

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**Projekt větrání bytového domu**

**Studie na téma Solární systémy pro městské budovy**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vypracovala:

Bc. Anežka Šťásková

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2020/2021



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Šťástková Jméno: Anežka Osobní číslo: 423815

Zadávající katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Projekt větrání bytového domu

Název diplomové práce anglicky: Ventilation system in the apartment building

Pokyny pro vypracování:

Projekt větrání zadané budovy - projektová dokumentace se základními výpočty, výkresy a technickou zprávou.

Studie na téma Solární systémy pro městské budovy

Seznam doporučené literatury:

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

Papež, Karel: Energetické a ekologické systémy budov 2 : vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení. ČVUT, Praha 2007.

Gebauer, Gunter: Vzduchotechnika. Era 2007. ISBN 8073660918

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

Datum zadání diplomové práce: 26.8.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

26.8.2020  
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne .....

.....

*Anežka Šťásková*



#### Poděkování:

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za odborné vedení, podnětné rady a trpělivost během zpracování této diplomové práce.



## Anotace

Studie této diplomové práce se zabývá solární energií a využitelností současných systémů v městských budovách. Práce obsahuje úvod do problematiky technologie využívající solární energii, zaměřuje se především na fotovoltaiku a její integraci do stavebních konstrukcí. Hlavní náplní práce je analýza nové technologie solárních článků, která se dá využít i do průhledných konstrukcí. Praktickou částí je projekt vzduchotechniky bytového domu.

**Klíčová slova:** solární energie, solární panel, fotovoltaický systém, fototermický systém, vzduchotechnika.

## Annotation

This master thesis is focused on the solar energy and the efficiency of the contemporary solar systems. The thesis includes a brief introduction to the concept of a solar technology and possibilities of using a building – integrated photovoltaics. The aim of this thesis is to analyze a new technology which can be used in the transparent construction. The practical part consists of a ventilation system.

**Key words:** solar energy, solar panel, photovoltaic system, solar thermal energy ventilation system.



## Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Energie ze Slunce.....</b>	<b>7</b>
2.1 Základní údaje.....	7
2.2 Formy solární energie .....	7
<b>3. Fototermické solární systémy.....</b>	<b>7</b>
3.1 Popis fototermické soustavy .....	7
3.2 Princip ohřevu teplé vody a vytápění.....	9
<b>4. Fotovoltaické solární systémy.....</b>	<b>10</b>
4.1 Popis fotovoltaické soustavy.....	10
4.2 Typy fotovoltaických elektráren .....	11
4.3 Druhy fotovoltaických článků.....	12
4.4 Fotovoltaický systém v budově.....	14
<b>5. Integrace fotovoltaiky do stavebních konstrukcí.....</b>	<b>15</b>
5.1 Střešní konstrukce .....	15
5.2 Obvodové konstrukce.....	16
5.3 Solární dláždění.....	16
5.4 Průhledné a průsvitné konstrukce .....	17
<b>6. Solární okna .....</b>	<b>17</b>
6.1 Technologie.....	17
6.2 Známé údaje.....	17
6.3 Účinnost .....	18
6.3.1 Účinnost na administrativní budově.....	18
6.3.2 Účinnost na bytovém domě.....	21
6.4 Porovnání konvenčních fotovoltaických systémů a Solar Window.....	23
<b>7. Závěr.....</b>	<b>25</b>
<b>8. Seznam obrázků.....</b>	<b>26</b>
<b>9. Seznam tabulek.....</b>	<b>26</b>
<b>10. Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>27</b>

# 1. Úvod

Svět stojí před velkou výzvou, jak dosáhnout snížení emisí, které nepříznivě ovlivňují změnu našeho klimatu. V důsledku požadavků Evropské Unie, která vytváří tlak na členské státy prostřednictvím nových směrnic, je třeba se v oblasti stavebnictví čím dál více zaměřovat na volbu zdroje energie pro budovu. U nově projektovaných objektů by zásobování domů teplem mělo být šetrnější k životnímu prostředí a z části by měly být potřeby energie pokryty obnovitelnými zdroji. Mezi ně se řadí především energie sluneční, větrná, vodní, energie prostředí a energie v podobě biopaliv.

Zvláště rok 2020 přinesl do České republiky jak zpřísnění na požadavky součinitele prostupu tepla obálkou budovy, tak snížení spotřeby primární energie z neobnovitelných zdrojů. Tudíž se musí umět projektant rozhodnout, jaké obnovitelné zdroje volit z hlediska efektivity a pořizovacích nákladů, nebo z hlediska architektonického. Je důležité brát v úvahu, jaké zdroje máme k dispozici v lokalitě daného objektu, či jaký prostor můžeme zařízení věnovat. Každé zařízení, kterým získáváme tuto energii, nese nějaké nevýhody, které se musí zvážit.

V běžném životě této moderní doby hraje velkou roli především elektřina. Ačkoli je snaha tuto spotřebu stále snižovat, nových technologií v budovách, které nám usnadňují každodenní úkony, neustále přibývá. S tímto je spojena snaha hledat nové možnosti výroby této energie.

Diplomová práce se věnuje solárním systémům, které můžeme využívat v budovách, především pro ohřev vody, vytápění a větrání. Studie shrnuje základní metody získání energie ze solárního záření a popisuje zejména využití fotovoltaických systémů, pro které analyzuje i nové technologie, které jsou v současné době využívány minimálně.

## 2. Energie ze Slunce

### 2.1 Základní údaje

Sluneční energie je energií elektromagnetického záření, jehož spektrum je přesně rozděleno podle vlnové délky a frekvence. Jsou to radiové vlny, mikrovlny, infračervené záření, viditelné světlo, ultrafialové záření, rentgenové záření a gama záření. K využití sluneční energie v objektech pro bydlení a administrativních budovách je třeba znát využitelnou část spektra, kterým je záření ultrafialové o vlnové délce pod 380 nm, záření viditelné o vlnové délce 380 až 780 nm a infračervené záření, kde je vlnová délka přes 780 nm. V závislosti na vlnové délce poté projde atmosférou pouze část záření. Sluneční ozáření je v závislosti na aktuálním počasí a ročním období 100 až 1000 W.m<sup>-2</sup>. (1) (2)

### 2.2 Formy solární energie

Energii ze Slunce můžeme získat ve formě tepla a světla (toků fotonů). Teplo můžeme čerpat okny, nebo do akumulčních konstrukcí, v tomto případě se jedná o pasivní využití energie. Můžeme ho ale i aktivně předávat přes fototermické solární systémy. Přeměna energie slunce na elektřinu je umožněna skrz fotovoltaické solární systémy. (2)

Fototermické systémy mají obecně větší účinnost (60 %), než fotovoltaika (15 %). Během teplých letních měsíců, kdy energie z fototermických systémů budeme mít nejvíce, se ale bude hůře hledat využití pro nadbytek této energie. Fototermický systém se zvláště vyplatí v objektech s předpokladem velké spotřeby teplé vody. (1)

Výhodou fotovoltaických systémů oproti fototermickým jsou nižší náklady na údržbu, dlouhá životnost a univerzálnost využití elektřiny. Pokud energii nevyužijeme pro provoz budovy, snadno ji spotřebujeme pro provoz domácích spotřebičů. (1)

## 3. Fototermické solární systémy

### 3.1 Popis fototermické soustavy

Solární fototermické soustavy pohlcují sluneční záření přes tepelný kolektor, ve kterém dochází k přeměně na tepelnou energii. Teplo je předáno teplotonosné látce, která protéká kolektorem. Teplo se přímo využívá pro vytápění budov, ohřev vody domácností a bazénů. (1) (2)



Teplonosnou látkou může být vzduch, který se využívá především ve vzduchotechnice pro předehřev čerstvého vzduchu. Častěji používaným médiem je kapalina, kterou může být voda, alkoholy, silikonové oleje, nebo glykolové nemrznoucí směsi vody, obsahující především netoxický propylenglykol. Účinnost kolektoru se mění s typem média, kde největší dosahuje voda, nejmenší naopak silikonový olej, kde je snížena cca o 5 %. Soustava musí být vybavena cirkulačním čerpadlem. Materiál potrubí vedoucí vodu může být například plast, který je však omezen teplotou 80 °C a využívá se spíše pro ohřev vody bazénů. Pro ostatní kapaliny jsou vhodné materiály na bázi polypropylenu, EPDM, nebo polyesteru. Systém, který je využíván celoročně, musí být izolován včetně zásobníkových vstupů a výstupů, ventilů a fitinek. (1) (2)

Soustava musí obsahovat pojistná a zabezpečovací zařízení. Expanzní nádoba umožňuje změny objemu teplonosné kapaliny. Pojistný ventil chrání soustavu před vysokým tlakem, který se řídí podle tlakové odolnosti nejslabšího prvku, nejčastěji kolektoru. (1) (2)

Typ konstrukčního řešení zásobníku teplé vody má velký vliv na celkovou účinnost soustavy. Zásobník by měl mít dobrou schopnost vrstvení – stratifikace. Tu vykazují zejména štíhlé zásobníky, kde v nejvyšším místě se drží nejteplejší voda a v nejnižším místě voda studená. V dolní části je připojen solární výměník, který i při malém solárním záření může díky tomuto vhodnému napojení pracovat s vysokou účinností. Nežádoucím jevem v zásobníku je promísení teplé a studené vody. Studená voda při vstupu do zásobníku může být zpomalena hydraulickými brzdami, nebo je vhodné snížit rychlost zvětšením světlosti potrubí. Zásobník by měl být izolován těsným a dokonale přilnavým pláštěm. (1) (3)

Zařízení, která přijímají tepelnou sluneční energii, se nazývají sluneční kolektory a existuje mnoho hledisek, jak je můžeme rozdělit. Kromě druhu teplonosné látky se zohledňuje i její tlak, a to atmosférický, nebo vakuový. Dále se mohou lišit materiálem absorbéru, což je část, která pohlcuje sluneční záření. Pod povrchem absorbéru protéká teplonosné médium v trubkách, nebo kanálcích a přenáší teplo z kolektoru na výměník. Úprava povrchu absorbéru může být selektivní, povrch je na bázi keramicko-kovových vrstev, díky kterým mají vysokou pohltivost. Také je možná neselektivní úprava, která je součástí spíše levnějších variant. Kombinací těchto technických možností získáme několik druhů nejčastěji užívaných kolektorů v České republice. (1) (4)

Prvním je plochý nekrytý kolektor, nejčastěji z plastu, který se využívá hlavně pro sezónní ohřev vody v bazénu. Díky absenci zasklení má menší ztráty odrazem. Výkon je ale velmi omezen a hodí se pouze pro nízkoteplotní ohřev vody. (4) (3)

Druhým je plochý neselektivní kolektor s černým pohltivým nátěrem a zasklením. Může být využit pouze pro sezónní přehřev teplé vody, protože má velké tepelné ztráty vlivem sálání. Uplatnit se může například na chalupě. (4) (3)

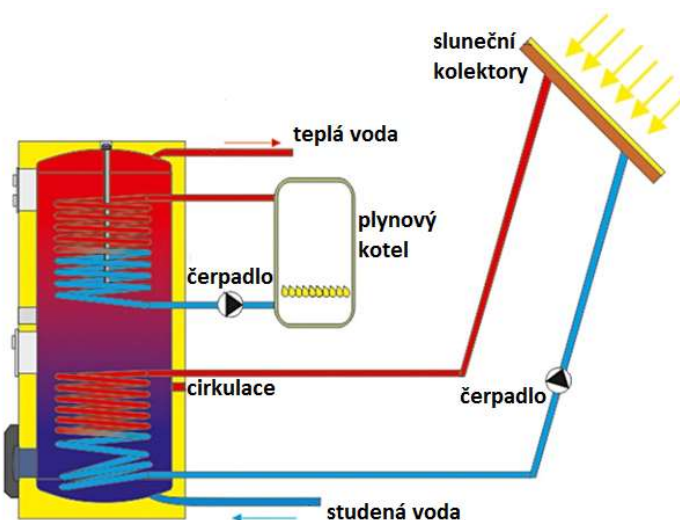
Dalším typem je plochý kolektor s kovovým absorbérem a selektivním povrchem, který je u nás nejčastěji používán. Díky izolaci má snížené tepelné ztráty a je možné ho využít pro celoroční ohřev vody i vytápění. (4) (3)

Mezi vakuové kolektory patří plochý deskový kolektor s kovovým selektivním absorbérem. Nižší tlak než je atmosférický zajistí menší tlakové ztráty a může se použít pro ohřev vody i vytápění. Protože by vlivem rozdílu tlaků mohlo sklo prasknout, tato část musí být vyztužena. Vakuový dvojstěnný trubkový kolektor má také menší tepelné ztráty, ale malou účinnost při nízkých teplotách. Vakuové kolektory se vyznačují především vyšší cenou. (4) (3)

Kolektor, ve kterém jsou použita zrcadla – reflektory, čočky refraktory pro usměrnění slunečního paprsku se obecně nazývají soustřeďující, neboli koncentrační. (4) (3)

### 3.2 Princip ohřevu teplé vody a vytápění

Pokud je v objektu více zdrojů tepla jedná se o vícestupňový ohřev vody a kombinací zapojení je mnoho. Zdroje mohou být zapojeny do jednoho zásobníku, nebo může mít solární systém svůj vlastní. Zpravidla se voda nejprve přehřeje slunečními kolektory a následně se upraví na požadovanou teplotu dalším zdrojem. (2) (5)



Obr. 1 - Schéma zapojení ohřevu vody s využitím solárních kolektorů (5)

## 4. Fotovoltaické solární systémy

### 4.1 Popis fotovoltaické soustavy

Fotovoltaické systémy umožňují přeměnu sluneční energie na elektřinu na principu fotoelektrického jevu. Částice světla - fotony - dodají dostatečnou energii elektronům na polovodiči, které „vyskočí“ ze své vrstvy a jsou jako elektrická energie odváděny ze solárního článku do akumulátoru nebo ke spotřebiči. (6) (7)

Spojením fotovoltaických článků vzniká fotovoltaický panel. Více panelů tvoří fotovoltaické pole. Výkon panelů se udává v jednotce Watt peak (Wp), což je hodnota za ideálních podmínek. Pokud je obloha polojasná, výkon klesá zhruba o 35 %, během zatažené oblohy je výkon 10 % z maximální hodnoty. Nejvhodnější umístění panelů je na jih +15° ve sklonu 30 - 40 %. (1) (6) (7)

K regulaci měnicího se napětí v soustavě slouží solární regulátor. Slouží jako řídicí jednotka pro tok mezi solárními panely, bateriemi a spotřebiči a zajišťuje energii během nižšího slunečního záření právě z baterií. Snaží se vždy minimalizovat odběr ze sítě a maximálně využít solární energii. Existuje PWM a MPPT regulátor. Typ MPPT (Maximum Power Point Tracker) dokáže udržovat systém kolem maximálního pracovního bodu výkonu u solárních panelů, díky němu soustava dosahuje až o 30 % vyššího výkonu. (8) (9)

Protože fotovoltaické generátory pracují se stejnosměrným proudem, je potřeba zapojit měnič, který ho změní na střídavý, aby bylo možné vyrobenou energii zpracovat. (8)

Elektrická energie se ukládá u hybridních a ostrovních systémů do akumulátorů. Olověné akumulátory jsou nejstarším typem, který při nabíjení mění elektrickou energii na chemickou a při vybíjení zpět na elektrickou. Životnost těchto baterií je malá a záleží na provozních podmínkách. Dalším typem je Li-ion akumulátor, který je nejrozšířenějším druhem. Funguje na principu přenosu lithiového iontu. Výhodou je malé samovybití a dlouhá životnost. (6) (1)

## 4.2 Typy fotovoltaických elektráren

Existují tři hlavní typy fotovoltaických soustav, a to ostrovní, síťový a hybridní. (10) (11)

### **Ostrovní fotovoltaická elektrárna (off - grid)**

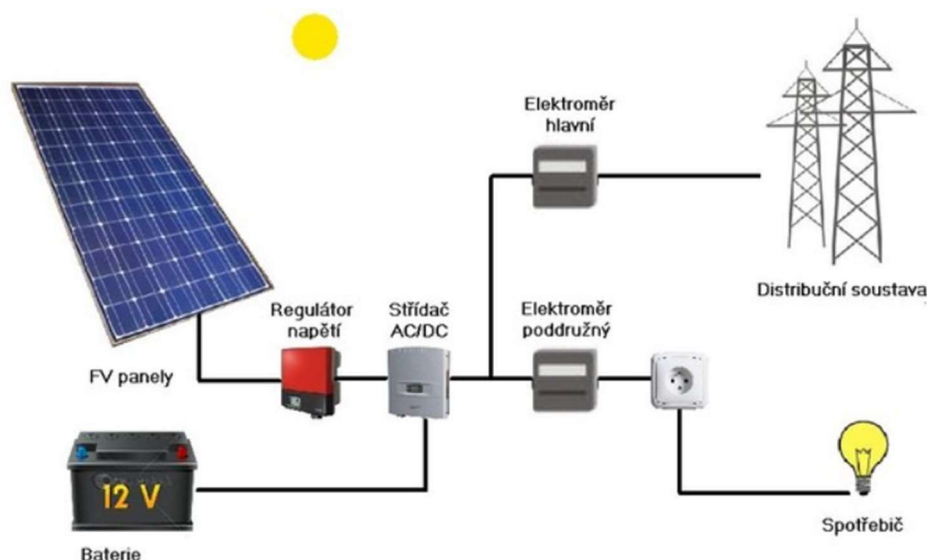
Objekt s ostrovním fotovoltaickým systémem je nezávislý od elektrické sítě a veškerou elektřinu pro svůj provoz si musí vyrobit. Nezbytnou součástí tohoto systému jsou elektrické akumulátory, ze kterých objekt čerpá energii při nedostatečném slunečním záření. Během zimních měsíců se často využije navíc i záložní elektrocentrála. Tento systém je sice nezávislý na cenách elektřiny, zařízení této elektrárny je však mnohem dražší kvůli naddimenzování systému, záložním bateriím a výkonnějšímu střídači. Údržba je složitější kvůli většímu množství prvků. Tento systém je vhodný pro budovy na odlehlých místech, kde není poblíž přípojka k elektrické síti, nebo je připojení velmi složité a drahé, nebo pokud jsou v objektu časté výpadky elektřiny. (10) (11)

### **Síťová fotovoltaická elektrárna (on – grid)**

Síťová elektrárna je napojena na distribuční síť. Jde o nejjednodušší systém bez akumulátoru, u kterého energie z fotovoltaických panelů prochází přes hlavní domovní rozvaděč a dále pokračuje ke spotřebičům. V případě přebytku energie z fotovoltaických panelů je elektřina převedena do distribuční sítě a v případě jejího nedostatku, je energie spotřebována z distribuční sítě. Výhodou je vysoká účinnost a nízká cena. (10) (11)

## Hybridní fotovoltaická elektrárna (HFVE)

Hybridní fotovoltaická elektrárna je rozšířenou on – grid soustavou o záložní baterie, ze kterých budova čerpá energii přes noc, nebo při nepříznivých světelných podmínkách během dne. Pokud se elektrický akumulátor vybité pod určitou úroveň, systém se přepne na ostrovní režim. Výhodou je stoprocentní využití vyrobené energie. (10) (11)



Obr. 2 - Schéma zapojení hybridní fotovoltaické elektrárny (11)

## 4.3 Druhy fotovoltaických článků

### Monokrystalické články

Fotovoltaické systémy mohou využívat různé technologie článků. Prvním základním druhem je monokrystalický článek s účinností okolo 15 %. Skládá se z vysoce čistého krystalického křemíku. Tyto články jsou součástí fotovoltaických panelů, které se zpravidla umísťují na sedlové střechy, nebo na podpůrné konstrukce na střechách rovných. Problémem této technologie může být stínění, protože článek hůře využívá difuzní záření. Je tedy vhodné zajistit ideální orientaci na jih, popř. udržovat ideální sklon během ročního období natáčecím systémem. (7) (6)

## Polykrystalické články

Další možností jsou polykrystalické články. Během výroby se roztaví křemík, který se slisuje do formy, kde má každý krystal odlišnou polohu a nerovnoměrný povrch. Články lépe zachytí difuzní světlo, tudíž není tak důležitá přesná orientace panelů. Zpracování difuzního světla je přibližně o 1 % lepší, rozdíl tedy není zvláště velký. Nižší pořizovací cena oproti panelům z monokrystalických článků s sebou nese nevýhodu v poklesu parametrů během životnosti. Udávaná účinnost se pohybuje kolem 13 %. (7) (6)



Obr. 3 - Polykrystalické fotovoltaické panely umístěné na střeše (12)

## Vícevrstvé články

Od klasického vzhledu tmavých panelů se liší vícevrstvé články. Článek může být nanesený jako tenká vrstva polovodiče na pružné ohýbavé fólie např. z plastu, nebo polykarbonátu. Do této kategorie spadají články s vrstvou CdTe, nebo CIGS systém. Články dokáží zpracovat různé vlnové délky světla, proto je výkon méně citlivý na jeho rozdílnou intenzitu. Perspektivní technologie až se 40 ti procentní účinností se však v praxi tolik neuchytila. Tyto články často podléhají větší degradaci, čímž se snižuje výkonnost a jsou spojené s vyšší cenou. Z ekonomického hlediska je tedy na zvážení použití těchto článků. (6) (13)

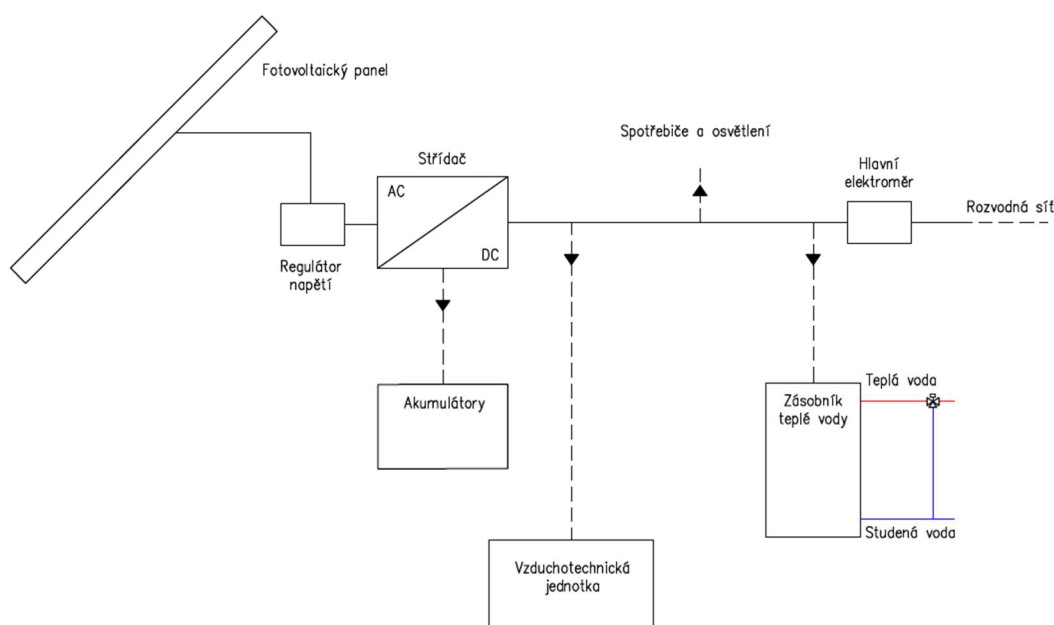
## Organické články

V posledních letech přibýlo mnoho technologií, které jsou nekřemíkové. Je snaha o vytvoření levnější varianty fotovoltaických panelů, použitím levných materiálů s jednodušší výrobou. Často se však technologie potýká s malou účinností, a tak jsou spíše ve fázi vývinu. Příkladem mohou být tekuté články, někdy nazývané Graetzelovými články, využívající senzitivované barvivo, polymerové solární články a další systémy využívající například fotosyntézu. (14) (15) (16)

## 4.4 Fotovoltaický systém v budově

Využití fotovoltaického systému v budovách i s jeho přebytky je velmi jednoduché, protože je energie v elektrické formě, kterou potřebuje celý chod domácností, popř. administrativní budovy. Nejvíce nákladů na energie pro domácnosti je bezpochyby vytápění, ohřev vody a větrání. Vytápění potřebujeme především v zimě, kdy je slunečního světla málo, z tohoto důvodu se nabízí použití vyprodukované elektřiny na ohřev vody a větrání. Přebytky energie mohou využít především velké spotřebiče, jako jsou lednice a mrazáky. (17)

Energie může být využita pro chod vzduchotechnické jednotky a regulátorů. Ohřev vody solární energií může fungovat jako předehřev a dohřívání vody na požadovanou teplotu bude provedeno dalším zdrojem. Nebo může pracovat jako jediný zdroj. (17)



Obr. 4 - Schéma zapojení fotovoltaické soustavy s ohřevem vody a větráním

## 5. Integrace fotovoltaiky do stavebních konstrukcí

### 5.1 Střešní konstrukce

Nyní se však pokročilé firmy více zabývají integrací fotovoltaiky do konstrukcí. Tesla se rozhodla nezůstat fenoménem pouze u elektromobilů, ale chtěla by poskytovat komplexní řešení pro energetickou nezávislost. Začala se zabývat fotovoltaickou střechou, která má velmi moderní vzhled a esteticky rozhodně překonává klasické křemíkové panely. Každá taška je sama o sobě solárním článkem, a tak není třeba žádné podpůrné konstrukce na větší zatížení střechy. Navíc je produkt Tesly vysoce odolný proti vnějším vlivům. O podobný systém se pokouší i další firmy, které používají například zabudované CIGS panely do střešních pláštů. (18)



Obr. 5 - Fotovoltaické články integrované do střešního pláště od firmy Tesla (18)

Novým výrobkem, který se dá umístit na střechu, ale vzhled má zatím jako klasická křemíková technologie je hybridní solární panel. Přichází s ním čínští odborníci, kteří vyvíjejí zařízení, které dovede přeměnit mechanickou energii na elektřinu. V případě nepříznivého počasí – deště – vytváří elektřinu z dopadajících kapek. Elektřinu dokáží články získat i ze sněhu, který je kladně elektricky nabitý a může tak předat energii jinému záporně nabitému materiálu, čím může být silikon. Vědci se zabývají i panely využívající energii během noci. Fungování článku je přesně obrácené. Během noci jsou články teplejší než jejich okolí a vyzařují teplé infračervené záření, ze kterého dokáží získat elektřinu. (19)



## 5.2 Obvodové konstrukce

Solární systémy se dají integrovat také na fasádu a další neprůsvitné konstrukce. I zde může fotovoltaika splynout s budovou v podobě obkladů, které však stále fungují jako samostatné konstrukce a doplňují obvodový plášť. (20)



Obr. 6 - Aplikace fotovoltaických obkladů firmy T-Power (20)

## 5.3 Solární dláždění

Před lety se objevila myšlenka pokrýt silnice solárními panely. Protože je na světě přibližně 16,5 milionů km pozemních komunikací (silnic), pokrytí panely by připadlo na 130 milionů m<sup>2</sup>, což by zajistilo pokrytí energetické potřeby lidí na celém světě. Bylo zrealizováno několik úseků, ale přínos je nakonec minimální se spoustou problémů. Protože nejsou solární panely optimálně natočeny ke světelným paprskům, trátí tím systém o 60 % energie. Dalším problémem je stínění, které vzniká od silnější dopravy, výparů z motorů, nebo okolní zástavby a zeleně. Údržba této technologie byla téměř nemožná, protože byly panely okamžitě poškrábány od písku a jiných nečistot. (21)

Tento příklad neodradil firmy zabývající se solárním dlážděním a aplikují ho kolem administrativních budov, na chodníky kolem rodinného domu, či na terasy. Využit byl už i na parkovací stání elektromobilů, které dokáže snadno dobít. Produkt maďarské firmy Platío Solar Paver, modul o celkové ploše 4,7 m<sup>2</sup>, má výkon za slunečního dne 720 Wp. Pokrytí energetické potřeby rodinných domů pak zajistí 20 m<sup>2</sup> této dlažby. Fotovoltaický článek je zalitý do silikonového gelu, který vydrží až 250 °C a jeho postupná degradace by měla být pomalejší. Ostatní části jsou z recyklovaného plastu. (22)

## 5.4 Průhledné a průsvitné konstrukce

Převratem v oblasti solárních systémů je díky vývoji nových typů článků využití i průsvitných a průhledných konstrukcí. Sluneční energii tedy můžeme přeměňovat na elektrinu například okny, nebo prosklenou fasádou. Firmy, které se novou technologií zabývají, mají vše zatím ve formě startupu a ještě je čeká značný vývoj. (23)

## 6. Solární okna

### 6.1 Technologie

Fotovoltaické články v solárních oknech spadají do skupiny organických článků. Tyto články jsou vyrobené tak, aby zachycovaly pouze ultrafialové a infračervené záření. Viditelné záření na 90 % propouští a stínění touto technologií je proto minimální. Fungují tedy i při nízkém záření světla a dají se tak použít na prosklené části umístěné na všechny světové strany. Zároveň čerpají energii i z umělého světla, což žádná jiná technologie zatím neuměla. Tyto vrstvy se dají aplikovat na již existující sklo, aniž by změnilы vzhled plochy. Použité materiály jsou přírodní polymery, které jsou okolo nás dostupné. Jiné produkty, které spadají do skupiny tenkých solárních fólií jako jsou CIGS, nebo CdTe vyžadují složitější vybavení pro proces výroby, jsou vyráběny ve vakuu a za vysoké teploty. Z tohoto důvodu by systém z přírodních polymerů měl být cenově přijatelnější. (23) (24) (25)

### 6.2 Známé údaje

Solární okna už byla aplikována na několika velkých prosklených budovách, především výškových, ale oficiálně ještě na trhu nejsou. Až v poslední fázi vývoje bude tendence uvést solární okna na trh pro residenční bydlení. Firmy zatím slibují velmi optimistické údaje, se kterými by klasické fotovoltaické panely naprosto překonaly. Měly by vyrobit až padesátkrát více energie s návratností jednoho roku. Například padesáti patrová budova by měla mít o polovinu menší náklady na svůj provoz. Pozitivně se mluví i o šetrnosti k přírodě. Tekutá vrstva článku se totiž skládá především z uhlíku a vodíku, což jsou nejvíce vyskytující se prvky na Zemi. Přestože zatím nemůžeme potvrdit tyto propagační údaje, určitě se jedná o zajímavou technologii, která by mohla opravdu posunout využití sluneční energie. (25) (26) (27)



*Obr. 7 - Fotovoltaické články aplikované na sklo (27)*

## 6.3 Účinnost

Atraktivní informace slibují všechny společnosti zabývající se solárními okny. Konkrétní čísla však oficiálně nikdo nezveřejňuje.

Pro účely této práce byly zvoleny dva příklady budov, na kterých je znázorněno, jakou účinnost by solární okna musela mít, aby se vyrovnala klasickým polykrystalickým fotovoltaickým panelům.

### 6.3.1 Účinnost na administrativní budově

Prvním příkladem je administrativní budova společnosti Nestlé, která se nachází v Praze v Modřanech. Objekt má hladkou fasádu, tudíž slunečnímu záření nebrání žádné stínění. K dispozici je zde 4700 m<sup>2</sup> zasklení včetně prosklené střechy nad částí atria. (28)



*Obr.8 - Prosklené atrium administrativní budovy společnosti Nestlé (29)*



*Obr. 9 - Vizualizace řešeného objektu (30)*

Pomocí výpočetního programu PV GIS byly navrženy konvenční polykrystalické panely umístěné na střeše o ploše 1975 m<sup>2</sup>. Za předpokladu, že panely mají výkon 270 Wp, při optimální poloze by ročně mohly vyrobit 349 000 kWh. (31) (32)

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

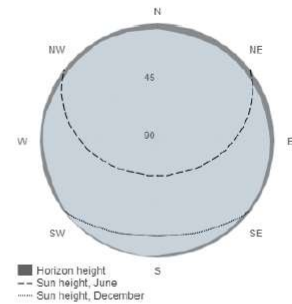
**Provided inputs:**

Latitude/Longitude: 50.010, 14.407  
Horizon: Calculated  
Database used: PVGIS-SARAH  
PV technology: Crystalline silicon  
PV installed: 0.27 kWp  
System loss: 14 %

**Simulation outputs**

Slope angle: 38 (opt) °  
Azimuth angle: -4 (opt) °  
Yearly PV energy production: 283.01 kWh  
Yearly in-plane irradiation: 1312.17 kWh/m<sup>2</sup>  
Year to year variability: 12.22 kWh  
Changes in output due to:  
Angle of incidence: -2.95 %  
Spectral effects: 1.68 %  
Temperature and low irradiance: -5.87 %  
Total loss: -20.12 %

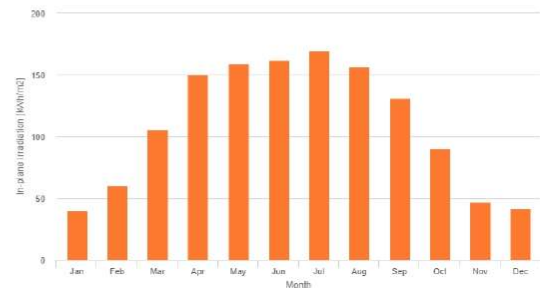
**Outline of horizon at chosen location:**



**Monthly energy output from fix-angle PV system:**



**Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:**



Obr. 10 - Výpočet roční výroby elektřiny polykrystalickými fotovoltaickými panely (31)

Pro solární okna pokrývající 4700 m<sup>2</sup> byla vypočítána, jaká by musela být účinnost na této budově, aby dosáhla roční produkce 349 000 kWh a překonala by tak polykrystalické panely instalované na střeše. Výsledky jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 1 - Procentuální účinnost solárních oken oproti polykrystalickým panelům na administrativní budově

<b>Procentuální účinnost solárních oken oproti polykrystalickým panelům</b>	
<b>Účinnost</b>	<b>kWh.rok<sup>-1</sup></b>
10 %	83 131
20 %	166 263
30 %	249 394
40 %	332 525
45 %	374 091

Z výsledků je patrné, že pokud by solární okna měla účinnost ani ne poloviční, dosáhla by na budově vyšší produkce elektřiny. Výsledek efektu solárních oken bude však zkreslen kvůli nerovnoměrné produkci této technologie vůči orientaci ke světovým stranám.

### 6.3.2 Účinnost na bytovém domě

V současnosti se zde objevuje ale problém a to, že moderní architektura objektů pro bydlení předpokládá stínění. Tudíž by bylo otázkou, zda bychom tuto technologii dokázali v budově náležitě využít. Příkladem je objekt bytového domu v ulici Vrchlického na Praze 5, který je současně předmětem praktické části této práce.

Objekt se z hlediska množství zasklení nabízí k použití solárních oken. Solární skla byla pro tento příklad aplikována kromě oken i na celoskleněné zábradlí na balkónech. Je nutno zmínit, že ačkoli prosklené balkóny vypadají velmi moderně, většinou však po zabydlení majitelem jsou zastíněny rostlinami a nábytkem, aby si lidé zachovali soukromí. Nabízelo by se řešení, udělat balkóny neprůhledné a použít spíše konvenční mnohem účinnější křemíkové panely. To je ale pohled z hlediska účinnosti, jiný názor by měl patrně architekt. Také by bylo na zvážení, zda použít solární okna pro vstupy na balkóny kvůli stínění předsazené konstrukce o patro výše. Pro účely této práce jsou ale využita veškerá zasklení.



Obr. 11 – Bytový dům Vrchlického (33)



Obr. 12 - Půdorys bytového domu Vrchlického

Pro čtyřpatrový bytový dům byly navrženy opět nejdříve konvenční polykrystalické panely umístěné na střeše, která má plochu 916 m<sup>2</sup>. Za stejných podmínek, tedy pokud by panely měly výkon 270 Wp, by při optimální poloze ročně mohly vyprodukovat 162 018 kWh.

Po aplikaci solárního skla na okna i zábradlí balkonů činí zasklená plocha 530 m<sup>2</sup>. V tabulce níže je uvedena procentuální účinnost solárních oken v porovnání s polykrystalickými panely.

Tab. 2 - Procentuální účinnost solárních oken oproti polykrystalickým panelům na bytovém domě

Procentuální účinnost solárních oken oproti polykrystalickým panelům	
Účinnost	kWh.rok <sup>-1</sup>
10 %	9 374
50 %	46 872
80 %	74 995
100 %	93 744
175 %	164 052

Účinek solárního skla pro méně zasklený objekt by musel být 175 %, aby se tato technologie vyplatila. Výsledkem je, že v případě využití solární energie pro rezidenční bydlení vychází příznivěji varianta, kdy využijeme konvenční křemíkové panely. Vyrobena elektřina v bytovém domě může napájet například vzduchotechnický systém.

## 6.4 Porovnání konvenčních fotovoltaických systémů a Solar Window

Mezi firmy, které se těmito energetickými okny zabývají, patří i SOLAR WINDOW Technologies. V rámci jejich startupu uvádějí následující roční produkci elektřiny.

kWh Production - SolarWindow™ vs. Conventional Solar - US Cities

Equivalency Estimates (Annually)	PV Solar Technologies							
	Copper Indium Gallium Selenium (CIGS)	Cadmium Telluride (CdTe)	Copper Indium Selenium (CIS)	Triple Junction Amorphous Si (A-Si)	Crystalline Silicone Mono (C-Si)	Crystalline Silicone Poly (C-Si)	Hybrid Mono & Amorphous (H&A-Si)	SOLAR WINDOW
Manhattan, NY	62,560	45,110	57,750	23,870	77,610	71,910	86,940	<b>1,112,400</b>
Savannah, GA	69,360	50,020	64,020	26,460	86,050	79,730	96,390	<b>1,233,310</b>
Lansing, MI	57,120	41,190	52,720	21,790	70,860	65,660	79,380	<b>1,015,670</b>
Chicago, IL	59,840	43,150	55,230	22,830	74,240	68,790	83,160	<b>1,064,030</b>
San Francisco, CA	73,440	52,960	67,790	28,020	91,110	84,420	102,060	<b>1,305,860</b>
Amarillo, TX	78,880	56,880	72,810	30,090	97,850	90,670	109,620	<b>1,402,590</b>
Miami, FL	73,440	52,960	67,790	28,020	91,110	84,420	102,060	<b>1,305,860</b>
Baltimore, MD	62,560	45,110	57,750	23,870	77,610	71,910	86,940	<b>1,112,400</b>
Denver, CO	77,520	55,900	71,550	29,580	96,170	89,110	107,730	<b>1,378,410</b>
Phoenix, AZ	88,390	63,750	81,590	33,730	109,660	101,610	122,850	<b>1,571,870</b>
Nashville, TN	66,640	48,060	61,510	25,430	82,670	76,600	92,610	<b>1,184,950</b>

Obr. 13 - Srovnání konvenčních fotovoltaických panelů a solárních skel od firmy Solar Window Technologies. INC (34)



Je nutno dodat, že tato čísla jsou uvedena pro 50 - ti patrovou prosklenou budovu neznámých rozměrů. Aby bylo možné produkci solárních oken této firmy porovnat s jinou známou technologií, byl proveden odhad rozměrů objektu. Použita byla roční hodnota kWh pro polykrystalické fotovoltaické panely pro oblast Lansing v Michiganu, která by se mohla nejvíce blížit podmínkám České republiky, následně předpoklad rozměrů budovy, na kterou se tato tabulka vztahuje. (34)

Při produkci  $65\,660 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$  polykrystalických panelů o výkonu 270 Wp by počet panelů měl být 232. Aby bylo možné tento počet umístit na střechu, plocha by měla být  $370 \text{ m}^2$ . Pravděpodobně jde o budovu o půdorysných rozměrech 18,5 m na 20 m a výšce 150 m. Plocha zasklení je v tomto případě  $11\,550 \text{ m}^2$ . (34)

Z výsledků je patrné, že Solar Windows je vhodné umístit na velmi prosklené vyšší objekty, jako jsou administrativní budovy, kde je velká plocha zasklení a méně prostoru pro využití krystalických a polykrystalických panelů. Jestliže budou mít opravdu alespoň poloviční účinnost starší křemíkové technologie, najdou určitě uplatnění. Vhodnější použití na administrativní budovy souvisí i s tím, že v administrativních budovách je zpravidla navrženo nucené větrání a chlazení, tudíž nebudou solární zisky okny bez stínění, které jsou obvykle nežádoucí, takovým problémem. V bytových domech by bylo vhodné kvůli množství stínění použít osvědčené křemíkové fotovoltaické panely. Nakonec vše závisí na skutečné efektivitě solárních oken.



## 7. Závěr

Cílem diplomové práce bylo alespoň ve stručnosti představit možnosti využití solární energie a zmapovat novější technologie, které jsou vhodné pro městské budovy. Dále byly popsány alternativy, jak lze fotovoltaiku integrovat do stavebních konstrukcí. Hlavním záměrem studie bylo analyzovat dosud méně známý systém pro získání energie ze Slunce, a to využití fotovoltaických článků v průhledných konstrukcích. Společnosti, které se tímto zabývají, ještě na trhu oficiálně nejsou, tudíž chybí většina důležitých informací. Práce stanovila požadovanou účinnost solárních oken, aby se vyrovnala konvenčním křemíkovým panelům.

## 8. Seznam obrázků

Obr. 1 – Schéma zapojení ohřevu vody s využitím solárních kolektorů (5).....	9
Obr. 2 – Schéma zapojení hybridní fotovoltaické elektrárny (11).....	12
Obr. 3 – Polykrystalické fotovoltaické panely umístěné na střeše (12).....	13
Obr. 4 – Schéma zapojení fotovoltaické soustavy s ohřevem vody a větráním....	14
Obr. 5 - Fotovoltaické články integrované do střešního pláště od firmy Tesla (18)	15
Obr. 6 - Aplikace fotovoltaických obkladů firmy T-Power (20) .....	16
Obr. 7 - Fotovoltaické články aplikované na sklo (27).....	18
Obr. 8 - Prosklené atrium administrativní budovy společnosti Nestlé (29).....	19
Obr. 9 - Vizualizace řešeného objektu (30) .....	19
Obr. 10 - Výpočet roční výroby elektřiny polykrystalickými fotovoltaickými panely (9) .....	20
Obr. 11 – Bytový dům Vrchlického (33) .....	22
Obr. 12 - Půdorys bytového domu Vrchlického .....	22
Obr. 13 - Srovnání konvenčních fotovoltaických panelů a solárních skel od firmy Solar Window Technologies. INC (34) .....	23

## 9. Seznam tabulek

Tab. 1 - Procentuální účinnost solárních oken oproti polykrystalickým panelům na administrativní budově.....	21
Tab. 2 - Procentuální účinnost solárních oken oproti polykrystalickým panelům na bytovém domě.....	23

## 10. Seznam použitých zdrojů a literatury

1. doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph. D. *Fotovoltaika - prezentace*. Praha : ČVUT, Fakulta stavební, 2020.
2. Blondeau, Patrice. *Cours de Systèmes Solaires Thermiques*. La Rochelle : La Rochelle Université, 2020.
3. Tzb-info. *Prvky solárních soustav (IV)*. [Online] [Citace: 20. 12 2020.] <https://www.tzb-info.cz/3626-prvky-solarnich-soustav-iv>.
4. Tzb-info. *Typy solárních kolektorů*. [Online] [Citace: 20. 12 2020.] <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoruv>.
5. Tzb-info. *Ohřev vody, aneb příprava teplé vody, III. díl*. [Online] [Citace: 02. 01 2021.] <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/17781-ohrev-vody-aneb-priprava-teple-vody-iii-dil>.
6. Abadie, Marc. *Cours de Production Électricité Photovoltaïque*. La Rochelle : La Rochelle Université, 2020.
7. Daniels, Klaus. *Technika budov - Příručka pro architekty a projektanty*. Bratislava : Jaga group, 2003.
8. Oenergetice. *Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR*. [Online] [Citace: 02. 01 2020.] <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>.
9. Obchodsolar. *MPPT měnič pro FV ohřev vody*. [Online] [Citace: 02. 01 2020.] <https://www.obchodsolar.cz/MPPT-menic-FV-ohrevu-vody>.
10. Svp-solar. *Fotovoltaika*. [Online] [Citace: 02. 01 2021.] <https://www.svp-solar.cz/fotovoltaika/>.
11. Tzb-energ. *Fotovoltaika*. [Online] <https://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>.
12. AbecedaZahradyABydleni. *Solární energie zefektivní provoz*. [Online] [Citace: 04. 05 2020.] <https://abecedazahrady.dama.cz/clanek/solarni-energie-zefektivni-provoz>.
13. 1alphasolar. *Tenkovrstvé panely CIS, CGIS o 20 - 30 % vyšší výkon - než u panelů křemíkových*. [Online] [Citace: 01. 05 2020.] <http://www.1alphasolar.cz/kategorie-123-tenkovrstve-panely-cis,-cigs,-cgis-o-20-30---vyssi-vykon---nez-u-panelu-kremikovych>.
14. Automatizace.hw. *Polymerové (plastové) solární články - nový směr vývoje*. [Online] [Citace: 01. 05 2020.] <https://automatizace.hw.cz/polymerove-plastove-solarni-clanky-novy-smer-vyvoje>.

15. Sigmaaldrich. *Plexcore PV Inks for Printed Solar Power System Applications & Advantages*. [Online] [Citace: 10. 05 2020.]  
<https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/technology-spotlights/plexcore-pv-ink-system.html>.
16. Cs.wikipedia. *Gratzelův článěk*. [Online] [Citace: 01. 05 2020.]  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A4tzel%C5%AFv\\_%C4%8Dl%C3%A1ne%C5%99k](https://cs.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A4tzel%C5%AFv_%C4%8Dl%C3%A1ne%C5%99k).
17. Tzb-info. *Proč je tak výhodné ohřívát vodu fotovoltaicky?* [Online] [Citace: 02. 01 2021.] <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/15732-proc-je-tak-vyhodne-ohrivat-vodu-fotovoltaicky>.
18. Cdr. *Tesla představila nové solární střešní tašky, budou levnější než běžná střecha*. [Online] [Citace: 05. 05 2020.] <https://cdr.cz/clanek/tesla-predstavila-nove-solarni-stresni-tasky-budou-levnejsi-nez-bezna-strecha>.
19. Antisolární panely mohou vyrábět elektřinu v noci. *Ekontech*. [Online] [Citace: 20. 10 2020.] <https://www.ekontech.cz/clanek/antisolarni-panely-mohou-vyrabet-elektrinu-noci>.
20. T-power. *Solární fasády*. [Online] [Citace: 02. 05 2020.] <https://www.t-power.cz/solarni-fasady/>.
21. Ct24.ceskatelevize. *Cesta do pekla je dlážděná solárními panely. Proč neuspěly silnice, které měly vyrábět elektřinu?* [Online] [Citace: 20. 12 2020.] <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2617766-cesta-do-pekla-je-dlazdena-solarnimi-panely-proc-neuspely-silnice-ktere-mely-vyrabet>.
22. Platiosolar. *Technology*. [Online] [Citace: 20. 12 2020.] <https://platiosolar.com/#tech>.
23. Ubiquitous.energy. *Technology*. [Online] [Citace: 27. 04 2020.] <https://ubiquitous.energy/technology/>.
24. YouTube. *Transparent Solar Panels - Michigan State University*. [Online] [Citace: 29. 04 2020.] <https://www.youtube.com/watch?v=qMhdpWMDp04>.
25. SolarWindow. *Technology*. [Online] [Citace: 02. 05 2020.] <https://www.solarwindow.com/technology/>.
26. SolarWindow. *New Energy's Electricity-Generating SolarWindow Trumps Competitions with Industry's Fastest-Ever*. [Online] [Citace: 02. 05 2020.] <https://www.solarwindow.com/2015/02/new-energys-electricity-generating-solarwindow-trumps-competition-with-industrys-fastest-ever-payback/>.
27. Svetandroida. *Průhledné solární panely místo oken? V Polsku vzniká revoluční zdroj energie*. [Online] [Citace: 01. 05 2020.] <https://www.svetandroida.cz/pruhledne-solarni-panely/>.



28. Nahlizenidokn.cuzk. [Online] [Citace: 10. 10 2020.]
29. Sarapatka. *Administrativní budova NESTLÉ*. [Online] [Citace: 03. 05 2020.] <https://sarapatka.cz/nestle/>.
30. StavbaWeb. *Kancelářský objekt Nestlé Česko*. [Online] [Citace: 04. 05 2020.] <https://www.stavbaweb.cz/kancelasky-objekt-nestle-esko-5674/clanek.html>.
31. Ec.europa.eu. *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. [Online] [Citace: 10. 11 2020.] [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP).
32. Viessmann. *Fotovoltaické panely*. [Online] [Citace: 05. 05 2020.] <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/fotovoltaika/fotovoltaicke-panely/vitovolt-300.html>.
33. Retrend. *Rezidence Vrchlického je zkolaudovaná*. [Online] [Citace: 02. 01 2020.] <https://retrend.cz/novinky/rezidencni-bydleni-a-hotely/rezidence-vrchlickeho-je-zkolaudovana/>.
34. SolarWindow. *Power Model*. [Online] [Citace: 02. 05 2020.] <https://www.solarwindow.com/powermodel/>.
35. Papež, Karel. *Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení*. Praha : ČVUT, 2007.
36. Gebauer, Gunter. *Vzduchotechnika*. místo neznámé : Era, 2007. 8073660918.