

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
AKADEMICKÝ ROK: 2013/2014

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby

Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Stanovení účinnosti slunečních kolektorů zakrytých makrolonovými
deskami**

Vedoucí práce:

Ing. Josef Frolík, CSc.

Zpracoval:

Jan Matějka

České Budějovice 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, literatury a dalších zdrojů uvedených v seznamu použitých zdrojů. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích: 8. 4. 2014

.....
Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Josefu Frolíkovi, CSc. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vytvoření této bakalářské práce. Dále bych poděkoval panu Ing. Tomáši Matuškovi, Ph.D za poskytnutí podkladů k vytvoření práce a seznámení s výpočtovým programem.

Abstrakt

Práce se zabývá alternativním zakrytím kapalinového slunečního kolektoru. Popisuje konstrukce samotného slunečního kolektoru a vliv různých parametrů, které přímo ovlivňují jeho účinnost. Dále rozebírá technicko - ekonomické možnosti běžného typu zasklení a porovnává je s možnostmi zakrýt kolektor makrolonovými deskami. Cílem je provést teoretické zhodnocení a zjistit, zda by uváděný typ zakrytí, vzhledem k jeho vlastnostem, mohl být využit. Závěrem je uvedeno vyhodnocení zjištěných hodnot a možnosti použití v praxi.

Klíčová slova:

Sluneční kolektor, makrolon, účinnost, zakrytí

Abstract:

This thesis deals with the alternative cover of the liquid solar collector. It describes the structure of the solar collector itself and the influence of various parameters that directly affect its effectiveness. It analyses technical - economic possibilities of the usual type of the glazing and compares them with possibilities to cover the collector with the makrolon plates. The aim is to perform a theoretical evaluation to find out whether the referenced type of covers, due to its characteristics, could be used. In conclusion the evaluation of values and possibilities of its practical use are shown.

Keywords:

Solar collector, makrolon, effectiveness, covers

Obsah

1	ÚVOD.....	8
2	SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	9
2.1	Vznik sluneční energie	9
2.2	Sluneční energie v ČR.....	11
3	KAPALINOVÉ KOLEKTORY	13
3.1	Rozdělení kolektorů	13
3.1.1	Nekryté kolektory.....	13
3.1.2	Ploché atmosférické kolektory.....	14
3.1.3	Ploché vakuové kolektory	15
3.1.4	Trubicové vakuové kolektory	15
3.1.5	Koncentrační kolektory.....	16
3.2	Konstrukce plochého kolektoru.....	17
3.2.1	Tepelná izolace.....	17
3.2.2	Absorbér.....	18
3.2.3	Transparentní kryty	20
3.2.4	Skříň kolektoru.....	21
3.3	Zakrytí kolektorů.....	22
3.3.1	Solární sklo	22
3.3.2	Voštinové struktury.....	23
3.3.3	Komůrkové struktury	24
3.4	Výkon a účinnost kolektorů.....	25
3.4.1	Výkon.....	25
3.4.2	Účinnost	26
3.4.3	Tepelný výkon.....	28
4	MAKROLON	29
5	HODNOCENÍ ÚČINNOSTI.....	32
6	ZÁVĚR A DISKUZE	41
7	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK.....	42
8	SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ	44
8.1	Seznam tabulek.....	44
8.2	Seznam obrázků	44

8.3	Seznam grafů.....	45
9	POUŽITÉ ZDROJE.....	46
9.1	Literatura	46
9.2	Internet.....	47

1 ÚVOD

V současné době, kdy dochází ke globálnímu zvyšování cen veškeré energie, roste využití alternativních zdrojů obnovitelné energie, ke kterým patří například: voda, vítr, geotermální energie nebo sluneční záření. Sluneční energie, je nejdostupnější energií pro využití zejména v domácnostech. Slunečním záření se přeměňuje na teplo pomocí tzv. slunečních kolektorů, kdy existuje celá řada typů konstrukcí. Předchůdce solárního kolektoru vynalezl Horace Beedict de Saussure 1740-1799 v Ženevě. První patentovaný kolektor pak vznikl v roce 1891 v Balimore v USA, kde si ho nechal registrovat Clarence M. Kemp. Využití kolektorů odstartovala ropná krize v 70. letech minulého století. V České republice se první kolektory objevují v roce 1977. Následující rok dochází k experimentům a vzniká pokusné zařízení Sluneční domek Ondřejov. Na konci 80. let se situace obrací a klesá využití solární energie prostřednictvím kolektorů. V roce 1992 se postupně rozvíjí instalace kolektorů na rodinných domech a spolu s ní přichází na trh i nové firmy. V letech 2003 a 2004 byl předložen návrh zákona o podpoře výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů, který byl však vrácen k přepracování. V současnosti dochází k masivnímu nárůstu v oblasti využívání solární tepelné techniky.

2 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

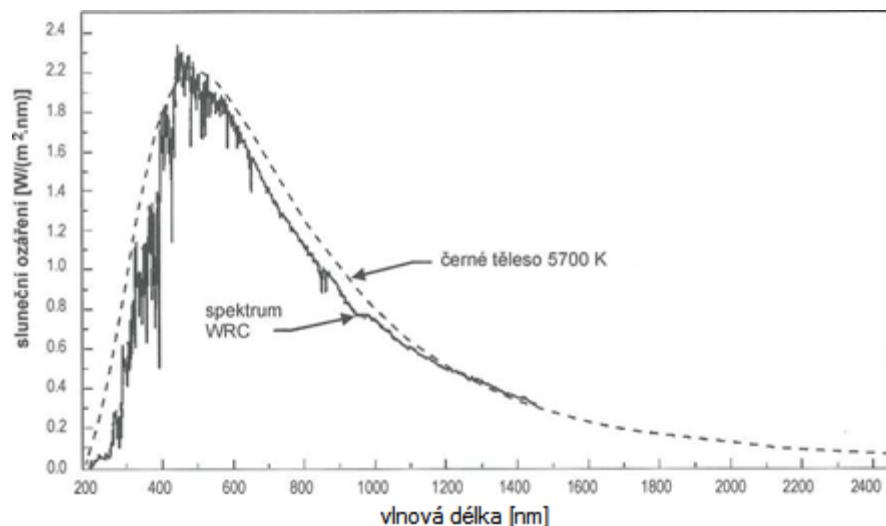
2.1 Vznik sluneční energie

Sluneční energie vzniká vyzařováním slunečních paprsků, které naší Zemi zásobují světlem a teplem. Odhaduje se, že stáří Slunce dosahuje přibližně 4,6 miliard let. Tím se řadí mezi hvězdy středního věku. Vědci předpovídají, že bude aktivní ještě následujících zhruba 7 miliard let. Teplo na povrchu Slunce činí okolo 5800 K. [1], [21] Složení Slunce v procentuálním zastoupení je uvedeno v tab. 2.1.

Tab. 2.1 - Procentuální složení Slunce [1], [13]

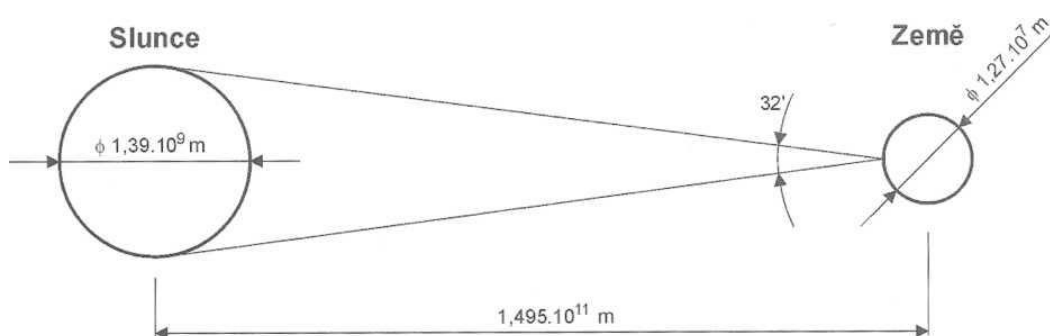
	Vodík [%]	Helium [%]	ostatní látky [%]
Složení povrchu slunce	70	28	2
Složení v centru slunce	35	63	2

Všechny prvky uvedené v tabulce jsou ve Slunci obsaženy ve formě plasmy. Sluneční energie je výsledkem termonukleární reakce, která vzniká přeměnou vodíku na helium. Reakce probíhá při teplotách $13 \cdot 10^6$ K a tlaku $2 \cdot 10^{10}$ MPa. Odborněji se proces přeměny nazývá termojaderná fúze. Dochází v ní k rozkladu atomu na jednotlivá volná jádra a elektrony. V průběhu se uvolňuje obrovské množství energie a vodík se začíná měnit na helium. Důležitou součástí procesu je rozdíl hmotnosti vodíku a helia, díky kterému se vytváří energie a ta vyzařuje dále do kosmického prostoru. Záření obsahuje vlnové délky od rentgenového, ultrafialového až po vlnové délky rádiového záření. Největší energie však dosahují vlnové délky od 0,3 do 3 μm . [1] Na obr 2.1 je uvedena spektrální charakteristika zářivého toku sluneční energie.



Obr. 2.1 - Spektrální charakteristika zářivého toku [1]

Slunečnímu záření, které dopadá na Zemi, nestojí v cestě žádné překážky, které by ho pohlcovaly. Přichází tak do naší atmosféry v takové podobě, v jaké bylo vyzářeno, avšak s mnohem menším výkonem, který byl rozptýlen na ploše mezi Sluncem a Zemí. Z celkového zářivého toku Slunce o hodnotě přibližně $3,86 \cdot 10^{23}$ kW dopadá na povrch Země asi jenom $7,7 \cdot 10^{17}$ kW. Zbývající část je vyzářena do mezihvězdného a mezigalaktického prostoru. Na obr 2.2 je znázorněno postavení Slunce vůči naší planetě, jejich vzájemná vzdálenost a rozměry obou těles. [1]

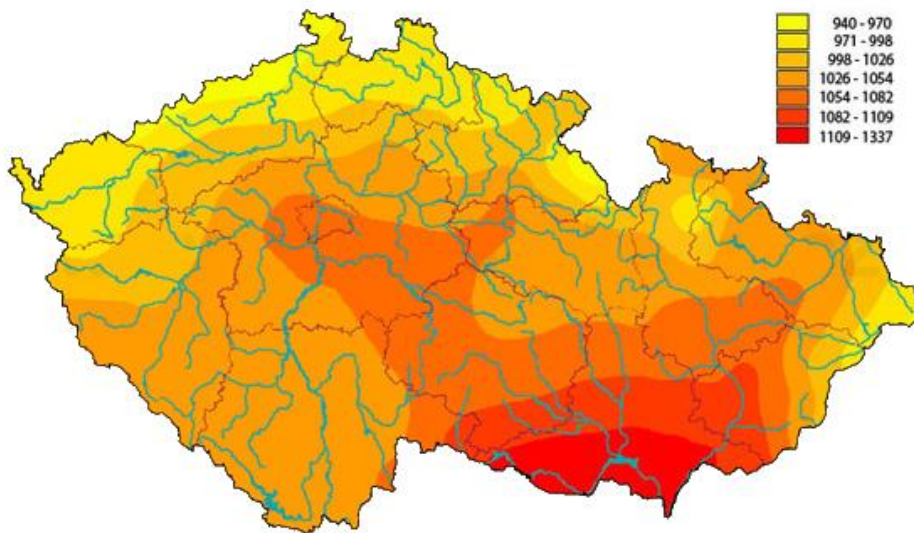


Obr. 2.2 - Vzájemné postavení Země a Slunce [1]

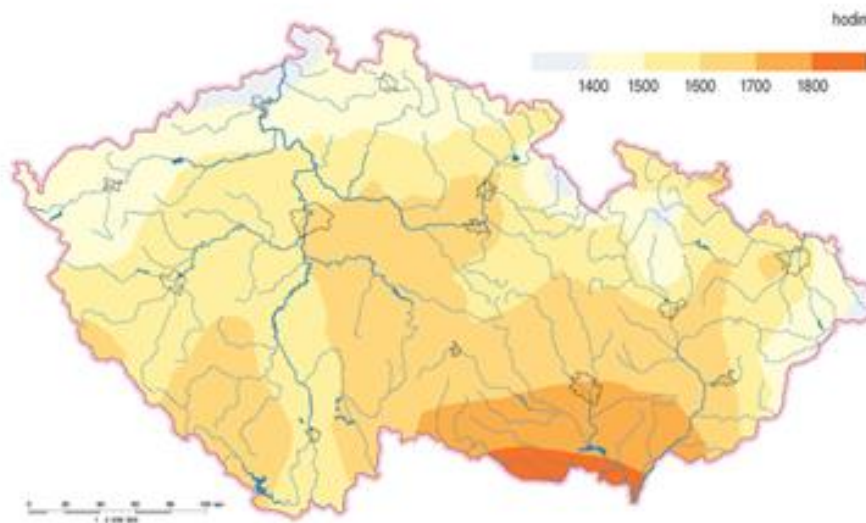
Tímto procesem vzniká sluneční energie, která řídí chod Země a zajišťuje podmínky, bez kterých by život na Zemi nemohl existovat. Pro lidstvo jde o nenahraditelný zdroj energie.

2.2 Sluneční energie v ČR

V České republice se roční příkon sluneční energie na optimální ploše pohybuje v rozmezí od 1 000 do 1 250 kWh.m⁻² za rok. Z toho 75% spadá do období měsíců duben až říjen a 25% říjen až duben. Je však nutné počítat i s oblastmi se silným znečištěním atmosféry, kde se výkon záření snižuje o 5 až 20 %. Naopak u výše položených oblastí s nadmořskou výškou 700 až 2000 m. n. m. můžeme počítat se ziskem vyšším asi o 5% v porovnání s níže položenými oblastmi. [20] Na obr 2.3 je zobrazena mapa roční dávka slunečního svitu na vodorovnou plochu v ČR a následujícím obr 2.4 ukazuje roční dobu slunečního svitu v ČR.



Obr. 2.3 - Mapa roční dávka slunečního svitu na vodorovnou plochu v ČR [W.m⁻²] [14]



Obr. 2.4 - Roční doba slunečního svitu v ČR [hod] [14]

3 KAPALINOVÉ KOLEKTORY

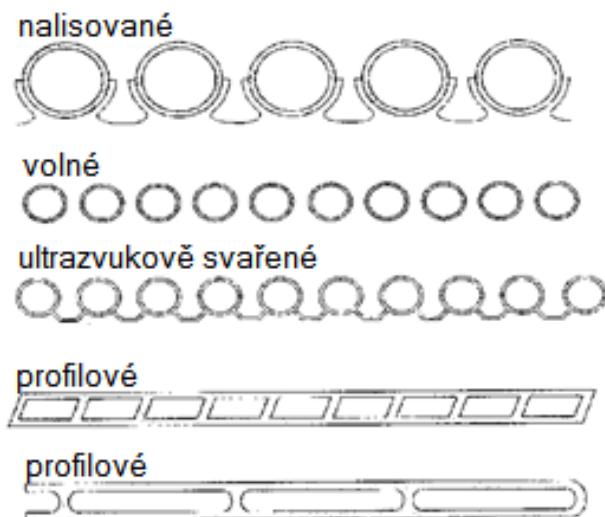
Proces změny sluneční energie v tepelnou se nazývá fototermální přeměna. Jedná se o nejjednodušší cestu k využití slunečního záření. Její princip spočívá v absorpci slunečního záření na povrchu kapalin, kde se sluneční energie fotonů mění v teplo. Základem je prvek nazývaný jako absorpční plocha (absorbér), která přijímá sluneční záření a ohřívá sluneční kolektor. Vzniklá tepelná energie je poté z kolektorů odváděna různými teplotněstabilními látkami. Látky jsou pak zpravidla kapalného skupenství (nemrznoucí směs, voda). Kapalina proudí v kanálkové struktuře, nejčastěji trubkového profilu. Pro snížení tepelných ztrát se používá zasklení kolektoru, které je umístěné na přední straně před absorbérem. Funkcí zasklení je omezit ztráty, které by vznikly sáláním do okolního prostoru, a udržet teplo v okolí absorbéru. Nezbytnou součástí je i vzduchová mezera mezi sklem a absorbérem, která má funkci tepelného odporu. Dále se zde nacházejí izolační materiály, které zadržují teplo u absorbéru. Každý typ kolektorů se svojí konstrukcí liší, ale nejběžněji používané jsou kolektory ploché, které jsou v této kapitole popsány. [1]

3.1 Rozdělení kolektorů

3.1.1 Nekryté kolektory

Tento typ kolektorů se v praxi používá k ohřevu soukromých bazénů, veřejných koupališť apod. Používají se zde absorbéry z umělých hmot, které mají omezenou odolnost proti vyšším teplotám a tlaku. Na obr. 3.1 jsou zobrazeny typy používaných absorbérů. Kolektory jsou uzpůsobeny tak, aby pracovaly s dobrou tepelnou účinností pouze v kladném rozsahu okolních teplot. Jedná se o tzv. výrobu tepla na nízké teplotní úrovni. Nepoužívají se zde žádné kryty, izolace ani selektivní vrstvy absorbéru. Zakrytím by docházelo ke snížení intenzity dopadajícího záření natolik, že by byla výrazně ovlivněna účinnosti při nižších venkovních teplotách.

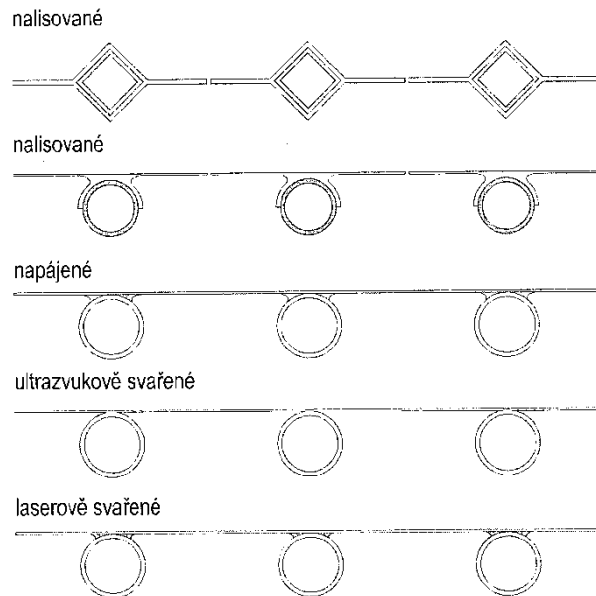
Účinnost ovlivňuje ještě jeden faktor, který není v lidských schopnostech možné ovládat. Jedná se o rychlost větru. S jejím nárůstem vznikají výrazné tepelné ztráty. Nosným médiem je zde samotná bazénová voda, proto musí být všechny konstrukční prvky kolektoru odolné vůči chloru. Dále pak musí odolávat UV - záření a střídavému tepelnému zatížení do 70 °C. [1],[2]



Obr. 3.1 - Typy absorbérů u nekrytých kolektorů [1]

3.1.2 Ploché atmosférické kolektory

Složení plochého kolektoru se od nekrytých kolektorů výrazně liší. Skládá se z absorbérů, tepelné izolace, transparentního krytu a skříně kolektoru. Jednotlivé konstrukční prvky jsou popsány v kapitole 3.2 Konstrukce plochého kolektoru. Ploché kolektory se vyrábí nejběžněji se selektivní vrstvou, ale objevují se i typy s neselektivní vrstvou. Jedná se zejména o menší výrobní společnosti, které takové kolektory nabízejí s nižší cenou na úkor účinnosti. Na obr. 3.2 je zobrazeno konstrukční řešení absorbérů u plochých kolektorů. Jejich hlavní uplatnění je ohřev pitné vody nebo vytápění budov. Montáž kolektorů se provádí na střechy nebo fasády budov. [1],[2]



Obr. 3.2 - Typy absorberů u plochých kolektorů [1]

3.1.3 Ploché vakuové kolektory

Ploché vakuový kolektor je svojí konstrukcí podobný jako plochý atmosférický kolektor. Neobsahuje však tepelnou izolaci. Podstatný rozdíl je ve vakuově uzavřeném absorberu. Využívá snížený tlak v prostoru skříně kolektoru a tím zajišťuje nižší tepelné ztráty mezi absorberem a zasklením nebo zadní stěnou kolektoru. Nejdůležitějším parametrem je vakuotěsnost. Proto se celá skříně vyrábí zpravidla výliskem a přední strana se už jen zakrývá sklem. Používají se ke stejným účelům jako atmosférické kolektory. [2]

3.1.4 Trubicové vakuové kolektory

Trubicové kolektory využívají válcového zasklení absorberu. Prostor mezi absorberem a zasklením využívá extrémně nízkých tlaků pod 10^{-3} Pa. Analýza plochých kolektorů dokazuje, že většina tepla se ztrácí pohybem vzduchu tzv. konvekcí. U tohoto typu je snahou ztrátu eliminovat vakuem v trubici. Vakuum je obohacené o tzv. „getry“.

Jedná se o kovy, které rychle oxidují a vylučují tak výskyt zbytkových plynů. [1]

Trubkové vakuové kolektory lze dále dělit podle konstrukčního typu na:

- Trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou
- Trubkové kolektory s dvojtěnnou trubkou (Sydney)

Podle konstrukčního uspořádání odvodu tepla je lze rozdělit na:

- Přímě protékané - absorberem přímo protéká teplotonosná kapalina
- S tepelnou trubicí: suché napojení - kondenzátor zasunutý v pouzdře
mokré napojení - kondenzátor přímo omývaný
teplotonosnou kapalinou [1]

3.1.5 Koncentrační kolektory

Koncentrační neboli soustřeďující kolektory jsou svojí konstrukcí odlišné od ostatních kolektorů. Využívají přímého slunečního záření, které se odráží zrcadly nebo lomem čoček do jednoho bodu tzv. ohniska, kde je umístěn absorber. Podle tvaru ohniska se rozděluje na koncentrační kolektory s lineárním ohniskem nebo koncentrační kolektory s bodovým ohniskem. Pracují s teplotami až do 800 °C. Jejich pořízení a provoz jsou však velmi nákladné, protože musí používat složité mechanismy naklápění zrcadel tak, aby bylo přímé sluneční záření stále soustřeďováno do ohniska absorberu. Tyto kolektory nacházejí uplatnění v oblastech s vysokým podílem přímého záření, proto se ve středoevropských zemích téměř nevyskytují. Používají se v solárních elektrárnách především k ohřevu pracovní látky na vysoké teploty. V domácnostech se tato zařízení kvůli své složitosti a náročnosti provozu nepoužívají.[1],[5]

3.2 Konstrukce plochého kolektoru

Základním cílem při výrobě kolektorů je požadavek přeměny sluneční energie na teplo s co největší účinností. Konstrukce má za úkol minimalizovat ztráty vyzařováním zpět do atmosféry. Jednou z nejdůležitějších částí je absorpční plocha (absorbér), která se slunečním zářením ohřívá a předává tepelnou energii různým teplotnosným látkám. V praxi se jako teplotnosná látka používá voda nebo nemrznoucí směs. Ztráty vznikají vyzařováním, konvekcí a vedením tepla. Aby se tyto ztráty minimalizovaly, je plocha absorpčeru vestavěna do skříně, která je uzavřena ze všech stran kolektoru. Dále je kolektor tepelně izolován, aby se zamezilo vedení a vyzařování tepla. Na čelní straně je kolektor uzavřen transparentním krytem. Nejběžněji se využívá speciální sklo, které dobře propouští směrem dovnitř a naopak co možná nejlépe zadržuje teplo vyzařované absorpčerem. [2]

Hlavními prvky kolektorů jsou:

- Tepelná izolace
- Absorbér
- Transparentní kryty
- Skřín kolektoru

3.2.1 Tepelná izolace

Tepelnou izolací se rozumí izolace spodních a bočních stran absorpčeru, která má jako své dva hlavní úkoly zamezení tepelných ztrát a izolování tepla v absorpčeru. Izolační materiály pro solární systémy musí vyhovovat předepsané normě ČSN EN 12 975 (Tepelné solární soustavy a součástí - Solární kolektory) a dalším zákonným předpisům. Používají se například pevnostní desky z polyuretanu a dalších materiálů, které mají dobré pevnostní i konstrukční vlastnosti. Izolace by měly snášet teploty až do 200 °C.

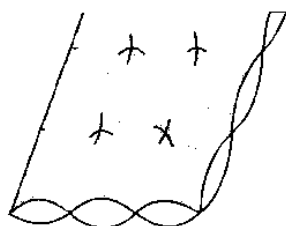
Ty mohou vznikat při teplotních stagnacích, kdy ze systému není odebíráno žádné teplo. Proto se jeví jako nevhodný izolační materiál polystyren, který těmto vysokým teplotám neodolá a téměř se nevyužívá. V tab. 3.1 jsou uvedeny používané izolační materiály. [2]

Tab. 3.1 - Tepelné izolační materiály [2]

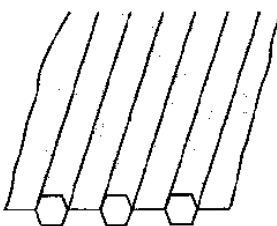
Materiál	Maximální přípustná teplota [°C]	Hustota [kg.m⁻³]	Tepelná vodivost [W.m.K⁻¹]
Minerální vlna	> 200	60-200	0,040
Skelná vata	> 200	30-100	0,040
Pěnové sklo	>200	130-150	0,048
Polyuretanová pěna	>130	30-80	0,030
Polystyren	<80	30-50	0,034

3.2.2 Absorbér

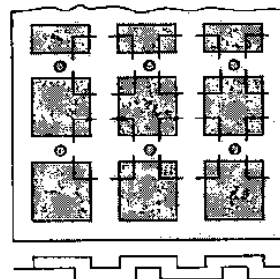
Absorbéry jsou vyráběny téměř výhradě z mědi, která má potřebné vlastnosti jako například velmi dobrá tepelná vodivost, odolnosti proti korozi, vysoká životnost a další. Její nevýhodou je vyšší cena. Dalšími materiály pro výrobu mohou být ocel a hliník. Existuje celá řada konstrukčních typů absorbéru, viz obr. 3.3. Velmi důležitým parametrem absorbéru je jeho povrstvení na horní části. Jedná se o tzv. selektivní vrstvu. Jejím cílem je snížit tepelné ztráty sáláním z absorbéru. Požadavky na selektivní vrstvu jsou takové, aby v oblasti krátkovlnného záření zajišťovaly co nejnižší odrazivost a co nejvyšší pohltivost. V dlouhovlnném záření by tomu mělo být právě naopak. Používají se různé způsoby k nanášení vrstev, např. chemicky, galvanicky, napařováním, napařováním apod. V současné době je nejpoužívanější keramicko – kovový vícevrstvý povlak (cermet). [2]



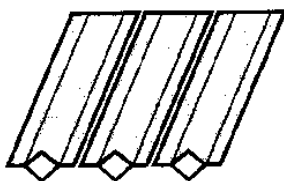
polštářový kolektor z bodově svařených plechů a se zaválcovanými okraji; ocel, nerezové plechy (Solohart)



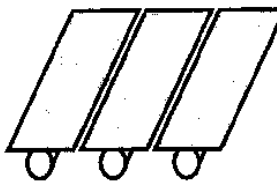
válcovaný hliníkový absorbér s úzkými průtočnými kanálky; hliník (např. SET)



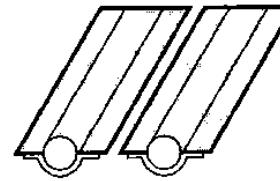
bodově svařený absorbér z plechů z ušlechtilé oceli (Energie Solaire)



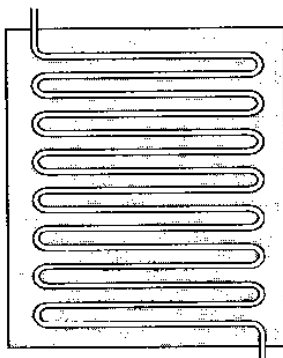
lamelový absorbér s vytlisovanými kanálky; měď, hliník (Sunstrip)



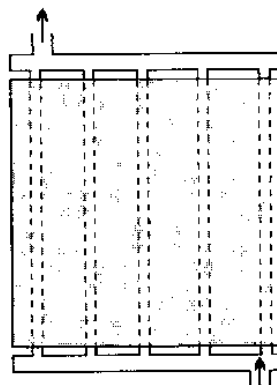
lamelový absorbér s přivařenou trubicí; měď (např. Wagner)



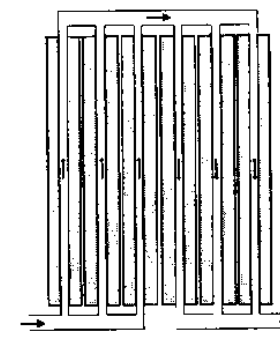
lamelový absorbér ovinutý plechem, bodově svařený; měď (např. Gibo)



serpentinový absorbér s navařeným nebo naleťovaným meandrem; měď (např. Viessmann)



deskový absorbér s trubicovým registrem (např. Buderus)



trubicový registr s jednotlivými lamelami (např. Solvis)

Obr. 3.3 - Konstrukční typy absorberu [2]

3.2.3 Transparentní kryty

Hlavní funkcí zakrytí je dosažení maximální propustnosti na straně vnější a zadržování tepla na straně vnitřní. Výrazně se tak redukuje teplo vyzářené do okolí, zvláště pak při působení větru a dalších vlivů. Dalším úkolem je ochrana absorberu před působením vlhkosti, prachu, drobných nečistot apod. Nejčastěji se jako krycí materiál používá solární sklo v jednoduchém nebo vícenásobném zakrytí. Toto sklo má nízký obsah oxidu železa a tím se minimalizuje pohltivost slunečního záření. Hlavní ztráty těchto zasklení jsou ztráty odrazem slunečního paprsku. Ke zvyšování propustnosti zasklení se používají dva typy úprav. [2]

- Antireflexní povlaky
- Prizmatické zasklení

Antireflexní povlaky: využívají se zde materiály s nízkým indexem lomu. Nanášejí se tenkovrstvé porézní povlaky na bázi SiO_2 a TiO_2 . Tyto povlaky by měly zlepšit propustnost zhruba o 4 až 5 %. [1]

Prizmatické zasklení: jedná se o pyramidové vzory, které jsou na vnější straně zakrytí kolektoru. Sluneční paprsky, které dopadají na kolektor pod velkým úhlem, se o tyto pyramidy lámou a dopadají zhruba v kolmém směru na absorber. [1]

Na zakrytí se používají také materiály z plastických hmot. Zejména jde o polykarbonát nebo plné desky. Nevýhodou těchto materiálů je stárnutí, špatná odolnost vůči vysokým teplotám, kdy dochází k poškození desek, postupné zhoršování mechanické pevnosti a tzv. oslepnutí materiálů vlivem působení UV - záření. Jejich přednostmi je nízká hmotnost a cena. [2]

3.2.4 Skříň kolektoru

Skříň kolektoru sdružuje všechny výše zmiňované prvky do jednoho a tím tvoří celek zvaný kolektor. Konstrukce má za úkol chránit absorbér a tepelnou izolační vrstvu, musí odolávat klimatickým změnám počasí a působení vlhkosti. Je důležité, aby v konstrukci nevznikaly tepelné mosty.

Nejběžnějším materiálem pro výrobu nosné konstrukce je hliník. Z hliníkových profilů se pak dále relativně jednoduchým zpracováním materiálu vyrábí konstrukce. Hliník má příznivé vlastnosti. Příkladem jsou nejpodstatnější: dobrá odolnost vůči povětrnostním vlivům, proti korozi materiálu, relativně nízká váha a příznivá cena. [2]

Dnes se začínají používat i skříňe vyráběné z plastických hmot, ke kterým patří zejména polyesterový skelný laminát. Hlavní složením laminátu je pryskyřice. Výhodnost těchto plastů spočívá v nízké energetické náročnosti na výrobu, dobře odolávají povětrnostním podmínkami a různým chemickým látkám, mají také malou tepelnou vodivost. Jejich negativní vlastností je poměrně velká pružnost materiálu a omezená tepelná odolnost. [2]

Dalšími častěji používanými materiály jsou pozinkované nebo nerezové plechy. Jsou jednoduše tvářitelné běžnými strojními zařízeními a nářadím. Používají se spíše u velkovýrobních sérií, protože v porovnání s hliníkem nebo plastem jsou příliš těžké jako nosné konstrukce. [2]

V poslední době se také na trhu objevily konstrukce z klíženého dřeva. Takto zhotovené konstrukce představují pro běžné uživatele zajímavou cenovou variantu.

Důležitou roli v konstrukci hraje její utěsnění proti vnikání vnějších vlivů do celého elementu kolektoru. Těsnění musí odolávat vysokým rozdílům teplot, které dosahují -20 °C až $+200\text{ °C}$ a zároveň musí odolávat UV- záření. [2] Nejběžnější typy těsnících materiálu jsou uvedeny v tab. 3.2.

Tab. 3.2 - Těsnící materiály používané v kolektorech [2]

Těsnící materiál	Zkratka	Rozsah tepelného použití [°C]	Odolnost UV- záření
Etylen – propylen - dien – kaučuk	EPDM	-40 – 140	Ano
Silikonový kaučuk	MQ/MVQ	-60 – 200	Ano
Fluor – kaučuk	FPM	-20 – 200	Ano
Chloropren – kaučuk	CR	-30 – 100	Ano
Nitril - kaučuk	NSR	-20 – 80	Ne

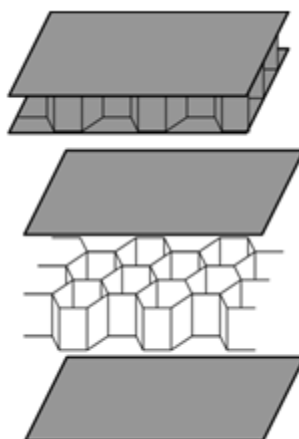
3.3 Zakrytí kolektorů

3.3.1 Solární sklo

Solární sklo (solarglas) je nejvyužívanější materiál k zakrytí kolektorů. Uplatnění však nalézá i v mnoha dalších případech jako například ve fotovoltaických článcích nebo u moderních dotykových telefonů. Jedná se o speciální sklo, které obsahuje minimální množství oxidu železa. Při pohledu na hranu tohoto skla je barva jasně bílá na rozdíl od běžného skla, kde je barva nazelenalá. Vyrábí se jako tvrzené, aby odolalo krupobití a dalším nepříznivým podmínkám. Jeho tloušťka je od 3 do 6 mm a světelná propustnost až 92 %. Používá se buď jednoduché, nebo násobné zasklení se vzduchovými mezerami mezi jednotlivými vrstvami skel. S násobným zasklením ale dochází k omezení propustnosti. V praxi se nejčastěji uplatňuje jednoduché zasklení. Jeho složení je zvoleno tak, aby byla zaručena dlouhodobá životnost (> 25 let) a vysoká provozní teplota, která se u těchto skel může pohybovat nad 200 °C a to bez změny optických a technických vlastností. Někteří výrobci doplňují zasklení vnitřní folií, která dobře propouští světlo. Folie jsou vyráběny zejména z teflonu. Jejich nepříznivou vlastností je vyšší cena a hmotnost na rozdíl od plastových materiálů. [15],[22]

3.3.2 Voštinové struktury

Voštinová struktura (kompozit) je složena nejčastěji ze šestihranných buněk, které jsou v tzv. sendvičovém kompozitu. Z voštinových struktur se vyrábí nejen průhledné desky, ale i nejrůznější desky k výrobě dveří, nábytků apod. Na obr 3.4 je znázorněna struktura voštiny. [7] Jedním z materiálů je například Okalux.



Obr. 3.4 - Struktura voštinové struktury [7]

Okalux

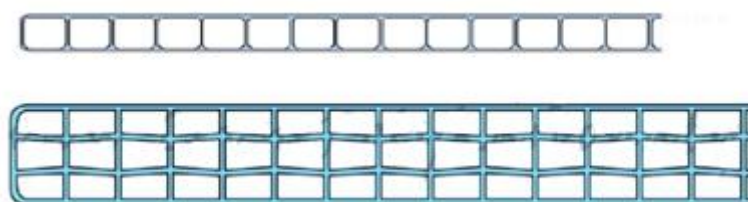
Je jeden z možných materiálů alternativního zakrytí tepelného kolektoru. Okalux je difuzní izolační sklo s průsvitnou kapilární deskou. Jedná se o materiál s dutinami ze skleněných vláken. [8]

Splňuje tyto parametry:

- Jednotný rozptyl světla a propustnost, bez ohledu na sluneční podmínky
- Propustnost světla a celkové solární energie prostupu tepla
- Velmi dobrá tepelná izolace
- Vynikající zvuková izolace
- Ochrana proti UV záření

3.3.3 Komůrkové struktury

Komůrkově strukturovaný materiál někdy také nazývaný jako dutinkový polykarbonát se používá zejména na výrobu polykarbonátových desek. Desky se vyrábějí dvoustěnné (s jednou vrstvou vnitřních komůrek) nebo až sedmistěnné (šest vrstev vnitřních komůrek). Tvar komůrky je čtverec nebo obdélník. Používají se například k zastřešení různých budov, zavětrování nebo třeba jako výplně oken a dveří. [23] Na obr 3.5 je ukázka dvoustěnného a více stěnného provedení. Zástupcem této struktury je například materiál Lexan.



Obr. 3.5 - Dvoustěnné a více stěnné provedení

Lexan

Materiál je vyroben z termoplastického polykarbonátu. Dutinové desky jsou vyvinuty především pro venkovní, ale i vnitřní prostředí. Používá se například pro svislé obvodové konstrukce, střešní konstrukce, renovace, dodatečné tepelné izolace, reklamní účely, vnitřní předěly místností, protihlukové stěny, interiérové podhledy a další. [16]

Splňuje tyto parametry:

- dobrá až velmi dobrá tepelná izolace
- vysoká propustnost světla a jeho rozptyl
- příznivý poměr mezi hmotností a zatížitelností
- dobrá tvarová stálost ve velmi širokém tepelném pásmu
- vysoký bezpečnostní faktor a obtížná rozbitnost
- velmi dobré požární vlastnosti
- hospodárná cena

3.4 Výkon a účinnost kolektorů

3.4.1 Výkon

Stanovuje se z měření průtoku teplotosné kapaliny kolektorem a rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem kolektoru.

$$Q_k = M \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1}) \quad (3.1)$$

kde

M	hmotnostní průtok teplotosné kapaliny kolektorem	[kg.s-1]
c	měrná tepelná kapacita teplotosné kapaliny	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
t _{k1}	teplota na vstupu do solárního kolektoru	[°C]
t _{k2}	teplota na výstupu ze solárního kolektoru	[°C]
Q _k	tepelný výkon solárního kolektoru	[W]

Účinnost solárního kolektoru η je za ustálených podmínek definována jako poměr tepelného výkonu odváděného teplotosnou kapalinou z kolektoru Q_k k "příkonu" slunečního záření (zářivému toku) dopadajícího na kolektor. [19]

$$\eta = \frac{Q_k}{G \cdot A_k} \quad (3.2)$$

kde

G	sluneční ozáření	[W.m ⁻²]
A _k	vztažná plocha kolektoru	[m ²]

3.4.2 Účinnost

Účinnost je závislá na venkovních klimatických podmínkách (sluneční ozáření G , venkovní teplota t_e) a provozních podmínkách (střední teplota teplotnosné kapaliny t_m). Vyhodnocuje se experimentální zkouškou v souladu s ČSN EN 12975 jako křivka 2. řádu ve tvaru. [19]

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (3.3)$$

kde

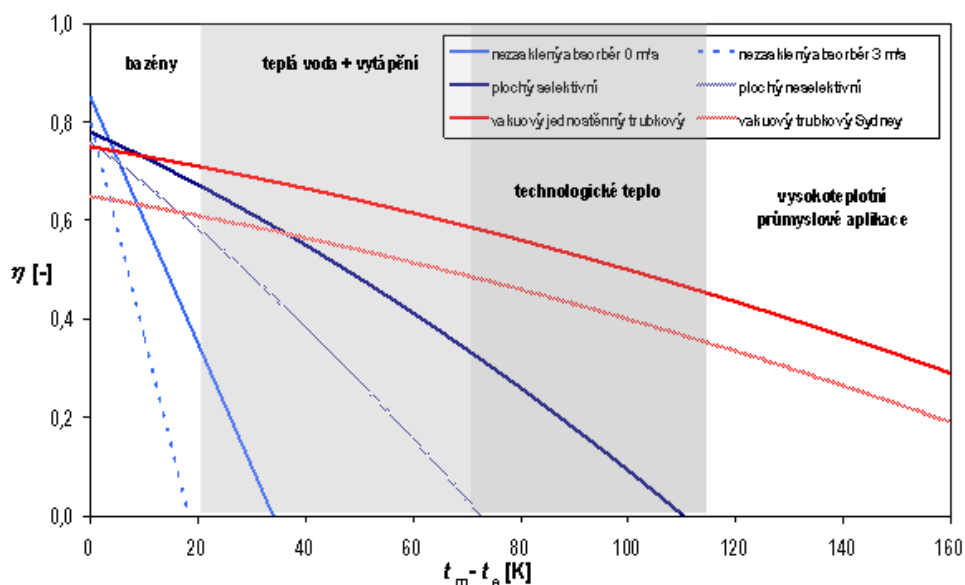
η_0	je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou teplotnosné kapaliny t_m a okolím t_e (nulové tepelné ztráty), zjednodušeně označována jako "optická účinnost"	
t_m	střední teplotou teplotnosné kapaliny	[°C]
t_e	teplota okolí	[°C]
a_1	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje teplotní závislost)	[W.m ⁻² .K ²]

Graficky se křivka zobrazuje v obecné závislosti na středním redukovaném teplotním spádu $(t_m - t_e).G^{-1}$. Účinnost, resp. křivka účinnosti (konstanty η_0 , a_1 , a_2) solárního kolektoru musí být vždy uváděna společně se vztažnou plochou kolektoru A_k , ke které byla vztažena. Člen η_0 je účinnost kolektoru při nulovém teplotním rozdílu mezi kapalinou a okolím, tedy při maximálním omezení tepelných ztrát. Vyjadřuje optickou kvalitu kolektoru (propustnost zasklení, pohltivost absorberu) a zároveň schopnost kolektoru odvést teplo z povrchu absorberu do teplotnosné kapaliny. Často se označuje jako optická účinnost kolektoru. Členy a_1 a a_2 pak vyjadřují tepelné ztráty kolektoru, tedy sklon a zakřivení křivky účinnosti (lineární a kvadratický charakter). [19]

Křivka účinnosti je nejčastěji citovaný parametr solárního kolektoru a dodavatel, který ji nedokáže prokázat protokolem ze zkoušky v akreditované laboratoři, vlastně zákazníkovi nemůže podat informaci o energetické kvalitě kolektoru a jeho potenciálním tepelném výkonu. V grafu 3.1 jsou znázorněny typické křivky účinnosti základních druhů solárních kolektorů, vyjádřené v závislosti na teplotním spádu pro hodnotu slunečního ozáření $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Nezasklené kolektory se vyznačují vysokou optickou účinností, na druhé straně vysokými tepelnými ztrátami, výrazně ovlivněnými rychlostí proudění okolního vzduchu (větru). Naproti tomu u kvalitních solárních kolektorů s nízkými tepelnými ztrátami (selektivní absorber, vakuový kolektor) klesá účinnost s rostoucím teplotním spádem výrazně méně. V grafu jsou vyznačeny typické rozsahy provozních teplotních rozdílů mezi teplonosnou kapalinou a okolním vzduchem v základních aplikacích. [19]

Z jednoduchého porovnání křivek vyplývá použití jednotlivých druhů solárních kolektorů v daných aplikacích. Pro sezónní ohřev bazénové vody nemá smysl používat drahé trubkové vakuové Sydney kolektory vykazující v nízkoteplotních hladinách dokonce nižší účinnost než levné nezasklené kolektory. V oblasti přípravy teplé vody a vytápění jsou trubkové vakuové kolektory a atmosférické ploché kolektory z hlediska účinnosti vztahované k ploše apertury (plocha průmětu otvoru, kterým vstupuje do kolektoru nesoustředěné sluneční záření, zpravidla plocha průmětu zasklení nebo reflektoru) srovnatelné. Pro průmyslové aplikace s vysokými provozními teplotami jsou nutné kolektory s velmi nízkou tepelnou ztrátou (trubkové vakuové, případně kvalitní koncentrační kolektory). [19]

Graf 3.1 - Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů [19]



3.4.3 Tepelný výkon

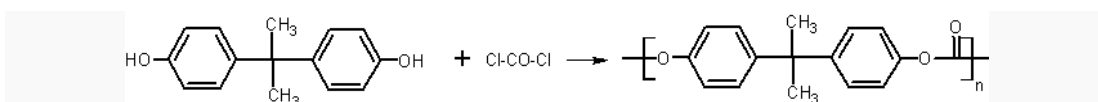
$$Q_k = A_k \cdot [G \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (t_m \cdot t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2] \quad (3.4)$$

Výkon kolektoru se vyhodnocuje jako závislost na teplotním rozdílu ($t_m - t_e$) při referenční hodnotě slunečního ozáření $G = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Uvádění křivky výkonu solárního kolektoru má tu výhodu, že oproti křivkám účinnosti je vyjádřena pro celý kolektor bez vlivu volby vztažné plochy (absorbér, apertura, obrysová plocha). Na druhé straně výkonovými křivkami nelze porovnat energetickou kvalitu dvou různě velkých kolektorů. [19]

Pro uvádění instalovaného výkonu solárního kolektorového pole jsou definovány podmínky: $G = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $t_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Instalovaný výkon je určen bez ohledu na sklon či orientaci kolektoru, předpokládá se kolmý dopad paprsků na aperturu kolektoru, podobně jako např. u biomasy je jmenovitý výkon kotle stanoven pro referenční palivo. Pro orientační stanovení instalovaného výkonu solárních soustav bez ohledu na konkrétní použitý typ kolektoru a konkrétní typ aplikace se ve statistických šetřeních používá hodnota $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ apertury kolektoru. [19]

4 MAKROLON

Vyrábí se jako komůrkové nebo plné polykarbonátové desky. Polykarbonáty patří mezi termoplastické polymery neboli termoplasty. Umožňují snadné zpracování za tepla např. vstřikováním nebo lisováním. Vykazují dobrou tepelnou odolnost, odolnost proti nárazu a dobré optické vlastnosti. Název polykarbonátů je odvozen od funkčních karbonátových (uhličitanových) skupin (-O-(C=O)-O-). Nejběžnější typ polykarbonátu se vyrábí polykondenzací. Na obr. 4.1 je zjednodušené schéma syntézy (spojení uhlovodíků) polykarbonátu. [6]



Obr. 4.1 - Syntéza polykarbonátu [6]

Komůrkové polykarbonátové desky jsou vynikajícím materiálem pro tepelné izolační nerozbitné zasklívání, prosvětlování a zastřešení. Výrobce desky opatřuje ochrannou vrstvou proti UV záření, která má zajistit jejich mimořádnou odolnost vůči stárnutí způsobeném klimatickými podmínkami a zabezpečuje dlouhou životnost. Dále zajišťuje dlouhodobé zachování optických vlastností a pomáhá zachovat vysokou tuhost a únosnost. Vrstvou se opatřuje jedna strana desek, která je zřetelně označena potištěnou ochrannou fólií. Tato strana musí být vždy instalována směrem ven. Vysoká rázová houževnatost desek zajišťuje výraznou bezpečnost. U materiálu se vylučuje vznik střeptů a dále se minimalizuje možnost poškození při dopravě a montáži. Polykarbonátové komůrkové desky se instalují rovné nebo ohýbané za studena. Bezpečný poloměr ohybu pro zachování vlastností materiálu je dán technickými údaji u konkrétní tloušťky a provedení desek. [17]

Vlastnosti komůrkových polykarbonátových desek:

- extrémní odolnost proti rozbití
- vysoká odolnost proti povětrnostním vlivům
- nízká hmotnost
- snadná zpracovatelnost a montáž
- stabilita fyzikálních a mechanických vlastností v širokém teplotním rozmezí (-40 °C až +115 °C)
- vynikající tepelně izolační vlastnosti
- možnost ohýbání za studena
- homogenní povrch, snadná údržba
- velmi dobrá propustnost světla

Technické vlastnosti jsou uvedeny pouze pro číré desky s největší světelnou propustností viz tab. 4.1

Tab. 4.1 - Technické vlastnosti komůrkových desek [9]

Síla [mm]	Typ počet stěn/síla [mm] šíře komůrek [mm]	Prostup tepla U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Hmotnost [kg.m ⁻²]	Světelná Propustnost [%]
4	2/4-6	4,10	0,80	79
6	2/6-6	3,70	1,30	77
8	2/8-10,5	3,30	1,50	81
	4/8-6	2,76	1,60	68
10	2/10-10,5	3,10	1,70	80
	4/10-6	2,50	1,75	68
16	3/16-25	2,00	2,50	66
	6/16-20	1,80	2,80	59
20	6/20-20	1,70	3,10	58
25	5/25-25	1,60	3,50	54
	6/25-25	1,45	3,40	62
32	5/32-25	1,40	3,70	54
40	5/40-25	1,20	4,20	54

Plné polykarbonátové desky jsou velice podobné sklu nebo plexisklu. Liší se tím, že jsou prakticky nerozbitné. Desky jsou velmi houževnaté a odolné vůči nárazům. Stejně jako u komůrkových desek je zde možné ohýbání za studena a zároveň je možné tvářet za tepla.

Díky vysoké průsvitnosti, hladkému povrchu a praktické nerozbitnosti nacházejí plné desky široké uplatnění v různých odvětvích, a to jak v interiérových, které jsou vyráběny bez UV filtru, tak i v exteriérových aplikacích výhradně s UV filtrem. [18]

Vlastnosti plných polykarbonátových desek:

- extrémní odolnost proti prasknutí
- velmi dobrý prostup světla
- teplotní rozsah použití od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$
- možnost ohýbání zastudena
- nízká hmotnost
- snadná zpracovatelnost a montáž

Technické vlastnosti jsou uvedeny pouze pro čiré desky s největší světelnou propustností viz tab. 4.2

Tab. 4.2 - Technické vlastnosti plných desek [10], [11]

Síla [mm]	2	3	4	5	6	8	10	12	15
Světelná propustnost [%]	88	87	87	86	85	84	82	81	79
Prostup tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	5.62	5.49	5.34	5.21	5.09	4.84	4.61	4.35	3.96

5 HODNOCENÍ ÚČINNOSTI

Jako základ k hodnocení teoretické účinnosti plochého kolektoru vzhledem k použití zakrytí makrolonovou deskou byl použit volně stažitelný program s názvem Kolektor 2.2. Autorem tohoto programu jsou Ing. Tomáš Matuška, Ph.D a Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D, Technická 4, 166 07 Praha 6. Softwarový nástroj Kolektor 2.2 byl vytvořen v jazyce Visual Basic Studio. Vyhodnocuje podrobné geometrické a fyzikální parametry jednotlivých prvků v kolektoru. Parametry kolektoru jsou zadány pomocí nástrojových karet: design parameters, absorber, glazing and insulation (konstrukční parametry, absorber, zasklení a izolace). Výsledkem je tepelný výkon pro daný rozsah teplot a klimatických podmínek, teplotní stagnace (teplotní změny), střední teploty a součinitele přestupu tepla na jednotlivých kolektorových plochách. Nástroj Kolektor 2.2 je univerzální program pro modelování výkonnosti v širokém rozsahu plochých solárních kolektorů, kde je možné si mezi atmosférickým nebo vakuovým typem. Je možné si také zvolit, zda se má jednat o samostatně instalovaný kolektor nebo integrovaný do pláště budovy.

Jádrem programu je matematický model solárního kolektoru, který se skládá z vnější energetické bilance absorberu (přenos tepla z povrchu absorberu na okolní prostředí) a vnitřní energetické bilance absorberu (přenos tepla z povrchu absorberu na přenos tepla tekutiny). Model řeší energetickou bilanci solárního kolektoru v ustáleném stavu.

Pro experimentální výpočet byl zvolen plochý deskový kolektor s jednoduchým uspořádáním absorberu o ploše 1 m² a izolačního materiálu z polyuretanu o tloušťce 50 mm. Teplonosná kapalina, která protéká kolektorem, je voda.

Pro zasklení standartním solárním sklem o tloušťce 4 mm:

Design parameters (konstrukční parametry)

$$t_{in} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m' = 0,02 \text{ kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

$$G = 700 \text{ W.m}^{-2}$$

$$t_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\varphi_a = 50 \%$$

$$w = 4 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\beta = 45 \text{ deg}$$

$$\varepsilon_{as} = 0,8$$

$$L_g = 1 \text{ m}$$

$$H_g = 1 \text{ m}$$

$$L_a = 1 \text{ m}$$

$$H_a = 1 \text{ m}$$

Type of collector instalation (typ instalace kolektorů) - Separate (samostatné)

$$d_p = 20 \text{ mm}$$

$$d_z = 20 \text{ mm}$$

Absorber (absorbér)

Material (materiál) - Copper (Měď)

$$\lambda_{abs} = 390 \text{ W. m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$D_{abs} = 0,2 \text{ mm}$$

$$N_{tp} = 10 \text{ psc}$$

$$D_e = 10 \text{ mm}$$

$$D_i = 8 \text{ mm}$$

Type of bond (typ spojení) - Upper (samostatné)

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$b = 3 \text{ mm}$$

$$\lambda_{sp} = 300 \text{ W. m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\alpha_{abs} = 0,95$$

$$\varepsilon_{abs,p} = 0,05$$

$$\varepsilon_{\text{abs.z}} = 0,5$$

Fluid type (druh kapaliny) - Water (voda)

Glazing and insulation (zasklení a izolace)

Material (materiál) - Glass (sklo)

$$d_{\text{gl}} = 4 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,92$$

$$\rho_n = 0.06$$

$$\varepsilon_{\text{p1}} = 0,85$$

$$\varepsilon_{\text{p2}} = 0,85$$

Material (materiál) - Polyurethane (Polyuretanová izolace)

$$d_{\text{fr}} = 50 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{\text{f,z1}} = 0,5$$

$$\varepsilon_{\text{f,z2}} = 0,5$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal resistance (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,8 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Gas pressure (tlak plynu) = 100 kPa

Po vyplnění těchto hodnot do programu se na poslední kartě Calculation (výpočet) označí políčko For given tin (pro danou konstrukci) a zadá calculate (vypočítat). Objeví se několik hodnot jako například tepelné ztráty a teploty v různých částech konstrukce. V mém případě jsou použity teploty $t_{\text{in}} = t_{\text{k1}}$ a $t_{\text{out}} = t_{\text{k2}}$. Vypočtené teploty pro dané zasklení jsou uvedeny v tab. 5.1. Pro jiný typ zasklení se ponechají stejné hodnoty konstrukce a mění se pouze hodnoty na kartě Glazing and insulation (zasklení a izolace). Podrobnější popis výpočtového programu v anglické verzi je dostupný online. [12]

Pro plnou makrolonovou desku 3 mm:

$$d_{gl} = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,87$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pro plnou makrolonovou desku 4 mm:

$$d_{gl} = 4 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,87$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pro plnou makrolonovou desku 5 mm:

$$d_{gl} = 5 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,86$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pro plnou makrolonovou desku 6 mm:

$$d_{gl} = 6 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,85$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pro komůrkovou makrolonovou desku 6 mm:

$$d_{gl} = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,87$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,21 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pro komůrkovou makrolonovou desku 8 mm:

$$d_{gl} = 8 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,87$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,21 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pro komůrkovou makrolonovou desku 6 mm:

$$d_{gl} = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,87$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,21 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Pro komůrkovou makrolonovou desku 6 mm:

$$d_{gl} = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_n = 0,87$$

$$\rho_n = 0.09$$

Thermal properties (tepelné vlastnosti) - Thermal rezistence (tepelná vodivost)

$$\lambda = 0,21 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

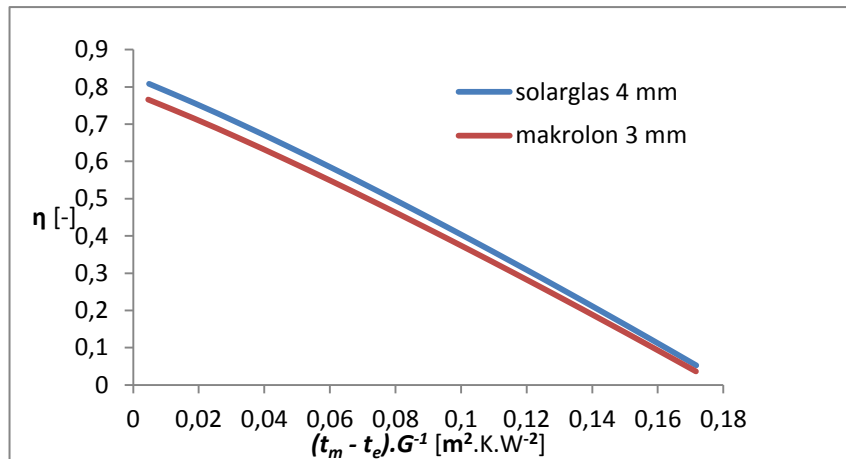
Výpočet tepelného výkonu Q_k byl proveden pomocí výpočtového vzorce z kapitoly 3.4.1. Hodnoty t_{k1} a t_{k2} byly pro konkrétní typ zakrytí dosazeny z výsledků programu. Hmotnostní průtok teplotnosné kapaliny $M = 0,02 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a tepelná kapacita teplotnosné látky (v našem případě voda) $c = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Účinnost η je vypočítaná ze vzorce pro účinnost z kapitoly 3.4.1 a vztažná plocha $A_k = 1 \text{ m}^2$ je navržena tak, aby výsledná hodnota byla pro 1 m^2 zakrytí kolektoru.

Tab 5.1 - Účinnost zakrytí

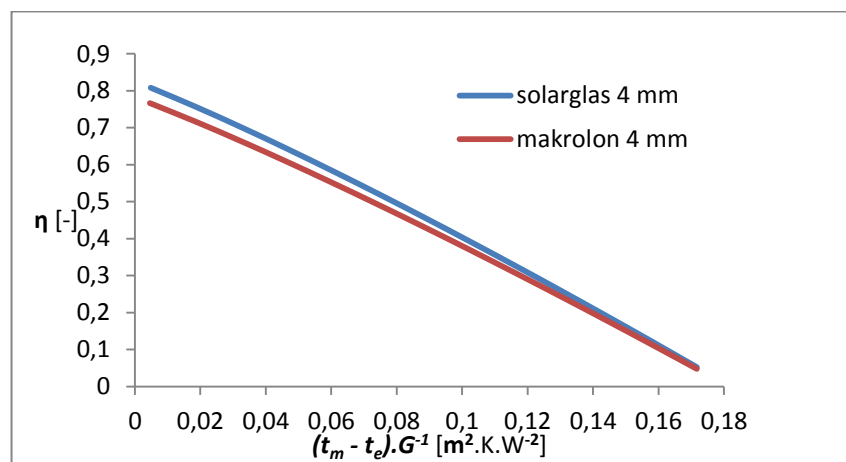
Materiál	Struktura	Typ počet stěn/síla [mm] šíře komůrek [mm]	Tloušťka [mm]	t_{k1} [°C]	t_{k2} [°C]	Q_k [W]	η [-]
solarglass	plná	-	4	50	55,4	451,44	0,645
Makrolon		-	3	50	55,1	426,36	0,609
		-	4	50	55,1	426,36	0,609
		-	5	50	55	418	0,597
		-	6	50	55	418	0,597
Makrolon	komůrková	2/6-6	6	50	54,4	367,84	0,525
		2/8-10,5	8	50	54,7	392,92	0,561
		2/10-10,5	10	50	54,7	392,92	0,561
		3/16-25	16	50	53,8	317,68	0,454

Dále jsou zde uvedeny účinnostní křivky jednotlivých typů zakrytí v porovnání se standardním krycím sklem o tloušťce 4 mm. Jednotlivé hodnoty jsou získány pomocí karty Calculation (výpočet), kde je označeno políčko Efficiency curve calculation (výpočet křivky účinnosti). Jednotlivé křivky se počítají pro každý typ zakrytí samostatně. Hodnoty se uloží v nabídce programu calculation (výpočet) po označení Results export (export výsledků). Tyto hodnoty jsou vloženy do grafu a proloženy křivkou.

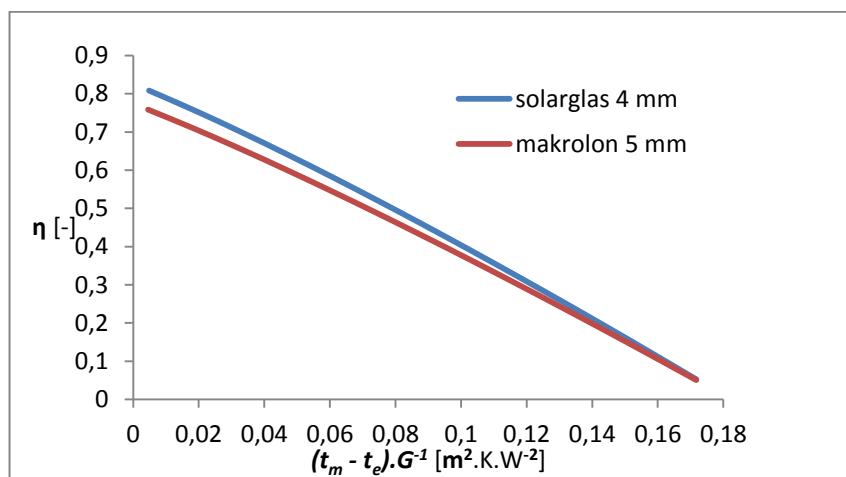
Graf 5.1 - Solarglas 4 mm a makrolon 3 mm



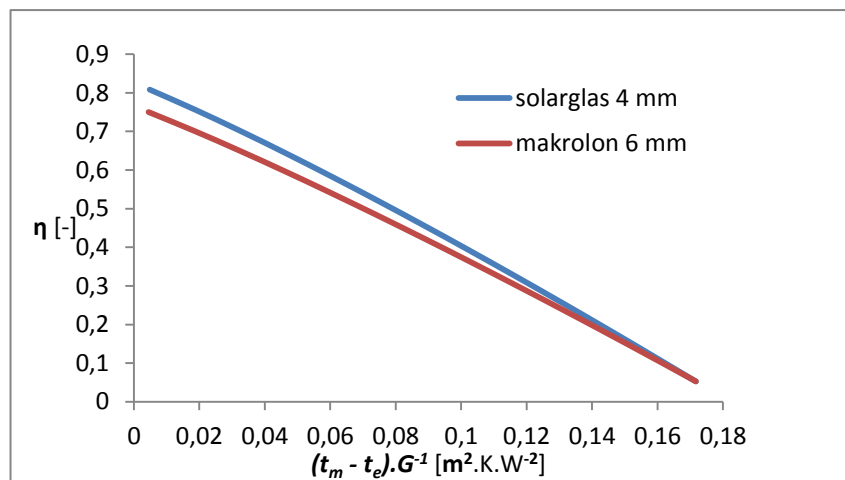
Graf 5.2 - Solarglas 4 mm a makrolon 4 mm



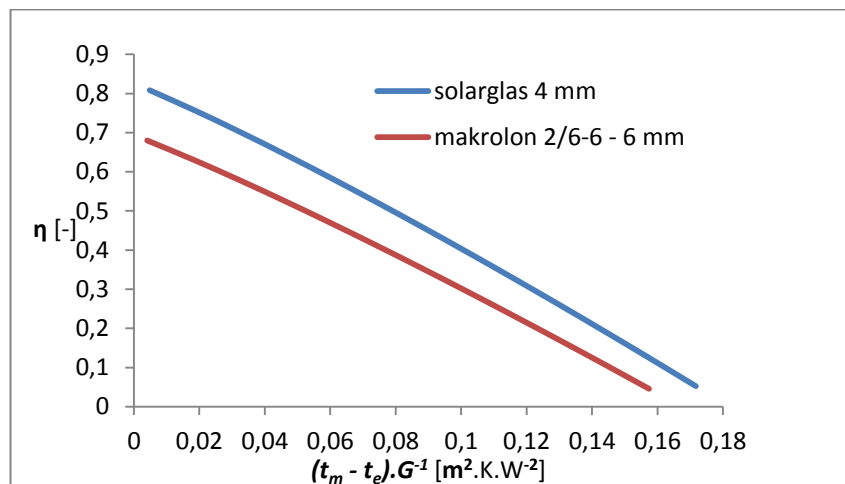
Graf 5.3 - Solarglas 4 mm a makrolon 5 mm



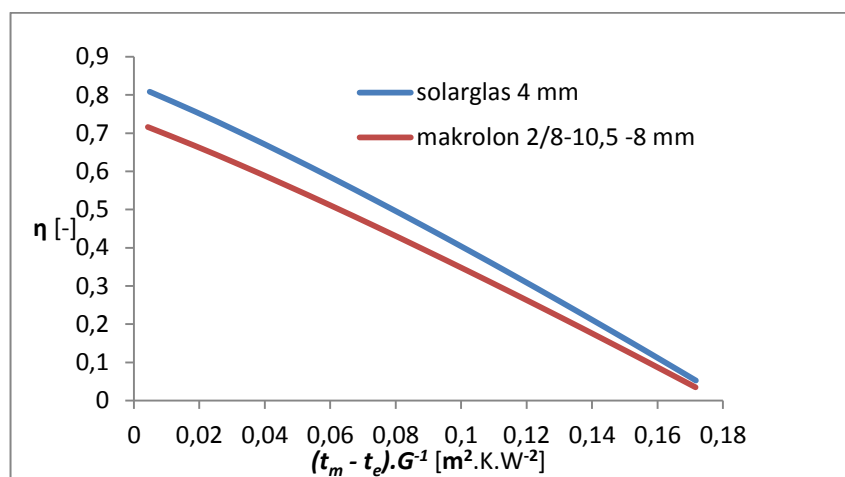
Graf 5.4 - Solarglas 4 mm a makrolon 6 mm



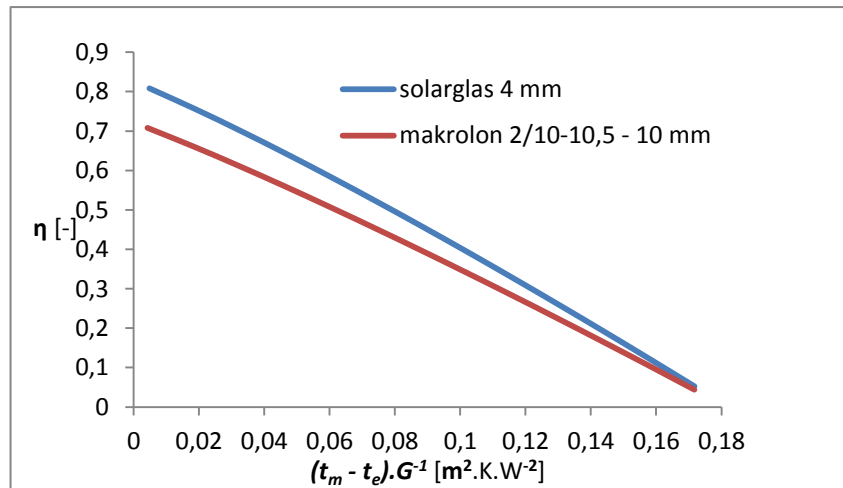
Graf 5.5 - Solarglas 4 mm a makrolon 2/6-6 - 6 mm



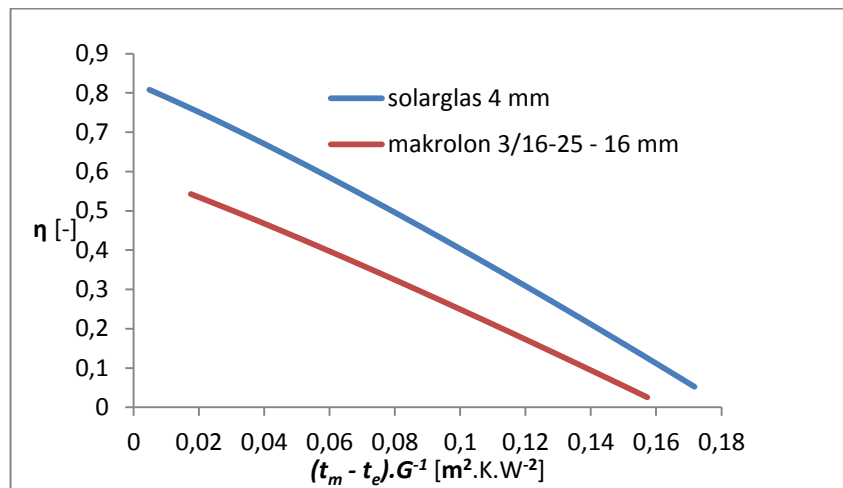
Graf 5.6 - Solarglas 4 mm a makrolon 2/8-10,5 - 8 mm



Graf 5.7 - Solarglas 4 mm a makrolon 2/10-10,5 - 10 mm



Graf 5.8 - Solarglas 4 mm a makrolon 3/16-25 - 16 mm



6 ZÁVĚR A DISKUZE

Cílem této práce bylo porovnat možnost zakrytí kolektoru polykarbonátovým materiálem s obchodní názvem Makrolon. Zjistit účinnost soustavy zakrytou běžným solárním sklem o tloušťce 4 mm a porovnat jí s polykarbonátovými deskami. K dosažení výsledků bylo nutné navrhnout jednoduchý plochý atmosférický kolektor, jehož teplotonosná kapalina je voda. Porovnávány byly možnosti plných desek nebo desek s komůrkovou strukturou.

Z výpočtových účinností křivek vyplývá, že plné desky mají jen o něco málo menší účinnost než solární sklo. V grafické porovnání je vidět, že nejsrovnatelněji dopadla plná makrolonová deska o tloušťce 4 mm. Naopak komůrkové desky se ukázaly jako nevhodné vzhledem k jejich vysoké ztrátovosti tepelné bilance celé soustavy. Pozitivní vlastnost v oblasti solární kolektorů si makrolon nese výhodu nízké hmotnosti oproti solárnímu sklu. Tím je možné zmenšit celkové nosné nároky na rám kolektoru a plochu, na kterou má být kolektor instalován. Z hlediska ekonomického porovnání lze ušetřit za polykarbonátovou desku 4 mm oproti solarglas 4 mm jen do 10 % ceny. Materiál má však také i negativní vlastnosti, a sice omezená provozní teplota, která je limitována + 120 °C. Při běžném ohřevu užitkové vody se ale těchto teplot nedosahuje a proto je možné tento materiál použít. Mezi nejhorší vlastnost patří stárnutí materiálu a jeho postupné snižování optické propustnosti vlivem zažloutnutí povrchu. Výrobce se podle certifikace musí řídit 10 ti letou zárukou pro zachování podobných vlastností. Konstrukce solárních kolektorů mají však mnohdy delší životnost a postupem času by tak ztrácely svoji účinnost. Solární sklo je oproti polykarbonátu v tomto ohledu několikanásobně stálejší.

Závěrem bych plný deskový polykarbonát, jako alternativní zakrytí kolektoru doporučil i přes jeho četné negativní vlastnosti. Při zástavbě do soustavy bych však nejdříve zhodnotil, jak dlouho bude soustava využívána a zda se v tomto časovém úseku vyplatí použít Makrolon.

7 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

t_{in}	teplota vstupní kapaliny	[°C]
m'	hmotnost specifického průtoku kapaliny	[kg.s ⁻¹ .m ⁻²]
G	globální sluneční záření	[W.m ⁻²]
t_a	teplota okolí	[°C]
φ_a	relativní vlhkost okolí	[%]
w	rychlost větru	[m.s ⁻¹]
β	sklon kolektoru	[deg]
ε_{as}	emisivita vyzařování přilehlého čelního povrchu	[-]
L_g	hrubá výška	[m]
H_g	hrubá šířka	[m]
L_a	výška otvoru	[m]
H_a	šířka otvoru	[m]
d_p	tloušťka vzduchové mezery mezi zasklením a absorbérem	[mm]
d_z	tloušťka vzduchové mezery mezi absorbérem a rámem	[mm]
λ_{abs}	tepelná vodivost absorbéru	[W. m ⁻¹ .K ⁻¹]
d_{abs}	tloušťka absorbéru	[mm]
n_{tp}	počet trubek	[kus]
D_e	vnější průměr trubky	[mm]
D_i	vnitřní průměr trubky	[mm]
a	průměrná šířka spojení	[mm]
b	průměrná tloušťka spojení	[mm]
λ_{sp}	tepelná vodivost spojení	[W. m ⁻¹ .K ⁻¹]
α_{abs}	pohltivost slunečního záření absorbéru	[-]
$\varepsilon_{abs,p}$	vyzařování předního povrchu absorbéru	[-]
$\varepsilon_{abs,z}$	vyzařování zadního povrchu absorbéru	[-]

d_{gl}	tloušťka zakrytí	[mm]
τ_n	normální sluneční záření	[-]
ρ_n	normální sluneční odrazivost	[-]
ε_{p1}	emisivita vnějšího povrchu	[-]
ε_{p2}	emisivita vnitřního povrchu	[-]
d_{fr}	tloušťka izolace	[mm]
$\varepsilon_{f,z1}$	emisivita povrchu vnějšího rámu	[-]
$\varepsilon_{f,z2}$	emisivita povrchu vnitřního rámu	[-]
λ	tepelná vodivost zakrytí	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]

8 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ

8.1 Seznam tabulek

Tab. 2.1 - Procentuální složení Slunce,	str. 9
Tab. 3.1 - Tepelné izolační materiály,	str. 18
Tab. 3.2 - Těsnící materiály používané v kolektorech,	str. 22
Tab. 8.1 - Technické vlastnosti komůrkových desek,	str. 30
Tab. 8.2 - Technické vlastnosti plných desek,	str. 31
Tab. 5.1 - Účinnost zakrytí,	str. 37

8.2 Seznam obrázků

Obr. 2.1 - Spektrální charakteristika zářivého toku,	str. 10
Obr. 2.2 - Vzájemné postavení Země a Slunce,	str. 10
Obr. 2.3 - Mapa roční dávka slunečního svitu na vodorovnou plochu v ČR [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],	str. 11
Obr. 2.4 - Roční doba slunečního svitu v ČR [hod],	str. 12
Obr. 3.1 - Typy absorbérů u nekrytých kolektorů,	str. 14
Obr. 8.2 - Typy absorbérů u plochých kolektorů,	str. 15
Obr. 3.3 - Konstrukční typy absorbéro,	str. 19
Obr. 3.4 - Struktura voštinové struktury,	str. 23
Obr. 3.5 - Dvoustěnné a více stěnné provedení,	str. 24

Obr. 8.1 - Syntéza polykarbonátu, str. 29

8.3 Seznam grafů

Graf 3.1 - Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů, str. 28

Graf 5.1 - Solarglas 4 mm a makrolon 3 mm, str. 38

Graf 5.2 - Solarglas 4 mm a makrolon 4 mm, str. 38

Graf 5.3 - Solarglas 4 mm a makrolon 5 mm, str. 38

Graf 5.4 - Solarglas 4 mm a makrolon 6 mm, str. 39

Graf 5.5 - Solarglas 4 mm a makrolon 2/6-6 - 6 mm, str. 39

Graf 5.6 - Solarglas 4 mm a makrolon 2/8-10,5 - 8 mm, str. 39

Graf 5.7 - Solarglas 4 mm a makrolon 2/10-10,5 - 10 mm, str. 40

Graf 5.8 - Solarglas 4 mm a makrolon 3/16-25 - 16 mm, str. 40

9 POUŽITÉ ZDROJE

9.1 Literatura

[1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009, 194 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 978-80-02-02186-5.

[2] LADENER, Heinz. *Solární zařízení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.

[3] THEMESSEL, Armin. *Solární systémy: návrhy a stavba svépomocí*. V Gradě 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 116 s. ISBN 80-247-0589-3.

[4] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 136 s. Profi. ISBN 978-80-247-3503-0.

[5] MURTINGER, Karel. *Solární energie pro váš dům*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005, vi, 91 s. ISBN 80-736-6029-6.

[6] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2007, 207 s. ISBN 978-807-0806-623.

[7] KOŘÍNEK, Zdeněk. [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://mujweb.cz/zkorinek/vlakna.pdf>

[8] SCHOTT . [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
http://www.us.schott.com/architecture/english/download/okalux08_v3.pdf

[9] ZENIT. [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.polykarbonatove-desky.cz/public/media/ceniky/cenik-polykarbonat-komurkove-desky.pdf>

[10] PALSUN. [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
http://www.cpchile.com/pdf/monolitico/palsun/PALSUN_Technical_Manual.pdf

[11] ZENIT. [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
http://www.polykarbonatove-desky.cz/public/media/plny_polykarbonat/technicke_listy/polykarbonat_Makrolon_UV_tech_list.pdf

[12] KOLEKTOR 2.2 [online]. 2009 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
http://users.fs.cvut.cz/~matustom/kolektor/Reference_Handbook_KOLEKTOR_012_009.pdf

9.2 Internet

[13] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://aldebaran.cz/astrofyzika/sunsystem/slunce.html>

[14] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.chmi.cz/>

[15] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.solvis.hr/product/solar-glas/>

[16] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.bonega.cz/go.asp?odkaz=stavmat/lexan/lexan.htm>

[17] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.polykarbonatove-desky.cz/komurkove-polykarbonatove-desky/>

[18] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.polykarbonatove-desky.cz/plne-polykarbonatove-desky/>

[19] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/parametry-solarnich-kolektoru>

[20] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:

<http://www.mojeslunce.cz/o-fotovoltaice/slunecni-energie-v-cr/>

[21] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:

<http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/sunsystem/slunce.html>

[22] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:

<http://www.chemie.de/lexikon/Solarglas.html>

[23] [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:

<http://www.polykarbonat-expert.cz/polykarbonat/komurkovy-polykarbonat/>