab. č. 44 Celkový souhrn všech tepelných ztrát a slunečního přínosu

	$Q_{rad,i}$	$Q_{k,i}$	$Q_{vyp,i}$	$Q_{hl,i}$	$Q_{sun,i}$	$Q_{odp,i}$	$Q_{s+d,i}$	$Q_{celk,i}$
Měsíc	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>Celý den</b>								
Květen	48 543	68 341	205 490	322 375	-187 884	6 115	3 780	144 386
Červen	28 559	42 810	174 806	246 175	-189 068	5 187	3 658	65 953
Červenec	25 962	38 358	153 846	218 166	-192 875	5 157	3 780	34 229
Srpen	26 450	38 951	153 399	218 800	-173 888	4 991	3 658	53 562
Září	30 700	41 446	96 414	168 560	-67 916	2 874	3 780	107 298
Celkem	160 215	229 906	783 955	1 174 076	-811 631	24 324	18 658	405 428

V případě využití zakrytí části bazénu plachtou na dobu mimo provoz můžeme uspořít tepelné ztráty odparem z vodní hladiny. Teoretická plocha zakrytí činí 661 m<sup>2</sup> (příloha č.7) a v případě zakrytí pouze plavecké části bazénu 320 m<sup>2</sup> (příloha č.8). Veškeré ztráty za provozu zůstávají bez změny. V době mimo provoz se sníží o ztrátu odparem ta část bazénu, kde se nachází plachta.

Nepatrná změna vznikne také **odporem přestupu tepla skrz plachtu**.

$$k_{pl,i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{k,vyprk,inoc}} + \frac{d_{pl}}{\lambda_{pl}}} = \frac{1}{\frac{1}{7,44} + \frac{0,0006}{0,15}} = 7,22 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (4.3.65)$$

**Výpočet tepelné ztráty plachtou v kWh za jednotlivé měsíce**

$$\begin{aligned} Q_{pl,i} &= k_{pl,i} \times S_{pl} \times (T_V - T_O) \times \left(\frac{n_i}{1000}\right) \times 24 = \\ &= 7,22 \times 661 \times (13,49 - 26) \times \left(\frac{31}{1000}\right) \times 24 = 39\,166 [kWh] \end{aligned} \quad (4.3.66)$$

Tepelná ztráta hladinou za celé období provozu se tedy změní

$$\begin{aligned} Q_{hl} &= \sum_{i=5}^8 \left( Q_{hl,i,den} + Q_{hl,i,noc} \times \left(\frac{S_{hl} - S_{pl}}{S_{hl}}\right) + Q_{pl,i} \right) + \frac{Q_{hl,9,den}}{2} + \frac{Q_{hl,9,noc}}{2} \times \\ &\times \left(\frac{S_{hl} - S_{pl}}{S_{hl}}\right) + \frac{Q_{pl,9}}{2} = 932\,638 [kWh] \end{aligned} \quad (4.3.67)$$

Kde

$d_{pl}$  – tloušťka měkčené PVC plachty = 0,0006 [m]

$\lambda_{pl}$  – tepelná vodivost měkčeného PVC = 0,15 [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>] [50]

Další změna nastala v emisivitě povrchu při výpočtu tepelných ztrát radiací na zakryté části bazénu

$$\begin{aligned} Q_{rad,i,noc} &= \sigma \times (\varepsilon \times (S_{hl} - S_{pl}) + \varepsilon_{pl} \times S_{pl}) \times (T_{V,i,noc}^4 - T_{O,i,noc}^4) \times \\ &\times (24 - h_d) \times n \times 1000^{-1} \\ &= 5,67 \times 10^{-8} \times (0,98 \times (1353 - 661) + 0,94 \times 661) \times \\ &\times ((273,15 + 26)^4 - (273,15 + 13,49)^4) \times (24 - 11) \times 31 \times 1000^{-1} = \\ &= 31\,555 [kWh] \end{aligned} \quad (4.3.68)$$

Kde

$\varepsilon$  – 0,98 – emisivita vody [–]

$\varepsilon_{pl}$  – 0,94 – emisivita plachty [–]

Celkové tepelné ztráty vč. plachty jsou uvedeny v tabulce č.45 a č.46, kde je znatelný pokles tepelných ztrát z hladiny mimo provoz koupaliště.

Tab. č. 45 Tepelné ztráty s plachtou o ploše 661 m<sup>2</sup>

	$Q_{rad,i}$	$Q_{k,i}$	$Q_{vyp,i}$	$Q_{hl,i}$
Měsíc	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>V provozu</b>				
Květen	16 346	17 588	78 266	112 200
Červen	6 618	8 134	65 970	80 723
Červenec	5 810	7 158	60 242	73 210
Srpen	6 391	7 634	59 136	73 161
Září	12 271	12 555	35 858	60 685
<b>Mimo provoz</b>				
Květen	31 555	50 037	65 069	146 661
Červen	21 503	34 187	55 665	111 355
Červenec	19 750	30 761	47 874	98 385
Srpen	19 658	30 875	48 212	98 745
Září	18 062	28 480	30 972	77 514
<b>Celkem</b>	<b>157 966</b>	<b>227 408</b>	<b>547 264</b>	<b>932 638</b>

Tab. č. 46 Tepelné ztráty s plachtou o ploše 320 m<sup>2</sup>

	$Q_{rad,i}$	$Q_{k,i}$	$Q_{vyp,i}$	$Q_{hl,i}$
Měsíc	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>V provozu</b>				
Květen	16 346	17 588	78 266	112 200
Červen	6 618	8 134	65 970	80 723
Červenec	5 810	7 158	60 242	73 210
Srpen	6 391	7 634	59 136	73 161
Září	12 271	12 555	35 858	60 685
<b>Mimo provoz</b>				
Květen	31 886	50 406	97 134	179 427
Červen	21 729	34 439	83 095	139 263
Červenec	19 957	30 987	71 466	122 410
Srpen	19 865	31 103	71 969	122 937
Září	18 251	28 692	46 234	93 177
<b>Celkem</b>	<b>159 126</b>	<b>228 697</b>	<b>669 370</b>	<b>1 057 192</b>

Tab. č. 47 Množství odpařené vody a množství pro hygienickou výměnu vody s plachtou 661 m<sup>2</sup>

	$k_i$	$n_i$	$m_{hyg}$	$\rho_{H_2O}$	$c_{p,H_2O}$	$t_{vrt}$	$t_v$	$Q_{hyg,i}$	$Q_{odp,i}$	$M_{odp,i}$	$M_{hyg,i}$
Měsíc	[os/den]	[-]	[m <sup>3</sup> /os]	[kg·m <sup>-3</sup> ]	[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
<b>Celý den</b>											
Květen	133	31	0,060	997,1	4 182	8	26	5 157	4 262	204	248
Červen	133	30	0,060	997,1	4 182	8	26	4 991	3 607	173	240
Červenec	133	31	0,060	997,1	4 182	8	26	5 170	3 204	154	248
Srpen	133	30	0,060	997,1	4 182	8	26	5 003	3 182	153	240
Září	133	15	0,060	997,1	4 182	8	26	2 579	1 991	96	124

Tab. č. 48 Množství odpařené vody a množství pro hygienickou výměnu vody s plachtou 320 m<sup>2</sup>

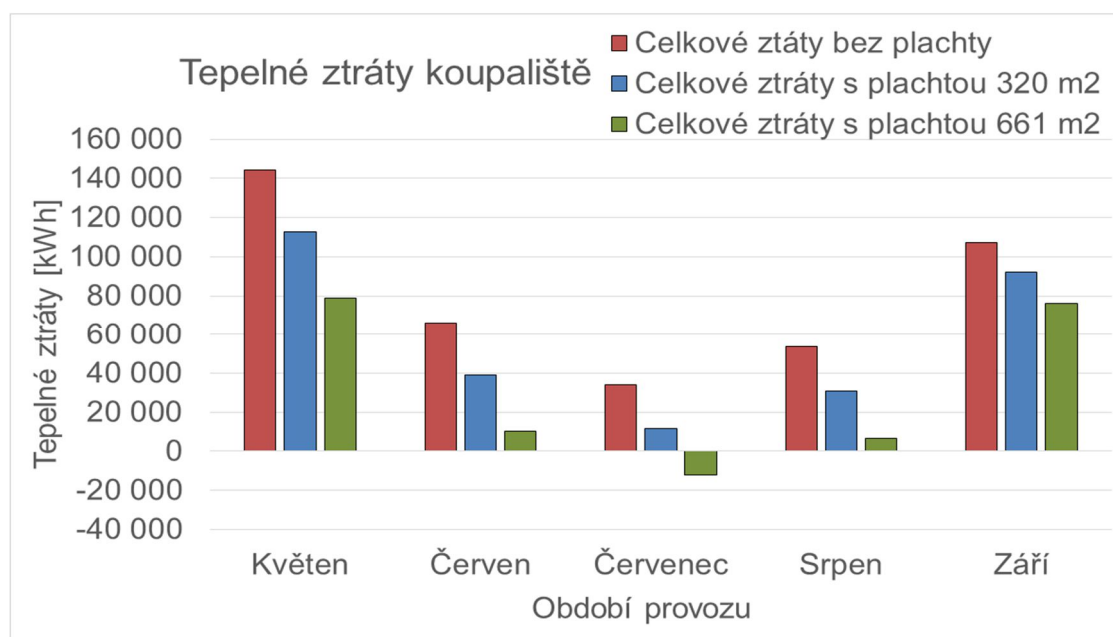
	$k_i$	$n_i$	$m_{hyg}$	$\rho_{H_2O}$	$c_{p,H_2O}$	$t_{vrt}$	$t_v$	$Q_{hyg,i}$	$Q_{odp,i}$	$M_{odp,i}$	$M_{hyg,i}$
Měsíc	[os/den]	[-]	[m <sup>3</sup> /os]	[kg·m <sup>-3</sup> ]	[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
<b>Celý den</b>											
Květen	133	31	0,060	997,1	4 182	8	26	5 157	5 218	250	248
Červen	133	30	0,060	997,1	4 182	8	26	4 991	4 422	212	240
Červenec	133	31	0,060	997,1	4 182	8	26	5 170	3 905	187	248
Srpen	133	30	0,060	997,1	4 182	8	26	5 003	3 888	186	240
Září	133	15	0,060	997,1	4 182	8	26	2 579	2 446	117	124

Tab. č. 49 Shrnutí tepelných ztrát a přínosů s využitím plachty 661 m<sup>2</sup>

Měsíc	$Q_{rad,i}$ [kWh]	$Q_{k,i}$ [kWh]	$Q_{vyp,i}$ [kWh]	$Q_{hl,i}$ [kWh]	$Q_{sun,i}$ [kWh]	$Q_{odp,i}$ [kWh]	$Q_{s+d,i}$ [kWh]	$Q_{celk,i}$ [kWh]
<b>Celý den</b>								
Květen	47 901	67 624	143 336	258 862	-187 884	4 262	3 780	79 021
Červen	28 122	42 321	121 635	192 078	-189 068	3 607	3 658	10 275
Červenec	25 560	37 919	108 117	171 596	-192 875	5 170	3 780	-12 329
Srpen	26 050	38 508	107 347	171 905	-173 888	5 003	3 658	6 680
Září	30 333	41 036	66 830	138 198	-67 916	1 991	3 780	76 053
<b>Celkem</b>	<b>157 966</b>	<b>227 408</b>	<b>547 264</b>	<b>932 638</b>	<b>-811 631</b>	<b>20 034</b>	<b>18 658</b>	<b>172 028</b>

Tab. č. 50 Shrnutí tepelných ztrát a přínosů s využitím plachty 320 m<sup>2</sup>

Měsíc	$Q_{rad,i}$ [kWh]	$Q_{k,i}$ [kWh]	$Q_{vyp,i}$ [kWh]	$Q_{hl,i}$ [kWh]	$Q_{sun,i}$ [kWh]	$Q_{odp,i}$ [kWh]	$Q_{s+d,i}$ [kWh]	$Q_{celk,i}$ [kWh]
<b>Celý den</b>								
Květen	48 233	67 994	175 400	291 627	-187 884	5 218	3 780	112 742
Červen	28 347	42 573	149 065	219 986	-189 068	4 422	3 658	38 998
Červenec	25 768	38 145	131 708	195 621	-192 875	5 170	3 780	11 696
Srpen	26 256	38 737	131 105	196 098	-173 888	5 003	3 658	30 872
Září	30 522	41 247	82 092	153 861	-67 916	2 446	3 780	92 172
<b>Celkem</b>	<b>159 126</b>	<b>228 697</b>	<b>669 370</b>	<b>1 057 192</b>	<b>-811 631</b>	<b>22 261</b>	<b>18 658</b>	<b>286 480</b>



Obr. č. 34 Tepelné ztráty koupaliště

Tab. č. 51 Porovnání ztrát s a bez využití plachty 661 m<sup>2</sup>

Měsíc	$Q_{celk,i}$ [kWh]	$Q_{celk,i}$ [kWh]	Úspora plachtou [%]
	<b>s plachtou</b>	<b>bez plachty</b>	
Květen	79 021	144 386	45%
Červen	10 275	65 953	84%
Červenec	0 (-12 328)	34 229	100%
Srpen	6 680	53 562	88%
Září	76 053	107 298	29%
<b>Celkem</b>	<b>172 028</b>	<b>405 428</b>	<b>69%</b>

Tab. č. 52 Porovnání ztrát s a bez plachty 320 m<sup>2</sup>

	$Q_{celk,i}$	$Q_{celk,i}$	Úspora plachtou
Měsíc	[kWh]	[kWh]	[%]
	s plachtou	bez plachty	
Květen	112 742	144 386	22%
Červen	38 998	65 953	41%
Červenec	11 696	34 229	66%
Srpen	30 872	53 562	42%
Září	92 172	107 298	14%
Celkem	<b>286 480</b>	<b>405 428</b>	<b>29%</b>

V tabulce č.51 je vidět že úspora v nejteplejší měsíc (červenec) díky plachtě může dosáhnout 100 % (resp. 136 %) z tepelných ztrát. Je to způsobeno zamezení velkého množství odparu vody a tím spojené odpařené teplo, zatímco sluneční záření přes den stále vodu ohřívá.

V tomto případě budou termické panely navrženy dle měsíce červenec s využitím zakrytí 320 m<sup>2</sup> (tabulka č.52) bazénu plachtou z důvodu možnosti jednoduché manipulace s plachtou při aplikaci. Budeme uvažovat potřebný červencový výkon kolektorů 11 696 kWh tepelných.

V měsíci červenec po instalaci KJ zůstává 38 593 kWh tepelných na odběr z CZT pro celý areál dle tabulky č.54, proto je možné instalace termických kolektorů o výkonu 11 696 na částečné pokrytí tepelných ztrát koupaliště bez přebytku vyrobené tepelné energie.

#### 4.3.2 Návrh fototermických solárních kolektorů

Výkon fototermických solárních kolektorů lze stanovit dle zjednodušeného výpočtu [59]

$$Q_{k,u} = 0,9 \times n_k \times \left[ \eta_o - a_1 \times \frac{t_{m,k} - t_e}{G_{T,m}} - a_2 \times \frac{(t_{m,k} - t_e)^2}{G_{T,m}} \right] \times H_{T,den} \times n \times \quad (4.3.69)$$

$$\times A_a \times (1 - p) \text{ [kW]}$$

$\eta_o$  – optická účinnost kolektoru [–]

$a_1$  – lineární součinitel tepelné ztráty [W.m<sup>-2</sup>.K]

$a_2$  – kvadratický součinitel tepelné ztráty [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-2</sup>]

$n_k$  – počet kolektorů

$p$  – hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy [–]

Jelikož požadovaný výkon solárních kolektorů známe a použijeme ztrátu venkovního koupaliště 30 MWh za měsíc červenec, můžeme ze vzorce (4.3.69) vyjádřit

#### Celkovou plochu apertury solárních kolektorů

$$A_a = \frac{Q_{k,u}}{0,9 \times \left[ \eta_o - a_1 \times \frac{t_{m,k} - t_e}{G_{T,m}} - a_2 \times \frac{(t_{m,k} - t_e)^2}{G_{T,m}} \right] \times H_{T,den} \times n \times (1 - p)} =$$

$$= \frac{11\,696}{0,9 \times \left[ 0,806 - 3,758 \times \frac{35 - 21,7}{529,9} - 0,0106 \times \frac{(35 - 21,7)^2}{529,9} \right]} \times \quad (4.3.70)$$

$$\times \frac{1}{5,41 \times 31 \times (1 - 0,03)} = 112,808 = 113 \text{ m}^2$$

### Počet solárních kolektorů

$$n_K = \frac{A_a}{A_K} = \frac{113}{2,26} = 50 \text{ solárních kolektorů} \quad (4.3.71)$$

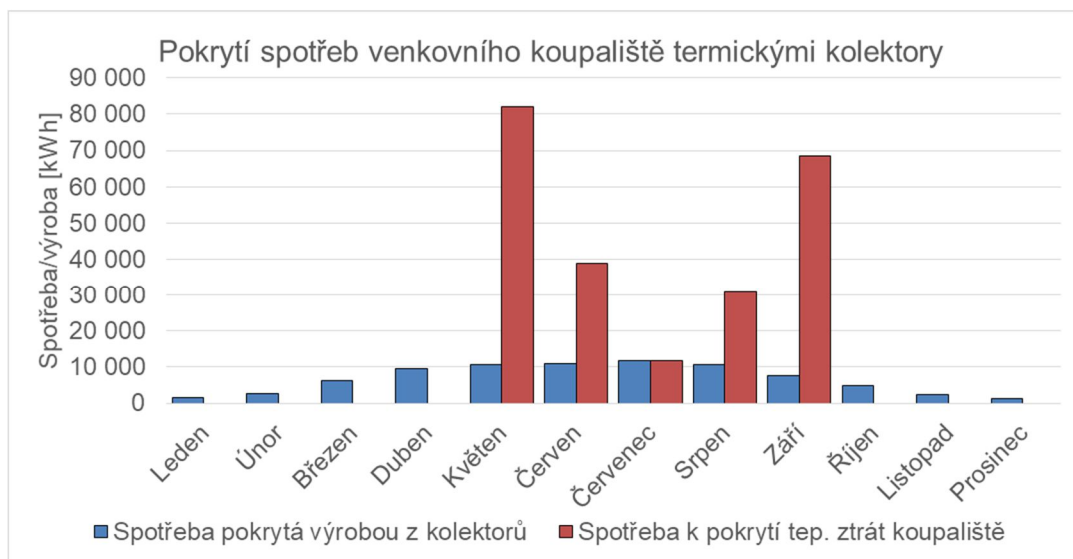
Kde

$A_K$  – 2,26 m<sup>2</sup> plocha apertury jednoho panelu

Pro pokrytí tepelné ztráty v červenci potřebujeme 50 termických kolektorů. Pro dopočítání tepelných zisků dosadíme celkovou plochu  $A_a$  do rovnice (4.3.69).

Tab. č. 53 Celkové zisky ze solárních kolektorů a parametry kolektorů [38,52]

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
$\eta_o$	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806
$a_1$	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758	3,758
$a_2$	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106	0,0106
$t_{m,k}$	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
$t_e$	1,1	1,5	6,77	11,7	15,2	18,7	21,7	21,2	16,3	11,4	7,5	2,8
$G_{T,m}$	427	500	540	559	546	515	530	544	519	501	462	467
$H_{T,den}$	1,01	1,86	3,49	5	5,27	5,48	5,41	5,04	3,81	2,59	1,31	0,878
$n$	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30
$n_K$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
$A_K$	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
$A_a$	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
$p$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
$Q_{k,u}$	1 480	2 726	6 338	9 456	10 669	11 055	11 716	10 544	7 731	4 732	2 264	1 359



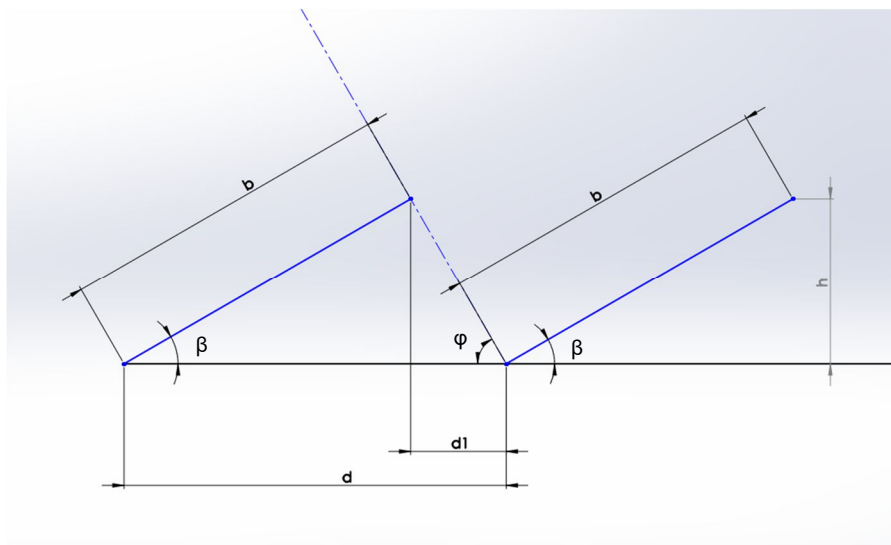
Obr. č. 35 Graf pokrytí tepelných ztrát termickými kolektory

Tab. č. 54 Srovnání původní spotřeby a spotřeby po instalaci kolektorů

Měsíc	Spotřeba tepla s KJ	Výroba kolektorů	Nová spotřeba tepla
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Leden	242 290	1 480	240 810
Únor	167 777	2 726	165 050
Březen	139 282	6 338	132 944
Duben	118 949	9 456	109 494
Květen	81 960	10 669	71 291
Červen	44 521	11 055	33 466
Červenec	38 593	11 716	26 877
Srpen	70 000	10 544	59 456
Září	68 409	7 731	60 677
Říjen	104 631	4 732	99 899
Listopad	143 888	2 264	141 624
Prosinec	184 848	1 359	183 488
<b>Celkem</b>	<b>1 405 147</b>	<b>80 070</b>	<b>1 325 077</b>

Nejvhodnějším umístěním se jeví střecha bazénové haly, která dle přílohy č.6 má plochu necelých 700 m<sup>2</sup> a nebo střecha nové sportovní haly. Plocha 73 kusů kolektorů o ploše 1,375 m<sup>2</sup> by zabírala 115,903 m<sup>2</sup> při sklonu panelů 30°. [41]

Nejvhodnějším umístěním se jeví střecha bazénové haly, která dle přílohy č.6 má plochu necelých 700 m<sup>2</sup>. Plocha 50 kusů kolektorů o ploše 2,57 m<sup>2</sup> by zabíraly 148,85 m<sup>2</sup> při sklonu panelů 30°.



Obr. č. 36 Návrh umístění solárních kolektorů

**Šířka mezery mezi řady kolektorů**

$$d_1 = \frac{b \times \sin(\beta)}{\operatorname{tg}(\varphi)} = \frac{2,079 \times \sin\left(\frac{\pi}{6}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)} = 0,6 \text{ [m]} \quad (4.3.72)$$

**Minimální potřebná šířka pro instalaci**

$$d = b \times \cos(\beta) + d_1 = 2,079 \times \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) + 1,0395 = 2,4 \text{ [m]} \quad (4.3.73)$$

### 4.3.3 Výpočet návratnosti plachty na zakrytí části bazénu

Parametry vstupující do výpočtu návratnosti plachty na zakrytí části vodní plochy

Výnos za snížené tepelné ztráty

Z tabulky č.52 určíme rozdílem tepelných ztrát bez plachty a s plachtou množství uspořené energie plachtou.

$$V_T^{pl} = (Q_{celk,bezplachty} - Q_{celk,splachtou}) \times C_T \times 0,0036 =$$

$$= (405\,428 - 286\,480) \times 230 \times 0,0036 = 98\,488,9 \text{ [Kč]} \quad (4.3.74)$$

Náklad na plachtu

$$N_T^{pl} = S_{pl} \times C_{pl} = 320 \times 200 = 64\,000 \text{ [Kč]} \quad (4.3.75)$$

Prostá návratnost plachty

$$PBP = \frac{N_T^{pl}}{V_T^{pl}} = \frac{64\,000}{98\,488,9} = 0,65 \text{ provozní roční doby} \quad (4.3.76)$$

Z prosté návratnosti plyne, že investice pouze do plachty je velmi efektivní úsporné opatření, které má návratnost 0,65 provozní roční doby. To je v případě provozu 4 a půl měsíců pouhý 2 měsíce. V případě pořízení dražší plachty a ručního navíjecího systému se může investice dostat na 120 000 Kč. V takovém případě bude návratnost jeden provozní rok (4,5 měsíce).

### 4.3.4 Výpočet návratnosti solárních kolektorů

Parametry vstupující do výpočtu návratnosti solárních kolektorů

Výnos za dodanou tepelnou energii na vlastní spotřebu

Převodem vyrobeného tepla v kWh na GJ vynásobením koeficientem 0,0036 dostaneme 288,25 GJ

$$V_T^{kol} = T_T^{kol} \times C_T = 288,25 \times 230 = 66\,298,33 \text{ Kč} \quad (4.3.77)$$

Náklady na solární kolektory jsou uvedeny v tabulce č.55

Tab č. 55 Položkový seznam investice 50 ks kolektorů [52]

Investice do 50 ks kolektorů			
Položka	počet	j. cena	cena celkem
Kolektor	50	12 250	612 500 [Kč]
Solární kapalina	400	136	54 400 [Kč]
Konstrukce	50	4 000	200 000 [Kč]
Potrubí	200	440	88 000 [Kč]
Deskový výměník	1	36 180	36 180 [Kč]
Expanzomat	2	16 900	33 800 [Kč]
Montáž	1	205 000	205 000 [Kč]
Doprava	1	58 000	58 000 [Kč]
Závaží	1	30 000	30 000 [Kč]
Ostatní	1	165 920	165 920 [Kč]
Celkem bez DPH			<b>1 483 800</b> [Kč]
Cena / panel bez DPH			29 676 [Kč/panel]



### Prostá návratnost kolektorů

$$PBP = \frac{N_{celk}^{kol}}{V_T^{kol}} = \frac{677\,548}{45\,369} = 22,28 \text{ let} \quad (4.3.78)$$

Prostá návratnost je 22,3 let z důvodu velmi nízké ceny za tepelnou energii 230 Kč/GJ. V případě investice bez dotační podpory není vhodné investovat do solárních kolektorů za těchto podmínek.

Jelikož investice klesá úměrně se snižováním instalovaného výkonu a vyrobenou energií, návratnost se nesníží i při instalaci nižšího výkonu. Z tohoto důvodu nebudeme uvažovat návrh menšího výkonu při kombinaci s jinými úspornými opatřeními.

Jednou z variant pro jednoduchou instalaci a využití pouze pro koupaliště je instalace plastových bazénových solárních kolektorů, které jsou levnější a splní sezónní účel. Avšak jejich nižší účinností vzroste plocha a je zapotřebí, aby byly umístěny co nejbližší k bazénu. To v tomto případě není možné, jelikož okolo celého venkovního koupaliště je sluneční louka. Proto tato varianta není dále uvažována.

### Rozměry kolektoru

$$b = 2,079 \text{ [m]}$$

$$a = 1,240 \text{ [m]}$$

### Plocha kolektoru vč. mezery mezi jednotlivými kolektory

$$S_{K, \text{horizontal}} = a \times d = 1,24 \times 2,4 = 2,977 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.3.79)$$

Úhel  $60^\circ$  odpovídá dle [40] úhlu dopadu slunečních paprsků v červenci v poledních hodinách. Proto 148,85 m<sup>2</sup> je minimální navrhovaná plocha celé instalace. Vhodné je využít plochu střechy a mezi panely vytvořit větší mezery než je minimální vypočtená 0,6 m, aby nedocházelo ke zbytečnému zastínění v průběhu dne a v měsíce, kdy je slunce níž nad obzorem.

## 4.4 Regenerace tepla z odpadní vody

Teplo z odpadní vody na objektu bazén není rekuperováno a je možné jej získat zpětně přímo výměníkem a předehřev vstupní vody z vrtu nebo lze tento výměník využít pro získávání tepla pro TČ, které by sloužilo k ohřevu vody v bazénu a sprchách. V tomto případě se uvažuje pouze předehřev dopouštěné vody do bazénu a sprch. Ve výpočtu se vychází z [10,55,56,58]

Rychlost uvnitř trubek je navržena na 0,25 m/s s průtokem 0,4298 kg/s. Průtok je volen z průměrné denní spotřeby 25 m<sup>3</sup> v provozních hodinách (16 hodin denně). Zbylých jednorázových 10 m<sup>3</sup> na promývání filtrů není uvažováno pro regeneraci tepla, která není možná v takovém objemu a za krátký časový interval bez investice do akumulární nádrže na odpadní vodu. Z důvodu nedostatečného prostoru v prostorech bazénové technologie není uvažována.

Tab. č. 56 Vlastnosti vody

	Odpadní voda	Voda vrt	jednotka
Střední teplota	24	12	[°C]
Měrná tep. kapacita	4,1848	4,1881	[kJ/kg.K]
Kinematická viskozita	$8,96^{-07}$	$1,24^{-06}$	[m <sup>2</sup> /s]
Hustota	997,299	999,498	[kg/m <sup>3</sup> ]
Prandtlovo číslo	6,792	8,628	[-]
Tepelná vodivost	0,5988	0,583	[W/m.K]
Grashofovo číslo		2719,412	[-]
Objemová roztažnost		0,000247	[-]
Gravitační zrychlení		9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
Hustota vody při 28°C		996,237	[kg/m <sup>3</sup> ]
Hustota vody při 20°C		998,205	[kg/m <sup>3</sup> ]

Tab. č. 57 Navržené parametry

		jednotka
Vnitřní průměr trubky	0,006	[m]
Tloušťka stěny trubky	0,001	[m]
Rychlost proudění vody	0,25	[m/s]
Tepelná vodivost ocel	50	[W/m.K]

#### 4.4.1 Výpočet výměníku na odpadní teplo

##### Tepelný výkon odevzdaný odpadní vodou

$$Q_{odpad} = m_{odpad,celk} \times cp_{odpad} \times (T_{si} - T_{so}) = 0,4288 \times 4,1848 \times (28 - 20) = 14\,356,82 \text{ [W]} \quad (4.4.1)$$

##### Bilanční rovnice, ZZE

$$Q_{odpad} = Q_{H2O} \quad (4.4.2)$$

$$m_{odpad,celk} \times cp_{odpad} \times (T_{si} - T_{so}) = m_{H2O} \times cp_{H2O} \times (T_{ci} - T_{co}) \quad (4.4.3)$$

##### Teplota výstupní vody po vyjádření z rovnic (4.4.1 a 4.4.3)

$$T_{co} = \frac{Q_{odpad}}{m_{H2O} \times cp_{H2O}} + T_{ci} = \frac{14\,356,82}{0,4298 \times 4\,188} + 8 = 15,99 \text{ [°C]} \quad (4.4.4)$$

Pro přibližný výpočet teplosměnné plochy se vychází z tepelného výkonu ekonomizéru, střední logaritmické teploty pro protiproudý výměník a celkového součinitele přestupu tepla.

##### Střední logaritmická teplota protiprodu

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(T_{si} - T_{co}) - (T_{so} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{si} - T_{co})}{(T_{so} - T_{ci})}} = \frac{(28 - 15,99) - (20 - 8)}{\ln \frac{(28 - 15,99)}{(20 - 8)}} = 12,003 \text{ [°C]} \quad (4.4.5)$$

##### Celková průtočná plocha uvnitř trubek

$$S_{tr} = \frac{m_{H2O}}{\rho_{H2O} \times v_{H2O}} = \frac{0,4298}{999,49 \times 0,25} = 0,00172 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.4.6)$$

##### Průtočná plocha jedné trubky

$$S_i = \frac{\pi \times d_i^2}{4} = \frac{\pi \times 0,006^2}{4} = 2,82^{-5} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.4.7)$$

**Poččet trubek**

$$n_{tr} = \frac{S_{tr}}{S_i} = \frac{\pi \times m_{H_2O} \times 4}{\rho_{H_2O} \times v_{H_2O} \times d_i^2} = \frac{0,4298 \times 4}{999,49 \times 0,25 \times \pi \times 0,006^2} = 60,83255 \sim 61 \text{ ks} \quad (4.4.8)$$

**Potom skutečná průtočná plocha**

$$S_{tr,skut} = n_{tr} \times S_i = 61 \times 2,82^{-5} = 0,001724 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.4.9)$$

**a skutečná rychlost**

$$v_{H_2O,skut} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O} \times S_{tr,skut}} = \frac{0,4298}{999,49 \times 0,001724} = 0,249 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.4.10)$$

**Veškeré trubky včetně tloušťky stěny tvoří plochu**

$$S_{i+t} = \frac{\pi \times d_h^2}{4} = \frac{\pi \times (0,006 + 2 \times 0,001)^2}{4} = 0,003066 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.4.11)$$

**Reynoldsovo kritérium pro proudění uvnitř trubek**

$$Re_{H_2O} = \frac{v_{sp} \times d_i}{v_{H_2O}} = \frac{0,249 \times 0,006}{0,00000124} = 1206,746 \text{ [-]} \quad (4.4.12)$$

Jedná se o laminární proudění  $Re_{H_2O} < 2300$

**Nusseltovo číslo**

$$Nu_{H_2O} = 0,74 \times Re_{H_2O}^{0,2} \times Pr_{H_2O}^{0,12} \times (GrPr)^{0,1} = 0,74 \times 1206,746^{0,2} \times 8,628^{0,12} \times (2\,719,41 \times 8,628)^{0,1} = 10,836 \text{ [-]} \quad (4.4.13)$$

**Grashofovo číslo**

$$Gr = \frac{d_i^3 \times g \times \beta}{v_{H_2O}} \times (T_{si} - T_{so}) = \frac{0,006^3 \times 9,81 \times 0,0000247}{1,24^{-6}} \times (28 - 20) = 2719,412 \text{ [-]} \quad (4.4.14)$$

**Objemová roztažnost vody v trubkách [57]**

$$\beta = \frac{\rho_{T20} - \rho_{28}}{(T_{28} - T_{20}) \times \rho_{T20}} = \frac{998,205 - 996,237}{(28 - 20) \times 998,205} = 0,0000247 \text{ [-]} \quad (4.4.15)$$

**Potom součinitel přestupu tepla**

$$\alpha_{H_2O} = \frac{Nu_{H_2O} \times \lambda_{H_2O}}{d_i} = \frac{10,836 \times 0,573}{0,006} = 1052,97 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]} \quad (4.4.16)$$

V mezikruží proudí odpadní voda z důvodu možnosti rozebrání výměníku (odšroubování plovoucí hlavy) a očištění od usazenin, které jsou součástí této vody. Průtok je stejný jako dopouštěné vody a rychlosti se určí za pomoci:

**Obsah celého meziprostoru**

$$S_{mez} = \frac{\pi \times D_i^2}{4} - S_{i+t} = \frac{\pi \times 0,0987^2}{4} - 0,003066 = 0,004586 \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.4.17)$$

Kde  $D_i$  je vnitřní průměr pláště, který se určí podle [53] jako

$$D_i = 2 \times t_{tr} \times d_h \times \sqrt{\frac{n_{tr}}{\pi}} = 2 \times 1,4 \times 0,008 \times \sqrt{\frac{61}{\pi}} = 0,0987 \text{ [m]} \quad (4.4.18)$$

### Rychlost proudění v mezikruží

$$v_{odpad} = \frac{m_{odpad}}{\rho_{odp} \times S_{mez}} = \frac{0,4298}{997,299 \times 0,004586} = 0,0938 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.4.19)$$

### Obvod meziprostoru pro určení hydraulického průměru mezikruží

$$o = \pi \times D_i + \pi \times d_h \times n_{tr} = \pi \times 0,0987 + \pi \times (0,006 + 2 \times 0,001) \times 61 = 1,843 \text{ [m]} \quad (4.4.20)$$

### A hydraulický průměr

$$D_h = \frac{4 \times S_{mez}}{o} = \frac{4 \times 0,004586}{1,843} = 0,00995 \text{ [m}^2] \quad (4.4.21)$$

### Reynoldsovo kritérium pro proudění v meziprostoru

$$Re_{odpad} = \frac{v_{odp} \times D_h}{\nu_{odp}} = \frac{0,0938 \times 0,00995}{0,000000896} = 1\,041,48 \text{ [-]} \quad (4.4.22)$$

### Nusseltovo číslo vychází ze vzorce pro podélné proudění okolo trubek

$$Nu_{odpad} = 0,023 \times Re_{odpad}^{0,8} \times Pr_{odpad}^{0,4} = 0,023 \times 1\,041,48^{0,8} \times 6,792^{0,4} = 12,842 \text{ [-]} \quad (4.4.23)$$

### Součinitel přestupu tepla

$$\alpha_{odpad} = \frac{Nu_{odpad} \times \lambda_{odpad}}{D_h} = \frac{12,842 \times 0,5988}{0,00987} = 772,749 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4.4.24)$$

### Celkový součinitel přestupu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{H2O}} + \frac{1}{\alpha_{odpad}} + \frac{t_{tr}}{\lambda_{ocel}}} = \frac{1}{\frac{1}{772,749} + \frac{1}{1052,979} + \frac{0,001}{50}} = 441,741 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (4.4.25)$$

### Celková teplosměnná plocha

$$S_{celk} = \frac{Q_{odpad}}{k \times \Delta T_{ln}} = \frac{14\,356,82}{441,741 \times 12,003} = 2,7077 \text{ [m}^2] \quad (4.4.26)$$

### Délka trubek

$$L_{tr} = \frac{S_{celk}}{\pi \times d_h \times n_{tr}} = \frac{2,7077}{\pi \times 0,008 \times 61} = 1,766 \text{ [m]} \quad (4.4.27)$$

Z důvodu velké délky výměníku volíme dva tahy a trubky zahnuté do tvaru U

Plocha celého výměníku se zdvojnásobí jelikož v průřezu bude dvojnásobek trubek

### Skutečná plocha průřezu výměníku

$$S_{skut} = \frac{\pi \times D_i^2}{4} \times 2 = \frac{\pi \times 0,0987^2}{4} \times 2 = 0,0158 \text{ [m}^2] \quad (4.4.28)$$

### Nový vnitřní průměr výměníku

$$D_{i,skut} = \sqrt{\frac{4 \times S_{skut}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0153}{\pi}} = 0,142 \text{ [m]} \quad (4.4.29)$$

### Tlakové ztráty v trubkovnici

#### Způsobené laminárním prouděním

$$\begin{aligned} \Delta p_{ztr,H_2O} &= \left( \lambda_{lam,H_2O} \times \frac{L_{tr}}{d_i} + \sum \xi_i \right) \times \frac{\rho_{H_2O} \times v_{H_2O}^2}{2 \times d_i} = \\ &= \left( \frac{64}{1206,74} \times \frac{1,766}{0,006} + 2,4 \right) \times \frac{999,498 \times 0,249^2}{2} = 559,485 \text{ [Pa]} \end{aligned} \quad (4.4.30)$$

#### Součinitel tření

$$\lambda_{lam,H_2O} = \frac{64}{Re_{H_2O}} = \frac{64}{1206,74} \quad (4.4.31)$$

**Součet ztrátových součinitelů** změnou průřezu ( $\xi_{zs1} + \xi_{zs2}$ ), vstupním a výstupním hrdlem ( $\xi_{out} + \xi_{in}$ ) a změnou směru proudu ( $\xi_U$ ).

$$\sum \xi_i = \xi_{zs1} + \xi_{zs2} + \xi_{out} + \xi_{in} + \xi_U = 0,7 + 0,7 + 1 = 2,4 \text{ [-]} \quad (4.4.32)$$

#### Ztráty náhlým zúžením

$$\Delta p_{znr,H_2O} = \frac{\rho_{H_2O} \times v_{H_2O}^2}{2} \times 2 = \frac{999,498 \times 0,249^2}{2} \times 2 = 62,126 \text{ [Pa]} \quad (4.4.33)$$

#### Ztráty náhlým rozšířením

$$\Delta p_{znrz,H_2O} = 0,6 \times \Delta p_{znr,H_2O} = 0,6 \times 62,126 = 37,275 \text{ [Pa]} \quad (4.4.34)$$

#### Celkové ztráty

$$\begin{aligned} \Delta p_{celk,H_2O} &= \Delta p_{ztr,H_2O} + \Delta p_{znr,H_2O} + \Delta p_{znrz,H_2O} = \\ &= 584,33 + 62,126 + 37,275 = 658,88 \text{ [Pa]} \end{aligned} \quad (4.4.35)$$

### Tlakové ztráty v meziprostoru

$$\begin{aligned} \Delta p_{ztr,odpad} &= \left( \lambda_{lam,odpad} \times \frac{L_{tr}}{D_h} + \sum \xi_i \right) \times \frac{\rho_{odpad} \times v_{odpad}^2}{2} = \\ &= \left( \frac{64}{1041,48} \times \frac{1,766}{0,0099} + 2,4 \right) \times \frac{997,299 \times 0,0937^2}{2} = 58,34 \text{ [Pa]} \end{aligned} \quad (4.4.36)$$

#### Součinitel tření

$$\lambda_{lam,odpad} = \frac{64}{Re_{odpad}} = \frac{64}{1041,48} \quad (4.4.37)$$

**Součet ztrátových součinitelů** vstupním a výstupním hrdlem ( $\xi_{out} + \xi_{in}$ ) a změnou směru proudu ( $\xi_U$ ).

$$\sum \xi_i = \xi_{zs1} + \xi_{zs2} + \xi_{out} + \xi_{in} + \xi_U = 0,7 + 0,7 + 1 = 2,4 \text{ [-]} \quad (4.4.38)$$

**Ztráty náhlým zúžením**

$$\Delta p_{znr,odpad} = \frac{\rho_{odpad} \times v_{odpad}^2}{2} \times 2 = \frac{997,299 \times 0,0937^2}{2} \times 2 = 62,126 \text{ [Pa]} \quad (4.4.39)$$

**Ztráty náhlým rozšířením**

$$\Delta p_{znz,odpad} = 0,6 \times \Delta p_{znr,odpad} = 0,6 \times 8,77 = 5,26 \text{ [Pa]} \quad (4.4.40)$$

**Celkové ztráty**

$$\begin{aligned} \Delta p_{celk,odpad} &= \Delta p_{ztr,odpad} + \Delta p_{znr,odpad} + \Delta p_{znz,odpad} = \\ &= 58,34 + 8,77 + 5,26 = 72,37 \text{ [Pa]} \end{aligned} \quad (4.4.41)$$

Tlakové ztráty v trubkovnici i v meziprostoru jsou velmi nízké z důvodu laminárního proudění, které je způsobeno velkou průtočnou plochou. Tato plocha je v meziprostoru větší z důvodu průtoku znečištěné vody a průtočná plocha v trubkách je ovlivněna velkou teplosměnnou plochou potřebnou k regeneraci co největší části tepla. V případě potřeby využít zbývající odpadní teplo z bazénové vody odtékající do kanalizace je možné připojit za výměník malé tepelné čerpadlo. Navržený výměník a jeho rozměry jsou patrné na přiloženém výkresu na konci celé práce v příloze č.11.

**4.4.2 Výpočet návratnosti výměníku na odpadní teplo****Parametry vstupující do výpočtu návratnosti výměníku na odpadní teplo****Výnos výměníku**

Z tabulky č.52 určíme rozdílem tepelných ztrát bez plachty a s plachtou množství uspořené energie plachtou.

$$\begin{aligned} V_T^{vy} &= Q_{odp} \times h \times 360 \times C_T \times 0,0036 = 14,3568 \times 16 \times 360 \times 230 \times 0,0036 = \\ &= 68\,471,7 \text{ [Kč]} \end{aligned} \quad (4.4.42)$$

**Náklad na výměník**

Výměníky podobného typu [60] stojí v rozmezí 20 – 30 tis. Kč

Cena instalace, trojcestného ventilu a ostatních nákladů je uvažována do 10 tis. Kč

**Prostá návratnost výměníku**

$$PBP = \frac{N_T^{vy}}{V_T^{vy}} = \frac{40\,000}{68\,471,7} = 0,58 \text{ let} \quad (4.4.43)$$

## 5 Vyhodnocení metodou EPC

Společnost Amper Savings a.s. se zabývá službou energeticky úsporných opatření s garantovanou zárukou úspor (EPC). Tato služba zahrnuje návrh, přípravu, financování a realizaci energeticky úsporného opatření. Dále se stará o zaškolení obsluhy zařízení, o dlouhodobý dohled nad funkčností projektu a vyhodnocení měření a sledování dosažených výsledků.

Vyhodnocení dosažených úspor je stanoveno metodou:

Skutečné úspory jsou stanoveny dle této metodiky

**Celková dosažená úspora za jednotlivé měsíce a objekty** se určí jako

$$\dot{U}SP_{ZO,RC} = \sum_m \left( \sum_i \dot{U}SP_{i,m} \right) \quad (5.1)$$

kde

$\dot{U}SP_{ZO,RC}$  – celková dosažená úspora za jednotlivé měsíce a objekty [Kč]

zo – index pro hodnotu celého zúčtovacího období

**Měsíční dosažená úspora**

$$\dot{U}SP_{i,m} = \dot{U}SP_{T_{i,m}} + \dot{U}SP_{P_{i,m}} + \dot{U}SP_{E_{i,m}} + \dot{U}SP_{V_{i,m}} + \dot{U}SP_{O_{i,m}} \quad (5.2)$$

kde

$\dot{U}SP_{T_{i,m}}$  – dosažené úspory na teple [Kč]

$\dot{U}SP_{P_{i,m}}$  – dosažené úspory na plynu [Kč]

$\dot{U}SP_{E_{i,m}}$  – dosažené úspory na elektrické energii [Kč]

$\dot{U}SP_{V_{i,m}}$  – dosažené úspory na vodě [Kč]

$\dot{U}SP_{O_{i,m}}$  – dosažené úspory na ostatních (provozních) nákladech [Kč]

**Měsíční dosažená úspora na teple**

$$\dot{U}SP_{T_{i,m}} = \Delta T_{i,m} \times CT_{i,RC} \quad (5.3)$$

kde

$\Delta T_{i,m}$  – dosažené úspory v teple [GJ]

$CT_{i,RC}$  – cena tepla z referenčního období [Kč/GJ]

**Měsíční dosažená úspora na plynu**

$$\dot{U}SP_{P_{i,m}} = \Delta P_{i,m} \times CP_{i,RC} \quad (5.4)$$

kde

$\Delta P_{i,m}$  – dosažené úspory v plynu [ $m^3$ ]

$CP_{i,RC}$  – cena plynu z referenčního období [Kč/ $m^3$ ]

**Měsíční dosažená úspora na elektrické energii**

$$\dot{U}SP_{E_{i,m}} = \Delta E_{i,m} \times CE_{i,RC} \quad (5.5)$$

kde

$\Delta E_{i,m}$  – dosažené úspory na elektrické energii [kWh]

$CE_{i,RC}$  – cena elektrické energie z referenčního období [Kč/kWh]

### Měsíční dosažená úspora na vodě

$$\dot{U}SP_{V_{i,m}} = \Delta V_{i,m} \times CV_{i,RC} \quad (5.6)$$

kde

$\Delta V_{i,m}$  – dosažené úspory na vodě [ $m^3$ ]

$CV_{i,RC}$  – cena vody z referenčního období [ $Kč/m^3$ ]

**Měsíční dosažená úspora na teple** je dána rozdílem referenční spotřeby přepočtené na klimatické podmínky vyhodnocovaného měsíce a skutečných spotřeb fakturačních (případně naměřených)

$$\Delta T_{i,m} = KOR\_T_{i,m} - SK\_T_{i,m} \quad (5.7)$$

kde

$KOR\_T_{i,m}$  – referenční spotřeby tepla přepočtené na klimatické podmínky vyhodnocovaného měsíce [ $GJ$ ]

$SK\_T_{i,m}$  – skutečné spotřeby tepla ve vyhodnocovaném měsíci [ $GJ$ ]

**Referenční spotřeby tepla přepočtené na klimatické podmínky** vyhodnocovaného měsíce se vypočítají za podmínky  $REF\_DST_m \leq SK\_DST_{i,m}$ , jako

$$KOR\_T_{i,m} = (REF\_T\_N_{i,m} + REF\_T\_Z_{i,m} \times \frac{SK\_DST_{i,m}}{REF\_DST_m}) \times KT_{i,m} \quad (5.8)$$

nebo pokud platí podmínka  $REF\_DST_m > SK\_DST_{i,m}$ ,

$$KOR\_T_{i,m} = (REF\_T\_N_{i,m} + REF\_T\_Z_{i,m} \times \frac{SK\_DST_{i,m} + REF\_DST_m}{2 \times REF\_DST_m}) \times KT_{i,m} \quad (5.9)$$

**Měsíční dosažená úspora na plynu** je dána rozdílem referenční spotřeby přepočtené na klimatické podmínky vyhodnocovaného měsíce a skutečných spotřeb fakturačních (případně naměřených)

$$\Delta P_{i,m} = KOR\_P_{i,m} - SK\_P_{i,m} \quad (5.10)$$

kde

$KOR\_P_{i,m}$  – referenční spotřeby plynu přepočteny na klimatické podmínky vyhodnocovaného měsíce [ $m^3$ ]

$SK\_P_{i,m}$  – skutečné spotřeby plynu ve vyhodnocovaném měsíci [ $m^3$ ]

**Referenční spotřeby plynu (spalného tepla v plynu) přepočteny na klimatické podmínky** vyhodnocovaného měsíce se vypočítají za podmínky  $REF\_DST_m \leq SK\_DST_{i,m}$ , jako

$$KOR\_P_{i,m} = (REF\_P\_N_{i,m} + REF\_P\_Z_{i,m} \times \frac{SK\_DST_{i,m}}{REF\_DST_m}) \times KP_{i,m} \quad (5.11)$$

nebo pokud platí podmínka  $REF\_DST_m > SK\_DST_{i,m}$ ,

$$KOR\_P_{i,m} = (REF\_P\_N_{i,m} + REF\_P\_Z_{i,m} \times \frac{SK\_DST_{i,m} + REF\_DST_m}{2 \times REF\_DST_m}) \times KP_{i,m} \quad (5.12)$$

### Skutečné denostupně

$$SK\_DST_{i,m} = TD_m \times (TI_{i,m} - TE_m) \quad (5.13)$$



Referenční denostupně jsou v tabulce č.2, případně je možné je dopočítat stejným principem jako skutečné denostupně s tím rozdílem, že za  $TD_m$  dosazujeme topné dny v referenční období a za  $TE_m$  dosazujeme naměřené hodnoty v referenční období.

kde

$REF\_DST_m$  – referenční denostupně [*den. °C*]

$SK\_DST_{i,m}$  – skutečné denostupně [*den. °C*]

$TE_m$  – průměrná okolní teplota ve vyhodnocovaném měsíci [*°C*]

$TI_{i,m}$  – průměrná vnitřní teplota po realizaci opatření [*°C*] (obvykle 19,0 °C, v případě požadavku vyšší teploty je tato teplota korigována)

$TD_m$  – počet topných dnů [*dny*]

$KT_{i,m}$  – koeficient pro korekci úspor v případě, že se navýší spotřeby např. rozšířením vytápěných místností nebo prodloužením provozní doby [–]

$KP_{i,m}$  – koeficient pro korekci úspor v případě, že se navýší spotřeby např. rozšířením vytápěných místností nebo prodloužením provozní doby [–]

$REF\_P\_N_{i,m}$  - referenční nezávislá složka spotřeby plynu (pro rok 2017) [ $m^3$ ]

$REF\_P\_Z_{i,m}$  - referenční závislá složka spotřeby plynu (pro rok 2017) [ $m^3$ ]

$REF\_T\_N_{i,m}$  - referenční nezávislá složka spotřeby tepla (pro rok 2017) [GJ]

$REF\_T\_Z_{i,m}$  - referenční závislá složka spotřeby tepla (pro rok 2017) [GJ]

## 6 Závěr

Na výše uvedených stránkách jsou propočty, které zahrnují úsporná opatření využíváním vlastní výroby tepla a elektrické energie, pořízením obnovitelných zdrojů, využitím odpadního tepla a snížením tepelných ztrát na venkovním bazénu.

Kogenerační jednotkou/ami je možné uspořit na dodávce tepla a elektrické energie s využitím zemního plynu jako paliva. Dalším přínosem využití kogeneračních jednotek je zelený bonus, úspora na rezervované kapacitě tepla i elektrické energie a možnost pokrytí ¼ hodinových maxim spotřeb elektrické energie. Celkový zisk z přínosů KJ je 766 024 Kč ročně s průměrnou úsporou 29,7 % na teple a 48,5 % na elektrické energii. Návrh KJ je možné docílit do deseti let vč. financování. Zvýšení účinnosti KJ je možné instalací ekonomizéru na výstup spalin, který je schopen zvýšit produkci tepla z každé KJ až o 3 kW s návratností 2,5 roku.

Z obnovitelných zdrojů je možné využití fotovoltaických panelů na pokrytí části denní spotřeby elektrické energie a to především v letních měsících. Úspora vychází z jednotkové ceny elektrické energie po sdužení objektů. Celkové úspory jsou 11 % ročně. Tato úspora je z velké části dosažena v letních měsících s roční úsporou 103 tis. Kč. Prostá návratnost FVE se pohybuje okolo 15 let a to z důvodu velmi nízké jednotkové ceně za elektrickou energii.

Dále z obnovitelných zdrojů je možné využití fototermických solárních panelů pro získání nízkopotencionálního tepla na ohřev TUV nebo bazénové vody. Převládající výrobou v letních měsících se jedná spíše o sezónní zdroj energie a proto se jeví jako vhodné řešení pro venkovní koupaliště. Při instalaci 50 kolektorů je možné pokrýt celé tepelné ztráty koupaliště v červencový měsíc a částečné pokrytí v ostatních měsících. Celková úspora za rok tak činí 66 298 Kč a pokrytí 288 GJ tepelných ztrát ročně. Z důvodu připojení objektů k primární větvi centrálního zásobování tepla je cena tepelné energie velmi nízká a prostá návratnost se vyšplhala nad 20 let.

V případě zakrytí části venkovního koupaliště (plavecký bazén) v době mimo provoz je možné snížit tepelné ztráty odparem z vodní hladiny koupaliště a uspořit tak na ohřevu bazénu.

Na venkovní plavecký bazén je možné využít plachtu z neprodyšného materiálu (PVC apod.), která je jednoduše implementována díky možnosti natažení plachty za pomoci navíjecího zařízení a snadnému přístupu personálu. Plachta na vodní hladině mimo provozní hodiny sníží tepelné ztráty odparem o 428 GJ za sezónu a uspoří tak 98 tis. Kč na ohřevu vody. Při velmi nízké investici za plachtu a navíjecího zařízení je návratnost necelé 3 měsíce.

Posledním navrženým opatřením byl výměník na vypouštěnou bazénovou vodou, s kterou odchází část tepelné energie, která je možná regenerovat. V případě vnitřního bazénu se jedná o regeneraci vody ze sprch a průběžně odpouštěné vody. Pro využití tepla z veškeré vypouštěné vody by musel být instalovaný zásobník nebo jímka na zadržování velkého množství vody, která je jednorázově vypouštěna na proplach filtrů.

V případě regenerace tepla s výměníkem na odpadní vodu o účinnosti do 60 % je možné regenerovat 80 000 kWh/rok. Regenerace tepla uspoří ročně 66 tis. Kč s návratností 0,6 roku.

Využití odpadního tepla z vypouštěné bazénové vody je možné také regenerovat pomocí tepelného čerpadla. To má však omezený chod množstvím odpouštěné vody a jeho potenciál tím výrazně klesá. V případě využití TČ je možné získat až pěti násobek tepelné energie, než co je získáno klasickou regenerací tepla ve výměníku. Na druhou stranu TČ potřebuje na svůj chod elektrickou energii. V případě instalace zásobníku nebo jímky tato varianta připadá v úvahu avšak je zapotřebí velkého prostoru pro zásobník. Z důvodu nedostatku prostoru v zázemí technologie bazénu tato varianta nebyla uvažována.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Teplárenství. *Oenergetice* [online]. 2015 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/teplarenstvi/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr/>
- [2] Cenové rozhodnutí. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [www.ERU.cz](http://www.ERU.cz)
- [3] Plynové kotle pro vytápění. *TZB* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/12.html>
- [4] Středotlaké parní kotle. *Viessmann* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/prumysl/parni-kotel/vysokotlake-parni-kotle.html>
- [5] Stacionární kondenzační kotle. *Tzbinfo* [online]. 2006 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3611-stacionarni-kondenzacni-kotle-vaillant-ecocraft>
- [6] Kotle - 1. *Tzbinfo* [online]. 2012 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [7] Úprava vody v energetice [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/16\\_Chemie-a-ekologie\\_43-44/44\\_MMP/082\\_uprava-vody---Tomcala.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/16_Chemie-a-ekologie_43-44/44_MMP/082_uprava-vody---Tomcala.pdf)
- [8] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0118-7.
- [9] ŠKORPÍK, Jiří. Tepelné oběhy a jejich realizace. *Transformační technologie* [online]. Brno: Jiří Škorpík, 2006 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/06.html>
- [10] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-802-1443-006.
- [11] Kogenerace pro průmyslové podniky. *Mpo-efekt* [online]. Česká energetická agentura, 2000 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [http://www.mpo-efekt.cz/dokument/008164\\_1.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/dokument/008164_1.pdf)
- [12] Kombinovaná výroba elektřiny a tepla. *EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/kombinovana-vyroba-elektřiny-a-tepla>
- [13] Ekvitermní regulace. *Tzbinfo: Měření a regulace* [online]. 2010 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>
- [14] *Podklady a konzultace ve společnosti AmperSavings a.s.* Brno, 2017.
- [15] Prediktivní řízení... *Tzbinfo: Měření a regulace* [online]. 2011 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7541-prediktivni-rizeni-soustav-vytapani-budov>
- [16] Prediktivní řízení vytápění budov. *Tzbinfo: Měření a regulace* [online]. 2011 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7566-prediktivni-rizeni-vytapani-budov-pilotni-aplikace>
- [17] Předpověď počasí. *Tzbinfo: Měření a regulace* [online]. 2012 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/9001-predpoved-pocasi-pro-vas-ridici-system>
- [18] Vnitřní výpočtové teploty. *Tzbinfo: Tabulky a výpočty* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitřni-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>
- [19] Chladicí věže pro průmysl. *Baltimore aircoil company* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.baltimore.cz/>
- [20] Parní oběhy. *Katedra technických zařízení budov* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-04.pdf>

- [21] Teorie vlhkého vzduchu. *Tzbinfo: Teorie a výpočty* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3382-teorie-vlhkeho-vzduchu-iii>
- [22] Růst solárních zdrojů. In: *Akcieatrhy* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://akcieatrhy.cz/cz/rust-solarnich-zdroju-je-exponencialni>
- [23] Podmínky oblasti podpory. *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>
- [24] Dotační program: Úspory energie. *OPPIK* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.oppik.cz/dotacni-programy/uspory-energie>
- [25] Zapojení FVE. In: *SolarEdge* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/logs.omnibuilder/40f377b9-f377-4f12-a36c-0c63be1ffbc5/628e9a33-98d1-4a48-9a89-559fc6d3cf11.png>
- [26] Schéma solárního systém pro ohřev TUV a vody do bazénu. In: *Solární systémy* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.solarni-system.eu/ohrev-vody-a-bazenu>
- [27] LED vs. CFL vs. Incandescent Light Bulbs. *Sewell Direct* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://sewelldirect.com/learning-center/led-vs-incandescent-light-bulbs>
- [28] Lighting Research and Development. *EETimes* [online]. 2011 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [https://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1266966](https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1266966)
- [29] On-line kalkulačka spotřeb a úspor. *Tzbinfo: Tabulky a výpočty* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [30] *ČSN EN 12193 (36 0454) Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť*. 2008.
- [31] *ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [32] Vyhláška č. 415/2012 Sb.: Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. *Zákony pro lidi* [online]. 2012 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415>
- [33] Kogenerační jednotky - TEDOM. *TEDOM* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/wp-content/uploads/2017/12/P%C5%99ehled-kogenera%C4%8Dn%C3%ADch-jednotek-TEDOM.pdf>
- [34] Ekonomizéry pro zvýšení účinnosti KJ. *BIOM* [online]. 2013 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/ekonomizery-pro-zvyseni-ucinnosti-kogenerace>
- [35] Základy přenosu tepla. *Energetický ústav VUT FSI* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/sbirka/spt17.htm>
- [36] Plate heat exchanger calculation. *SWEP* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.ssonline.swep.net/Calculation/SinglePhase.html#>
- [37] Deskové výměníky tepla: B12x40. *SWEP* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.vymeniky-tepla.cz/files/obchod/Vymenik-tepla.php?vymenik=B12x40&typ=1>
- [38] Photovoltaic Geographical Information System: Interactive Maps. *JRC European commission* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
- [39] Přínos fotovoltaických instalací. *Tzbinfo: Fotovoltaika* [online]. 2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>

- [40] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900-7595-9.
- [41] Návrh solárních tepelných kolektorů. *ASB-portal* [online]. 2014 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/solarni-kolektory/zkusenosti-s-navrhovanim-solarnich-tepelnych-kolektoru>
- [42] Vyhláška č. 238/2011 Sb.: o stanovení hygienických požadavků na koupaliště,... *Tzbinfo: Právní předpisy* [online]. 2011 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-238-2011-sb-o-stanoveni-hygienickych-pozadavku-na-koupaliste-sauny-a-hygienicke-limity-pisku-v-piskovistich-venkovnich-hracich-ploch>
- [43] Mapa areálu. *Google maps* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [44] Tabulka průměrných hodnot stavů vzduchu pro vybrané hodiny. *Technika prostředí: qpro* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/Prumerny-stav-vzduchu-dle-vyberu-hodin>
- [45] Fyzikální hodnoty pro suchý vzduch při tlaku 100 kPa. *Tzbinfo: Tabulky a výpočty* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/38-fyzikalni-hodnoty-pro-suchy-vzduch-pri-tlaku-100-kpa>
- [46] Archiv počasí Chrudim. *Meteoblue* [online]. 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/archive/chrudim\\_%C4%8Cesko\\_3077539?fcstlength=1y&year=2017&month=4](https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/archive/chrudim_%C4%8Cesko_3077539?fcstlength=1y&year=2017&month=4)
- [47] Vypocet měrné hmotnosti a kinematické viskozity vzduchu. *E-learningové prvky pro podporu výuky odborných a technických předmětů* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/MT/3-Programy%20k%20textu/Vypocet%20merne%20hmotnosti%20a%20kinematicke%20viskozity%20vzduchu.xls>
- [48] Tepelná vodivost. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1\\_vodivost](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost)
- [49] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu#t19>
- [50] Polymery: Tepelné vlastnosti polymerů. *Publi* [online]. 2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/13.html>
- [51] FERSTL, Karol. *Prenos tepla*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2011. Edícia vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-227-3534-6.
- [52] Solární kolektory. *Solar Power* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.solarpower.cz/>
- [53] Návrh trubkového zahříváče kapalina - kapalina. *ČVUT v Praze: Fakulta strojní* [online]. 2002 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U218/peoples/hoffman/PREDMETY/PRO-III/Navrh%20trubkoveho%20zahrivace%20kapalina-kapalina-doc.pdf>
- [54] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných kovů. *Tzbinfo: Tabulky a výpočty* [online]. 2001 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/37-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-kovu>
- [55] Vlastnosti vody. *Ústav energetiky: VUT FSI* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/voda.htm>
- [56] JÍCHA, Miroslav. *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, 2001, 160 s. ISBN 80-214-2029-4.

- [57] Teplotní objemová roztažnost kapalin, anomálie vody. *Fyzika 007: Struktura a vlastnosti látek* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/struktura-a-vlastnosti-latek/teplotni-objemova-roztaznost-kapalin>
- [58] INCROPERA, Frank P. a Frank P. INCROPERA. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2007. ISBN 978-0-471-45728-2.
- [59] Výpočet zisku ze solárního kolektoru. *Tzbinfo: Solární kolektory* [online]. 2011 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusenabalance-solarniho-kolektoru>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
$\eta$	Účinnost elektrická v KJ	–, %
$\Delta N_{c,prum,r}$	Úspory nákladů	Kč
$\Delta N_{c,r}$	Roční úspory (výnos)	Kč
$\Delta p$	Tlaková ztráta	Pa
$\Delta T_{ln}$	Střední logaritmická teplota	°C
$A, S$	Práce	$m^2$
$A_k$	Plocha, Teplosměnná plocha	$m^2$
ARR	Průměrná výnosnost investice	–, %
$C_{E,vykup}$	Cena výkupní za elektrickou energii	Kč/MWh
$C_{RK,M}$	Cena za měsíční RK dle ERU	Kč/kWh
$C_{RK,R}$	Cena za roční RK dle ERU	Kč/kWh
$C_{RK,T}$	Cena za RK na teple dle ERU	Kč/kWh
$C_E$	Cena elektrické energie	Kč/MWh
$C_T$	Cena tepla	Kč/GJ
$c_V, c_p$	Měrná tepelná kapacita	$W/(m^2 \cdot K^1)$
$C_{ZB}$	Zelený bonus dle ERU	Kč/MWh
$C_{ZP}$	Cena zemního plynu	Kč/ $m^3$
d	Minimální potřebná šířka pro instalaci	m
$d_1$	Šířka mezery mezi řady kolektorů	m
$D_h$	Jmenovitý rozměr průtočného konálu	m
$D_h$	Hydraulický průměr	m
$d_i$	Vnitřní průměr trubky	m
$D_i$	Vnitřní průměr pláště výměníku	m
E	Elektrická energie, práce, energie	Wh, J
$E_{UV}$	Exergie	J
e	Teplárenský modul	–
$f_{g1}$	korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty	–
$f_{g2}$	teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou	–
$G_{T,m}$	střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci	$W/m^2$
$G_w$	korekční činitel zohledňující vliv spodní vody	–
Gr	Grashofovo kritérium podobnosti	–
g	Gravitační konstanta	$m/s^2$
h	Počet hodin	–
$H_{T,den}$	průměrné denní sluneční ozáření v daný měsíc	$kWh/(m^2 \cdot den)$
$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty prostupem tepla do okolí	$W/(m^2 \cdot K^1)$

$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem tepla do zeminy	$W/(m^2 \cdot K^1)$
$H_{V,i}$	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	$W/K$
$h_d$	počet provozních hodin za den	–
$l_l$	délka lineárních tepelných mostů	$m$
$k$	Celkový součinitel přestupu tepla	$W/(m^2 \cdot K^1)$
$K_3$	Koeficient pro určení objemu vlhkých spalin	–
$K_4$	Koeficient pro určení objemu vlhkých spalin	–
$k_{RDS}^{KJ}$	Dodaná elektrická energie do RDS	–, %
$k_{tech}^{KJ}$	Spotřebována elektrická energie na technologie	–, %
$L, l$	Délka, charakteristický rozměr	$m$
$m$	průtok	$kg/s, m^3/s$
$M, m$	Množství	$m^3, kg$
$N$	Náklady	$Kč$
$n$	Počet (kusů, dnů)	–
$N_{i,c}$	Investice	$Kč$
$N_{servis,mth}^{KJ}$	Jednotková cena servisu	$Kč/mth$
$NPV$	Aktualizace finančních toků	$Kč$
$Nu$	Nusseltovo číslo	–
$o$	obvod	$m$
$p$	Tlak	$Pa$
$P$	Výkon	$W$
$p''_{ph,i}$	Tlak syté vodní páry při teplotě vody	$Pa$
$p''_{pm}$	Tlak syté vodní páry při teplotě mokrého teploměru	$Pa$
$p_b$	Atmosferický tlakl	$Pa$
$p_p$	Parciální tlak vodní páry při teplotě vzduchu	$Pa$
$PBP$	Prostá návratnost	<i>roky</i>
$PBP_{skut}$	Skutečná návratnost	<i>roky</i>
$Pr$	Prandtlovo kritérium	–
$Q$	Teplo, tepelný výkon, tepelné ztráty	$J, Wh$
$Q_C$	Izochorický odvod tepla	$kW$
$Q_H$	Izochorický přívod tepla	$kW$
$Q_i$	Výhřevnost paliva	$kJ/m^3$
$Q_u$	Úspora paliva	$J$
$Q_{UV}$	Tepelná energie	$J$
$r$	Výparné teplo	$J$
$Ra$	Rayleighovo kritérium podobnosti	–
$Re$	Reynoldsovo číslo	–
$RK_{E1,M}$	Měsíční RK před snížením	$kW$
$RK_{E1,R}$	Roční RK před snížením	$kW$
$RK_{R2,M}$	Měsíční RK po snížení	$kW$



$RK_{R2,R}$	Roční RK po snížení	$kW$
$RK_{T1}$	Původní RK na teple	$kW$
$RK_{T2}$	Nová Rk na teple	$kW$
$S_{i+t}$	Plocha všech trubek vč. tloušťky stěn	$m^2$
$S_h$	plocha bazénu	$m^2$
$S_i$	Průtočná plocha jedné trubky	$m^2$
ss	Systémové služby	Kč
t, T	Teplota	$^{\circ}C, K$
$t_{m,k}$	střední denní teplota teplotonosné kapaliny v solárním kolektoru	$^{\circ}C$
$t_{deska}$	Tloušťka desky	$m$
$t_e$	střední venkovní teplota v době slunečního svitu	$^{\circ}C$
$t_m$	teplota mokrého teploměru	$^{\circ}C$
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí	$W/(m^2 \cdot K^1)$
$U_k$	součinitel prostupu tepla použitých materiálů	$W/(m^2 \cdot K^1)$
V	Výnos	Kč
v	Rychlost	$m/s$
$V_{RK,EE,M}^{KJ}$	Výnos na snížení měsíční RK na EE	Kč
$V_{RK,EE,R}^{KJ}$	Výnos na snížení roční RK na EE	Kč
$V_{sp,celk}$	Celkový objem spalin	$m^3$
$V_{sp,v,min}$	Objem vlhkých spalin	$m^3$
$V_1$	Objem v dolní úvrati	$m^3$
$V_2$	Objem v horní úvrati	$m^3$
$V_i$	Množství vyměněného vzduchu	$m^3/h$
$V_K$	$m^3$	$m^3$
$v_{plyn}$	Průtok plynu	$m^3/h$
$V_Z$	Zdvihový teoretický objem	$m^3$
$V_{ZP}^{KJ}$	Množství zemního plynu	$m^3$
x	Měrná vlhkost vzduchu při teplotě vzduchu	$kg \cdot kg_{sv}^{-1}$
x''	Měrná vlhkost vzduchu při teplotě vody	$kg \cdot kg_{sv}^{-1}$
z	Ztráty	—
$z_{cbl}$	ztráty ve vedení kabely, ztráty MPPT a měniče	—
$z_{ref}$	ztráty teplotou a nízkým ozářením	—
$z_{sys}$	ztráty reflektivitou krycího skla	—
$\alpha$	Součinitel přestupu tepla	$W/(m^2 \cdot K^1)$
$\beta$	Objemová roztažnost	—
$\varepsilon$	Kompresní poměr	—
$\varepsilon_i$	Měrná exergie	$J/kg$
$\zeta_T^{KVET}$	Účinnost exergetická	—, %
$\eta$	dynamická viskozita	$Pa \cdot s$
$\theta_{int}$	vnitřní teplota v hale	$^{\circ}C$
$\theta_o$	teplota okolí	$^{\circ}C$

$\lambda$	Měrná tepelná vodivost	$W/(m^1 \cdot K^1)$
$\xi$	Ztrátový součinitel	–
$\rho$	hustota	$kg/m^3$
$\nu$	kinematická viskozita	$m^2/s$
$\Phi_{HL,i}$	Tepelný výkon	$W$
$\Phi_{T,i}$	Ztráta prostupem tepla	$W$
$\Phi_{V,i}$	Tepelné ztráty větráním	$W$
$\Psi_l$	činitel lineárního prostupu tepla	–
KJ	Kogenerační jednotka	
TČ	Tepelné čerpadlo	
FVE	Fotovoltaická elektrárna	
RDS	Regionální distribuční síť	
RK	Rezervovaná kapacita	
ERU	Energetický regulační úřad	
VZT	Vzduchotechnická jednotka	
MaR	Měření a regulace	
CZT	Centrální zásobování teplem	
TUV	Teplá užitková voda	
EE	Elektrická energie	

#### Dolní index

#### Význam

a	Apertura fototermických solárních kolektorů
C,c,celk	Celková
cbl	Kabeláž
ci	Vstup ohřívaného media do výměníku
co	Výstup ohřívaného media do výměníku
den	měřené hodnoty v době 10 – 21 h
dno	Dno
dny	dny
dop	doprava
E	Elektrická
EE	Elektrická energie
EK	Ekonomizér
el	Elektrický
H <sub>2</sub> O,V	Voda
hl	hladina
horizontal	horizontální
hyg	Hygienické požadavky
inst	instalovaný
invr	Inverter (měnič)
k	konvekce
k,u	Fototermický solární kolektor
kanal	Průtočný kanál

---

KJ,kj	Kogenerační jednotka
lam	laminární
mez	Meziprostor trubek
n,i	měsíc
noc	měřené hodnoty v době 22 – 9 h
o	okolí
ocel	Nerezová ocel
odp	odpar
odpad	Odpadní voda
ost	Ostatní
PAL	palivo
PAN,pan	Panel (fotovoltaický)
pl	plachta
prut	průtočná
rad	radiace
RDS	Regionální distribuční síť
RP	Regulované poplatky
s	stěna
s+d	Stěna a dno
servis	Servis KJ jednotky
si	Vstup topného media do výměníku
skut	skutečné
so	Výstup topného media do výměníku
sp	spaliny
stěna	Stěna
sun	Sluneční ozáření
T	Tepelná
t	termická
tr	trubka
vl	Vlastní spotřeb
vp	Vodní pára
vrt	Vrt na čerpání vody
vy	Výměník
vyp	Odpar vody
výt	výtopna
vzduch	vzduch
ZB	Zelený bonus
znr	Ztráty náhlým rozšířením
znz	Ztráty náhlým zúžením
ZP	Zemní plyn
<b>Horní index</b>	
EK	Ekonomizér
FVE	Fotovoltaická elektrárna
kol	Fototermický solární kolektor
KVET	Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KJ)

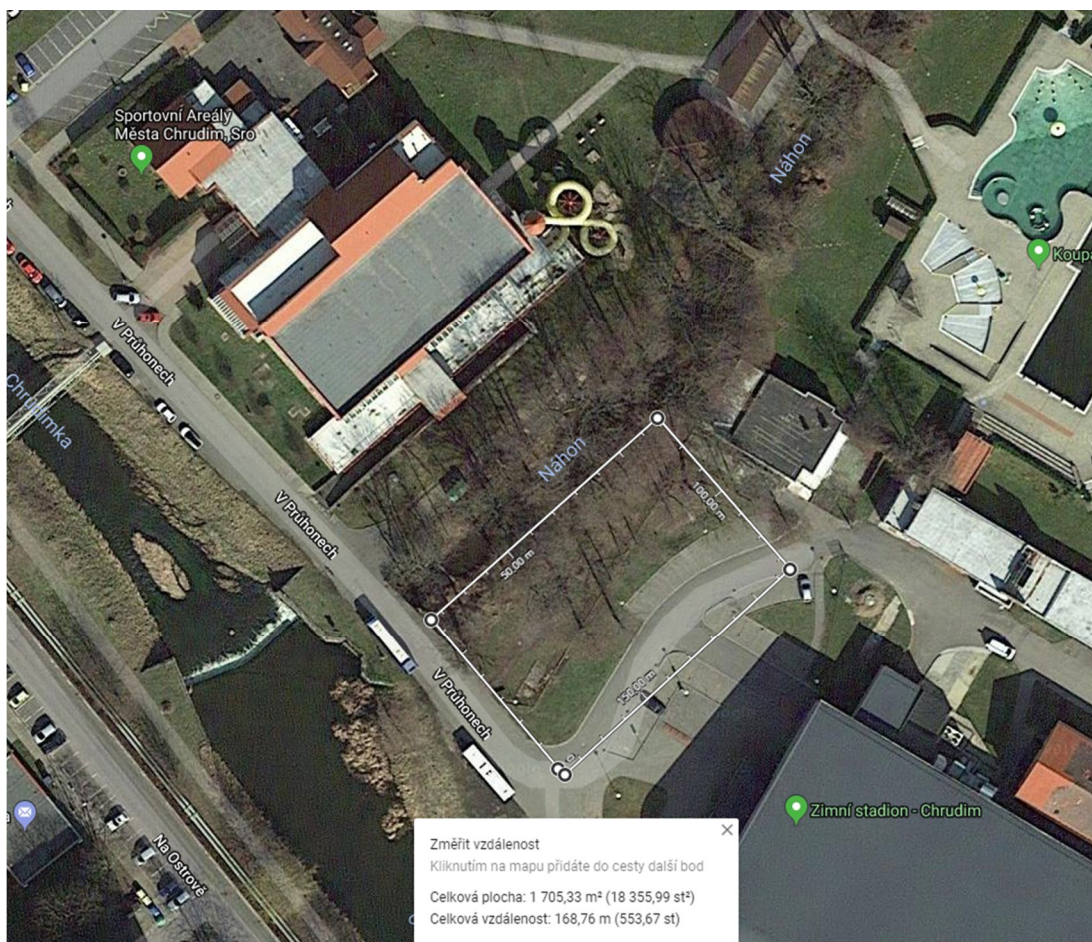
---

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha č. 1 Vodní plocha koupaliště
- Příloha č. 2 Umístění sportovní haly
- Příloha č. 3 Zadané parametry pro určení tepelné náročnosti sportovní haly část 1.
- Příloha č. 4 Zadané parametry pro určení tepelné náročnosti sportovní haly část 2.
- Příloha č. 5 Graf spotřeby EE bez KJ s možností instalace 95 kWe FVE
- Příloha č. 6 Plocha střechy plaveckého stadionu
- Příloha č. 7 Teoretická plocha zakrytí plachtou
- Příloha č. 8 Zakrytí plachtou plaveckého bazénu
- Příloha č. 9 RK EE před instalací KJ
- Příloha č. 10 RK EE po instalaci KJ
- Příloha č. 11 Výkres výměníku na regeneraci tepla z odpadní vody



Příloha č. 1 Vodní plocha koupaliště



Příloha č. 2 Umístění sportovní haly

## On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám\*

### Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy

\*Výpočet energetických úspor a výše dotací je nastaven na původní program Zelená úsporám 2009. Výpočet je nadále vhodný pro hrubý odhad energetických úspor při zateplení obálky budovy.

#### LOKALITA / UMÍSTĚNÍ OBJEKTU

Město / obec / lokalita  ?

Venkovní návrhová teplota v zimním období  $\theta_e$   °C

Délka otopného období  $\alpha$   dní

Průměrná venkovní teplota v otopném období  $\theta_{em}$   °C

#### CHARAKTERISTIKA OBJEKTU

Převažující vnitřní teplota v otopném období  $\theta_{in}$   °C  
obvyklá teplota v interiéru se uvažuje 20 °C

Objem budovy  $V$   m<sup>3</sup>  
vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahrnuje nevytápěné podkrovní, garáž, sklepy, lodžie, římsy, atiky a základy

Celková plocha  $A_1$   m<sup>2</sup>  
součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy (automaticky, z níže zadaných konstrukcí)

Celková podlahová plocha  $A_2$   m<sup>2</sup>  
podlahová plocha všech podlaží budovy vymezená vnitřním lícem obvodových stěn (bez neobyvatelných sklepů a oddělených nevytápěných prostor)

Objemový faktor tvaru budovy  $A/V$   m<sup>-1</sup>

Trvalý tepelný zisk  $H_+$   W  
Obvyklý tepelný zisk zahrnuje teplo od spotřebičů (cca 100 W/byt), teplo od lidí (70 W/os.) apod.

Solární tepelné zisky  $H_{s+}$   kWh / rok

Použít velice přibližný výpočet dle vyhlášky č. 291/2001 Sb

Zadat vlastní hodnotu vypočtenou ve specializovaném programu

#### OCHLAZOVANÉ KONSTRUKCE OBJEKTU / ZATEPLENÍ, VÝMĚNA OKEN

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla před zateplením $U_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	Tloušťka zateplení $d$ [mm] / nová okna $U_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	Plocha $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Činitel teplotní redukce $b_i$ [-]		Měrná ztráta prostupem tepla $H_{T1} = A_i \cdot U_i \cdot b_i$ [W/K]	
				Před úpravami	Po úpravách	Před úpravami	Po úpravách
Stěna 1	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="text" value="150"/> mm	<input type="text" value="1329.74"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="531.9"/>	<input type="text" value="212.8"/>
Stěna 2	<input type="text"/>	<input type="text"/> mm	<input type="text"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Podlaha na terénu	<input type="text" value="0.35"/>	<input type="text"/> mm	<input type="text" value="1600"/>	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="text" value="0.40"/>	<input type="text" value="224"/>	<input type="text" value="224"/>
Podlaha nad sklepem (sklep je celý pod terénem)	<input type="text"/>	<input type="text"/> mm	<input type="text"/>	<input type="text" value="0.45"/>	<input type="text" value="0.45"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Podlaha nad sklepem (sklep částečně nad terénem)	<input type="text"/>	<input type="text"/> mm	<input type="text"/>	<input type="text" value="0.65"/>	<input type="text" value="0.65"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Střecha	<input type="text" value="0.11"/>	<input type="text"/> mm	<input type="text" value="1708.29"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="187.9"/>	<input type="text" value="187.9"/>
Strop pod půdou	<input type="text"/>	<input type="text"/> mm	<input type="text"/>	<input type="text" value="0.80"/>	<input type="text" value="0.95"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Okna - typ 1	<input type="text" value="2.35"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="235"/>	<input type="text" value="235"/>
Okna - typ 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Vstupní dveře	<input type="text" value="1.2"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="4.8"/>	<input type="text" value="4.8"/>
Jiná konstrukce - typ 1	<input type="text"/>	<input type="text"/> ?	<input type="text"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Jiná konstrukce - typ 2	<input type="text"/>	<input type="text"/> ?	<input type="text"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

#### Nápověda

Normové hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_{N,20}$  jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2007 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky

Návrh tloušťky zateplení a orientační hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce s vnějším tepelněizolačním kompozitním systémem

*Příloha č. 3 Zadané parametry pro určení tepelné náročnosti sportovní haly část 1.*



### LINEÁRNÍ TEPELNÉ MOSTY (KONKRÉTNÍ HODNOTY TEPELNÝCH MOSTŮ)

Před úpravami	$\Delta U = 0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$ - konstrukce téměř bez tepelných mostů (optimalizované řešení)
Po úpravách	$\Delta U = 0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$ - konstrukce téměř bez tepelných mostů (optimalizované řešení)

### VĚTRÁNÍ

Intenzita větrání s původními okny $n_1$ obvyklá intenzita větrání u těsných staveb (novostaveb) je $0.4 \text{ h}^{-1}$ , u netěsných staveb může být 1 i více	<input type="text" value="0.18"/> $\text{h}^{-1}$
Intenzita větrání s novými okny $n_2$ obvyklá intenzita větrání u těsných staveb (novostaveb) je $0.4 \text{ h}^{-1}$ , u netěsných staveb může být 1 i více	<input type="text" value="0.4"/> $\text{h}^{-1}$
Účinnost nově zabudovaného systému rekuperace tepla $\eta_{\text{rek}}$ zadejte deklarovanou účinnost (ve výpočtu bude snížena o 10 %)	<input type="text" value="90 %"/>

### ROČNÍ POTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Stav objektu	Měrná potřeba energie
Před úpravami (před zateplením)	70.5 kWh/m <sup>2</sup>
Po úpravách (po zateplení)	24.4 kWh/m <sup>2</sup>

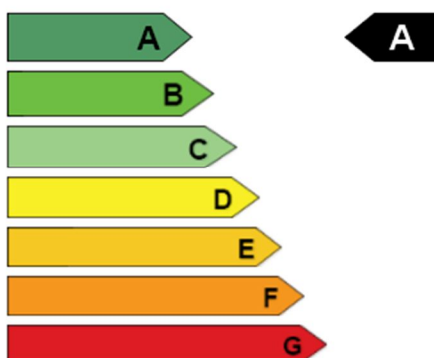
### ZELENÁ ÚSPORÁM - VÝŠE PODPORY PRO

RODINNÉ DOMY

Úspora: 65%

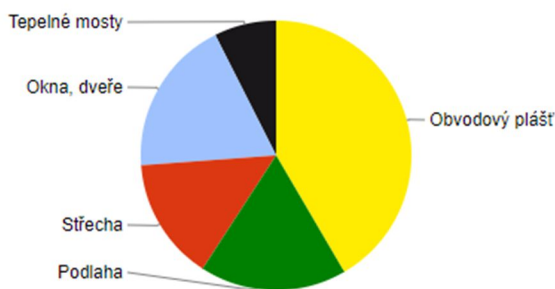
Máte nárok na dotaci v rámci části programu A.1 - celkové zateplení.  
Dotace ve vašem případě činí 2200 Kč/m<sup>2</sup> podlahové plochy, to je 770000 Kč.

### ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY



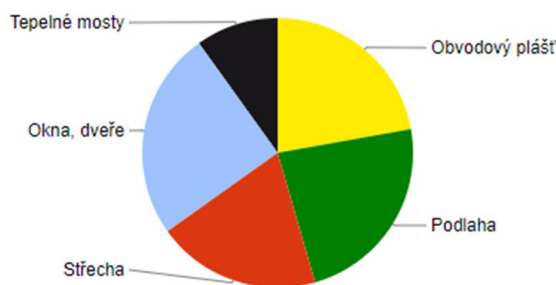
### STAVEBNĚ - TECHNICKÉ HODNOCENÍ

Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi - před zateplením



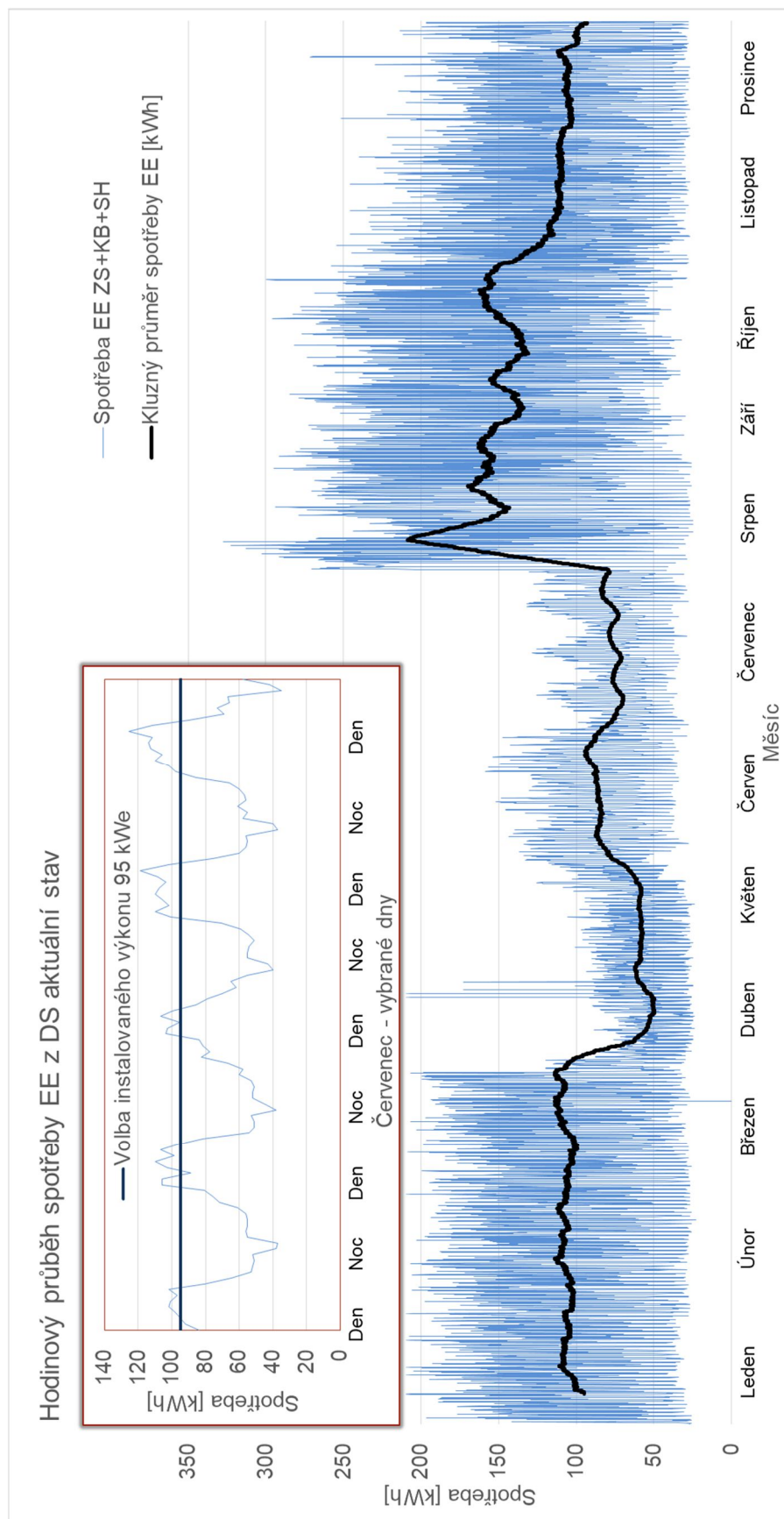
Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	18 084
Podlaha	7 616
Střecha	6 389
Okna, dveře	8 153
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	3 225
Větrání	31 901
--- Celkem ---	75 368

Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi - po zateplení



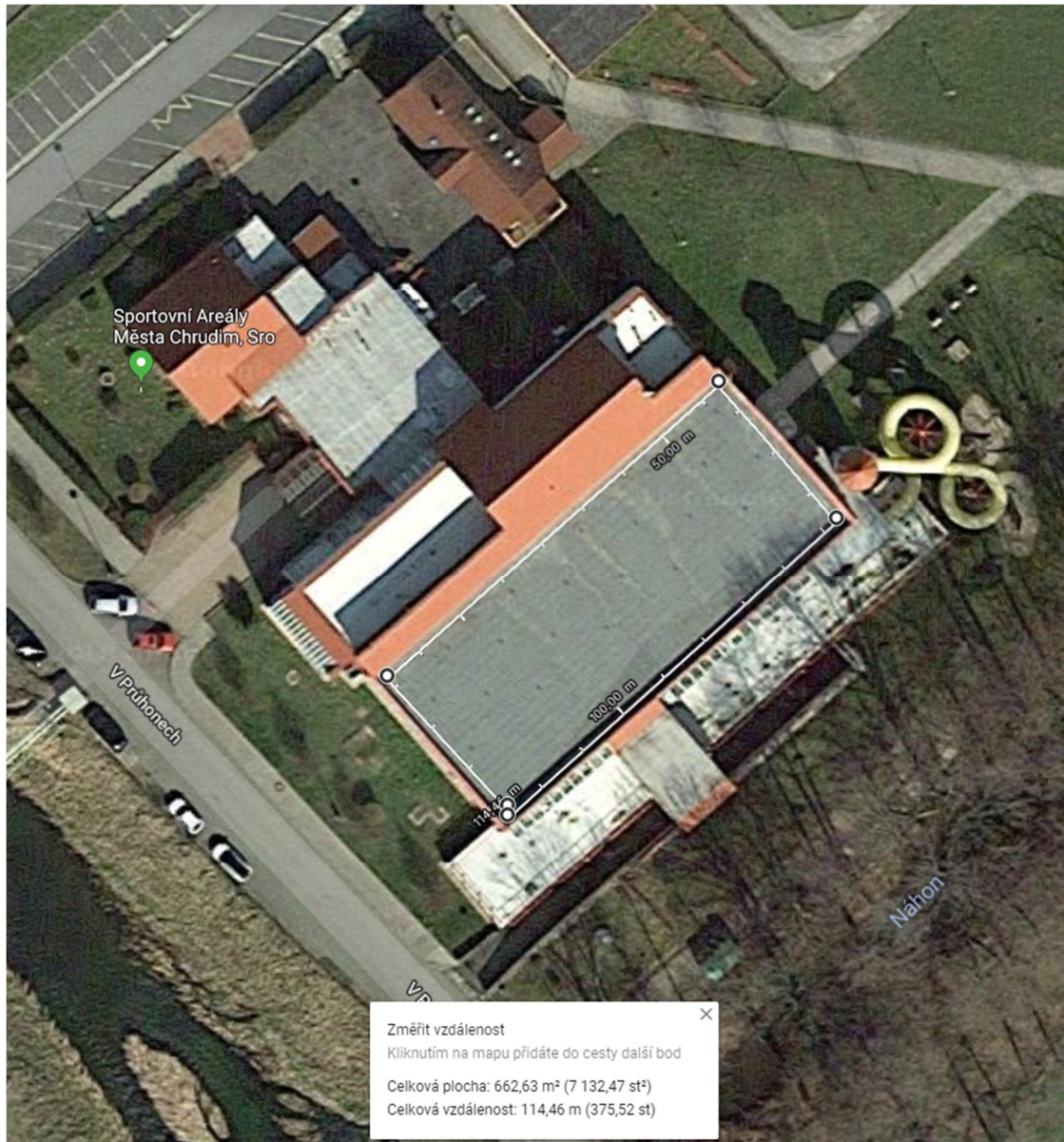
Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	7 234
Podlaha	7 616
Střecha	6 389
Okna, dveře	8 153
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	3 225
Větrání	6 380
--- Celkem ---	38 997

Příloha č. 4 Zadané parametry pro určení tepelné náročnosti sportovní haly část 2.



Příloha č. 5 Graf spotřeby EE bez KJ s možností instalace 95 kW<sub>e</sub> FVE

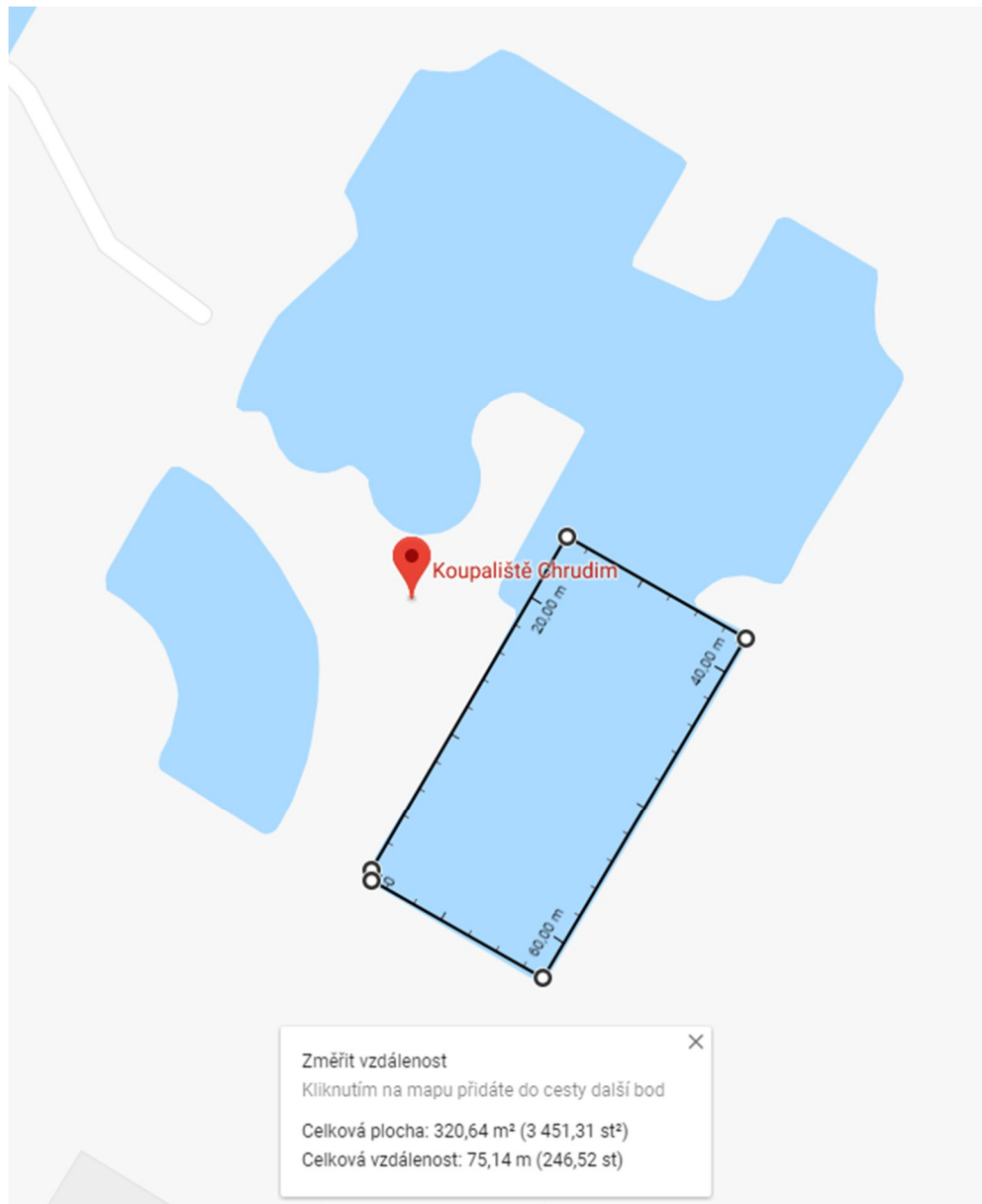




Příloha č. 6 Plocha střechy plaveckého stadionu



Příloha č. 7 Teoretická plocha zakrytí plachtou



Příloha č. 8 Zakrytí plachtou plaveckého bazénu

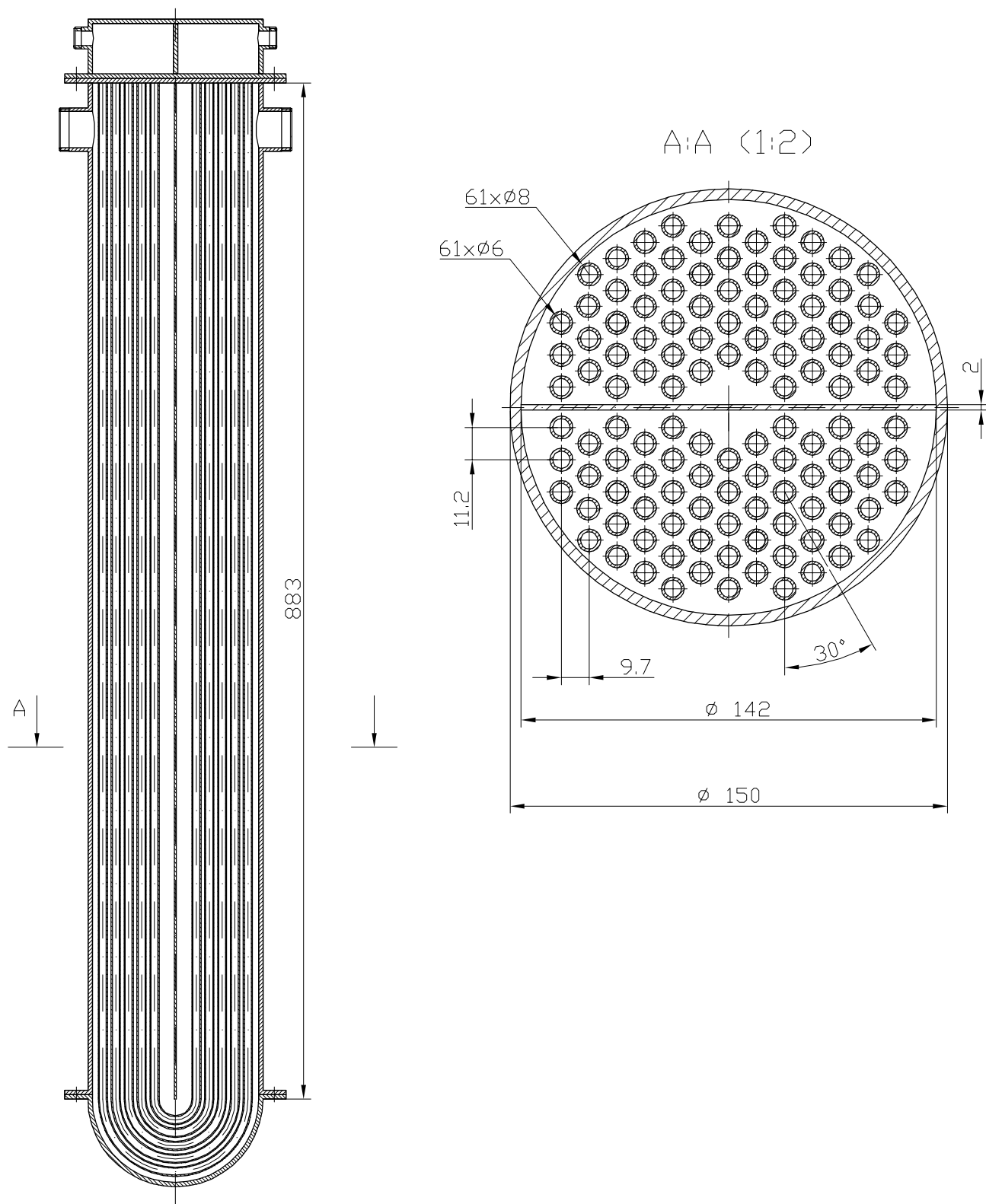
Období	Jednotková cena za roční rez. kapacitu [Kč/MW]	Jednotková cena za měsíční rez. kapacitu [Kč/MW]	Rezerv. kapacita roční [MW]	Rezerv. kapacita měsíční [MW]	Celkem [Kč]
leden	171 705	191 158	0,105	0,180	52 437
únor	171 705	191 158	0,105	0,180	52 437
březen	171 705	191 158	0,105	0,180	52 437
duben	171 705	191 158	0,105	0,180	52 437
květen	171 705	191 158	0,105	0,065	30 454
červen	171 705	191 158	0,105	0,065	30 454
červenec	171 705	191 158	0,105	0,065	30 338
srpen	171 705	191 158	0,105	0,245	64 863
září	171 705	191 158	0,105	0,245	64 863
říjen	171 705	191 158	0,105	0,180	52 437
listopad	171 705	191 158	0,105	0,180	52 437
prosinec	171 705	191 158	0,105	0,180	52 437
<b>Celkem</b>	-	-			<b>588 034</b>

Příloha č. 9 RK EE před instalací KJ

Období	Rezerv. kapacita roční [MW]	Rezerv. kapacita měsíční [MW]	Jednotková cena za roční rez. kapacitu [Kč/MW]	Jednotková cena za měsíční rez. kapacitu [Kč/MW]	Celkem [Kč]
leden	0,070	0,135	171 705	191 158	37 826
únor	0,070	0,135	171 705	191 158	37 826
březen	0,070	0,135	171 705	191 158	37 826
duben	0,070	0,135	171 705	191 158	37 826
květen	0,070	0,020	171 705	191 158	15 843
červen	0,070	0,020	171 705	191 158	15 843
červenec	0,070	0,020	171 705	191 158	3 318
srpen	0,070	0,200	171 705	191 158	50 251
září	0,070	0,200	171 705	191 158	50 251
říjen	0,070	0,135	171 705	191 158	37 826
listopad	0,070	0,135	171 705	191 158	37 826
prosinec	0,070	0,135	171 705	191 158	37 826
<b>Celkem</b>	-	-	-	-	<b>400 284</b>

Příloha č. 10 RK EE po instalaci KJ

Příloha č. 11 Výkres výměníku na regeneraci tepla z odpadní vody



Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko	Přesnost
				1:5	Tolerování
					Promítání
Polotovary			Hmotnost	Materiál	kg
			CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016		
	Druh dokumentu		Název		
	Kreslil Bc. Pavel Řehák		TRUBKOVÝ VÝMĚNÍK		
	Schválil		Číslo dokumentu		
Datum vydání 20.5.2018		EÚ/1			List /