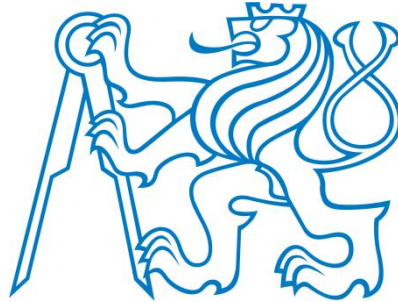


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Studie na téma
Snížení energetické náročnosti školní budovy**

Vypracovala: Bc. Veronika Bartošová

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2017/2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bartošová Jméno: Veronika Osobní číslo: 395669

Zadávající katedra: Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh vytápění školní budovy

Název diplomové práce anglicky: Heating system in the school building

Pokyny pro vypracování:

Projekt vytápění zadané budovy školy

- projektová dokumentace se základními výpočty, výkresy a technickou zprávou.

Studie na téma Snížení energetické náročnosti školní budovy

Seznam doporučené literatury:

Kabele, Karel: *Technická zařízení budov Vytápění*. ČVUT, Praha 2014. ISBN 978-80-01-05203-7

ČSN EN 12831 *Teplné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. ČNI 2005

ČSN EN 12828 *Teplné soustavy v budovách - Navrhování teplovedných otopných soustav*. ČNI 2014.

Daniels, Klaus: *Technika budov - Příručka pro architekty a projektanty*. Jaga 2003. ISBN 80-88905-60-5.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Michal Kátrhel, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 7.3.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2018

Účel ověřte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použitých literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokyem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího diplomové práce doc. Ing. Michala Kabrhela, Ph.D..

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 21.5.2018

Bc. Veronika Bartošová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. **Michalu** Kabrhelovi, Ph.D. za odborné, ochotné a trpělivé vedení v průběhu této práce. Zároveň děkuji za poskytnutí cenných rad a připomínek, kterých bylo zapotřebí pro dokončení této práce.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem teplovodní otopné soustavy zvolené školní budovy. Pro daný objekt je vypracována projektová dokumentace navrženého systému. Součástí práce je studie, popisující vhodná opatření vedoucí k úspoře energie.

Klíčová slova

Vytápění, otopná soustava, zdroj tepla, úspora energie

Annotation

This diploma thesis deals with the proposal of the hot water heating system in the school building. For the object, the project documentation of the proposed system is developed. Part of the thesis is a study describing appropriate measures to save energy.

Key words

Heating, heating system, heat source, energy saving

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Charakteristika objektu	2
2	Stavební úpravy vedoucí ke snížení energetické náročnosti budovy	3
2.1	Dodatečné zateplení obvodových stěn	3
2.1.1	Expandovaný polystyrén	9
2.1.2	Extrudovaný polystyrén.....	9
2.1.3	Pěnový polyuretan stříkaný.....	10
2.1.4	Celulózová izolace	10
2.1.5	Minerální skelná vata	10
2.1.6	Pěnové sklo.....	11
2.1.7	Keramické kamenivo	11
2.1.8	Ovčí vlna	12
2.2	Výměna výplně otvorů.....	12
2.2.1	Izolační dvojsklo	12
2.2.2	Izolační trojsklo.....	13
2.3	Zateplení základů	13
3	Energie z obnovitelných zdrojů	14
3.1	Solární kolektory.....	14
3.2	Plochý zasklený kolektor.....	14
3.3	Trubicový vakuový kolektor.....	14
3.4	Fotovoltaické solární panely.....	15
3.5	Tepelná čerpadla	15
3.5.1	Vzduch – voda	16
3.5.2	Země – voda	17
3.5.3	Voda – voda.....	18
4	Závěr.....	19

1 Úvod

Studie popisuje jednotlivé aspekty vedoucí ke snížení energetické náročnosti školní budovy a zhodnocuje a doporučuje vhodné metody.

Ve snaze snížit energetickou náročnost budovy uvažujeme 2 základní hlediska, ekonomické a ekologické. Po ekonomické stránce sledujeme znatelné snížení nákladů na provoz objektu. Počáteční investice do některého z prvků vedoucího ke snížení nákladů na provoz je poměrně vysoká, ale z dlouhodobého hlediska se vyplatí již za několik let. Studie shrnuje základní možnosti pro snížení energetické náročnosti školní budovy, počínaje těmi levnějšími variantami, jako je např. dodatečné zateplení fasády, a následně možnostmi s vyšší pořizovací cenou jako je např. vzduchotechnická jednotka s rekuperací.

Druhé zmiňované hledisko na danou problematiku je ekologické. Energie z neobnovitelných zdrojů stále klesají a jejich ceny za odběr úměrně rostou. Dalším aspektem pro využití obnovitelných zdrojů energie je jejich vliv na životní prostředí. V této části studie jsou popsána jednotlivá zařízení využívající obnovitelné zdroje jako např. slunce.

1.1 Charakteristika objektu

Objekt základní školy je samostatně stojící budova se třemi nadzemními podlaží, severozápadní část objektu je podsklepena. Obvodové a vnitřní stěny tvoří skladba pálených cihel. Základní škola je zastřešena sedlovou střechou s pálenou krytinou. Okna jsou starší dřevěná s dvojitým zasklením. Nosným prvkem ve stropní konstrukci jsou dřevěné trámy se záklopem, následuje štěrkový zásyp a dále skladba podlahy dle dané místnosti. V rámci nadcházející rekonstrukce bude vyhotoven podhled v 1.NP, který bude využit pro hlavní ležatý rozvod. Objekt není zateplen. Severní fasáda je zdobená historickými prvky – šambrány, bosáže, rizalit atd.

V 1.PP se nachází kotelna a čtyři nevyužívané prostory. Hlavní vstup na severní fasádě nás zavede do 1.NP. Zde je sedm učeben, tři WC, kabinet, úklidová místnost a sklad. Dílny s šatnou jsou zpřístupněny jak chodbou v 1.NP, tak i samostatným vchodem ze školního dvora. Na hlavní chodbu se dále napojuje jedno schodiště do 1.PP a dvě schodiště do vyšších pater. V 2.NP nalezneme sedm učeben, tři kabinety, dvě WC, ředitelnu a sborovnu. 3.NP disponuje osmi učebnami, toaletami, třemi kabinety a skladem. V jižní části západního křídla je v 3.NP přístup do podkroví. Učebny jsou určeny pro 22 osob.

2 Stavební úpravy vedoucí ke snížení energetické náročnosti budovy

V této části jsou popsány tři základní stavební úpravy, které by vedly ke snížení nákladů na provoz objektu. Nejobsáhlejší část je věnována popisu jednotlivých zateplovacích systémů.

2.1 Dodatečné zateplení obvodových stěn

Dodatečné přidání tepelné izolace k obvodovým stěnám zajistí snížení součinitele prostupu tepla. Pro představu je v tabulce č. 1 uvedeno procentuální vyjádření úniku tepla jednotlivými prvky budovy.

Prvek budovy	Procentuální ztráta
Obvodové stěny	25 - 40 %
Střešní plášť	25 - 30 %
Podlaha ve styku se zeminou	10 - 15 %
Okna	5 - 10 %
Vstupní dveře	1 - 2 %

Tab.č.1 – Procentuální vyjádření úniku tepla prvky budovy [02]

Z tabulky vyplývá, že hlavními adepty pro zateplení se stávají obvodové stěny.

Stávající hodnoty součinitele prostupu tepla školní budovy jsou uvedeny v tabulce č.2.

ROZSAH SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA KONSTRUKCEMI	
Název konstrukce	U [W/m ² K]
Strop 1-2.NP	0,629 - 0,617
Strop 3.NP	0,231
Podlaha 2-3.NP	0,566 - 0,641
Podlaha na zemině	0,951 - 0,709
Podlaha podsklepená	0,641 - 0,986
Vnitřní stěna	1,945 - 0,807
Obvodová stěna	0,614 - 1,321

Tab.č.2 – Rozsah součinitele prostupu tepla daného objektu

Druh a tloušťku izolace určíme tak, abychom se s hodnotou součinitelem prostupu tepla U [W/m²K] zateplené konstrukce přiblížili co nejvíce hodnotám uvedeným v ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Přehledný soupis doporučených hodnot pro jednotlivé druhy konstrukce jsou k nahlédnutí v tabulce č.3.

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty U _{N,20}	Doporučené hodnoty U _{rec,20}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U _{pas,20}
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechem bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechem bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$, v m ² /m ² , kde A je celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP), v m ² ; A _w plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP, v m ² .	$f_w \leq 0,5$	0,3 + 1,4·f _w	0,2 + f _w
	$f_w > 0,5$	0,7 + 0,6·f _w	0,15 + 0,85·f _w
Kovový rám výplně otvoru	-	1,8	1,0
Nekovový rám výplně otvoru ⁵⁾	-	1,3	0,9-0,7
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,8	1,2

Tab.č.3. – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U [W/m²K] [03]

Pro ukázkou byl proveden v programu Teplo 2017 EDU výpočet pro stanovení součinitele tepelné vodivosti obvodové stěny tloušťky 740mm. V první variantě je stávající nezateplená stěna a v druhé variantě je tatáž stěna zateplená tepelnou izolací ISOVER N tloušťky 150mm.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017 EDU

Název úlohy : **Obvodová stěna 740mm**

Zpracovatel : Veronika Bartošová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 13.10.2017

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová

Korekce součinitele prostupu dU : 0.050 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	Štuková stěrka	0,0020	0,4900	850,0	1400,0	20,0	0.0000
2	Omítka vápenná	0,0200	0,8700	840,0	1600,0	6,0	0.0000
3	Zdivo CP 1	0,6900	0,8000	900,0	1700,0	8,5	0.0000
4	Omítka vápenná	0,0300	0,8700	840,0	1600,0	6,0	0.0000
5	Štuková stěrka	0,0020	0,4900	850,0	1400,0	20,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.13 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} : 0.25 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.04 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : -13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 21.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} : 60.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	T_{ai} [C]	R_{Hi} [%]	P_i [Pa]	T_e [C]	R_{He} [%]	P_e [Pa]
1	31 744	21.0	44.0	1093.7	-1.7	80.9	429.0
2	28 672	21.0	46.5	1155.8	0.1	80.4	494.4
3	31 744	21.0	49.1	1220.4	4.0	79.1	643.0
4	30 720	21.0	53.8	1337.2	8.7	76.9	864.7
5	31 744	21.0	61.1	1518.7	13.7	73.8	1156.4
6	30 720	21.0	66.9	1662.9	17.0	70.9	1373.1
7	31 744	21.0	69.5	1727.5	18.4	69.4	1468.0
8	31 744	21.0	68.4	1700.1	17.8	70.1	1428.0
9	30 720	21.0	61.4	1526.1	13.9	73.6	1168.3
10	31 744	21.0	54.1	1344.7	8.9	76.8	875.3
11	30 720	21.0	48.9	1215.4	3.9	79.0	637.6
12	31 744	21.0	46.6	1158.3	0.3	80.4	501.7

Poznámka: T_{ai} , R_{Hi} a P_i jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a T_e , R_{He} a P_e jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 0.871 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.961 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.98 / 1.01 / 1.06 / 1.16 W/m²K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Tab.č.4 – Součinitel prostupu tepla obvodové stěny 740mm

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017 EDU

Název úlohy : **Obvodová stěna 740mm zateplená**

Zpracovatel : Veronika Bartošová

Zakázka : Diplomová práce

Datum : 13.10.2017

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová

Korekce součinitele prostupu dU : 0.050 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	Štuková stěrka	0,0020	0,4900	850,0	1400,0	20,0	0.0000
2	Omítka vápenná	0,0200	0,8700	840,0	1600,0	6,0	0.0000
3	Zdivo CP 1	0,6900	0,8000	900,0	1700,0	8,5	0.0000
4	Omítka vápenná	0,0300	0,8700	840,0	1600,0	6,0	0.0000
5	Štuková stěrka	0,0020	0,4900	850,0	1400,0	20,0	0.0000
6	Isover N	0,1500	0,0370	800,0	100,0	1,0	0.0000
7	Štuková stěrka	0,0200	0,4900	850,0	1400,0	20,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.13 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} : 0.25 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.04 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : -13.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 21.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} : 60.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	T_{ai} [C]	R_{Hi} [%]	P_i [Pa]	T_e [C]	R_{He} [%]	P_e [Pa]
1	31 744	21.0	44.0	1093.7	-1.7	80.9	429.0
2	28 672	21.0	46.5	1155.8	0.1	80.4	494.4
3	31 744	21.0	49.1	1220.4	4.0	79.1	643.0
4	30 720	21.0	53.8	1337.2	8.7	76.9	864.7
5	31 744	21.0	61.1	1518.7	13.7	73.8	1156.4
6	30 720	21.0	66.9	1662.9	17.0	70.9	1373.1
7	31 744	21.0	69.5	1727.5	18.4	69.4	1468.0
8	31 744	21.0	68.4	1700.1	17.8	70.1	1428.0
9	30 720	21.0	61.4	1526.1	13.9	73.6	1168.3
10	31 744	21.0	54.1	1344.7	8.9	76.8	875.3
11	30 720	21.0	48.9	1215.4	3.9	79.0	637.6
12	31 744	21.0	46.6	1158.3	0.3	80.4	501.7

Poznámka: T_{ai} , R_{Hi} a P_i jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a T_e , R_{He} a P_e jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 3.953 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.243 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.26 / 0.29 / 0.34 / 0.44 W/m²K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Tab.č.5 – Součinitel prostupu tepla obvodové stěny zateplené

Z výsledků výpočtů je patrné, že izolace 150mm nám dopomůže k dosažení normou požadované hodnoty součinitele prostupu tepla pro obvodové stěny $U = 0,30\text{W/m}^2\text{K}$. Z původní hodnoty $U_1=0,96\text{W/m}^2\text{K}$ jsme se dostali na přijatelných $U_2=0,24\text{W/m}^2\text{K}$. Program odhalil, že izolace tloušťky 100mm není dostačující, hodnota součinitele prostupu tepla byla $U=0,35\text{W/m}^2\text{K}$.

V následující části jsou krátce charakterizovány jednotlivé druhy tepelné izolace. Pod názvem materiálu je uveden rozsah součinitele tepelné vodivosti λ [W/mK]. Čím nižší je jeho hodnota, tím lepší jsou jeho tepelně-izolační vlastnosti.

2.1.1 Expandovaný polystyrén

$\lambda = 0,032-0,034$ W/mK [01]

Pěnový expandovaný polystyren se značí zkratkou EPS. Struktura je z 98% tvořena vzduchem a díky tomu má nízkou tepelnou vodivost. Po výrobě se kvůli své objemové roztažnosti musí nechat odležet několik týdnů a až poté je selektován na požadované desky, pláty a tvarovky. Otevřená struktura v podobně jednotlivých viditelných mnohostěňů podléhá vysoké nasákavosti. Z tohoto důvodu není vhodné tuto izolaci aplikovat do míst s trvale vyšší vlhkostí. Materiál se nesmí setkat s dehty, organickými rozpouštědly a zeminou. Při stlačení více jak o 2% dochází k trvalé deformaci. [01][05]

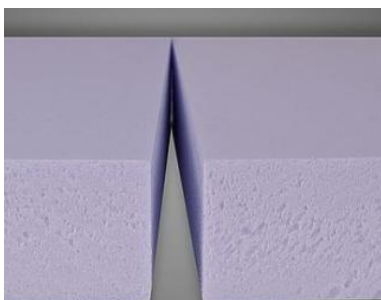


Obr.č.1 – Expandovaný polystyrén [04]

2.1.2 Extrudovaný polystyrén

$\lambda = 0,030-0,038$ W/mK [01]

Struktura tohoto polystyrénu značeného XPS je na rozdíl od předešlého homogenní a tím je méně nasákový a pevnější. XPS se dá použít i jako kročejová a zvuková izolace. Mezi kladné vlastnosti patří pevnost, nízká tepelná vodivost a samozhášivost. Extrudovaný polystyrén nesmí být dlouhodobě vystaven UV záření. [01][06]



Obr.č.2 – Extrudovaný polystyrén[06]

2.1.3 Pěnový polyuretan stříkaný

$\lambda = 0,033 - 0,045 \text{ W/mK}$ [07]

Je jednou z mnoha izolací, která se aplikuje nástřikem a tím dochází k zaplnění veškerých nerovností podkladní konstrukce. Mezi hlavní kladné aspekty patří rychlost vyhotovení, absolutní přilnavost, dokonalé zatěsnění, nízká hmotnost, nízký difúzní odpor, vysoká odolnost a v neposlední řadě neprozvůčnost. Po aplikaci na danou konstrukci dochází k zvětšení jejího objemu až 100krát. Jedná se ekologický, zdravotně nezávadný izolační materiál, který je vhodný i jako hydroizolace. [07]

2.1.4 Celulózová izolace

$\lambda = 0,036 - 0,039 \text{ W/mK}$ [09]

Tepelná izolace se provádí z recyklovaného, rozemletého, rozvlákněného novinového papíru. Pro uchycení na stěnu se do směsi přidá lepidlo. Tato izolace se nanáší čtyřmi způsoby, sypání, foukání, stříkání a v deskách. Vlastnosti izolace jsou ovlivněny jejím zhutněním. Při správném nahutnění je sedavost 0%. Foukaná celulóza nehoří a je nenasákavá. [08] [09]



Obr.č.3 – Foukaná celulózová izolace [08]

2.1.5 Minerální skelná vata

$\lambda = 0,035 - 0,042 \text{ W/mK}$ [01]

Skelná vata se vyrábí z recyklovaného obalového skla. Vata je nehořlavá, difúzně otevřená a odolná vůči škůdcům a houbám. Při manipulaci dochází k uvolňování skelného prachu, je doporučeno použít respirátor a ochranné pomůcky. Izolace slouží jako ochrana proti hluku a je paropropustná. Výrobci nedoporučují používat skelnou vatu v prostorách s vysokou vlhkostí. [01] [11]



Obr.č.4 – Minerální sklená vata [10]

2.1.6 Pěnové sklo

$$\lambda = 0,041 - 0,048 \text{ W/mK [01]}$$

Pěnové sklo je zcela recyklovatelné. Vyrábí se buď z odpadního skla nebo ze speciální směsi. Tento izolant má spoustu kladných vlastností jako nehořlavost, vysoká tlaková únosnost, nenasákavost, dlouhá životnost a odolnost vůči organickým rozpouštědlům. Aplikuje se jako štěrky nebo desky. [12]



Obr.5 – Pěnové sklo [12]

2.1.7 Keramické kamenivo

$$\lambda = 0,08-0,10 \text{ W/mK [14]}$$

Přírodní materiál vyráběný expandováním jílu je skvělým tepelně izolačním materiálem. Tento materiál je pevný, zdravotně nezávadný, trvanlivý, odolává mrazu i ohni. Používá se na zasypaní stropů, střech nebo jako příměs do tepelně-izolačního betonu. [13][14]



Obr.č.6 – Keramické kamenivo [13]

2.1.8 Ovčí vlna

$\lambda = 0,038 - 0,041 \text{ W/mK}$ [15]

Jedná se o zcela přírodní materiál, který se využívá jako výplňová tepelná izolace. Jeho kladnými stránkami jsou dlouholetá životnost, hydroskopičnost, ekologická nezávadnost a především nepodléhá deformaci. Vlna musí projít náročnými úpravami, a to především odstranění nečistot. Tento izolant je hořlavý a podléhá biologickému napadení, šíření hub a plísní. Z ekonomického hlediska se jedná o jednu z nejdražších izolací. [15]



Obr.č.7 – Ovčí vlna [15]

2.2 Výměna výplně otvorů

Výplně stavebních otvorů plní mnoho požadavků např. přístup do objektu, přímé větrání místností, osvětlení přirozeným světlem, únik před požárem. Nás v tomto případě zajímá především jejich těsnost a hodnota součinitele prostupu tepla. Velkým problémem jsou stará dřevěná okna, která časem přijdou o svou schopnost těsnit a dochází k vysoké míře nežádoucí infiltrace. Pro zachování historického rázu budovy doporučuji okna dřevěná.

2.2.1 Izolační dvojsklo

Izolační dvojsklo se skládá ze dvou skleněných tabulí a prostorem mezi nimi vyplněným plynem Argonem. Distanční rámeček mezi skly určuje velikost dutiny. Průměrný tepelný prostup celým oknem je $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. [16][17]



Obr.č.8 – Izolační dvojsklo [16]

2.2.2 Izolační trojsklo

Izolační trojsklo se od předešlého zasklení liší pouze v počtu tabulí, jak název napovídá, jsou zde tři tabule. Dutiny se vyplňují plynem Argonem a jejich velikost je závislá na distančním rámečku. U izolačního trojskla lze dosáhnout hodnoty součinitele prostupu tepla až $U=0,5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Trojskla mají nejvyšší odolnost rosení. Pořizovací cena je vyšší než u předešlé varianty. [17][18]



Obr.č.9 – Izolační trojsklo [18]

2.3 Zateplení základů

Vzhledem ke stáří školní budovy se dá předpokládat, že základová konstrukce je tvořena pískovcovými bloky nebo byl použit beton litý rovnou do výkopů. Obě varianty mají velmi nerovný povrch a tudíž je velmi obtížné a možná i nemožné je dodatečně zateplit. Použitý materiál na základy není znám z původní dokumentace, proto je zapotřebí provést průzkum přímo u objektu.

Dodatečné zateplení základů by bylo možné v případě, že základy byly konstruovány pomocí ztraceného bednění např. v podobě betonových tvárnic. V případě, že konstrukce je vhodná, bude vytěžena zemina v okolí základové konstrukce do hloubky 80cm, izolace bude lepena na základy a nejlépe tažena po stěně až do výšky soklu.

3 Energie z obnovitelných zdrojů

Obnovitelné zdroje mají schopnost se úplně nebo jen částečně regenerovat. Jedná se především o energii slunečního záření, vody, větru, geotermální a energii obsaženou v biomase. Přeměna těchto energií má minimální dopad na životní prostředí. Vedle výhod má využívání ekologicky šetrných zdrojů i nevýhody. Mezi ně patří vysoké pořizovací náklady, potřeba větší plochy pro zařízení a nerovnoměrnost výroby energie. V této části studie jsou vypsány vhodné obnovitelné zdroje a zařízení pro přeměnu jejich energie pro daný objekt základní školy. [19] [20]

3.1 Solární kolektory

Solární kolektory zachycují sluneční paprsky a transformují je na teplo. Povrch kolektorů musí být pro efektivnost z takového materiálu, který dokáže pohltit co nejvíce slunečních paprsků. Absorpční vrstva je propojena s potrubím, ve kterém koluje teplotnosné medium. Základním kritériem pro dělení, je druh teplotnosné látky a tou je buď kapalina, nebo vzduch. [21]

Potenciál jejich využití je nejvyšší v období od dubna do října, což činí 75% z roční intenzity. [22]



Obr.č.10 – Solární kolektor [24]

3.2 Plochý zasklený kolektor

Zachycuje sluneční energii a přeměňuje ji na teplo, které dále předává pomocí teplotnosné látky. Hlavní výhodou jsou nízké tepelné ztráty a to především kvůli použití selektivní vrstvy a tepelné izolace. Tento kolektor se dá využívat celý rok a z toho důvodu je teplotnosnou látkou nemrznoucí směs. [23] [24]

3.3 Trubicový vakuový kolektor

Vakuum snižuje tepelné ztráty na minimum a tím zajišťuje vyšší účinnost. V tomto případě je nutné odebírat přebytečné teplo nebo předcházet přehřívání kolektoru zakrytím. Je vhodný pro celoroční využití. Pořizovací cena je vyšší než u předešlého adepta, ale zároveň nám tento kolektor poskytuje vyšší efektivnost přeměny. Potenciál využití těchto dvou kolektorů je nejvyšší v období od dubna do října, což činí 75% z roční intenzity. [24][25]

3.4 Fotovoltaické solární panely

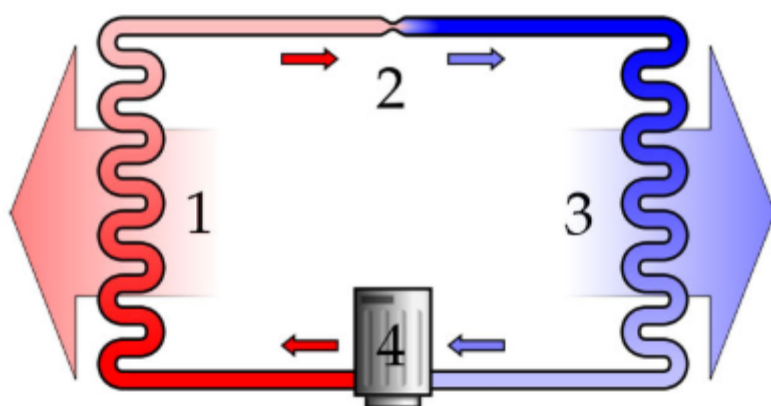
Fotovoltaická zařízení umožňují přeměnu sluneční energie na energii elektrickou. Částice světla zvané fotony při dopadu na článek svou energií tzv. vyráží elektrony. Struktura článku je z polovodiče a zajišťuje uspořádaný pohyb elektronů. Výsledkem je stejnosměrný elektrický proud. Ideální nasměrování panelů je jih nebo západ. [26][27]



Obr.č.11 – Fotovoltaický solární panel [27]

3.5 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla využívají teplo z okolního prostředí, které následně převede na vyšší teplotní hladinu a tím zajistí jeho využití pro ohřev vody a vytápění. Tepelné čerpadlo se skládá ze čtyř základních komponentů: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Čerpadla potřebují určité množství energie pro přenos odejmutého tepla. Účinnost jednotlivých tepelných čerpadel nám určuje tzv. topný faktor. Jejich efektivnost je ovlivňována okolním prostředím. [28] [29]



Princip tepelného čerpadla :

- | | |
|--------------------|--------------|
| 1. kondenzátor | 3. výparník |
| 2. expanzní ventil | 4. kompresor |

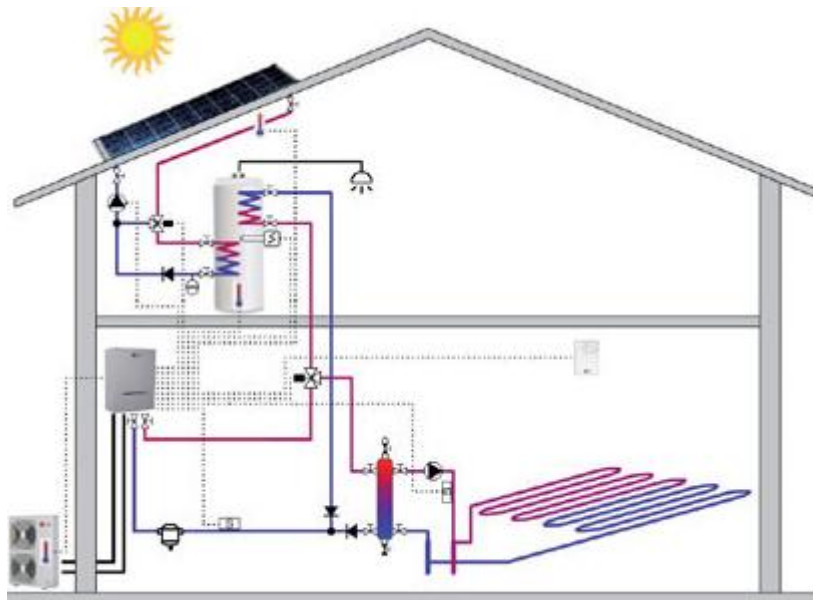
Obr.č.12 – Princip tepelného čerpadla[28]

Cyklus tepelného čerpadla se dělí na čtyři fáze

- Vypařování – Chladivo ve výparníku odebírá teplo z okolního prostředí a tím se chladivo zahřívá a následně odpařuje.
- Komprese – Plynné chladivo se v kompresoru prudce stlačí a tím se zvýší jeho teplota na cca 80°C.
- Kondenzace – Ohřáté plynné chladivo putuje do výměníku, kde předá teplo otopné vodě. Tím dojde ke snížení teploty chladiva a k jeho kondenzaci.
- Expanze – Chladivo projede expanzním ventilem. [28]

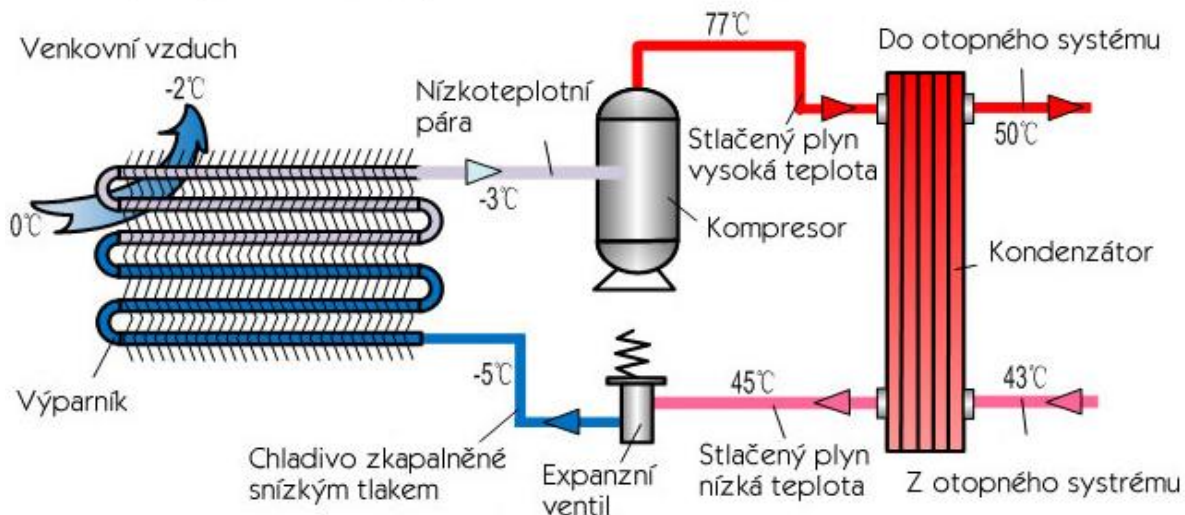
V případě použití tepelných čerpadel v objektu základní školy je vhodné pro zachování efektivity přejít na nízkoteplotní otopnou soustavu s podlahovým nebo stěnovým vytápěním. Doporučuji bivalentní zapojení s doprovodným plynovým kondenzačním kotlem. [30]

3.5.1 Vzduch – voda



Obr.č.13 – Tepelné čerpadlo vzduch-voda - použití [31]

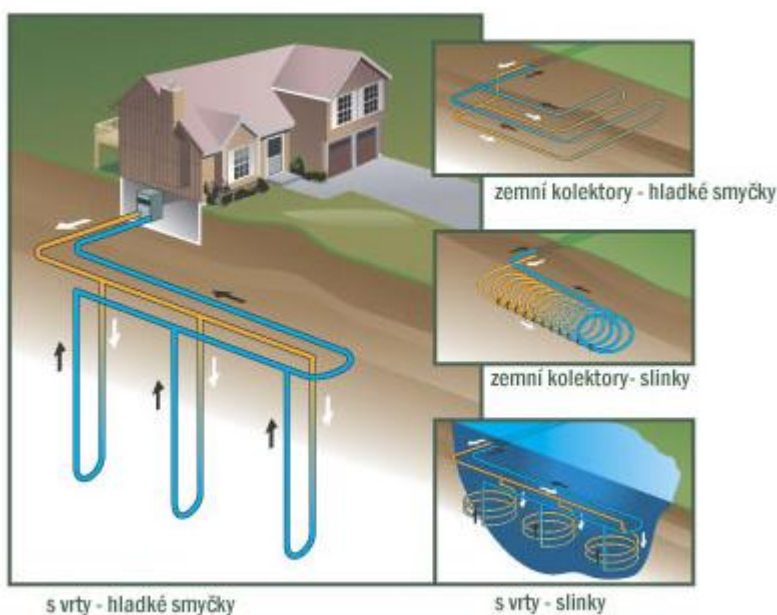
Jako zdroj tepla můžeme využívat jak odpadní vzduch, tak vzduch venkovní. Pro pokrytí větších tepelných ztrát je možné zapojit čerpadla do kaskády. Provádí se tři základní varianty a to kompaktní venkovní jednotka, kompaktní vnitřní jednotka a samostatná jednotka venkovní a vnitřní. Princip tepelného čerpadla vzduch – voda je znázorněn na obrázku 13. [29][31]



Obr.č.14 – Princip tepelného čerpadla vzduch-voda [31]

Největší výhodou těchto čerpadel je jejich jednoduchost instalace a nižší pořizovací náklady. Nevýhodou je v porovnání s ostatními nejnižší topný faktor.[31]

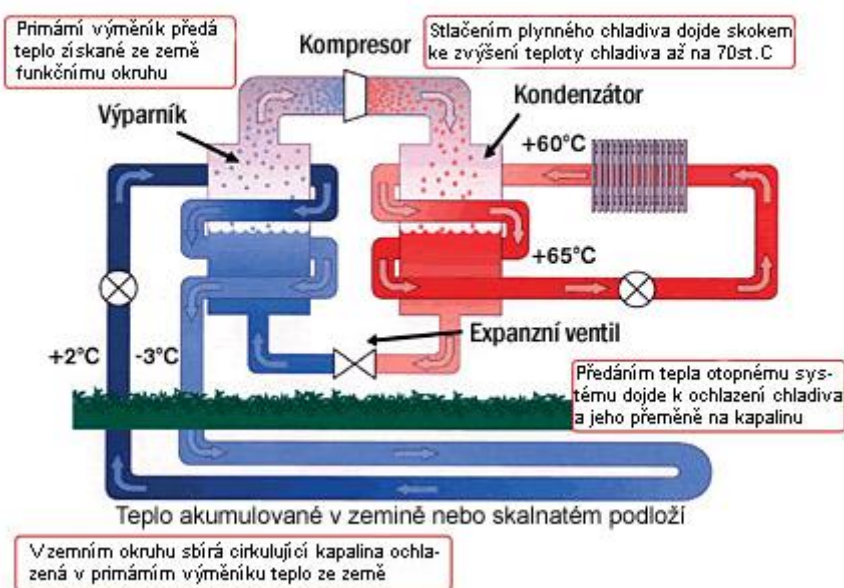
3.5.2 Země – voda



Obr.č.15 – Tepelné čerpadlo země-voda - použití

Teplo je odebíráno z půdy nebo skalního podloží za pomoci proudící kapaliny v potrubí. Následně je kapalina čerpadlem přepravena do výměníku u výparníku, kde předá získané teplo funkčnímu médium v okruhu tepelného čerpadla a zchlazená se vrací zpět do podzemní části. Médium pokračuje dále dle klasického principu tepelného čerpadla. [29][32]

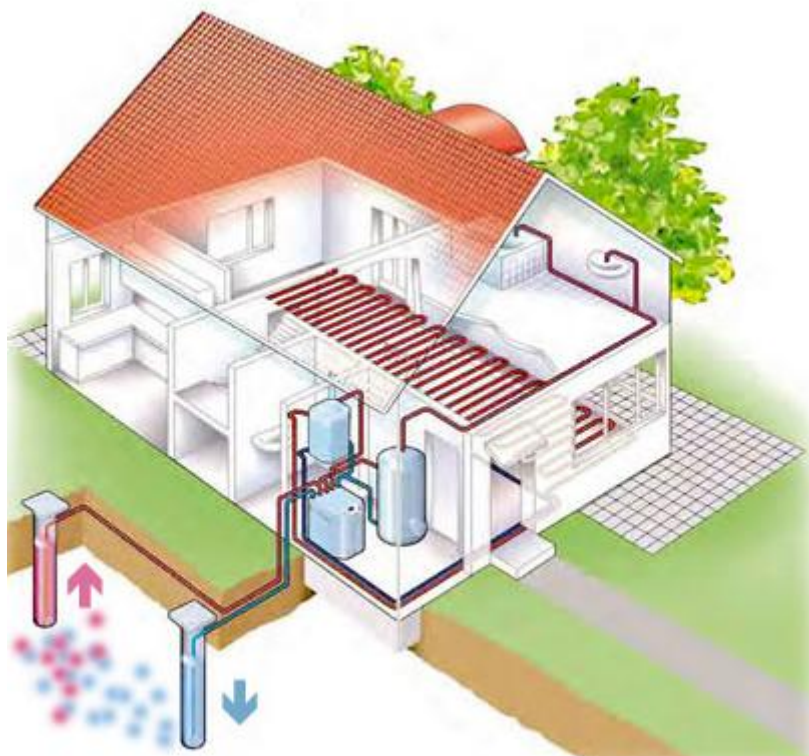
Princip tepelného čerpadla země - voda



Obr.č.16 – Princip tepelného čerpadla země-voda [32]

Mezi ostatními čerpadly dosahuje tepelné čerpadlo země-voda vyšších průměrných hodnot topného faktoru. Jeho nízké provozní náklady zajišťují krátkou dobu návratnosti investice. Velkou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, potřeba odpovídající plochy a pracnost se zabudováním podzemní části. [32]

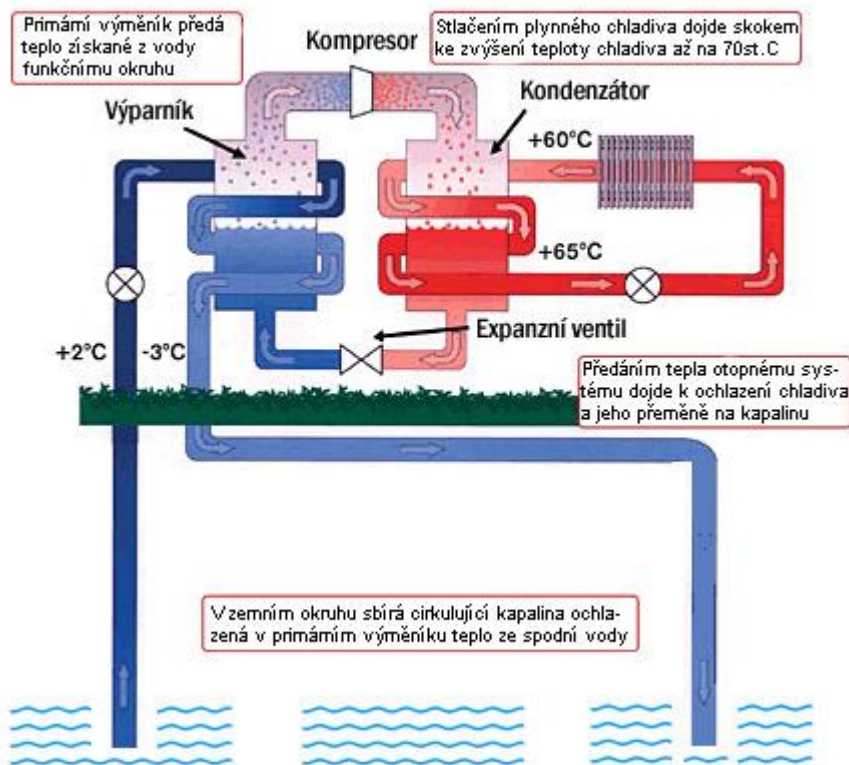
3.5.3 Voda – voda



Obr.č.17 – Tepelné čerpadlo voda-voda - použití

Voda proudící v potrubí odebírá teplo přilehlé podzemní vody ve studni. Čerpadlo následně žene ohřátou vodu do výměníku u výparníku, kde předá získané teplo oběžné vodě v okruhu tepelného čerpadla. Tím dojde k jejímu ochlazení a putování zpět do podzemí. Oběhová voda pokračuje dle principu uvedeného v popisu principu tepelného čerpadla. [29][33]

Princip tepelného čerpadla voda - voda



Obr.č.18 – Princip tepelného čerpadla voda-voda [33]

Největší výhodou tohoto principu je jeho nezávislost. Potřeba přidané elektrické energie na provoz je nejnižší. Je zcela schopný pokrýt tepelné ztráty objektu bez nutnosti použití doprovázejícího zdroje tepla. Jeho topný faktor je ve srovnání s ostatními druhy čerpadel nejvyšší. Mezi nevýhody se řadí pracnost s vybudováním studny, pořizovací náklady a potřeba odpovídající plochy pro studnu.[33]

4 Závěr

Pro snížení energetické náročnosti dané školní budovy by bylo vhodné několik variant a jejich případná kombinace. Největší tepelné ztráty nám v tomto případě vznikají snahou přirozeným větráním dodržet požadavky na hygienickou výměnu vzduchu. Největší úspory tedy dosáhneme zabudováním vzduchotechnické jednotky s rekuperací. Tímto snížíme požadavek na výkony jednotlivých těles. Následně vznikne problém s předimenzováním těles, který se dá řešit snížením teploty otopné vody např. na 40/30°C.

Jako vhodné stavební úpravy sledávám výměnu oken a zateplení fasády. Dodatečně zateplit je možno jižní, východní a západní fasádu. Severní fasáda obsahuje historické zdobné prvky, které je nutné zachovat.

V případě, že se investor rozhodne snížit náklady pro provoz objektu, doporučuji vypracovat studii proveditelnosti jednotlivých variant. Při výběru je vhodné porovnat náklady na pořízení a aplikaci, návratnost, rozlehlost stavebních úprav, časový plán na realizaci a vliv na životní prostředí.

Seznam obrázku

- Obr.č.1 – Expandovaný polystyrén
- Obr.č.2 – Extrudovaný polystyrén
- Obr.č.3 – Foukaná celulózová izolace
- Obr.č.4 – Minerální sklená vata
- Obr.č.5 – Pěnové sklo
- Obr.č.6 – Keramické kamenivo
- Obr.č.7 – Ovčí vlna
- Obr.č.8 – Izolační dvojsklo
- Obr.č.9 – Izolační trojsklo
- Obr.č.10 – Solární kolektor
- Obr.č.11 – Fotovoltaický solární panel
- Obr.č.12 – Princip tepelného čerpadla
- Obr.č.13 – Tepelné čerpadlo vzduch-voda použití
- Obr.č.14 – Princip tepelného čerpadla vzduch-voda
- Obr.č.15 – Tepelné čerpadlo země-voda použití
- Obr.č.16 – Princip tepelného čerpadla země-voda
- Obr.č.17 – Tepelné čerpadlo voda-voda použití
- Obr.č.18 – Princip tepelného čerpadla voda-voda

Seznam tabulek

- Tab.č.1 – Procentuální vyjádření úniku tepla prvky budovy
- Tab.č.2 – Rozsah součinitele prostupu tepla daného objektu
- Tab.č.3 – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U [W/m^2K]
- Tab.č.4 – Součinitel prostupu tepla obvodové stěny 740mm
- Tab.č.5 – Součinitel prostupu tepla obvodové stěny zateplené

Citace

- [1] SVOBOD, Luboš a kolektiv. Stavební hmoty. 2. Bratislava: Jaga group, 2007

- ISBN 978-80-8076-057-1.
- [2] Úspory energie a alternativy k běžným palivům [online]. © 2014 Arnika, [cit. 2017-8-11]
Dostupné z: <http://arnika.org/uspory-energie-a-alternativy-k-beznym-palivum>
- [3] Normové hodnoty součinitele prostupu tepla [online]. Zdroj: Tzb-info [cit. 2018-05-18]
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [4] Pěnový expandovaný polystyrén [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/?nid=20692-penovy-polystyren-nejpouzivanejsi-tepelna-izolace.html#.WvswBYiFNPY>
- [5] Pěnový expandovaný polystyrén [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8482-vlastnosti-expandovaneho-penoveho-polystyrenu-eps>
- [6] Pěnový extrudovaný polystyrén [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/?nid=20692-penovy-polystyren-nejpouzivanejsi-tepelna-izolace.html#.WvxLUExuKhd>
- [7] PUR izolace [online]. Zdroj: Pur [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.pur.cz/produkt/tepelne-a-zvukove-izolacni-system-pur-izolace-soft/>
- [8] Foukaná celulósová izolace [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/katalog/foukana-a-sypka-izolace/materialy-na-bazi-papiru-a-celulozy/enroll/740728-foukana-celulozova-izolace-tempelan-p.html>
- [9] Foukaná ekologická tepelná a akustická celulósová izolace [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20] Dostupné z: http://www.enroll.cz/cs/ceska-izolace_foukana-ekologicka-tepelna-a-akusticka-celulozova-izolace/
- [10] Skelná vata [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/katalog/vlaknite-izolace/skelna-vata/rotaflex/1365107-viceucelova-izolacni-deska-rotaflex-uni-p.html>
- [11] Sklená vata [online]. Zdroj: Topinfo s.r.o. [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: text <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>
- [12] Pěnové sklo [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/katalog/penove-sklo/foamglas/735083-izolacni-deska-z-penoveho-skla-foamglas-f-p.html>
- [13] Keramické kamenivo [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]

- Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/foukana-a-sypka-izolace/mineralni-granulaty/lias/741458-tepelne-izolacni-keramicke-kamenivo-liapor-p.html>
- [14] Kamenivo pro stavební účely [online]. Zdroj: Liapor [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <http://www.liapor.cz/produkty/kamenivo/pro-stavebni-ucely/>
- [15] Izolace z ovčí vlny [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/izolace-z-prirodnich-materialu/izolace-z-ovci-vlny/naturwool/1346962-izolace-z-ovcni-vlny-a500-naturwool-p.html>
- [16] Izolační dvojsklo [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <http://www.oknotherm.cz/izolacni-skla/>
- [17] Zasklení a jeho vlastnosti [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.okna.eu/vlastnosti-zaskleni>
- [18] Izolační trojsklo [online]. Zdroj: Izolace-info [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <http://www.oknamontplast.cz/izolacni-trojsklo>
- [19] BELICA, P. 2006, *Průvodce energetickými úsporami a obnovitelnými zdroji energie*, Regionální energetické centrum ve spolupráci s TG Tisk, Valašské Meziříčí. ISBN 80-903680-1-8.
- [20] QUASCHNING, V. 2010, *Obnovitelné zdroje energií*, Grada, Praha. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [21] Solární kolektor [online]. Zdroj: Viessmann [cit. 2018-04-20]
Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/solarni-kolektor-princip.html>
- [22] Informace o potencionálu OZE v ČR [Online]. Zdroj: Asociace pro využití obnovitelných zdrojů energie [cit. 2017-02-25].
Dostupné z: <http://www.3zemi.cz/docs/energiepotencial2050.pdf>
- [23] Solární vytápění [Online]. Zdroj: Topinfo s.r.o. [cit. 2018-04-20].
Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/142-solarni-vytapeni>
- [24] Typy solárních kolektorů [Online]. Zdroj: Topinfo s.r.o. [cit. 2017-02-19].
Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [25] Informace o potencionálu OZE v ČR [Online]. Zdroj: Asociace pro využití obnovitelných zdrojů energie [cit. 2018-04-20].
Dostupné z: <http://www.3zemi.cz/docs/energiepotencial2050.pdf>
- [26] LIBRA, M. a POULEK, V. 2009, *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*, Ilsa, Praha. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [27] Fotovoltaické solární panely [Online]. Zdroj: Solární panely. [cit. 2018-04-20].
Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/fotovoltaicke-panely/fotovoltaicky-solarni-panel-bosch-m60-270wp>
- [28] Tepelná čerpadla [Online]. Zdroj: Topenáři EKOMPLEX. [cit. 2017-04-20].
Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla.php>

- [29] PETRÁK, J.; PETRÁK, M. 2004, *Tepelná čerpadla*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, ISBN 80-01-03126-8
- [30] PETRÁŠ, D. a kol. 2008, *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*, Jaga, Bratislava. ISBN 978-80-8076-069-4
- [31] Tepelné čerpadlo vzduch-voda [Online]. Zdroj: Topenáři EKOMPLEX. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/vzduch-voda.php>
- [32] Tepelné čerpadlo země-voda [Online]. Zdroj: Topenáři EKOMPLEX. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/zeme-voda.php>
- [33] Tepelné čerpadlo voda-voda [Online]. Zdroj: Topenáři EKOMPLEX. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/voda-voda.php>