

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE V BYTOVÉM DOMĚ

BAKLÁŘSKÁ PRÁCE

Eliška Moravcová

Vedoucí práce: Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.

Praha, květen 2022

Vedoucí práce:

Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.
Katedra Technických Zařízení Budov
Fakulta Stavební
České Vysoké Učení Technické v Praze
Technická 2
160 00 Praha 6
Česká republika

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Moravcová</u>	Jméno: <u>Eliška</u>	Osobní číslo: <u>486124</u>
Zadávací katedra: <u>K125 Katedra technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Využití solární energie v bytovém domě</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>The usage of solar energy in an apartment building</u>	
Pokyny pro vypracování: Formou studie zpracujte teoretické možnosti využití solární energie v budovách se zvážením možných řešení pro zadaný bytový dům. Pro zadaný bytový dům zpracujete kocept TZB ve formě blokového schématu. Vypracujte projekt vodovodu na úrovni projektové dokumentace pro stavební povolení. Projekt bude obsahovat příslušné půdorysy, řezy, výpočty a technickou zprávu.	
Seznam doporučené literatury: Matuška, Tomáš: Solární zařízení v příkladech, Grada 2013 Matuška, Tomáš: Solární soustavy pro bytové domy Kabele a kol.: Energetické a ekologické systémy budov 1, ČVUT 2010 příslušné normy a předpisy	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>23.2.2022</u>	Termín odevzdání BP v IS KOS: <u>15.5.2022</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské 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“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení

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

Praha, květen 2022

.....
Eliška Moravcová

Abstrakt

Tato bakalářská práce se skládá ze tří částí, teoretické, praktické a výkresové. Teoretická část je koncentrována na možnosti využití solární energie v bytových domech. Nejprve se zaměřením na pasivní využití solární energie a následně na aktivní, kde se pak více detailněji zabývá návrhem solárních kolektorů pro ohřev teplé vody a příslušenství k solární soustavě. Praktická část se zabývá klasickým návrhem vnitřního vodovodu v bytovém domě a návrhem plochy solárních kolektorů. Výkresová část se sestává z výkresové dokumentace vodovodu na úrovni pro stavební povolení.

Klíčová slova: Solární energie, vodovod, zásobník teplé vody, solární kolektor, fotovoltaický panel

Abstract

This bachelor thesis consists of three parts, theoretical, practical and drawing documentation. The theoretical part is focused on the possibilities of usage of solar energy in apartment buildings. First focusing on the passive use of solar energy and then on active use of solar energy, then it deals in more detail with the design of solar collectors for hot water heating and accessories for the solar system. The practical part deals with the classic design of sanitary plumbing in an apartment building and the design of the area of solar collectors. The drawing part consists of the drawing documentation of the sanitary plumbing at the level for the building permit.

Key words: Solar energy, water supply, hot water tank, solar collector, photovoltaic panel

Seznam tabulek

1.1	Hodnoty celkového slunečního ozáření [1]	3
3.1	Typické hodnoty křivky účinnosti nejběžnějších druhů solárních kolektorů [1]	31
3.2	Orientační hodnoty plochy solárních kolektorů pro přípravu teplé vody v bytovém domě pro různé stupně solárního pokrytí [29]	32
3.3	Přirážka na tepelné ztráty přípravy TV [1]	43
3.4	Nárůst tepelné ztráty zásobníku při rozdělení do většího počtu zásobníků se stejným objemem	43

Seznam obrázků

1.1	Spektrum Slunečního záření [2]	1
2.1	Průběh teplot ve stěně (A) s klasickou izolací a (B) s transparentní tepelnou izolací [3]	5
2.2	Funkce Trombeho stěny ve dne a v noci [6]	6
2.3	Solární komín – využití k ventilaci budovy [8]	7
2.4	Protisluneční okenní fólie [10]	8
3.1	Roční úhrn globálního horizontálního ozáření [15]	10
3.2	Roční úhrny energie slunečního záření v závislosti na orientaci a sklonu plochy [1]	11
3.3	Vliv sklonu plochy na průběh denní dávky slunečního záření v průběhu roku pro jasný den [1]	11
3.4	Průměrný roční úhrn globálního slunečního záření [kWh/m^2] [16]	12
3.5	Roční průměrná doba slunečního záření [h] [16]	12
3.6	Rozdělení systému FTV [18]	14
3.7	Autonomní systém [18]	14
3.8	Hybridní systém [18]	15
3.9	Systém přímo spojený se sítí [18]	15
3.10	Přírůstky čisté kapacity solárních FTV podle země a regionu, 2015–2022 [21]	16
3.11	Vision square [22]	17
3.12	Technologie průhledného solárního panelu [24]	17
3.13	Řez průhledným solárním panelem [24]	18
3.14	Detail průhledného solárního panelu [24]	18
3.15	Perovskit článek schéma [27]	19
3.16	Schéma základních součástí solárního tepelného kolektoru [1]	20
3.17	Rozdělení solárních kolektorů [1]	21
3.18	Řez deskovým kolektorem Logasol SKN 4.0 [28]	22
3.19	Praktické provedení jednostěnných vakuových kolektorů: s přímo protékajícím koncentrickým potrubím (vlevo) a s tepelnou trubicí (vpravo) [1]	25
3.20	Solární kolektory na střechách v Tel Avivu [31]	27
3.21	Termosifon [32]	28
3.22	Definice plochy apertury a absorberu solárních kolektorů [29] A – plochý; B – Trubkový s plochým absorberem; C – Trubkový s válcovým absorberem; D – trubkový s válcovým absorberem a reflektorem	29
3.23	Křivky účinnosti nejběžnějších typů solárních kolektorů [1]	30
3.24	Rozdělení solárních zásobníků tepla podle principu akumulace tepla [1]	34
3.25	Rozlišení zásobníků podle počtu výměníků [1]	35
3.26	Zásobník s nepřímým nabíjením a přímým vybíjením [1]	38

3.27	Zásobník s přímým nabíjením a nepřímým vybíjením [1]	38
3.28	Zásobník s nepřímým nabíjením a vybíjením [1]	39
3.29	Zásobník s přímým nabíjením i vybíjením [1]	39
3.30	Hlavní teplotní zóny v kombinovaném zásobníku tepla a napojení zdrojů [1]	40
3.31	Zjednodušený princip řízeného vrstvení zásobníku solární soustavy [33] . .	41
3.32	Způsoby řízeného teplotního vrstvení [29]	42

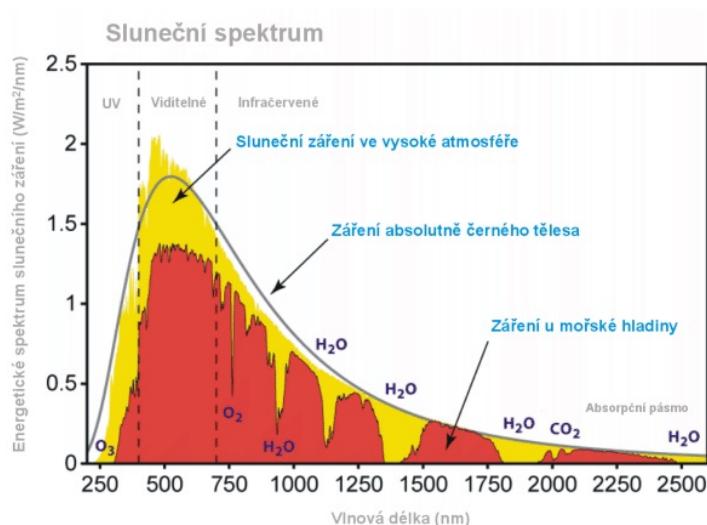
Obsah

Abstrakt	iv
Seznam tabulek	vi
Seznam obrázků	vii
1 Úvod	1
1.1 Sluneční ozáření	2
1.2 Měření veličin slunečního záření	3
2 Pasivní využití solární energie	4
2.1 Sluneční architektura	4
2.1.1 Akumulační solární stěna	4
2.1.2 Solární komín	6
2.1.3 Ochrana budovy proti nežádoucím tepelným ziskům	7
3 Aktivní využití solární energie	9
3.1 Dostupnost solární energie	9
3.2 Fotovoltaické panely	13
3.2.1 Fotovoltaický jev	13
3.2.2 Fotovoltaická přeměna energie	13
3.2.3 Solární články	14
3.2.4 Rozdělení solárních fotovoltaických soustav	14
3.2.5 Nové fotovoltaické technologie	15
3.3 Fototermické kolektory	20
3.3.1 Druhy solárních kolektorů a jejich využití	20
3.3.2 Solární kapalinové kolektory	21
3.3.3 Typologie solárních soustav a jejich využití	25
3.3.4 Využití ve světě	26
3.3.5 Navrhování solárních kolektorů	28
4 Závěr	44
Literatura	48

Kapitola 1

Úvod

S ubývajícími zásobami neobnovitelných zdrojů se společnost začala poohlížet po zdrojích alternativních. Zároveň budovy globálně nesou zodpovědnost za téměř 40% emisí. Právě využití alternativní čisté energie, vyrobené v rámci samotné budovy, je vedle kvalitní izolace a recyklovaných materiálů klíčem ke snížení uhlíkové stopy ve stavebnictví. Jedním z těchto alternativních zdrojů je Slunce, vytvářející energii, která dopadá na Zemi ve formě slunečního záření. Tato energie vzniká termonukleárními reakcemi – konkrétně jadernými fúzí – probíhajícími v centrální části Slunce, kde dochází k přeměně lehčích jader vodíku na těžší jádra hélia. Energie uvolněná v jádru Slunce ve formě rentgenových fotonů s vysokým energetickým obsahem proniká velmi hustou radiační zónou směrem k povrchu, kde se cestou rentgenové fotony přeměňují na tisíce energeticky chudší fotony o delší vlnové délce. Fotosférou je pak energie vyzařována do kosmického prostoru již jako převážně ultrafialové záření, světelné a infračervené záření v oblasti vlnových délek 0,2 až 3,0 μm . [1]



Obrázek 1.1: Spektrum Slunečního záření [2]

Ultrafialové záření (UV záření) neboli záření za fialovou barvou se nachází v oblasti vlnových délek 0,2 až 0,4 μm . UV záření se pak dále dělí na UVA, UVB a UVC záření, kde energie posledních dvou zmiňovaných je schopna rozkládat nebo narušovat bílkoviny nebo jiné životně důležité organické sloučeniny. UV záření negativně ovlivňuje růst rostlin a je zhoubné pro většinu živých organismů. Dvojjatomové plyny dusíku a kyslíku, obsažené v atmosféře – ionosféře, pohlcují přicházející ultrafialové a rentgenové záření. Naprostá většina škodlivého UV záření (UVC) je pohlcována ozónem v ozónové vrstvě. [1]

Viditelné záření (VIS) je v oblasti vlnových délek od 0,4 do 0,75 μm a je to záření, které je člověk schopný vnímat zrakem. V této oblasti rozlišujeme konkrétní barvy s vlastní vlnovou délkou. Tato oblast záření obsahuje významnou část energie slunečního záření z celkové dopadající energie. [1]

Energeticky významnější je **infračervené záření**, které se nachází v oblasti 0,75 μm až 1 mm. To se dále pak ještě dělí na blízké, střední a daleké infračervené záření. [1]

Téměř polovina sluneční energie přicházející do atmosféry je pohlcena zemským povrchem, zbytek je odražen od mraků, částic prachu a zemského povrchu zpět do vesmíru. Záření pohlcené zemským povrchem se přemění na teplo, které je z povrchu Země vyzařováno jako infračervené záření.

Pohlcováním infračerveného záření v atmosféře víceatomovými plyny, dochází k trvalému zvýšení teploty zemského povrchu (skleníkový efekt). Tuto tepelnou energii prostředím lze využít přečerpáváním na vyšší využitelnou teplotu tepelnými čerpadly. Výrazné množství energie dopadající na rozsáhlé plochy oceánů způsobuje koloběh vody, který produkuje vodní energii využitelnou ve vodních elektrárnách. Vzduch zahřátý od povrchu Země stoupá a na jeho místo proudí těžký chladný vzduch, čímž vzniká vítr, potažmo energie proudění větru využitelná ve větrných elektrárnách. Energie slunečního záření je nepřímo podstatou všech obnovitelných zdrojů energie na Zemi. [1]

1.1 Sluneční ozáření

Na vnější povrch atmosféry dopadá přímé sluneční záření s výrazně směrovým charakterem, které se průchodem atmosférou rozptýlí na částicích prachu, krystalcích ledu či kapkách vody. Tato forma záření se nazývá difuzní sluneční záření, přichází ze všech směrů se stejnou intenzitou. Výkonová hustota difuzního záření není tak závislá na úhlu dopadu jako záření přímé a to proto, že se k difuznímu záření počítá i záření odražené od okolních ploch a terénu.[1]

Pro popis energetického obsahu slunečního záření se rozlišují dvě veličiny, a to sluneční ozáření a dávka slunečního ozáření. Sluneční ozáření, značeno jako G , je výkonová hustota zářivého toku slunečního záření v jednotkách W/m^2 . Dávka slunečního ozáření, značená

jako H , je hustota dopadající energie za časový úsek v jednotkách kWh/m^2 . [1]

Celkové sluneční ozáření G tvoří součet přímého slunečního ozáření G_b a difuzního slunečního ozáření G_d . V tabulce 1.1 jsou uvedeny typické hodnoty celkového slunečního ozáření pro různé stavy oblačnosti. Právě oblačností a sklonem přijímací plochy jsou úrovně slunečního ozáření značně podmíněny, částečně pak i ročním obdobím. [1]

	Sluneční ozáření [W/m^2]	Poměr difuzního slunečního ozáření ku slunečnímu ozáření [%]
Jasná obloha	700 – 1000	10 – 20
Lehce zataženo	200 – 700	20 – 80
Silně zataženo	100 – 200	80 – 100

Tabulka 1.1: Hodnoty celkového slunečního ozáření [1]

1.2 Měření veličin slunečního záření

Údaje o úrovni slunečního záření jsou nezbytné pro návrhové výpočty a hodnocení projektových i realizovaných solárních soustav. Hlavními měřenými radiačními veličinami jsou celkové sluneční ozáření na vodorovnou rovinu a doba trvání slunečního svitu. [1]

Celkové sluneční ozáření se měří hlavně za pomoci pyranometru, ten je vystaven slunečnímu záření a v důsledku kontrastní barevnosti dojde k teplotnímu rozdílu mezi černými a bílými segmenty, tento teplotní rozdíl je přímo úměrný slunečnímu ozáření bez závislosti na teplotě okolí. [1]

Doba trvání slunečního svitu je doba, po kterou je sluneční kotouč viditelný, tedy doba přímého slunečního ozáření s výkonovou hustotou větší než $120 W/m^2$, což je prahová hodnota. Tato hodnota závisí nejen na astronomické délce dne, ale také na výskytu oblačnosti a mlh. Měření se provádí slunoměry. [1]

Kapitola 2

Pasivní využití solární energie

Jedná se o využití solární energie bez speciálních technických zařízení, pouze za pomoci vhodné konstrukce budov, jako je například přesná orientace oken na jih a využití střešních oken. Typickým příkladem, využívaným již v historii, je skleník. [3]

2.1 Sluneční architektura

Podstatou solární architektury je návrh budovy, která přijímá, ukládá a distribuuje sluneční energii ve formě tepla v zimě a v létě je před sluneční energií chráněna. Toho je dosaženo jímáním slunečního záření okny a skleníky orientovanými od jihovýchodu k jihozápadu. Velmi důležitý je návrh nejen oken – jejich velikost, již zmíněná orientace, typ zasklení – ale i tepelná izolace, konstrukce stěn a podlah, především jejich akumulační schopnosti, a také návrh vnějšího stínění budovy. Při návrhu dodržujeme zásady tepelného zónování v půdoryse a vytváříme akumulační jádra budov. Objekt je izolován především ze severu, kam jsou orientovány hlavně obslužné místnosti a technická zařízení. Obytné místnosti jsou orientovány na zbývající světové strany, tedy k jihu, východu a západu. V našich poměrech je nejtepleji a k jímání slunečních paprsků nejvýhodnější orientace jihozápadní. Pokud optimalizujeme orientaci domu k jihozápadu, lze ušetřit přinejmenším 5% energie na vytápění. Tepelné přírůstky jsou dále distribuovány do neosluněných místností, a to přirozeným nebo nuceným způsobem. [4]

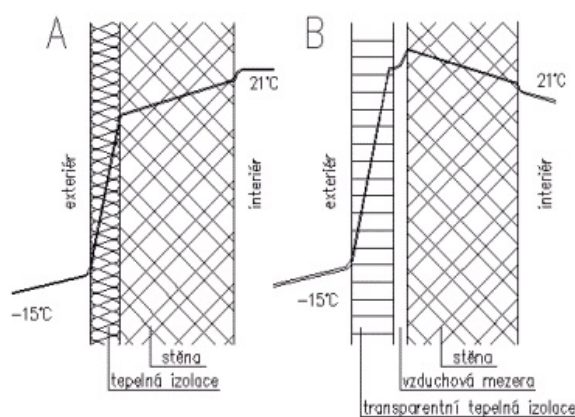
2.1.1 Akumulační solární stěna

Akumulační solární stěna je základní prvek solární architektury. Jižní strana funguje jako kolektor, zbylé konstrukce sestávají z masivních stavebních materiálů s vysokou tepelnou kapacitou, a tak zabraňují přehřátí při slunečním svitu a následně uvolňují teplo, s klesající teplotou. [4]

Transparentní tepelná izolace

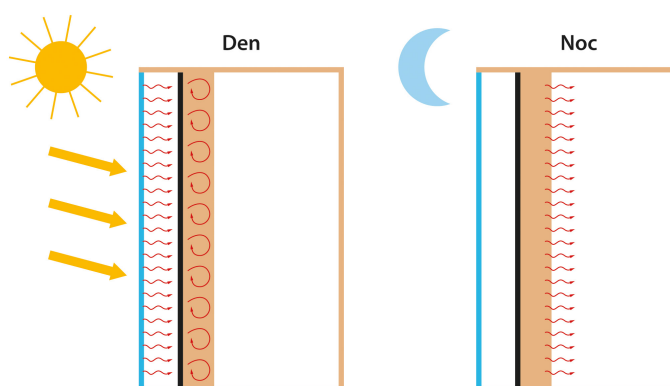
Vlastnosti a užití transparentních tepelných izolací v kombinaci s akumuláčními konstrukcemi otevírají cestu k efektivnímu využití účinků slunečního záření. Jsou to materiály kombinující dvě základní fyzikální vlastnosti požadované po tepelné izolaci a zasklívacích prvcích, a to nízký součinitel prostupu tepla a současná propustnost pro sluneční záření. Výsledkem je nižší tepelná ztráta objektu a vyšší množství energie naakumulované do konstrukce stěny. [3]

Umístění transparentní tepelné izolace je klasicky na vnější straně fasády směřující na jih. Materiál izolace, ať už sklo, plast nebo tzv. aerogel, umožňuje prostup slunečního záření na masivní stěnu za izolací a zároveň zabraňuje prostupu tepla do exteriéru. Tepelná energie se tak šíří masivní stěnou do interiéru s časovým zpožděním, odpovídajícím tepelně akumuláčním vlastnostem stěny. Účinnost stěny stoupa společně s tepelným odporem transparentní izolace a tepelnou vodivostí akumuláční stěny. Kromě možnosti vytápění pouze jižně orientovaných stěn je další nevýhodou tohoto solárního systému vytápění i vysoká pořizovací cena a nutnost ochrany proti přehřívání v létě. [5]



Obrázek 2.1: Průběh teplot ve stěně (A) s klasickou izolací a (B) s transparentní tepelnou izolací [3]

Příkladem je Trombeho stěna. Černě natřená stěna má před sebou předsazenou, asi 10 cm vzdálenou, skleněnou tabuli. Tato stěna absorbuje během dne sluneční záření a během noci jej odevzdává místnostem, které se nacházejí za ní. Stěna má u podlahy a u stropu uzavíratelné otvory, jejichž otevíráním a zavíráním může být ovlivňováno proudění teplého vzduchu. Teplo se radiací šíří do místnosti ze stěny a konvekcí přes otvory ve stěně. Nevýhodou jsou poměrně velké tepelné ztráty, způsobené absencí tepelné izolace. [4]



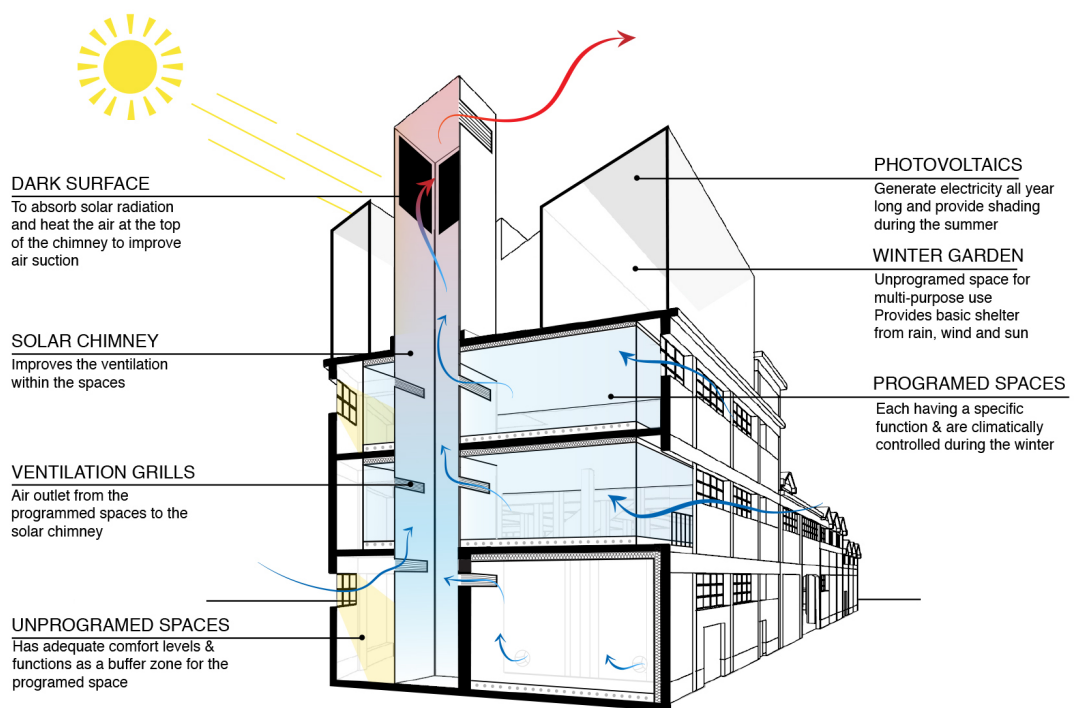
Obrázek 2.2: Funkce Trombeho stěny ve dne a v noci [6]

2.1.2 Solární komín

Solární komín je jednoduché zařízení, umístěné podle základních požadavků pro pasivní solární systémy na jižní straně budovy. Podporuje přirozené větrání pomocí solární energie, která se v solárním komínu mění na energii kinetickou proudění vzduchu.

Vzduch v šachtě komínu tmavé barvy (tmavé barvy proto, aby se docílilo co nejmenšího odrazu a co největší absorpce slunečního záření) se účinkem slunečního záření ohřívá a dochází ke snížení jeho hustoty. Vlivem odlišných hustot vzduchu v šachtě a exteriéru, způsobených rozdílnými teplotami, vznikají vztlakové síly, ty mají za účinek proudění vzduchu v solárním komínu. Vzniklý podtlak v šachtě komínu nasává vzduch z budovy. [7]

Solární komín může být využit jak ke chlazení interiéru, tak i k jeho vyhřívání. Dosáhne se toho uzavřením ventilačního otvoru do exteriéru. Ohřátý vzduch se začne akumulovat v šachtě komínu a díky uzavřenému ventilačnímu otvoru, ohřátý vzduch nemůže unikat ven, tudíž je vtlačen zpět do interiéru. [7]



Obrázek 2.3: Solární komín – využití k ventilaci budovy [8]

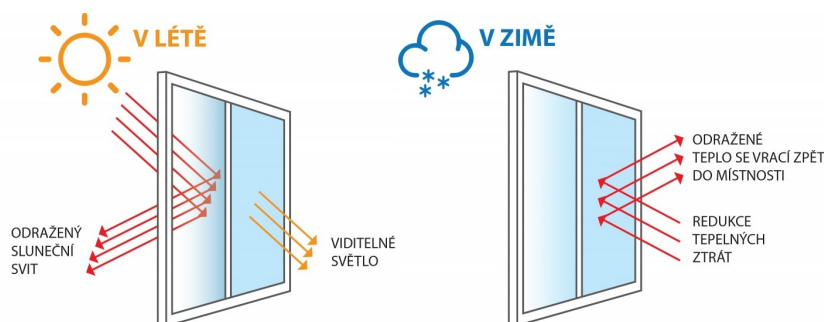
2.1.3 Ochrana budovy proti nežádoucím tepelným ziskům

V letním období může docházet k přehřívání budovy a je tedy potřeba místnosti chránit před nežádoucím solárním zářením a osluněním, ale zároveň je nutné zajistit požadované osvětlení místnosti denním světlem. [4]

Jednou z možností ochrany budovy před nežádoucím tepelným ziskem je clonění okenních otvorů, a to buď pevnými nebo pohyblivými clonami. Pevné clony mohou být tvořeny vodorovnými lamelami, rošty nebo prostorovými mřížovinami. Tento typ clon bývá bariérou nejen pro sluneční záření, ale i pro oblohové světlo, proto se mohou navrhovat jen pro prostory, které nejsou hlubší než 3 m. Větší využití proto mají clony pohyblivé, jako jsou markýzy, pohyblivé lamely a žaluzie. Příkladem clony, která může být jak pevná, tak pohyblivá, je slunolam, což je konzolovitá konstrukce s lamelami, které mohou být pevné nebo nastavitelné. [4]

Další variantou jsou okenní výplně se skly se sníženou propustností, které se dosáhne za pomoci protisluneční okenní fólie. Jedná se o fólie určené k aplikaci přímo na okenní tabule, zajišťující ochranu před přehříváním v interiéru v létě a nižší tepelné ztráty přes skleněné plochy v zimě. Fólie absorbuje část tepelné sluneční energie a část odrazí. Protisluneční fólie se dělí na interiérové a exteriérové, podle strany, z které se fólie lepí na okenní sklo. Interiérové fólie jsou určeny především na výlohy a ostatní jednoduchá skla. Exte-

riérové fólie jsou určeny především pro střešní okna, skleněné budovy, fasády obchodních domů a jiná obtížně přístupná místa. Poslední zmíněné fólie mají voděodpudivou vrstvu, díky které přispívají k čistějšímu vzhledu vnějšího povrchu oken. Jedním typem externí protisluneční okenní fólie je reflexní tónovaná fólie s efektem polopropustného zrcadla, která funguje na principu poměru světla. V čase denním zrcadlová fólie zaručí soukromí, zatímco večer, kdy se v interiéru svítí a venku je šero, reflexe fólie klesá, a soukromí je nutné zajistit jiným způsobem. [9], [10]



Obrázek 2.4: Protisluneční okenní fólie [10]

Kromě proti slunečních okenních fólií existují tzv. chytré protisluneční fólie. Tento typ fólií se dovede ztmavit. Na základě schopnosti ztmavení rozdělujeme chytré protisluneční fólie na pasivní, u kterých nelze libovolně nastavit míru ztmavení, a aktivní, kde se míra ztmavení nastavit dá. [11]

Pasivní protisluneční fólie mění své optické parametry na základě množství absorbovaného světla – fotochromické fólie, a na základě změny teploty okolního prostředí – termochromické fólie.

Jednou z aktivních protislunečních fólií je elektrochromická fólie, jejíž fungování je postaveno na fyzikálním jevu elektrochromizmu. Změnu optických vlastností vyvoláme průchodem elektrického proudu daným elektrochromickým materiálem. Když elektrický proud materiálem neprochází, tak je čirý a propouští maximum dopadajícího světelného záření. S postupným zvyšováním napětí mezi elektrodami, se zvyšuje ztmavení materiálu po určitou maximální úroveň. Další typy aktivních protislunečních fólií jsou PDLC fólie (Polymer Dispersed Liquid Crystal), což jsou vrstvy tekutých krystalů v polymerové matici umístěné mezi dvěma tenkými vrstvami složenými z oxidů india a cínu neboli tzv. ITO filmy. Na obou stranách fólie jsou měděné elektrody, po jejich připojení na střídavý zdroj elektrického napětí, mezi nimi vznikne orientované elektrické pole, které uspořádá molekuly tekutých krystalů ve směru pole, a tím se fólie stává plně transparentní. Po odpojení napětí zanikne elektrické pole a molekuly tekutých krystalů přejdou do neuspořádaného stavu, čímž se fólie opět stává neprůhlednou. A SPD fólie (Suspended Particle Devices), kde se ke změně optických vlastností využívají tzv. suspenze pevných částic. [11], [12]

Kapitola 3

Aktivní využití solární energie

Mezi alternativními zdroji energie mají aktivní solární systémy nezastupitelné místo nejen v oblastech s vysokou celoroční poměrnou dobou slunečního svitu, ale i v oblastech s menší intenzitou a poměrnou dobou slunečního záření, jako je právě Česká republika. Aktivní solární systémy mají výhodu oproti pasivním solárním systémům v tom, že mohou být téměř vždy instalovány již do stávající budovy. Jejich využití je univerzálnější, jsou méně závislé na chování uživatelů a dají se instalovat i na objektech, kde v zimě slunce velmi často dopadá pouze na střechu, např. hustá městská zástavba. Sluneční energie je za pomoci těchto systémů využita buď k ohřevu teplotnosného média (voda, vzduch) nebo k přeměně na energii elektrickou. [4], [13], [14]

3.1 Dostupnost solární energie

Solární energie je na Zemi dostupná všude, jsou však značné rozdíly mezi jednotlivými lokalitami. Rozhodujícími faktory jsou:

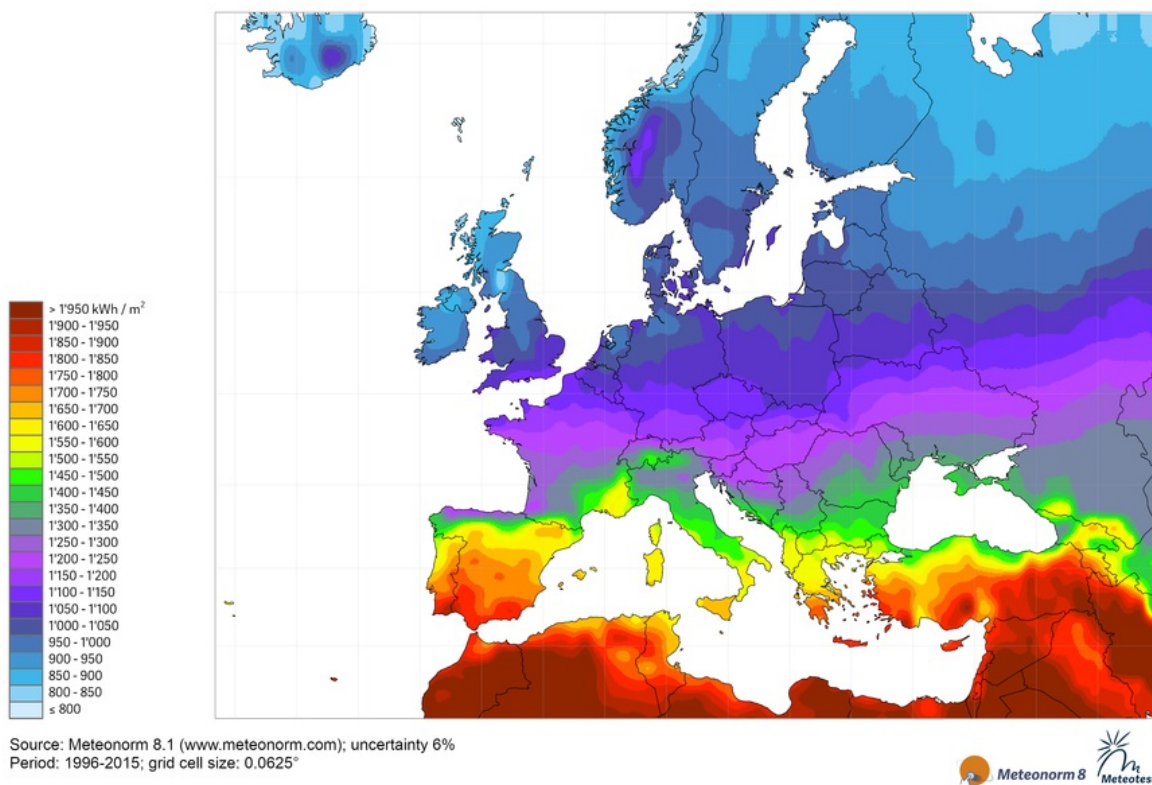
Zeměpisná šířka

Největší množství slunečního záření dopadá v oblasti rovníku a nejméně v oblastech pólů. Obrázek 3.1 zobrazuje mapu ročního úhrnu globálního horizontálního ozáření z aplikace Meteororm, soustředěnou na Evropu v období mezi rokem 1996 až 2015 s nepřesností 6%. [1]

Roční doba

V zimě je den kratší, slunce je na obloze nízko a výskyt oblačností je častější, což výrazně omezuje energetický zisk solárních zařízení. [1]

Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI)



Obrázek 3.1: Roční úhrn globálního horizontálního ozáření [15]

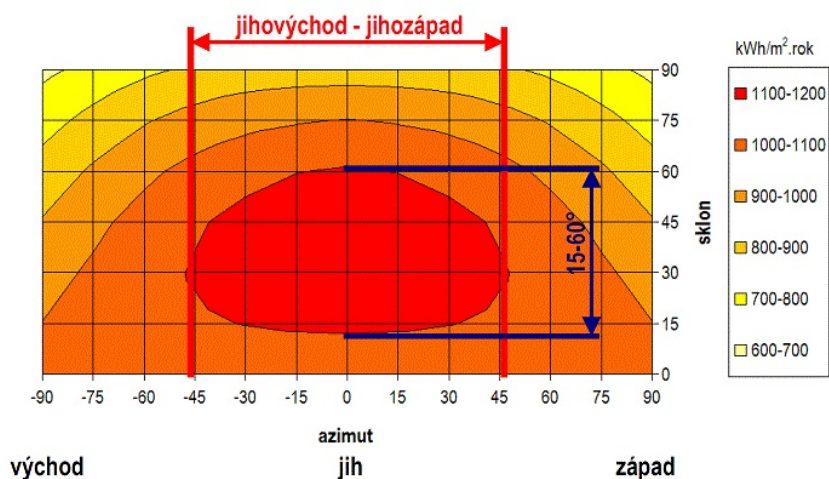
Místní klima

Zásadní vliv v tomto ohledu mají mraky, dále znečištění atmosféry a lokální vlivy jako je například mlha. Pro projekční výpočty jsou zapotřebí průměrné hodnoty slunečního ozáření a denní dávky sluneční energie v dané lokalitě, získané buď na základě dlouhodobých měření nebo odvozené teoretickým výpočtem v souladu s informací o průměrné oblačnosti či době trvání slunečního svitu. [1]

Sklon a orientace plochy solárního zařízení

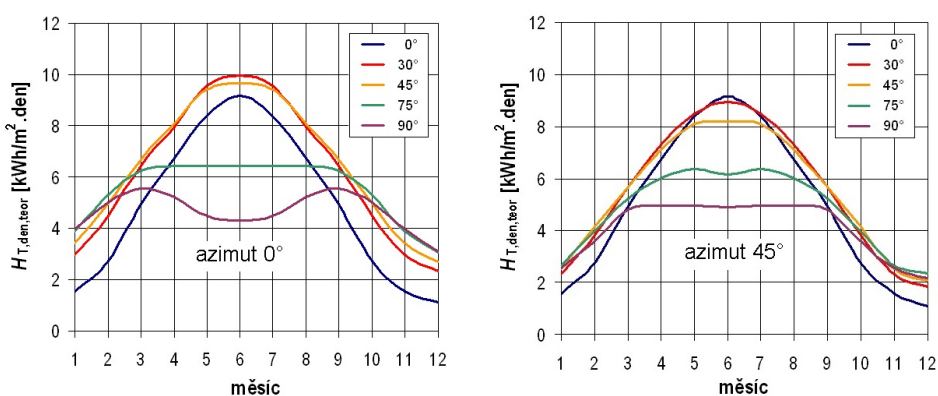
Maximální výkon ze slunečního záření se získá na ploše, která je kolmá k dopadajícím paprskům. V praxi se solární kolektory a fotovoltaické články osazují se sklonem přibližně 45° k jihu, což zajišťuje dobrý celoroční zisk, jak je patrné z obrázku 3.2. Aby se dosáhlo většího zisku v zimním období, dá se sklon změnit na 60 až 90°, naopak v letním období se pro vyšší zisk použije sklon 10 až 30°. Při odchylce azimutu plochy od jižního směru do 45° se roční úhrn dopadající energie nemění o více než 10%. Pro provoz solárních tepelných kolektorů je příznivější orientace na jihozápad, vzhledem k hlavní době provozu

za vyšších odpoledních teplot vzduchu, které způsobují menší tepelné ztráty kolektoru a vyšší účinnost celé soustavy. Avšak optimální sklon pro fotovoltaické kolektory a tepelná kolektory se mírně liší. Pro fotovoltaiku se prosazuje sklon 35° , zatímco pro solární tepelné soustavy se za optimální považuje 45° . [1]



Obrázek 3.2: Roční úhrny energie slunečního záření v závislosti na orientaci a sklonu plochy [1]

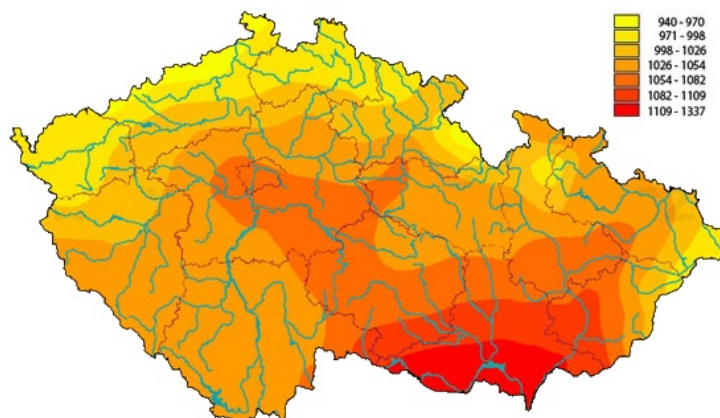
Z obrázku 3.3, který znázorňuje vliv sklonu plochy na průběh denní dávky slunečního záření v průběhu roku pro jasný den, je patrné, že zvýšením sklonu plochy dochází k výhodnější poloze s ohledem na úhel dopadu slunečního záření a k výraznému zvýšení úrovně slunečního ozáření plochy zvláště v zimním a přechodném období. [1]



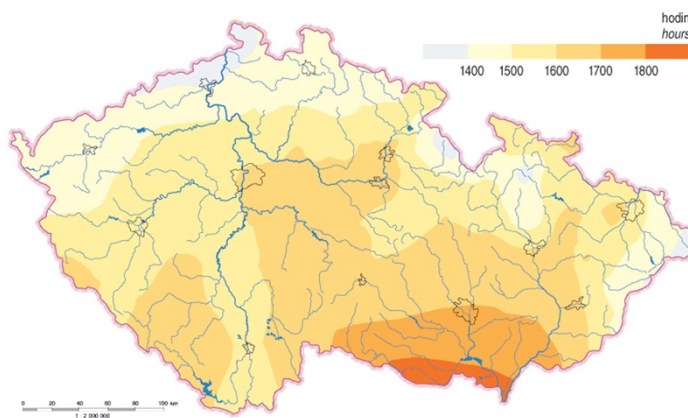
Obrázek 3.3: Vliv sklonu plochy na průběh denní dávky slunečního záření v průběhu roku pro jasný den [1]

V průměru se v České republice roční úhrny sluneční energie pohybují mezi 1 000 až 1 200 $kWh/m^2.rok$, tzn. 3 600 až 4 300 $MJ/m^2.rok$. Obdobné hodnoty lze uvažovat i pro plochy optimálně skloněné a orientované na jih. [1]

Na obrázcích 3.4 a 3.5 jsou znázorněny mapa průměrného ročního úhrnu globálního slunečního záření a mapa roční průměrné doby slunečního záření, z obou obrázků je patrný rozdíl mezi jižní částí Moravy a severní částí Čech. Tento rozdíl se od průměrné hodnoty pro celé území liší $\pm 10\%$. [1]



Obrázek 3.4: Průměrný roční úhrn globálního slunečního záření [kWh/m^2] [16]



Obrázek 3.5: Roční průměrná doba slunečního záření [h] [16]

3.2 Fotovoltaické panely

3.2.1 Fotovoltaický jev

Na rozhraní dvou materiálů příslušných fyzikálních vlastností, popsaných níže, na které dopadá světlo, vzniká elektrické napětí. A pokud se tato materiály nacházejí v obvodu, lze tak získávat elektrický proud. Tento jev už byl technologicky zvládnut do té míry, že je v současnosti masově využíván v průmyslovém zařízení označovaném jako fotovoltaické panely.

3.2.2 Fotovoltaická přeměna energie

Fotovoltaické panely umožňují přímou přeměnu slunečních paprsků na elektrický proud. Energie elektromagnetického záření se fotovoltaicky přeměňuje na energii elektrickou v polovodičových fotovoltaických (FTV) článcích. Nejběžnější FTV články jsou na bázi krystalického křemíku. Polovodiče jsou děleny podle typu nosiče náboje na vlastní (intrin-sické) a příměsové. Příměsové polovodiče mohou být typu N (podle anglického negative), což znamená, že majoritními nosiči náboje jsou elektrony, anebo typu P, kde majoritními nosiči náboje jsou tzv. díry, které se chovají jako částice s kladným nábojem. [17]

Energie volného elektronu, nepodléhajícího působení žádných sil, může nabývat libovolných hodnot. Energie v krystalu křemíku nabývá pouze určitých hodnot v důsledku pohybu v poli periodického potenciálu. Tyto hladiny energie jsou rozděleny do pásů nazývaných „pásky dovolených energií“ a ty jsou odděleny „pásky zakázaných energií“. Důležitou roli hrají pásy valenční, vodivostní a poslední zakázaný pás. [17]

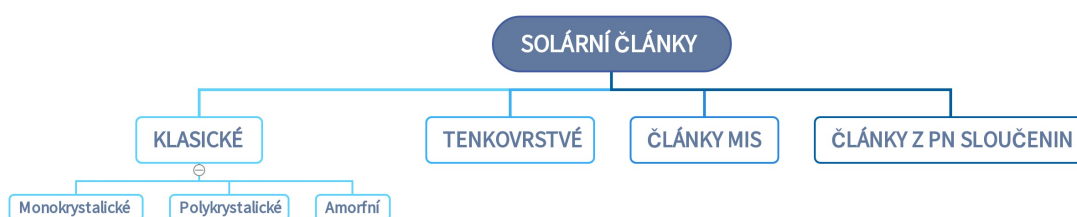
Dodáním energie tepelné (fonon) nebo světelné (foton) se některé elektrony uvolní od svého atomu, čímž přejdou v energetickém schématu do vodivostního pásu. Tím se stanou valenční a vodivostní pásy částečně obsazenými. A to se projeví v energetickém schématu tak, že tyto elektrony uvolní energetické hladiny ve valenčním pásu a obsadí ve vodivostním pásu hladiny s vyšší energií. Přemění se tak v elektrony, které mají možnost volného pohybu v krystalu a mohou tak zprostředkovat vedení elektrického proudu. U některých atomů křemíku tak dochází ke vzniku prázdných míst. Buď zde mohou opět uvíznout volné elektrony nebo sem mohou přeskakovat elektrony od sousedních atomů. V elektrickém poli se volné i přeskakující valenční elektrony posouvají proti směru intenzity elektrického pole, neboť mají záporný elektrický náboj. Prázdná místa se tedy posouvají v opačném směru, tedy ve směru pole. Prázdné místo neboli díra, jak se tato částice často označuje, se chová jako částice s kladným nábojem a jinou hmotností, než jakou má volný elektron. [17]

Ve vlastním (intrin-sickém) polovodiči musí být energie fotonu větší nebo rovna šířce

zakázaného pásu. Fotony s menší energií polovodičem procházejí a fotony s větší nebo rovnou energií generují páry elektron–díry a tak jsou pohlcovány. [17]

3.2.3 Solární články

Velkoplošný polovodičový konstrukční prvek, jinými slovy solární článek, je schopen přeměny světla přímo na elektrický proud. Jak již bylo výše zmíněno, každý takový článek se sestává z polovodičového materiálu, dále pak z kovových kontaktů a z tenké vrstvy materiálu, která slouží ke zlepšení optických vlastností. Solární články lze rozdělit následujícím způsobem: [18]

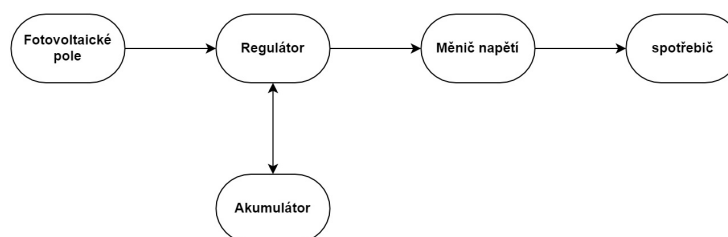


Obrázek 3.6: Rozdělení systému FTV [18]

3.2.4 Rozdělení solárních fotovoltaických soustav

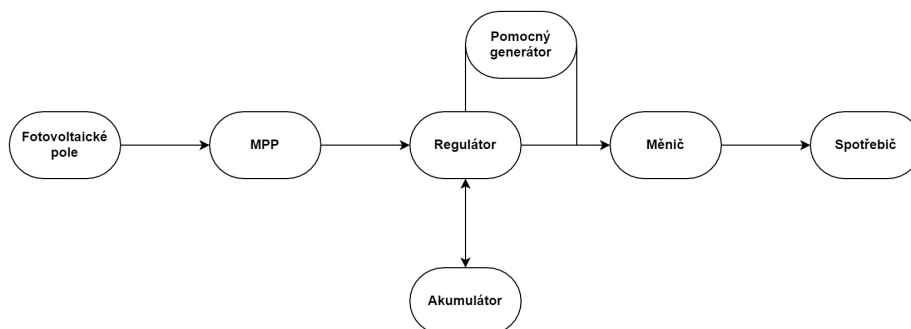
Fotovoltaické systémy představují spojení fotovoltaických prvků v řetězci, na jehož samém konci jsou spotřebiče, vykonaná práce apod. Fotovoltaické systémy rozdělujeme na tři základní aplikační typy: [18]

Autonomní systém obecně potřebuje akumulátory a využívá se v oblastech, kde není dostupná veřejná elektrická síť. Jedná se hlavně o menší aplikace pracující v jednotkách wattů. Používají se decentralizovaně a jsou určeny malým spotřebitelům. Obvykle se skládají ze solárního generátoru, jednotky řídicí nabíjení, baterie a měniče proudu na střídavý. [18]



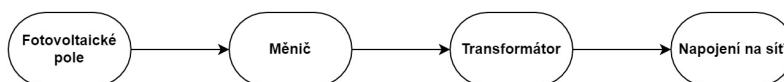
Obrázek 3.7: Autonomní systém [18]

Hybridní systém je systém obsahující fotovoltaické pole a jeden nebo několik pomocných generátorů, systém vyžaduje složitější regulátory a řídicí členy, které ideálně využívají vlastnosti všech zdrojů. Hybridní uspořádání je vhodný pro středně velké výkony – v oblasti kilowatt. Tento systém je také určen pro decentralizované zásobování energií, obsahuje dieselův generátor, který zapíná, při nedostatku energie dodávané solárním generátorem nebo energie nashromážděné v baterii. [18]



Obrázek 3.8: Hybridní systém [18]

Systém přímo spojený se sítí – spolugenerující systém nepotřebuje akumulátor. Měnič je navržen tak, aby pracoval v kompletním rozsahu napětí, které poskytuje fotovoltaické pole panelů. Jednoduchý systém tohoto druhu má pole a měnič na nízkém napětí. Vysokonapěťové systémy se používají transformátory. Tento systém může být využíván v oblasti MW. [18]

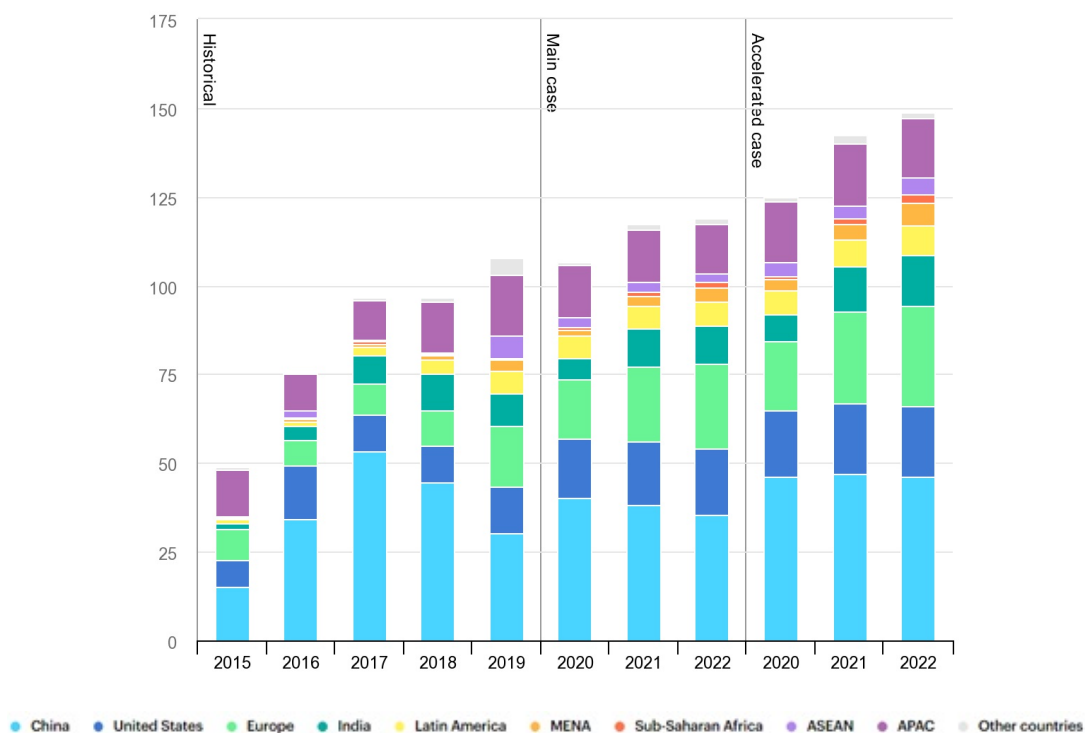


Obrázek 3.9: Systém přímo spojený se sítí [18]

3.2.5 Nové fotovoltaické technologie

Fotovoltaické panely jsou s poklesem jejich cen a poskytovaných dotací k jejich pořízení čím dál tím více populární, třeba v Německu již třetí rok v řadě vzrostl počet solárních systémů s akumulátory o cca 50%. Na konci roku 2020 tak mělo být v zemi těchto systémů přes čtvrt milionu. Přestože jsou konvenční solární články velice užitečné, vývojáři tohoto oboru stále vidí jejich nevyužitý potenciál a to proto, že jsou neprůhledné, což limituje jejich využití pouze na několik specifických aplikací, jako jsou střešní solární systémy

nebo velké solární farmy. Proto se hledají způsoby jak fotovoltaický článek „zprůhlednit“ a několik způsobů už se našlo. [19], [20]



Obrázek 3.10: Přírůstky čisté kapacity solárních FTV podle země a regionu, 2015–2022 [21]

Vision square

Jedná se o čtvercové fotovoltaické články zabudované do skla s malým rozestupem. Tyto moduly mohou být jednoduché nebo bifaciální. Použití bifaciálních solárních článků umožňuje získávání sluneční energie z obou stran zasklení, uplatňuje se efektivně při vertikální aplikaci. Zasklení Vision Square propouští pohodlnou úroveň světla skrz sklo a zároveň má stínící efekt modulům solárních článků. Stínění účinně snižuje přenos tepla. Moduly Vision Square jsou vyráběny na zakázku, proto umožňují přizpůsobení jakémukoliv projektu. [22]

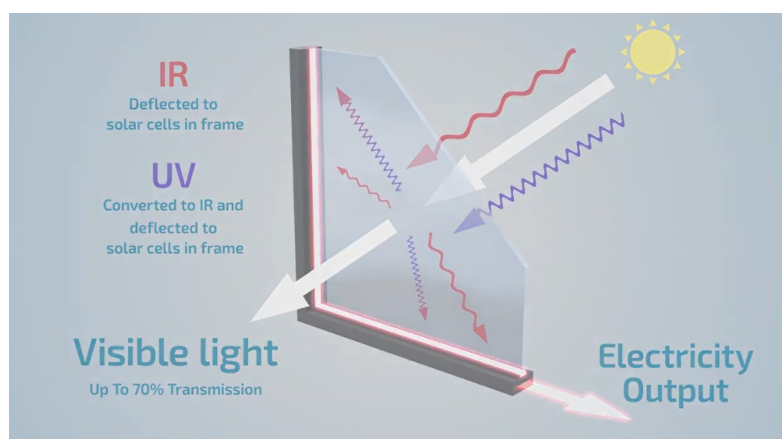
Mimo klasických skel se zabudovanými čtvercovými fotovoltaickými články (**Vision Square**) existuje také **Vision Stripe**. To jsou skla, ve kterých zabudované fotovoltaické články tvoří horizontální pruhy a poskytují lepší transparentnost a lepší estetické zpracování. Tento druh zasklení obvykle nalezne využití na střeších, jako žaluziová okna, skleněná zábradlí a přístřešky pro automobily. [23]



Obrázek 3.11: Vision square [22]

Solární sklo

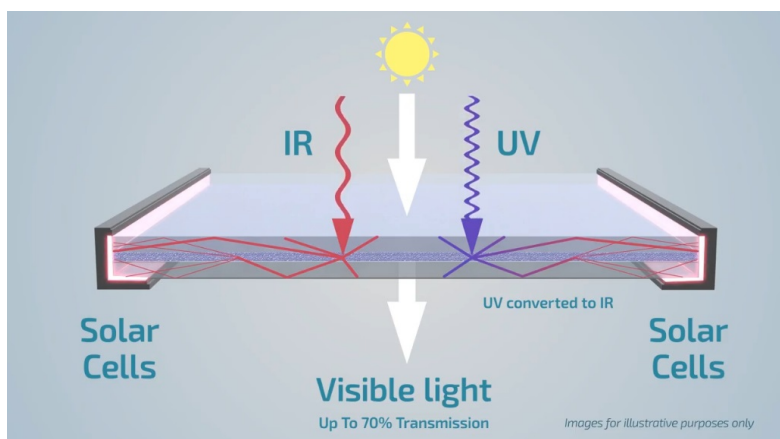
ClearVue: Australská společnost ClearVue v roce 2021 zahájila první pilotní projekt průhledných solárních panelů. Jednalo se o realizaci skleníku na západoaustralské univerzitě v Perthu, jehož zasklení využívá technologie transparentního solárního skla. Tato technologie slučuje dostatečnou průhlednost solárních článků a současnou výrobu čisté elektřiny. Tyto články mají, podle společnosti ClearVue, výkon minimálně 30 wattů na metr čtvereční se 70% průhledností. [19]



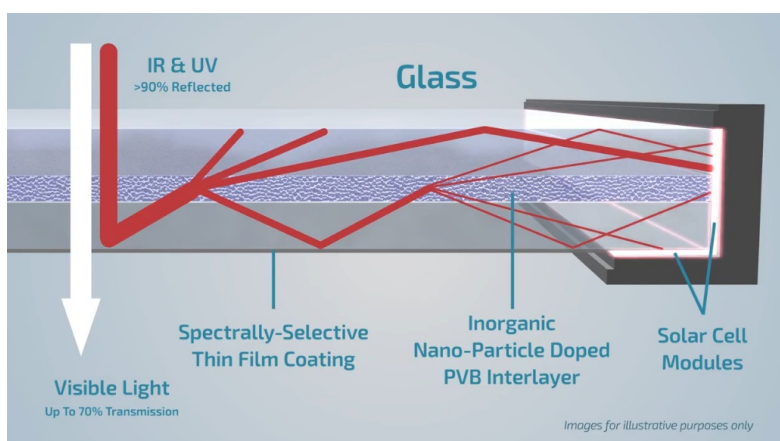
Obrázek 3.12: Technologie průhledného solárního panelu [24]

Principem této technologie je speciální mezivrstva dotovaná anorganickými nanočásticemi mezi dvěma skly, přičemž na skle blíže k interiéru je spektrálně selektivní tenký filmový povlak. Touto konstrukcí projde 70% viditelného světla, zatímco více jak 90% infračerveného a UV záření se odrazí od spektrálně selektivního povlaku na speciální mezivrstvu dotovanou anorganickými nanočásticemi, kde se UV záření převádí na infračervené záření a rozptyluje se směrem k rámu zasklení. Tento rám obsahuje moduly

solárních článků, které následně produkují elektřinu. [24]



Obrázek 3.13: Řez průhledným solárním panelem [24]



Obrázek 3.14: Detail průhledného solárního panelu [24]

Solární sklo má i lepší izolační vlastnosti oproti běžnému sklu. Blokuje UV záření, infračervené záření a tepelné záření, což může ušetřit až 40% nákladů na vytápění a chlazení. [24]

Solární skleník nebyl první realizací společnosti ClearVue. Prvenství v komerční instalaci aktivních skel měl australský obchodní dům Warwick Grove při jeho rekonstrukci. V rámci rekonstrukce bylo instalováno 26 solárních skel, ty by měly být schopny produkovat celkem až 1 megawatthodinu elektřiny za rok. [19]

„Naše technologie představuje změnu paradigmatu ve způsobu, jakým bude sklo používáno ve stavebnictví, automobilech, zemědělství a jiných speciálních produktech. Sklo již nebude jen součástí stavby, ale také obnovitelným zdrojem energie“ [24] popisuje na webu ClearVue filozofii společnosti její výkonný předseda Victor Rosenberg.

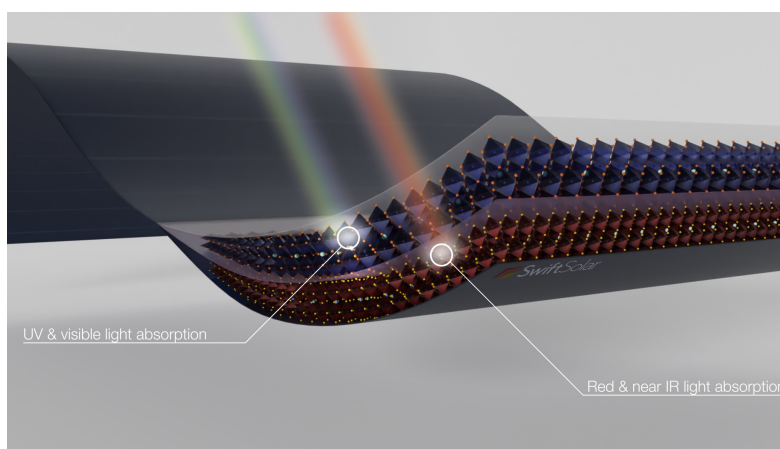
Solární skla byla, kromě světově prvního výzkumného skleníku, který byl dokončen a oficiálně otevřen 19. dubna 2021, aplikována i třeba např. na luxusní vile Jinmao, sousedící se zimní olympijskou vesnicí v Pekingu 2022 v Číně v provincii Hebei. [24]

Ubiquitous Energy: Podobný princip využívá technologická společnost ze Silicon Valley, Ubiquitous Energy, za níž stojí výzkumníci z prestižní MIT a Michiganské státní univerzity. Jejich solární články jsou zkonstruovány stejně jako články ClearVue tak, aby selektivně přenášely viditelné světlo a zároveň absorbovaly a přeměňovaly neviditelné ultrafialové a infračervené světlo na elektřinu. Ale namísto speciální mezivrstvy využívají funkční fólii, která může být umístěna na běžná okna. Transparentní solární povlak je vyroben z barviv absorbujících světlo, která pocházejí z netoxických materiálů hojných na Zemi, podobných pigmentům, které se nacházejí v tkaninách a barvách. Jejich patentovaná technologie rozšířila možnosti ve fotovoltaické technologii. Technologie Ubiquitous Energy™ je první skutečně transparentní solární technologií, která umožňuje oknům přeměnit okolní světlo na užitečnou elektřinu, aniž by to ovlivnilo estetiku nebo výkon. [19], [25]

Perovskit

Perovskit je materiál, který má stejnou krystalickou strukturu jako minerální oxid vápenatý a titaničitý. Pomocí jeho kompoziční flexibility mohou vědci navrhnout krystaly perovskitu tak, aby měly širokou škálu fyzikálních, optických a elektrických charakteristik. Krystaly perovskitu se dnes nacházejí v ultrazvukových strojích, paměťových čípech a nyní – solárních článcích. [26]

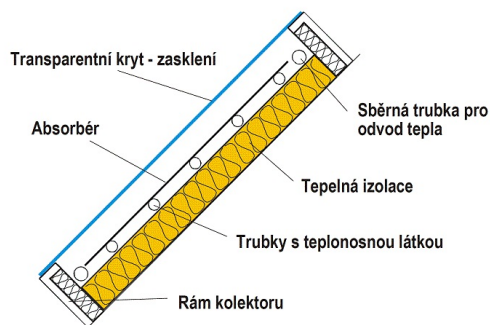
Společnost SwiftSolar pracuje na řešení perovskitových krystalů, které dokážou udělat fotovoltaický článek tak tenký, že by na napájení domu stačilo jen půl šálku jeho kapaliny. Solární panel tak lehký, že jej lze vyvážit na mýdlové bublině. [27]



Obrázek 3.15: Perovskit článek schéma [27]

3.3 Fototermické kolektory

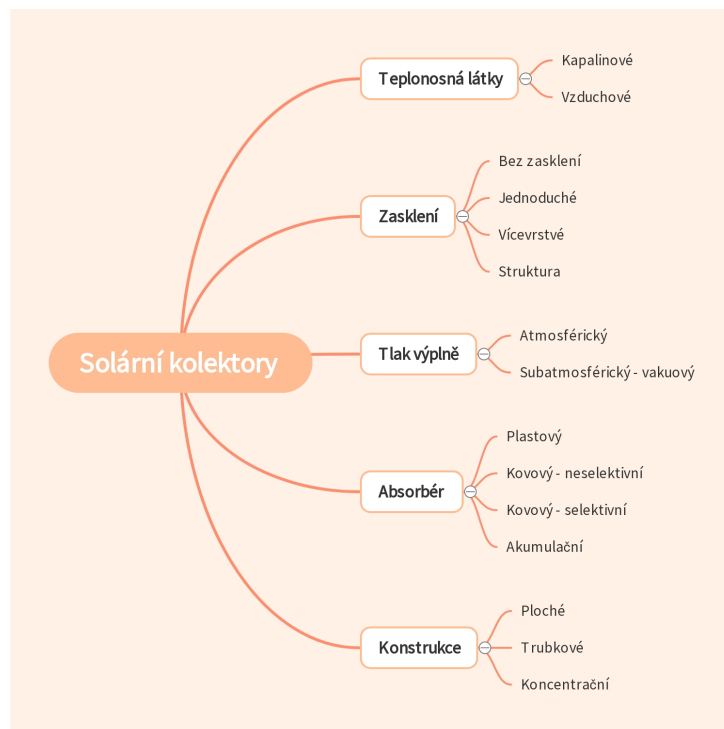
Funkcí tepelného solárního kolektoru je pohlcování slunečního záření a jeho přeměna na tepelnou energii, která je předána teplotonosné látce, protékající kolektorem. Fototermální přeměna – neboli přeměna energie slunečního záření v tepelnou energii – je jednou z jednodušších cest, jak využít sluneční záření. Principem fototermální přeměny je absorpce slunečního záření na povrchu tuhých látek a kapalin, kdy se energie dopadajících fotonů slunečního záření mění v teplo – pohyb molekul. Absorpční plocha je tedy základním prvkem kolektoru, ta se pohlcováním slunečního záření ohřívá a tepelná energie se z absorpčního povrchu transportuje teplotonosnými látkami, převážně kapalinami (voda, nemrznoucí směs), proudícími v kanákové struktuře spojené s absorpčním povrchem, nejčastěji v podobě trubkového registru. Pro snížení tepelných ztrát z absorberu se na přední – přijímající – straně kolektoru využívá zasklení propouštějící sluneční záření. Zasklení omezuje jednak tepelné ztráty sáláním, díky jeho nepropustnosti vůči dlouhovlnnému záření a zároveň vytváří před absorberem vzduchovou vrstvu, která vytváří tepelný odpor mezi absorberem a okolním prostředím. Ztrátám tepla na zadní a bočních stranách, nepřijímajících sluneční záření, se předchází instalací neprůhledné tepelné izolace uchycené v rámu (skříní) kolektoru. [1]



Obrázek 3.16: Schéma základních součástí solárního tepelného kolektoru [1]

3.3.1 Druhy solárních kolektorů a jejich využití

Solární kolektory lze rozdělit podle mnoha hledisek. Základním kritériem rozlišení je druh teplotonosné látky. V České republice se v naprosté většině setkáme s aplikací solárních kolektorů, ve kterých je teplotonosnou látkou kapalina (voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu). Vzduch jako teplotonosná látka v solárním kolektoru na území ČR je méně častý, přitom má určitý potenciál jako predehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění, buď teplovzdušné nebo sálavé (hypo-kaustické). [1]



Obrázek 3.17: Rozdělení solárních kolektorů [1]

3.3.2 Solární kapalinové kolektory

Ploché nekryté kolektory

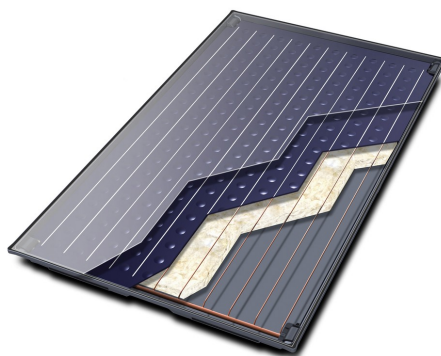
Absencí krytu se zlepšují optické vlastnosti kolektoru, protože odpadají ztráty odrazem na zasklení, nicméně kolektor vykazuje vysoké tepelné ztráty. Výkon a účinnost kolektoru je výrazně ovlivněna okolním prostředím (teplota okolí, teplota oblohy, rychlost větru). Vhodným využitím je proto sezónní nízkoteplotní ohřev vody pro bazény nebo předehřevu studené vody. Zpravidla jsou ve formě plastové rohože, což způsobuje nízkou odolnost vůči extrémním podmínkám a nízkou trvanlivost. Vyšší kvalitu mají absorptory vyrobené z kovového nerez s trvanlivými vysoce pohltivými povlaky. [1]

Ploché atmosférické kolektory

Nejrozšířenější solární kolektory pro běžné aplikace (příprava teplé vody, přitápění) sestávají jak z plochého zasklení, tak i z plochého absorptoru. Zaskleny jsou jednoduchým solárním sklem v čířém nebo texturovaném provedení. S dvojitým zasklením se setkáme okrajově především v aplikaci pro vyšší teplotní úrovně. Tepelně vodivý kovový absorptor může být celoplošný (tvořený jedním plechem) nebo dělený do lamel. Absorpční plocha je navařena (ultrazvukově, laserově) nebo naistalována na trubkovém registru, kterým je kapalinou odváděno využitelné teplo. [1]

- Ploché neselektivní kolektory – Zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně neselektivním povlakem (např. černý pohltivý nátěr). Využívá se jako levný kolektor pro sezónní přehřev vody při nízké teplotní úrovni. [1]
- Ploché selektivní kolektory – Zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povrchem absorbéru na bázi keramicko–kovových vrstev (cermet povrchy) nebo galvanických povrchů. Využití je určeno pro celoroční ohřev vody a vytápění. [1]

Ploché kolektory se uplatňují v oblasti integrace do obálky budov, kdy je část střešního pláště nebo fasády nahrazena kolektorem. Konstrukční integrace solárních kolektorů přináší nejen architektonicky přívětivější řešení, ale i vyšší účinnost kolektoru při kontaktní instalaci s izolační vrstvou obálky, možnost využití pasivních zisků, snížení tepelné ztráty pláštěm budovy a výrazné snížení period extrémních stagnačních podmínek v letním období. [1]



Obrázek 3.18: Řez deskovým kolektorem Logasol SKN 4.0 [28]

Ploché vakuové kolektory

Deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a tlakem uvnitř kolektoru nižším (absolutní tlak cca 1 až 10 kPa) než atmosférický tlak v okolí kolektoru. Zmíněný kolektor využívá sníženého tlaku v prostoru utěsněné skříně kolektoru k zajištění nízké tepelné ztráty kolektoru omezením volného proudění vzduchu mezi absorbérem a zasklením nebo zadní stěnou kolektoru. Kolektorová skříň tím pádem nepotřebuje izolaci, a tudíž ji neobsahuje. Nicméně nízký tlak nijak nevyřeší přenos tepla sáláním mezi zadní stranou absorbéru a povrchem vany kolektoru, aby byl dostatečně snížen, použije se nízkoemisivních povlaků na obou površích. [1]

Aby se předešlo popraskání skla působením vnějšího atmosférického přetlaku nebo nárazem předmětů, je sklo vyztuženo rastrově uspořádanými nerezovými podpůrnými

elementy. Ty jsou rozepřeny mezi zadní částí vany a zasklením. Absorbérem procházejí otvory bez toho, aniž by došlo k tepelnému kontaktu s ním, aby se vyloučily tepelné mosty. [1]

Kolektor je zhotoven ze samotěsnících částí, které se více svírají a utěsňují, pokud jsou vystaveny tlaku. Vana kolektoru je opatřena ventilem pro připojení vývěvy, pokud by bylo nutné vnitřní prostor znova vakuovat. Součástí instalace kolektoru je manometr pro indikaci ztráty vakua a nárůstu tlaku v kolektoru. Zbytkový vzduch může být nahrazen vzácným plynem kryptonem (argonem) s nižší tepelnou vodivostí. [1]

Plochý vakuový kolektor je určený pro celoroční ohřev vody a vytápění, případně průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100°C. [1]

Trubkové vakuové kolektory

Kolektor s plochým nebo válcovým selektivním absorbérem umístěným ve vakuované (absolutní tlak < 1 mPa) skleněné trubce, s předáváním tepla do teplonosné látky buď přímo protékáním registrem nebo tepelnou trubicí. [1]

Jsou to kolektory s válcovým zasklením, u kterých je prostor mezi absorbérem a zasklením vakuován na extrémně nízký tlak pod 1 mPa. Vysoké vakuum s téměř dokonalou absencí molekul plynů minimalizuje přenos tepla vedením a konvekcí ve vakuovém prostoru a přenos tepla mezi absorbérem a zasklením způsobovaným především sáláním. Pro vyloučení výskytu zbytkových plynů ve vakuovaném prostoru trubky se používá tzv. getry využívající barium, které pohlcuje molekuly plynu. Pokud se obálka vakuované trubky poruší a do vnitřního prostoru se dostane větší množství vzduchu, tak se při reakci s plynem změní barva getrové usazeniny (zhnědne, zbledá, zprůhlední apod.) a tím může provozovatel kolektoru indikovat porušení vakua. Další indikací porušení vnitřního vakua trubky je vysoká teplota jejího povrchu během slunného dne. Trubky mají za normálních okolností povrchovou teplotu zhruba na úrovni teploty okolí, zatímco při porušení vnitřního vakua mají trubky povrchovou teplotu významně vyšší. [1]

Nízká tepelná ztráta může v některých případech figurovat jako spíše negativní vlastnost. Pokud kolektor namrzne nebo zapadne sněhem je v podstatě mimo provoz i přes slunné počasí. A v důsledku nízké tepelné ztráty nelze efektivně urychlit odtávání sněhové pokrývky, např. řízeným vpuštěním dostatečně teplé kapaliny do kolektorů, a je nutné vyčkat na postupné odtávání působením slunečního záření přímo na sníh nebo námrazu.

Trubkový vakuový kolektor je určený pro kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace, kde jsou provozní teploty vyšší než 100°C. [1]

Trubkové vakuové kolektory můžeme rozdělit podle konstrukčního provedení na:

- Trubkové kolektory s jednotěnnou trubkou a plochým absorbérem – starší tradiční typ, původně vyráběný v Evropě a USA. Jsou to kolektory vysoké technické úrovně a kvality, oproti ostatním druhům kolektorů mají vysokou účinnost v celém provozním rozsahu, nicméně pro většinu aplikací představují investičně velmi náročné řešení, které omezuje jejich širší použití. [1]
- Trubkové kolektory s dvojitěnnou trubkou a válcovým absorbérem (Sydney) – v současnosti převážně vyráběný v Číně. Tento typ kolektorů vykazuje oproti ostatním typům kolektorů dostupných na trhu velkou variabilitu kvality z hlediska účinnosti a trvanlivosti. Tato kvalita není patrná na první pohled, proto ji mohou posoudit jen výkonné a spolehlivé zkoušky podle příslušné normy provedené akreditovanou zkušebnou. [1]

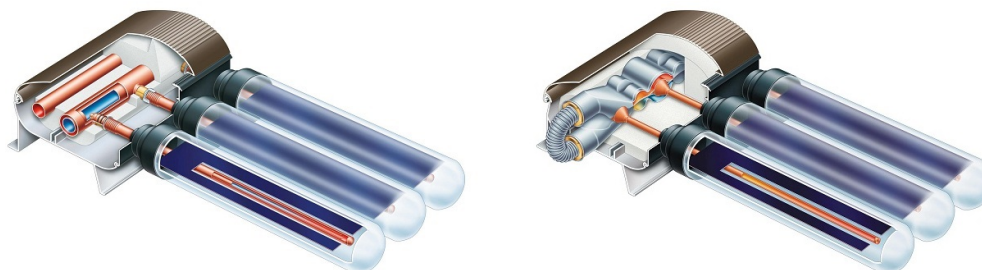
Dalším poddruhem podle konstrukčního uspořádání obou výše uvedených typů trubkových kolektorů jsou:

- Přímo protékané: Absorbér je vodivě spojen s potrubím přímo protékaným teplosnosnou kapalinou
 - Koncentrické potrubí: Systém „trubka v trubce“ – vnitřní trubkou se přivádí teplosnosná kapalina, ve vnějším prostoru se ohřívá a odvádí
 - Potrubí ve tvaru U–registru – přívodní a vratná trubka
- S tepelnou trubicí – absorbér je vodivě spojen s výparníkem, kde se vypařuje pracovní látka
 - Suché napojení – kondenzátor uchycený v pouzdru omývaném teplosnosnou kapalinou
 - Mokrý napojení – kondenzátor přímo omývaný teplosnosnou kapalinou [1]

Pro transport tepla mezi povrchem absorbéru a teplosnosnou kapalinou využívá řada trubkových vakuových kolektorů tzv. tepelných trubice. Princip tepelné trubice je následující:

„Pracovní látka se přívodem tepla vypařuje ve výparníkové části vodivě spojené s absorbérem, pára samovolně stoupá trubicí do kondenzační části, kde se sráží na kapalné skupenství a kapalina stéká zpět do výparníkové části. Změnou skupenství se dosahuje intenzivního přestupu tepla uvnitř tepelné trubice.“ [1]

Tepelné trubice bezproblémově řeší možné problémy s přehříváním teplotnosné kapaliny solární soustavy při stagnaci. To platí v případě vhodné volby pracovní látky a jejího správného množství, aby při dosažení kritické teploty byla v tepelné trubici pouze přehřátá pára, která při daném tlaku nekondenzuje. [1]



Obrázek 3.19: Praktické provedení jednostěnných vakuových kolektorů: s přímo protékavým koncentrickým potrubím (vlevo) a s tepelnou trubicí (vpravo) [1]

3.3.3 Typologie solárních soustav a jejich využití

Aktivně využít solární energii za pomoci solárních kolektorů lze pomocí následujících typů solárních soustav, rozdělených podle typu aplikace:

- Předehřev nebo příprava teplé vody
- Příprava teplé vody a vytápění
- Ohřev bazénové vody
- Soustavy centralizovaného zásobování teplem
- Solární chlazení (klimatizace)
- Průmyslové aplikace

Uvedené aplikace solárních soustav lze dále rozlišit podle velikosti kolektorové plochy:

- Malé solární soustavy (maloplošné) – do 20 m^2
- Střední solární soustavy (středněplošné) – od 20 m^2 do 200 m^2
- Velké solární soustavy (velkoplošné) – nad 200 m^2 [1], [29]

Maloplošné a některé středně plošné soustavy vzhledem ke svému výkonu zpravidla ještě nepotřebují externí deskový výměník tepla a k přenesení výkonu kolektorového pole postačuje trubkový výměník uvnitř zásobníku. [1], [29]

Dále dělíme návrhy solární soustavy podle měrného průtoku teplotosné kapaliny kolektoru:

- High-flow soustavy – s vysokým průtokem, 50 – 75 l/(h.m²)
- Low-flow soustavy – s nízkým průtokem, 10 – 15 l/(h.m²)
- Matched-flow soustavy – s proměnlivým průtokem

High-flow soustavy

High-flow soustavy jsou běžné většinou u maloplošných soustav pro rodinné domy. Vlivem vysokého průtoku kolektorem dochází k ohřátí teplotosné kapaliny o 6 až 10 K. [1]

Low-flow soustavy

Low-flow soustavy se navrhují hlavně pro velkoplošné soustavy, dosáhne se tak úspor nákladů na potrubí a izolace. Navrhují se také v kombinaci se stratifikačními zásobníky. Při nízkém průtoku dochází k ohřátí teplotosné kapaliny v kolektorech o zhruba 30 až 50 K a využitelná teplota pro aplikaci je k dispozici již při jediném průchodu kapaliny kolektorem. [1]

Matched-flow soustavy

Tyto soustavy se používají v kombinaci s pokročilou regulační strategií, která optimalizuje průtok solárními kolektory pro dosažení vyšší využitelnosti solárního tepla. Regulační strategie s proměnným průtokem je dnes již součástí i regulátorů maloplošných solárních soustav se dvěma solárními výměníky (horní a dolní). Otáčky oběhového čerpadla jsou řízeny tak, aby se dosáhlo dostatečně využitelné teploty na výstupu z kolektoru („low-flow“ režim), např. 60°C. Touto teplotou je nabíjena horní část zásobníku tepla. Pokud soustava nedosahuje využitelné teploty, přechází soustava do „high-flow“ režimu a teplo je ukládáno do spodní části zásobníku. [1]

3.3.4 Využití ve světě

V Číně je město s 2,5 milióny fototermickými solárními systémy pro ohřev teplé vody. Radnice tohoto města přijala vyhlášku, která nařizuje komukoli, kdo staví nový obytný objekt s méně jak 12 patry, instalaci solárního systému pro ohřev vody, pokud není nějaký

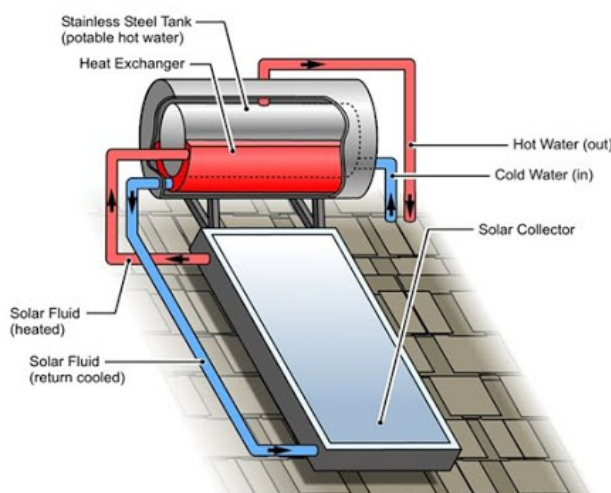
pádný důvod tak neučinit. Toto město se nazývá Kunming, je to hlavní město jihozápadní provincie Číny – Yunnan. Na druhé straně světa ve slunné Kalifornii využívají solární kolektory k ohřevu bazénové vody. V roce 2019 90% izraelských domácností využívalo teplou vodu připravenou pomocí solárních kolektorů. [30]

Využití solární energie v Izraeli sahá až do počátku 50. let 20. století, kdy byly zavedeny solární ohříváče vody ve snaze řešit nedostatek energie. Tento počin se osvědčil a dnes má 90% izraelských domácností solární ohříváče vody. [31]



Obrázek 3.20: Solární kolektory na střechách v Tel Avivu [31]

V Kolumbii nebo např. ve městě Wasso v Tanzánii využívají nejjednodušší solární systém pro ohřev teplé vody. Tento typ systému se využívá hlavně v zemích v oblasti od rovníku po 20. rovnoběžku. Tento systém se nazývá termosifon, jinými slovy pasivní výměna tepla, je to systém využívající přirozené cirkulace vody s rozdílnou teplotou, kdy teplá voda stoupá směrem vzhůru a studená klesá dolů. Celý princip spočívá v umístění zásobníku teplé vody nad solární kolektor a tím pádem není zapotřebí čerpadlo, které by vodu pohánělo. Zásobník může být napojen i na jiné zdroje tepla, pokud se nachází v oblastech, kde není převážně slunečno. [30]



Obrázek 3.21: Termosifon [32]

3.3.5 Navrhování solárních kolektorů

Je několik parametrů, kterými můžeme vyjádřit energetické charakteristiky solárních soustav a efektivitu jejich provozu. Jsou to skutečně využitá tepelná zisk solární soustavy a vlastní spotřeba tepla v aplikaci, kterou má solární soustava pokrýt. Parametry slouží jako podklad k energetickému (úspora energie), ekologickému (úspora emisí) a ekonomickému (návrstnost) vyhodnocení solárních soustav. [1], [29]

Účinnost kolektoru

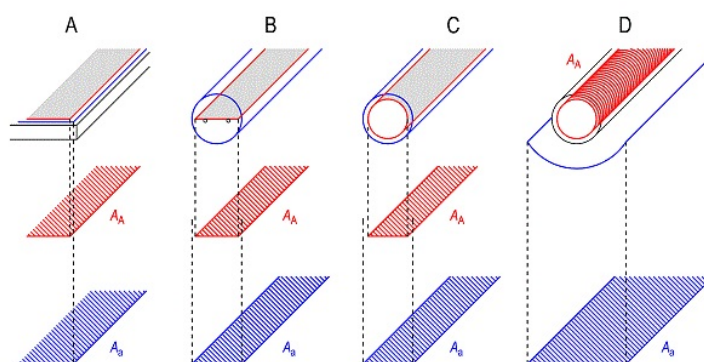
Výkon a účinnost solárního kolektoru je dána jeho optickými a tepelnými charakteristikami. Sluneční kolektor přijímá sluneční záření, které je částečně odraženo od zasklení a absorbéro a zbytek se pohlcuje na povrchu absorbéro a mění se v teplo. Část tepla z pohlceného záření se odvádí teplonosnou kapalinou, část odchází zpět do okolního prostředí ve formě tepelných ztrát a část tepla se akumuluje v těle kolektoru. [1], [29]

Účinnost solárního kolektoru je poměr mezi tepelným výkonem odvedeným ze solárního kolektoru a slunečním ozářením G dopadlým na vztaženou plochu kolektoru A_k . [1]

$$\eta = \frac{Q_k}{G * A_k} \quad (3.1)$$

Vztažnou plochou solárního kolektoru může být:

- Plocha absorbéru A_A – plocha na které dochází k přeměně slunečního záření v teplo
- Plocha apertury A_a – plocha průmětu otvoru (zasklení), kterým vstupuje do kolektoru nesoustředěné záření
- Celková obrysová (hrubá) plocha A_G – plocha průmětu celkového obrysu solárního kolektoru [1], [29]



Obrázek 3.22: Definice plochy apertury a absorbéru solárních kolektorů [29]

A – plochý; B – Trubkový s plochým absorbérem; C – Trubkový s válcovým absorbérem; D – trubkový s válcovým absorbérem a reflektorem

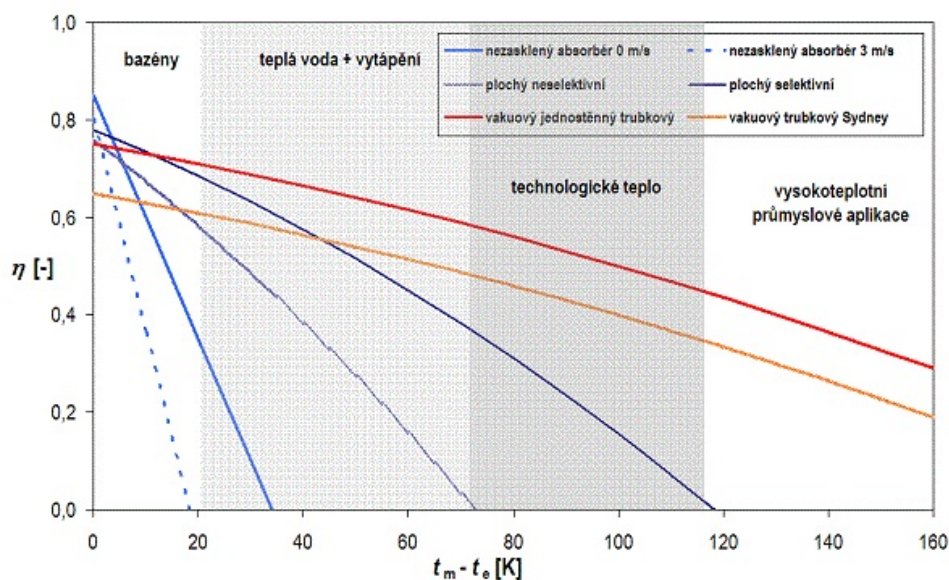
Plocha absorbéru je zpravidla menší než plocha apertury, proto leží v grafickém porovnání křivka účinnosti vztažená k absorbéru vždy výše než křivka účinnosti vztažená k apertuře, a nejnižší leží křivka účinnosti vztažená k obrysové ploše kolektoru. Dodavatelé solárních kolektorů proto uvádějí z marketingových důvodů především křivku účinnosti vztaženou k ploše absorbéru. Evropské normy a certifikační systémy používají jako vztažnou plochu pro solární kolektory plochu apertury, což je vhodné pro porovnání vlastností dvou kolektorů různé konstrukce a kvality provedení, nicméně nevhodné pro rozhodování o potenciálu kolektoru pro danou aplikaci či pro porovnání kolektorů s různými účinnými plochami. Při analýze potenciálu využití sluneční energie na konkrétním místě instalace by mělo investora zajímat hodnocení účinnosti kolektoru vztažené k obrysové ploše kolektoru A_G , tedy k opravdové ploše, kterou kolektor zaujímá v prostoru. Zvláště trubkové kolektory bez reflektoru vykazují významný podíl neúčinné plochy na celkové ploše zastavěné kolektorem (zhruba 40%), zvláště v porovnání s plochými kolektory (cca 10%).

Účinnost kolektoru se vyjadřuje křivkou stanovenou zkouškou tepelného výkonu v souladu s EN 12975–2 [29]

$$\eta = \eta_0 - a_1 * \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 * \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (3.2)$$

- η_0 Optická účinnost kolektoru – účinnost kolektoru při nulovém teplotním rozdílu mezi kapalinou a okolím, tedy při maximálním omezení teplotních ztrát. Vyjadřuje optickou kvalitu (propustnost zasklení, pohltivost absorberu) a zároveň schopnost kolektoru odvést teplo z povrchu absorberu do teplotnosné kapaliny.
- t_m Teplota kapaliny v kolektoru
- t_e Teplota okolního vzduchu
- G Sluneční ozáření
- a_1, a_2 Tepelné ztráty kolektoru

Obrázek 3.23 znázorňuje typické křivky účinnosti různých konstrukcí solárních kolektorů a v tabulce 3.1 jsou vyjádřeny typické hodnoty křivky účinnosti nejběžnějších druhů solárních kolektorů.



Obrázek 3.23: Křivky účinnosti nejběžnějších typů solárních kolektorů [1]

Typ kolektoru	η_0 [-]	a_1 [W/m ² K]	a_2 [W/m ² K]
Nezasklený	0,85	20	–
Plochý neselektivní	0,75	6,5	0,030
Plochý selektivní	0,78	4,2	0,015
Trubkový vakuovaný jednostěnný	0,75	1,5	0,008
Trubkový vakuovaný dvojstěnný (Sydney)	0,65	1,5	0,005

Tabulka 3.1: Typické hodnoty křivky účinnosti nejběžnějších druhů solárních kolektorů [1]

Navrhování plochy solárních kolektorů

Plocha kolektorového pole se stanoví z parametrů solárního kolektoru (křivka účinnosti kolektoru, případně modifikátoru), klimatických podmínek, bilance tepelných ztrát solární soustavy (rozvody, zásobník) a potřeby tepla, která má být solárními zisky kryta na základě zvolených rozhodovacích kritérií a podmínek. [29]

Ekonomické řešení

Docílení vysokých měrných zisků solární soustavy. Soustava je navržena na nízké pokrytí potřeby tepla zpravidla 10 až 40% pro solární přípravu teplé vody a do 10% pro solární vytápění. Tím se dosáhne vysokého využití zisků zpravidla bez větší stagnace v letním období, vysoké účinnosti vlivem nízké provozní teploty soustavy, a to vede k výhodným ekonomickým parametrům soustavy – nízká cena solárního tepla. [29]

Ekologické řešení

Docílení vysokých celkových zisků. Soustava je navržena na vysoké solární pokrytí potřeby tepla, zpravidla vyšší než 50% pro solární přípravu teplé vody a více než 15% pro solární vytápění. Snahou je maximální nahrazení primárních paliv a úspora emisí. Toto řešení současně vede k předimenzování solární soustavy s vysokými přebytky tepla v letním období. Tento způsob návrhu se používá především u rodinných domů. [29]

Není dáno, který z krajních výše zmíněných konceptů návrhu je lepší, zda ekonomický či ekologický. Záleží vždy na požadavku investora a za správně navrženou soustavu je možné považovat takovou, která daný požadavek splňuje. [29]

U bytových domů se zpravidla navrhuje plocha kolektorů na nižší solární pokrytí za účelem dosažení vysokých měrných zisků a nízké ceny tepla, případně na pokrytí potřeby tepla dané omezujícími podmínkami budovy (maximální velikost střechy, možný sklon kolektorů, architektonické souvislosti). Měrné zisky solární soustavy by neměly být nižší

než $350 \text{ kWh/m}^2.\text{rok}$, což je hodnota uznávaná jako dolní mez např. v různých německých, rakouských nebo francouzských dotačních programech pro solární přípravu teplé vody. [29]

Orientační návrh plochy solárních kolektorů (jižní orientace, sklon 45°) pro přípravu teplé vody je možné určit pomocí tabulky 3.2, obsahující hodnoty vztahované na obyvatele domu. [29]

f	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
$A_k \text{ [m}^2/\text{os]}$	0,10 – 0,15	0,25 – 0,30	0,40 – 0,60	0,60 – 0,90	0,90 – 1,30
$Q_{ss,u} \text{ [kWh/m}^2.\text{rok]}$	470 – 600	400 – 550	350 – 490	300 – 430	260 – 350

Tabulka 3.2: Orientační hodnoty plochy solárních kolektorů pro přípravu teplé vody v bytovém domě pro různé stupně solárního pokrytí [29]

Dalším stupněm návrhu je nezbytné orientační stanovení plochy ověřit a optimalizovat simulačními výpočty solární soustavy. [29]

Koncepce primárního okruhu

Primární okruh může mít konstrukci:

- Uzavřenou
- Vyprazdňovací (drain-back)

Podle toho rozlišujeme dva druhy solární kapalinové soustavy:

Uzavřené solární soustavy tvoří naprostou většinu solárních soustav v ČR. Pro celoroční provoz vyžadují nemrznoucí kapalinu v primárním okruhu – ochrana před zamrznutím. Dále je zapotřebí:

- Expanzní nádoba – zabezpečovací zařízení kompenzující roztažnost teplotně kapalin. V době, kdy solární kolektory nedodávají teplo do aplikace a neběží oběhové čerpadlo (stagnace), se v kolektoru zvyšuje teplota, kapalina se roztahuje a zvětšený objem postupně pohlcuje expanzní nádoba. V případě, že teplotní podmínky v kolektoru při daném tlaku přestoupí teplotu varu kapaliny, kapalina se vypařuje a zbylá část teplotně nosné látky je vytlačována z kolektorů do expanzní nádoby.
- Pojistný ventil – ochrana proti nedovolenému tlaku. Pojistný ventil by v době stagnace neměl zareagovat, jde o provozně běžný stav, kdy přísun tepla ze slunečního záření překročí odběr. [1]

Stagnace má však vliv na stárnutí teplotně nosné kapaliny, u často stagnujících – předimenzovaných – solárních soustav je nutné měnit teplotně nosnou kapalinu v kratších intervalech podle stupně jejich degradace (řádově roky). [1]

Soustavy s vyprazdňováním pracují jako otevřené soustavy. V době mimo provoz jsou kolektory a potrubí primárního okruhu bez teplonosné kapaliny a jsou vyplněny vzduchem. V případě ohřátí kolektorů na dostatečně využitelnou teplotu se zapne oběhové čerpadlo a vytlačuje vodu do kolektoru (nutný vysoký tlak oběhového čerpadla úměrný rozdílu výšek v solární soustavě). Po zaplnění primárního okruhu se čerpadlo přepne na nižší otáčky a hradí pouze tlakové ztráty okruhu. Pokud klesne rozdíl teplot mezi kolektory a zásobníkem pod nastavenou hodnotu, tak se čerpadlo vypne a kapalina steče do sběrné nádrže. Výhodou je, že díky absenci teplonosné látky v době mimo provoz (stagnace), odpadají problémy s možnou tvorbou páry v kolektorech, protože solární kolektory přijímají sluneční záření, ale oběhové čerpadlo je vypnuto z důvodu splnění poptávky po teple (zásobník na max. teplotě) nebo z důvodu výpadku el. energie. Tento typ soustavy vyžaduje vhodné vyspádování primárního okruhu, a především kolektorového pole, pro dokonalé vyprázdnění kolektorů a trubek. [1]

Solární zásobníky

Zásobník tepla hraje významnou roli v solární technice, dalo by se říct že to je centrální prvek solární soustavy. [1], [29]

„Z praxe vyplývá poznatek, že solární soustava se sebelepším solárním kolektorem v kombinaci s nevhodně navrženým zásobníkem bude vykazovat nízké celkové zisky a neu- možní vysoké pokrytí potřeby tepla.“ [1]

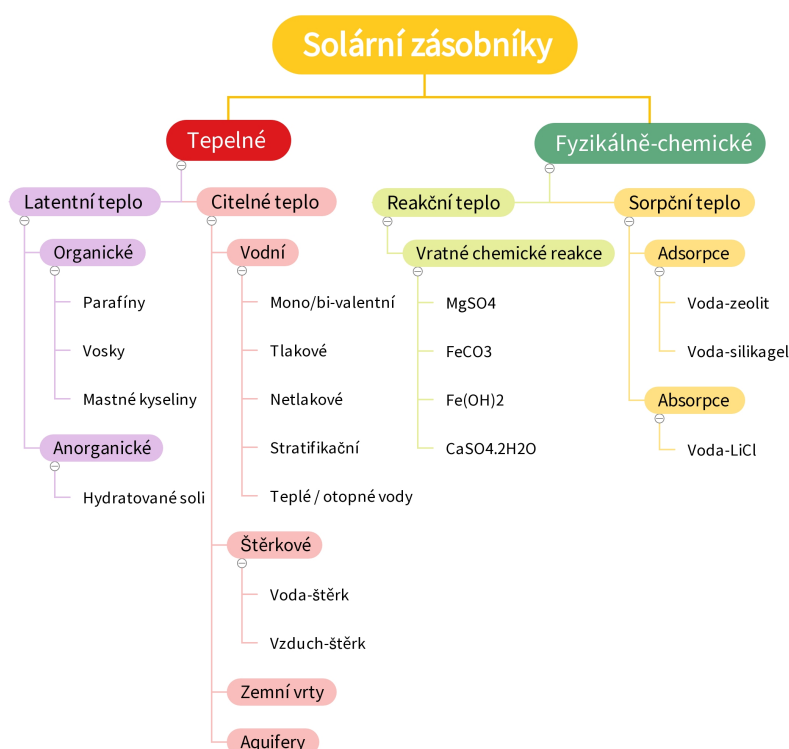
Teplu (tepelnou energii) je možné akumulovat různými způsoby, následující čtyři základní principy akumulace rozlišujeme podle druhu akumulární látky a využití fyzikálních dějů:

Akumulace s využitím citelného tepla – využívá se tepelné kapacity látek v daném rozsahu teplot, akumulovaná energie závisí přímo úměrně na rozdílu mezi počáteční a konečnou teplotou zásobníku, hustota akumulace se pohybuje mezi 100 až 300 MJ/m^3 [1]

Akumulace s využitím skupenského tepla – využívá se skupenského (latentního) tepla tání–tuhnutí a tepelné kapacity látky citelného tepla (citelné teplo látky v pevném a kapalném stavu), hustota akumulace se pohybuje mezi 200 až 500 MJ/m^3 [1]

Akumulace s využitím sorpčního tepla – využívá akumulace vodní páry vázáním na povrchu tuhé látky (adsorpce) nebo v kapalně látce (absorpce), teplo se ze zásobníku uvolňuje při sorpci, tepelná energie se dodává pro regeneraci sorpčního zásobníku (uvolnění vodní páry), hustota akumulace se může pohybovat mezi 500 až 1 000 MJ/m^3 [1]

Akumulace s využitím chemických reakcí – využívá se vratných chemických reakcí vhodných látek, které jsou doprovázeny jímáním/uvolňováním tepla, předpokládaná hustota akumulace až 3 000 MJ/m^3 [1]



Obrázek 3.24: Rozdělení solárních zásobníků tepla podle principu akumulace tepla [1]

Podle časových požadavků na akumulaci je možné zásobníky rozdělit na:

Krátkodobé zásobníky – denní či vícedenní zásobníky, využívané především pro akumulaci tepla ze dne do noci, případně ze dne na den. [1]

Dlouhodobé zásobníky – zásobníky tepla, které dlouhodobě (řádově měsíce) uchovávají solární zisky pro využití v jiném ročním období. [1]

Vodní solární zásobníky

Nejběžnější a nepoužívanější zásobníky tepla pro solární kapalinové soustavy jsou vodní zásobníky, a to díky výhodným vlastnostem vody, jako je např.: dostupnost, nízká pořizovací hodnota, netoxičnost, nehořlavost, výhodné přenosové vlastnosti a vysoká tepelná kapacita. Naopak jejími nevýhodami jsou: omezený rozsah teplot použití – pod 0°C tuhne a mění objem, nad 100°C se vypařuje s výraznou změnou objemu, relativně malé povrchové napětí podporující úniky netěsnostmi a korozivita. [1]

Vodní zásobníky tepla lze rozlišovat podle počtu teplosměnných ploch (výměníků tepla), tlakových poměrů či účelu použití. [1]

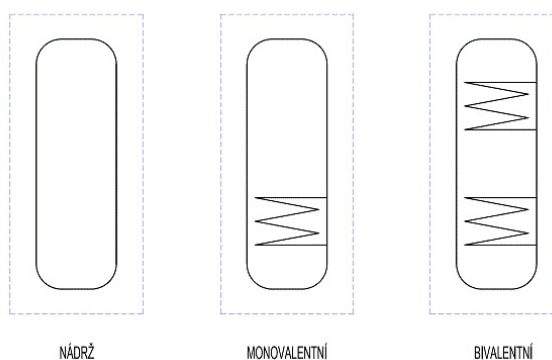
Podle teplosměnných ploch:

Bez teplosměnné plochy – akumulční nádrže – užití především u velkoplošných solárních soustav, kde výkon solárních kolektorů je do zásobníků přenesen pomocí vnějšího výměníku tepla. [1]

S jednou teplosměnnou plochou – monovalentní zásobníky – jsou čistě jen solární zásobníky, kde se předává teplo ze solárního okruhu pouze jednou teplosměnnou plochou umístěnou uvnitř zásobníku. U solární přípravy teplé vody jde především o dodatečnou instalaci solární soustavy pro předehřev vody. Zásobník se zapojí před stávající ohřívač vody, který zajišťuje dohřev. U kombinovaných solárních soustav pro přípravu teplé vody a vytápění, za použití monovalentních solárních zásobníků, se dohřev otopné vody a příprava teplé vody provádí v externím výměníku vně zásobníku. [1]

Se dvěma teplosměnnými plochami – bivalentní zásobníky – se používají jako kompaktní zásobníky, kde spodní výměník je určen pro přenos tepla ze solárního okruhu, horní výměník zajišťuje dohřev dodatečným zdrojem tepla v horní části zásobníku. Pokud je dodatečným zdrojem tepla elektrická energie, je v zásobníku místo horního výměníku instalována elektrická otopná vložka. Jde o vhodné řešení především do novostaveb nebo pro kotelny s omezeným prostorem pro instalaci samostatného dohřívacího zásobníku. [1]

S více teplosměnnými plochami – multivalentní zásobníky.



Obrázek 3.25: Rozlišení zásobníků podle počtu výměníků [1]

Podle tlaku vody v zásobníku:

Tlakové zásobníky jsou vyrobeny a konstrukčně navrženy tak, aby byly schopny provozu při tlacích běžných ve vodovodním rozvodu (zásobníky teplé vody, 0,6 až 1 MPa) nebo v otopné soustavě (zásobníky tepla, 250 až 300 kPa). V případě velkých objemů nad 2 m^3 se tlakové zásobníky instalují již ve fázi hrubé stavby nebo se potřebný akumulací objem rozdělí na větší počet méně objemných zásobníků. Aby byl udržen tlak v přípustných mezích při objemových změnách vlivem teplotní roztažnosti vody, vyžadují tlakové vodní zásobníky expanzní nádobu. Objem expanzní nádoby zpravidla bývá okolo 5 až 6% akumulací objemu, v případě napojení rozvodů potrubí na zásobníky tepla (např. otopných soustav) je nezbytné objem stanovit výpočtem na základě údajů o celkovém objemu a tlakových poměrech v síti. [1], [29]

Beztlaké zásobníky tepla naleznou využití zvláště u větších objemů nebo u rekonstrukcí, kde je ve špatně dostupných prostorech potřeba umístit velkoobjemový zásobník a je nutné jej sestavit na místě. Otevřená nádoba s volnou hladinou vody, která je v kontaktu s okolním vzduchem, je vystavena menšímu tlakovému namáhání (pouze hydrostatický tlak). Z toho plynou menší nároky na stěny zásobníků a možnost použití levnějších a levnějších materiálů (např. plastů, sklo-laminátu, apod.). U beztlakých zásobníků tepla není za potřebí expanzní nádoba, změna objemu vodní náplně vlivem teploty se projeví změnou výšky volné hladiny v zásobníku. Nicméně z důvodu styku vodního objemu s okolním vzduchem je nutné beztlaký zásobník od soustavy přípravy teplé vody nebo otopné soustavě oddělit dalším výměníkem, což způsobuje snížení využitelné teploty naakumulovaného tepla ze solární soustavy. [1], [29]

Podle účelu použití:

Zásobníky teplé vody slouží jako akumulátor tepla přímo do připravované teplé vody a podléhají hygienickým požadavkům na pitnou vodu. Zásobník musí být na vnitřní straně ve styku s vodou opatřen povrchovou úpravou s hygienickým atestem nebo být vyroben z nerezové oceli. [1]

Zásobníky otopné vody se buď provozují odděleně od přípravy teplé vody, důvodem je výrazně odlišná teplotní úroveň, nebo se s přípravou teplé vody kombinují – kombinované zásobníky tepla. Jako zásobníky otopné vody se využívá levných ocelových nádrží bez vnitřní úpravy. [1]

Kombinované zásobníky představují sdružení akumulací objemu pro otopnou vodu a přípravou teplé vody. Tímto způsobem může být dosažena snaha o úsporu místa pro instalaci zásobníků teplé vody. Principiálně se používají dvě konstrukce:

- Příprava teplé vody průtokovým způsobem v trubkovém výměníku – dokáže připravit relativně velké objemy teplé vody při dostatečném teplotním spádu a objemu zásobníku tepla
- Příprava teplé vody v zásobníku TV vloženém do objemu zásobníku otopné vody, „nádrž v nádrži“ – jsou vhodné spíše pro nižší potřeby teplé vody, neboť okamžitý předávaný výkon teplosměnné plochy je relativně malý (malá plocha, nízký přestup tepla vlivem volné konvekce na obou stranách teplosměnné plochy). [1], [29]

Podmínky účinné akumulace tepla

Hlavními faktory ovlivňující účinnost akumulace tepla jsou teplotní vrstvení objemu neboli rozvrstvení objemu zásobníku podle teploty (stratifikace), resp. hustoty pracovní látky (v tomto případě vody), a tepelné ztráty pláštěm zásobníku, zahrnující tepelné mosty a úniky, způsobené nesprávným provedením potrubních přípojek. [1], [29]

Teplotní vrstvení

Aby zásobník tepla správně fungoval je nutné nejen vrstvení objemu podle teploty vytvořit, ale také ho udržet. To jinými slovy znamená zamezit mísení vrstev akumulací látky o různých teplotách. Kvalita teplotního vrstvení objemu v zásobníku ovlivňuje provozní parametry celé solární soustavy, její solární pokrytí i účinnost. Teplotní vrstvení je především ovlivňováno způsobem přívodu a odběru pracovní látky zásobníku. [1], [29]

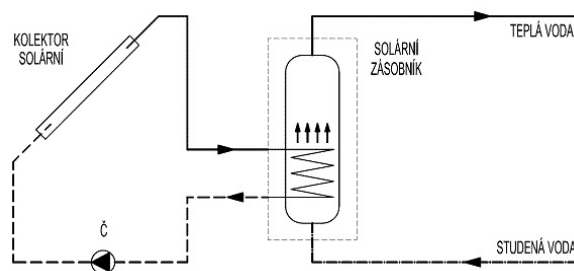
Udržení teplotního vrstvení objemu zásobníku vlivem vztlkových sil se dosáhne vhodně zvoleným tvarem zásobníku, ty se zásadně navrhují jako stojaté a štíhlé s poměrem výšky k průměru nad hodnotu 2. [1], [29]

Přívod a odběr tepla

Způsob přívodu a odvodu tepla ze zásobníku má rozhodující vliv na teplotní vrstvení.

Nepřímé nabíjení a přímé vybíjení

Jedná se o nejběžnější a nejjednodušší řešení. Teplo je přiváděno ze solárního okruhu do zásobníku přes vnitřní teplosměnnou plochu umístěnou v dolní nejchladnější části zásobníku, což zajišťuje dobrou účinnost kolektoru a maximální využití akumulací objemu zásobníku. Při nabíjení zásobníku voda, která se ohřeje v blízkosti vnějšího povrchu vnitřního výměníku, stoupá volným prouděním vzhůru a vytváří konvekční proudění, které částečně promíchává zásobník. Při vybíjení je z horní části zásobníku odebírána teplá voda a do spodní části je přiváděna studená (vybíjení po vrstvách). Tento způsob nabíjení a vybíjení je častý u maloplošných solárních soustav pro přípravu teplé vody. [1]



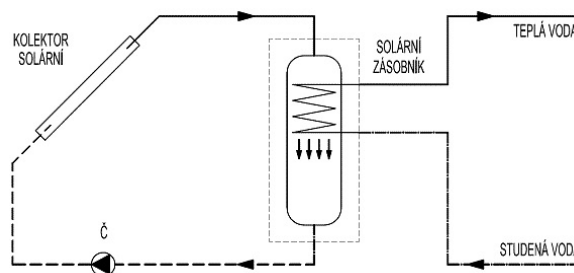
Obrázek 3.26: Zásobník s nepřímým nabíjením a přímým vybíjením [1]

Přímé nabíjení a nepřímé vybíjení

Z exteriéru zásobníku, např. z externího deskového výměníku, je přivedena teplá voda do horní části zásobníku a z dolní části se odebírá chladná. Nabíjení lze realizovat bez promíchání zásobníku, např. s použitím externího výměníku a řízeného přívodu ohřáté vody do vrstev o podobné teplotě (řízené vrstvení). Odběr tepla je v tomto případě realizován přes vnitřní tepelný výměník v horní části zásobníku. [1]

Umístění vybíjecího výměníku hraje zásadní roli pro udržení teplotního rozvrstvení zásobníku. Pokud je trubkový výměník umístěn do horní části kombinovaného zásobníku tepla, tak dojde při vybíjení odběrem tepla k silnému promíchávání vrstev, způsobené padáním ochlazené vody v zásobníku (sestupné konvekční proudy) a vyrovnávání vertikálního teplotního profilu (degradace teplotního vrstvení). [1]

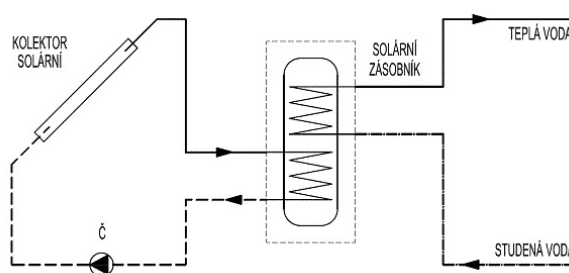
Proto je nezbytné umístit trubkový průtočný výměník pro přípravu teplé vody (TV) po celé výšce zásobníku (odspodu nahoru), aby přiváděná studená voda, která se ohřívá přes teplosměnnou plochu výměníku, vychlazovala především dolní část objemu zásobníku vyhrazenou solárním kolektorům a v horní části zásobníku docházelo již jen k dohřátí na požadovanou výstupní teplotu. Takto se dosáhne dostatečného teplotního rozvrstvení i vysokých zisků z kolektorů. Tento způsob nabíjení a vybíjení se využívá především u kombinovaných solárních soustav pro přípravu teplé vody (ve vnitřním výměníku) a vytápění (otopná voda je pracovní látkou zásobníku). [1]



Obrázek 3.27: Zásobník s přímým nabíjením a nepřímým vybíjením [1]

Nepřímé nabíjení a nepřímé vybíjení

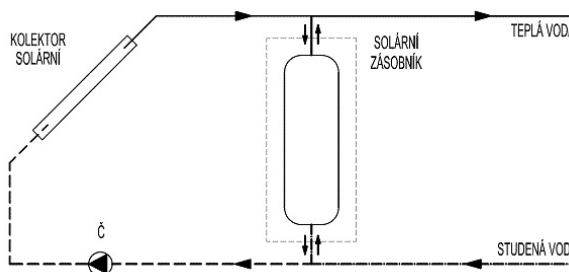
Tento způsob přívodu a odvodu tepla ze zásobníku teplé vody je realizován dvěma výměníky (přívod a odběr tepla). Jedná se o nejběžnější zapojení v oblasti jednoduchých kombinovaných solárních soustav. Toto zapojení je s ohledem na teplotní vrstvení nejméně účinné, neboť může docházet k promíchávání objemu zásobníku jak při nabíjení zásobníku, tak i při jeho vybíjení. Proto je nezbytné zajistit vhodné podmínky pro dosažení vrstvení, např. již zmíněný trubkový výměník pro průtočnou přípravu TV instalovaný po celé výšce zásobníku nebo dva nabíjecí výměníky (dolní, horní). Jedině tak lze udržet účinnost akumulace na dostatečné úrovni. [1]



Obrázek 3.28: Zásobník s nepřímým nabíjením a vybíjením [1]

Přímé nabíjení a vybíjení

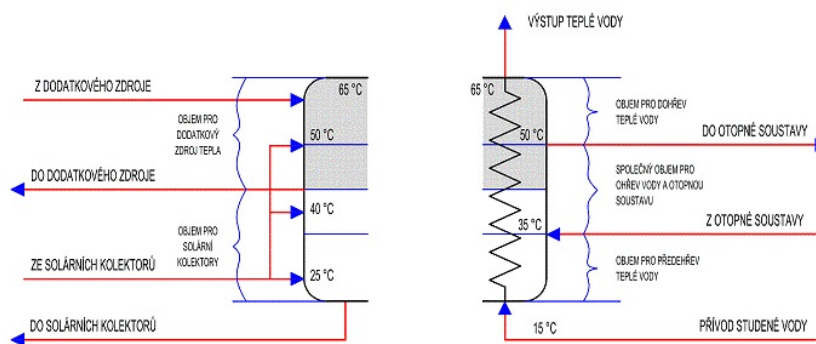
Přímé nabíjení a vybíjení zásobníku tepla představuje koncepčně nejvhodnější případ. Nabíjení i vybíjení probíhá po jednotlivých vrstvách (pístový efekt). Do solárního okruhu se přivádí stále chladná voda až do úplného nabití zásobníku (menší tepelné ztráty okruhu). Přímé vybíjení zásobníku lze řešit kombinací externího výměníku tepla s proměnlivým průtokem pro dostatečné vychlazení vratné vody do zásobníku. [1]



Obrázek 3.29: Zásobník s přímým nabíjením i vybíjením [1]

V případě kombinovaných zásobníků tepla je nezbytné při návrhu zapojení zdrojů a odběrů tepla rozlišit hlavní předpokládané teplotní vrstvy objemu zásobníku. Teplo přivedené z kolektorového okruhu by se mělo přivádět do spodní až horní části objemu zásobníku tepla. Podle druhu a výkonu dodatkového zdroje tepla je horní čtvrtina (plynový kotel, elektrická vložka) až polovina (kotel na dřevo) zásobníku tepla vyhrazena pro dohřev na požadovanou teplotu pro přípravu teplé vody. Přípojka vratné vody dodatkového zdroje může být napojena do spodní části zásobníku pouze tehdy, když nabíjení objemu horní části zásobníku dodatkovým zdrojem je řízeno teplotním čidlem umístěným v horní polovině. [1]

Je nezbytné dbát na dostatečné vychlazení spodní (solární) části zásobníku tepla vloženou teplosměnnou plochou nebo pomocí vychlazené vody přivedené z externího výměníku. Prostřední část objemu zásobníku je vyhrazena v první řadě vodě v teplotní úrovni vhodné pro otopnou soustavu. Vratná větev z otopné soustavy by měla být napojena zhruba ve třetině zásobníku, aby vratná voda mohla být z jedné strany přehřívána solárními zisky ze solárního objemu zásobníku, z druhé strany, aby nevhodně neohřívala vychlazený objem vyhrazený solárním kolektorům. Vratná větev by nikdy neměla být napojena do spodní části zásobníku, pokud není na vratné větvi v zásobníku použit stratifikační prvek. Výstup otopné vody přiváděné do otopné soustavy by měl být umístěn nad připojením vratné vody dodatkového zdroje tepla, aby byla možnost v případě nedostatku solárních zisků dohřívát otopnou vodu dodatkovým zdrojem. Jedná-li se o horní část (třetina až čtvrtina) objemu zásobníku tepla, ta je vyhrazena pohotovostnímu dohřevu teplé vody a je udržována neustále na dostatečně vysoké teplotě. Je krajně nevhodné z této části odebírat otopnou vodu pro přívod do nízkoteplotní otopné soustavy, je pak nutné směšování a dochází tak degradaci docílených teplot. [1]

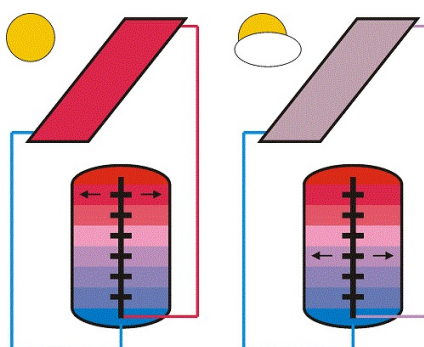


Obrázek 3.30: Hlavní teplotní zóny v kombinovaném zásobníku tepla a napojení zdrojů [1]

Stratifikační zásobníky

Stratifikační zásobníky jsou vodní zásobníky tepla s řízeným teplotním vrstvením. Využití naleznu stratifikační zásobníky především ve velkých solárních soustavách, ale lze se s nimi čím dál tím více setkat i v menších provedeních s menšími objemy pro rodinné domy. Teplotní stratifikace je vrstvení objemu zásobníku podle teploty řízeným ukládáním tepla do vrstev o stejných nebo podobných teplotách. [1]

Jestliže je na výstupu z výměníku solárního okruhu k dispozici tepelná energie o vyšší teplotě souhlasné s teplotou v horní vrstvě zásobníku, přivádí se voda z výměníku do této dané vrstvy. Jestliže je kvůli snížené úrovni slunečního záření k dispozici teplota nižší, přivádí se chladnější voda z výměníku do odpovídající chladnější vrstvy nacházející se níže v zásobníku. [1]



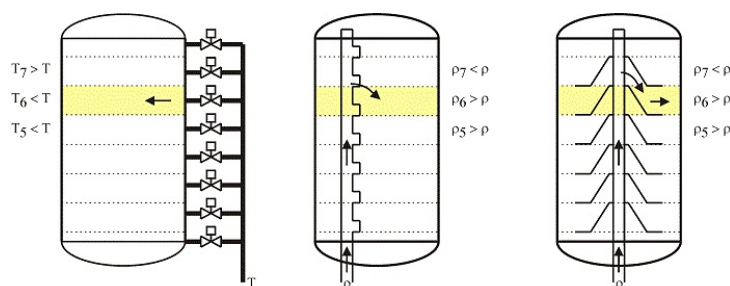
Obrázek 3.31: Zjednodušený princip řízeného vrstvení zásobníku solární soustavy [33]

Výsledkem je kýžené rozvrstvení objemu zásobníku, kde se v horní části zásobníku nachází teplota výrazně vyšší než ve spodní části. Kvalitní stratifikační zásobníky jsou schopny dodávat teplo o požadované teplotě (bez potřeby dohřevu), což u běžných zásobníků bez řízeného vrstvení není možné, přímo do odběrového okruhu již během náběhu zásobníku tepla. A to zvyšuje pokrytí potřeby tepla solární soustavou. Využití stratifikačního zásobníku je velice výhodné u solárních soustav s nízkým průtokem teponosné kapaliny (tzv. „low flow“ soustavy) a vysokým ohřátím teponosné kapaliny (> 30 K), u kterých je možné na výstupu z kolektoru docílit vysokých teplot, při zachování nízkých teplot na vstupu. [1]

Řízeného teplotního vrstvení při nabíjení zásobníku tepla se dá docílit různými způsoby, jedním z nich je řízení ventilů ovládanými na základě porovnání teploty v dané vrstvě zásobníku a teploty přiváděné vody z výměníku tepla. Nutností přívodního potrubí s ventily je navrhovat nízkou vstupní rychlost a konstrukčně jej vyřešit tak, aby přiváděný proud nenarušoval teplotní zóny objemu zásobníku. Tento způsob řešení je náročný na osazení čidly, ventilů a vlastní regulaci nabíjení. [1]

Snazší řešení a nenáročné na regulaci a elektrickou energii je samočinná trubková stratifikační vestavba. Ta pracuje na základě rozdílu hustot mezi vodou přiváděnou z výměníku a vrstvami akumulčního zásobníku. Voda o určité hustotě a teplotě je přiváděna vždy pod vrstvu, která má nejbližší nižší hustotu, jinými slovy nejbližší teplejší vrstva. Trubkové vestavby sestávají z levných prvků, zpravidla z plastového PVC potrubí. Odbočky jsou vybaveny lehkými zpětnými klapkami zabraňujícími snížení teploty přiváděné teplé vody přísáváním vody ze spodní chladnější části zásobníku. [1]

Výše zmíněný problém přísávání vody ze spodní části zásobníku se dá řešit volbou speciální talířové vestavby, jejíž konstrukce přísávání zabraňuje (přirozená gravitační zpětná klapka). U trubkových vestaveb může dojít k narušení teplotního rozvrstvení účinkem kinetické energie proudem přiváděné vody, pokud není udržena rychlost v přiváděcím potrubí nižší než $0,1 \text{ m/s}$. [1], [29]



Obrázek 3.32: Způsoby řízeného teplotního vrstvení [29]

Stejnou důležitost jako zajištění teplotního rozvrstvení při přívodu tepla má i udržení vrstevního objemu při odběru tepla. Pro přívod vratné vody s proměnlivou teplotou z otopné soustavy se používá obdobných stratifikačních vestaveb. Vratná voda z výměníku přípravy teplé vody může být dostatečně vychlazena použitím elektronicky řízeného vybíjecího čerpadla (regulace průtoku podle odběru TV) a není zapotřebí stratifikační vestavby, v případě neřízeného čerpadla je nezbytné stratifikační zařízení použít. Podobně tomu tak je s cirkulací teplé vody, pokud je použita. [1], [29]

Tepelné ztráty

Tepelné ztráty jsou dány tepelnými ztrátami vlastní přípravy teplé vody, rozvodu teplé vody a rozvodu cirkulace. Pro navrhování solárních soustav často postačuje odhad tepelných ztrát. Takovým odhadem může být například paušální přírážka k potřebě tepla na ohřev daného množství vody na základě tabulky 3.3. Pro detailní výpočty k provoznímu hodnocení solárních soustav je možné použít podrobných výpočtů podle evropských norem ČSN EN 15316–3–2 (rozvody TV a CV) a ČSN EN 15316–3–3 (příprava; zásobníky) nebo pokročilých simulačních modelů. [1]

Typ přípravy teplé vody	z
Lokální průtokový ohřev	0 %
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	15 %
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	30 %
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	100 %
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	>200 %

Tabulka 3.3: Přirážka na tepelné ztráty přípravy TV [1]

Pro výpočet předpokládané potřeby tepla jako výchozí hodnoty pro návrh solární soustavy je nezbytné uvažovat pouze tu část tepelných ztrát, kterou je možné solárními zisky pokrýt. [1]

Pokud se projektant rozhodne celkový akumulací objem rozdělit do několika zásobníků, což u solárních zásobníků s velkým objemem v řádu několika m^3 je vhodné, už jen kvůli dopravě do místa instalace, způsobí tím zvýšení tepelných ztrát, vzhledem k nevýhodnému poměru povrchu pláště k objemu zásobníku. Rozdělením celkového objemu do dvou zásobníků se celkové tepelné ztráty zvýší pouze o čtvrtinu, zatímco rozdělením do čtyř zásobníků je zvýšení již o 60%. Dále viz tabulka 3.4. [29]

Počet zásobníků	1	2	3	4	6	10
Tepelné ztráty	100 %	126 %	144 %	159 %	182 %	215 %

Tabulka 3.4: Nárůst tepelné ztráty zásobníku při rozdělení do většího počtu zásobníků se stejným objemem

Kapitola 4

Závěr

Teoretická část této bakalářské práce seznamuje s možnostmi využití solární energie v bytovém domě. Nejprve s pasivním využitím solární energie, ke kterému nejsou zapotřebí žádná složitá technická zařízení a jedná se o nejstarší způsob využití solární energie. A následně s aktivním využitím solární energie, kde jsou představeny jako zástupci této kategorie fotovoltaické panely a fototermické kolektory. Přestože první plochý kolektor a první fotovoltaický článek mají své počátky nedaleko od sebe, solární kolektory se kontinuálně vyvíjely a dnes se jim už taková pozornost neklade. Naopak fotovoltaické panely zažívají tzv. boom a to díky poptávce investorů vyvolané ať už z ekonomických či ekologických důvodů. Zároveň díky obrovskému posunu technologií a výzkumu v posledních desítkách let se otevírají možnosti novým způsobům přeměny solární energie na elektřinu, jak je zmíněno v této bakalářské práci, a proto je vývoj fotovoltaických panelů v tuto chvíli rychlejší, než byl vývoj fototermických kolektorů. A výhodná nabídka zvyšuje poptávku, takže kromě snazší dostupnosti a poklesu pořizovacích cen jsou investorům nabídnuty i dotace při pořízení alternativních zdrojů energie.

Přestože se pozornost upíná spíše na fotovoltaické články, já jsem se rozhodla hlouběji věnovat fototermickým kolektorům, právě proto, že mi připadá, že jsou méně prezentovány než fotovoltaické panely. Což má i své opodstatnění v podobě hned několika jejich nedostatků, jakou jsou třeba komplikovaný návrh, vysoká pořizovací cena, možná stagnace v letních měsících, nestálost dodávky energie v čase, tudíž nutnost záložního zdroje energie. Všechny tyto nedostatky, které jsou zčásti i kamenem úrazu pro fotovoltaické panely, je zařazuje do úsporných opatření, nikoli mezi hlavní zdroje energie.

Na zvolený objekt jsem se rozhodla navrhnout solární kolektory Logasol STK 1.0, pro ohřev teplé vody v bivalentním zásobníku teplé vody Regulus R2BC 2000. Dohřev vody je zajišťován plynovým kotlem. (Tato nešťastná volba byla učiněna ještě před zdražením plynu a ropy, což je v současné době způsobeno Ruským útokem na Ukrajinu, a velkou část Evropy motivuje přejít na alternativní zdroje energie a zajistit si tak alespoň minimální

soběstačnost.)

Plochu solárních kolektorů jsem chtěla navrhnout takovou, aby projekt byl jak ekologickým, tak ekonomickým řešením. Ekonomické řešení pro přípravu teplé vody podněcuje k nízkému solárnímu pokrytí potřeby tepla, mezi 10 až 40%. Zatímco ekologické řešení pro přípravu teplé vody navrhuje vysoké solární pokrytí potřeby tepla, a to více jak 50%. Bohužel takřka jedna čtvrtina plochy střechy je nevyužitelná k umístění solárních kolektorů, kvůli stínění vyšších podlaží vlastní budovou, proto plocha kolektorů pokryje „jen“ 35% potřeby tepla.

Solární kolektory jsem na střeše v úrovni 6.NP a 7.NP navrhla orientovány horizontálně směrem k jihu se sklonem 30° , a to proto, že stojí na střeše před okenními otvory, tak aby tedy nebránily příliš průchodu slunečního svitu a popřípadě výhledu. Na nejvyšší střeše jsem je, za účelem co nejvyššího využití prostoru, navrhla orientovány vertikálně směrem na jih a zvýšila jsem sklon na 45° .

Na střeše na úrovni 6.NP je za solárními kolektory vyhrazen prostor pro instalaci fotovoltaických panelů. Energetický zisk fotovoltaického systému by byl využíván spotřebiči, dále k čištění šedých vod a jeho přebytky by byly akumulovány v akumulátorech uložených v technické místnosti.

Literatura

- [1] T. Matuška, *Solární zařízení v příkladech*. Grada Publishing as, 2013.
- [2] <https://www.treking.cz/astronomie/slunce.htm>, Citováno: 25.2.2022.
- [3] *Pasivní solární energie – nové trendy*, <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-zisky-a-zastineni/1705-pasivni-solarni-energie-nove-trendy>, Citováno: 13.4.2022.
- [4] P. Tymová, “Solární systémy v architektuře,” 2007.
- [5] A. Haller, O. Humm, K. Voss, and J. Tywoniak, *Solární energie: využití při obnově budov*. Grada, 2001.
- [6] <http://www.envic.cz/novinky/469-4-trombeho-stena-vyhodnoceni-efektivita-v-diplomove-praci.htm>, Citováno: 25.2.2022.
- [7] *Energy education - solar chimney*, https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_chimney, Citováno: 1.4.2022.
- [8] <https://www.behance.net/gallery/47925383/3rd-Prize-Young-Architects-Competition/modules/285900021>, Citováno: 25.2.2022.
- [9] *Protisluneční solární fólie na okna*, <https://www.hanitafolie.cz/folie/protislunecni-solarni-folie-na-okna/>, Citováno: 20.3.2022.
- [10] *Sluneční fólie na okna budov*, <https://www.glassgarant.cz/folie/folie-na-budovy/slunecni-folie-na-okna-budov/>, Citováno: 20.3.2022.
- [11] L. Bortel, “Řízení prhlednosti elektrochromických fólií a jejich aplikace,” 2018.
- [12] J. MOSKOWITZ, *Intelligent spd control apparatus with scalable networking capabilities for window and multimedia applications*, <http://www.spdcontrolsystems.com/images/European%20Patent%20Published%202018-08-01%20EP1929701B1.pdf>, EP 1 929 701 B1, 2006.
- [13] K. Murtinger and J. Truxa, *Solární energie pro váš dm*. ERA group, 2005.
- [14] A. Vohnický, *Racionální využití sluneční energie*, <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/2072-racionalnivyuuziti-slunecni-energie>, 2004.

- [15] <https://meteonorm.com/en/demo-files-maps>, Citováno: 25.2.2022.
- [16] <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>, Citováno: 25.2.2022.
- [17] M. Libra and V. Poulek, *Fotovoltaika: Teorie i praxe využití solární energie*. ILSA, 2009.
- [18] K. Brož and B. Šourek, *Alternativní zdroje energie*. Vydavatelství ČVUT, 2003.
- [19] M. Prax, *Průlom v průhledných solárních panelech: Blíží se doba, kdy začnou okna vyrábět energii?* <https://www.obnovitelne.cz/clanek/1454/prulom-v-pruhlednych-solarnich-panelech-blizi-se-doba-kdy-zacnou-okna-vyrabet-energii>, Citováno: 11.3.2022.
- [20] D. Vobořil, *Solární systémy s akumulátory zažívají v Německu již třetí rok po sobě boom*, <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/solarni-systemy-akumulatory-zazivaji-nemecku-jiz-treti-rok-sobe-boom>, Citováno: 10.2.2022.
- [21] <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/solar-pv>, Citováno: 25.2.2022.
- [22] *Vision square*, <https://agc-activeglass.com/en/sunewat/visionsquare/>, Citováno: 15.2.2022.
- [23] *Sunewat: Bezkonkurenční škála fotovoltaických skel*, <https://www.agc-glass.eu/cs/news/reportaze/zaskleni-jako-zdroj-obnovitelne-energie>, Citováno: 15.2.2022.
- [24] *Clearvuepv, the building integrated photovoltaics (bipv) gold standard in stunningly clear solar windows*, <https://www.clearvuepv.com/products/how-it-works/>, Citováno: 17.2.2022.
- [25] *Transparent solar technology*, <https://ubiquitous.energy/technology/>, Citováno: 21.2.2022.
- [26] *Perovskite solar cell*, <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/perovskite-solar-cell/>, Citováno: 25.2.2022.
- [27] *Perovskite tandem photovoltaics*, <https://www.swiftsolar.com/tech/>, Citováno: 25.2.2022.
- [28] <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/8347-nove-solarni-kolektory-buderus-pro-rok-2012>, Citováno: 25.2.2022.
- [29] T. Matuška, *Solární soustavy pro bytové domy*. Profi hobby, 2010.
- [30] D. Thorpe, *Solar technology: the Earthscan expert guide to using solar energy for heating, cooling and electricity*. Routledge, 2013.

- [31] L. Aviv, *Israeli homeowners are ready to storm the solar frontier*, <https://www.timesofisrael.com/israeli-homeowners-are-ready-to-storm-the-solar-frontier/>, Citováno: 10.3.2022.
- [32] <https://offgridfirst.com/wp-content/uploads/2021/04/thermosiphon.jpg>, Citováno: 25.2.2022.
- [33] <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/mp-1-6/mp-1-6-11/>, Citováno: 25.2.2022.