

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
Katedra měření



Energetická náročnost budovy střední školy

Energy Performance of High School Building

Diplomová práce

Studijní program: Inteligentní budovy

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

Bc. Lucie Kašpárková
Praha 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Energetická náročnost budovy střední školy“ vypracovala samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne.....

.....

Podpis

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kašpárková** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **458523**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Energetická náročnost budovy střední školy

Název diplomové práce anglicky:

Energy Performance of High School Building

Pokyny pro vypracování:

Spočítejte energetickou náročnost zadané budovy střední školy. Vypracujte průkaz energetické náročnosti. Navrhněte opatření pro snížení spotřeby primární neobnovitelné energie. Navrhněte vhodný energetický systém pro vytápění a přípravu teplé vody. Navrhněte fotovoltaický systém vhodný pro zadanou budovu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Staněk, K.: Fotovoltaika pro budovy. ČVUT v Praze, Grada 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
- [2] Vyhláška 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov (aktuální znění 1/2020)
- [3] Chen C. Julian: Physics of Solar Energy. John Wiley & Sons 2011. ISBN:9781118172841.
- [4] Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní - sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D., katedra technických zařízení budov FSv

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

Datum zadání diplomové práce: **04.02.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.05.2020**

Platnost zadání diplomové práce:

do konce letního semestru 2020/2021

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za jeho cenné rady a připomínky.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na snižování spotřeby primární neobnovitelné energie a vyšší míru využívání obnovitelných zdrojů energie pro školní budovy v České republice. Práce obsahuje návrh fotovoltaického systému, systému vytápění, návrh zdroje tepla pro vytápění a návrh systému pro přípravu teplé vody. Tato práce rovněž obsahuje teoretický základ k navrhovaným systémům a obnovitelným zdrojům energie.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, energetická náročnost, fotovoltaika, vytápění, tepelné čerpadlo, příprava teplé vody.

Abstract

This diploma thesis focuses on reduction of the consumption of primary non-renewable energy and a higher rate of use of renewable energy sources for school buildings in the Czech Republic. This thesis contains the design of a photovoltaic system, heating system, design of a heat source and design of a system for hot water preparation. This thesis contains a theoretical basis for the proposed systems and renewable energy sources.

Keywords

Renewable energy sources, energy performance, photovoltaics, heating, heat pump, hot water preparation.

Obsah

Seznam symbolů	1
Seznam zkratk	1
Úvod	2
1. Objekt.....	3
1.1. Popis objektu.....	3
1.2. Situace objektu.....	3
1.3. Klimatická data.....	4
1.4. Architektonicky-stavební řešení.....	4
1.5. Provedené úpravy	5
2. Energetická náročnost budovy.....	5
2.1. Průkaz energetické náročnosti budovy – teoretický základ.....	5
2.2. Energetická náročnost budovy, 78/2013 Sb.	6
2.3. Primární energie.....	7
2.4. Součinitel prostupu tepla spotřeba energie	7
3. Výpočet energetické náročnosti – SZŠ a SOŠ Poděbrady.....	8
3.1. Tepelné ztráty	8
3.2. Průkaz energetické náročnosti budovy	10
4. Opatření pro snížení potřeby primární neobnovitelné energie.....	12
4.1. Opatření provedená	12
4.2. Opatření navrhovaná	12
5. Zdroje energie	14
5.1. Druhy energie.....	14
5.2. Energie v České republice	14
5.3. Neobnovitelné zdroje energie.....	15
5.4. Obnovitelné zdroje energie.....	16
5.5. Vodní energie	16
5.6. Větrné elektrárny	19
5.7. Energie biomasy	20
5.8. Geotermální energie	20
6. Tepelná čerpadla.....	23
6.1. Princip	24
6.2. Topný faktor	25
6.3. Volba tepelného čerpadla.....	25
7. Solární energie	26
7.1. Solární konstanta	26

7.2.	Energie ze slunce.....	27
7.3.	Princip fotovoltaické přeměny energie.....	27
7.4.	Konstrukce a výroba fotovoltaických panelů.....	30
7.5.	Účinnost a výkon panelů.....	32
7.6.	Oboustranné panely.....	32
7.7.	Ostrovní a síťové fotovoltaické systémy.....	33
7.8.	Poloha solárních panelů.....	33
7.9.	Stavebně integrované instalace s provětrávanou mezerou.....	34
7.10.	Instalace panelů na plochých střechách.....	35
8.	Návrh fotovoltaického systému.....	36
8.1.	Roční spotřeba elektrické energie.....	36
8.2.	Profil spotřeby.....	38
8.3.	Systém 1.....	39
8.4.	Systém 2.....	40
8.5.	Systém 3.....	40
8.6.	Systém 4.....	41
8.7.	Srovnání systémů.....	42
8.8.	Specifika systému 4.....	43
9.	Teplodvodní otopné soustavy - teoreticky.....	46
9.1.	Postup návrhu otopné soustavy.....	46
9.2.	Prostorové uspořádání otopné soustavy.....	46
9.3.	Způsob vzájemného propojení otopných těles.....	46
9.4.	Umístění ležatého rozvodu.....	48
9.5.	Vedení hlavního rozvodu.....	48
9.6.	Teplotní charakteristika soustavy.....	48
9.7.	Oběh vody v otopné soustavě.....	49
9.8.	Materiál rozvodu.....	49
10.	Příprava teplé vody - teoreticky.....	49
10.1.	Kvalita teplé vody.....	49
10.2.	Úprava teplé vody.....	49
10.3.	Legionella.....	50
10.4.	Návrh zařízení pro přípravu teplé vody.....	50
10.5.	Způsob přípravy teplé vody.....	51
10.6.	Příprava teplé vody pro více uživatelů.....	51
11.	Praktický návrh otopné soustavy.....	52
11.1.	Vodní otopná soustava.....	52

11.2.	Prostorové uspořádání soustavy.....	52
11.3.	Teplotní parametry	53
11.4.	Oběh vody a materiál rozvodu.....	53
11.5.	Výpočet tepelných ztrát.....	53
11.6.	Návrh zdroje tepla.....	56
12.	Návrh zařízení pro přípravu teplé vody.....	57
12.1.	Výpočet potřeby teplé vody.....	57
12.2.	Energetický požadavek na zdroj tepla.....	59
12.3.	Výběr zdroje pro přípravu teplé vody	60
12.4.	Rozvody vody	61
13.	Závěr.....	62
	Použitá literatura.....	64
	Seznam obrázků	66
	Seznam tabulek.....	67
	Seznam příloh.....	67
	Výkresy	67
	Výpočty	67

Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
U	Součinitel prostupu tepla	W/m ² K
U _{em}	Průměrný součinitel prostupu tepla	W/m ² K
U _N	Normový součinitel prostupu tepla	W/m ² K
U _{N,20}	Požadovaný maximální součinitel prostupu tepla	W/m ² K
U _{rec,20}	Maximální doporučená hodnota součinitele prostupu tepla	W/m ² K
U _{pas,20}	Maximální doporučený součinitel prostupu tepla pro pasivní domy	W/m ² K
T	Termodynamická teplota	K

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PV	Polovodič
FV	Fotovoltaický
EPS	Pěnový polystyren
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
COP	Topný faktor
SCOP	Sezónní topný faktor
PP	Podzemní podlaží
NP	Nadzemní podlaží

Úvod

Vzhledem k rostoucí závislosti na fosilních palivech a nepříznivým důsledkům klimatických změn je v současnosti kladen čím dál větší důraz na využívání obnovitelných zdrojů energie. Ty jsou šetrné k životnímu prostředí a produkují méně škodlivých látek než paliva fosilní. Používání fosilních paliv má mnoho negativních dopadů nejen na životní prostředí, ale i na zdraví lidí. Nadměrné využívání fosilních paliv lze vidět ve městech v podobě smogu. Každoročně vlivem znečištěného ovzduší zemře či onemocní statisíce lidí. Je tedy třeba snížit závislost na fosilních palivech a zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie na konečné spotřebě energie. Mezi fosilními palivy se však najdou i výjimky, které životnímu prostředí škodí v menší míře. Jde například o zemní plyn, který je považován za velmi šetrné palivo. Jeho zásoby však nejsou bezendné a zemní plyn jednou na planetě dojde. Proto vysoká závislost na vcelku ekologickém zemním plynu není zcela vhodná a je třeba se více zaměřovat na zdroje energie, které jsou schopny se v relativně krátké době obnovit. Mezi tyto zdroje patří například energie větru, vody, biomasy, geotermální energie a solární energie.

Existuje mnoho možností využití těchto obnovitelných zdrojů energie. Pro samostatné budovy lze například využít solární energii pomocí fotovoltaických panelů umístěných na střeše budovy, které mohou nahradit část potřeby elektrické energie a tím i snížit odběr z elektrické sítě. Další možností využití OZE v jednotlivých budovách je pro vytápění, například příprava tepla pomocí tepelných čerpadel. Energie větru a vody má více možností využití pro výrobu elektrické energie přímo do sítě.

Pro svou práci jsem si vybrala budovu střední školy, kde lze aplikovat OZE podobně, jako u budov určených k bydlení. Profil spotřeby energie zde však bude rozdílný. V této práci budu navrhovat obnovitelné zdroje pro výrobu elektrické energie v podobě fotovoltaické elektrárny umístěné na nevyužívané ploché střeše budovy a pro zajištění dodávky tepla pro vytápění v podobě tepelného čerpadla.

1. Objekt

1.1. Popis objektu

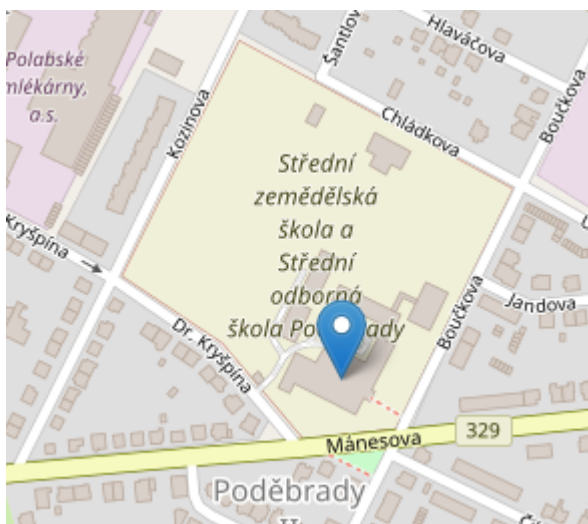
Jde o objekt využívaný. Střední zemědělskou školou a Střední odbornou školou Poděbrady. Tento objekt se nachází ve městě Poděbrady, okres Nymburk, konkrétně na adrese Boučkova 355, 290 40 Poděbrady. Objekt leží na pozemku vymezeném ulicemi Boučkova, Mánesova, Dr. Kryšpína, Kozinova a Chládkova. Přístup do objektu je z ulice Boučkova. Na pozemku se nachází další objekty, například objekt domova mládeže a objekt jídelny, které jsou s hlavním objektem propojeny chodbami. V této práci bude řešen pouze hlavní objekt SZŠ a SOŠ. Tato hlavní budova má 1 podzemní a 3 nadzemní podlaží, z nichž poslední podlaží tvoří věž, ve které je umístěn archiv. Budova má plochou střechu, na kterou je přístup z věže. [1]



Obrázek 1 - Hlavní budova SZŠ a SOŠ [5]

1.2. Situace objektu

Objekt se nachází na severu města Poděbrady. Obvodová stěna, ve které se nachází hlavní vchod je situován jihovýchodně.



Obrázek 2-Situace objektu [2]

1.3. Klimatická data

Průměrná vnitřní teplota objektu je 20°C. Hodnoty klimatických dat jsou zobrazeny na obrázku 3.

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška h [m]	Venkovní výpočtová teplota t_e [°C]	Otopné období pro					
			$t_{em}=12^\circ$		$t_{em}=13^\circ$		$t_{em}=15^\circ$	
			t_{es} [°C]	d [dny]	t_{es} [°C]	d [dny]	t_{es} [°C]	d [dny]
Nymburk (Poděbrady)	186	-12v	3,8	217	4,2	228	5,5	262

Obrázek 3 - Klimatická data pro oblast Nymburk [3]

1.4. Architektonicky-stavební řešení

Jelikož jde o funkcionalistickou výstavbu z období první republiky, nelze předpokládat moderní zateplovací techniky. Celý objekt je postaven z cihelného zdiva, stropy jsou železobetonové. Střecha objektu je plochá s atikami a žlaby. Konstrukční výška v podzemním podlaží je 3,45 m, v nadzemních podlažích je to pak 4,45 m. Hlavní vchod se nachází na jihovýchodní straně objektu. Od vchodu je přes schodiště přístup do velké haly, na kterou navazují administrativní prostory školy. Ve dvou křídlech se nachází učebny, kabinety a přípravný. [1]

Schodiště od hlavního vstupu pak dále pokračuje do 1. nadzemního podlaží. Toto podlaží je propojeno se všemi dalšími podlažími pomocí bočního a hlavního schodiště. V 1. nadzemním podlaží jsou v hale umístěny šatny. V pravém křídle se pak nachází učebny, kabinety a přípravný,

dále je zde umístěn sklad, tělocvična, posilovna a učebny praktické výuky. Ve 2. nadzemním podlaží je umístěno hygienické zařízení pro žáky a učitele, dále se pak zde nachází sborovna, laboratoř biologie a učebny s kabinety. V tomto podlaží se nachází točité schodiště, které propojuje toto podlaží s věží, ve které je umístěn sklad. V 1. podzemním podlaží se nachází sklady a prostory kotelny. [1]

1.5. Provedené úpravy

Bylo provedeno zateplení objektu, při kterém bylo respektováno původní členění oken a plastičnost fasády. Dále proběhla výměna výplní otvorů. Nová okna jsou stejného pohledového členění, jako okna původní. Okna jsou trojskelná se součinitelem prostupu tepla o maximální hodnotě 0,9 W/m²K. Dveře v obvodové konstrukci byly vyměněny za dveře s maximální hodnotou součinitele prostupu tepla 1,2 W/m²K. Pro zachování historického rázu budovy byly hlavní vchodové dveře pouze repasovány. Vnější povrchy ostění, které jsou zaoblené zůstaly i po zateplení zaoblené se stejným poloměrem, jako byl původní. Při těchto úpravách se nemění využití a provoz budovy. [1]

Fasáda byla zateplena kontaktním zateplovacím systémem ETICS, ve kterém tepelnou izolaci tvoří šedý polystyren o tloušťce 120-180 mm, tato tloušťka se odvíjí od stávající konstrukce. Fasáda byla do výšky 300 mm nad terén zateplena pomocí XPS, stejně tak fasáda pod úrovní terénu. Společně s fasádou byla zateplena i část podhledu pomocí minerální vaty. [1]

Plochá střecha byla zateplena shora pomocí tepelné izolace EPS 150S o tloušťce 260 mm. Izolace byla pokládána ve dvou vrstvách tak, aby se eliminoval vliv tepelného mostu spárami. Na izolační vrstvu byla poté provedena nová hydroizolace. [1]

2. Energetická náročnost budovy

2.1. Průkaz energetické náročnosti budovy – teoretický základ

Průkaz energetické náročnosti budovy, zkráceně PENB je dokument, který v sobě shrnuje dané informace o energetické náročnosti celé budovy, nebo její ucelené části. PENB je nástroj pro prokázání splnění podmínek platné prováděcí vyhlášky, současně jde o vyhlášku 78/2013 Sb. pro rekonstrukce, klasifikaci stávajících budov, které jsou majetkem státu a budov, které budou sloužit pro pronájem či k prodeji. Povinnost zpracování PENB udává zákon o hospodaření energií 406/2000 Sb. Tato práce je psána v souladu s vyhláškou 78/2013 Sb. a zákonem o hospodaření energií 406/2000 Sb. v jejich znění v době zadání této práce, tedy únor 2020. V blízké budoucnosti je plánována jejich úprava. [6]

2.2. Energetická náročnost budovy, 78/2013 Sb.

Energetická náročnost budovy je definována pomocí číselné hodnoty spotřeby energie ve $W/(m^2 \cdot \text{Rok})$, hodnoty spotřeby neobnovitelné primární energie a průměrným součinitelem prostupu tepla U_{em} . Vypočtené hodnoty pro konkrétní budovu se pak srovnávají s budovou referenční, jejíž vlastnosti definuje vyhláška 78/2013 Sb. Referenční budova je zde definována takto: „referenční budovou výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejich konstrukcí a technických systémů budovy“.[4]

Dle vyhlášky 78/2013 Sb. existuje několik ukazatelů energetické náročnosti budovy. Jsou to:

- a) celková primární energie za rok,
- b) neobnovitelná primární energie za rok,
- c) celková dodaná energie za rok,
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla,
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- g) účinnost technických systémů.

Pro srovnání se ukazatele energetické náročnosti budovy zařazují do klasifikačních tříd, které jsou určeny horní hranicí těchto ukazatelů. Tyto klasifikační třídy jsou definovány v následující tabulce (tabulka 1), kde hodnota E_R odpovídá hodnotám referenční budovy. [4]

Tabulka 1- Stupnice klasifikačních tříd [4]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U_{em}	
A	$0,5 \times E_R$	$0,65 \times E_R$	Mimořádně úsporná
B	$0,75 \times E_R$	$0,8 \times E_R$	Velmi úsporná
C	E_R		Úsporná
D	$1,5 \times E_R$		Méně úsporná
E	$2 \times E_R$		Nehospodárná
F	$2,5 \times E_R$		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

2.3. Primární energie

Jedním z ukazatelů energetické náročnosti budovy je celková spotřeba primární energie za rok. Primární energií rozumíme energii, která neprošla žádným procesem přeměny. Celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie. [4]

Faktorem neobnovitelné primární energie je koeficient, kterým se násobí jednotlivé složky dodávané energie po jednotlivých energonositelích tak, abychom získali odpovídající množství neobnovitelné primární energie. Energonositel je hmota nebo jev, které se dají použít pro výrobu mechanické práce, tepla nebo pro ovládnání chemických nebo fyzikálních procesů. [4]

Typ spotřeby	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Vytápění	1,1
Chlazení	3,0
Příprava teplé vody	1,1
Úprava vlhkosti vzduchu	3,0
Mechanické větrání	3,0
Osvětlení	3,0
Pomocné energie (čerpadla, regulace apod.)	3,0

Obrázek 4 - Faktor neobnovitelné primární energie pro Referenční budovu [4]

2.4. Součinitel prostupu tepla spotřeba energie

Dalším z ukazatelů energetické náročnosti budovy je průměrný součinitel prostupu tepla. Průměrným součinitelem prostupu tepla můžeme hodnotit stavebně energetické vlastnosti

budovy. Zahrnuje v sobě celkový prostup tepla na hranici budovy. Výpočet požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} W/(m²·K) se provádí jako vážený průměr normových hodnot součinitelů prostupu tepla U_N všech teplosměnných konstrukcí obálky budovy. [4]

Dalším ukazatelem energetické náročnosti budovy je potřeba energie. Potřeba energie se počítá jako celková potřebná energie pro typické užívání budovy. Pokud jde o potřebu paliva na vytápění, pak je potřeba energie závislá na výhřevnosti paliva. Tato potřeba je vztažená na podlahovou plochu a jednotkou tedy bude W/(m²·Rok). [4]

3. Výpočet energetické náročnosti – SZŠ a SOŠ Poděbrady

Pro budovu SZŠ a SOŠ Poděbrady jsem použila výpočetní program PROTECH, který provádí výpočty dle vyhlášky 78/2013 Sb. Tato budova se skládá pouze z jedné vytápěné zóny a z tohoto důvodu je energetická náročnost budovy počítána pouze z obálky budovy.

3.1. Tepelné ztráty

Následuje přehled podstatných obalových konstrukcí budovy. Hodnota $U_{N,20}$ zde znázorňuje požadovaný maximální součinitel prostupu tepla, $U_{rec,20}$ je maximální doporučená hodnota součinitele prostupu tepla a $U_{pas,20}$ je maximální doporučená hodnota pro pasivní domy. Všechny tyto hodnoty jsou stanoveny pro výpočtovou teplotu 20 °C.

První hodnocenou konstrukcí je obvodová stěna. Její součinitel prostupu tepla odpovídá požadované hodnotě součinitele prostupu tepla. Na obrázku číslo 5 je zobrazena skladba konstrukce a její vlastnosti.

SO1	V1	Stěna obvodová So1							
ČSN 73 0540-2:2011: Stěna vnější (těžká) $U_{N,20} = 0,30$ $U_{rec,20} = 0,25$ $U_{pas,20,h} = 0,18$ $U_{pas,20,d} = 0,12$ W/(m ² ·K) $\theta_i = 20$ °C $U_N = 0,30$ $U_{rec} = 0,25$ $U_{pas,h} = 0,18$ $U_{pas,d} = 0,12$ W/(m ² ·K) Korekční činitel $\Delta U_{tbk} = 0,020$ W/(m ² ·K), Vypočítaná hodnota $U = 0,208$ W/(m ² ·K)									
Složení konstrukce									
č.v.				d mm	λ W/(m·K)	ZTM	λ_{ekv} W/(m·K)	R_v (m ² ·K)/W	U W/(m ² ·K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,130	
1	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	8,00	0,990	0,00	0,990	0,008	
2	151-011	CP 290/140/65 (1700)	Z vr.	450,00	0,780	0,00	0,780	0,577	
3	107-02	Polystyren vytlačovaný - XPS	Z vr.	160,00	0,034	0,03	0,035	4,569	
Rse		Odpor při přestupu						0,040	= (1/R _T)+ΔU _{tbk} 0,208
		Odpor celkem R _T						5,324	
Stanovení hodnoty ZTM									
č.v.	Materiál	λ W/(m·K)	Podíl %	Z _{TM} Vlhkost	Z _{TM} Kotvení	Z _{TM} Nehomogenní vrstvy	Z _{TM} Celkem		
3	Polystyren vytlačovaný - XPS	0,034		0,03	0,00	0,00	0,03		

Obrázek 5 - PROTECH stěna obvodová

Druhou hodnocenou konstrukcí je střecha. Součinitel prostupu tepla opět odpovídá požadované hodnotě součinitele prostupu tepla. Je dána skladba konstrukce a tloušťka jednotlivých vrstev.

SCH1	V1	Střecha
-------------	-----------	----------------

ČSN 73 0540-2:2011: **Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně**

UN,20 = **0,24** Urec,20 = **0,16** Upas,20,h = **0,15** Upas,20,d = **0,10** W/(m².K)

θ_i = **20 °C** UN = **0,24** Urec = **0,16** Upas,h = **0,15** Upas,d = **0,10** W/(m².K)

Korekční činitel ΔU_{tbk} = **0,020** W/(m².K), Vypočítaná hodnota U = **0,146** W/(m².K)

Složení konstrukce

č.v.				d mm	λ W/(m.K)	Z _{TM}	λ _{ekv} W/(m.K)	R _v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,100	
1	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	10,00	0,990	0,00	0,990	0,010	
2	163-01	Vz. - tok zdola nahoru	Z vr.	35,00		0,00		0,160	
3	109-011	Dřevo tvrdé kolmo k vláknům	Z vr.	40,00	0,220	0,00	0,220	0,182	
4	102-049	Beton ze škváry (1800)	Z vr.	30,00	0,900	0,00	0,900	0,033	
5	109-011	Dřevo tvrdé kolmo k vláknům	Z vr.	40,00	0,220	0,00	0,220	0,182	
6	256-012	EPS 150 S	Z vr.	140,00	0,035	0,03	0,036	3,883	
7	256-012	EPS 150 S	Z vr.	120,00	0,035	0,03	0,036	3,329	
8	116-02	Fólie z PVC	Z vr.	3,00	0,160	0,00	0,160	0,019	
Rse		Odpor při přestupu						0,040	= (1/R _r)+ΔU _{tbk}
		Odpor celkem R _T						7,938	0,146

Stanovení hodnoty Z_{TM}

č.v.	Materiál	λ W/(m.K)	Podíl %	Z _{TM} Vlhkost	Z _{TM} Kotvení	Z _{TM} Nehomogenní vrstvy	Z _{TM} Celkem
6	EPS 150 S	0,035		0,03	0,00	0,00	0,03
7	EPS 150 S	0,035		0,03	0,00	0,00	0,03

Obrázek 6 - PROTECH střecha

Další z důležitých konstrukcí je podlaha přiléhající k zemině. Její součinitel prostupu tepla opět odpovídá požadované hodnotě.

PDL1	V1	Podlaha k zemině
-------------	-----------	-------------------------

ČSN 73 0540-2:2011: **Podlaha vytápěného prostoru přilehlá k zemině**

UN,20 = **0,45** Urec,20 = **0,30** Upas,20,h = **0,22** Upas,20,d = **0,15** W/(m².K)

θ_i = **20 °C** UN = **0,45** Urec = **0,30** Upas,h = **0,22** Upas,d = **0,15** W/(m².K)

Korekční činitel ΔU_{tbk} = **0,020** W/(m².K), Vypočítaná hodnota U = **1,742** W/(m².K)

Složení konstrukce

č.v.				d mm	λ W/(m.K)	Z _{TM}	λ _{ekv} W/(m.K)	R _v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,170	
1	130-01	PVC	Z vr.	5,00	0,160	0,00	0,160	0,031	
2	114-02	Tmely pro stavební použití	Z vr.	10,00	0,220	0,00	0,220	0,045	
3	109-062	Desky z dř. vlny s cem. (400)	Z vr.	25,00	0,130	0,00	0,130	0,192	
4	101-022	Železobeton(2400)	Z vr.	190,00	1,340	0,00	1,340	0,142	
Rse		Odpor při přestupu						0,000	= (1/R _r)+ΔU _{tbk}
		Odpor celkem R _T						0,581	1,742

Obrázek 7 - PROTECH podlaha k zemině

Dalšími podstatnými prvky v obvodové konstrukci, které se v programu PROTECH řešily jsou výplně otvorů. Okna jsou s trojsklem se součinitelem prostupu tepla U=0,9 W/m².K, což

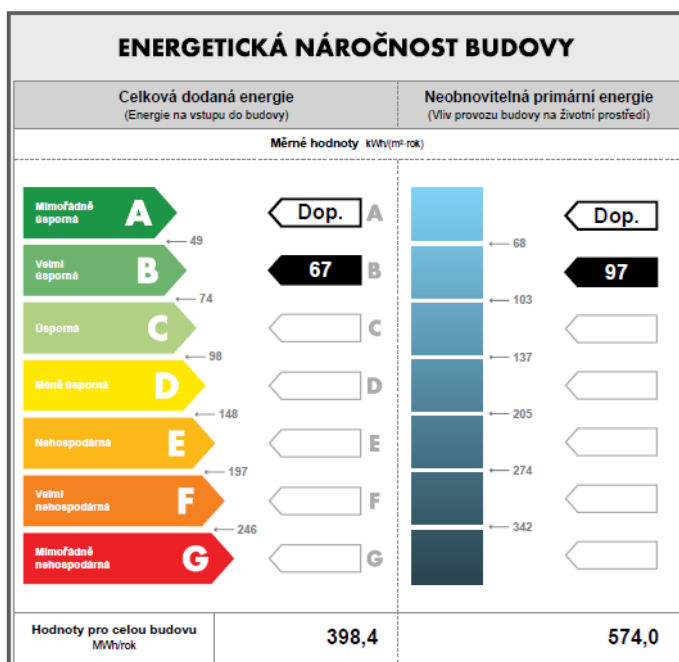
odpovídá maximální doporučené hodnotě, která je $U_{rec,20} = 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Světelná propustnost okna je $g=0,5$. Dveře mají hodnotu $U=1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, což splňuje požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla pro $U_{N,20} = 1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Pro tyto konstrukce byla vypočítána tepelná ztráta, která je pro celou budovu 238 kW. Průměrná výměna vzduchu v objektu je 1/h což znamená, že každou hodinu se vymění celý objem vzduchu v budově. Pro budovu se počítá s nuceným větráním s účinností zpětného získávání tepla 85 %.

3.2. Průkaz energetické náročnosti budovy

Výše uvedené konstrukce sem zadala do uvedeného programu PROTECH, z těchto konstrukcí byla zjištěna výše uvedená tepelná ztráta 238 kW. Z těchto informací jsem vycházela při vytváření průkazu energetické náročnosti budovy (PENB).

Při vytváření PENB se zadává půdorysná plocha, která je u této budovy 2099 m². Dále se zadává vnější objem budovy, který je 26355 m³. Celková ochlazovaná plocha, která je 5922,5 m². Vytápění v budově je zajištěno pomocí třech plynových kondenzačních kotlů o celkovém výkonu 240 kW a účinností 98 %. Příprava teplé vody je zajištěna lokálním zdrojem tepla se zásobníkem. Uvnitř objektu se nachází prostory s různými požadavky na osvětlení a to učebny/kabinety, chodby a toalety/šatny/tělocvičny. Pro učebny/kabinety je stanovená intenzita osvětlení 500 lux, pro chodby 100 lux a pro toalety/šatny/tělocvičny je intenzita 200 lux. V pomocných energiích jsou zahrnuty energie pro čerpadla otopné vody, pro cirkulaci teplé vody a ventilátory VZT jednotek. Tyto a další skutečnosti jsem zadala do programu, z něhož jsem posléze získala PENB. Grafický výstup PENB je znázorněn na obrázku číslo 8.



Obrázek 8 - Energetická náročnost budovy (graficky)

Z grafického znázornění PENB (obrázek 8) vyplývá, že budova spadá do energetické třídy B a je tedy velmi úsporná. Tato třída je souhrnem všech dodaných energií. Vypočtené třídy pro jednotlivé potřeby energií je možné vidět na obrázku číslo 9. Kompletní grafický výstup PENB je možné nalézt v příloze číslo 4.

4. Opatření pro snížení potřeby primární neobnovitelné energie

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie				Měrné hodnoty kWh(m ² ·rok)	
Mimořádná úspora							
A		Dop.		1			
B		55					
C	0,30					2	
D							3
E							
F							
G							
Mimořádná neohospodárna							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		327,2		5,5		10,5	55,1

Obrázek 9 - Dílčí dodané energie

4.1. Opatření provedená

Z grafického vyjádření průkazu energetické náročnosti, tedy z obrázku číslo 9 „dílčí dodané energie“ lze vidět, že samotná obálka budovy spadá do energetické třídy C. Tato budova byla postavena již v první polovině 20. století. Budova je nově zateplena a byla provedena výměna všech výplní otvorů. Stávající okna byla nahrazena okny s trojsklem. Z tohoto důvodu není možné, aby budova dosáhla pasivního standardu a nemá tedy smysl se již nadále zabývat obálkou z hlediska úspory energie. Dále také nemá smysl se zabývat větráním, které je zde nucené se zpětným získáváním tepla pomocí rekuperace s účinností 85 %. Toto větrání spadá do energetické třídy A. Chlazení a úprava vlhkosti se v této budově neprovádí.

4.2. Opatření navrhovaná

Pro snížení spotřeby neobnovitelné primární energie se doporučuje snížit využívání fosilních paliv a zvýšit podíl využití obnovitelných zdrojů energie. Z hlediska úspory neobnovitelné primární energie se budu v této práci zabývat vytápěním, přípravou teplé vody a osvětlením. Pro všechny tyto systémy je možné využít obnovitelné zdroje energie. Pro přípravu teplé vody a osvětlení, potažmo celkovou potřebu elektrické energie navrhuji na nevyužitou plochou střechu školy instalovat pole fotovoltaických panelů, které bude částečně pokrývat spotřebu elektrické energie školy. Energie z fotovoltaických panelů budu navrhovat pro pokrytí spotřeby elektrické

energie veškerých spotřebičů ve škole, osvětlení, pomocné energie a pro přípravu teplé vody. Pro stávající vytápění navrhuji výměnu plynového kondenzačního kotle za systém vytápění s tepelným čerpadlem. Tato opatření mají za cíl snížit spotřebu primární neobnovitelné energie budovy školy a zároveň zvýšit její nezávislost z pohledu dodávky elektrické energie.

Energonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé uhlí	1,1	1,1
Hnědé uhlí	1,1	1,1
Propan-butan/LPG	1,2	1,2
Topný olej	1,2	1,2
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1,0	0,0
Elektřina - dodávka mimo budovu	-3,2	-3,0
Teplo - dodávka mimo budovu	-1,1	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 50% a nejvýše 80 % podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s 50% a nižším podílem obnovitelných zdrojů	1,1	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2	1,2

Obrázek 10 - Faktor primární energie pro Hodnocenou budovu [4]

Z obrázku číslo 10 jsou patrné hodnoty faktoru neobnovitelné primární energie pro jednotlivé energonositele. Fotovoltaická elektrárna zde odpovídá řádce „Elektřina-dodávka mimo budovu“ a elektřina ze sítě odpovídá řádce „elektřina“. Při pokrytí potřeby elektrické energie fotovoltaickým polem se značně sníží faktor neobnovitelné primární energie, a tedy spotřeba neobnovitelné primární energie. Tepelné čerpadlo pak odpovídá řádce „Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)“ a vytápění současným zdrojem odpovídá řádce „Zemní plyn“. Zde je při výměně současného zdroje tepla pro vytápění, tedy plynového kotle za tepelné čerpadlo patrné, že tato změna také sníží faktor neobnovitelné primární energie, a tedy i spotřebu neobnovitelné primární energie. Navrhovaná opatření tedy přispějí ke snížení spotřeby neobnovitelné primární energie.

5. Zdroje energie

5.1. Druhy energie

Pro srovnávání jednotlivých druhů energie je třeba rozlišit energii primární, koncovou a užitečnou. Primární energie je energií v původní, nehotové formě. Primární energií je například uhlí, ropa, sluneční svit či dřevo. Koncová energie je energie, která se dopravuje ke spotřebiteli pro jeho vlastní využití. Může to být například zemní plyn, elektřina nebo dálkové vytápění. Užitečnou energií se pak rozumí například světlo k osvětlování, teplo pro vytápění či energii pro pohon strojů. [13]



Obrázek 11 - energie primární, koncová a užitečná [13]

Primární energie je tedy energie, která neprošla žádnou přeměnou a je tedy ve své přírodní formě. Primární energie se dělí na energii obnovitelnou a energii neobnovitelnou. Obnovitelnou energií se rozumí energie získaná například se slunečního záření, větru, vodní energie či energie biomasy. Neobnovitelná energie je například energie z neobnovitelných zdrojů, například z fosilních paliv. Mezi neobnovitelné zdroje energie tedy patří například uhlí, ropa, zemní plyn a energie jaderná. Rozdělení na obnovitelné a neobnovitelné zdroje však není doslovné. I takzvané neobnovitelné energie jako je například ropa se po čase obnoví, avšak tato doba obnovení mnohonásobně překračuje délku lidského života a jsou tedy považovány za neobnovitelné. [17]

Neobnovitelná primární energie má negativní dopad na vyčerpávání zásob paliva, s tím je spojený i negativní vliv na životní prostředí. S výjimkou jaderné energie má neobnovitelná primární energie vliv na produkci emisí do ovzduší. V současnosti je snaha o snižování závislosti na primární neobnovitelné energii jak na straně potřeby, tak na straně dodávky. V této práci se zabývám snižováním potřeby primární neobnovitelné energie. [17]

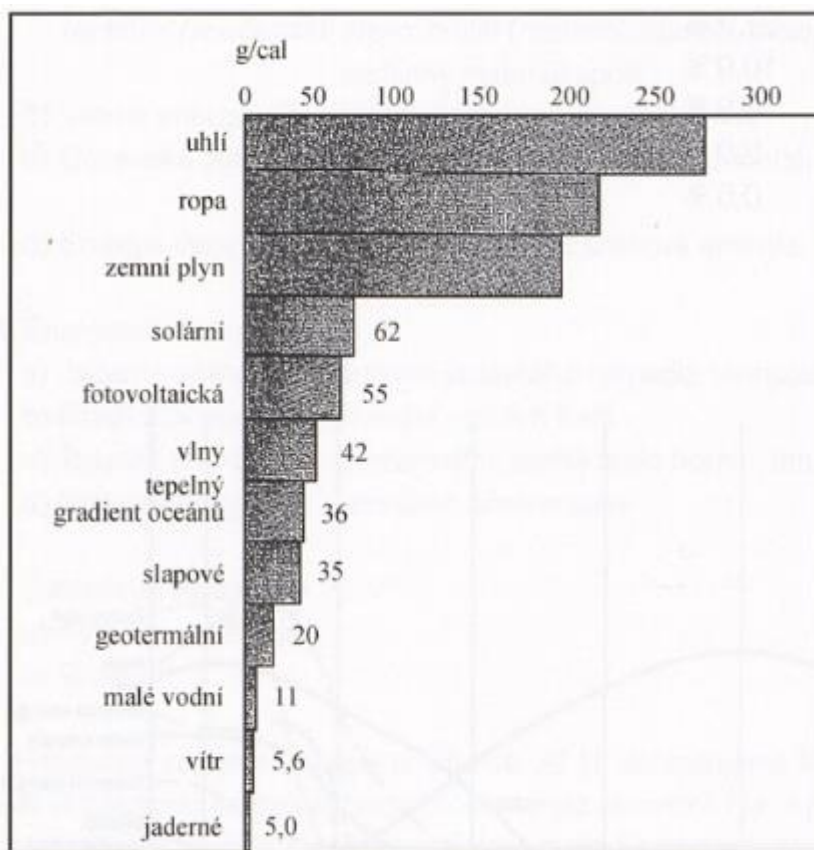
5.2. Energie v České republice

Není možné, aby Česká republika byla energeticky zcela nezávislá. Má dostatek některých surovin, jako jsou například uhlí a uran, avšak pouze omezené množství ropy a zemního plynu.

Vzhledem k omezenému množství je třeba tyto suroviny dovážet. V důsledku přírodních podmínek je zde také omezená možnost využívání obnovitelných zdrojů energie. [14]

5.3. Neobnovitelné zdroje energie

Energetické zdroje, které nazýváme neobnovitelnými nejsou doslova neobnovitelné, jak již bylo zmíněno. Pod názvem neobnovitelné zdroje energie rozumíme takové energie, které jsou schopny se obnovit v horizontu větším než stovky let. Mezi neobnovitelné zdroje energie řadíme například fosilní paliva, jako je uhlí, ropa, zemní plyn a rašelina. Dále se mezi neobnovitelné zdroje energie řadí látky pro výrobu jaderné energie. Fosilní paliva také ve větší míře produkují CO₂, které může způsobovat globální oteplování. Produkci CO₂ jednotlivých zdrojů energie je možné vidět na následujícím obrázku číslo 12. [13]



Obrázek 12 - Podíl jednotlivých zdrojů energie na produkci CO₂ [14]

Největší podíl na výrobě energie spalovacími procesy má v současnosti ropa. Světové zásoby ropy jsou odhadovány na 165 miliard tun, které se však rychlým tempem vyčerpávají. Ropa je zpracovávána v rafinériích frakční destilací, při které se oddělí skupiny uhlovodíků. Nejprve se odděluje etan a metan (palivo LPG), pak petrolej, poté benzin kerosin a plynový olej, z něhož se dále destiluje nafta a topný olej. Nakonec zbývá mazut, z něhož se oddělují mazací oleje a asfalt.

Většina průmyslu, produkce a provozů je dnes závislá na ropě. Těžba ropy zatěžuje životní prostředí a při její těžbě a využívání dochází k enormnímu znečišťování. [14]

Dalším z neobnovitelných zdrojů energie je uhlí, které stejně jako ropa mimořádně zatěžuje životní prostředí. V místech těžby a v jejich okolí je ohrožena litosféra. Dochází také k ohrožování hydrosféry a atmosféry znečištěním sloučeninami síry a aerosoly jedovatých kovů. Světová těžba hnědého uhlí dosáhla svého vrcholu v roce 1989 a od té doby neustále klesá. [14]

Mezi neobnovitelné zdroje energie také patří zemní plyn. Na přelomu tisíciletí vzrostla potřeba zemního plynu tak, že přerostla potřebu ropy. Při dnešní spotřebě je odhadovaná životnost světových zásob 60 let. V okolí uhelných ložisek vzniká takzvaný karbonský plyn, ten je využíván v průmyslu a z větší části uniká do ovzduší, což zapříčiňuje nárůst obsahu skleníkových plynů v atmosféře. Těžba zemního plynu je však poměrně šetrná k životnímu prostředí a při jeho spalování vzniká méně oxidů uhlíku, než při spalování ropy a uhlí. [14]

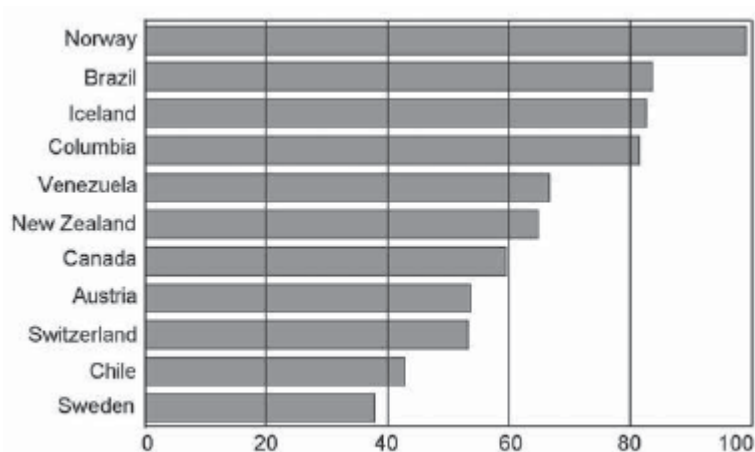
Neobnovitelným zdrojem energie, který není fosilního původu je energie jaderná. Jadernou energii lze získat několika způsoby. Jsou to například energie rozpadu radioaktivních látek, vedlejší produkt při výrobě plutonia a v budoucnu by to mohla být termojaderná fuze. Jaderné elektrárny jsou nejspolehlivějším čistým zdrojem a zároveň jsou prostorově velmi úsporné. V současnosti nastává velký rozvoj jaderné energetiky, a to hlavně z důvodu snahy o snížení produkce skleníkových plynů. [14]

5.4. Obnovitelné zdroje energie

Vzhledem k omezenému množství fosilních paliv je třeba v dnešní době častěji využívat obnovitelných zdrojů energie. Mezi obnovitelné zdroje energie patří vodní energie, energie větru, geotermální energie, energie biomasy a solární energie. Existují i další obnovitelné zdroje energie, avšak zde vyjmenované jsou používány nejčastěji. S výjimkou geotermální energie mají všechny vyjmenované energie svůj původ v solární energii. [15]

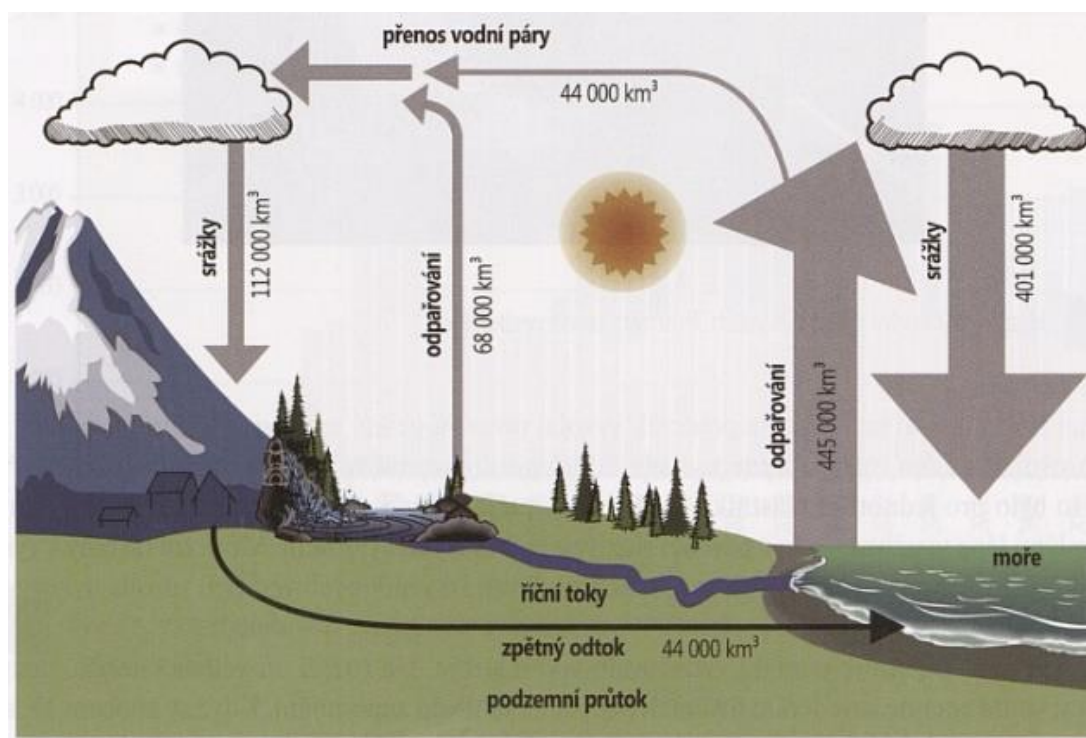
5.5. Vodní energie

Vodní energie je lidstvem využívána dlouhodobě a je tedy již velmi dobře prozkoumána. V současnosti tvoří vodní energie až 90 % využívaných obnovitelných zdrojů. V mnoha zemích je energie vody hlavním zdrojem energie. Například v Norsku představuje vodní energie až 98 % produkce elektrické energie. Procentuální zastoupení vodní energie v různých státech je možné vidět na obrázku 13. [15]



Obrázek 13 - Procentuální zastoupení vodní energie v různých státech [15]

Již bylo zmíněno, že většina obnovitelných zdrojů energie má svůj původ ve sluneční energii. Není tomu jinak ani u vodní energie. Ročně se z povrchu Země odpaří až 500 000 km³ vody, které se později vrátí zpět na povrch ve formě srážek. Tímto způsobem je poháněn mohutný koloběh vodních toků, který spotřebuje zhruba 22 % sluneční energie. [13]



Obrázek 14 - koloběh vody [13]

Základem vodní elektrárny jsou turbíny, které odebírají vodě energii a mění na energii elektrickou. V závislosti na spádu vody a na množství jejího průtoku se volí nejvhodnější turbína. Pro nízké spády je vhodná Kaplanova turbína, která dosahuje účinnosti až 95 %. Pro nižší spádové hladiny je dále vhodná tzv. čelní turbína, která připomíná Kaplanovu turbínu. Pro větší hodnoty

spádu je vhodná Francisova turbína, ta dosahuje účinnosti přes 90 %. Pro vysoké spády je také vhodná Peltonova turbína, ta se hodí zejména pro vysokohorské přehrady. [13]

Turbíny se využívají ve vodních elektrárnách. Většina hydroelektráren využívá přírodních výškových rozdílů pomocí různých technických prostředků. Pokud je na vodním toku k dispozici velký výškový rozdíl, je vhodné použití průtočné vodní elektrárny. Hráz zde zadržuje vodu a vytváří vzduť. Na přehradě je vytvořen rozdíl vodní hladiny před a za elektrárnou. Na vzdouvacím stupni teče voda přes turbínu, která pohání elektrický generátor, který mění mechanickou energii na energii elektrickou. [13]

Další možností využití vodní energie je akumulační vodní elektrárna. Ta dosahuje vyšších výkonů než elektrárna průtočná. Přehradní hráze zadržuje velké množství vody. Tlakové přívodní potrubí přivádí do strojovny vodu a vlivem vysokého spádu se vytváří přetlak o hodnotě až 20 MPa. Ve strojovně pak přivedená voda pohání turbínu, které pohání elektrický generátor. [13]

Dalším druhem vodní elektrárny je přečerpávací elektrárna. Tato elektrárna závisí na příznivých geografických podmínkách. Musí být vybudovány 2 nádrže, jejichž vzájemný spád musí být co největší. Tyto nádrže jsou spolu propojeny potrubím. Horní nádrž může mít přirozený přítok vody. Pokud nádrže nemají přirozený přítok, jedná se o tzv. čistě přečerpávací přehradu. Energie se zde přeměňuje tím způsobem, že voda přitéká potrubím z horní nádrže k turbíně a turbína pak pohání elektrický generátor. Poté voda odtéká do dolní nádrže. Tato elektrárna se používá při přebytku elektrické energie, kdy se přepne do přečerpávacího režimu. Elektrický stroj pak pracuje jako elektromotor, který odebírá nadbytečnou energii ze sítě a pohání tak turbínu, která přečerpává vodu z dolní nádrže do horní. [13]

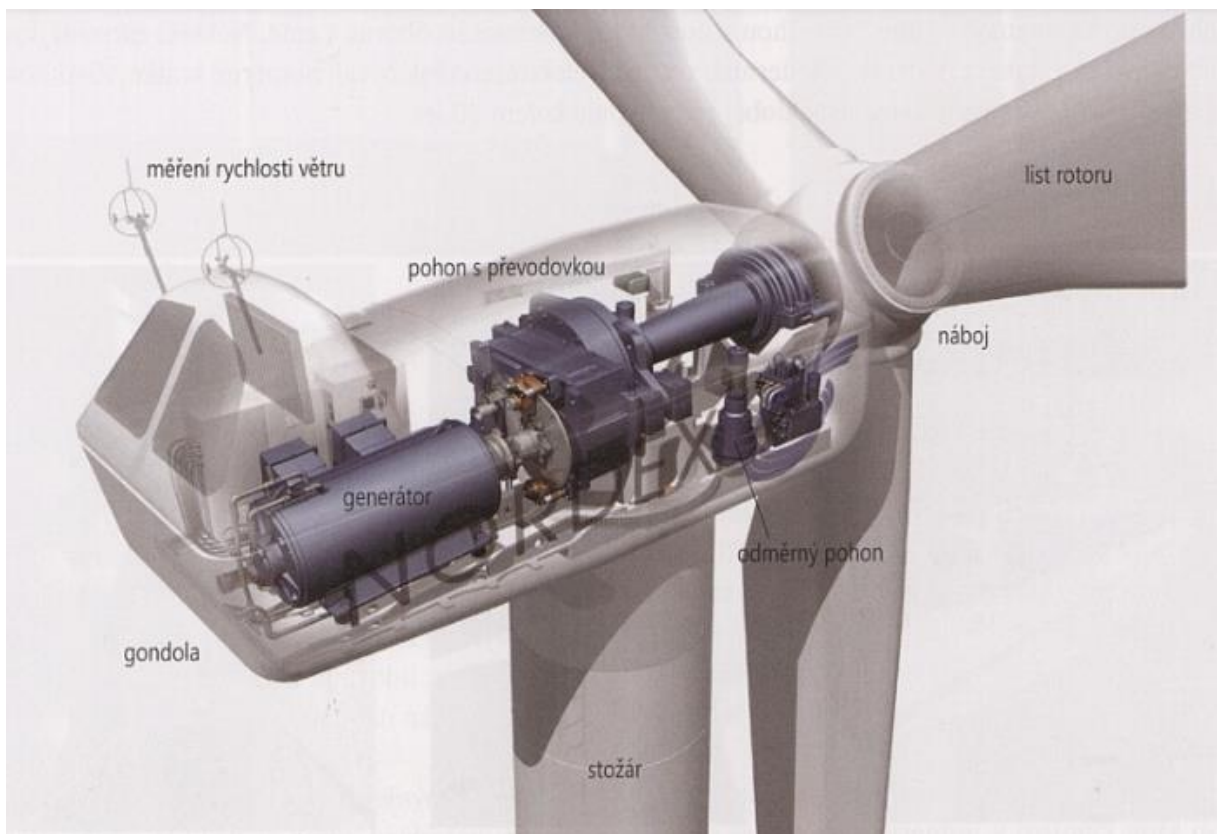
Dalšími možnými druhy vodních elektráren jsou elektrárny přílivové. Příliv a odliv jsou důsledkem vzájemného působení gravitačních sil Měsíce, Slunce a Země. Kvůli zemské rotaci se mění směr působení těchto sil v čase a vodní masy se přeskupují dle působení přitažlivosti. Tím vzniká příliv a odliv a v průběhu dne vzniká výškový rozdíl. V některých místech je tento výškový rozdíl větší než 1 m, někdy však může přesahovat i přes 10 m. V oblastech s velkým výškovým rozdílem hladin při odlivu a přílivu lze tento jev využít pro výrobu elektrické energie. Při přílivu proudí voda na turbínu a při odlivu proudí v opačném směru zpět. Tato turbína je pohání generátor elektrické energie. Tato elektrárna však poskytuje pouze přerušovanou dodávku elektrické energie, při opadnutí přílivu klesá její výkon na nulu. [13]

Dalšími možnostmi vodních elektráren jsou například vlnové elektrárny či elektrárny poháněné mořskými proudy. [13]

5.6. Větrné elektrárny

Mezi obnovitelné zdroje energie se řadí také větrná energie. Stejně jako energie vodní, i energie větrná má svůj původ v solární energii. Vítr vzniká tak, že na rovník dopadá více sluneční energie, než kolik je vyzářeno zpět do kosmu na pólech je situace opačná a mnohem více energie je odraženo zpět. Výsledkem těchto procesů je obrovský transport energie od rovníku k pólům, který je realizován především pomocí globální výměny množství vzduchu. Cirkulace vzduchu přečerpává teplo od rovníku k pólům, tak vznikají obrovské cirkulační buňky. Toto proudění je odkláněno rotací Země, a tak vznikají poměrně rovnoměrné větrné proudy. [13]

Princip větrné elektrárny spočívá v přeměně kinetické energie na energii elektrickou. Vítr působí na vrtule, ty se otáčejí a pohání tak turbínu. Turbína je napojena na generátor elektrické energie, který mění rotační mechanickou energii turbíny na elektrickou energii. Turbíny mohou být vztlkové či odporové. Vztlkové turbíny mají větší účinnost a z tohoto důvodu jsou v dnešní době nejpoužívanější. Turbíny mohou mít buď horizontální nebo vertikální osu otáčení. [16]



Obrázek 15 - konstrukce větrné elektrárny [13]

Dodávka větru je značně kolísavá. Větrné elektrárny musí umět pracovat již s nízkými rychlostmi větru a zároveň musí být co nejodolnější, aby nedošlo k poškození při extrémních rychlostech větru. Moderní systémy využívají pouze část kinetické energie větru, a přitom zpomalují rychlost

větru. Využití veškeré energie větru není možné, teoreticky lze využít maximálně 59,3 % z kinetické energie větru proudící turbínou. Moderní větrné stroje jsou schopny za ideálních provozních podmínek využít až 50 % větrné energie a přeměnit ji na elektrickou energii. [13]

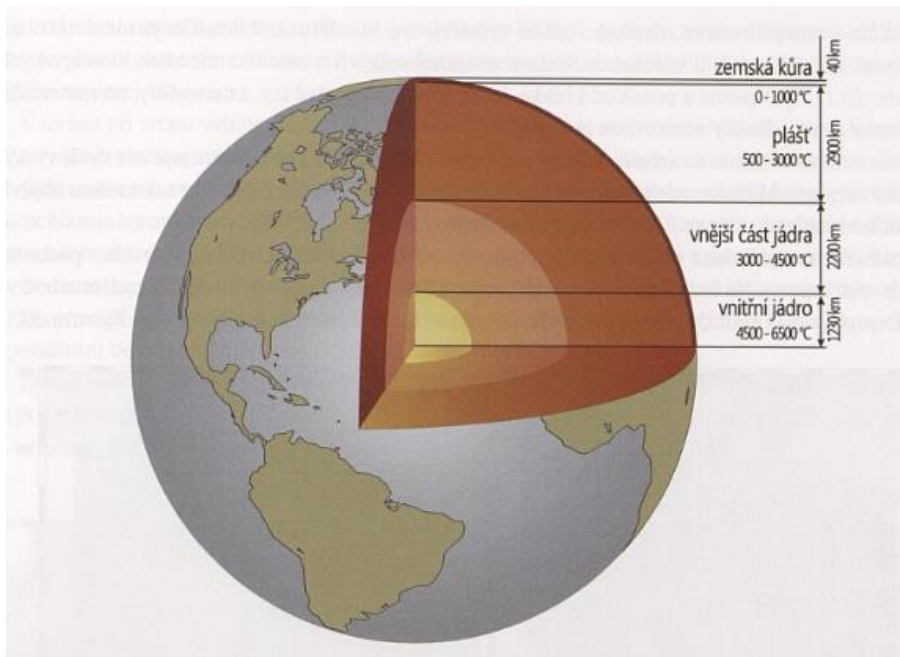
5.7. Energie biomasy

Biomasa je jedním s nejdéle využívaných zdrojů energie, teplo z hořícího dřeva využívá lidstvo již od nepaměti. Pojem biomasa označuje hmotu organického původu. Patří mezi ní živé a odumřelé organismy a organické produkty látkové výměny. Biomasa má stejně jako většina obnovitelných zdrojů energie svůj původ ve slunci. V rostlinách je vytvářena biomasa ve formě uhlovodíků pomocí fotosyntézy. Dále vytváří biomasu živočichové, kteří k její produkci potřebují rostliny, tedy další biomasu, kterou konzumují. Vedle slunce je pro biomasu podstatná voda. V oblastech, kde je omezené množství slunečního záření či vody vzniká biomasa pouze omezeně. [13]

Biomasa se při jejím využití rozlišuje mezi využitím odpadů a zbytků a cíleným pěstováním takzvaných energetických plodin. Největší potenciál ve využívání biomasy má dřevo. Významné jsou taky odpady ze zemědělství a lesního hospodářství a také biogenní odpad, což jsou zbytkové látky. Dále se pěstují energetické plodiny, jejichž sklizená produkce se pak nazývá biomasa. U energetických plodin však nastává problém zabírání orné půdy. Biomasa se pak dále zpracovává například sušením, lisováním, pakětováním, kvašením, zpracováním na bioplyn nebo na pelety. Tyto suroviny získané z biomasy mají široké využití a mohou téměř nahradit fosilní paliva. Je možné je využít pro vytápění, spalováním v elektrárnách pro výrobu elektřiny, jako palivo pro pohon vozidel a mnoho dalších využití. [13]

5.8. Geotermální energie

Geotermální energie je jediný z obnovitelných zdrojů energie, který nemá svůj původ v solární energii. Planeta Země vznikla již před 4 miliardami let. Na počátku byla země roztavená a žhavá, pak její povrch začal postupně chladnout a tuhnout a tím vznikla zemská kůra, která postupně tuhla do větší hloubky. V současnosti má 99 % objemu Země teplotu vyšší než 1000 °C, tyto teploty se vyskytují v zemském nitru. Vulkanická činnost však občas vynese z hlubin až na povrch roztavené horniny. [13]

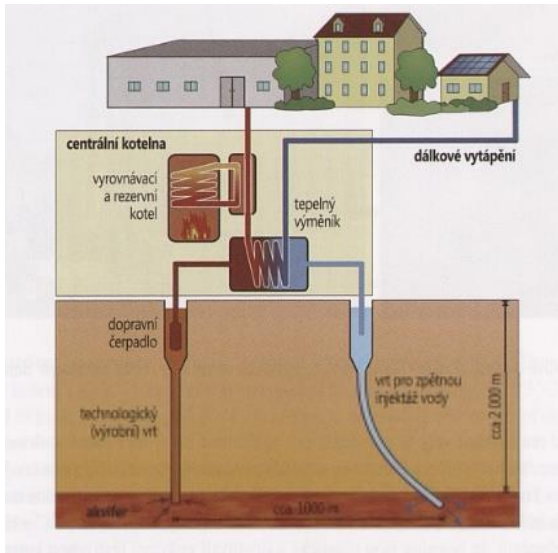


Obrázek 16 - Struktura Země [13]

Teplo v zemském nitru je z větší části tvořeno teplem z rozpadu jader radioaktivních prvků, zbytek tepla tvoří zbytkové teplo z období vzniku Země. Zemské jádro je z 80 % tvořeno železem. Země je tedy tvořena jádrem, následuje zemský plášť a vrchní vrstvu tvoří zemská kůra, jejíž svrchní vrstva je dostupná pro lidstvo. Zemská kůra a vrchní vrstvy pláště tvoří takzvanou litosféru. Litosféra sestává z několika litosférických desek, které se neustále pohybují. Kvůli neustálému pohybu do sebe desky naráží, v těchto oblastech nejčastěji vznikají zemětřesení a je zde větší výskyt vulkanické činnosti. Takto se pak mohou vysoké teploty vyskytovat i v nižších hloubkách, kde se dá zemského tepla efektivně využít. Střední Evropa není bohatá na optimální geotermální zdroje, na rozdíl například od Islandu. Proto je zde třeba realizovat hlubší vrty. [13]

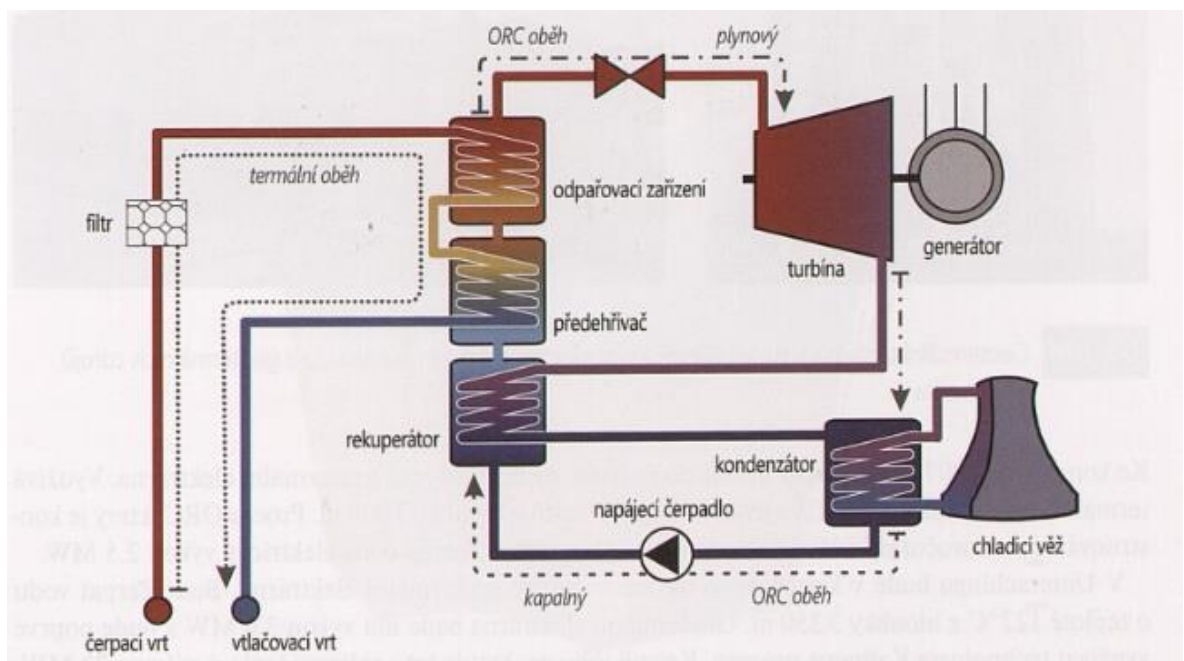
Zdroje geotermální energie lze rozlišit na zásoby horké páry, zásoby horké vody a na teplo ze suchých hornin. Horkou páru a vodu lze využít přímo k vytápění a ohřevu a pro výrobu elektrické energie. Teplo ze suchých hornin lze využít pro ohřev vody, která se pod tlakem vstříká do podzemí. [13]

Geotermální energii je možno využít v Geotermálních teplárnách. Ty se realizují, pokud je k dispozici hluboký vrt v oblasti s ložiskem termální vody. Geotermální teplárna je vybavena dopravním čerpadlem, které dopravuje termální vodu na povrch. Vzhledem k obsahu solí a minerálů není termální voda teplotním médiem, a tak je zde třeba tepelný výměník, který vodě odebírá teplo a předává ho do sítě dálkového vytápění. Po odebrání tepla se termální voda vrací zpět do země. [13]



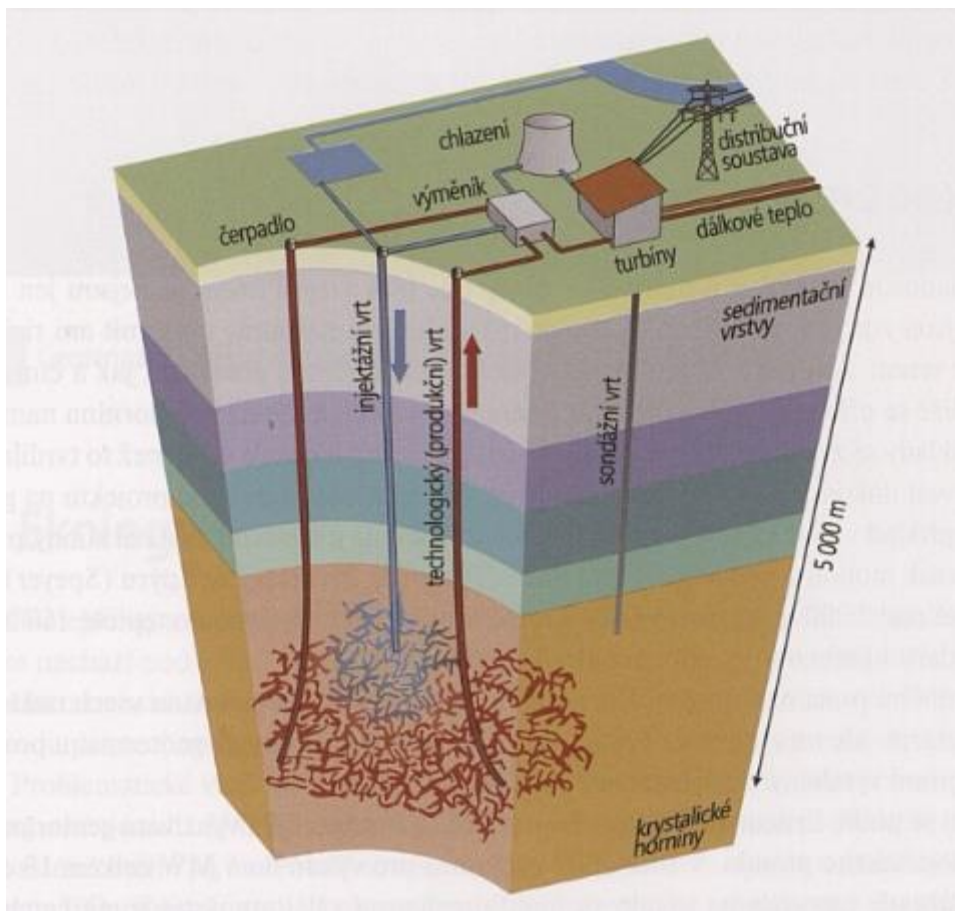
Obrázek 17 - Princip geotermální teplárny [13]

Dalším možným využitím geotermální energie je geotermální elektrárna. V optimálních geotermálních lokalitách, kde je možné využít vodních par o teplotách 200-300 °C lze využít běžné elektrárny s parní turbínou. Pokud je možné čerpat páru, pak lze touto parou turbínu přímo pohánět. Pokud je termální voda pod tlakem, tak je možné ji odpařit v expanzním stupni, tato technika se nazývá Flash Process. Když jsou k dispozici pouze teploty nižší než 100 °C, není možné odpařovat vodu pomocí geotermální energie. V tomto případě se používá takzvané ORC elektrárny. Základem této elektrárny je parní turbína, která je však místo vody poháněna organickým médiem, který má nižší teplotu odpaření než voda. [13]



Obrázek 18 - Princip geotermální ORC elektrárny [13]

Pokud v oblasti není dostupná horká termální voda ani pára, pak je možné využití metody Hot Dry Rock (HDR). Tato metoda je využívána ve vrtech do hloubky 5000 m, v této hloubce se i v geotermálně horších oblastech udržují teploty kolem 200 °C. Aby bylo možné odnímat hornině teplo, musí být vytvořeny podzemní dutiny. Ty se tvoří tak, že se do vrtu vhání voda pod tlakem. Voda tak rozšiřuje stávající spáry a vytváří nové praskliny, tím vzniká systém podzemních puklin. Výroba elektrické energie probíhá v HDR elektrárně následovně. Čerpadlo nejdříve přivádí studenou vodu vrtem do hlubin. V trhlinách se pak ohřívá voda na teplotu 200 °C, voda se pak dopravuje technologickými vrty zpět na povrch, kde odevzdává teplo výměníku pro výrobu elektrické energie. [13]



Obrázek 19 - Schéma HDR elektrárny [13]

6. Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo také patří mezi obnovitelné zdroje energie. Tepelné čerpadlo se dá popsat jako stroj, který dodává teplo pro vytápění či přípravu teplé vody odebráním tepla ze zdroje v okolí. Vzhledem k tomu, že v zemi, vzduchu či ve vodě je k dispozici pouze nízká teplotní hladina, tak je nelze použít pro přímý ohřev. [13]

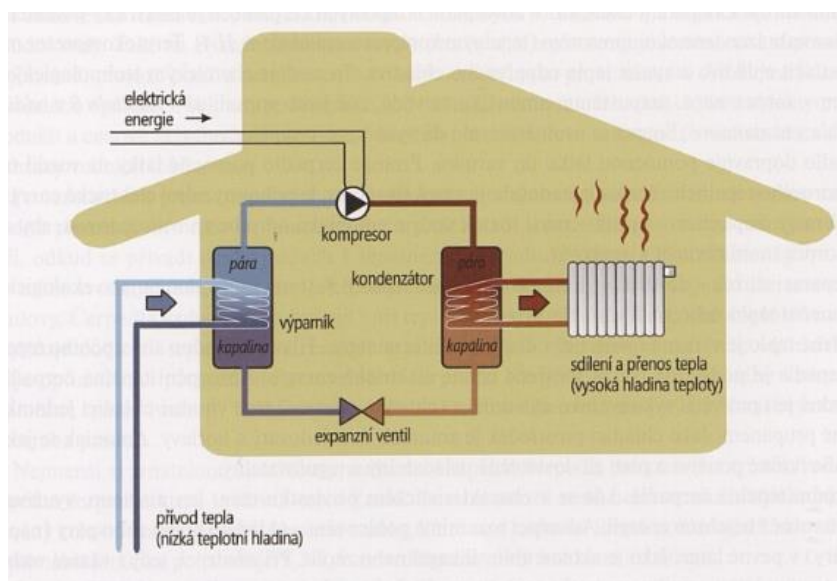
6.1. Princip

Princip tepelného čerpadla spočívá v odebrání tepla z okolního prostředí, například ze země, vzduchu či vody. Odnímané teplo pak čerpadlo převádí na vyšší teplotní hladu a uvolněné teplo se využívá pro vytápění a ohřev vody. Tepelné čerpadlo se většinou skládá z venkovní a vnitřní části. Princip tepelného čerpadla lze zjednodušeně přirovnat k principu chladničky, která odebírá teplo z potravin a tímto teplem ohřívá místnost. V případě tepelného čerpadla je teplo odnímáno z okolního prostředí. Všechna tepelná čerpadla potřebují chladivo, které obíhá v uzavřeném okruhu. [13,18]

Podle principu se rozlišují tepelná čerpadla:

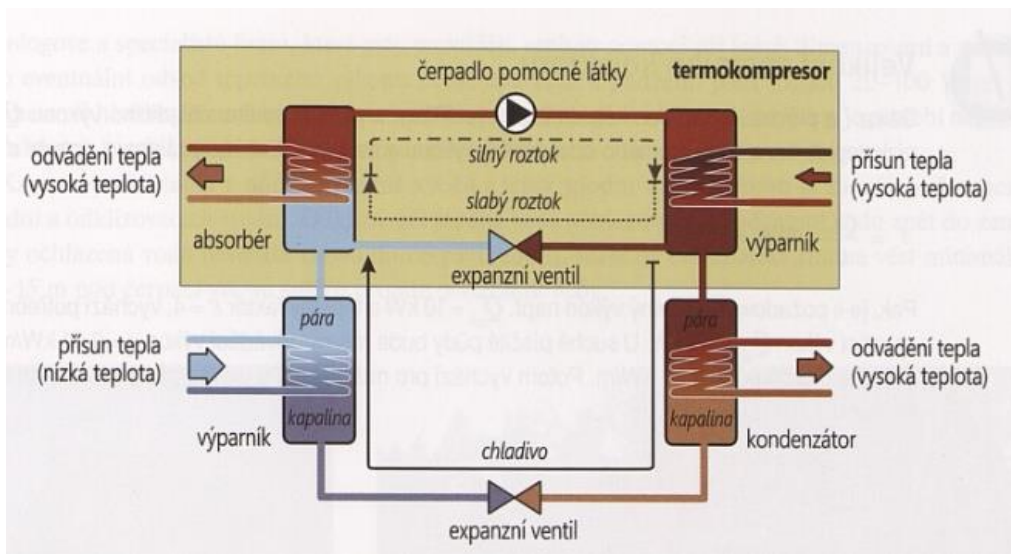
- Kompresorová
- Absorpční
- Adsorpční

Kompresorová čerpadla jsou nejrozšířenější. Jeho princip spočívá v tom, že chladivo, které má nízký bod varu se odpařuje již při nízké teplotě a pod vysokým tlakem se komprimuje. Díky nízké teplotě varu chladiva stačí nízkopotenciální teplo pro odpaření tohoto chladiva. Kompresor stlačuje odpařené chladivo, tím se chladivo ohřívá. Teplo z ohřátého chladiva se pak využívá pro vytápění či přípravu teplé vody. Sdílení tepla je uskutečněno v kondenzátoru, ve kterém se chladivo opět zkapalňuje. Dále chladivo prochází přes expanzní ventil, ve kterém se sníží jeho tlak a teplota a prochází dále zpět do výparníku. [13]



Obrázek 20 - Princip kompresorového tepelného čerpadla [13]

Stejně jako kompresorová tepelná čerpadla, využívají i absorpční a adsorpční čerpadla tepla z nízkopotenciálního zdroje k odpaření chladiva. U adsorpčních čerpadel je běžný kompresor nahrazen termokompresorem. Termokompresor stlačuje chladivo a využívá jeho tepla. To se provádí pomocí chemicko-technologického postupu sorpce. Teplo uvolněné pomocí sorpce je možné využít pro vytápění. Sorpcí můžeme rozumět například rozpuštění amoniaku ve vodě. V absorpčním čerpadle nejdříve čerpadlo dopravuje pomocnou látku do varníku, Separátor, což je zde varník má za úkol od sebe znovu separovat vodu a amoniak z roztoku, aby bylo možné proces znovu opakovat. Pro separaci – destilaci je třeba vysoké teploty. Ohřev je možné provádět ekologicky spalováním bioplynu či pomocí slunce.[13]



Obrázek 21 - - Princip absorpčního tepelného čerpadla [13]

Adsorpční čerpadlo rovněž využívá k pohonu tepelnou energii. Adsorpcí rozumíme pohlcování a ukládání plynu nebo páry v pevné látce. Při adsorpci vznikají vysoké teploty využitelné tepelným čerpadlem. [13]

6.2. Topný faktor

Hlavním parametrem tepelných čerpadel je topný faktor – COP. Ten vypovídá o „účinnosti“ tepelného čerpadla. Jde o bezrozměrný teoretický poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Čím je topný faktor vyšší, tím lépe. Jeho běžná hodnota se pohybuje mezi 2,5 až 5 a za optimálních podmínek lze u velmi kvalitních čerpadel dosáhnout až čísla 7. Topný faktor se mění dle podmínek, ve kterých tepelné čerpadlo pracuje. [18]

6.3. Volba tepelného čerpadla

Volba čerpadla závisí především na požadovaném topném výkonu a také na oblasti, ve které se má čerpadlo zřizovat. Pokud má být čerpadlo zřízeno v oblasti chráněných vodních zdrojů, pak

nepřipadá v úvahu využití spodních. Vzhledem k problematice využití nemrznoucího roztoku je také těchto oblastech problematické zřizování hlubinné sondy pro využití tepla země. V oblastech chráněných vodních zdrojů je tedy nejvhodnější využití tepla z okolního vzduchu. Nevýhodou u těchto čerpadel jsou však poměrně nízké hodnoty topného faktoru v průběhu roku a výrazně větší spotřeba proudu. [13]

Vhodnější je tedy využití tepla země, pokud je to možné. Teplu země lze získávat pomocí plošných kolektorů. Tyto kolektory tvoří většinou plastové potrubí, které se v hadovité formě pokládají do zahradní půdy. Optimální hloubka pokládky je 1,2-1,5 m a rozteč mezi trubkami asi 80 cm. Toto řešení je omezené především rozlohou a dispozicí zahrady. Pokud je velikost zahrady nedostatečná nebo pokud majitel nechce zahradu rozkopat, pak je vhodné využití hloubkové svislé zemní sondy. [13]

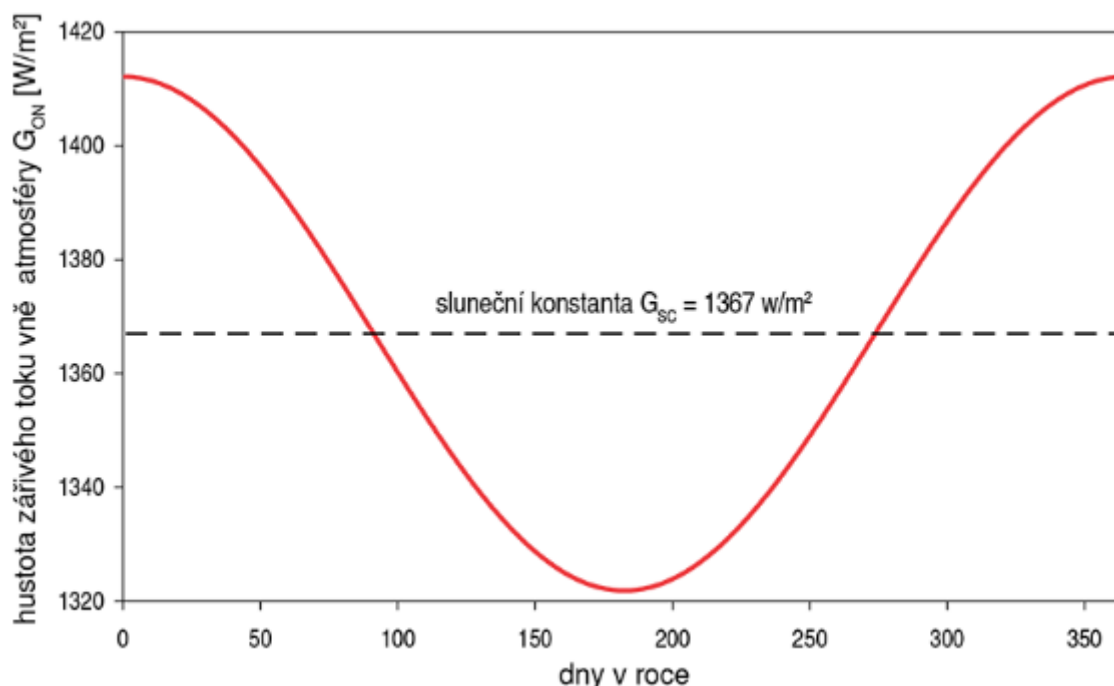
Zemní hloubková sonda využívá tepla z hlubin země. K získávání tepla slouží kolmé vrty, které dosahují hloubek až 120 m. V těchto hloubkách panují konstantní teploty okolo +10°C. Ve vrtech jsou zavedeny trubkové sondy, kterými proudí nemrznoucí roztok. Hloubka vrtů a počet sond závisí především na potřebě tepla a na vlastnostech podloží. Dle charakteru podloží platí teoretický odvod tepla v rozpětí 20-100 W/m. Ze 100 m hloubky lze získat kolem 5,5 kW tepelného výkonu. Při potřebě větších výkonů je zapotřebí několika paralelních sond, které od sebe musí být vzdáleny okolo 10 m. [13]

7. Solární energie

Jedním z nejvyužívanějších obnovitelných zdrojů energie je solární energie. Lze ji využít například v solárních panelech či kolektorech. [13]

7.1. Solární konstanta

Nejdůležitější vlastností slunečního záření, která je podstatná pro návrh solárních systémů je solární konstanta. Solární konstanta je hustota zářivého toku na jednotku plochy kolmé ke směru šíření záření, dopadající na vnější povrch zemské atmosféry. Na základě měření se uvádí hodnota sluneční konstanty 1367 W/m². Tato hodnota je však pouze střední hodnotou a hustota toku dopadajícího kolmo na vnější povrch atmosféry není konstantní a mění se o ±3,3 %. Následující obrázek (Obrázek 22) ukazuje, že hodnota solární konstanty je nejvyšší v zimě, a tedy že atmosféra přijímá v zimě více slunečního záření. Na severní polokouli však i přesto dopadne méně slunečního záření. Je tomu tak z důvodu, že se v zimě severní polokoule odklání od slunce a paprsky tak musí projít větší vrstvou zemské atmosféry, kde jsou částečně pohlceny. [12]



Obrázek 22 - Hodnota solární konstanty v průběhu roku [12]

7.2. Energie ze slunce

Vzhledem k hodnotě solární konstanty přijme zemská atmosféra za rok energii o hodnotě $5,46 \times 10^{24}$ J. Všechno toto záření však nedopadá na zemský povrch. Zhruba 30 % záření je odraženo atmosférou zpět do vesmíru a 20 % je pohlceno samotnou atmosférou. Na Zemi tak dopadá pouze omezené množství záření, a ne vše je využitelné. Vzhledem k tomu, že $\frac{1}{4}$ povrchu Země tvoří vodní plochy, je využitelných přibližně jen 10 % slunečního záření. Avšak pouze 0,1 % z těchto dostupných 10 % by stačilo pro pokrytí potřeby elektrické energie celé planety. [13]

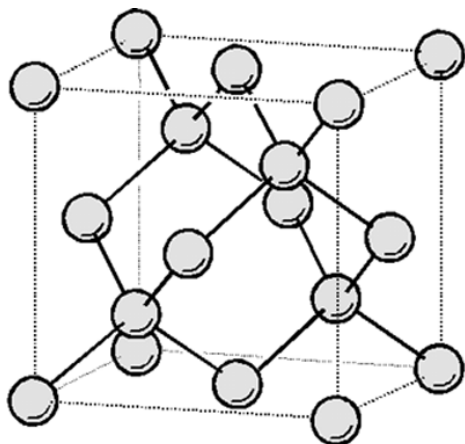
7.3. Princip fotovoltaické přeměny energie

Principem výroby energie ve fotovoltaických panelech je přeměna elektromagnetického záření na elektrickou energii ve fotovoltaických polovodičových (PV) článcích. Nejobvyklejšími PV články jsou články na základě krystalického křemíku.

Polovodiče lze podle druhu nositele náboje rozdělit na polovodiče vlastní, tedy bez příměsí a polovodiče příměsové. Příměsové polovodiče mohou být typu N, kde jsou hlavními nosiči náboje elektrony. Dalším možným typem příměsového polovodiče je typ P, kde hlavním nosičem náboje jsou díry, které se chovají jako částice s kladným nábojem.

Nejobvyklejší základ pro PV články křemík obsahuje 14 elektronů a má krystalovou strukturu jako diamant. Struktura diamantu znamená, že každý jeho atom je obklopen čtyřmi nejbližšími

sousedy. Valenční elektrony, tedy elektrony položené v energeticky nejvyšší vrstvě vytvářejí kovalentní vazby s těmito sousedy. [7]



Obrázek 23 - Krystalová mřížka diamantu a křemíku [8]

U krystalu křemíku se elektron pohybuje v poli periodického potenciálu, a tak jeho energie nabývá jen určitých hodnot. Na rozdíl od volného elektronu, který může nabývat libovolných hodnot, pokud na něj nepůsobí žádné síly. Tyto hladiny energie jsou pak rozděleny do takzvaných „pásů dovolených energií“ které jsou od sebe odděleny „pásky zakázaných energií“.[7]

Nejdůležitějšími pásy jsou: Valenční pás, poslední zakázaný pás a vodivostní pás. Valenční pás, který je za velmi nízkých teplot posledním obsazeným pásem sestává z energetických stavů valenčních elektronů. Jelikož je těchto stavů stejný počet jako valenčních elektronů v celém krystalu, tak budou za nízkých teplot všechny obsazené. Další po valenčním pásu je pás zakázaných energií, ve kterém nesmí mít žádný elektron energii odpovídající stavu v tomto pásu. Dalším pásem je pás vodivostní, který je za velmi nízkých teplot prvním neobsazeným pásem. [7]

Podstatnou energetickou hladinou je hladina Fermiho energie, která u vlastního polovodiče, což je například čistý křemík leží uprostřed zakázaného pásu. V nejnižším energetickém stavu jsou všechny hladiny ve valenčním pásu plně obsazené valenčními elektrony a nemohou tak umožnit vedení elektrického proudu. Při dodání například tepelné nebo světelné energie přejdou některé elektrony do vodivostního pásu a valenční i vodivostní pás se tak stanou částečně obsazenými pásy. V energetickém schéma se to projeví tak, že elektrony opustí energetické hladiny ve valenčním pásu a poté ve vodivostním pásu obsadí hladiny s vyšší energií. Tyto elektrony pak mohou umožnit vedení elektrického proudu. U některých atomů křemíku vzniknou prázdná místa, ve kterých se mohou opět zachytit volné elektrony, což se projeví v energetickém schéma jako zpětné přestupy elektronů z vodivostního pásu do příslušné hladiny valenčního pásu. Tím

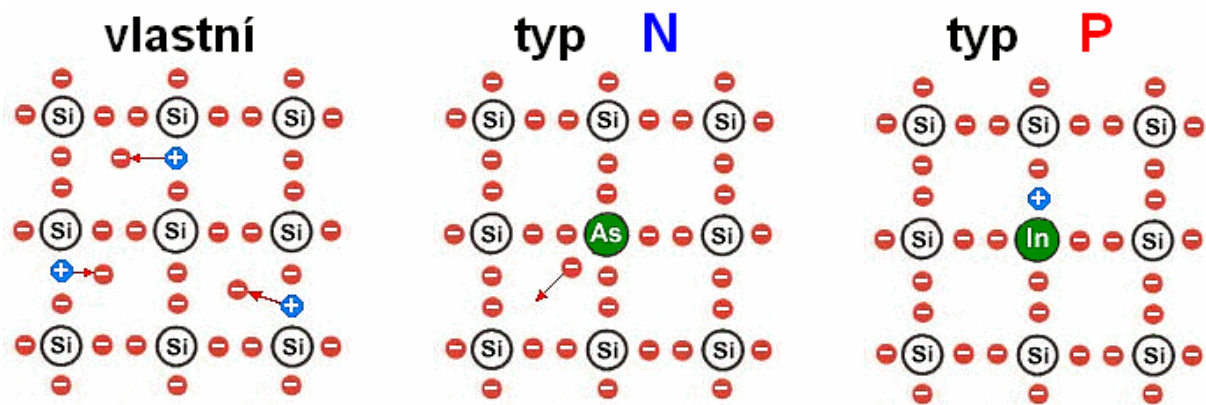
se posunou prázdná místa k sousedním atomům a dalšími přestupy jsou schopny se dále posouvat. [7]

Volné a přestupující valenční elektrony mají záporný elektrický náboj, a proto se v elektrickém poli posouvají proti směru působení intenzity elektrického pole. Prázdná místa se pak chovají jako částice s kladným nábojem a posunují se ve směru pole. Taková částice se označuje jako „díra“. [7]

Pro vlastní polovodič znamená uvolnění jednoho elektronu z valenčního pásu vznik jedné díry. Počet děr a počet volných elektronů je shodný. Pokud je pár díra-volný elektron vytvořen dopadajícím fotonem, tedy světelnou energií, pak musí být energie fotonu rovna nebo větší než šířka zakázaného pásu. Odpovídající fotony pak generují páry elektron-díra a jsou tak pohlcovány. Fotony s menší energií polovodičem pouze procházejí. [7]

Příměsový polovodič typu N vzniká tak, že v krystalu některé atomy prvku Si nahradíme atomy prvku V. skupiny Mendělejevy periodické tabulky prvků. Jde například o prvky As, P a Sb, které mají 5 valenčních elektronů a 4 z nich budou vázány kovalentní vazbou s nejbližšími atomy Si. Pátý elektron je vázán pouze slabě k atomu příměsi. Tento elektron se dodáním relativně malého množství energie odtrhne, což v energetickém schéma znamená, že přejde do vodivostního pásu. Přítomnost atomů příměsi se projeví v energetickém schéma tak, že zde vznikají energetické hladiny ležící v zakázaném pásu v blízkosti dolní hladiny vodivostního pásu. Takovéto pětimocné atomy se nazývají donory. [7]

Příměsový polovodič typu P vzniká opět nahrazením některých atomů Si v krystalu křemíku. Tentokrát se však nahrazují prvky ze skupiny III. periodické tabulky prvků. Jsou to například prvky B, Al, a Ga. Tyto příměsi obsahují pouze 3 valenční elektrony. Jedna z vazeb těchto atomů nebude zaplněna a bude se tedy chovat jako díra. Při dodání tepelné energie může valenční elektron přestoupit ze sousedního Si do nezaplňené vazby a díra se tak může pohybovat krystalem. Příměsi tvořící záchytná centra pro elektrony nazýváme akceptory. [7]



Obrázek 24 - Polovodiče [9]

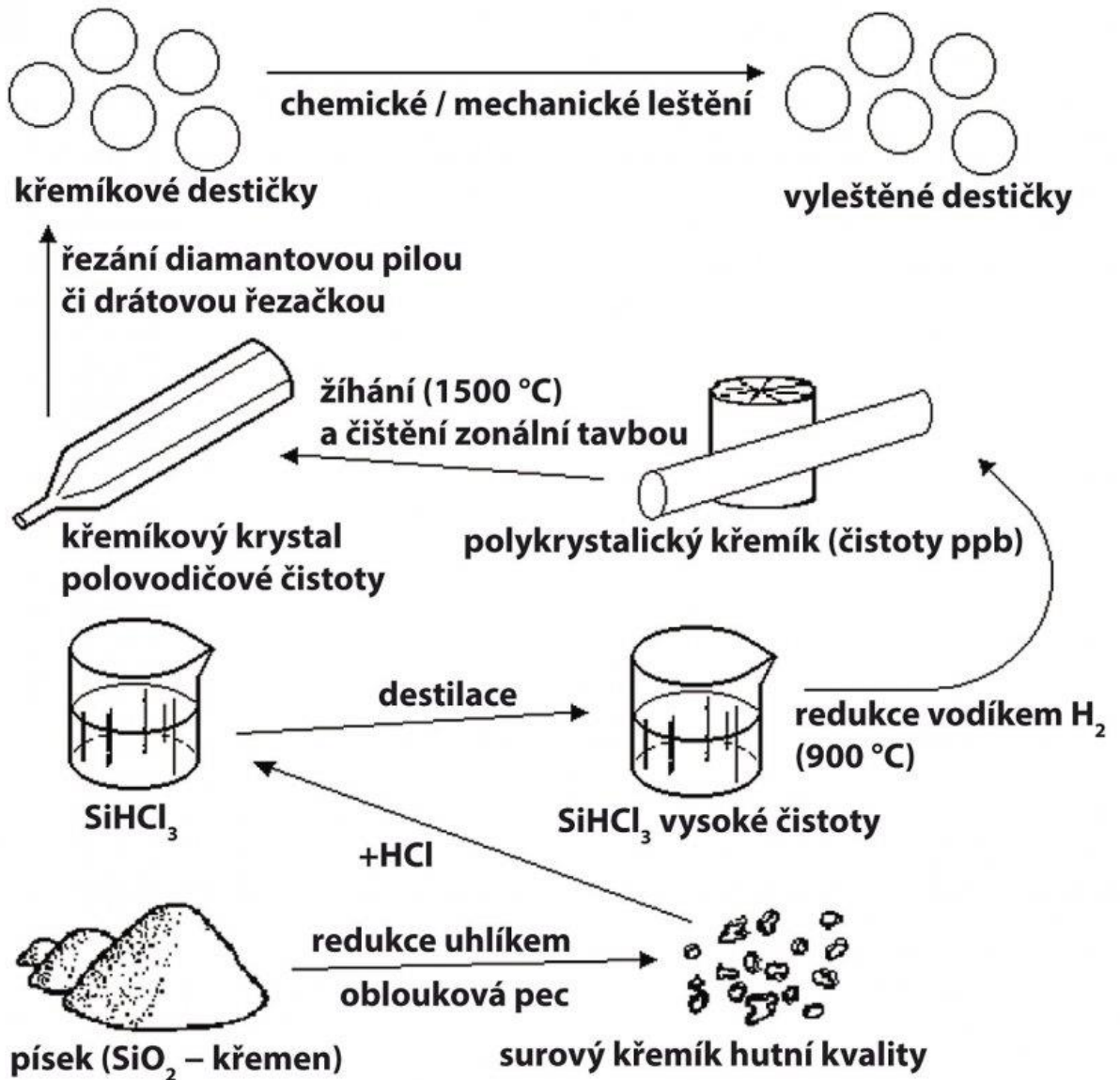
Speciálním případem nehomogenního rozložení je přechod PN. Tento přechod vzniká tak, že část krystalu je dopována jako polovodič typu P a sousední část je dopována jako polovodič typu N. PN přechod může být jednoduchou polovodičovou diodou. Systém je ve stavu dynamické rovnováhy a to znamená, že při teplotě $T > 0$ K v něm dochází k neustálé generaci a rekombinaci elektronů a děr. Přechod PN může být orientován v závěrném či propustném směru, proto propouští proud pouze jedním směrem. [7]

K fotovoltaické přeměně energie dochází v polovodičových fotovoltaických článcích. V těchto článcích se dopadající světelná energie fotonu mění na energii elektrickou. V principu jde o velkoplošnou diodu s PN přechodem. PN přechod je zde orientován kolmo k čelní ploše mezi přední a zadní stranou. Při dopadu fotonu s větší energií, než jaká odpovídá šíři zakázaného pásu generují tyto fotony páry elektron-díra. Takto fotony odevzdávají svou energii článku a jsou jím pohlcovány. Přebytek energie způsobuje kmitání mřížky a tím je materiál polovodiče ohříván. Páry elektron-díra, které jsou generovány v oblasti přechodu PN jsou od sebe odděleny elektrickým polem mezi vázanými prostorovými náboji. Díry jsou urychleny ve směru pole, elektrony opačně. Mezi opačnými póly fotovoltaického článku se objeví elektrické napětí. Při zapojení do elektrického obvodu pak obvodem teče stejnosměrný proud, a tak se z fotovoltaického článku stává zdroj elektrické energie. [7]

7.4. Konstrukce a výroba fotovoltaických panelů

Nejčastějším používaným materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. Křemík je velice výhodným materiálem, protože je hojně zastoupen v zemské kůře a je tedy dostupný a levný. Je také nejlépe prozkoumaným polovodičem, takže známe velmi dobře jeho vlastnosti. Jeho šířka zakázaného pásu je rovněž vyhovující. Přírodní formou křemíku je křemen neboli oxid křemičitý (SiO_2). Drobná zrnka oxidu křemičitého pak tvoří křemenný písek. [7]

Procesem redukcí uhlíkem se v obloukové peci vyrábí z křemenného písku surový křemík. V obloukové peci dochází k mnoha chemickým reakcím. Pokud budeme brát v potaz pouze výchozí a konečné produkty, lze tento proces zjednodušeně vyjádřit touto rovnicí: $\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Si} + \text{CO}_2$. [7]



Obrázek 25 - Schéma procesu výroby Si pro PV články [7]

Výstupem z procesu je monokrystalický či polykrystalický ingot. Výroba polykrystalických ingotů je jednodušší. Materiál se roztaví a poté se nalije do formy, ve které se nechá pomalou, definovanou rychlostí tuhnut. Rychlost tuhnutí musí být velice pomalá z důvodu, aby se v odlitku vytvořila co největší možná monokrystalická zrna. Pomalé tuhnutí také pomáhá tomu, aby se v materiálu tvořilo co nejméně dislokací, prnutí a dalších vad. [7]

Výroba monokrystalických ingotů bývá složitější a probíhá tzv. Czochralskiho metodou. Tato metoda probíhá následujícím způsobem. Do taveniny o teplotě 1415 °C se ponoří malý monokrystalický zárodek, který se poté z taveniny velice pomalu vytahuje a je s ním otáčeno kolem podélné osy. Tento zárodek pak dává základ pro vznik monokrystalické struktury. Celý tento proces je prováděn v inertní, tedy chemicky neaktivní atmosféře. [7]

Hotový monokrystalický či polykrystalický ingot se po vychladnutí řeže příčně na destičky, ze kterých je pak tvořen fotovoltaický článek. Na přední stranu článků se nanáší antireflexní vrstva, která minimalizuje odraz a pomáhá k maximálnímu využití dopadajícího záření. Články s nejvyšší účinností se pak jeví černé.[7]

Přední kontakt článku mívá nejčastěji tvar mřížky či hřebínku. Tyto tvary se využívají, aby byla zakryta pouze minimální plocha a svit tak mohl dopadat na co největší plochu článku. Zadní kontakt většinou překrývá celou plochu článku, u oboustranných panelů, které využívají i světlo odražené od okolí tomu bývá jinak a zadní kontakt je ve tvaru předního kontaktu. Kontakty se mohou vyrábět buď sítotiskem nebo vakuovými technologiemi. [7]

7.5. Účinnost a výkon panelů

Účinnost fotovoltaických článků na bázi křemíku se pohybuje okolo 20 % při sériové výrobě a některé laboratorní články se zdokonalujícími prvky mohou dosáhnout účinnosti až 30 %. Články na bázi jiných polovodičů mohou mít účinnost kolem 25 % pro sériovou výrobu. Ač mají články na bázi vyšších polovodičů vyšší účinnost, tak se pro běžné aplikace nevyplatí, a to kvůli vysoké ceně. Používají se tedy pro aplikace, kde jsou požadovány velice specifické vlastnosti, například pro kosmické aplikace. Dalším možným provedením jsou tenkovrstvé články, které mají účinnost pouze kolem 10 %. Tenkovrstvé články mohou být na bázi křemíku či jiných polovodičů. [7]

Jednotlivé články se skládají do panelů v sérioparalelní kombinaci tak, aby při definovaném oslunění vytvářely požadované stejnosměrné napětí a výkon. Maximální výkon panelů závisí především na ploše panelu. Životnost kvalitního polovodičového panelu je 20-30 let. [7]

7.6. Oboustranné panely

Ke zvýšení účinnosti fotovoltaického panelu pomáhá využití obou stran panelu. Cena oboustranných panelů se většinou od standardních panelů neliší. Rozdíl ve výrobě je ten, že u oboustranného panelu není zadní kontakt článku celoplošný, ale má tvar jako kontakt přední. Na zadní straně oboustranného panelu je také navíc použit průhledný laminát. [7]

Oboustranné panely jsou výhodné zejména v zimních měsících, kdy mohou dodávat až o 25 % více energie než panely standardní. U oboustranných panelů také mnohem méně záleží na jejich

orientaci a jsou tedy vhodné do míst, kde se nedá orientace ovlivnit a je předem dána zadáním projektu. [7]

7.7. Ostrovní a síťové fotovoltaické systémy

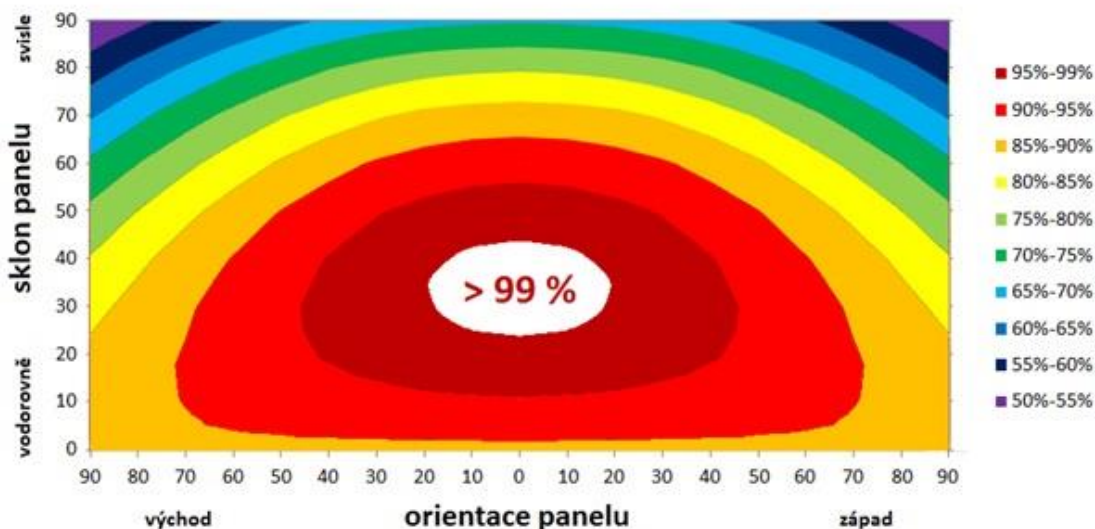
Fotovoltaické systémy a solární elektrárny mohou být konstruovány jako ostrovní či síťové. Ostrovní systémy nejsou napojeny na rozvodnou síť a jsou zcela soběstačné. Ostrovní systém zásobuje pouze malou oblast a někdy může dokonce zásobovat pouze jediný spotřebič. Při návrhu ostrovního systému je třeba přihlížet k jeho účinnosti, hodnotám slunečního svitu v místě instalace a celkové spotřebě všech zařízení napojených na tento systém. Ostrovní systém se hodí především do oblastí, kde není možné napojení na distribuční síť, jsou zde časté výpadky či pokud chce být vlastník tohoto systému zcela soběstačný. Tento systém je však vzhledem k nutnosti pořízení akumulátoru dražší, než je systém síťový.[7]

Síťové systémy jsou napojeny na veřejnou distribuční síť a v případě přebytku do této sítě dodávají vlastní energii. Naopak v případě nedostatku energie z této sítě energii odebírají. Pokud není žádoucí se sítě odebírat či do ní dodávat, systém se automaticky od sítě odpojí pomocí měniče. [7]

7.8. Poloha solárních panelů

Pokud je možné si zvolit sklon a orientaci fotovoltaických panelů, volí se zásadně orientace přední stranou panelu k jihu. Sklon se volí tak, aby v poledne byl nulový úhel dopadu slunečního záření, tedy aby v poledne dopadalo kolmo na přední plochu panelu. Tento sklon závisí na zeměpisné šířce. Pro maximální využití solárního systému je vhodné alespoň dvakrát za rok změnit nastavení sklonu panelu. Pokud není možné měnit sklon panelu, využívá se nastavení panelu na zimní provoz. V zimních měsících je nejméně sluneční energie, oproti letnímu provozu je produkce energie pouze poloviční. [7]

Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu



Obrázek 26 - Optimální orientace a sklon PV panelu [10]

Vhodnou polohu panelu zajišťuje stojan. Stojan může být buď v provedení statickém nebo pohyblivém. Statické stojany mají pevně danou orientaci a při vhodné konstrukci ze možné změnit jejich úhel nastavení. [7]

Fotovoltaické panely je také možné umístit na stojan pohyblivý. Pokud je k pohyblivému stojanu umístěno zařízení, které sleduje pohyb slunce a dle toho panel natáčí tak, aby byl panel přední stranou kolmo ke slunečnímu záření po celý den, pak je tento panel schopen vyrábět větší množství energie než při umístění na stojan statický. Bez uvážení vlivu atmosféry je toto navýšení až 57 %. Na Zemi však musíme počítat s vlivem vrstvy atmosféry, který je při západu a východu slunce ještě vyšší. Na Zemi tedy může být navýšení množství vyrobené energie až 40 % a v podmínkách České republiky je to maximálně 30 %. [7]

7.9. Stavebně integrované instalace s provětrávanou mezerou

U stavebně integrovaných instalací fotovoltaického pole tvoří panely souvislou plochu, umístěnou v těsné blízkosti konstrukce budovy. Mezi konstrukcí a fotovoltaickým polem je provětrávaná dutina, která je od sebe odděluje. U tohoto uspořádání je však velmi omezené ochlazování zadní strany panelů. Specifikem této aplikace je tedy vyšší provozní teplota fotovoltaických článků, která však může zapříčinit jejich nižší výkonnost. [11]

Typická je instalace na fasádu, kde panely většinou tvoří vnější plášť obvodové stěny. Další typickou aplikací je instalace na šikmou střechu, kde panely přímo netvoří stavební funkci. V jistých případech však mohou panely nahradit střešní krytinu. [11]



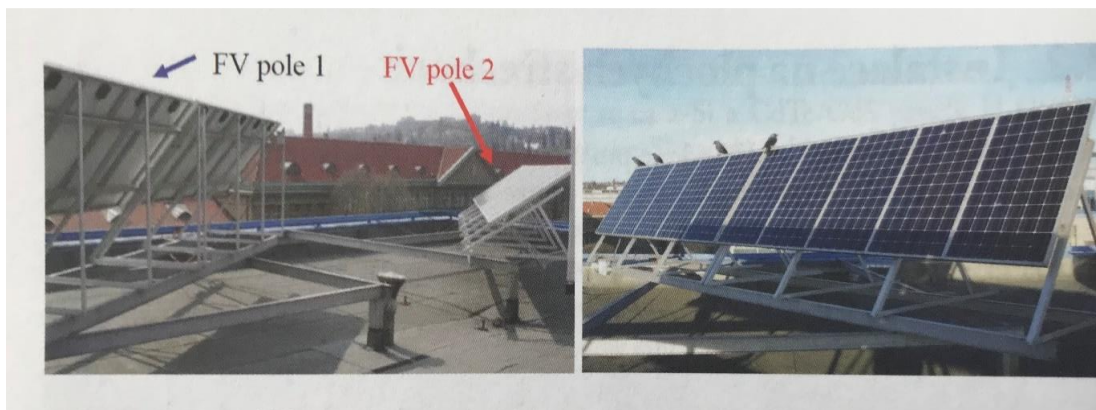
Obrázek 27 - Příklady využití fotovoltaických polí s větranou dutinou [11]

U těchto aplikací se však musí dbát na správnou míru stavební integrace. Vysoká míra stavební integrace fotovoltaického pole může způsobovat nárůst teploty panelů a tím i pokles jejich výkonu. [11]

7.10. Instalace panelů na plochých střechách

Fotovoltaické panely se na ploché střechy instalují převážně v rovnoběžných řadách tvořených pouze jedním panelem po jejich výšce. Tento způsob instalace se provádí především z důvodu snížení zatížení větrem panelů a podpůrných konstrukcí. Uložení panelů může být horizontální či vertikální. [11]

U instalací panelů na plochých střechách dochází k tzv. vnitřnímu stínění. To nastává, stíní-li si jednotlivé řady panelů navzájem. Toto stínění může způsobovat pokles výkonu fotovoltaického pole a je třeba mu zamezit. K vnitřnímu stínění dochází především v zimních měsících, kdy je slunce nízko. Řešením může být velký rozestup mezi řadami. Toto řešení však není vzhledem k omezené ploše střechy vždy možné. Jiné možné řešení je vhodně zvolené umístění jednotlivých řad panelů tak, aby si navzájem nestínily. Tento způsob řešení je na obrázku 28. [11]



Obrázek 28 - Vhodné rozmístění fotovoltaických polí pro zamezení vlivu vnitřního stínění [11]

8. Návrh fotovoltaického systému

8.1. Roční spotřeba elektrické energie

Vzhledem k tomu, že faktury za spotřebu ani přesné měření spotřeby elektrické energie nejsou k dispozici, bylo třeba si spotřebu vypočítat teoreticky. Nejdříve bylo třeba určit napájené spotřebiče a systémy. Celkový počet osob v objektu je 325. Významnou spotřebu ve školním objektu tvoří počítače. Jsou zde 2 počítačové učebny, některé běžné učebny pak budou mít projektory, k jejichž ovládání je pak také třeba počítač a rovněž všechny kanceláře školního personálu budou mít počítačové sestavy. Počet počítačových sestav ve škole bude tedy 75. Další významnou položku ve spotřebě pak tvoří osvětlení a automaty na občerstvení, které jsou ve škole celkem 4. Další položky spotřeby je možno vidět v tabulce číslo 2. Tato tabulka představuje spotřebu za běžný školní den pro letní provoz budovy. Spotřeby jednotlivých spotřebičů byly dohledány v katalozích dodavatelů. Denní provoz v hodinách je odhadem, dle běžného školního provozu a rozvrhů hodin.

Tabulka 2 - Spotřeba za běžný letní den

Letní provoz					
Spotřebiče					
Název spotřebiče	Počet[-]	El. příkon [kW]	El. příkon celkem[kW]	Provoz [h]	Spotřeba za den [kWh]
Mikrovlnná trouba	6	1,25	7,5	0,2	1,5
Lednice	4	0,1	0,4	6,5	2,6
Rychlovarná konvice	8	1,37	10,96	0,2	2,2
Televize	6	0,2	1,2	0,5	0,6
DVD	6	0,01	0,06	0,5	0,03
Tiskárna	5	0,5	2,5	1	2,5
Projektor	10	0,25	2,5	1,5	3,8
PC sestava	75	0,2	15	8	120,0
Router	10	0,012	0,12	24	2,9
Telefon	20	0,005	0,1	24	2,4
Automat - občerstvení	4	0,5	2	24	48,0
Zářivky učebny a kanceláře - dvojité	253	0,072	18,216	3	54,6
Zářivky chodby- dvojité svítidlo	187	0,015	2,805	3	8,4
Zářivky toalety, šatny, tělocvična- dvojité	143	0,03	4,29	3	12,9
Bojler - zásobníkový	4	2	8	4	32,0
Pomocné energie (na vytápění, větrání,...)	1				50,0
Celkem		75,651			344,4

Stejným způsobem jsem vytvořila další tabulky běžného vyučovacího dne za zimní provoz. V zimním provozu se budou lišit pouze spotřeby energie na osvětlení a pomocné energie na vytápění. Dále jsem vytvořila tabulky pro běžný víkendový a prázdninový den, tedy dny, kdy ve škole nebudou přítomny žádné či minimum osob viz tabulka 2. Poslední vytvořenou tabulkou pak byla tabulka pro běžný prázdninový den, kdy je ve škole přítomný pouze personál a připravuje se na školní rok. Pro tyto dny budou v provozu všechny druhy spotřebičů, jako jsou v tabulce pro letní provoz. Bude však omezen počet spotřebičů v provozu.

Tabulka 3 - Spotřeba za běžný den volna

Víkendový a prázdninový provoz - nikdo ve škole					
Spotřebiče					
Název spotřebiče	Počet[-]	El. příkon [kW]	El. příkon celkem[kW]	Provoz [h]	Spotřeba za den [kWh]
Lednice	4	0,1	0,4	6,5	2,6
Router	10	0,012	0,12	24	2,9
Telefon	20	0,005	0,1	24	2,4
Automat - občerstvení	4	0,5	2	24	48,0
Pomocné energie (na vytápění, větrání,...)	1				10,0
Celkem		2,62			65,9

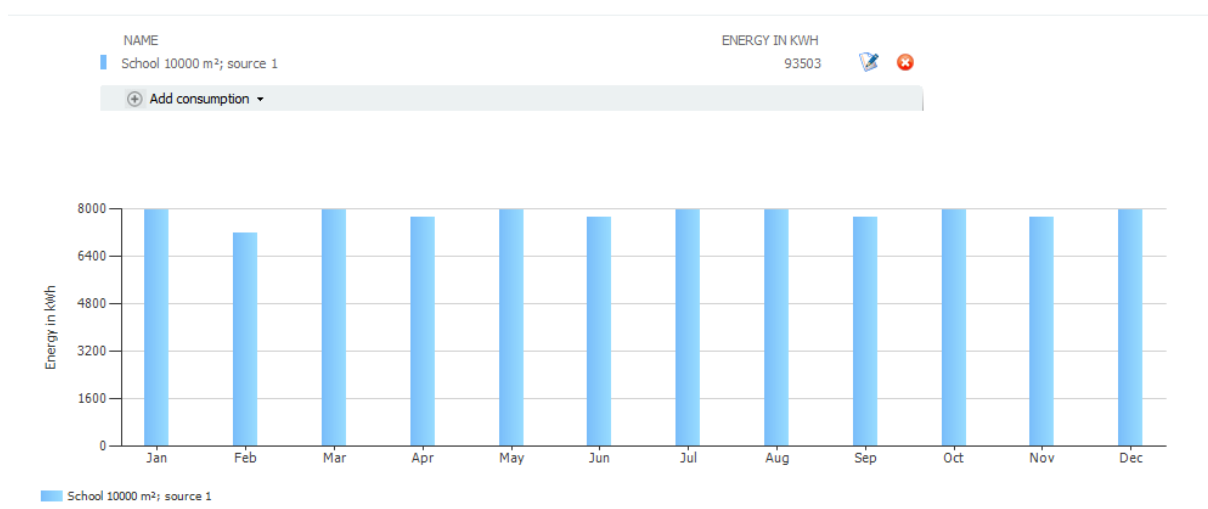
Pomocí těchto tabulek a kalendáře běžného školního roku jsem si pak spočítala celkovou spotřebu za školní rok. Počet dní v letním provozu za školní rok je 78, počet dní zimního provozu je 111, počet dní bez přítomnosti osob je 161 a počet dní, kdy je přítomný pouze personál je 15. Přehled je možno vidět v tabulce číslo 3. Celková odhadovaná spotřeba za školní rok je 93503 kWh.

Tabulka 4 - spotřeba energie

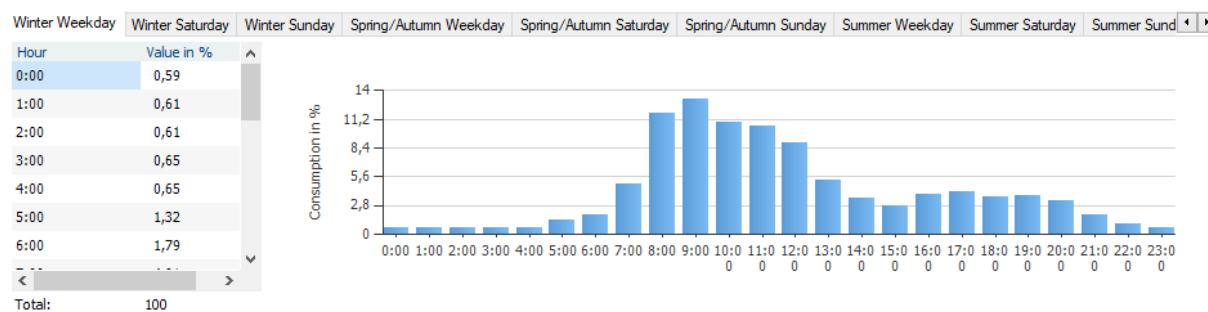
Období	Počet dní	Spotřeba
Letní dny	78	26862
Zimní dny	111	54453
Léto - pouze učitelé	15	1582
Bez obsazenosti	161	10607
Celková spotřeba [kWh]		93503

8.2. Profil spotřeby

Odhadovanou spotřebu za školní rok jsem zadala do programu PV*SOL Premium 2020 od Německé společnosti Valentin Software GmbH. Tento program má k dispozici vzorové profily pro různé objekty. Zvolila jsem tedy profil pro školu s velikostí 10000 m² a do tohoto profilu jsem vepsala svou vypočítanou roční spotřebu energie, který je 93503 kWh.



Obrázek 29 - profil spotřeby v průběhu roku



Obrázek 30 - profil spotřeby v průběhu běžného zimního školního dne

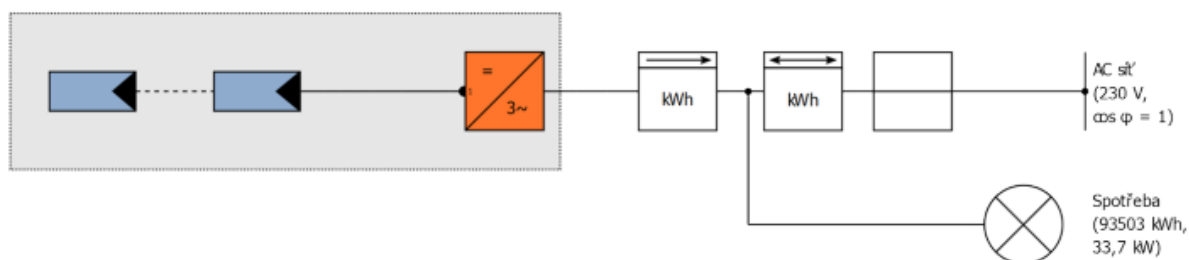
8.3. Systém 1

První verze návrhu fotovoltaického systému počítá s plným pokrytím největší plochy střechy. Střecha tělocvičny nebude pokryta z důvodu stínění hlavní střechy, střecha věže také nebude pokryta. Panely jsou v této verzi orientovány jihozápadně a sklon panelů je 30° a jsou postaveny na výšku.



Obrázek 31 – Vizualizace systému 1

Pro solární systém jsem zvolila monokrystalické solární panely LG 360Wp MONO, jehož nominální výkon je 360 Wp. Na plochu střechy bude umístěno celkem 502 kusů těchto panelů, jejichž celkový nominální výkon je 180,72 kWp. Celkový povrch fotovoltaického generátoru je 867,1 m². Systém bude mít 16 měničů modelu LG ESS Home 10. Technické listy solárního panelu a měniče jsou umístěny v příloze.



Obrázek 32 - Schéma zapojení systému

Celkový roční výnos energie FV generátoru v AC (střídavé) síti je po odečtení pohotovostního režimu střídačů 134 MWh. Celková roční spotřeba budovy je 93503 kWh. Vlastní spotřeba budovy je 49167 kWh, což vzhledem k profilům spotřeby budovy pokryje celkovou roční spotřebu z 52 %. Zbytek energie, tedy 88 MWh bude navrácen do sítě.

8.4. Systém 2

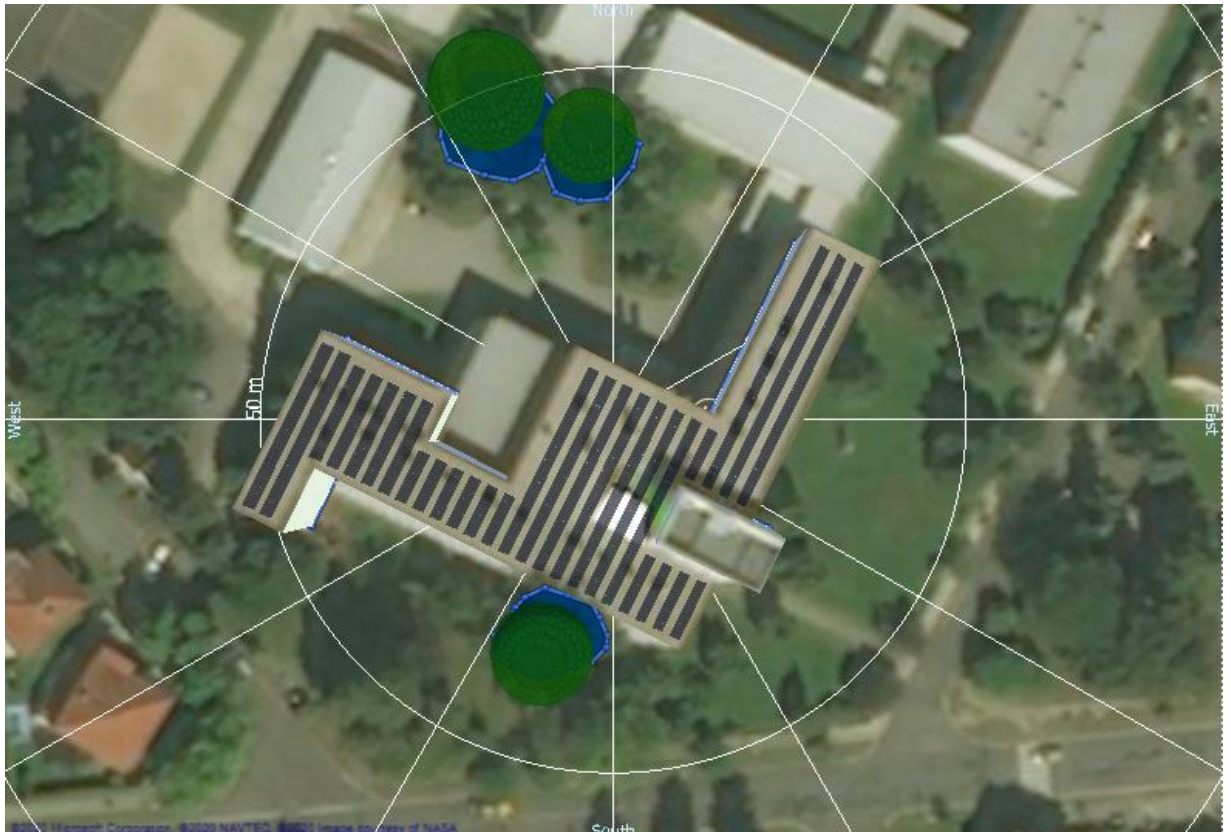
Druhá verze návrhu fotovoltaického systému je podobná, jako je návrh systému číslo 1. Hlavní rozdíl je v orientaci, která je u druhého návrhu jižní. Jižní orientace je udávána jako ideální orientace a výnos energie by tedy měl být teoreticky u tohoto systému vyšší. Vzhledem k orientaci budovy však bude tento systém obsahovat menší počet fotovoltaických panelů a také hrozí vyšší míra stínění. Počet fotovoltaických panelů, které se vejdou na střechu budovy při jižní orientaci je 437, počet měničů je 14. Panely a měniče budou totožné, jako u systému 1. Celkový roční výnos elektrické energie FV generátoru v AC síti je po odečtení pohotovostního režimu střídačů 113 MWh. Pokrytí vlastní spotřeby energie s ohledem na profil spotřeby budovy je u tohoto systému 46 %.



Obrázek 33 - Vizualizace systému číslo 2

8.5. Systém 3

Systém 3 bude podobný se systémem 1 s tím rozdílem, že orientace je zde jihovýchodní. Počet FV panelů je 476 a počet měničů 14. Celkový roční výnos elektrické energie FV generátoru v AC síti je po odečtení pohotovostního režimu střídačů 107 MWh. Pokrytí vlastní spotřeby energie FV systémem je 49 %, při zohlednění profilu spotřeby budovy.



Obrázek 34 - Vizualizace systému 3

8.6. Systém 4

Z návrhu předchozích systému jsem zjistila, že nejvyšší výnos energie z jednoho panelu připadá na orientaci jihozápadní. U plného pokrytí střechy se však vzhledem k profilu spotřeby budovy a profilu produkce elektrické energie z panelů velká část energie vrací do sítě. Systém 4 bude mít totožnou orientaci a sklon panelů, jako má systém 1, model panelů a jističů je zde totožný. U systému 4 je však pokryta pouze část střechy s celkovým počtem panelů 285, měničů zde je celkem 9. Panely budou u systému 4 umístěny pouze na části střechy, kde nehrozí větší stínění v průběhu dne, zejména od věže budovy. I když je u systému 4 pokrytí střechy menší, tak je systém schopen pokrýt 46 % vlastní spotřeby, avšak zpět do sítě se dostává pouze 38196 kWh. Celkový roční výnos elektrické energie FV generátoru v AC síti je po odečtení pohotovostního režimu střídačů 79 MWh. Model panelů a měničů je u tohoto systému totožný, jako u systému 1.



Obrázek 35 - Vizualizace systému 4

8.7. Srovnání systémů

Vzhledem k provedeným simulacím jsem zjistila, že na tomto místě je ideální orientace jihozápadní. Jihozápadní orientace zde znamená nejvyšší produkci energie na jeden panel. U orientace jižní a jihovýchodní bude nižší produkce energie a tím i nižší pokrytí vlastní spotřeby energie z fotovoltaického systému. Tyto skutečnosti jsou patrné z tabulky číslo 4. Všechny navržené systémy jsou zpracovány se stejnými modely panelů a měničů.

Tabulka 5 - Srovnání jednotlivých systémů

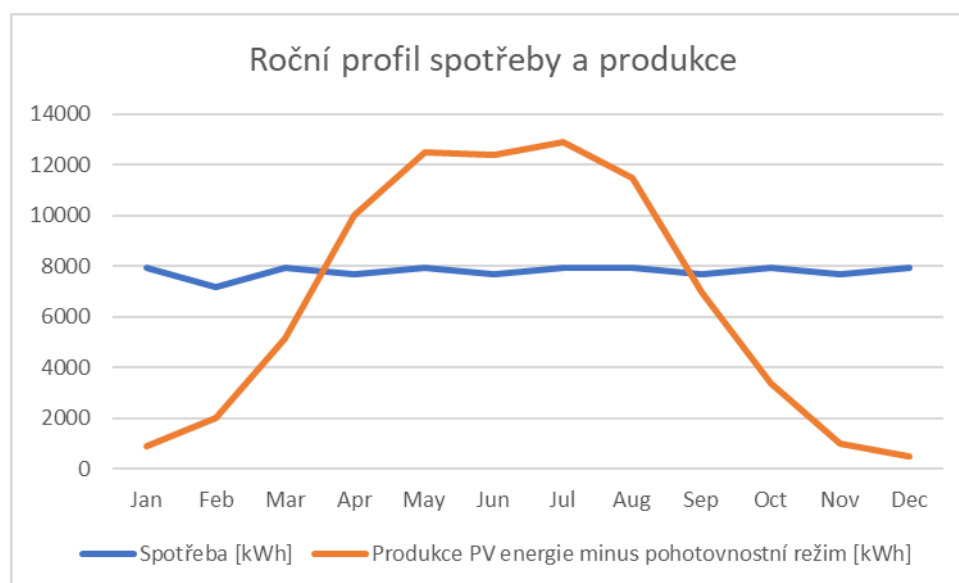
Systém	1	2	3	4
Počet panelů [ks]	502	437	476	285
Počet měničů [ks]	16	14	14	9
Orientační cena systému [Kč]	7136260	6224310	6677880	4041550
Výnos FV pole [MWh] minus Standby use	134000	113200	107220	79324
Pokrytí vlastní spotřeby [%]	52%	46%	49%	46%
Výnos na jeden panel [kWh] (výnos/počet panelů)	267	259	225	278
Síťové napájení [MWh]	88	73	65	38

Z tabulky 4 je patrné, že výhodný bude pro tuto budovu systém 4. I při nižším pokrytí střechy je tento systém schopen pokrýt z velké části vlastní spotřebu. Pokrytí spotřeby je u systému 4 pouze o 6 % nižší, než u systému 1. Vzhledem k současné nízké výkupní ceně elektrické energie pocházejícího z FV systému se nevyplatí dodávat elektrickou energii do sítě. Při uvažování výkupní ceny 500 Kč za 1 MWh je při největším možném pokrytí střechy výnos z tohoto systému pouze 44000 Kč ročně. Vzhledem k vysokým investičním nákladům se tedy systém 1 finančně nevyplatí. Systémy 2 a 3 mají vzhledem k orientaci nižší výnos energie na jeden panel: Systém 4 má tento podíl nejvyšší, je tomu tak pravděpodobně kvůli umístění, kdy během dne nedochází k většímu stínění panelů.

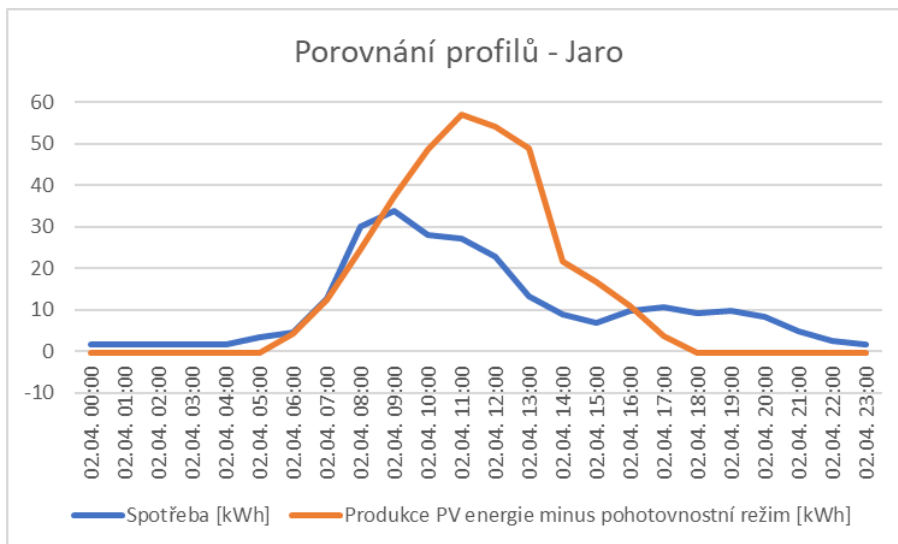
Investiční náklady byly spočítány pomocí katalogu dodavatelů. Uvažovaná cena za jeden kus panelu LG 360Wp MONO je 10230 Kč, cena jednoho měniče LG ESS HOME 10 je 78000 Kč, cena jednoho polohovacího rámu pro panel je 1400 a cena montáže při plném pokrytí střechy je uvažována 50000 Kč a při částečném pokrytí 25000 Kč. Ceny jsou uvažovány s DPH.

8.8. Specifika systému 4

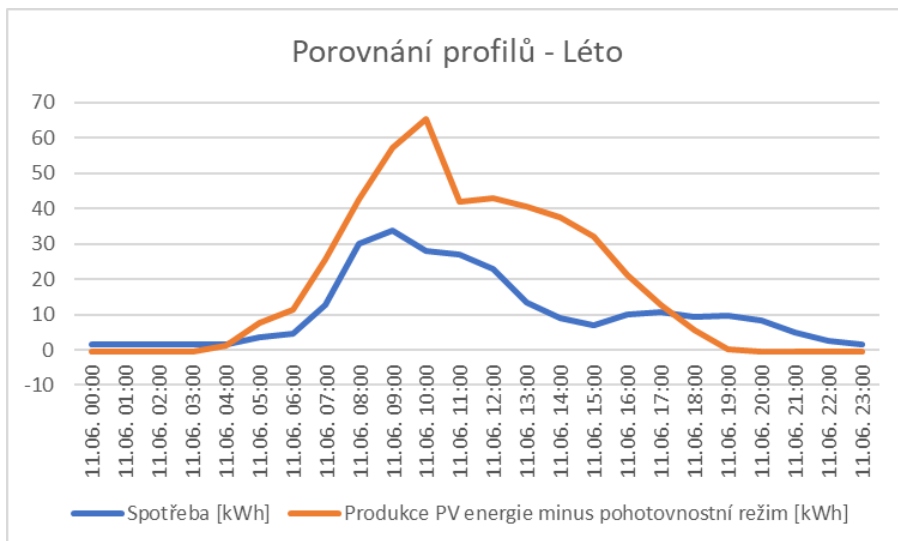
Pro budovy SZŠ a SOU Poděbrady volím jako nejvýhodnější variantu systém číslo 4. Pro srovnání profilu spotřeby a profilu produkce elektrické energie jsem pro každé roční období zvolila jeden typický měsíc, tedy měsíc, kdy je produkce elektrické energie průměrná. Z každého z těchto měsíců jsem si pak zvolila jeden typický den. Je to den, kdy je průměrná produkce elektrické energie a spotřeba energie odpovídá běžnému vyučovacím dni.



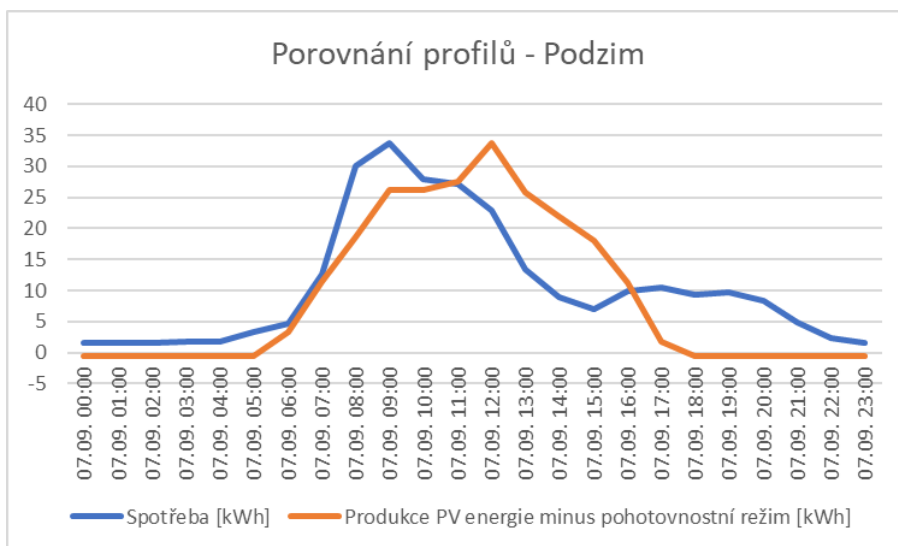
Obrázek 36 – Roční porovnání profilů spotřeby a produkce



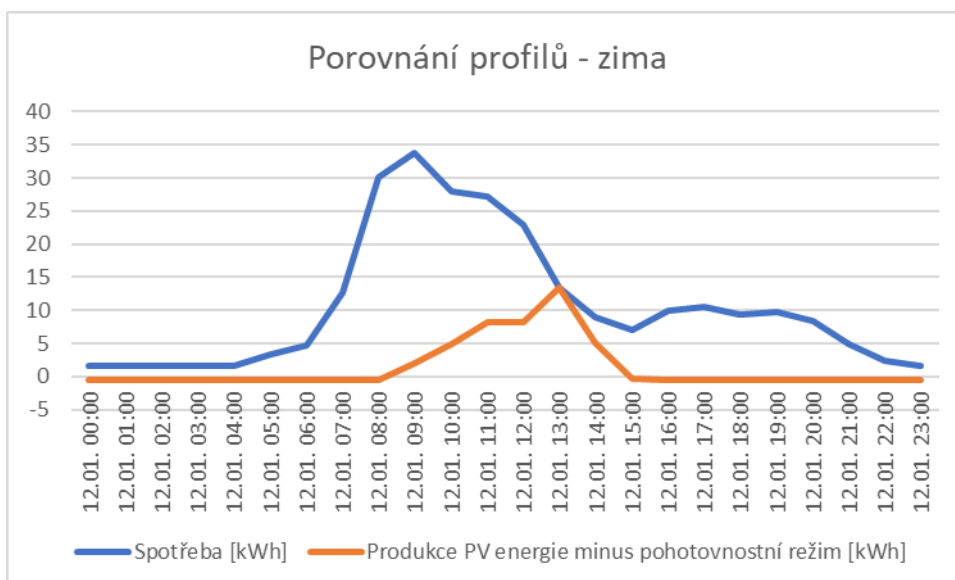
Obrázek 37 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Jaro



Obrázek 38 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Léto



Obrázek 39 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Podzim



Obrázek 40 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Zima

Z přechozích obrázků, které srovnávají profil spotřeby elektrické energie školy a profil produkce fotovoltaického systému při odečtení pohotovostního režimu měničů je patrné, že systém nejlépe pokryje spotřebu školy v letním období. Naopak v zimním období je produkce elektrické energie nedostatečná. Je tomu tak především z toho důvodu, že v zimním období je méně slunečních dní a také tím, že v zimním období dopadá sluneční záření na severní polokouli přes větší vrstvu atmosféry. Tuto skutečnost jsem již popisovala v kapitole fotovoltaické systémy. Minusové hodnoty v grafech představují u křivky produkce spotřebu pohotovostního režimu měničů. V noci, kdy není žádná produkce elektrické energie tyto měniče stále odebírají energii ze sítě.

Dle simulace provedené v programu PV*SOL Premium 2020 se instalace tohoto systému projeví pozitivně na snížení emisí CO₂, tento systém sníží jejich produkci o 38671 kg/rok.

9. Teplovodní otopné soustavy - teoreticky

9.1. Postup návrhu otopné soustavy

Návrh otopné soustavy vždy závisí na vlastnostech objektu. Aby bylo možné navrhnout kvalitní otopnou soustavu, je třeba znát tyto výchozí informace:

- Umístění stavby
- Účel objektu
- Provoz objektu
- Konstrukce budovy z hlediska tepelně-technických vlastností
- Konstrukce budovy z hlediska uložení potrubí
- Rozmístění, druh a typ otopných ploch

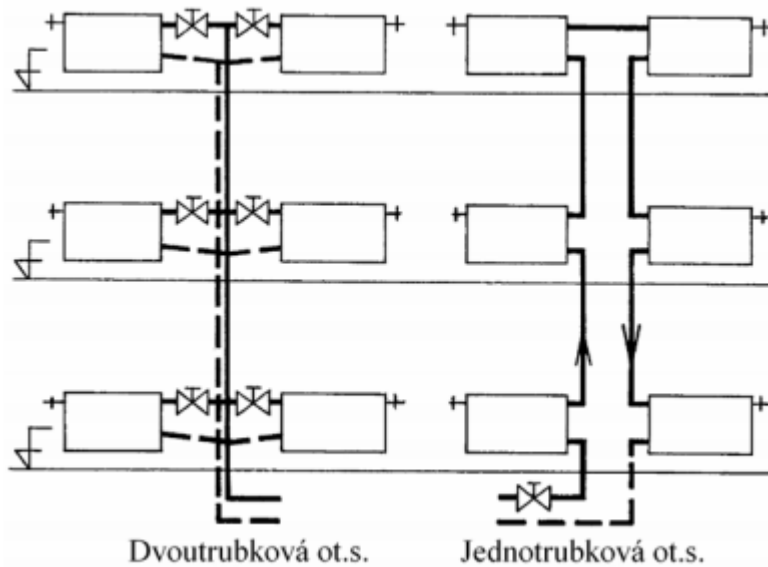
U návrhu otopné soustavy jde především o vhodnou volbu jednotlivých parametrů soustavy z hlediska minimalizace nákladů a s přihlédnutím ke specifikům dané budovy. [19]

9.2. Prostorové uspořádání otopné soustavy

Všechny otopné soustavy by měly umožňovat dokonalé odvodnění a odvzdušnění celé sítě. Tato vlastnost se zajišťuje spádováním rozvodů k místům vypouštění a umístění odvzdušňovacích ventilů. [19]

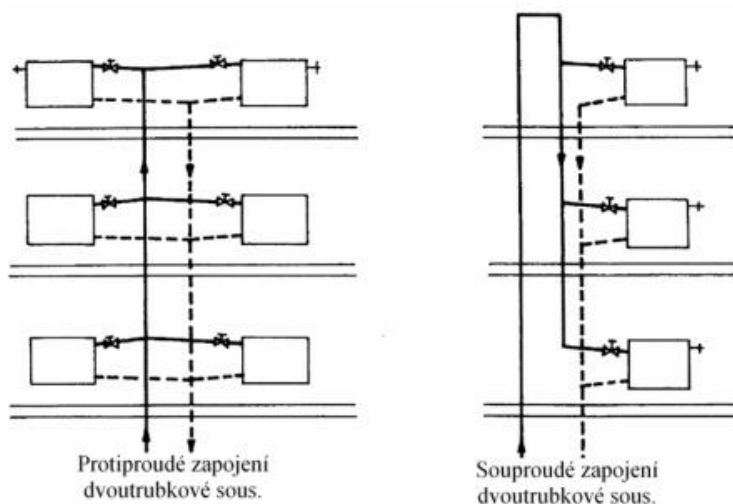
9.3. Způsob vzájemného propojení otopných těles

Otopné soustavy mohou být jednorubkové, či dvourubkové. Takto se rozlišují dle vzájemného propojení otopných těles. [19]



Obrázek 41 - Jednotrubková a dvoutrubková otopná soustava [19]

Nejčastěji používanou otopnou soustavou je soustava dvoutrubková. Všechna otopná tělesa zde pracují s podobnými parametry otopné vody. U dvoutrubkové soustavy se rozlišuje potrubí přívodní a potrubí vratné a dle jejich vzájemného vztahu lze tyto soustavy rozlišit na protiproudé a souproudé. V protiproudých soustavách je vratné potrubí vedeno ve stejné trase, jako přívodní potrubí s opačným směrem proudění otopné vody. Nevýhodou u protiproudého zapojení je ta skutečnost, že tělesa vzdálenější od zdroje jsou znevýhodněna z hlediska tlakových ztrát třením. Tuto nevýhodu je schopno eliminovat zapojení souproudé, u kterého je vratné potrubí je zde vedeno souběžně s přívodním potrubím. Tlakové ztráty třením zde nevznikají z důvodu, že pro každé místo v rozvodu je součet délek přívodního a vratného potrubí konstantní. [19]



Obrázek 42 - Protiproudé a souproudé soustavy [19]

Další možností propojení otopné soustavy je jednorubkové řešení. Tělesa jsou zde propojena sériově a otopná voda postupně protéká přes otopná tělesa, která jsou zapojena v okruhu. U této soustavy nelze jednoznačně určit, zda se jedná o přívodní či vratné potrubí, protože mezi tělesy protéká směs přívodní a vratné vody. Nevýhodou této soustavy je skutečnost, že teplota otopné vody přiváděné postupně do jednotlivých těles postupně klesá a tím se mění jejich měrný výkon. [19]

9.4. Umístění ležatého rozvodu

Dle umístění ležatého rozvodu lze rozlišit soustavy se spodním, horním či s kombinovaným rozvodem. Spodní rozvod je nejčastějším řešením u budov se sklepem, kdy je zdroj tepla umístěn v nejnižším podlaží. V nejnižším podlaží je potrubí vedeno pod stropem či v kanálku v podlaze a na něj jsou napojeny stoupačky. Další možností umístění ležatého rozvodu je horní rozvod. Ten se používá u nepodsklepených budov, u kterých není možné vést ležaté rozvody v nejnižším podlaží. Další možnost využití horního rozvodu je u budov, které mají zdroj tepla umístěn na střeše. U horního rozvodu je ležatý rozvod veden například v půdním prostoru. Horní rozvod nese řadu nevýhod. Třetí možností umístění ležatého rozvodu je kombinace výše uvedených řešení. Používá se u budov, kdy je možné vést ležaté rozvody jak v nejnižším, tak v nejvyšším podlaží. Kombinované řešení se moc často nevyužívá. [19]

9.5. Vedení hlavního rozvodu

Dle způsobu vedení hlavního rozvodu, ke kterému jsou připojeny přípojky k otopným tělesům se rozlišují soustavy horizontální, vertikální a hvězdicové. Soustava horizontální má minimum stoupaček, na které jsou napojeny horizontální okruhy ležatých rozvodů. Otopná tělesa jsou k horizontálním rozvodům napojena vertikálně. Dalším možným řešením je soustava vertikální. V takto řešené soustavě jsou tělesa přímo napojena na stoupačky pomocí krátkých horizontálních přípojek. Další možností je soustava hvězdicová. V principu jde o vertikální dvoutrubkovou soustavu s omezeným počtem stoupaček. Ve středu objektu je umístěna stoupačka, na kterou je v každém podlaží napojen rozdělovač a sběrač, z něhož vedou samostatné rozvody ke každému tělesu. [19]

9.6. Teplotní charakteristika soustavy

Jednou z nejdůležitějších teplotních charakteristik otopné soustavy je teplotní spád. Rozeznáváme dva druhy spádů, první je teplotní spád otopné soustavy, který je rozdílem výpočtové teploty otopné vody na vstupu do soustavy a na výstupu. Druhým je teplotní spád na otopném tělese, ten je rozdílem výpočtové teploty na vstupu do tělesa a na jeho výstupu. Tyto teploty se volí dle typu otopné soustavy a typu těles. Další důležitou teplotou u otopných soustav

je střední teplota tělesa, ta se počítá jako aritmetický průměr teplot na vstupu a na výstupu z tělesa. S rostoucím teplotním spádem otopné soustavy klesá hmotnostní průtok a střední teplota vody v tělese a tím roste plocha potřebná k předání tepelného výkonu do místnosti. [19]

Teplotní parametry otopné soustavy se volí s ohledem na minimalizaci nákladů, s ohledem na vlastnosti pracovní látky, dle hygienických požadavků na otopnou soustavu a dle technických možností zdroje tepla. [19]

9.7. Oběh vody v otopné soustavě

Přenos tepla v otopné soustavě probíhá pomocí proudění teplotné látky. Oběh vody v otopné soustavě může být přirozený či nucený. Přirozený oběh vzniká na základě rozdílu hustot přívodní a vratné otopné vody. Nucený oběh je vyvolán tlakem oběhového čerpadla. [19]

9.8. Materiál rozvodu

Při návrhu otopné soustavy je nutné přihlídnout k vlastnostem použitého materiálu. Kovové potrubí je možné vést před stěnami volně bez dalších úprav. Plastové potrubí je nutné chránit proti mechanickému poškození. Pokud se vlastnosti materiálu zohlední již při návrhu a případný materiál je vhodně upraven, pak je použití kovových a plastových trubek srovnatelné a je možné využít výhod jednoho z materiálů. Většina škod v potrubí vzniká v důsledku přítomnosti kyslíku v otopné vodě. [19]

10. Příprava teplé vody - teoreticky

10.1. Kvalita teplé vody

Teplá voda kvalitativně odpovídá vodě určené k lidské spotřebě a musí splňovat bakteriologická, biologická, a chemická kritéria pro vodu určenou k lidské spotřebě, které jsou dána vyhláškou. Se zvyšující se teplotou vody roste i její chemická reaktivita, která se projevuje v kovových částech potrubí korozí a vznikem inkrustací, která mohou způsobit jeho zarůstání. U potrubí z chemicky odolných materiálů není riziko koroze, ale také hrozí riziko vzniku inkrustací. [20]

10.2. Úprava teplé vody

Úprava vody určené k ohřevu probíhá ve třech fázích. Proces úpravy vody sestává z odkyselovacího filtru, který snižuje tvrdost vody dalším krokem je dávkování inhibitoru koroze, a nakonec magnetická úprava vody, která snižuje riziko inkrustací u vody s velkou koncentrací vápníku a hořčíku. [20]

10.3. Legionella

Kvalita teplé vody souvisí také s výskytem bakterie Legionella pneumophila, která je nebezpečná zejména pře jejím vdechnutí. Zdrojem kontaminace mohou být zásobníky či ohřívače vody, sprchové hlavice, málo používané části rozvodů či některé druhy těsnění. Existují dva možné způsoby kontaminace. První je kontaminace systémová, kdy je zdroj bakterií usídlen v centru vodní sítě. Ani za delší dobu výtoku zde nedojde ke snížení koncentrace bakterií, protože bakterie jsou neustále vyplavovány z hloubky systému. Další možností kontaminace je lokální kontaminace, u které se koncentrace bakterií po výtoku prudce sníží. Zdroj lokální kontaminace může být ve sprchové hlavici či těsnění, dalším možným zdrojem kontaminace může být nedostatečný odstup potrubí teplé a studené vody a jejich nedostatečná izolace. Stagnující voda takto může být ohřívána na 25-30 °C a tak zde dochází k množení bakterií. Tento stav může nastat při delších časových přestávkách či u méně používaných úseků potrubí a odpouštěním vody se kontaminace značně snižuje.

U zásobníkového ohřevu teplé vody jsou vytvořeny ideální podmínky pro množení bakterie Legionella pneumophila. Pro zamezení jejího výskytu je nutné často provádět odkalení a čištění. Sterilizaci je také možné provádět pomocí páry, tato sterilizace má však pouze krátkodobou účinnost. [20]

Bakterii Legionella pneumophila je možné odstranit několika způsoby, jsou to:

- Sterilizace UV zářením
- Chlorování
- Anodická oxidace
- Filtrace
- Tepelná desinfekce

10.4. Návrh zařízení pro přípravu teplé vody

Pro návrh zařízení pro přípravu teplé vody je třeba znát následující skutečnosti:

- Způsob využití budovy
- Běžná obsazenost budovy

Dle obsazenosti a využití budovy se spočítá celková spotřeba teplé vody za periodu. Stanoví se odběrový diagram teplé vody. Dle zdroje tepla a jeho výkonu se stanoví, zda bude využit akumulární, průtočný či smíšený způsob ohřevu teplé vody. Následuje stanovení potřeby tepla, velikosti zásobníku a potřebný výkon zařízení. [20]

10.5. Způsob přípravy teplé vody

Příprava teplé vody může být prováděna v lokálních zařízeních, které slouží pro jednoho uživatele, nebo v zařízeních skupinových či centrálních. Centrální zařízení souží pro více odběratelů či dokonce pro celé lokality. Zařízení pro přípravu teplé vody se skládá nejen ze zařízení pro vlastní ohřev teplé vody, ale také z rozvodů teplé vody včetně armatur a z výtokových směšovacích armatur. [20]

Lokální příprava teplé vody se provádí v jednotlivých ohřivačích, které mohou být zásobníkové či průtočné. [20]

10.6. Příprava teplé vody pro více uživatelů

Při přípravě teplé vody pro více uživatelů se jako topná látka pro přípravu teplé vody používá pára, horká voda či otopná voda a u zařízení s menším výkonem je možné využít solární energii nebo plyn. Teplá voda se takto připravuje v úpravných parametřích, které slouží ke změně teploty a tlaku teplotné látky ohřívací a ohřívané strany. Úpravny parametřích lze rozdělit dle druhu teplotné látky ohřívací strany na parní, horkovodní a teplovodní. [20]

Horkovodní úpravna parametřích může být dle úpravy teplé vody zásobníková či průtočná. U zásobníkového způsobu se přivádí horká voda do topné vložky umístěné přímo v zásobníku, která pak ohřívá teplou vodu. Při průtočném ohřevu je voda ohřívána v rychloohřivači a je přímo rozvodem vedena k uživateli. Další možností je průtočný zásobníkový způsob ohřevu teplé vody. Tímto způsobem se voda ohřívá ve výměníku, odkud je potrubím vedena do zásobníku, ze kterého je teplá voda vedena potrubím k jednotlivým uživatelům. Teplovodní úpravna parametřích se rozděluje dle průtoku ohřívací látky na úpravny s proměnným průtokem a s konstantním průtokem. Úpravny s proměnným průtokem jsou řešeny obdobně jako horkovodní úpravny parametřích s tím rozdílem, že ohřívací látkou je zde teplá voda. Úpravny s konstantním průtokem ohřívací látky mají ohřívací stranu řešenou stejně jako horkovodní úpravny opět s rozdílem, že ohřívacím médiem je zde teplá voda. [20]

Další možností je příprava teplé vody pomocí plynu. Rozeznáváme průtokové a zásobníkové plynové ohřivače. Průtokové plynové ohřivače je možné sestavit do skupin. Studená voda je vedena do skupiny ohřivačů, kde je ohřívána a dále vedena do zásobníku. U zásobníkového ohřevu plynem se voda přímo ohřívá v zásobníku plynem, nebo atmosférickým hořákem. [20]

Přípravu teplé vody lze také provádět pomocí solární energie. Toto řešení slouží pouze jako doplňkový zdroj teplé vody a je třeba ho kombinovat s jiným zdrojem tepla. [20]

11. Praktický návrh otopné soustavy

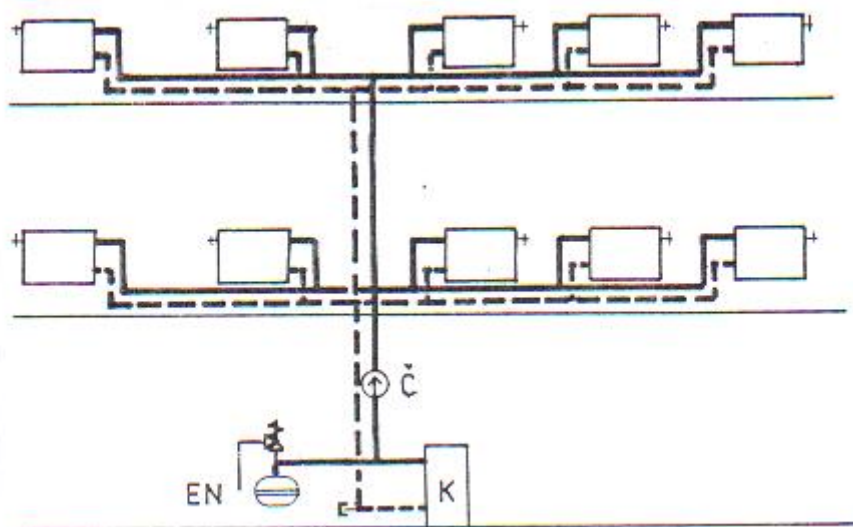
11.1. Vodní otopná soustava

Vzhledem k využití stavby, jejímu provozu a potřebnému výkonu navrhuji pro budovu SZŠ a SOU Poděbrady otopnou soustavu vodní. Otopná soustava se skládá z potrubní sítě, otopných těles a zdroje tepla. Otopná soustava je definována vlastnostmi geometrickými, teplotními, tlakovými a materiálovými. [9]

11.2. Prostorové uspořádání soustavy

Dle způsobu vzájemného propojení těles lze rozlišit soustavy jednotrubkové a dvoutrubkové. Základní vlastnosti těchto soustav byly zmíněny v přechozí kapitole. Potrubí zde nemusí být vzhledem k interiéru skryto, je tedy možné využití soustavy dvoutrubkové. Pro tuto budovu volím vzhledem k snadnější údržbě a regulaci soustavu dvoutrubkovou protiproudou.

Vzhledem k tomu, že budova je podsklepená a zdroj tepla bude umístěn v nejnižším podlaží, tak volím u této soustavy spodní rozvod. V nejnižším podlaží je rozvod veden kanálky v podlaze z důvodu snížení počtu stoupacích potrubí a tím i snížení celkové délky potrubí. V nadzemních podlažích je ležatý rozvod umístěn v podlaze. Způsob vedení přípojek k jednotlivým tělesům bude horizontální. V kotelně bude umístěn rozdělovač a sběrač, který otopnou soustavu dělí na 3 větve. Toto rozdělení je provedeno z důvodu snížení tlakových ztrát.



Obrázek 43 - Horizontální otopná soustava [19]

11.3. Teplotní parametry

Vzhledem k tomu, že jako zdroj tepla navrhují tepelné čerpadlo, které pracuje s nízkoteplotním spádem tak navrhují tuto soustavu jako nízkoteplotní. Teplotní spád navrhují 55/45 °C. Vnitřní výpočtová teplota pro učebny a kabinety je 20 °C, pro chodby je 15 °C a pro sklady je to 10 °C. Venkovní výpočtová teplota je brána dle lokality Poděbrady a je -13 °C.

11.4. Oběh vody a materiál rozvodu

Vzhledem k vyššímu tepelnému příkonu bude oběh v otopné soustavě nucený. Veškeré rozvody otopné soustavy budou měděné, spojené pomocí lisování.

11.5. Výpočet tepelných ztrát

V programu Protech, který pracuje dle normy ČSN 12831:2005, která je v současnosti již nahrazena novým zněním jsem spočítala tepelné ztráty jednotlivých místností. Celková tepelná ztráta vytápěných místností dle tohoto programu vyšla na 161 kW. Tepelné ztráty jednotlivých místností vidět v příloze číslo 5.

V první kapitole jsem již zmínila složení ochlazovaných konstrukcí. Pro výpočet tepelných ztrát bylo však třeba zadat i konstrukce vnitřní. Složení vnitřních konstrukcí, jejich součinitel prostupu tepla a další údaje je možné vidět na následujících obrázcích.

SO2	V1	Stěna vnitřní 600						
ČSN 73 0540-2:2011: Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru $U_{N,20} = 0,60$ $U_{rec,20} = 0,40$ $U_{pas,20,h} = 0,30$ $U_{pas,20,d} = 0,20$ W/(m ² .K) $\theta_i = 20$ °C $U_N = 0,60$ $U_{rec} = 0,40$ $U_{pas,h} = 0,30$ $U_{pas,d} = 0,20$ W/(m ² .K) Korekční činitel $\Delta U_{tbk} = 0,020$ W/(m ² .K), Vypočítaná hodnota $U = 0,957$ W/(m ² .K)								
Složení konstrukce								
č.v.			d mm	λ W/(m.K)	ZTM	λ_{ekv} W/(m.K)	R_v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu					0,130	
1	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	8,00	1,022	0,00	1,022	0,008
2	151-011	CP 290/140/65 (1700)	Z vr.	630,00	0,796	0,00	0,796	0,791
3	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	8,00	1,022	0,00	1,022	0,008
Rse		Odpor při přestupu					0,130	= (1/R _T)+ ΔU_{tbk} 0,957
		Odpor celkem R _T					1,067	

Obrázek 44 - Stěna 646 mm

SO3	V1	Stěna 170
------------	----	------------------

ČSN 73 0540-2:2011: **Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru**

UN,20 = **0,60** Urec,20 = **0,40** Upas,20,h = **0,30** Upas,20,d = **0,20** W/(m².K)

θ_i = **20 °C** UN = **0,60** Urec = **0,40** Upas,h = **0,30** Upas,d = **0,20** W/(m².K)

Korekční činitel ΔU_{tbk} = **0,020** W/(m².K), Vypočítaná hodnota U = **2,517** W/(m².K)

Složení konstrukce

č.v.				d mm	λ W/(m.K)	ZTM	λ _{ekv} W/(m.K)	R _v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,130	
1	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	5,00	0,880	0,00	0,880	0,006	
2	151-011	CP 290/140/65 (1700)	Z vr.	160,00	0,730	0,00	0,730	0,219	
3	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	5,00	0,880	0,00	0,880	0,006	
Rse		Odpor při přestupu						0,040	= (1/R _T)+ΔU _{tbk}
		Odpor celkem R _T						0,401	2,517

Obrázek 45 - Stěna 170

SO4	V1	Stěna vnitřní 800
------------	----	--------------------------

ČSN 73 0540-2:2011: **Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru**

UN,20 = **0,60** Urec,20 = **0,40** Upas,20,h = **0,30** Upas,20,d = **0,20** W/(m².K)

θ_i = **20 °C** UN = **0,60** Urec = **0,40** Upas,h = **0,30** Upas,d = **0,20** W/(m².K)

Korekční činitel ΔU_{tbk} = **0,020** W/(m².K), Vypočítaná hodnota U = **0,801** W/(m².K)

Složení konstrukce

č.v.				d mm	λ W/(m.K)	ZTM	λ _{ekv} W/(m.K)	R _v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,130	
1	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	8,00	1,022	0,00	1,022	0,008	
2	151-011	CP 290/140/65 (1700)	Z vr.	800,00	0,796	0,00	0,796	1,004	
3	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	8,00	1,022	0,00	1,022	0,008	
Rse		Odpor při přestupu						0,130	= (1/R _T)+ΔU _{tbk}
		Odpor celkem R _T						1,280	0,801

Obrázek 46 - Stěna 816

SO5	V1	Stěna vnitřní 500
------------	----	--------------------------

ČSN 73 0540-2:2011: **Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru**

UN,20 = **0,60** Urec,20 = **0,40** Upas,20,h = **0,30** Upas,20,d = **0,20** W/(m².K)

θ_i = **20 °C** UN = **0,60** Urec = **0,40** Upas,h = **0,30** Upas,d = **0,20** W/(m².K)

Korekční činitel ΔU_{tbk} = **0,020** W/(m².K), Vypočítaná hodnota U = **1,127** W/(m².K)

Složení konstrukce

č.v.				d mm	λ W/(m.K)	ZTM	λ _{ekv} W/(m.K)	R _v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,130	
1	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	8,00	1,022	0,00	1,022	0,008	
2	151-011	CP 290/140/65 (1700)	Z vr.	500,00	0,796	0,00	0,796	0,628	
3	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	8,00	1,022	0,00	1,022	0,008	
Rse		Odpor při přestupu						0,130	= (1/R _T)+ΔU _{tbk}
		Odpor celkem R _T						0,903	1,127

Obrázek 47 - Stěna 516 mm

SO6	V1	Stěna 200
------------	-----------	------------------

ČSN 73 0540-2:2011: **Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru**

UN,20 = **0,60** Urec,20 = **0,40** Upas,20,h = **0,30** Upas,20,d = **0,20** W/(m².K)

θ_i = **20 °C** UN = **0,60** Urec = **0,40** Upas,h = **0,30** Upas,d = **0,20** W/(m².K)

Korekční činitel ΔU_{tbk} = **0,020** W/(m².K), Vypočítaná hodnota U = **2,216** W/(m².K)

Složení konstrukce

č.v.				d mm	λ W/(m.K)	ZTM	λ _{ekv} W/(m.K)	R _v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,130	
1	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	5,00	0,880	0,00	0,880	0,006	
2	151-011	CP 290/140/65 (1700)	Z vr.	200,00	0,730	0,00	0,730	0,274	
3	105-02	Omítka vápenocement.	Z vr.	5,00	0,880	0,00	0,880	0,006	
Rse		Odpor při přestupu						0,040	= (1/R _T)+ΔU _{tbk}
		Odpor celkem R _T						0,455	2,216

Obrázek 48 - Stěna 210 mm

PDL2	V1	Podlaha mezi patry
-------------	-----------	---------------------------

ČSN 73 0540-2:2011: **Strop vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru**

UN,20 = **0,60** Urec,20 = **0,40** Upas,20,h = **0,30** Upas,20,d = **0,20** W/(m².K)

θ_i = **20 °C** UN = **0,60** Urec = **0,40** Upas,h = **0,30** Upas,d = **0,20** W/(m².K)

Korekční činitel ΔU_{tbk} = **0,020** W/(m².K), Vypočítaná hodnota U = **1,870** W/(m².K)

Složení konstrukce

č.v.				d mm	λ W/(m.K)	ZTM	λ _{ekv} W/(m.K)	R _v (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Rsi		Odpor při přestupu						0,170	
1	130-01	PVC	Z vr.	5,00	0,160	0,00	0,160	0,031	
2	114-02	Tmely pro stavební použití	Z vr.	10,00	0,220	0,00	0,220	0,045	
3	109-062	Desky z dř. viny s cem. (400)	Z vr.	25,00	0,144	0,00	0,144	0,174	
4	101-022	Železobeton(2400)	Z vr.	190,00	1,587	0,00	1,587	0,120	
Rse		Odpor při přestupu						0,000	= (1/R _T)+ΔU _{tbk}
		Odpor celkem R _T						0,541	1,870

Obrázek 49 - Podlaha mezi patry

Pomocí předcházejících a ochlazovaných konstrukcí jsem v programu Protech zadala veškeré vytápěné místnosti, program vypočítal jejich ztrátu a dle této ztráty jsem navrhovala jednotlivá otopná tělesa. Výšky a šířky otopných těles jsou přizpůsobené šířkám oken. Seznam navrhovaných těles a jejich umístění je k nahlédnutí v příloze číslo 6. Venkovní výpočtová teplota je pro tuto oblast -13 °C, vnitřní výpočtová teplota se liší dle profilu užívání jednotlivých místností a pohybuje se mezi 10-20 °C. Výkresy celé otopné soustavy jsou dostupné v příloze číslo 1, zapojení čerpadel, kotle a rozdělovače je zde znázorněno pouze zjednodušeně. Při výpočtu tepelných ztrát uvažuji přírážku na zátap, která je zde nezbytná z důvodu, že objekt není využíván o víkendech a po víkendu bude tak třeba celou soustavu znovu roztopit, tím vzroste spotřeba energie.

11.6. Návrh zdroje tepla

Dle celkové tepelné ztráty vytápěných místností, která je 161 kW navrhují nový zdroj tepla. Zdrojem tepla budou 2 tepelná čerpadla od firmy IVT, model GEO G 264. Jeden kus tohoto čerpadla je schopen při výstupní teplotě 55 °C v provedení se dvěma kompresory výkonu 64 kW, tento výkon byl zjištěn pomocí webové stránky www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz. Dvě čerpadla propojená do kaskády tedy pokryjí ztráty budovy z 80 %. Zbývajících 20 % ztrát bude pokrývat plynový kotel. Katalogový list čerpadla je umístěn v příloze číslo 10. Čerpadlo záměrně nenavrhují na plné pokrytí tepelné ztráty. Je tomu tak z důvodu, že maximální výkon čerpadla by byl použit jen pár dní v roce a je vhodnější, protože teplotní minima nastávají málokdy. Čerpadlo má nejvyšší účinnost při jeho maximálním vytížení a je tak žádoucí, aby většinu času pracovalo na maximum. Špičky vytížení bude pokrývat již zmíněný plynový kotel. Vnitřní jednotky tepelných čerpadel a plynový kotel budou umístěny v místě předchozí kotelny. Schéma zapojení čerpadel a kotle je umístěno v příloze číslo 7, toto schéma je převzaté od výrobce.



Obrázek 50 - IVT Geo G [22]

Vzhledem k tomu, že původním zdrojem tepla je pro tuto školu plynový kondenzační kotel, je zde přítomna přípojka plynu. Je tedy vhodné zbytek ztrát pokrýt malým plynovým kondenzačním kotlem. Kotel zde bude pokrývat ztráty, které není schopno pokrýt tepelné čerpadlo při teplotních extrémech. Čerpadla je třeba doplnit o plynový kondenzační kotel, který je schopen výkonu alespoň 33 kW. Pro tyto účely volím plynový kondenzační kotel Kondenzační kotel Panther Condens model 48KKO, který je schopen výkonu až 48 kW. Jeho katalogový list je umístěn v příloze číslo 11.

Navržená tepelná čerpadla jsou dohromady schopna výkonu až 128 kW. Vzhledem k tomu, že tato čerpadla jsou typu země/voda a teplo bude získáváno z hloubkové sondy je nutné

navrhnout vrty o dostatečné hloubce, ze kterých bude čerpáno teplo ze země. Vzhledem k tomu, že v místě vrtů nebyl proveden geologický průzkum, budu předpokládat, že z jednoho metru hloubky vrtu je možné získat 50 W výkonu. Pro tato čerpadla tedy bude potřebná celková délka vrtů 2560 m. Tato délka bude rozdělena do celkem 22 vrtů, z toho bude 21 vrtů o hloubce 120 m a jeden vrt o hloubce 40 m. Tyto vrty od sebe budou vzdáleny 10 m, na výkrese bude kolem jednotlivých vrtů vyznačen okruh o průměru 10 m. Vrty budou umístěny s ohledem na přítomnost dalších budov na pozemku školy. Výkres umístění vrtů a propojení s vnitřní jednotkou tepelného čerpadla je v příloze číslo 3 - situace, zapojení čerpadel a kotle je zde znázorněno pouze zjednodušeně. Tento systém je určen pouze pro vytápění a větrání.



Obrázek 51 - Budovy na pozemku SZŠ a SOU Poděbrady - Mapy.cz

12. Návrh zařízení pro přípravu teplé vody

12.1. Výpočet potřeby teplé vody

Vzhledem ke skutečnosti, že nejsou známy údaje u skutečné spotřebě teplé vody, je třeba si potřebu teplé vody stanovit dle ČSN EN 15316-3-1, dle vzorce:

$$V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} \times f}{1000} [m^3/den]$$

Kde:

$V_{W,f,day}$ je specifická potřeba teplé vody na měrnou jednotku a den

f je počet měrných jednotek

Hodnoty specifické potřeby teplé vody jsou uvedeny v následující tabulce. [21]

Druh budovy	Specifická potřeba teplé vody $V_{W,f,day}$ [l/(měrná jednotka . den)]	Měrná jednotka
Rodinný dům	40 až 50	obyvatel
Bytový dům	40	obyvatel
Ubytovací zařízení	28	lůžko
Jednohvězdičkový hotel bez prádelny	56	lůžko
Jednohvězdičkový hotel s prádelnou	70	lůžko
Dvouhvězdičkový hotel bez prádelny	76	lůžko
Dvouhvězdičkový hotel s prádelnou	90	lůžko
Tříhvězdičkový hotel bez prádelny	97	lůžko
Tříhvězdičkový hotel s prádelnou	111	lůžko
Čtyřhvězdičkový hotel bez prádelny	118	lůžko
Čtyřhvězdičkový hotel s prádelnou	132	lůžko
Restaurace	10 až 20	jídlo
Kavárna	20 až 30	místo k sezení
Domov mládeže	50	lůžko
Domov pro seniory	40	lůžko
Nemocnice bez prádelny	56	lůžko
Nemocnice s prádelnou	88	lůžko
Administrativní budova	10 až 15	osoba
Škola	5 až 10	osoba
Školní tělocvična	20	sprchová koupel
Sportovní zařízení	101	instalovaná sprcha
Průmyslový závod	30	sprchová koupel

Obrázek 52 - Specifické potřeby teplé vody o teplotě 60 °C [21]

V této práci se zabývám školní budovou a budu tedy počítat se specifickou potřebou teplé vody 5-10 l/os.*den, volím hodnotu 5 l/os.*den. Zároveň má tato škola velkou tělocvičnu, ke které náleží 8 sprchových koutů. Jedna koupel spotřebuje 20 l/koupel*den

Celkový počet osob pro tuto budovu je 325, tato hodnota odpovídá f , tedy počtu měrných jednotek. Potřeba teplé vody pro školu na mytí rukou bude tedy:

$$V_{W,day} = \frac{5 \times 325}{1000} = 1,63 [m3/den]$$

Pro školní tělocvičnu budu počítat s počtem koupelí 30 za den, potřeba teplé vody pro sprchy v tělocvičnách bude tedy:

$$V_{W,day} = \frac{20 \times 30}{1000} = 0,6 [m^3/den]$$

Celková potřeba vody bude pro tuto školu 2,23 m³/den.

12.2. Energetický požadavek na zdroj tepla

Pro vhodnou volu zdroje tepla je třeba si vypočítat energetický požadavek. Ten se počítá dle vzorce:

$$Q_{W,gen,out} = Q_W + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} [MJ/den]$$

kde:

Q_W - potřeba tepla pro přípravu teplé vody (ČSN EN 15316-3-1)

$Q_{W,dis,ls}$ - tepelná ztráta rozvodu teplé vody (ČSN EN 15316-3-2)

$Q_{W,st,ls}$ - tepelná ztráta zásobníku teplé vody (ČSN EN 15316-3-3)

$Q_{W,p,ls}$ - tepelná ztráta přívodního a zpětného potrubí topné vody k ohřivači vody (ČSN EN 15316-3-3) [21]

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody se spočítá dle následujícího vzorce:

$$Q_W = 4,182 \times V_{W,day} \times (\theta_{W,del} + \theta_{W,0}) [MJ/den]$$

Kde:

$V_{W,day}$ je denní potřeba (objem) teplé vody [m³/den]

$\theta_{W,del}$ - teplota teplé vody (55 °C)

$\theta_{W,0}$ - teplota studené vody přiváděné do ohřivače (10 °C) [21]

Tepelné ztráty rozvodu se spočítají dle následujícího vzorce:

$$Q_{W,dis,ls} = \sum Q_{W,dis,ls,ind} + Q_{W,dis,ls,col} [MJ/den]$$

Kde:

$\sum Q_{W,dis,ls,ind}$ - součet tepelných ztrát jednotlivých přívodních potrubí, která nejsou opatřena cirkulačním potrubím [MJ/den]

$Q_{W,dis,ls,col}$ - tepelná ztráta přívodního potrubí s cirkulačním potrubím [MJ/den] [21]

Tepelná ztráta zásobníku teplé vody se spočítá dle vztahu:

$$Q_{W,dis,ls,col} = \frac{(\theta_{W,st,avg} - \theta_{amb,avg})}{\Delta\theta_{W,st,sby}} \times \theta_{W,st,sby} [MJ/den]$$

Kde:

$\theta_{W,st,avg}$ je střední teplota vody v zásobníku teplé vody [°C]

$\theta_{amb,avg}$ - střední teplota v okolí zásobníku teplé vody [°C]

$\Delta\theta_{W,st,sby}$ - střední rozdíl mezi teplotou vody v zásobníku a jeho okolí při měření tepelné ztráty (podle ČSN EN 12897 $\Delta\theta_{W,st,sby} = 45$ °C) [°C]

$Q_{W,st,sby}$ - tepelná ztráta změřená např. podle ČSN EN 12897 [MJ/den] [21]

Tepelná ztráta přírodního a zpětného potrubí topné vody k ohřivači vody se stanoví dle vztahu:

$$Q_{W,p,ls} = \sum \frac{3,6}{1000} \times U_{W,i} \times L_{W,i} \times (\theta_{W,dis,avg,i} - \theta_{amb,i}) \times t_W [MJ/den]$$

Kde:

$U_{W,i}$ - součinitel prostupu tepla úseku potrubí (viz požadavky v tab. 2) [W/(m.K)]

$L_{W,i}$ - délka úseku potrubí včetně délkových přírážek (tab. 3) [m]

$\theta_{W,dis,avg,i}$ - průměrná teplota teplé vody v úseku potrubí [°C]

$\theta_{amb,i}$ - průměrná teplota v okolí úseku potrubí [°C]

t_W - doba provozu cirkulačního čerpadla [h/den] [21]

12.3. Výběr zdroje pro přípravu teplé vody

Vzhledem k tomu, že zde bude třeba více zdrojů tepla pro ohřev teplé vody, tak si výpočty rozdělím na jednotlivé zdroje. Celkový počet zdrojů bude 4. Vzhledem k tomu že v podzemním podlaží jsou umístěny sprchy, budou zde zdroje tepla 2. Na každé nadzemní podlaží pak případně jeden zdroj tepla pro ohřev teplé vody.

Pro 1PP je potřeba teplé vody 0,55 m3/den pro mytí rukou, ta bude rozdělena do čtyř průtokových ohřivačů. Pro sprchy je potřeba teplé vody 0,6 m3/den, ta bude rozdělena do dvou zásobníkových elektrických ohřivačů. Pro každé ze dvou nadzemních podlaží bude potřeba teplé vody 0,55 m3/den, v každém nadzemním podlaží budou tři průtočné ohřivače vody.

Z následující tabulky lze vyčíst výpočet objemu zásobníku pro ohřivače. Výpočet potřeby tepla pro přípravu teplé vody jsem provedla dle vzorce z předchozí kapitoly. Hodnotu tepelné ztráty rozvodu teplé vody jsem stanovila dle normy a délky rozvodů. Tepelné ztráty zásobníku jsem

stanovila dle předpokládaného objemu a po vypočtení skutečného objemu jsem tuto ztrátu nahradila ztrátou vypočtenou dle skutečného objemu. Z těchto ztrát lze pak dále vypočítat energetický požadavek na zdroj tepla. Dle tohoto požadavku jsem si stanovila okamžitý potřebný výkon, z něhož lze poté zjistit skutečný výkon a objem zásobníku. Důležitá je hodnota skutečného příkonu ohřívače, ten musí být roven nebo větší než okamžitý potřebný výkon. Po zjištění potřebného příkonu ohřívače jsem zvolila elektrické ohřívače vody, které mají zabudované elektrické topné těleso od firmy Dražice. Jako průtokové ohřívače vody jsem zvolila model Dražice MX3307 s příkonem 4,5/7 kW a pro zásobníkový ohřev vody jsem zvolila model Dražice OKCE200 s příkonem 2/4 kW s objemem zásobníku 200 l.

Tabulka 6 – volba ohřívače vody

Způsob ohřevu vody	Zásobníkový	Průtočný	Průtočný	Průtočný	Zásobníkový	Průtočný	Průtočný	Průtočný	Průtočný	Průtočný	Průtočný	Průtočný
Zařizovací předměty pro odběr teplé vody	Sprchy	Umyvadla	Umyvadla	Umyvadla	Sprchy	Umyvadla	Umyvadla	Umyvadla	Umyvadla	Umyvadla	Umyvadla	Umyvadla
Číslo ohřívače	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Podlaží	1.PP	1.PP	1.PP	1.PP	1.PP	1.PP	1.NP	1.NP	1.NP	2.NP	2.NP	2.NP
Potřeba TV [m3/den]	0,30	0,12	0,12	0,12	0,30	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Potřeba tepla pro přípravu TV [MJ/den]	56,5	23,0	23,0	23,0	56,5	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4
Tepelné ztráty rozvodu TV [MJ/den]	0,7	0,1	0,3	0,1	0,6	0,9	0,3	0,3	0,8	0,3	0,3	0,8
Tepelné ztráty zásobníku TV [MJ/den]	4,8	x	x	x	4,8	x	x	x	x	x	x	x
Energetický požadavek na zdroj tepla [MJ/den]	61,9	23,1	23,3	23,1	61,8	35,4	34,7	34,7	35,2	34,7	34,7	35,2
Energetický požadavek na zdroj tepla za dobu provozu [kWh]	17,2	6,4	6,5	6,4	17,2	9,8	9,6	9,6	9,8	9,6	9,6	9,8
Energetický požadavek na zdroj tepla - okamžitý [kW]	2,9	1,1	1,1	1,1	2,9	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Potřebný objem zásobníku [l]	111	x	x	x	111	x	x	x	x	x	x	x
Model ohřívače vody	OKCE200, 2/4 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW	OKCE200, 2/4 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW	MX2207-4,5/7 kW
Skutečný objem zásobníku dle dostupné řady [l]	200	x	x	x	200	x	x	x	x	x	x	x
Skutečný příkon ohřívače [kW]	4	4,5/7	4,5/7	4,5/7	4	4,5/7	4,5/7	4,5/7	4,5/7	4,5/7	4,5/7	4,5/7

Zásobníkové ohřívače jsou ve svislém provedení a budou umístěny na stěnu pod strop, z důvodu zamezení kontaktu žáků s ohřívačem. Průtokové ohřívače budou umístěny v těsné blízkosti zařizovacích předmětů z důvodu zkrácení délky rozvodů vody. Každý průtokový ohřívač bude z důvodu zamezení bezprostředního kontaktu s žáky umístěn ve vlastní skříni, která bude přístupna pouze pomocí klíče.

12.4. Rozvody vody

Ohřívače teplé vody jsem zvolila v předchozí kapitole. Rozvody teplé a studené vody budou umístěny ve zdech. Vzhledem k délkám rozvodů, účelu využití teplé vody a využití průtokových ohřívačů nebudou rozvody opatřovat cirkulačním potrubím. Potrubí teplé a studené vody bude opatřeno dostatečnou izolací a bude od sebe vzdáleno nejméně 60 mm. Rozvody budou vedeny ve stěně a v místech dveří budou tyto rozvody klesat do podlahy, kde po překonání dveří opět vystoupají do stěny. Tlaková třída potrubí teplé vody je PN20 a studené vody PN16. Pro rozvody

teplé i studené vody bude použito potrubí z polypropylenu. Potrubí bude vedeno ve sklonu 0,3 % směrem k hlavnímu uzávěru a k jednotlivým výtokům. Výkresy rozvodů vody jsou umístěny v příloze číslo 2.

13. Závěr

V první kapitole je popsán objekt, jsou zde zmíněna jeho specifika, specifikace okolního prostředí a popis provedených úprav, které pomohly ke snížení energetické náročnosti budovy. V kapitole druhé je teoreticky popsána energetická náročnost budovy, PENB a s tím související fakta.

Kapitola třetí je praktická. Jsou zde zaznamenány výpočty tepelných ztrát dle zadaných konstrukcí, z nichž jsem pomocí programu Protech spočítala PENB. Ze skutečností zjištěných v této kapitole dále vychází kapitola čtvrtá, ve které zmiňuji důsledky již provedených opatření a navrhuji další opatření, která by měla pomoci k dalšímu snížení spotřeby primární neobnovitelné energie této budovy.

Kapitola číslo 5 je teoretická, popisují zde jednotlivé druhy energie. Také jsou zde sepsány teoretické základy k jednotlivým druhům obnovitelných zdrojů energie. Kapitola 6 pak blíže popisuje jeden z obnovitelných zdrojů energie, tepelná čerpadla. Kapitola 7 blíže popisuje další z obnovitelných zdrojů energie, energii solární. Tyto 2 druhy OZE jsou blíže popisované především z důvodu, že jsou vhodné pro použití v této budově a budu je v dalších kapitolách navrhovat.

Kapitola číslo 8 je pak praktickým návrhem fotovoltaického systému na střeše budovy. Srovnávám zde jednotlivé možnosti systémů a vybírám systém nejvhodnější. Toto opatření doporučuji pouze z hlediska snížení spotřeby primární neobnovitelné energie. Z ekonomického hlediska je toto řešení nevhodné a nemá finanční návratnost.

V kapitole číslo 9 popisují teoreticky otopné soustavy, které budu v dalších kapitolách navrhovat. Kapitola číslo 10 se zabývá teorií přípravy teplé vody.

Kapitola číslo 11 je praktickým návrhem teplovodní otopné soustavy a zároveň zde navrhuji zdroj tepla. Zdrojem tepla jsou zde dvě tepelná čerpadla, propojená s plynovým kondenzačním kotlem, který zde slouží jako doplňkový zdroj tepla při maximálním vytížení. Tato soustava je navržena pouze pro vytápění, nikoli pro přípravu teplé vody.

Kapitola číslo 12 se zabývá praktickým návrhem soustavy pro přípravu teplé vody. Rozhodla jsem se zde pro přípravu vody pomocí zásobníkového ohříváče v místech sprch a pro průtočný ohřev vody pro umyvadla. Další možností by mohlo být využití zásobníku tepelného čerpadla. Pro toto řešení jsem se však nerozhodla z toho důvodu, že tepelné čerpadlo se zásobníkem jsou umístěny

ve sklepě a vzhledem k více podlažím budovy by zde byly velmi dlouhé rozvody teplé vody. Jako vhodnější variantu jsem zde zvolila ohřev teplé vody v blízkosti zařizovacích předmětů.

Veškerá navrhovaná opatření přispějí ke snížení spotřeby primární energie budovy školy a posunou tak školu k větší míře používání obnovitelných zdrojů energie. Tato opatření však mohou být finančně náročná a záleží tak na investorovi, zda upřednostní hledisko ekonomické, nebo je v jeho zájmu snížení negativních dopadů na životní prostředí.

Použitá literatura

- [1] ENERGY BENEFIT CENTRE A.S. *Souhrnná technická zpráva*. Praha, 2016.
- [2] Boučkova 355/49, 290 01 Poděbrady, objekt - Města a obce. *KURZYCZ* [online]. Kurzy.cz, spol. s r.o., AliaWeb, spol. s r.o., 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://regiony.kurzy.cz/podebrady/bouckova/355-49/>
- [3] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *TZB info* [online]. Praha: Topinfo, 2020 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [4] Vyhláška 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov
- [5] Střední zemědělská škola a Střední odborná škola Poděbrady, p.o. In: *SeznamŠkol.eu* [online]. N.Z.: just4web.cz, 2020 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <http://www.seznamskol.eu/skola/888-stredni-odborna-skola-podebrady-bouckova-355/>
- [6] Energetická náročnost budovy - definice pojmů. *TZB info* [online]. Topinfo, 2014 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu>
- [7] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. 2., dopl. vyd. V Praze: ČZU, 2006. ISBN 80-213-1488-5.
- [8] Tvary krystalů. *Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, n.z. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/tvary.html>
- [9] Polovodiče. *SPŠ Vsetín* [online]. Vsetín: n.z., n.z. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://www.spssvsetin.cz/assets/05/el-10.htm>
- [10] Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. *TZB info* [online]. N.Z.: Topinfo, 2014 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [11] STANĚK, Kamil. *Fotovoltaika pro budovy*. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
- [12] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [13] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [14] ĎURICA, Dušan, Miloš SUK a Vladimír CIPRYS. *Energetické zdroje včera, dnes a zítra*. Brno: Moravské zemské muzeum, 2010. ISBN 978-80-7028-374-5.

- [15] CHEN, C. Julian. *Physics of solar energy*. Online. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2011. ISBN 978-0470647806.
- [16] Jak fungují větrné elektrárny? *Elektrina.cz* [online]. n.z.: n.z., 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/jak-funguji-vetrne-elektrarny>
- [17] Neobnovitelná primární energie. *TZB info* [online]. Praha: n.z., 2020, 30.10.2017 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [18] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [19] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy teplovodní*. 3., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, odborná sekce vytápění, 2008. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02064-6.
- [20] JIROUT, Vladimír. *Příprava teplé vody*. 2., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2007. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-01910-7.
- [21] Potřeba vody a tepla pro přípravu teplé vody. *TZB info* [online]. Praha: Topinfo, 2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6839-potreba-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [22] IVT GEO G. *IVT tepelná čerpadla* [online]. n.z.: n.z., 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/ivt-geo-g-nad-20-kw>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Hlavní budova SZŠ a SOU [5].....	3
Obrázek 2-Situace objektu [2].....	4
Obrázek 3 - Klimatická data pro oblast Nymburk [3].....	4
Obrázek 4 - Faktor neobnovitelné primární energie pro Referenční budovu [4].....	7
Obrázek 5 - PROTECH stěna obvodová	8
Obrázek 6 - PROTECH střecha	9
Obrázek 7 - PROTECH podlaha k zemině	9
Obrázek 8 - Energetická náročnost budovy (graficky)	11
Obrázek 9 - Dílčí dodané energie	12
Obrázek 10 - Faktor primární energie pro Hodnocenou budovu [4]	13
Obrázek 11 - energie primární, koncová a užitečná [13]	14
Obrázek 12 - Podíl jednotlivých zdrojů energie na produkci CO2 [14]	15
Obrázek 13 - Procentuální zastoupení vodní energie v různých státech [15].....	17
Obrázek 14 - koloběh vody [13]	17
Obrázek 15 - konstrukce větrné elektrárny [13]	19
Obrázek 16 - Struktura Země [13].....	21
Obrázek 17 - Princip geotermální teplárny [13].....	22
Obrázek 18 - Princip geotermální ORC elektrárny [13].....	22
Obrázek 19 - Schéma HDR elektrárny [13].....	23
Obrázek 20 - Princip kompresorového tepelného čerpadla [13].....	24
Obrázek 21 - - Princip absorpčního tepelného čerpadla [13]	25
Obrázek 22 - Hodnota solární konstanty v průběhu roku [12]	27
Obrázek 23 - Krystalová mřížka diamantu a křemíku [8]	28
Obrázek 24 - Polovodiče [9]	30
Obrázek 25 - Schéma procesu výroby Si pro PV články [7]	31
Obrázek 26 - Optimální orientace a sklon PV panelu [10]	34
Obrázek 27 - Příklady využití fotovoltaických polí s větranou dutinou [11]	35
Obrázek 28 - Vhodné rozmístění fotovoltaických polí pro zamezení vlivu vnitřního stínění [11]	36
Obrázek 29 - profil spotřeby v průběhu roku.....	38
Obrázek 30 - profil spotřeby v průběhu běžného zimního školního dne.....	38
Obrázek 31 – Vizualizace systému 1	39
Obrázek 32 - Schéma zapojení systému.....	39
Obrázek 33 - Vizualizace systému číslo 2	40
Obrázek 34 - Vizualizace systému 3	41
Obrázek 35 - Vizualizace systému 4	42
Obrázek 36 – Roční porovnání profilů spotřeby a produkce	43
Obrázek 37 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Jaro.....	44
Obrázek 38 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Léto	44
Obrázek 39 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Podzim	45
Obrázek 40 - Srovnání profilů spotřeby a produkce – Zima.....	45
Obrázek 41 - Jednotrubková a dvoutrubková otopná soustava [19].....	47
Obrázek 42 - Protiproudé a souproudé soustavy [19]	47
Obrázek 43 - Horizontální otopná soustava [19]	52
Obrázek 44 - Stěna 646 mm.....	53
Obrázek 45 - Stěna 170	54

Obrázek 46 - Stěna 816	54
Obrázek 47 - Stěna 516 mm	54
Obrázek 48 - Stěna 210 mm	55
Obrázek 49 - Podlaha mezi patry	55
Obrázek 50 - IVT Geo G [22]	56
Obrázek 51 - Budovy na pozemku SZŠ a SOU Poděbrady - Mapy.cz	57
Obrázek 52 - Specifické potřeby teplé vody o teplotě 60 °C [21]	58

Seznam tabulek

Tabulka 1- Stupnice klasifikačních tříd [4].....	7
Tabulka 2 - Spotřeba za běžný letní den	37
Tabulka 3 - Spotřeba za běžný den volna.....	37
Tabulka 4 - spotřeba energie	38
Tabulka 5 - Srovnání jednotlivých systémů.....	42
Tabulka 6 - výpočet objemu ohříváče	61

Seznam příloh

Výkresy

Příloha 1 – Výkresy otopné soustavy

Příloha 2 – Výkresy soustavy pro přípravu teplé vody

Příloha 3 – Situace

Výpočty

Příloha 4 – Grafický výstup PENB

Příloha 5 – Výpočet tepelných ztrát

Příloha 6 – Návrh otopných těles v programu Protech

Technické listy a podklady od výrobce

Příloha 7 – Schéma zapojení čerpadel a kotle od výrobce

Příloha 8 – Technický list LG MONO

Příloha 9 – Technický list LG ESS HOME

Příloha 10 – Technický list IVT GEO G

Příloha 11 – Technický list Panther Condens

