

Instalatér solárních termických soustav (kód: 23-099-M)

Autorizující orgán:

Kvalifikační úroveň NSK – EQF:

Ministerstvo průmyslu a obchodu

4

Základní studijní materiály pro zkoušku profesní kvalifikace

Studijní materiály byly vytvořeny podle předepsaného rozsahu odborné způsobilosti NSK s využitím studijních materiálů doc. Ing. Tomáše Matušky Ph.D. a Ing. Bořivoj Šourka Ph.D., Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT Praha (skripta a přednášky „Solární tepelné soustavy 1“ a „Solární tepelné soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění“).

Solární energie s.r.o.
Květen 2015

1a) Normy týkající se solárních kolektorů a soustav

ČSN EN 12975-1+A1 (73 0301) Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 1: Všeobecné požadavky

Základní požadavky na kolektory, materiály a konstrukce včetně požadovaných zkoušek a kritérií jejich úspěšnosti. Požadavky na bezpečnost a identifikaci kolektoru (montážní návod, označení štítkem, povinná výkresová dokumentace a délka uchování-archivace).

ČSN EN 12976-1 (73 0302) Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy průmyslově vyráběné – Část 1: Všeobecné požadavky

Základní požadavky na průmyslově vyráběné kolektory a soustavy

- Všeobecné
- použitelnost pro pitnou vodu, znečištění vody
 - ochrana proti přehřátí a mrazu
 - tlaková odolnost a ochrana proti zpětnému proudění
 - bezpečnost v rozvodech elektřiny

Použité materiály

Součásti a potrubí

- kolektor
- nosný rám
- výměník tepla
- regulace

Pojistné zařízení

- pojistné ventily
- expanze,
- výfukové potrubí

Dokumentace

- pro montáž
- pro uživatele

Označování kolektorů

Tepelný výkon soustavy

ČSN EN 12976-2 (73 0302) Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy průmyslově vyráběné – Část 2: Zkušební metody

Norma uvádí požadavky na zkoušky průmyslově vyráběných kolektorů.

Odolnost proti mrazu

- soustavy s nemrznoucí směsí
- vyprazdňující se soustavy
- vypouštěcí soustavy
- kombinovaná protiúrazová ochrana s řídicími funkcemi

Ochrana proti přehřátí

Tlaková odolnost

Znečištění vody

Ochrana proti blesku

Bezpečnostní zařízení

- pojistné ventily
- pojistné a expanzní potrubí
- výfukové potrubí

Označování

Charakteristika tepelného výkonu vč. stanovení ukazatelů ročního výkonu

Schopnost solárních soustav s dodatkovým zdrojem tepla krýt zatížení

- mezní podmínky pro dodatkový ohřev
- mezní podmínky pro denní zatížení
- určení schopnosti krýt nejvyšší denní zatížení zkoušením soustavy
- stanovení schopnosti krýt nejvyšší denní zatížení numerickou simulací

Ochrana proti zpětnému průtoku

Bezpečnost elektrických zařízení

ČSN EN ISO 9488 (73 0300) Solární energie – Slovník

Terminologie oblasti solární energie včetně její definice (česko – anglicky); překlad termínů do francouzštiny a němčiny.

ČSN EN ISO 9806 (73 0304) Solární energie – Solární tepelné kolektory – Zkušební metody

Tato norma uvádí zkušební metody pro hodnocení trvanlivosti, spolehlivosti a bezpečnosti kolektorů ohřívajících tekutiny. Norma také obsahuje zkušební metody pro charakterizaci tepelného chování kolektorů, zejména ustálený a kvazidynamický tepelný výkon zasklených a nezasklených kapalinových kolektorů a ustálený výkon zasklených a nezasklených vzduchových kolektorů (otevřených do venkovního prostředí stejně jako s uzavřeným oběhem).

Tato norma je použitelná i pro hybridní kolektory produkující teplo a elektrickou energii, nicméně nepokrývá elektrickou bezpečnost nebo ostatní specifické vlastnosti týkající se produkce elektrické energie.

TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup

Výpočtový postup

Stanovení potřeby tepla

- potřeba tepla na přípravu teplé vody
- potřeba tepla na vytápění
- potřeba tepla na ohřev bazénové vody

Stanovení využitelných tepelných zisků solární soustavy

Klimatické údaje

- dávka celkového slunečního ozáření H dopadající za den na různě orientovanou a sklonnou plochu v jednotlivých měsících
- střední měsíční venkovní teplota. Střední teplota v době slunečního svitu, střední teplota v noci (mimo sluneční svit) a teoretická doba slunečního svitu za den
- střední hodnota slunečního ozáření G na různě orientovanou a skloněnou plochu v jednotlivých měsících

Solární Energie s.r.o. tel: 603 450 199

1b) Legislativní dokumenty týkající se instalací solárních termických soustav

Zákon č. 406/2000 Sb. O hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů

Zákon zpracovává příslušné předpisy EU a stanoví:

- některá opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií
- pravidla pro tvorbu Státní energetické koncepce, územní energetické koncepce a Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie
- požadavky na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie
- požadavky na uvádění spotřeby energie a jiných hlavních zdrojů na energetických štítcích výrobků spojených se spotřebou energie
- požadavky na informování a vzdělávání v oblasti úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů

Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie. K uskutečnění tohoto programu jsou poskytovány dotace ze státního rozpočtu mimo jiné na:

- energeticky úsporná opatření ke zvyšování účinnosti energie a snižování energetické náročnosti budov včetně rozvoje budov s téměř nulovou spotřebou
- rozvoj využívání kombinované výroby elektřiny a tepla
- rozvoj využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie

Dále stanovuje některá opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie. Stanovuje povinnosti pro stavebníky, výrobce energie a dodavatele zařízení a požadavky na snižování energetické náročnosti budov.

Popisuje přestupky proti tomuto zákonu pro fyzické osoby, správní delikty právnických a podnikajících fyzických osob energetických specialistů a stanovuje sankce (výši pokuty).

Vyhláška č. 78/2013 Sb., o o energetické náročnosti budov

Tato vyhláška stanoví:

- optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budov
- metodu výpočtu energetické náročnosti budovy
- vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie
- doporučená opatření pro snížení energetické náročnosti budov
- vzor a obsah průkazu energetické náročnosti budovy a způsob jeho zpracování včetně umístění průkazu v budově.

Ve vyhlášce je řešeno i využití energie slunečního záření, energie větru a geotermální energie. Stanovuje faktory primární energie hodnocené budovy včetně podílu obnovitelných zdrojů (v rozsahu nad 80%; 50-80%; pod 50%).

Vyhláška č. 441/2012 Sb., o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie

Vyhláška stanoví minimální účinnosti užití energie pro výstavbu nové (nebo rekonstruované) výrobní elektřiny nebo tepla:

- a) při výrobě tepelné energie pro
 - kotle
 - spalínové kotle
 - solární kolektory
- b) při výrobě elektřiny pro
 - parní turbosoustroj s kondenzační turbínou
 - plynovou turbínu
 - paroplynové zařízení
 - spalovací motor
- c) příkombinované výrobě elektřiny a tepla pro
 - paroplynové zařízení s dodávkou tepla
 - parní protitlakou turbínu
 - kondenzační odběrovou turbínu
 - plynovou turbínu
 - spalovací motor
 - mikroturbínu
 - Stirlingův motor
 - palivový článěk
 - parní stroj
 - organický Rankinův cyklus

Vyhláška také stanoví minimální účinnosti užití energie pro podporu vyrobené energie z obnovitelných zdrojů z dotačních programů.

Dále stanovuje výpočet účinnosti výroby tepelné energie v solárních kolektorech v závislosti na okrajových podmínkách (stanovení křivky účinnosti kolektoru pro celý rozsah provozních podmínek).

Vyhláška určuje minimální účinnost výroby tepelné energie v solárním kolektoru (dle tabulky):

Typ solárního kolektoru	rozdíl teplot ($t_m - t_e$)	minimální účinnost [%]
Nezasklený kolektor (absorbér)	10 °C	70
Plochý zasklený kolektor	30 °C	60
Trubkový vakuový kolektor	50 °C	55

Vyhláška č. 118/2013 Sb., o energetických specialistech

Vyhláška stanoví obsah a rozsah odborné zkoušky, obsah a rozsah průběžného vzdělávání a přezkušování energetických specialistů oprávněných k:

- zpracování energetického auditu a energetického posudku
- zpracování průkazu energetické náročnosti
- provádění kontroly provozování kotlů a rozvodů tepelné energie
- provádění kontroly klimatizačních systémů.

Vyhláška stanoví pravidla a jednání zkušební komise a organizace pořádající průběžné vzdělávání energetických specialistů.

Vyhláška také stanoví náležitosti vedení evidence energetického specialisty a prováděných činnostech.

Solární Energie s.r.o. tel: 603 450 199

1c) Certifikační systémy a značky pro solární kolektory a soustavy

Normy

V české a evropské normalizaci existují pro solární tepelné kolektory dvě normy, které se týkají kapalinových solárních kolektorů:

- ČSN EN 12975-1 (73 0301) Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory- Část 1: Všeobecné požadavky. Norma určuje požadavky na odolnost (včetně mechanické pevnosti), spolehlivost a bezpečnost kapalinových tepelných solárních kolektorů. Rovněž obsahuje návody k hodnocení shody s těmito požadavky.
- ČSN EN 12975-2 (73 0301) Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody. Norma detailně popisuje zkušební metody a podmínky, za kterých jsou solární kolektory zkoušeny.

Normu nelze použít pro kolektory s vestavěným zásobníkem tepla; mají omezené použití pro koncentrační (soustředující) kolektory.

Mezi zkoušky spolehlivosti solárních kolektorů požadované podle EN 12975 patří následující zkoušky:

- vnitřní přetlak v absorberu
- odolnost proti vysokým teplotám
- vystavení vlivům prostředí
- vnější tepelný ráz
- vnitřní tepelný ráz
- odolnost proti dešti
- mechanické zatížení
- tepelný výkon
- odolnost proti mrazu (nepovinná)
- odolnost proti nárazu (nepovinná)

Uvedené zkoušky jsou především zkoušky odolnosti a bezpečnosti. Zkouška označená tepelný výkon hodnotí účinnost solárního kolektoru při různých okrajových podmínkách. Nicméně současná legislativa nenařizuje, aby solární kolektor vstupující na trh, splnil všechny požadavky zkušební normy. Výrobce v dokumentaci nemusí uvádět výkonové parametry kolektoru (křivku účinnosti solárního kolektoru), přestože jsou základem výpočtů pro návrh a hodnocení solárních soustav.

Pokud ovšem bude investor žádat o dotaci v rámci dotačního programu „Nová zelená úsporám“, musí solární systém (resp. solární kolektor) odpovídat technickým požadavkům, které jsou vyžadovány tímto programem (kolektor musí být na seznamu SVT nebo musí se doložit splnění požadovaných parametrů protokolem ze zkušebny). Kolektor musí splňovat především minimální účinnost dle vyhlášky č. 441/2015 Sb. a žadatel musí doložit naměřené hodnoty „optické“ účinnosti (η_0), lineárního součinitele tepelní ztráty (a_1) a kvadratického součinitele tepelné ztráty (a_2), které popisují křivku účinnosti kolektoru.

Solar Keymark

Pro lepší orientaci zákazníků v nabízených solárních kolektorech na trhu byl Evropskou komisí pro normalizaci (CEN) zaveden systém dobrovolné certifikace třetí stranou pro udělení značky Solar Keymark. Tato značka je podporována i Evropskou federací pro průmysl solární tepelné techniky (ESTIF). Solar Keymark v současné době pokrývá dvě oblasti:

- solární tepelné kolektory definované podle EN 12975
- průmyslově vyráběné solární tepelné soustavy definované podle EN 12976

Značka Solar Keymark zákazníkovi sděluje, že takto označený solární kolektor nebo soustava splňuje požadavky příslušných evropských norem, tedy že prošel **všemi zkouškami** v souladu s uvedenými normami. Značka znamená spolehlivou funkční kvalitu kolektoru nebo soustavy a spolehlivou informaci jejich účinnosti pro projektanta, ochranu koncového zákazníka před nekvalitním produktem a obchodní nástroj pro výrobce nebo dodavatele. Pro koncového zákazníka je Solar Keymark určitou zárukou, že nakoupený kolektor a jeho deklarovaná účinnost, se během doby použití významně nezmění. Značka neznámá, že certifikovaný výrobek je vysoce výkonný výrobek se špičkovými energetickými parametry. Značka pouze poskytuje informaci, že deklarovanou křivku účinnosti budou mít všechny kolektory z výrobní řady (reprodukovatelnost vlastností), ne pouze zkoušený kolektor na zkušební.

Postup a pravidla udělení značky:

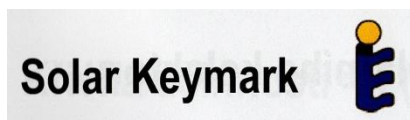
Žadatel (výrobce) kontaktuje certifikační orgán akreditovaný a zmocněný Certifikačním výborem CEN pro udělování značky Solar Keymark. Společně s certifikačním orgánem je vybrána zkušební laboratoř a inspekční orgán. Zkušební laboratoř musí splňovat podmínky pro komplexní zkoušky v rámci Solar Keymark a je schválena certifikačním orgánem.

Na solárním zařízení, např. solárním kolektoru, jehož vzorek je náhodně vybrán z výroby nebo skladu výrobce, se provedou počáteční (vstupní) zkoušky. Vzorek vybírá inspektor, identifikuje podle výrobních čísel a buď je sám odveze nebo označí, zapečetí a nechá dopravit do zkušební laboratoře. Zároveň výrobce prokazuje systém řízení jakosti podle norem řady EN ISO 9000. Certifikačnímu orgánu musí výrobce dodat jednoznačnou výrobní dokumentaci ke zkoušenému zařízení. V případě řady konstrukčně stejných kolektorů, odlišujících se pouze rozměry (délka, šířka) se vybírá pouze nejmenší a největší vzorek kolektoru. Největší vzorek se podrobí všem zkouškám, nejmenší pouze zkoušce tepelného výkonu. U kolektorů stavěných na zakázku a sestavovaných přímo na místě instalace musí výrobce prokázat shodu zkušebního modulu s obvyklou výrobou a dodat podrobný popis použitých prvků. Pokud se na certifikovaném kolektoru provedou změny, je nutné upozornit certifikační orgán a ten na základě rozsahu změn stanoví, zda je potřeba provést znovu vstupní zkoušky nebo pouze dílčí.

Solar Keymark může být vystaven pouze zplnomocněným certifikačním orgánem poté, co byl výrobek (solární kolektor, solární soustava) odzkoušen akreditovanou zkušební laboratoří. Značka je přidělena výrobci pokud má zaveden systém řízení jakosti dle EN ISO 9000 a jeho solární kolektor nebo soustava splňuje všechny kvalitativní požadavky EN 12975 nebo EN 12976. Každoročně se kontroluje dokumentace systému řízení jakosti a každé dva roky inspektor ze zkušební laboratoře vykoná fyzickou prohlídku výroby na shodu výkresové dokumentace s vyráběným kolektorem. V případě pochyb může nařídit opakovanou zkoušku.

Tu může vyvolat prakticky kdokoli (nespokojený zákazník nebo i konkurence na trhu). Aby byla opakovaná zkouška úspěšná, musí prokázat shodu výkonových parametrů do 10% a opětovné splnění kvalitativních požadavků na solární kolektor. V případě úspěšné certifikace hradí náklady vyvolavatel zkoušky, v případě neúspěšné certifikace hradí náklady výrobce a značka Solar Keymark je výrobku odebrána.

Značkou Solar Keymark je v současné době označeno v Evropě více než 2/3 z prodaných solárních kolektorů. Certifikační proces je ovšem natolik finančně náročný, že pro menší výrobce solárních kolektorů je prakticky nedostupný.



Modrý anděl

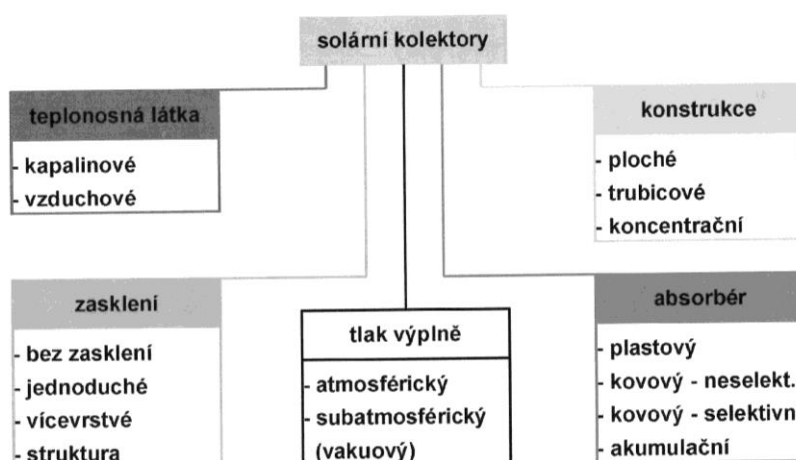
Jsou i další známky, které jsou udělovány v různých zemích a někdy jsou i v těchto zemích podmínkou přidělení dotace. Tyto známky ovšem nejsou již tak rozšířené a univerzální. Jednou z těchto regionálních známek kvality je i Modrý anděl (Der Blaue Engel). Jedná se o ekologickou známku udělovanou Federální agenturou pro životní prostředí. Uděluje se výrobkům, které splňují základní kriteria definovaná asociací RAL. Jedná se o výrobky, které umožňují uspořit konvenční zdroje energie (fosilní, jaderné) a svázané emise škodlivin. Detailně podmínky popisuje směrnice RAL-UZ 73.



2a) Základní druhy solárních kolektorů

Solární kolektory

Přeměna energie slunečního záření v tepelnou energii – fototermální přeměna – je jednou z nejjednodušších cest jak využít sluneční záření. Fototermální přeměna spočívá v absorpci slunečního záření na povrchu tuhých látek a kapalin, kdy se energie fotonů mění v teplo (pohyb molekul). Základním prvkem je absorpční plocha, která se jímáním slunečního záření ohřívá, obecně nazývaná kolektor. Tepelná energie pak může být z kolektoru odváděna různými teplotnosnými látkami (voda, nemrznoucí směs nebo vzduch). Podle toho se rozdělují kolektory na kapalinové nebo vzduchové.

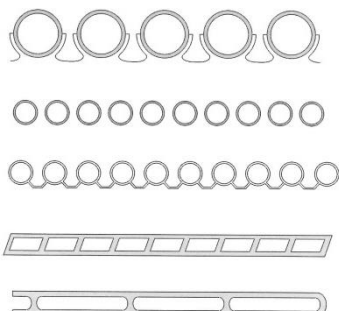


Typy solárních kolektorů

Pro většinu aplikací se využívají kolektory, ve kterých je používána kapalina jako teplotnosná látka (voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu). Kapalinové kolektory mají absorbér zpravidla tvořený trubicami, protékanými teplotnosnou kapalinou, která odvádí teplo z povrchu absorbérů. Kolektory vzduchové nepoužívají pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační teplovzdušné vytápění.

Solární kapalinové kolektory:

- **Ploché nekrytý kolektor** – nejčastěji plastová rohož bez zasklení. Nejčastěji se využívá pro sezónní ohřev bazénové vody o nízké teplotní úrovni

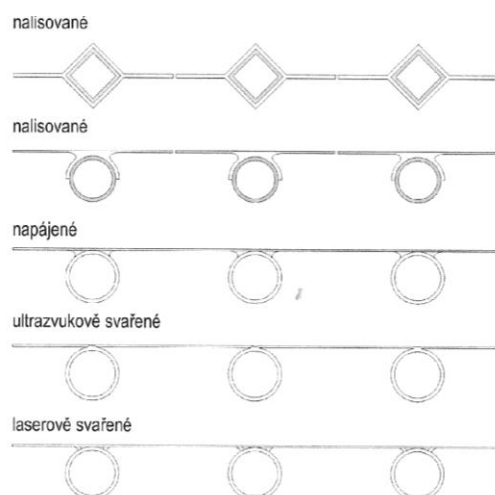


Obr. Typy nekrytých bazénových absorberů (rohoží)

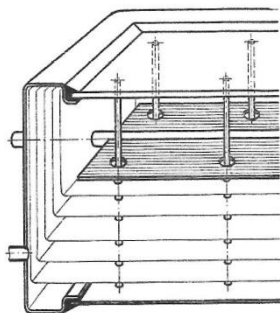
Výkon a účinnost těchto kolektorů je výrazně ovlivňována okolním prostředím (teplota okolí, teplota oblohy, rychlost větru). Zvláště se zvyšující se rychlostí větru rostou výrazně tepelné ztráty a účinnost kolektorů prudce klesá. Nekryté absorbery se vyrábí většinou z plastu odolného vůči UV záření (EPDM) a vzhledem k účinnosti jsou vhodné především k ohřevu vody pro bazény.

- **Plochý neselektivní kolektor** – zasklený deskový kolektor s kovovým absorberem se spektrálně neselektivním povlakem (např. černý pohltivý nátěr) – určený pro sezónní předehřev vody při nízké teplotní úrovni
- **Plochý selektivní kolektor** – zasklený deskový kolektor s kovovým absorberem se spektrálně selektivním povlakem – určený pro celoroční ohřev vody a vytápění

Ploché atmosférické kolektory se vyznačují plochou aperturou a plochým absorberem. Absorbér je většinou kovový (měď, hliník, ojediněle ocel). Absorbér může být celoplošný (tvořený jedním plechem) nebo dělený (z lamel). Absorbér je většinou se selektivním povrchem. Neselektivní povrch pouze u velmi levných kolektorů. Absorpční plocha je navařena (ultrazvukově, laserově), napájena nebo nalisovaná na trubkovém registru. Příklady spojení jsou uvedeny na následujícím obrázku.



- **Plochý vakuový kolektor** – deskový kolektor s kovovým absorberem se spektrálně selektivním povlakem a tlakem uvnitř kolektoru nižším než atmosférický tlak v okolí kolektoru (absolutní tlak cca 1 – 10 kPa – nízké vakuum). Kolektor je určený pro celoroční ohřev vody a vytápění, případně pro průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100 °C. Vakuum snižuje tepelné ztráty. Aby sklo neprasklo působením vnějšího atmosférického tlaku nebo nárazem předmětů, je vyztuženo rastrově uspořádanými nerezovými opěrnými elementy. Podpůrné elementy by neměly být v tepelném kontaktu s absorberem, aby se vyloučily tepelné mosty (viz obrázek).



Protože vakuové kolektory jsou provozována za podmínek nízkého vakua ($1 - 10\text{kPa}$), není problém udržet tlak v těchto mezích. Vana kolektoru je vybavena ventilem, který po připojení k vývěvě je schopen prostor znovu evakuovat. Kolektor je vakuován vývěvou až po namontování na střechu. Zbytkový vzduch v kolektoru může být nahrazen vzácným plynem (argonem) s nižší tepelnou vodivostí.

- **Trubkový vakuový kolektor** – kolektor s plochým nebo válcovým selektivním absorbérem umístěným ve vakuované skleněné trubce (absol. tlak menší než 10^{-3} Pa), s variantami předávání tepla do teplonosné látky (tepelná trubice nebo přímo protékající registr). Kolektor je určený pro kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100°C). Vysoké vakuum minimalizuje přenos tepla vedením a konvekcí ve vakuovém prostoru a přenos tepla mezi absorbérem a zasklením zajišťuje především sáláním. Pro vyloučení výskytu zbytkových plynů ve vakuovém prostoru trubkových kolektorů se používají tzv. „getry“ (využívají kovy, které rychle oxidují, např. barium). Pokud je uvnitř vakuované trubice vakuum, potom „getr“ vypadá jako stříbrně (zrcadlově) zbarvená kovová vrstva. Dojde-li k porušení vakua, getrová usazenina změní při reakci s plyny barvu na mléčně bílou (indikace porušení vakua).

Základní dělení trubkových vakuových kolektorů:

- *trubkový kolektor s jednotěnnou trubicí* – především vyráběný v Evropě
- *trubkový kolektor s dvojitěnnou trubicí* (Sydney) – vyráběný především v Číně

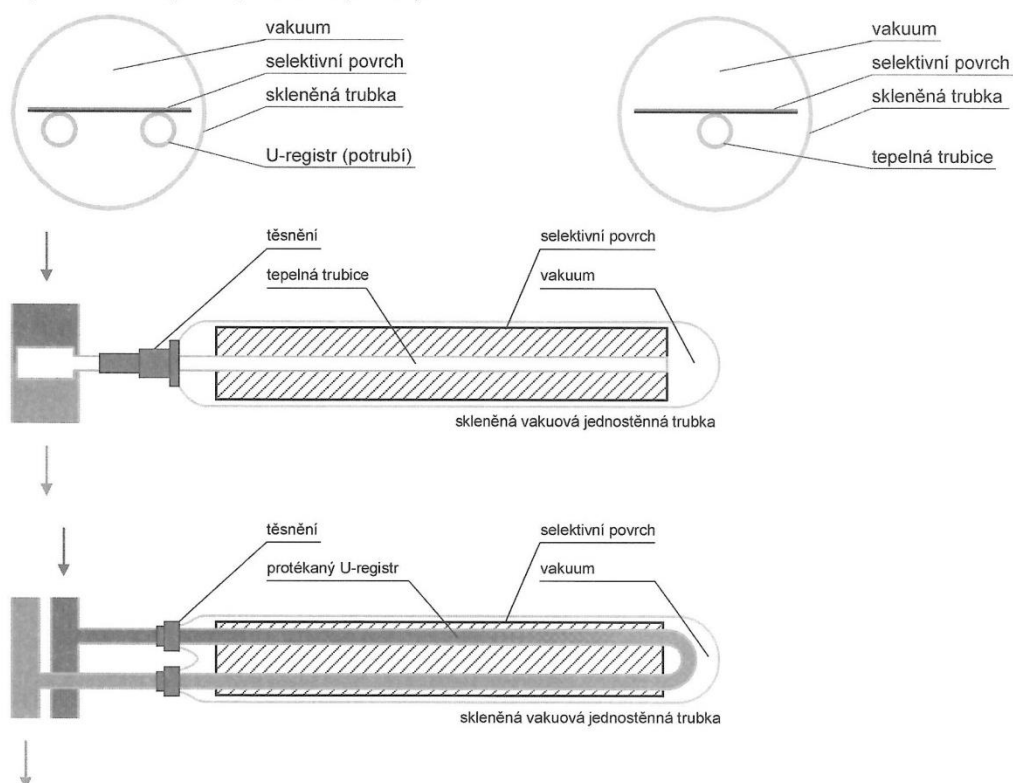
Podle konstrukčního uspořádání odvodu tepla lze rozdělit oba základní konstrukční typy na další podtypy:

- *přímo protékající* (potrubí ve tvaru „U“) – absorbérem přímo protéká teplonosná kapalina
- *s tepelnou trubicí: suché napojení* – kondenzátor zasunutý (zaklapnutý) v pouzdru
mokrý napojení – kondenzátor přímo omývaný teplonosnou kapalinou

Princip **tepelné trubice** je známý. 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. Pro zajištění funkce tepelné trubice je nutné zajistit její sklon minimálně $20-25^\circ$, aby se kondenzát mohl samovolně vrátit zpět do výparníku. Jako tepelná trubice se používá měděná trubka (výparníková část má průměr 8-12 mm, kondenzační část větší průměr cca 18-20 mm). Uvnitř tepelné trubice je jako pracovní látka čistá voda nebo líh při určitém podtlaku.

Trubkové kolektory s jednotěnnou skleněnou trubicí

Skládá se z jednoduché uzavřené skleněné trubky, ve které je umístěna plochá lamela absorbéru se selektivním povrchem. Odvod tepla z trubice je zajišťován tepelnou trubicí, přímo protékaným registrem (U-registr) nebo přímo protékaným koncentrickým potrubím.. Vnitřní prostor skleněné trubky je vakuován na tlak pod 1 mPa. Jednostěnné trubky se vyrábí v průměrech 40-150 mm z boritokřemičitého skla s vysokou pevností a odolností vůči teplotním změnám a gradientům. Kvalitní jednostěnné trubky jsou dostupné s antireflexním povlakem pro zvýšení propustnosti slunečního záření (až 95%). Kolektory mají výborný přestup tepla z absorbéru do teplonosné látky zajištěný ultrazvukovým nebo laserovým navařením absorbéru na teplonosné potrubí (výparník tepelné trubice, přímo protékané potrubí).



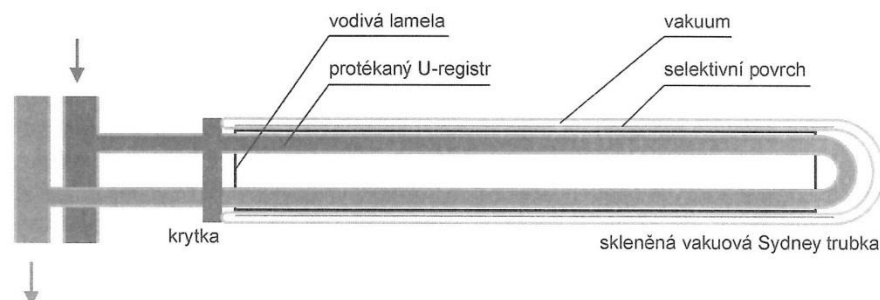
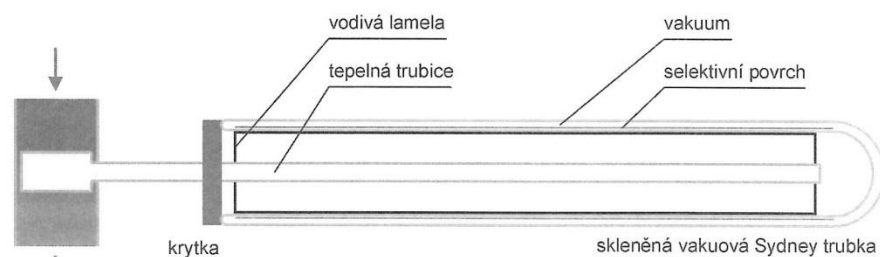
U trubkových kolektorů s jednostěnnou trubkou je zcela zásadní zajištění dokonalého těsnění prostupu tepelné trubice či potrubí s teplonosnou látkou skleněnou vakuovanou trubkou (těsnění spoje kov-sklo). Řešení spolehlivého těsnění spočívá v použití slitin železa, které vykazují stejný součinitel tepelné roztažnosti jako použité boritokřemičité sklo. Tato kolektory pracují s vysokou účinností, pro většinu aplikací jde o investičně velmi náročné řešení.

Trubkové kolektory s dvoustěnnou skleněnou trubkou

Sydney trubka je válcová dvoustěnná koncentrická celoskleněná trubka, obdobná termosce. Vnitřní absorpční trubka (ve funkci absorbéru s válcovým povrchem) slouží k zachycování slunečního záření a přeměnu na teplo a vnější krycí trubka (ve funkci zasklení) slouží jako ochrana před atmosférickými vlivy. Meziprostor mezi oběma skleněnými trubkami je vakuován a vnější povrch vnitřní absorpční trubky je opatřen selektivním absorpčním povrchem. U Sydney trubek je jako spektrálně selektivní povrch na absorpční skleněné trubce nejčastěji využíván keramicko-kovový vícevrstvý povlak na bázi nitridu hliníku (Al-N na Al podkladu). Z hlediska kvality je nutné

odlišit dva typy Sydney trubek. Standardní Sydney trubky jsou opatřeny povlaky, které vykazují vlastnosti: pohltivost 0,86-0,92 a emisivitu 0,08, stagnační teplotu okolo 200 °C, vysoce kvalitní povlaky pak dosahují hodnot: pohltivost 0,96 a emisivita 0,07, stagnační teploty 300-350 °C,

Sydney trubka se vyrábí z boritokřemičitého skla s nízkou tepelnou roztažností eliminující vnitřní napětí při teplotním namáhání a s velkou odolností na prudké teplotní změny a tepelné gradienty. Typické rozměry (průměry) jsou prakticky dva: 58/47 mm a 47/37 mm s tloušťkami zasklení 1,6-1,8 mm v délkách 1-2 m. Většina těchto trubek se vyrábí v Číně. Konstruktivně jsou řešeny obdobně jako jednostěnné trubkové kolektory a to s přímo protékajícím trubkovým registrem (U-registr) nebo s tepelnou trubicí. Kritickým místem těchto kolektorů je přenos tepla z vnitřního povrchu vnitřní absorpční trubky do teplosměnné kapaliny (na povrch potrubí přímo protékajícího U-registru nebo na povrch výparníku tepelné trubice). K tomu slouží teplosměnná vodivá lamela (nejčastěji z Al nebo Cu), která by měla vykazovat co nejlepší (nejvodivější) kontakt jak s vnitřním povrchem absorpční trubky, tak s potrubím pro odvod tepla (U-registr, tepelná trubice). Špatný kontakt se negativně projevuje na celkové účinnosti kolektoru. Proti kolektorům s jednostěnnou skleněnou trubicí odpadá problém s těsněním vakua a prostupů potrubí. To způsobuje jejich nižší cenu.



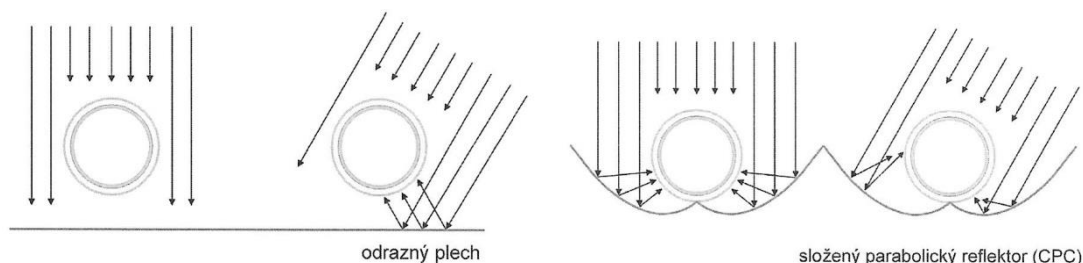
- **Koncentrační (soustředující) kolektor** – obecně kolektor, ve kterém jsou použity zrcadla (reflektory), čočky nebo další optické prvky k usměrnění a soustředění slunečního záření, procházející aperturou kolektoru, na absorbér, který je umístěn v ohnisku. Ploché kolektory vybavené vnějším zrcadlem nebo kolektory a vakuovanými trubicemi s reflektorem vně trubic jsou také považovány za koncentrační kolektory.

Podle tvaru ohniska se rozlišují koncentrační kolektory s lineárním ohniskem (parabolický reflektor, Winstonův kolektor, kolektor s lineární Fresnelovou čočkou) nebo s bodovým ohniskem (paraboloidní reflektor, fasetové reflektory, heliostaty). Pro jejich účinné využití je základní podmínkou dostatek přímého slunečního záření během roku.

Koncentrační trubkové kolektory

Pro zvýšení dopadající energie se trubkové vakuové Sydney kolektory často vybavují odraznými zrcadly (reflektory). Levnější typy využívají jednoduché ploché difúzní reflektory umístěné za trubicemi. Vyššího účinku je možné dosáhnout reflektory s vhodně tvarovaným povrchem (parabolické koncentrátoři).

Použití reflektorů snižuje počet použitých trubek v kolektoru (levnější řešení) a zvětšuje aktivní plochu kolektoru. Na druhé straně, v určitých zeměpisných oblastech může být jejich použití problematické s ohledem na zachycování sněhové pokrývky a tvorbě ledu, který může vést až k destrukci trubek kolektorů.

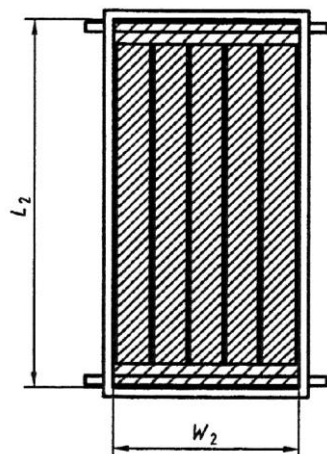


2b) Plocha apertury, absorberu a celková plocha kolektoru

(definice jednotlivých ploch vychází z normy ČSN EN ISO 9488)

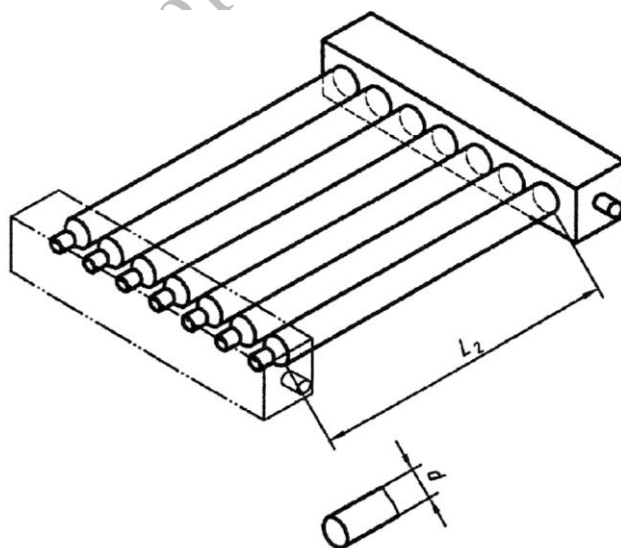
Plocha apertury A_a

Plocha apertury kolektoru A_a je největší průmětná plocha, kterou nesoustředěné sluneční záření vstupuje do kolektoru. Plocha apertury nezahrnuje průhlednou část zastíněnou od slunečního záření, když toto záření dopadá kolmo na projekční rovinu určující plochu apertury.



$$A_a = L_2 \times W_2$$

Obrázek 1 – Plocha apertury plochého kolektoru



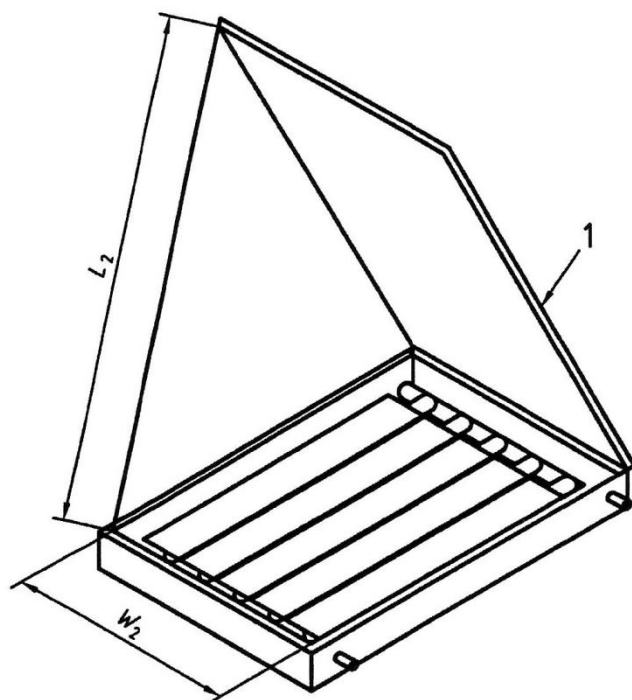
$$A_a = L_2 \times d \times N$$

L_2 délka nezastíněné, rovnoběžné a průhledné části trubky

d vnitřní průměr průhledné trubky

N počet trubek

Obrázek 2 – Plocha apertury trubkového kolektoru bez reflektoru



$$A_a = L_2 \times W_2$$

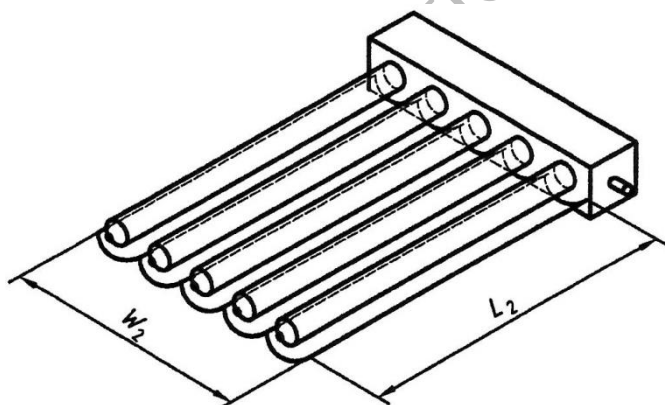
Legenda

1 reflektor

L_2 viz obrázek

W_2 šířka osluněného reflektoru

a) Plochý kolektor s reflektorem



$$A_a = L_2 \times W_2$$

L_2 délka osluněného reflektoru

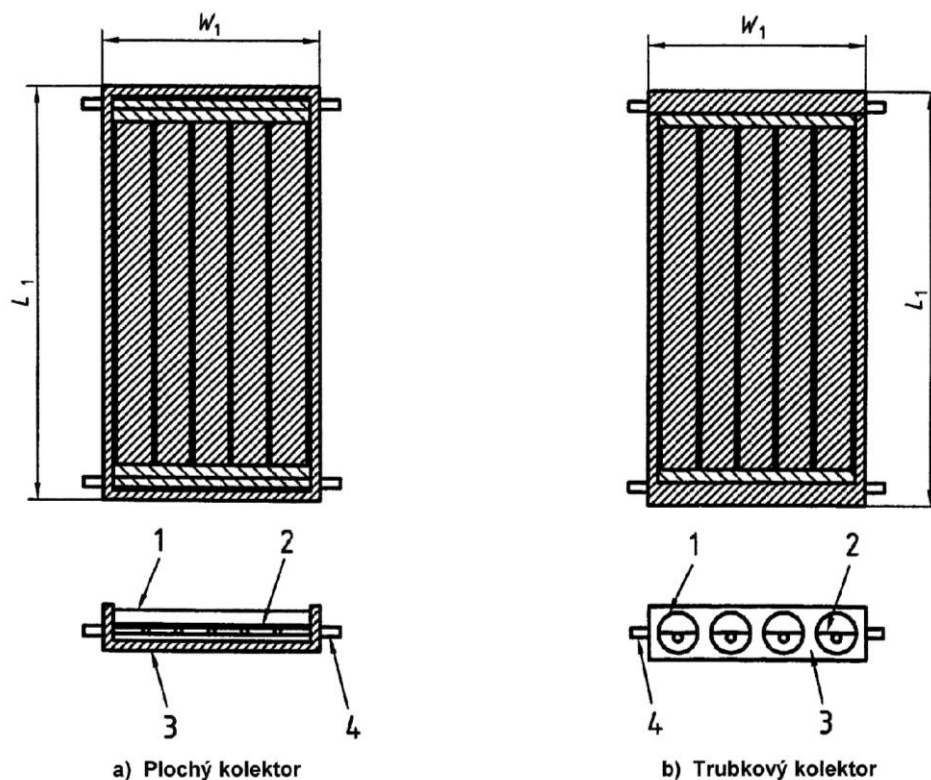
W_2 šířka osluněného reflektoru

b) Trubkový kolektor s reflektorem

Obrázek 3 – Plocha apertury dvou soustředujících kolektorů

Celková plocha kolektoru A_G

Celková plocha kolektoru A_G je největší průmětná plocha celého kolektoru bez jakýchkoliv součástí k uchycení a připojení potrubí.



$$A_G = L_1 \times W_1$$

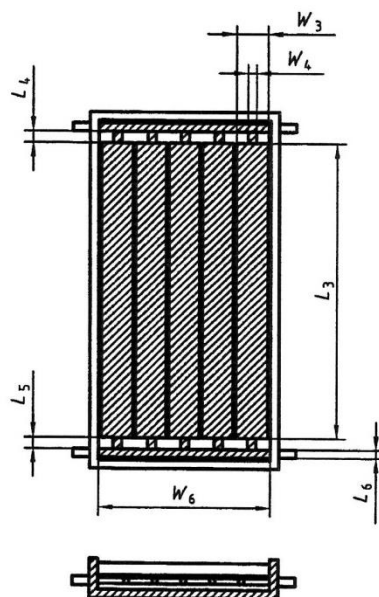
Legenda

1 kryt	3 skříň	L_1 největší délka bez součástí k uchycení a bez připojení trubek
2 absorber	4 vstup/výstup	W_1 největší šířka bez součástí k uchycení a bez připojení trubek

Obrázek 4 – Celková plocha kolektoru

Plocha absorberu kolektoru A_A

- Pro nesoustředující (nekoncentrační) kolektor:
Je to největší průmětná plocha absorberu.
 - Tato plocha nezahrnuje pohlcující část nezasaženou slunečním zářením, když toto záření dopadá kolmo na projekční rovinu určující plochu absorberu.
- Pro soustředující (koncentrační) kolektor:
Je to plocha povrchu absorberu navržena k pohlcování slunečního záření.
 - plocha absorberu nezahrnuje část trvale stíněnou před slunečním zářením
 - plocha absorberu dvou koncentračních kolektorů podle obrázku 3 je rovna odpovídající ploše nekoncentračních kolektorů, vzniklých odstraněním zrcadel. Určuje se tedy stejně, jako je znázorněno na obrázcích 5 a 6. Avšak v trubkovém kolektoru s trubkovým absorberem (obrázek 6 vlevo) jeho průmětová plocha musí být nahrazena celou plochou trubky



$$A_A = (Z \times L_3 \times W_3) + [Z \times W_4 \times (L_4 + L_5)] + (2 \times W_6 \times L_6)$$

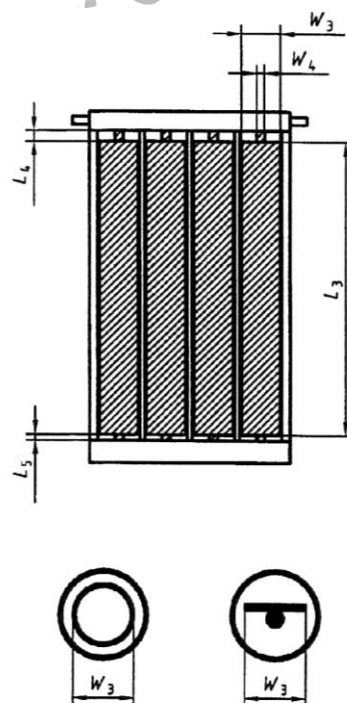
Z počet žebër absorbéru

L₃ délka žebër absorbéru

W₃ šířka žebër absorbéru

W₄, W₆, L₄, L₅, L₆: viz obrázek

Obrázek 5 – Plocha absorbéru plochého kolektoru



$$A_A = N \times (L_3 \times W_3) + N \times W_4 \times (L_4 + L_5)$$

N počet trubek

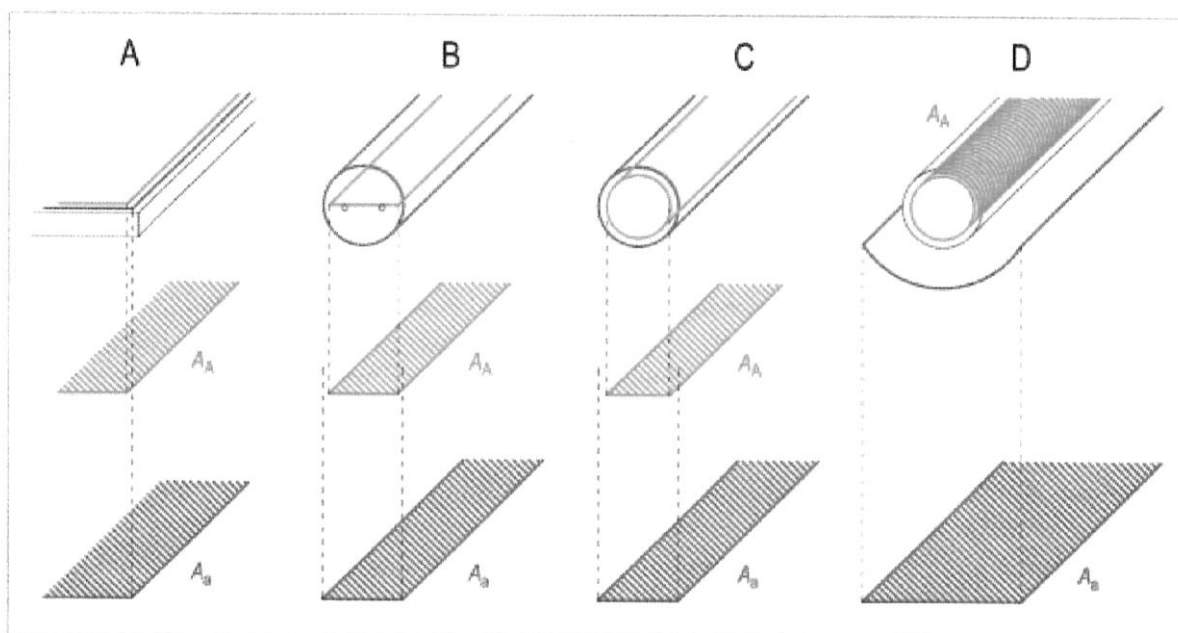
L₃ délka absorbéru

W₃ šířka nebo průměr absorbéru

W₄, L₄, L₅: viz obrázek

Obrázek 6 – Plocha absorbéru trubkového kolektoru

Vztah mezi plochou apertury a plochou absorberu solárních kolektorů ukazuje obrázek 7:



Obr. 7 - Definice plochy apertury a absorberu solárních kolektorů: A) plochý; B) trubkový s plochým absorbérem; C) trubkový s válcovým absorbérem; D) trubkový s válcovým absorbérem a reflektorem

Solární Energie s.r.o.

2c) Výpočet účinnosti solárního kolektoru na základě specifikace výrobce

Účinnost solárního kolektoru

Hodnotu účinnosti solárního kolektoru v závislosti na středním redukovaném teplotním spádu (rozdílu mezi střední teplotou teplotnosné kapaliny v kolektoru t_m a teplotou okolí t_e poděleném slunečním ozářením G) stanoví následující rovnice:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right) - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2 \quad (3.11)$$

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;

a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru, v $W/(m^2 \cdot K)$;

a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje zvýšení tepelných ztrát vlivem sálání, ve $W/(m^2 \cdot K^2)$)

t_{k1} teplota teplotnosné kapaliny na vstupu do kolektoru, ve $^{\circ}C$;

t_{k2} teplota teplotnosné kapaliny na výstupu z kolektoru, ve $^{\circ}C$.

Střední teplota teplotnosné kapaliny se stanoví jednoduše jako průměr ze vstupní a výstupní teploty

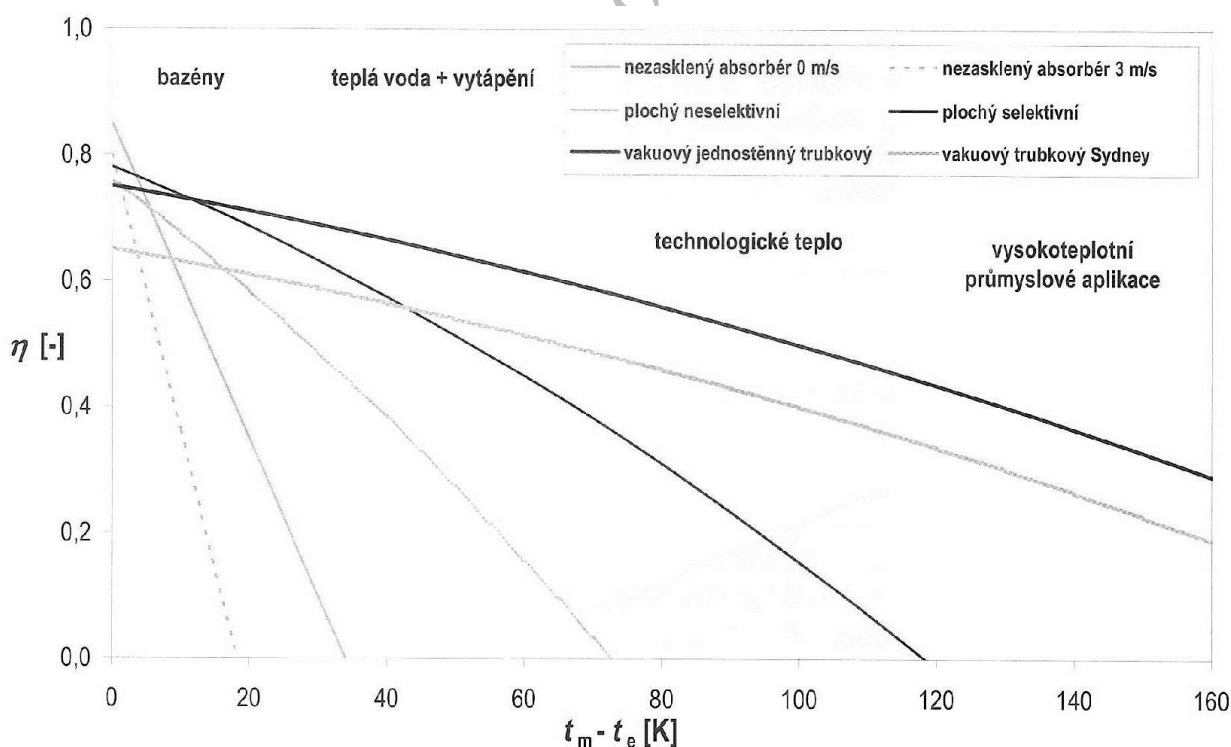
$$t_m = \frac{t_{k1} + t_{k2}}{2} \quad (3.14)$$

Hodnoty η_0 , a_1 , a_2 dodává výrobce nebo dodavatel (většinou jsou součástí katalogového listu), zkušebna nebo příslušný certifikační orgán (součást zkušebního protokolu a osvědčení o certifikaci). Tyto hodnoty charakterizují daný solární kolektor a jsou vztaženy většinou k ploše apertury kolektoru. Některé hodnoty uvádí následující tabulka:

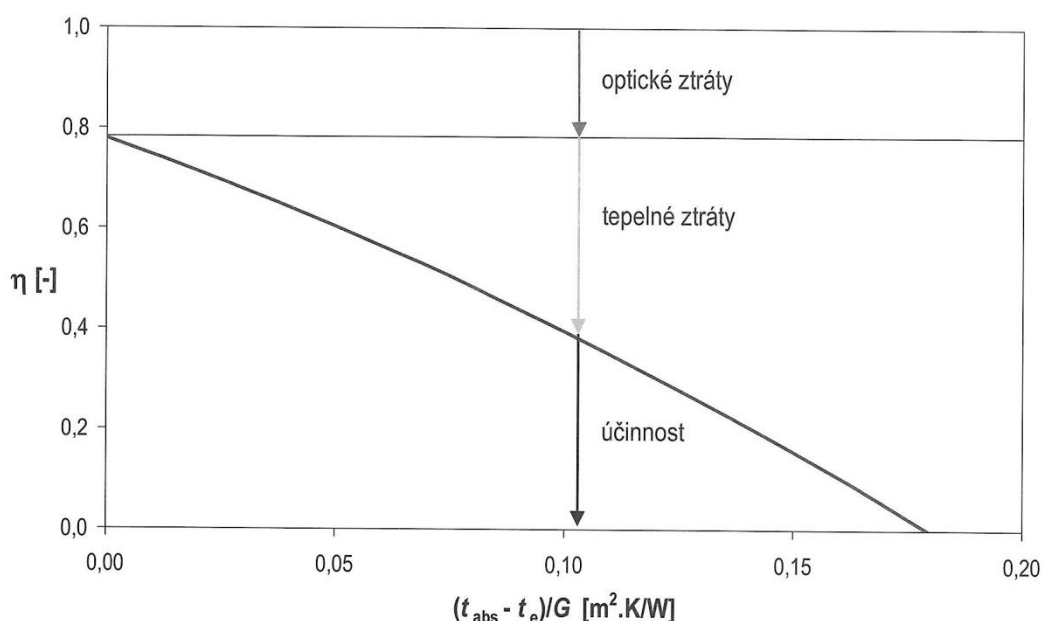
Typ kolektoru	η_0	a_1	a_2
	-	W/m^2K	$W/(m^2K^2)$
Plochý selektivní	0,78	3,5	0,015
Trubkový vakuový jednostěnný	0,75	1,5	0,008
Trubkový vakuový dvojtěnný (Sydney)	0,65	1,5	0,005

Typické křivky účinnosti pro základní typy kolektorů, vyjádřené v závislosti na teplotním spádu pro hodnoty slunečního záření 800 W/m^2 , ukazuje další obrázek. Z grafu je patrné, že s nárůstem teploty hrají u kolektorů obecně dominantní roli tepelné ztráty z kolektoru do okolí, při vyšších teplotách rostou tepelné ztráty sáláním se 4. mocninou rozdílu teplot (zakřivení průběhu křivky účinnosti). 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 střední teplotou kapaliny a okolním vzduchem v základních aplikacích.

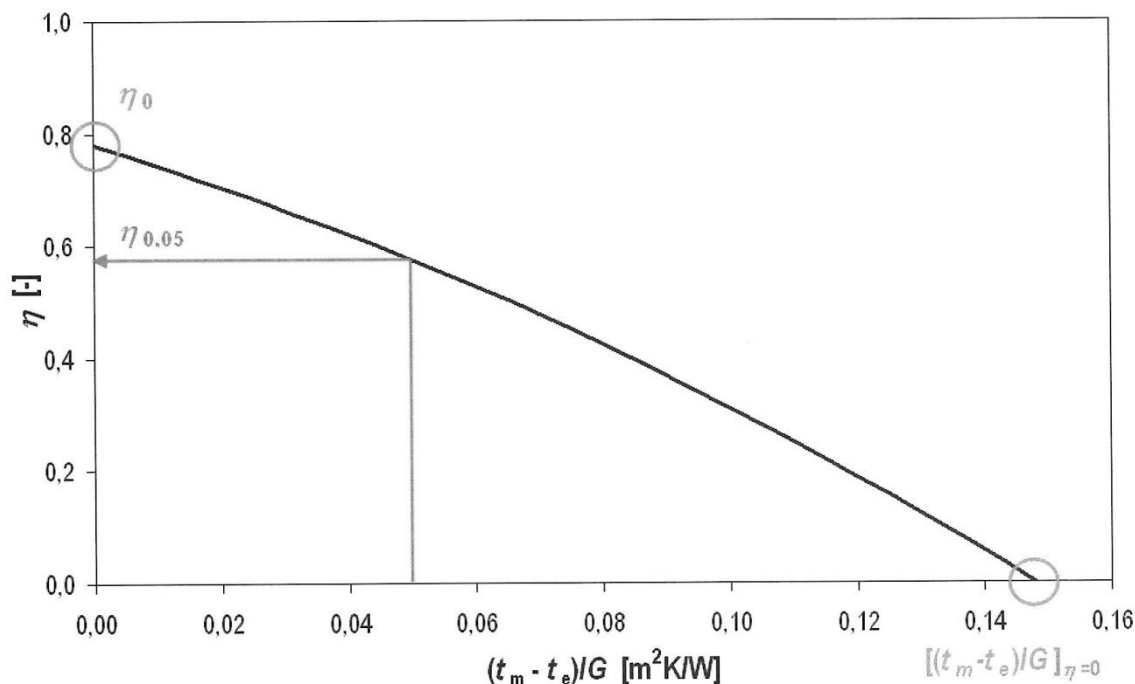
Ze srovnání křivek vyplývají některé zásady použití solárních kolektorů v daných aplikacích. Pro sezónní ohřev bazénové vody nemá smysl používat drahé trubkové vakuové Sydney kolektory vykazující v nízkoteplotních hladinách dokonce nižší účinnost než levné nezasklené kolektory. V oblasti přípravy teplé vody a vytápění jsou trubkové vakuové kolektory a atmosférické ploché kolektory z hlediska účinnosti vztažené k ploše apertury srovnatelné. Pro průmyslové aplikace s vysokými provozními teplotami jsou nutné kolektory s velmi nízkou tepelnou ztrátou (trubkové vakuové, případně kvalitní koncentrační kolektory).



Křivka účinnosti solárního kolektoru s vyznačením optických a tepelných ztrát:



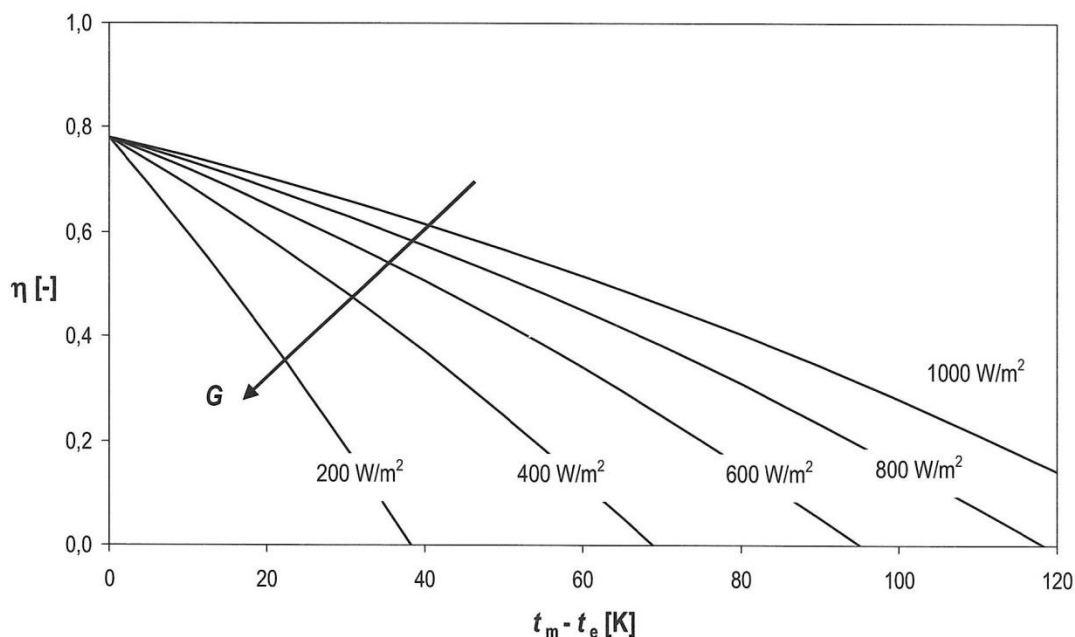
Účinnost kolektoru je charakterizována křivkou ve tvaru paraboly. Zásadně není možné uvádět jedinou hodnotu účinnosti solárního kolektoru bez okrajových podmínek, při kterých byla stanovena (teplota teplonosné kapaliny t_m , teplota venkovního vzduchu t_e a sluneční ozáření G). Někteří výrobci uvádí pouze hodnotu maximální účinnosti η_o – průsečík s osou účinnosti, tzv. **účinnost při nulových tepelných ztrátách**, kdy střední teplota teplonosné kapaliny v kolektoru t_m je rovna teplotě okolí t_e a nedochází tedy k tepelným ztrátám z kolektoru do okolí. V běžných aplikacích se této hodnoty při provozu prakticky nedosahuje,



Protože to znamená zajistit na vstupu do kolektoru v každém případě teplotu nižší než je teplota okolního vzduchu. Průsečík je často nazýván **optickou účinností**, protože v zásadě vypovídá o optických vlastnostech kolektoru (propustnost zasklení, pohltivost absorbéru), nicméně významný vliv na tuto hodnotu mají také geometrické a tepelné vlastnosti absorbéru a kvalita jeho provedení. Snížení hodnoty η_0 at' již nízkou propustností zasklení, nekvalitním povrchem absorbéru či špatným kontaktem absorbéru s chladícím trubkovým registrem posouvá celou křivku účinnosti k nízkým hodnotám.

Popis křivky účinnosti je možné zjednodušit tak, že se uvedou alespoň **oba** krajní body křivky, tj. průsečík s osou x (redukovaný teplotní spád při nulové účinnosti) a y (účinnost při nulových ztrátách), mezi kterými lze orientačně interpolovat celou křivku. Průsečík s osou x , kdy kolektor má účinnost a výkon rovné nule (energie pohlcená absorbérem se vyrovná tepelným ztrátám) se nazývá **bod stagnace** (chod naprázdno, bez odběru tepla). Z hodnoty redukovaného teplotního spádu v bodu průsečíku $[(t_m - t_e)/G]_{\eta=0}$ lze potom stanovit maximální teplotu v kolektoru při daných klimatických podmínkách (klidová teplota). Aby bylo možné porovnávat kvalitu solárních kolektorů jednou hodnotou účinnosti, je možné orientačně použít její hodnotu vyjádřenou pro střední redukovaný teplotní spád $0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, tzn. např. při podmínkách $(t_m - t_e) = 40 \text{ K}$ a $G = 800 \text{ W/m}^2$. Hodnota účinnosti $\eta_{0,05}$ je často uváděná ve zkušebních protokolech (dává náhled na průměrnou účinnost solárního kolektoru v jeho nejčastější aplikaci – solární přípravě vody). Pro potřebu registrace do seznamu SVT (Seznam výrobků a technologií) v rámci dotačního programu „Nová zelená úsporám“ se předpokládá $(t_m - t_e) = 30 \text{ K}$ (pro ploché kolektory), resp. 50 K (pro trubkové kolektory) a $G = 1000 \text{ W/m}^2$.

Na dalším obrázku je zobrazeno vyjádření účinnosti solárního kolektoru v závislosti na teplotním rozdílu mezi teplonosnou kapalinou a okolím. Jednotlivé křivky odpovídají různým hladinám slunečního ozáření G . Z grafu je patrné, že při nízkých úrovních slunečního ozáření klesá účinnost kolektoru výrazně dolů.



Jmenovitý tepelný výkon kolektoru

Výkon solárního kolektoru, resp. solární soustavy, je silně ovlivněn klimatickými podmínkami (venkovní teplota t_e , sluneční záření G) a provozními podmínkami (teplota v kolektorech t_m) a je proto nutné jej stanovit a uvádět za jasně definovaných podmínek.

Výkon solárního kolektoru se stanoví ze vztahu:

$$Q_k = \eta_k \cdot G \cdot A_a$$

kde

η_k je účinnost kolektoru při daných provozních a klimatických podmínkách, vztažená k ploše apertury A_a

G sluneční ozáření na kolektor, ve W/m^2

A_a plocha apertury kolektoru, v m^2

Při stanovení výkonu kolektoru se vychází z křivky účinnosti (od výrobce) a po úpravě vztahu je možné výše uvedenou rovnici psát také ve tvaru:

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

Dokument Evropské federace průmyslových společností v oblasti solární tepelné techniky (ESTIF) definuje okrajové podmínky pro stanovení instalovaného výkonu: $G = 1000 \text{ W/m}^2$, $t_e = 20^\circ \text{C}$, $t_m = 50^\circ \text{C}$. Instalovaný výkon je určen bez ohledu na sklon či orientaci kolektoru; předpokládá se kolmý dopad paprsků na aperturu kolektoru.

Příklad výpočtu účinnosti kolektoru (povinné !):

Zadáno výrobcem pro daný kolektor (údaje z katalogového listu nebo z výpis z listu výrobku – seznam SVT – „Nová zelená úsporám“):

$$\eta_0 = 0,794$$

$$a_1 = 4,164 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$a_2 = 0,008 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^2)$$

Zadány konkrétní pracovní podmínky solárního kolektoru:

$$G = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$t_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

Hodnoty ze zadání dosadíme do vzorce pro výpočet účinnosti kolektoru:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right) - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2$$

$$\eta_k = 0,794 - 4,164 \cdot [(50-20)/1000] - 0,008 \cdot 1000 \cdot [(50-20)/1000]^2 = \mathbf{0,662}$$

Pokračování výpočtu jmenovitého výkonu stejného kolektoru (nepovinné !):

Doplněné zadání konkrétního kolektoru

$$A_a = 1,92 \text{ m}^2$$

$$Q_k = \eta_k \cdot G \cdot A_a$$

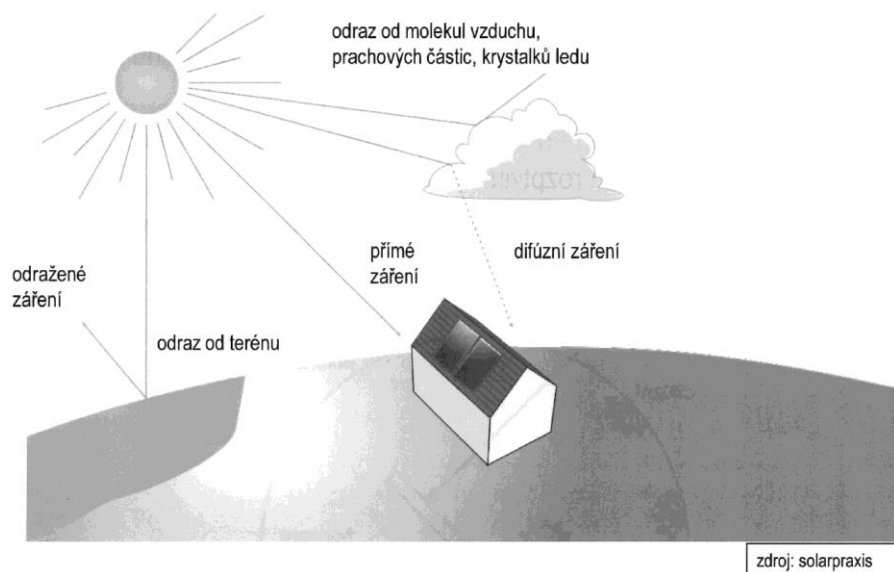
Dosadíme hodnoty i z předchozího výpočtu:

$$Q_k = 0,662 \cdot 1000 \cdot 1,92 = \mathbf{1271 \text{ W}}$$

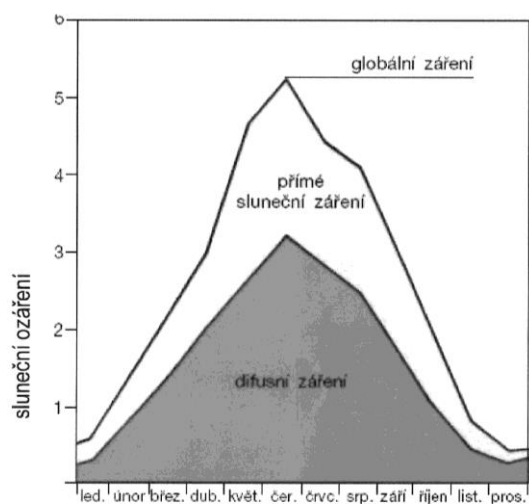
2d) Sluneční záření, vliv orientace a sklonu solárních kolektorů na výkon

Definice

- **Sluneční ozáření G [W/m^2]** (intenzita slunečního záření) - zářivý **výkon** dopadající na jednotku plochy (hustota zářivého toku)
- **Dávka ozáření H [kWh/m^2 , J/m^2]** – hustota zářivé **energie**, hustota zářivého toku dopadající za určitý časový úsek, např. hodinu, den
- **Přímé sluneční záření** – dopadá na plochu bez rozptylu v atmosféře
- **Difúzní sluneční záření** – dopadá na plochu po změně směru vlivem rozptylu v atmosféře
- **Odražené sluneční záření** – dopadá na plochu po změně směru vlivem odrazu od terénu, budov atd.



$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{den}}$



sluneční ozáření G (výkon)

jasná obloha	800 až 1000 W/m^2
lehce zataženo	400 až 700 W/m^2
silně zataženo	100 až 300 W/m^2

dávka ozáření H (energie)

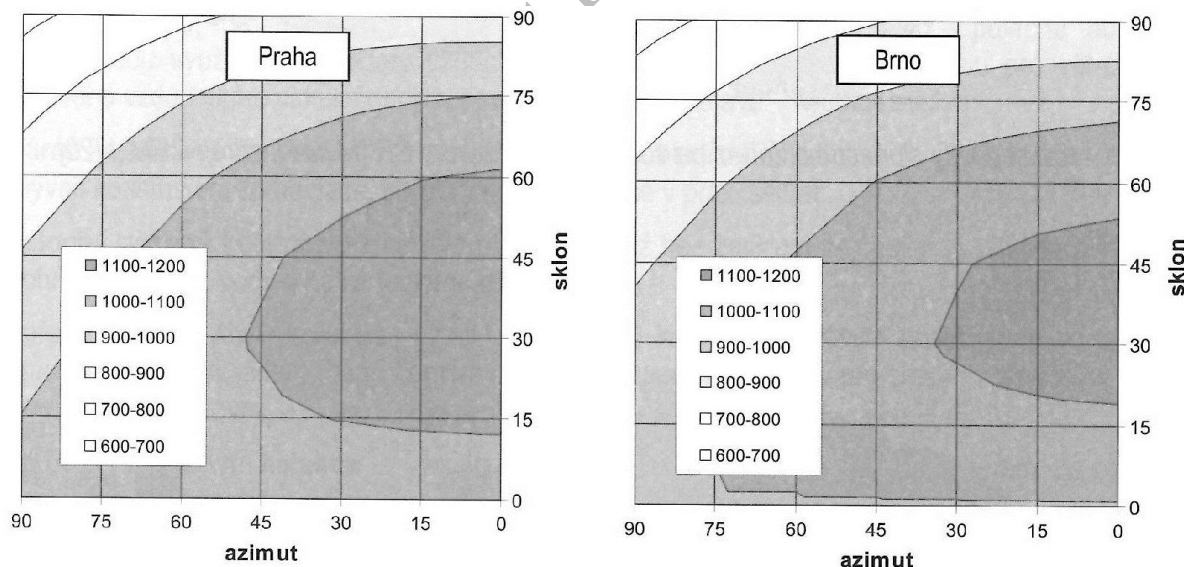
zima	3 $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{den}$
jaro, podzim	5 $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{den}$
léto	8 $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{den}$



Roční dávka ozáření v ČR:

- pro sklon 30 až 45°, jižní orientace: **1000 až 1200 kWh/m²**
- pro sklon 90°, jižní orientace: **750 až 900 kWh/m²**

Skutečná roční dávka slunečního ozáření $H_{T,rok}$ v závislosti na sklonu a orientaci plochy (příklady pro Brno a Prahu jsou stanoveny teoretickým výpočtem):



Denní dávka slunečního ozáření $H_{T,den}$ je závislá na roční době, orientaci plochy vůči světovým stranám (azimutu) a na sklonu kolektoru.

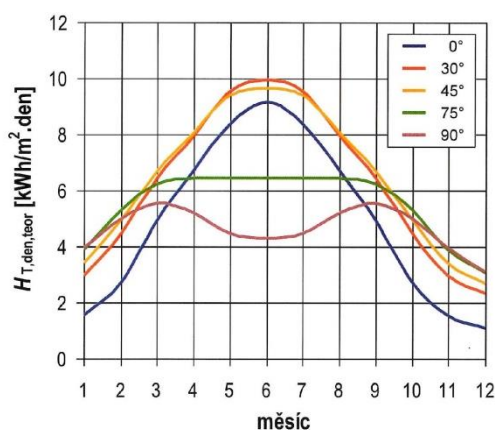
Optimální sklon je pro každé roční období jiný:

Léto – 20-30 stupňů

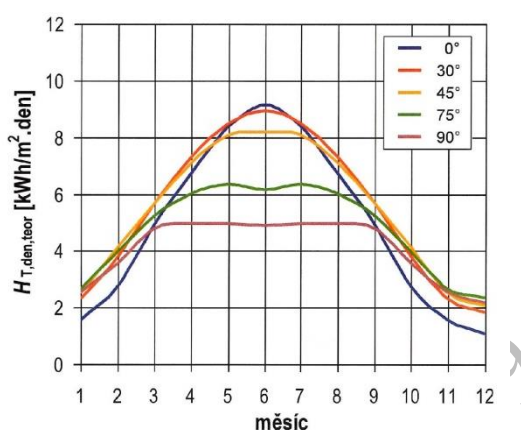
Zima – 75-90 stupňů

Celoroční kompromis: 35-45 stupňů

Vliv sklonu plochy:



azimut 0° (jih)



azimut 45° (JZ, JV)

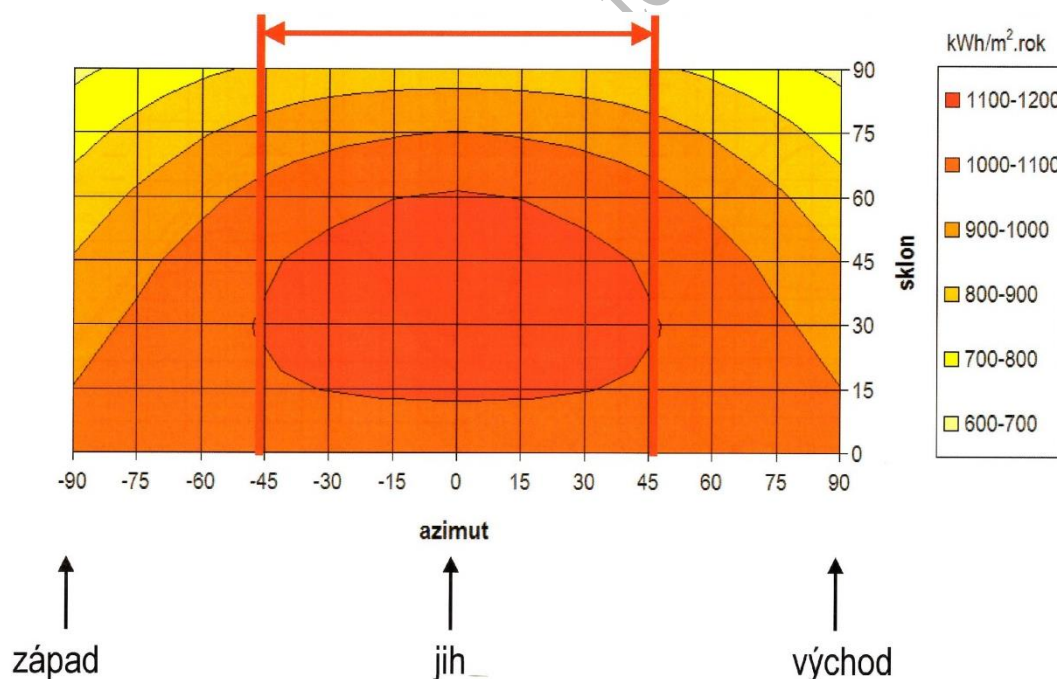
optimální sklon:

léto 20-30°

zima 75-90°

celoročně 35-45°

Vliv azimutu a sklonu plochy:



Způsoby zjištění orientace střechy (stanovení azimutu):

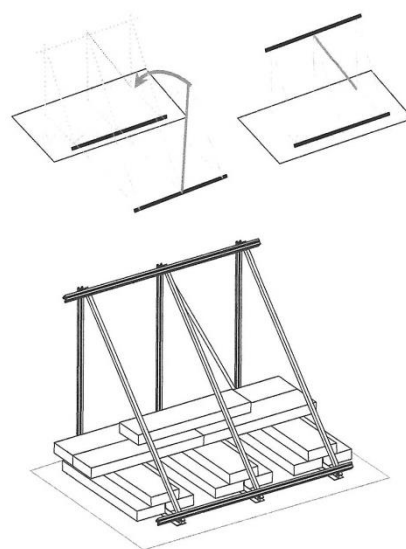
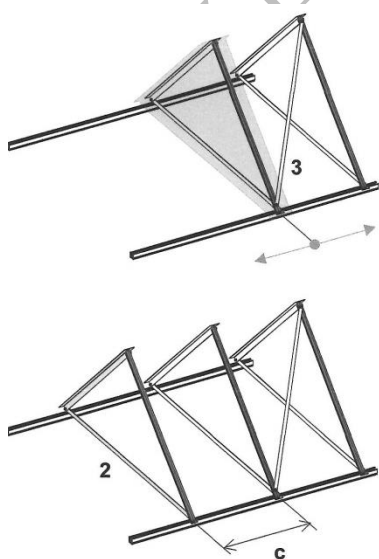
- Odečtení orientace střechy z katastrální mapy; např. z internetové adresy: <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/vyberparcelu.aspx>
- Odečtením orientace střechy ze serveru? www.mapy.cz (s určitou rezervou)
- Pomocí kompasu (buzoly) přímo na místě. Základní informace o práci s buzolou najdete na internetové adrese: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Buzola>.

2e) Možnosti uchycení solárních kolektorů pro různé druhy střech

Konkrétní uchycení kolektorů závisí především na typu a jeho výrobci. Každý výrobce dodává svůj systém mechanické konstrukce; detailní informace je třeba získat z dokumentace (event. montážních návodů) od jednotlivých výrobců (dodavatelů) kolektorů. V této kapitole uvedeme pouze základní informace.

Základní rozdělení:

- podle sklonu střechy
 - *šikmé*
 - *ploché* (rovné)
- podle typu střešní krytiny
 - *tašky* (pálené, betonové) – pod krytinou jsou střešní latě; musí se upravit taška tak, aby dobře dosedla a nehrozilo zatékání
 - *plech, asfaltová lepenka* (bonnský šindel) – pod krytinou je deskový záklop
- podle sklonu kolektorů vůči střeše
 - *paralelní montáž* (kolektor kopíruje sklon střechy)
 - *pozvednutí sklonu kolektoru* (např. o 20 °)
- podle způsobu kotvení do střechy
 - *střešní háky* (pevné, stavitelné), které jsou podsunuty pod tašku. Háky mohou být kotveny:
 - = do krokve (trámu)
 - = do pomocné montážní fošny (latě)
 - *kombivrutky* s gumovým těsněním
- uchycení stojanů pro plochou střechu
 - *kotvení přímo do střechy* (narušený plášť střechy je třeba dobře zaizolovat)
 - *zatížení stojanů pomocí betonových kotevních desek* (bez nebezpečí narušení pláště střechy)



V případě, že budeme konstrukci fixovat na střeše zatížením pomocí betonových kotevních desek (do max. výšky střechy 8 metrů), je třeba dbát na to, aby nedošlo překročení přípustného zatížení střechy. Doporučené zatížení stojanů pro určitý počet kolektorů uvádí následující tabulka:

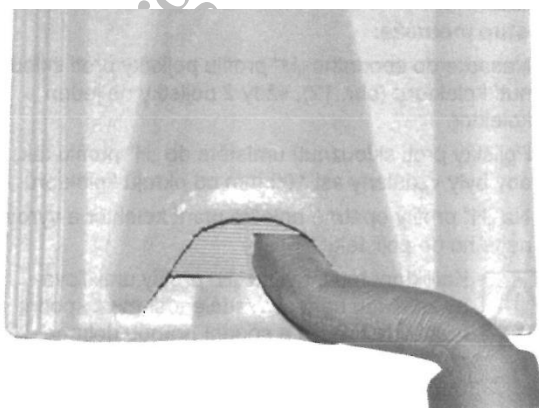
Montáž na plochou střechu	do max.výšky střechy 8 m
1 kolektor	290 kg
2 kolektory	580 kg
3 kolektory	870 kg
4 kolektory	1160 kg
5 kolektorů	1450 kg

Pro montáž (uchycení) kolektorů je třeba dodržovat i další obecná pravidla (doporučení):

Před instalací je třeba především vybrat vhodné místo pro umístění solárních kolektorů z hlediska následujících podmínek:

- orientace střechy (jih až +/- 45 °)
- sklon střechy (min. 20 °; standardně 25 ° - 45 °)
- zamezení stínění kolektorů
- servisní přístup ke kolektorům
- nosnost střechy (zejména pro větší systémy prověřit statikem)
- co nejkratší vzdálenost mezi kolektory a zásobníkem (akumulační nádrží)

Pro průchod potrubím od kolektorů do půdního prostoru se doporučuje využít standardní prvky střešní krytiny (např. odvětrávací tašku) – viz obrázek.



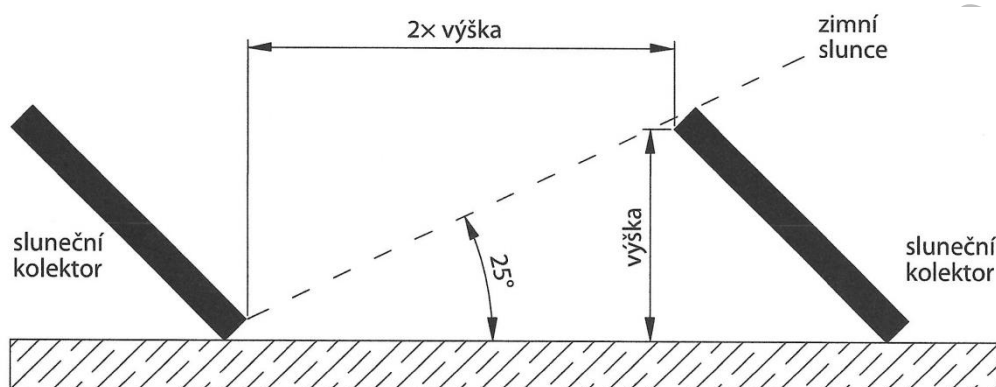
Kolektory je vhodné umísťovat co nejvýše k hřebenu střechy. Pokud to z nějakého důvodu nejde, pak se doporučuje nainstalovat zábrany proti sesunutí sněhové pokrývky.

Doporučený počet háků / podpěr uvádí každý výrobce (dodavatel) ve své dokumentaci. Nesmí se překročit hodnoty následujícího zatížení:

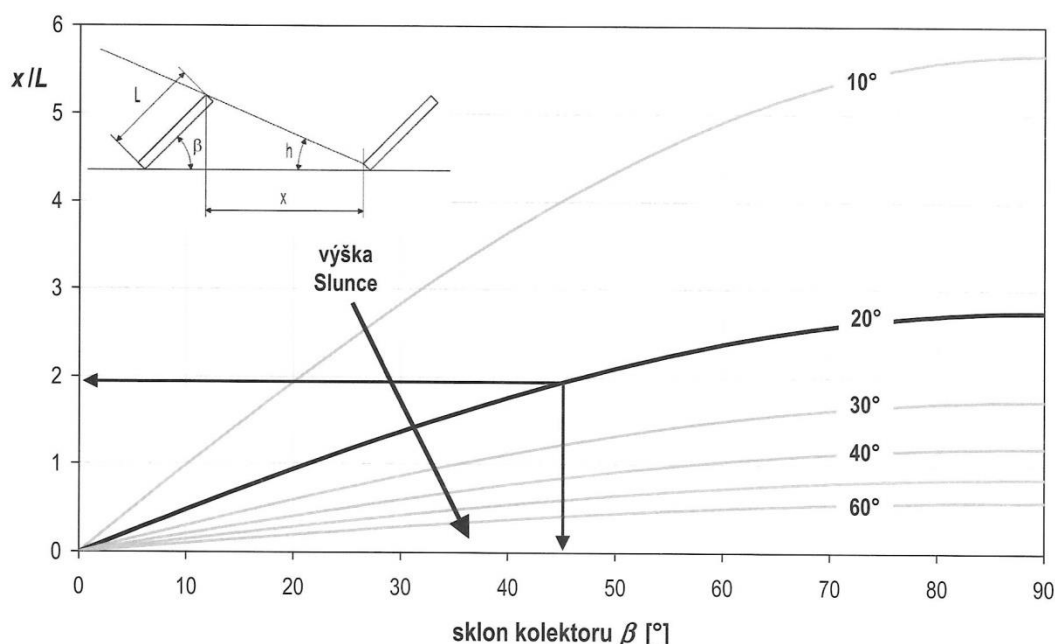
- max. zatížení tlakem (vítr, sníh): 1,8 kN/m²
- max. zatížení větrem (podtlak): 1,0 kN/m²

Nainstalované kolektory by neměly být do uvedení do provozu (do naplnění) vystaveny slunečnímu záření (alespoň, když jde o dlouhou dobu mezi instalací kolektorů a provozním systémem). Doporučuje se zakrýt kolektory (deka, karton atd.).

Pro větší počet kolektorů, které budou instalovány na ploché střeše, je nutné kolektory rozdělit do několika řad. Aby si kolektory vzájemně nestínily ani v zimě, kdy je slunce nejnižší nad obzorem, je třeba dodržet minimální vzdálenost mezi řadami kolektorů. Doporučená vzdálenost kolektorových polí odpovídá přibližně dvojnásobku výšky kolektorů nad střechou (podložkou) – viz obrázek.

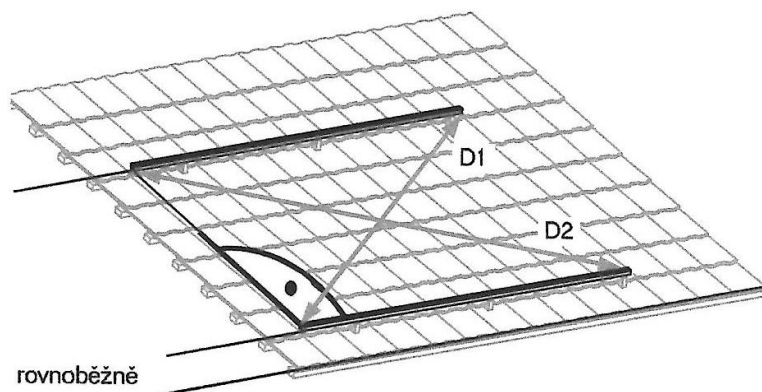


Obecnější závislost mezi sklonem kolektoru a vzdáleností mezi kolektory uvádí následující obrázek:



Obr. 7.43 – Grafické znázornění poměru rozestupu kolektorových polí k výšce kolektoru v závislosti na sklonu kolektoru β a uvažované výšce Slunce (hodnota 20° odpovídá zhruba polední o zimním slunovratu)

Jako praktická se ukazuje pomůcka pro stanovení pravého úhlu (resp. rovnoběžnosti základových profilů) přímo na střeše – viz obrázek.

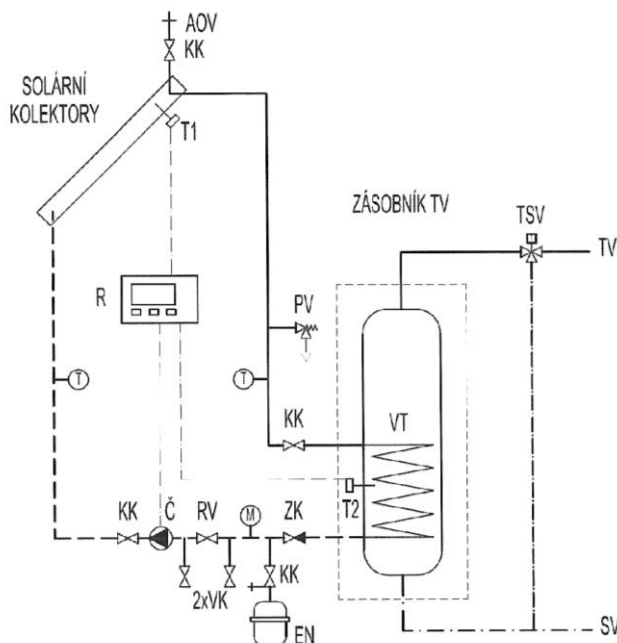


Solární Energie s.r.o. tel: 603 450 499

3a) Solární termické soustavy – popis funkce a regulace

Základní popis solárního systému pro ohřev teplé vody je na obr. 7.1 (včetně všech důležitých funkčních součástí).

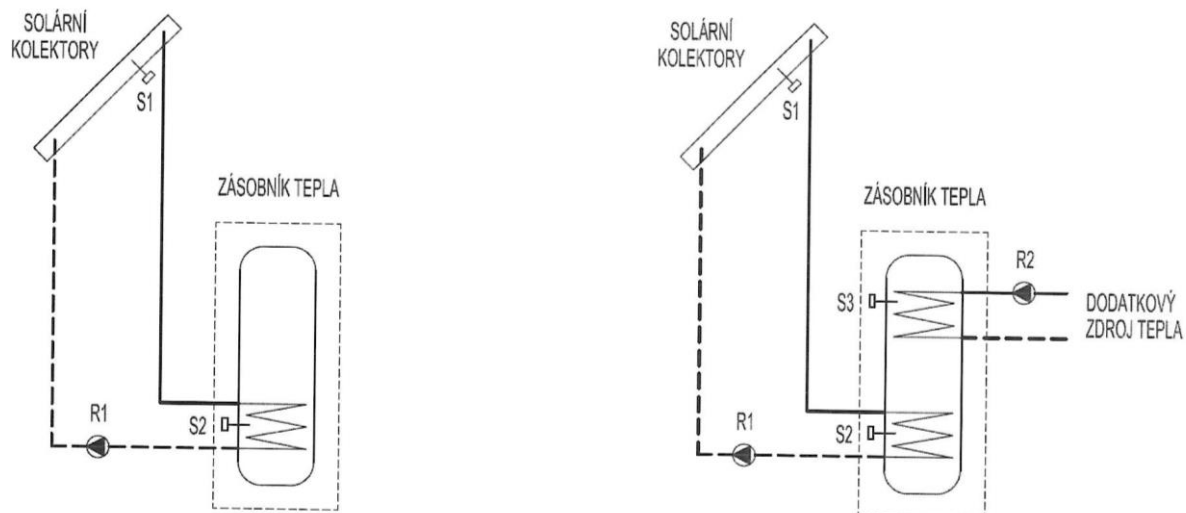
- solární kolektor (viz kapitola 4)
- zásobník tepla (viz kapitola 5)
- teplotonosná kapalina
- potrubí, tepelné izolace potrubí
- výměníky tepla (VT)
- oběhové čerpadlo (Č)
- zpětná klapka (ZK)
- pojistný ventil (PV)
- expanzní nádoba (EN)
- odvzdušňovací ventil (AOV)
- regulátor (R)
- uzavírací armatury (KK)
- vypouštěcí a napouštěcí armatury (VK)
- termostatický směšovací ventil (TSV)
- regulační ventil (RV)
- teploměry (T), teplotní čidla
- manometry (M), průtokoměry (P)



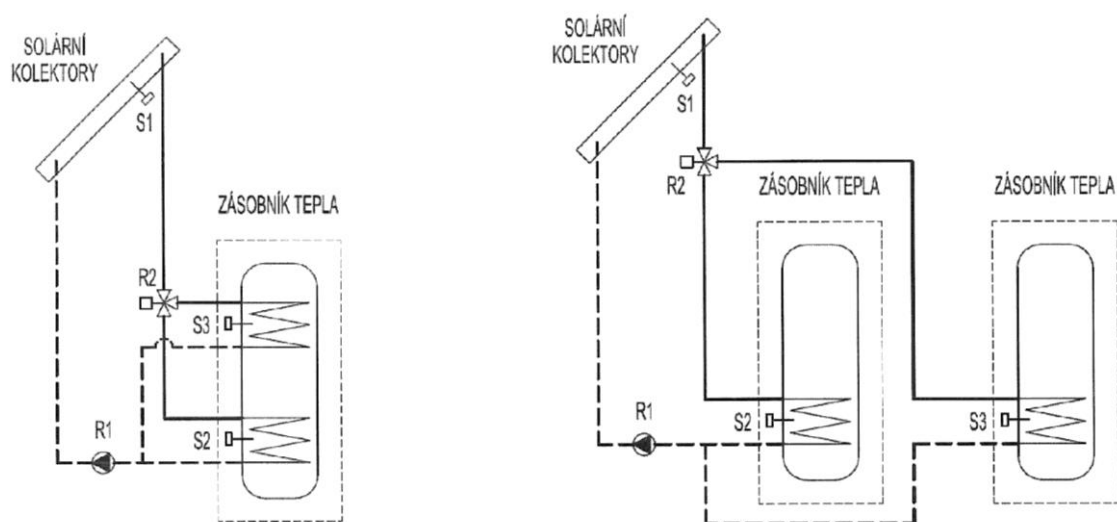
Obr. 7.1 Schéma solární soustavy pro přípravu teplé vody s vyznačením jednotlivých prvků

Následující obrázky ukazují principiální zapojení některých dalších aplikací solárních soustav vč. návrhu odpovídajících regulací:

- solární soustavy s jedním spotřebičem

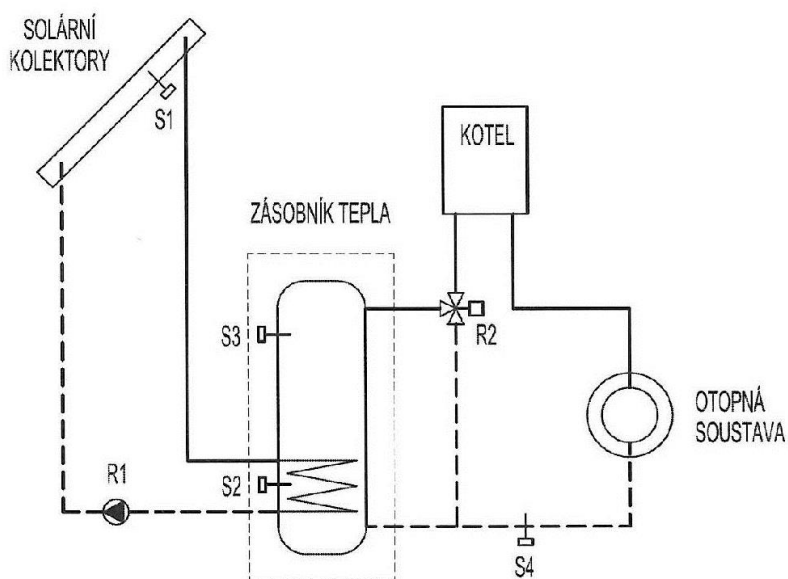


Obr. 7.32 – Regulační okruh solární soustavy s jedním spotřebičem
- solární soustavy se dvěma spotřebiči



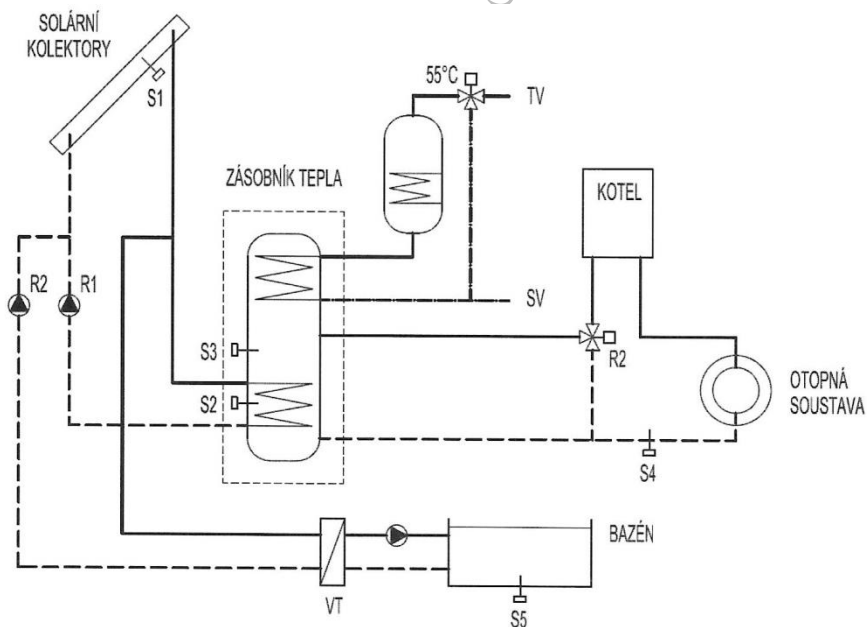
Obr. 7.33 – Regulační okruh solární soustavy se dvěma spotřebiči

- solární soustavy s podporou vytápění



Obr. 7.34 – Příklad zapojení solární soustavy s předeřevem zpátečky vytápění

- soustavy pro přípravu teplé vody, vytápění a ohřev bazénové vody



Obr. 7.35 – Příklad zapojení solární soustavy pro přípravu teplé vody, vytápění a ohřev bazénové vody

3b) Stav solární termické soustavy bez odběru tepla

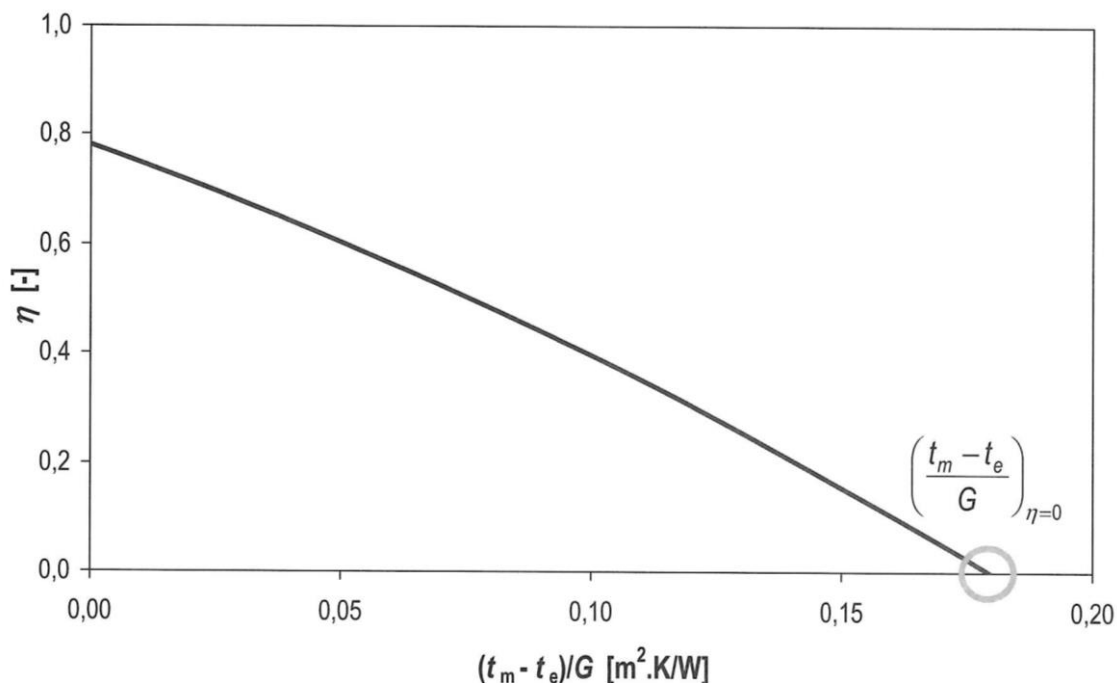
Solární soustavy s vyšším celoročním podílem pokrytí potřeby tepla sluneční energií vykazují především letním období přebytky tepla oproti vlastní potřebě dané aplikace. Zvláště se tato situace vyskytuje u solárních kombinovaných soustav pro přípravu teplé vody a vytápění, vyznačujících se předimenzovanou plochou solárních kolektorů vůči letní potřebě tepla. Stav, kdy při dopadajícím slunečním záření na kolektor se teplo z kolektoru neodvádí (regulátor nesepe neoběhové čerpadlo, protože není potřeba tepla, např. zásobník je nahnatý na max. provozní teplotu) se nazývá **stagnace**. V solárním kolektoru se při stagnaci dosahuje rovnováhy mezi tepelnými ztrátami kolektoru a zářivým tokem pohlceným absorberem (nulová účinnost) a teplota kolektoru dosahuje max. hodnoty při daných klimatických podmínkách. Při dostatečné úrovni slunečního záření pak může být stagnace spojena s varem teplotnosné kapaliny a pronikáním páry do rozvodu solární soustavy. Ke stagnaci může dojít i při poruše (výpadek elektrické energie, porucha oběhového čerpadla atd.). Na rozdíl od těchto poruchových stavů je provozní stagnace běžnou součástí provozu solární soustavy a je třeba již při návrhu s ní počítat.

Stagnační teplota

Základním parametrem pro charakterizaci stagnačních podmínek v kolektoru je tzv. **stagnační teplota t_{stg}** - ustálená teplota kolektoru, který přijímá sluneční záření bez odvodu tepla. Někdy je tato teplota také označována jako klidová teplota kolektoru. Stagnační teplotu je možné měřit nebo vypočítat z křivky účinnosti solárního kolektoru pro podmínky, že teplota okolního vzduchu $t_e = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a sluneční ozáření $G = 1000\text{ W/m}^2$. Tato teplota je

pokládána za max. teplotu v kolektoru během provozu. Stagnační teplota se měří v kolektoru nezapojeném do soustavy („na sucho“).

Hodnotu redukovaného teplotního spádu při $\eta = 0$, lze odečíst i grafu účinnosti (obr. 7.2).



Obr. 7.2 – Stanovení stagnační teploty z průsečíku křivky účinnosti

V tabulce 7.1 jsou uvedeny typické hodnoty stagnačních teplot pro různé typy solárních kolektorů. Těmto teplotám musí být přizpůsoben výběr materiálu při výrobě kolektorů.

Typ kolektoru	$t_{\text{stg}} [^{\circ}\text{C}]$
Nezasklený kolektor	65
Zasklený neselektivní kolektor	100
Zasklený selektivní kolektor	180
Trubkový jednotěnný vakuový kolektor	300
Trubkový vakuový Sydney kolektor	250

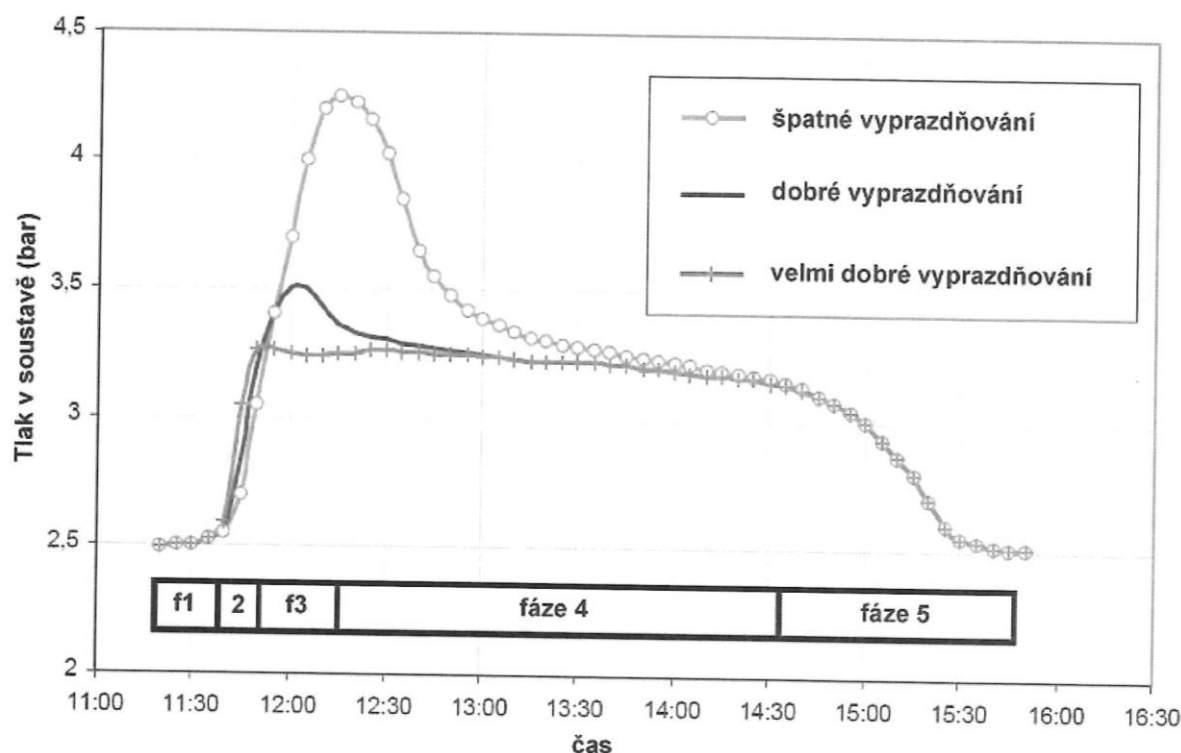
Tab. 7.1 – Orientační hodnoty stagnační teploty různých typů solárních kolektorů

Stagnační chování kolektoru

Procesy odehrávající se při stagnaci v solárním kolektoru a soustavě lze obecně rozdělit do několika fází znázorněných na obr. 7.3. Kapalina se vlivem zvýšené teploty nejprve roztahuje (fáze 1), při dosažení bodu varu se začínají objevovat první bubliny, tvoří se sytá pára, která vytlačuje kapalinu z kolektorů (fáze 2). Zbylá kapalina v kolektoru se dále odpařuje a kolektor je vyplňován sytou párou teploty látky (fáze 3). Tato fáze přeměny skupenství teploty látky se vyznačuje vysokým odvodem tepla z kolektoru do okolí a vlivem postupného pronikání páry i do rozvodů soustavy. Další přehřívání kolektoru vysušuje kolektor a objem páry v soustavě může dokonce klesnout (částečně se stáhnout do kolektoru), přestože příjem energie slunečního záření trvá (fáze 4). Tento stav může být stabilní po dlouhou dobu. Poklesem dopadajícího slunečního ozáření klesá teplota v kolektoru pod bod varu, teplotní látka ve formě páry kondenzuje a kapalina opět vyplní kolektor (fáze 5).

Největší zátěž soustavy probíhá ve fázi 2 a 3. Objem kapaliny, která na konci fáze 2 zůstane v kolektoru určuje délku a intenzitu následující fáze 3. Vypařování zbylé kapaliny udržuje kolektor na bodu varu po dlouhou dobu a vznikající velké objemy páry mohou pronikat do soustavy, předávat teplo a zatěžovat i prvky umístěné daleko od kolektorů. Na konci fáze 3 po ukončení vypařování dosahuje kolektor své maximální (stagnační) teploty a do soustavy se již teplo neuvolňuje.

Na průběh stagnace v solární soustavě má zásadní vliv schopnost kolektoru vyprázdnit svůj objem teplotní kapaliny při začátku fáze 2. Čím více teplotní kapaliny se drží v kolektoru, tím více páry vzniká. Na obr. 7.3 je porovnán průběh stagnace pro stejnou soustavu a stejné kolektory lišící se pouze různou vyprazdňovací schopností [50]. Hodnota tlaku odpovídá množství produkované páry a tedy potenciálnímu riziku zasažení dalších prvků solární soustavy teplotou varu, která běžně může dosahovat hodnot nad 130 °C. V příkladech na obr. 7.3, tlak 3,2 bar odpovídá množství páry, které vyplní pouze objem kolektorů (nešíří se do soustavy), vyšší tlaky odpovídají stavu, kdy pára proniká do vzdálenějších částí soustavy a zatěžuje prvky jako čerpadlo, výměník, průtokoměr, kalorimetr, atd. Tyto prvky pak mohou být zatíženy teplotami přesahující výrobcem doporučené hodnoty a tak dojít k předčasnému zestárnutí, poškození nebo zničení soustavy.



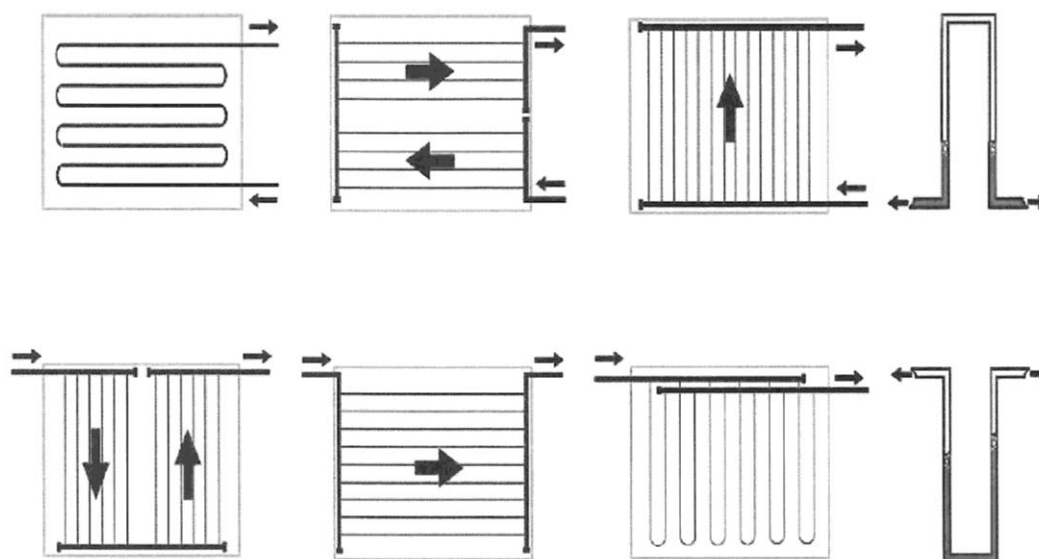
Obr. 7.3 – Průběh stagnace v soustavě při použití kolektorů s různou vyprazdňovací schopností [50]

7.1.3. Ochrana proti problémům se stagnací

Problémům s důsledky stagnace je možné se zpravidla vyhnout již ve fázi návrhu solární soustavy a to správnou volbou, návrhem a umístěním prvků, které zabrání vlastní produkci páry, případně jejímu proniknutí k ostatním prvkům soustavy.

Vyprazdňovací schopnost kolektorů

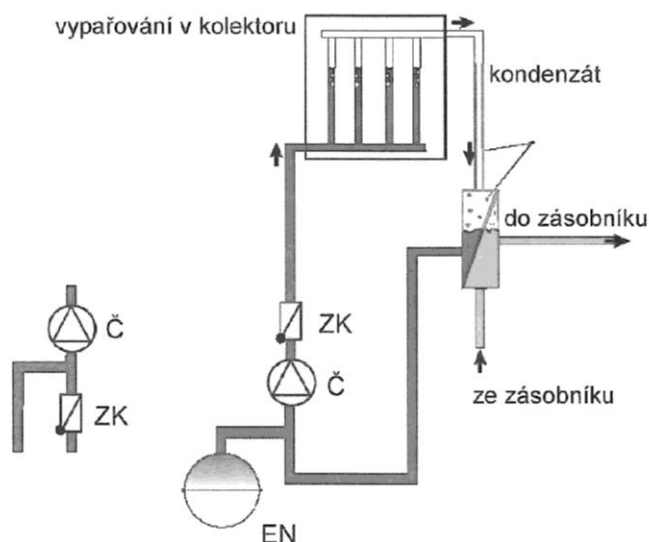
Schopnost kolektorů a kolektorových polí vytlačit kapalnou fázi při vzniku páry je závislá na jejich hydraulickém zapojení a určuje četnost, hladinu a dobu trvání kritické tepelné zátěže solární soustavy a jejích prvků. **Dobrá vyprazdňovací** schopnost znamená, že hydraulické zapojení absorberu kolektoru (viz obr. 7.4 - horní řada) umožňuje při přeměně zlomku objemu teplotnosné kapaliny v páru ve fázi 2 vytlačení zbylého objemu teplotnosné kapaliny z kolektoru. Tím nevzniká další pára, která by mohla pronikat do soustavy a ta je chráněna před kritickou zátěží. **Špatná vyprazdňovací** schopnost se vyznačuje omezeným vytlačem kapaliny z kolektoru (viz obr. 7.4 – dolní řada), zapojení absorberu vytváří „pytel“ teplotnosné kapaliny, který nelze z kolektoru vytlačit (lokální zvýšení tlaku nepřevyší hydrostatickou výšku sloupce kapaliny), ale pouze odvést ve formě páry. To vede k velkému množství produkované páry a energie, které je při stagnaci přenášeno párou do soustavy, přeměnu části obsahu potrubí soustavy v páru a k rozsáhlým oblastem v rozvodech soustavy vyplněným sytou párou. Možnou ochranou proti výrazné tvorbě páry u nevhodně zapojených absorberů může být často jednoduchá změna montážní polohy kolektoru, např. u trubkových vakuových solárních kolektorů s protékáním U-registrem pootočením kolektoru o 90° nebo ještě lépe umístěním rozvodných potrubí dolů (pootočení o 180° - naráží na problém řádného odvzdušnění).



Obr. 7.4 - Kolektory s dobrou (nahore) a špatnou (dole) vyprazdňovací schopností z hlediska tvorby páry při stagnaci [17]

Poloha zpětné klapky

Vyprazdňování kolektorů závisí výrazně také na poloze zpětné klapky vzhledem k tlakové expanzní nádobě v soustavě. Pokud je sestava prvků na přívodním potrubí do kolektorů zapojena podle obr. 7.5 (vpravo), potom je vyprazdňování kolektoru omezeno pouze horním vývodem. Vzniká velké množství páry i u solárních kolektorů s vhodným hydraulickým zapojením z hlediska vyprazdňování, pára se dostane daleko do soustavy a po kondenzaci např. na výměníku teprve do expanzní nádoby. Na druhou stranu, přívodní potrubí do kolektoru zůstává vyplněné kapalinou až ke kolektoru díky nevhodné poloze zpětné klapky.



Obr. 7.5 - Správné (vlevo) a špatné (vpravo) umístění zpětné klapky v solární soustavě [17]

Podmínky pro dobré vyprázdnění kolektorů v případě stagnace se dosáhnou změnou polohy zpětné klapky vzhledem k expanzní nádobě podle obr. 7.5 (vlevo). Při tomto uspořádání prvků může být obsah kolektorů vytlačen do expanzní nádoby především přívodním potrubím kolektoru, a objem zbylé

kapaliny produkující páru v kolektoru je minimální. Pára se šíří do soustav oběma cestami, což sníží navíc riziko proniknutí páry daleko od kolektoru a zasažení prvků ve strojovně.

Expanzní nádoba

Správné dimenzování expanzní nádoby může předejít problémům se ztrátou teploty kapaliny pojistným ventilem. Velikost expanzní nádoby by měla respektovat tvorbu páry v kolektorech při stagnaci, objemové změny s tím spojené a zejména vytlačení objemu kapaliny z kolektorů. Potom nedochází k výraznému růstu tlaku v soustavě a reakci pojistného ventilu při běžných stagnačních podmínkách.

Volba teplotosné látky

Běžné teplotosné látky na bázi nemrznoucích směsí glykolu a vody s inhibitory koroze mohou při dlouhodobém působení vysokých teplot (nad 130 °C) podléhat degradaci, vylučování pevných látek, vznik kyselin, zvýšení korozivity teplotosné kapaliny, „cuckovatění“, apod. U kolektorů a soustav s dobrou vyprazdňovací schopností dochází k působení nepříznivé tepelné zátěže pouze na zlomek objemu teplotosné kapaliny a jen krátkodobě. U kolektorů a soustav se špatnou vyprazdňovací schopností je celý objem kapaliny zadržován v kolektorech vystaven kritickým podmínkám po delší dobu. To může mít za následek nejdříve odpařování vodního obsahu nemrznoucí směsi (oddělená destilace), nárůst koncentrace glykolu a inhibitorů ve zbytkovém objemu kapaliny v kolektorech až do vysokých hodnot s bodem varu 210 °C (čistý glykol při běžných stagnačních tlacích). Potom např. u plochých kolektorů s teplotou stagnace 160 až 180 °C nemusí dojít k úplnému odpaření glykolové složky nemrznoucí směsi, nicméně celý objem je vystaven dlouhodobé tepelné zátěži, což může mít za následek jeho rychlou degradaci. U vakuových kolektorů s teplotami stagnace nad 250 °C dochází k odpaření glykolu a tvorbě pevných usazenin v potrubí (vyloučené inhibitory), které mají omezenou zpětnou rozpustnost při následné kondenzaci po skončení stagnace. Pro solární soustavy, u kterých je předpoklad zvýšené četnosti výskytu extrémních stagnačních podmínek se tedy doporučuje použití kvalitních nemrznoucích směsí, odolávajících vysokým teplotám bez degradace a dále nemrznoucích směsí s kapalnými inhibitory koroze, odpařitelnými a zpětně smísitelnými s teplotosnou látkou.

Sklon kolektorů

Omezení stagnačních podmínek je možné také realizovat **zvýšením sklonu** kolektorů, který v letním období zajišťuje nižší příjem slunečního záření oproti optimálnímu sklonu 45° (pro celoroční použití). U kombinovaných soustav pro přitápění je proto výhodná integrace kolektorů do fasády (90°). Z hlediska provozních parametrů se dosahuje stejných zisků a pokrytí jako u kombinované soustavy s kolektory na střeše se sklonem 45°. Integrací kolektoru do fasády sice dochází na jedné straně ke zvýšení účinnosti kolektoru a tedy k nárůstu teoreticky dosažitelné stagnační teploty, na druhé straně se výrazně snižuje provozní četnost výskytu stagnačních podmínek a jejich úroveň (tvorba páry) v letním období.

4a) Potřebná plocha solárních kolektorů pro danou potřebu tepla

Pro potřebu zkoušky je třeba se dobře naučit ovládat minimálně výpočet, který je v Excelu na stánkách dotačního programu „Nová zelená úsporám“ (najdete na internetové adrese):

<http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/2-vyzva-rodinne-domy/bilance-solarnich-termickych-systemu-2-vyzva-rodinne-domy-2-0/>

Výpočet vychází z normy TNI 73 0302 (Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup). Zkoušený by měl alespoň pochopit princip a postup a dokázat výpočtový program efektivně využít. Tzn. pro konkrétní solární kolektor (který používá v praxi) umět dosadit jeho konstanty (parametry rovnice křivky účinnosti η_0 , lineární součinitel tepelné ztráty a_1 [W/(m² · K)] a kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2 [W/(m² · K²)], vztaženy k ploše apertury solárního kolektoru A_a) optimalizovat počet kolektorů pro danou aplikaci v závislosti na počtu lidí, eventuálně na potřebě energie na vytápění. Je třeba umět pracovat s přírážkami (z = tepelné ztráty při přípravě teplé vody; v = tepelné ztráty otopné soustavy atd.).

Pro ty, které zajímají vazby mezi jednotlivými veličinami, je v dalším textu uvedený postup výpočtu a konkrétní příklad stanovení potřebné plochy solárních kolektorů pro danou potřebu tepla. **Tato část je informativní a není povinná!!**

$Q_{ss,u}$ celkové využití tepelné zisky solární soustavy [kWh/rok, GJ/rok]

$q_{ss,u}$ celkové využití tepelné zisky solární soustavy vztažené k ploše apertury A_k instalovaných kolektorů [kWh/(rok·m²)]

Q_d dodatková energie (konvenční zdroj tepla) [kWh/rok]

$Q_{p,c}$ celková potřeba tepla [kWh/rok]

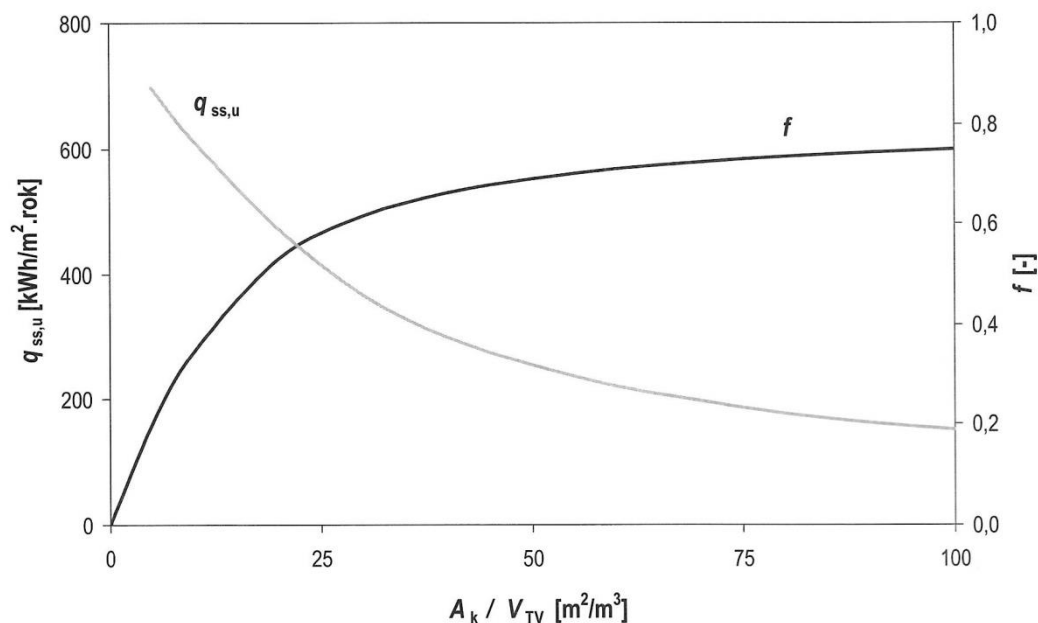
$$Q_{p,c} = Q_{ss,u} + Q_d$$

f solární pokrytí (solární podíl)

$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} = 1 - \frac{Q_d}{Q_{p,c}}$$

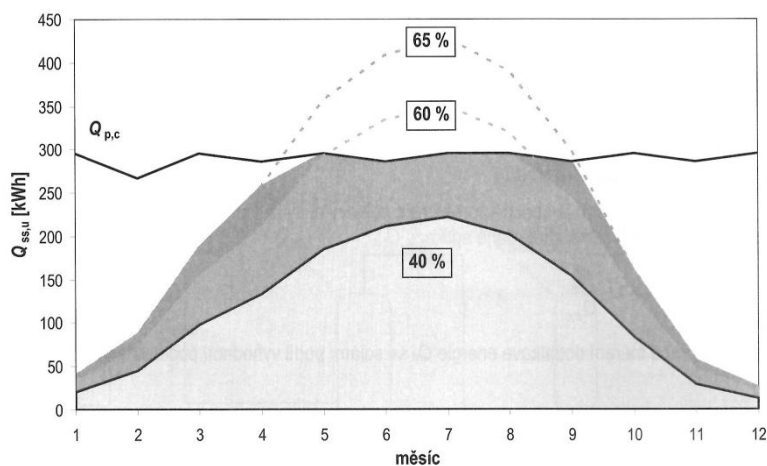
A_k plocha apertury kolektoru [m²]

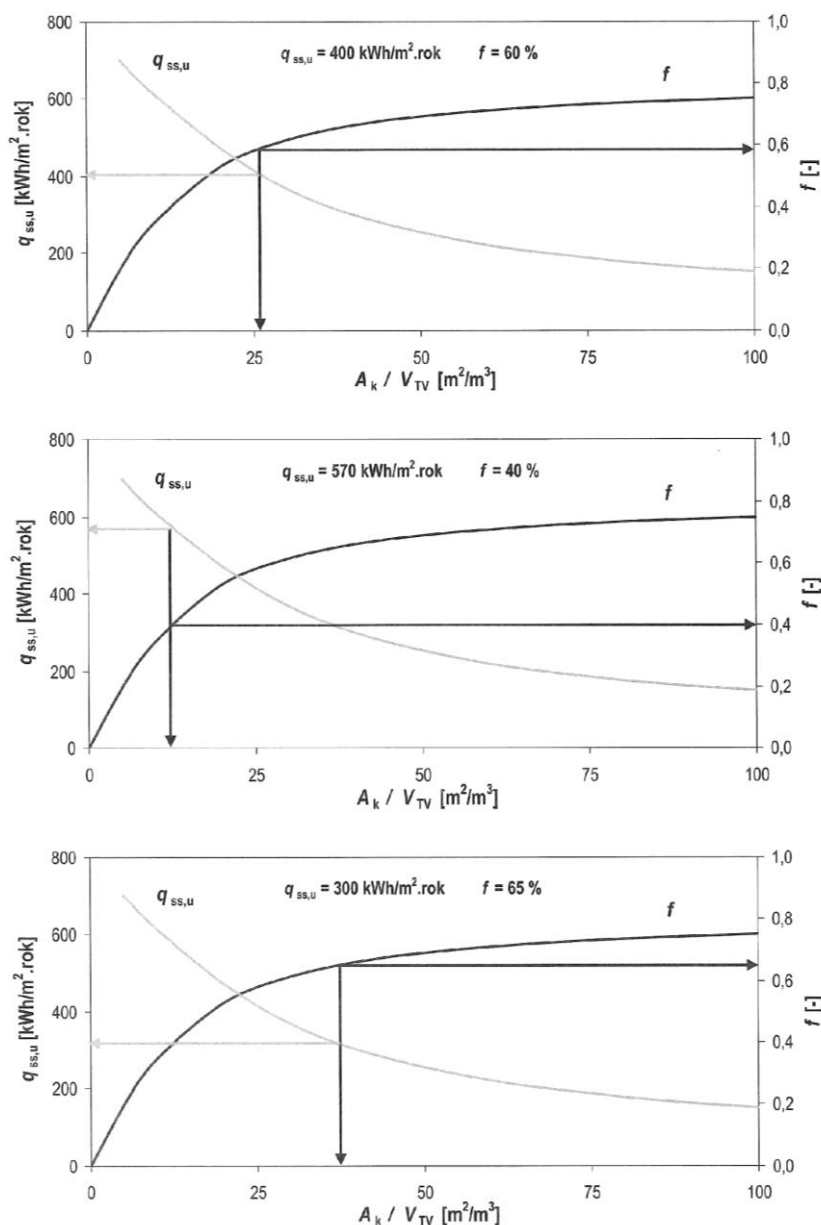
V_{TV} denní potřeba teplé vody [m³]



Souvislost mezi instalovanou plochou solárních kolektorů, solárním pokrytím a měrnými .
využitými zisky solární soustavy pro přípravu TV

Na dalších grafech je průběh teoreticky využitelných tepelných zisků a skutečně využitých zisků solární soustavy pro přípravu TV při různém solárním pokrytí a dále souvislost mezi měrnými solárními zisky a solárním pokrytím při různém dimenzování plochy kolektorů.





Z grafů vyplývá následující závislost:

Zvyšováním plochy kolektorů roste solární pokrytí, ale současně klesají měrné solární zisky (ekonomická efektivnost) a naopak snižování plochy kolektorů vede ke snížení solárního pokrytí a současně ke zvýšení měrných solárních zisků. V zásadě tedy platí, že pro běžné aplikace jsou solární podíl a měrné tepelné zisky solární soustavy v protikladu.

Celková účinnost solární soustavy:

$$\eta_{ss} = \frac{Q_{ss,u}}{Q_s} = \frac{Q_{ss,u}}{H_T \cdot A_k}$$

Využitelné tepelné zisky $Q_{ss,u}$ vztažené ke sluneční energii Q_s dopadající v místě instalace na plochu kolektorů definují celkovou účinnost solární soustavy.

H_T sluneční ozáření [$\text{kWh}/(\text{rok} \cdot \text{m}^2)$]

A_k plocha kolektoru – apertura [m^2]

Pro dimenzování kolektorů je třeba nejdříve stanovit **potřebu tepla**. Úlohu rozdělíme na tři základní případy:

- příprava teplé vody TV
- příprava teplé vody TV a vytápění (kombinované soustavy)
- ohřev bazénové vody

Potřeba tepla na přípravu teplé vody TV:

Ohřev teplé vody má celoročně poměrně rovnoměrný průběh (rovnoměrnou potřebu tepla). Celková potřeby tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV}$ [kWh/den] v referenčním dnu daného měsíce se výpočtem stanovuje jako potřeba tepla na ohřev vody včetně zahrnutí tepelných ztrát vlastní soustavy přípravy teplé vody (související pouze s přípravou TV).

Potřeba tepla na ohřev vody

Potřeba tepla na ohřev vody je dána vztahem

$$Q_{TV} = \frac{V_{TV,den} \rho c (t_{TV} - t_{SV})}{3.6 \times 10^6}$$

kde

$V_{TV,den}$ je průměrná denní potřeba teplé vody (při teplotním spádu 60 / 15 °C) v m^3/den ;

ρ je hustota vody, v kg/m^3 ;

c měrná tepelná kapacita vody, v $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

t_{SV} teplota studené vody, uvažována celoročně 15 °C;

t_{TV} teplota teplé vody, uvažována celoročně 60 °C.

Potřeba teplé vody při teplotním spádu se stanoví podle následující tabulky:

Typ budovy	Typ spotřeby	m.j.	$V_{TV,mj,den}$ [l/mj.den]
Obytné budovy	Nízký standard	os	10 - 20
	Střední standard	os	20 - 40
	Vysoký standard	os	40 - 80
	Nízké (letní) vytížení		$0,75 \times V_{TV}$
Nemocnice	Nízké (letní) vytížení	os	30 - 35
	Zbylá část roku	os	30 - 60
Domovy důchodců	Nízké (letní) vytížení	os	30 - 35
	Zbylá část roku	os	30 - 60
Studentské domovy, koleje	Nízké (letní) vytížení	os	20 - 25
	Zbylá část roku	os	25 - 50
Školy	Nízké (letní) vytížení	os	0
	Zbylá část roku	os	5 - 10
Hostince, restaurace	Nízký standard	místo	5
	Střední standard	místo	15
	Vysoký standard	místo	30
Ubytovací zařízení**	Nízký standard	lůžko	20
	Střední standard	lůžko	35
	Vysoký standard	lůžko	70
Sportovní zařízení***	Nízký standard	sprcha	30
	Střední standard	sprcha	60
	Vysoký standard	sprcha	100

Tab. 6.1 - Měrná denní potřeba teplé vody při teplotním spádu 60/15 °C

Hodnoty konstant pro dosazení do výše uvedeného vzorce:

$c = 4180 \text{ J / (kg.K)}$ pro vodu

$\rho = 1000 \text{ kg / m}^3$

Zjednodušený vzorec pro výpočet potřeby tepla pro ohřev vody:

$$Q_{TV} = m \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot 0,0011611$$

m hmotnost ohřívání vody [kg]

t_{TV} teplota teplé vody [°C]

t_{SV} teplota studené vody [°C]

Tepelné ztráty přípravy teplé vody

Tepelné ztráty $Q_{z,TV}$ jsou dány tepelnými ztrátami vlastní přípravy TV, rozvodu TV a rozvodu cirkulace (pokud je použita). Ztráty charakterizuje přírážka z . Velký vliv na tyto ztráty má zejména cirkulace. Základní orientační hodnoty přírážky z uvádí tabulka:

Typ přípravy TV	z
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2,00

Celková potřeba tepla na přípravu TV:

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} = Q_{TV} + Q_{z,TV} = (1 + z) \cdot Q_{TV}$$

Potřeba tepla na vytápění

Denní potřeba tepla na vytápění Q_{VYT} [kWh/den] se stanoví v referenčním dnu navrhovaného měsíce dle následujícího (zjednodušeného) vzorce (denostupňová metoda):

$$Q_{VYT} = 24 \cdot \varepsilon \cdot \dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})} \quad (6.6)$$

kde

$\dot{Q}_z$ je jmenovitá (výpočtová) tepelná ztráta objektu, v kW;

t_{iv} výpočtová vnitřní teplota v daném měsíci, ve °C;

t_{ip} střední vnitřní teplota v daném měsíci, ve °C;

t_{ev} výpočtová venkovní teplota, ve °C;

t_{ep} střední venkovní teplota v daném měsíci, ve °C;

ε korekční součinitel podle tab. 6.3, který zahrnuje snížení potřeby tepla vlivem účinky regulace, přerušovaného vytápění, mj. také vlivem vnitřních a solárních zisků.

Energetická náročnost budovy (vytápění)	ε
<i>běžný standard</i> , tepelné vlastnosti konstrukcí vyhláškou požadované	0,75
<i>nízkoenergetický standard</i> , vyhláškou doporučené tepelné vlastnosti konstrukcí	0,60
<i>pasivní standard</i> , tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot	0,50

Otopné období se zjednodušeně uvažuje od září do května.

Tepelné ztráty otopné soustavy

Tepelné ztráty otopné soustavy $Q_{z,VYT}$ jsou dány tepelnými ztrátami vlastního ohřevu otopné vody (např. v zásobníku otopné vody) a rozvodu otopné vody, který nepřispívá k vytápění.

Kombinované solární soustavy nejčastěji využívají centrální zásobník otopné vody, do kterého je přiváděn tepelný zisk ze solárních kolektorů a teplo z dodatkového zdroje energie, odebírána otopná voda pro vytápění a ve vestavěném průtočném výměníku nebo zásobníku je připravována teplá voda. Nelze proto jednoznačně odlišit jaká část tepelných ztrát jde na vrub přípravě teplé vody, jaká vytápění a jaká solární soustavě. Tepelné ztráty spojené s provozem zásobníku na vytápění se stanoví paušálně přírážkou v ve výši 5% ($v=5\%$).

Celková potřeba tepla na vytápění

$$Q_{p,c} = Q_{p,VYP} = Q_{VYP} + Q_{z,VYP} = (1+v) \cdot Q_{VYP}$$

Q_{VYP} čistá potřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících nebo pro referenční dny
[kWh/měs] nebo [kWh/den]

v přírážka na tepelné ztráty

Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody a vytápění (kombinovaná solární soustava)

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} + Q_{p,VYT} \quad [\text{kWh/měs; kWh/den}]$$

Návrh plochy solárních kolektorů

Základem návrhu je velikost plochy a typ solárního kolektoru. Typ solárního kolektoru je zpravidla vybrán již na počátku návrhu, plochu kolektorů je možné spočítat na základě výběru typu kolektoru.

Obecný postup

Návrh plochy solárních kolektorů vychází ze stanovené potřeby tepla v dané aplikaci a ze zvolených rozhodovacích kritérií a podmínek. Ty mohou být různé:

- **vysoké využití měrné zisky solární soustavy $q_{ss,u}$** – snaha o dobré ekonomické parametry solární soustavy
- **vysoké nahrazení primárních paliv** – snaha o dosažení vysoké úspory **vysokého solárního pokrytí f**
- **požadované solární pokrytí f** – např. optimalizace pokrytí v bytových domech s ohledem na zamezení letnímu přehřívání
- **omezuující podmínky struktury budovy** – maximální velikost střechy, možná sklon kolektorů, architektonické souvislosti

Jak již bylo uvedeno dříve, dosažení vysokých měrných zisků solární soustavy a vysokého solárního pokrytí je v protikladu. Při každém návrhu by mělo být sledováno především ekonomické kritérium, tzn. měrné zisky solární soustavy by neměly být nižší než **350 kWh/m².rok**, uznávanou jako dolní mez různých dotačních programů tuzemských i zahraničních.

Návrh plochy solárních kolektorů v dané aplikaci se provádí pro referenční den v období, ve kterém je požadováno celkové nebo částečné (zvolené) pokrytí potřeby tepla solární soustavou. Postupně je třeba stanovit:

- celkovou potřebu tepla $Q_{p,c}$ [kWh/den]
- pro daný sklon a orientaci kolektorů denní dávka slunečního ozáření $H_{T,den}$ [kWh/(m².den)] - s využitím přílohy A
- stanovením střední účinnosti solárního kolektoru η_k během referenčního dne lze stanovit denní měrný tepelný zisk $q_{k,u}$ z jednoho metru čtverečního kolektoru a porovnáním s požadovanou potřebou tepla, kterou je potřeba solární soustavou krýt, se stanoví plocha kolektorů.

Počet kolektorů se potom stanoví prostým vydělením vypočtené celkové plochy plochou jednoho kolektoru a výsledek se zaokrouhlí na celé číslo. U malých soustav (do 5 kolektorů), kdy zaokrouhlení může činit desítky procent celkové plochy, je nutné zvážit, zda zaokrouhlovat směrem nahoru (pokud máme zajištěno využití vzniklých přebytků) nebo směrem dolů. U větších solárních soustav, kdy se plocha jednoho kolektoru pohybuje v řádech jednotek procent celkové plochy a méně, se konečný počet kolektorů může řídit celým násobkem požadovaného počtu kolektorů instalovaných paralelně v jedné skupině (podle dispozice na fasádě nebo na střeše).

Denní dávka slunečního ozáření

V příloze A jsou zjednodušené výpočty tabelovány pro různé oblasti (horské oblasti, venkov, města, průmyslové oblasti) hodnoty teoretické denní dávky celkového slunečního ozáření

$H_{T,den,teor}$ [kWh/(m².den)]. V příloze **B** jsou tabelovány difúzní dávky slunečního záření $H_{T,den,dif}$ [kWh/(m².den)] v různých orientacích a sklonech kolektoru. V příloze **D** jsou tabelovány poměrné doby slunečního svitu τ_r pro vybraná místa ČR a SR. Denní dávka slunečního ozáření $H_{T,den}$ dopadající na kolektor se stanoví:

$$H_{T,den} = \tau_r \cdot H_{T,den,teor} + (1 - \tau_r) \cdot H_{T,den,dif}$$

Účinnost solárního kolektoru

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad (6.20)$$

kde

$G_{T,m}$ je střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů; pro různé sklony a orientace plochy kolektorů v různých oblastech (horské oblasti, venkov, města, průmyslové oblasti) se v jednotlivých měsících stanoví podle přílohy C, ve W/m²;

$t_{k,m}$ průměrná teplota teplosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne, ve °C; hodnota se uvažuje celoročně konstantní a stanoví se podle typu aplikace z tab. 6.5;

$t_{e,s}$ průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu, ve °C (hodnoty v jednotlivých měsících se stanoví podle přílohy E).

Parametry (konstanty) rovnice křivky účinnosti solárního kolektoru, tzn. hodnota účinnosti při nulových ztrátách η_0 [-], lineární součinitel tepelné ztráty a_1 [W/(m². K)] a kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2 [W/(m². K²)], vztaženy k ploše apertury solárního kolektoru A_a , se získají od výrobce nebo dodavatele navrženého kolektoru.

Typ aplikace	$t_{k,m}$ [°C]
Ohřev bazénové vody (venkovní bazén)	30
Ohřev bazénové vody (vnitřní bazén)	35
Předehřev teplé vody, pokrytí < 35 %	35
Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %	40
Příprava teplé vody, pokrytí > 70 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí < 25 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí > 25 %	60

Tab. 6.5 – Průměrná teplota v solárních kolektorech [49]

Denní teoretické zisky solárních kolektorů

Teoreticky využitelný tepelný zisk solárních kolektorů za den vztažený na 1 m² plochy apertury je dán vztahem

$$q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot (1 - p) \quad (6.21)$$

kde

p je hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy (rozvody, solární zásobník); pro typické případy jsou hodnoty uvedeny v tab. 6.6.

$$p = \frac{Q_{ss,z}}{Q_k} = \frac{Q_{ss,z}}{0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot A_k}$$

Typ solární soustavy	p
Bazén, ohřev bazénové vody	0,01
Příprava teplé vody, do 10 m ²	0,20
Příprava teplé vody, od 10 do 50 m ²	0,10
Příprava teplé vody, od 50 do 200 m ²	0,05
Příprava teplé vody, nad 200 m ²	0,03
Příprava teplé vody a vytápění, do 10 m ²	0,30
Příprava teplé vody a vytápění, od 10 do 50 m ²	0,20
Příprava teplé vody a vytápění, od 50 do 200 m ²	0,10
Příprava teplé vody a vytápění, nad 200 m ²	0,06

Tab.6.6 - Srážka z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát [49]

Plocha solárních kolektorů

Návrh plochy kolektorů spočívá v porovnání denní potřeby tepla $Q_{p,c}$ v dané aplikaci a využitelných tepelných zisků kolektoru $Q_{k,u}$, které v **referenčním dnu požadovaného měsíce** kryjí potřebu tepla nebo její určenou část danou požadovaným solárním pokrytím f

$$A_k = \frac{f \cdot Q_{p,c}}{q_{k,u}} = \frac{f \cdot Q_{p,c}}{0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot (1 - p)} \quad (6.22)$$

Navržená plocha kolektorů je plochou apertury, neboť k ní je vztažena křivka účinnosti použitá ve výpočtu.

Stanovení plochy kolektorů pro přípravu TV (podmínky výpočtu)

Rodinné domy

Solární soustavy pro celoroční přípravu teplé vody se navrhují na měsíce **duben** a **září**, není-li určeno jinak. Střední teplota teplotnosné látky v kolektorech se volí $t_m = 40 \text{ °C}$ (zpravidla odpovídá průměrné teplotě v zásobníku teplé vody během celého roku). Z výsledných hodnot plochy kolektoru pro oba měsíce se stanoví průměr. Návrh zajišťuje solární pokrytí přípravy teplé vody zhruba ze **60%**. V provozu to znamená téměř plné pokrytí potřeby teplé vody v letním období solární soustavou.

Bytové domy

Zásadní omezující podmínkou je fakt, že bytové domy nemají v letním období k dispozici žádný „spotřebič tepla“ pro využití letních přebytků. Dimenzování solární soustavy je tak omezeno plochou kolektorů pro krytí letní spotřeby teplé vody. Solární soustavy se proto navrhují pro měsíc **červenec**. Je také nutné zohlednit letní útlum potřeby tepla (např. dovolené atd.). Střední teplota solárního kolektoru se opět volí $t_{k,m} = 35 \text{ až } 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ podle plánovaného krytí. Návrh zajišťuje minimalizaci letních nevyužitelných přebytků energie a celoroční solární pokrytí potřeby tepla na přípravu TV okolo **40-50%**.

Stanovení plochy kolektorů pro přípravu TV a vytápění (podmínky výpočtu)

Solární kombinované soustavy pro přípravu TV a vytápění se navrhují na pokrytí celkové potřeby tepla (teplá voda, vytápění) v okrajových měsících přechodového období: měsíce **květen** a **září** (stanoví se průměr). Nejčastějším řešením kombinované solární soustavy pro přípravu TV a vytápění je zapojení s centrálním zásobníkem otopné vody, který zajišťuje i přípravu TV (ve vnitřním nebo vnějším tepelném výměníku). Střední teplota teplonosné látky v kolektoru se volí $t_{k,m} = 50 \text{ až } 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ podle předpokládaného krytí. Solární kolektory pro kombinované soustavy přípravy TV a vytápění je vhodné instalovat s vyšším sklonem ($60-75^{\circ}$), případně je integrovat do fasády objektu (90°). Takové řešení vede k rovnoměrnému profilu tepelných zisků, letní přebytečné a nevyužitelné zisky klesají a zimní zisky mírně narostou (vlivem příznivějšího úhlu dopadu slunečních paprsků, vlivem odrazivosti sněhové pokrývky). V otopném období se dosáhne vždy jen částečného pokrytí, zpravidla ekonomicky přijatelné jsou hodnoty mezi 15 a 35% roční potřeby tepla pro přípravu TV a vytápění.

Ukázka výpočtu:

a) zadání:

- Solární soustava na ohřev TV
- $V_{TV,den} = 200 \text{ litrů} = 0,2 \text{ m}^3$
- $t_{SV} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $t_{TV} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace: $z = 0,15$
- sklon kolektoru: 45°
- orientace (azimut) : $\pm 30^{\circ}$
- oblast: venkov, Brno (okolí)
- rodinný dům
- pokrytí: $f = 60\%$
- $\eta_0 = 0,794$
- $a_1 = 4,164 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $a_2 = 0,0080 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)$
- $A_{k1} = 1,92 \text{ m}^2$ (apertura kolektoru)

b) výpočet:

$$Q_{p,c} = Q_{TV} \cdot (1+z) \quad \text{celková potřeba tepla vč. ztrát}$$

$$Q_{TV} = m \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot 0,0011611 = 200 \cdot (55 - 10) \cdot 0,0011611 = 10,45 \text{ kWh/den}$$

$$Q_{p,c} = Q_{TV} \cdot (1+z) = 10,45 \cdot (1 + 0,15) = 12,0 \text{ kWh/den}$$

$$H_{T,den} = \tau_r \cdot H_{T,den,teor} + (1 - \tau_r) \cdot H_{T,den,dif}$$

Tabulka A: duben , venkov, sklon 45° , azimut +/- 30° ; odečteno:

$$H_{T,den,teor} = 7,66 \text{ kWh/(m}^2\text{.den)}$$

září , venkov, sklon 45° , azimut +/- 30° ; odečteno:

$$H_{T,den,teor} = 6,94 \text{ kWh/(m}^2\text{.den)}$$

$$\text{Průměrná hodnota } H_{T,den,teor} : (7,66 + 6,94) / 2 = 7,3 \text{ kWh/(m}^2\text{.den)}$$

Tabulka B: duben , venkov, sklon 45° , azimut +/- 30° ; odečteno:

$$H_{T,den,dif} = 1,12 \text{ kWh/(m}^2\text{.den)}$$

září , venkov, sklon 45° , azimut +/- 30° ; odečteno:

$$H_{T,den,dif} = 0,97 \text{ kWh/(m}^2\text{.den)}$$

$$\text{Průměrná hodnota } H_{T,den,dif} : (1,12 + 0,97) / 2 = 1,045 \text{ kWh/(m}^2\text{.den)}$$

Tabulka D: oblast Brno, duben; odečteno: $\tau_r = 0,39$

oblast Brno, září; odečteno: $\tau_r = 0,5$

průměrná hodnota: $(0,39 + 0,5) / 2 = 0,445$

$$H_{T,den} = \tau_r \cdot H_{T,den,teor} + (1 - \tau_r) \cdot H_{T,den,dif} = 0,445 \cdot 7,3 + (1 - 0,445) \cdot 1,045 = 3,828 \text{ kWh/(m}^2\text{.den)}$$

Poznámka: Do vzorce jsou dosazeny průměrné hodnoty !

Účinnost solárního kolektoru η_k :

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}$$

Tabulka C: duben , venkov, sklon 45° , azimut +/- 30° ; odečteno:

$$G_{T,m} = 564 \text{ W/m}^2$$

září , venkov, sklon 45° , azimut +/- 30° ; odečteno:

$$G_{T,m} = 559 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Průměrná hodnota } G_{T,m} : (564 + 559) / 2 = 561,5 \text{ W/m}^2$$

$t_{k,m}$ – viz tab. 6.5 : Rodinný dům, ohřev TV; odečteno: 40°C

Tabulka E: duben, Brno; odečteno: 12°C

září, Brno; odečteno: $18,5^\circ\text{C}$

průměrná hodnota: $(12 + 18,5) / 2 = 15,25^\circ\text{C}$

dosadíme získané hodnoty do rovnice účinnosti:

$$\eta_k = 0,794 - 4,164 \cdot \frac{(40 - 15,25)}{561,5} - 0,008 \cdot \frac{(40 - 15,25)^2}{561,5} = 0,6018$$

Srážka p – dle tab. 6.6 : menší než 10 m² ; odečteno: 0,20

$$q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot (1 - p) = 0,9 \cdot 0,6018 \cdot 3,828 \cdot (1 - 0,20) = 1,66 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \cdot \text{den})$$

$$A_k = \frac{f \cdot Q_{p,c}}{q_{k,u}} = \frac{0,6 \cdot 12,0}{1,66} = 4,34 \text{ m}^2$$

$A_a = 1,92 \text{ m}^2$ (zadaná plocha apertury konkrétního kolektoru – viz zadání)

$$\text{Počet potřebných kolektorů: } x = \frac{A_k}{A_a} = \frac{4,34}{1,92} = 2,26$$

Konečná volba:

- a) zvolíme 2 kolektory; lepší měrný zisk – ekonomika
 (výhodnější – standard) horší pokrytí f
 menší nevyužitelné přebytky
- b) zvolíme 3 kolektory; horší měrný zisk – ekonomika
 lepší pokrytí f
 větší nevyužitelné přebytky (nutné uvažovat o jejich využití)

Vedle výše uvedeného výpočtu plochy kolektorů můžeme použít i velmi hrubý (**pouze orientační výpočet**) dle následující úvahy. Výpočet je vztažen na tyto podmínky:

- Orientace kolektorů k jihu (azimut 0 °)
- Sklon kolektorů (cca 45 °)
- Pokrytí (f = cca 60%)
- Průměrná denní dávka ozáření v naší zeměpisné šířce (při uvážení ztrát) během celého roku: $H_{T,den} = 2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{den})$

Výpočet plochy absorberu solárního termického kolektoru se provede dosazením do následujícího empirického vztahu:

$$A_A = \frac{Q_{p,c}}{H_{T,den}} = \frac{m \cdot 0,00116 \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{H_{T,den}} = \frac{m \cdot 0,00116 \cdot \Delta t}{2,5}$$

A_A	plocha absorberu [m ²]
$Q_{p,c}$	celková potřeba tepla pro ohřev teplé vody [kWh/den]
$H_{T,den}$	průměrná denní dávka slunečního ozáření (během celého roku) [kWh/(m ² ·den)]
m	hmotnost ohřívání vody [kg]

t_{TV}	teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$]
t_{SV}	teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$]
Δt	teplotní difference [K]
0,00116	konstanta [kWh/(kg.K)]

Příklad výpočtu (1):

Počet osob: 4

Průměrná denní spotřeba teplé vody:

40 l / den

Celková potřeba teplé vody:

4 x 40 = 160 l/den (při 100% rezervě pro deštivý
den je celková potřeba 2 x 160 = 320 l / den)

t_{TV} : 50 $^{\circ}\text{C}$

t_{SV} : 10 $^{\circ}\text{C}$

Δt : 40 K

$$A_A = \frac{Q_{p,c}}{H_{T,den}} = \frac{m \cdot 0,00116 \cdot \Delta t}{H_{T,den}} = \frac{320 \cdot 0,00116 \cdot 40}{2,5} = 5,94 \text{ m}^2$$

Příklad výpočtu (2):

Sportovní zařízení má denní spotřebu teplé vody 2000 litrů. Stájecí teplota je 45 $^{\circ}\text{C}$, teplota studené vody je 10 $^{\circ}\text{C}$. Spočítejte potřebnou plochu kolektorů.

m: 2000 kg

t_{TV} : 45 $^{\circ}\text{C}$

t_{SV} : 10 $^{\circ}\text{C}$

Δt : 35 K

$$A_A = \frac{Q_{p,c}}{H_{T,den}} = \frac{m \cdot 0,00116 \cdot \Delta t}{H_{T,den}} = \frac{2000 \cdot 0,00116 \cdot 35}{2,5} = 32,5 \text{ m}^2$$

4b) Roční tepelné zisky a úspora energie instalací solární termické soustavy

Jedná se zjednodušený postup energetické bilance solárních termických soustav. Je určen ke stanovení přibližných energetických zisků a je použitelný pro ruční výpočet či výpočet pomocí běžného tabulkového procesoru. Výsledkem výpočtu jsou základní parametry solární soustavy:

- Celkové roční využitelné tepelné zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$
- Měrné roční využitelné tepelné zisky solární soustavy $q_{ss,u}$
- Solární pokrytí potřeby tepla solární soustavou f

Výpočtový postup je určen pro základní typy solárních soustav:

- Solární soustavy pro přípravu teplé vody
- Kombinované solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění
- Solární soustavy pro ohřev bazénové vody

Zjednodušení vzniká:

- Započtením tepelných ztrát dané aplikace paušální přírážkou k potřebě tepla
- Uvažováním konstantní teploty v kolektorech v celém roce
- Započtením tepelných ztrát solární soustavy paušální srážkou ze zisků

Základním krokem pro bilancování využitých (event. využitelných) tepelných zisků solární tepelné soustavy je stanovení vlastní potřeby tepla v dané aplikaci. Nejlepším a nespolehlivějším zdrojem této informace je dlouhodobé měření. Pokud není k dispozici, pak je třeba potřebu tepla vypočítat – viz kritérium **4a**.

Dopadlá sluneční energie

$$H_{T,den} = \tau_r \cdot H_{T,den, teor} + (1 - \tau_r) \cdot H_{T,den, dif}$$

V příloze **A** jsou pro zjednodušení výpočtů tabelovány pro různé oblasti (horské oblasti, venkov, města, průmyslové oblasti) hodnoty teoretické denní dávky celkového slunečního ozáření $H_{T,den, teor}$ [kWh/(m² · den)]. V příloze **B** jsou tabelovány difúzní dávky slunečního ozáření $H_{T,den, dif}$ [kWh/(m² · den)] v různých orientacích a sklonech kolektoru. V příloze **D** jsou tabelovány poměrné doby slunečního svitu τ_r pro vybraná města v ČR a SR.

Účinnost solárního kolektoru

Střední denní účinnost solárního kolektoru se stanoví z rovnice křivky účinnosti:

$$\eta_K = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}$$

$G_{T,m}$ je střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů; pro různé sklony a orientace plochy kolektorů v různých oblastech (horské oblasti, venkov, města, průmyslové oblasti) se v jednotlivých měsících stanoví podle přílohy **C**.
 $G_{T,m}$ [W/m²].

$t_{k,m}$ průměrná teplota teplonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne; [°C]. Hodnota se uvažuje celoročně konstantní a stanoví se podle typu aplikace z **tab. 8.1**.

$t_{e,s}$ průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu; [°C]. Hodnoty v jednotlivých měsících se stanoví podle přílohy **E**.

Parametry (konstanty) z rovnice křivky účinnosti solárního kolektoru (η_0 , a_1 , a_2) vztažené k ploše apertury solárního kolektoru A_a , se získají od výrobce nebo dodavatele navrženého kolektoru.

Typ aplikace	$t_{k,m}$ [°C]
Ohřev bazénové vody (venkovní bazén)	30
Ohřev bazénové vody (vnitřní bazén)	35
Přehřev teplé vody, pokrytí < 35 %	35
Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %	40
Příprava teplé vody, pokrytí > 70 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí < 25 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí > 25 %	60

Tab. 8.1 – Střední denní teplota v solárních kolektorech [49]

Střední teploty v kolektorech podle tab. 8.2 jsou pro bilancování zisků uvažovány zjednodušeně jako celoroční průměrné hodnoty v dané aplikaci při zvoleném dimenzování solární soustavy.

Teoreticky využitelné zisky solárních kolektorů

Teoretický měsíční využitelný tepelný zisk ze solárních kolektorů $Q_{k,u}$ [kWh/měs] je dán vztahem

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (8.3)$$

kde

η_k je střední denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru;

$H_{T,den}$ skutečná denní dávka slunečního ozáření, v kWh/(m²·den); stanoví se podle 8.1.3;

A_k plocha apertury solárních kolektorů, v m²;

n počet dní v měsíci;

p hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy (rozvody, solární zásobník); pro typické případy jsou hodnoty uvedeny v tab. 8.2.

Typ solární soustavy	<i>p</i>
Bazén, ohřev bazénové vody	0,01
Příprava teplé vody, do 10 m ²	0,20
Příprava teplé vody, od 10 do 50 m ²	0,10
Příprava teplé vody, od 50 do 200 m ²	0,05
Příprava teplé vody, nad 200 m ²	0,03
Příprava teplé vody a vytápění, do 10 m ²	0,30
Příprava teplé vody a vytápění, od 10 do 50 m ²	0,20
Příprava teplé vody a vytápění, od 50 do 200 m ²	0,10
Příprava teplé vody a vytápění, nad 200 m ²	0,06

Tab. 8.2 – Srážka z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát [49]

Hodnota konstanty 0,9 ve vzorci pro výpočet $Q_{k,u}$ vychází z hodnoty celkového **modifikátoru úhlu dopadu** solárního kolektoru pro difúzní záření. Modifikátor úhlu dopadu solárních kolektorů je dán konkrétní konstrukcí kolektoru (plochý, trubkový s plochým absorberem, trubkový s válcovým absorberem) a jejím provedením. Pro různé typy se modifikátor pohybuje mezi hodnotami 0,8 až 1,0. Hodnota závisí vždy na konkrétním tvaru reflektoru a konkrétním zasklení. Z těchto důvodů byla zjednodušeně stanovena paušální hodnota korekce solárních zisků vlivem geometrie slunečního záření na průměrné hodnotě 0,9.

Využité tepelné zisky solární soustavy

Využité zisky solární soustavy $Q_{ss,u}$ [kWh/měs] pokrývající měsíční potřebu tepla v dané aplikaci, se vyjádří jako průnik celkové potřeby tepla a teoreticky využitelných tepelných zisků solárních kolektorů (viz obr. 8.1). Matematicky vyjádřeno, jde o stanovení minimální hodnoty z teoretických tepelných zisků solárních kolektorů a celkové potřeby tepla v jednotlivých měsících.

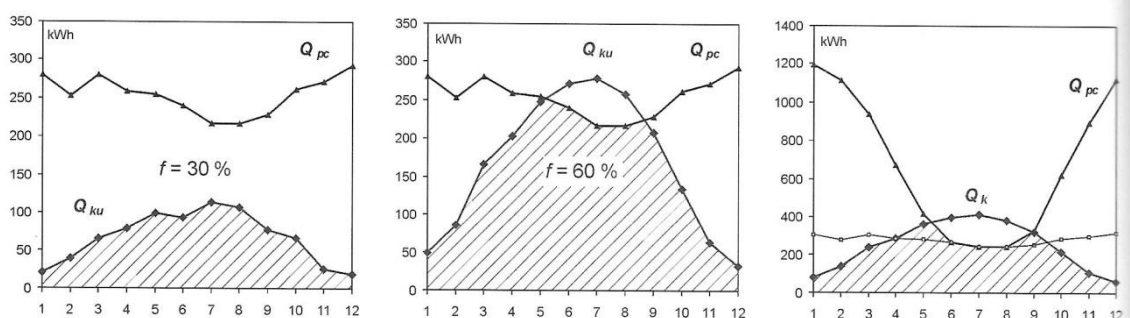
$$Q_{ss,u} = \min (Q_{k,u} ; Q_{p,c})$$

Celkové roční využité tepelné zisky solární soustavy [kWh / rok] se stanoví jako součet měsíčních hodnot. Ze stanovených ročních využitelných zisků je možné určit měrné roční využité tepelné zisky:

$$q_{ss,u} = \frac{\sum_{I}^{XII} Q_{ss,u}}{A_k}$$

Měrné roční využité zisky solární tepelné soustavy $q_{ss,u}$ se používají jako ukazatel pro

posouzení úspory energie, emisí nebo provozních nákladů z 1 m² apertury instalovaných solárních kolektorů.



Obr. 8.1 – Grafické znázornění stanovení využitých solárních zisků (šrafovaná plocha)

Solární podíl f [%], tj. procentní pokrytí potřeby tepla v dané aplikaci využitelnými tepelnými zisky v daném období, se stanoví výpočtem z měsíčních a ročních hodnot využitých tepelných zisků solární soustavy $Q_{ss,u}$ podle vztahu:

$$f = 100 \cdot \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}}$$

Bilancování solárních soustav s využitím počítačových simulací

Bilanční programy dělíme na „systémové“ (využívají předdefinovanou solární soustavu z hlediska hydraulického schématu) nebo „modulární“ (uživatel si musí složit solární soustavu z jednotlivých modelů prvků, jako jsou podprogramy pro kolektory, zásobníky čerpadla, potrubí regulace, výměníky, kotle atd.

V praxi existuje řada (především placených) programů (Polysun, T*Sol, SHW-Win, TRNSYS aj.). Pro naši potřebu stačí programy (použití zdarma), které je možné najít na následujících internetových adresách:

<http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/2-vyzva-rodinne-domy/bilance-solarnich-termickych-systemu-2-vyzva-rodinne-domy-2-0/>

<http://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>

Dle těchto programů je možné provést návrh kolektorů pro:

- Přípravu teplé vody
- Přípravu teplé vody a vytápění
- Pro ohřev bazénové vody

Ovládání je poměrně jednoduché. Zjednodušený výpočet vychází z normy TNI 73 0302.

4c) Informativní přehled současných cen energií a prvků solární termické soustavy

Skutečné ceny různých druhů energie jsou závislé na mnoha faktorech. Závisí na distributorovi a místě odběru, spotřebě (typu odběru – domácnost, podnikatelský subjekt, tepelně izolačních parametrech objektu) a dalších vlivech (velikost jističe, zvolený tarif atd.). Výše uvedené hodnoty jsou průměrné a pouze orientační. Jedná se o ceny pro konečného zákazníka.

Ceny základních energií

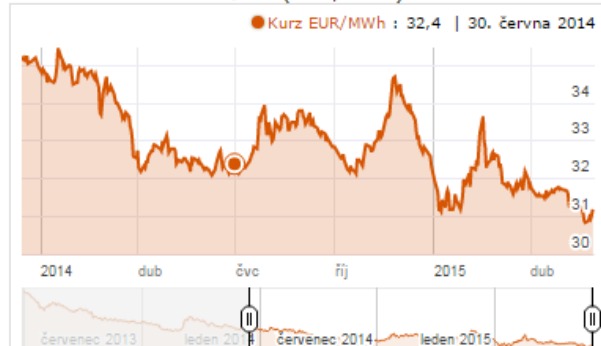
Zemní plyn – domácnost	1,56 Kč/kWh
Elektřina – tarif D02d	4,23 Kč/kWh
Topný olej extra lehký (TOEL)	29,83 Kč/l
Hnědé uhlí – kostka	3290 Kč/t
Hnědé uhlí – ořech 1	3050 Kč/t
Hnědé uhlí – ořech 2	2690 Kč/t
Černé uhlí – kostka	5390 Kč/t
Koks – ořech 2	6890 Kč/t
Dřevní stěpka	1670 Kč/t
Pelety	5300 – 6500 Kč/t (dle balení a materiálu)
Krbové dřevo	2100 – 4900 Kč/t (dle druhu dřeva)
Brikety z biomasy – dřevo	4500 -6800 Kč/t (dle typu a výrobce)
Brikety z biomasy – rostlinné	2850 – 5000 Kč/t dle typu a výrobce)

Poznámka:

Ceny se rozumí včetně DPH.

Předpokládaný vývoj ceny za plyn a elektřinu pro rok 2016 (prognóza):

Elektřina na rok 2016 (EUR/MWh)



Zemní plyn na rok 2016 (EUR/MWh)



Základní komponenty solárních termických soustav

Ceny komponent závisí na konkrétním typu, výrobci, detailní technické specifikaci. Dále uvedené ceny jsou jen výběrem ze široké nabídky a jsou pouze orientační. Jedná se o ceny pro konečného zákazníka.

Ploché kapalinové kolektory:

CosmoSOL 8203 / 1,92 m ² apert.	9745 Kč
CosmoSOL 8253 / 2,40 m ² apert	11398 Kč
CosmoSOL 250 / 2,32 m ² apert	12916 Kč

Trubicové kolektory:

VRK 14 / 14 trubic Sydney / 2,23 m ² apert	22025 Kč
KTU 10 / 10 trubic Sydney / 0,93 m ² apert	14990 Kč
KTU 15 / 15 trubic Sydney / 1,40 m ² apert	19990 Kč

Solární teplotonosná kapalina:

CosmoSOL Xenon / 10 litrů	678 Kč
Solarten Super / 10 litrů	760 Kč

Zásobník pro ohřev TV:

200 litrů, 1x výměník, CCE200	15128 Kč
300 litrů, 1x výměník, CCE300	18380 Kč
400 litrů, 1x výměník, CCE400	24157 Kč
800 litrů, 1x výměník, CCE800	52052 Kč
1000 litrů, 1x výměník, CCE1000	68429 Kč

200 litrů, 2x výměník, CCE DUO200	15835 Kč
300 litrů, 2x výměník, CCE DUO300	20827 Kč
400 litrů, 2x výměník, CCE DUO400	24954 Kč
800 litrů, 2x výměník, CCE DUO800	60636 Kč
1000 litrů, 2x výměník, CCE DUO1000	68429 Kč

200 litrů, 1x výměník, nerez	31300 Kč
300 litrů, 1x výměník, nerez	38200 Kč
200 litrů, 2x výměník, nerez	34500 Kč
300 litrů, 2x výměník, nerez	41000 Kč

Zásobníkový ohříváč TV v akumulární nádobě vč. izolace:

DUO E 600/150, 1x výměník	41600 Kč
DUO E 750/200, 1x výměník	46100 Kč
DUO E 1000/220, 1x výměník	49400 Kč

DUO E2 600/150, 2x výměník	46200 Kč
DUO E2 750/200, 2x výměník	50400 Kč
DUO E2 1000/220, 2x výměník	55700 Kč

Čerpadlové skupiny:

Jednostoupačková, S1 SOLAR1	5640 Kč
Dvoustoupačková, S2 SOLAR3	7340 Kč
Jednostoupačková s regulátorem STDC	9670 Kč
Dvoustoupačková s regulátorem SRS3	14460 Kč
COSMO jednostoupačková Wilo STAR15/6	6053 Kč
COSMO dvoustoupačková Wilo STAR15/6	8026 Kč

Elektronický regulátor solární:

DeltaSOL BS/2	3445 Kč
DeltaSOL BS PLUS	4833 Kč
DeltaSOL MX	18824 Kč
STDC	3780 Kč
SRS3	5600 Kč
SRS4	10660 Kč
SRS5	8300 Kč

Předizolovaná nerez trubka s tepelnou izolací:

Dvojitá DN16, s kabelem, 10 m	8200 Kč
Dvojitá DN16, s kabelem, 15 m	11775 Kč
Dvojitá DN20, s kabelem, 10 m	10100 Kč
Dvojitá DN20, s kabelem, 15 m	14415 Kč

Jednoduchá DN16, 10 m	2300 Kč
Jednoduchá DN16, 30 m	6460 Kč
Jednoduchá DN20, 10 m	2980 Kč
Jednoduchá DN20, 30 m	8250 Kč

Samostatné montážní sety pro ohřev TV:

Ekonomický set / 4,04 m ² / 200 litrů	53990 Kč
Efektivní set / 5,02 m ² / 300 litrů	63990 Kč
Efektivní set horizontál / 5,02 m ² / 300 litrů	65990 Kč
Kompaktní set / 5,02 m ² / 300 litrů	66990 Kč
Exkluzivní set / 5,1 m ² / trubicový / 300 litrů	85990 Kč

Poznámka:

Ceny se rozumí bez DPH.

4d) Prostá doba návratnosti solární termické soustavy

Při ekonomických hodnoceních solárních termických soustav rozeznáváme **prostou dobu návratnosti** τ_p (nezohledňuje skutečnou časovou hodnotu peněz a peněžní toky za dobu návratnosti) a dále **diskontovaná doba návratnosti** τ_d , která představuje reálnou dobu návratnosti.

Prostá doba návratnosti

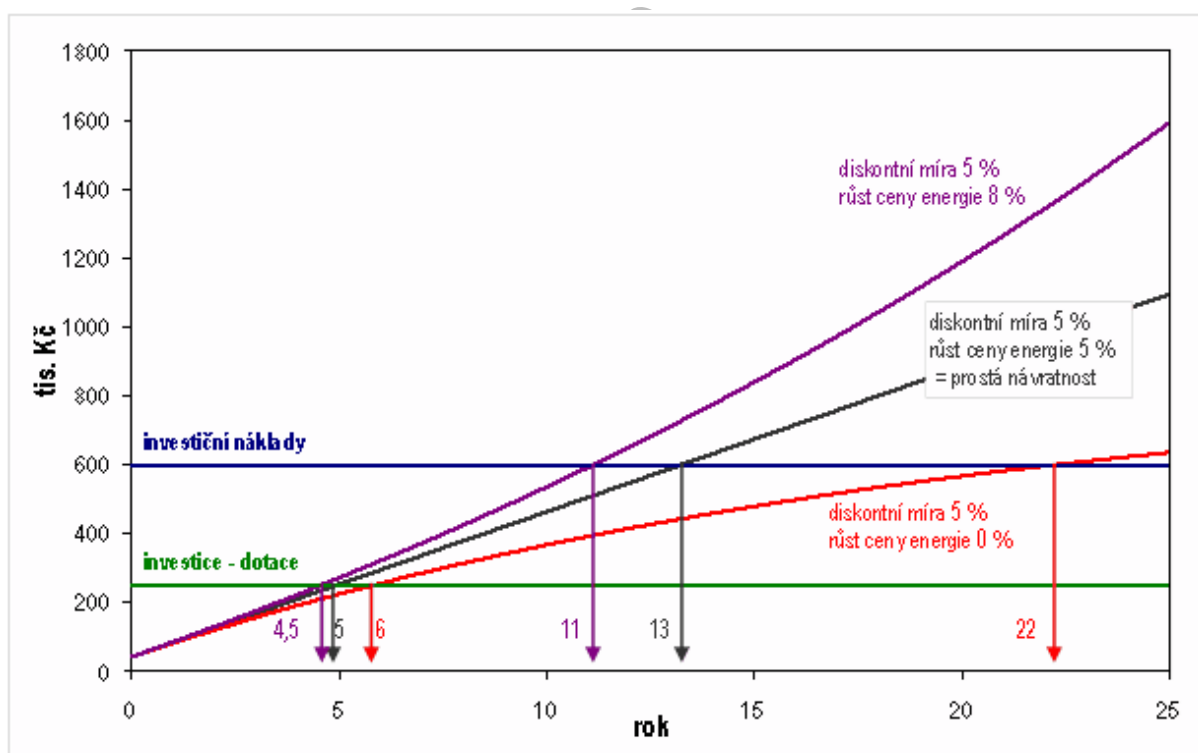
Kriterium určuje, za jak dlouho pokryjí (nediskontované) úspory energie instalací solární soustavy její investiční náklady:

$$\tau_p = \frac{IN}{RU}$$

IN investiční náklady na solární soustavu; [Kč]

RU roční úspora nákladů instalací solární soustavy; [Kč]

Vliv podmínek faktoru času při výpočtu ekonomické návratnosti ukazuje následující graf (pokud diskontní míra a růst ceny energie dosahuje stejné hodnoty, jedná se o prostou návratnost). Tyto vztahy jsou zde uvedeny pouze pro souvislost a nebudou předmětem zkoušky.



Obr. 6 - Vliv okrajových podmínek faktoru času při výpočtu ekonomické návratnosti

Na návratnost solární tepelné soustavy má samozřejmě vliv i dotace (pokud je na instalaci poskytnuta, např. z dotačního programu „Nová zelená spořím“). O výši dotace se snižuje výše investice a v důsledku se zkracuje návratnost. U výpočtu návratnosti se nejdříve převede celkový využitý zisk solární soustavy [kWh/rok] na finanční hodnotu. To se provede tak, že celkový využitý zisk soustavy vynásobí cenou energie, kterou nahrazuje (původní zdroj energie). Protože se výrazně liší cena elektřiny a plynu (jako dvou nejčastějších zdrojů energie pro ohřev teplé vody a vytápění), jsou v konečném důsledku rozdílné i návratnosti.

Pro přesnější výpočet prosté návratnosti můžeme do výpočtu zahrnout i účinnost nahrazovaného zdroje tepla. Průměrná provozní účinnost původního zdroje tepla závisí na dimenzování zdroje tepla vůči potřebě tepla. Například u nových RD s běžnými kotli se roční provozní účinnost může pohybovat na úrovni 60-70% vlivem značného předdimenzování kotle vůči odběru. U kondenzačních kotlů je účinnost v rozmezí 90-95%, u elektrokotlů 95-100%.

Ukázky výpočtu:

Ceny energie:

- elektřina 4,37 Kč / kWh (vč. DPH)

- plyn 1,23 Kč / kWh (vč. DPH)

Poznámka:

Skutečné ceny energie jsou závislé na mnoha faktorech. Závisí na distributorovi a místě odběru, spotřebě (typu odběru – domácnost, podnikatelský subjekt, tepelně izolačních parametrech objektu) a dalších vlivech (velikost jističe, tarif atd.). Výše uvedené hodnoty jsou průměrné a slouží pouze k demonstraci výpočtu.

RU (roční úspora nákladů instalací solární soustavy)

IN (investiční náklady na solární soustavu)

a) elektřina, bez dotace

celkový využitý zisk soustavy: 1600 kWh / rok

investiční náklady na soustavu: 85000 Kč

výše dotace: -

účinnost elektrokotle (původního zdroje): 100%

RU = celkový využitý zisk x cena energie = 1600 x 4,37 = 6992 Kč/rok

IN = investice - dotace = 85000 - 0 = 85000 Kč

$$\tau_p = \frac{IN}{RU} = \frac{85000}{6992} = 12,2 \text{ let}$$

b) elektrina, s dotací

celkový využitý zisk soustavy: 1600 kWh / rok
 investiční náklady na soustavu: 85000 Kč
 výše dotace: 34000 Kč
 účinnost elektrokotle (původního zdroje): 100%

$$RU = \text{celkový využitý zisk} \times \text{cena energie} = 1600 \times 4,37 = 6992 \text{ Kč/rok}$$

$$IN = \text{investice} - \text{dotace} = 85000 - 34000 = 51000 \text{ Kč}$$

$$\tau_p = \frac{IN}{RU} = \frac{51000}{6992} = 7,3 \text{ let}$$

c) plyn, bez dotace

celkový využitý zisk soustavy: 1600 kWh / rok
 investiční náklady na soustavu: 85000 Kč
 výše dotace: -
 účinnost kotle (původního zdroje): 75%

$$RU = (\text{celkový využitý zisk} \times \text{cena energie}) / \text{účinnost kotle} = (1600 \times 1,23) / 0,75 = 2624 \text{ Kč/rok}$$

$$IN = \text{investice} - \text{dotace} = 85000 - 0 = 85000 \text{ Kč}$$

$$\tau_p = \frac{IN}{RU} = \frac{85000}{2624} = 32,4 \text{ let}$$

d) plyn, s dotací

celkový využitý zisk soustavy: 1600 kWh / rok
 investiční náklady na soustavu: 85000 Kč
 výše dotace: 34000 Kč
 účinnost kotle (původního zdroje): 75%

$$RU = (\text{celkový využitý zisk} \times \text{cena energie}) / \text{účinnost kotle} = (1600 \times 1,23) / 0,75 = 2624 \text{ Kč/rok}$$

$$IN = \text{investice} - \text{dotace} = 85000 - 34000 = 51000 \text{ Kč}$$

$$\tau_p = \frac{IN}{RU} = \frac{51000}{2624} = 19,4 \text{ let}$$

Instalatér solárních termických soustav (kód: 23-099-M)

Solární Energie s.r.o., Slavíkova 6143/18e, 708 00 Ostrava, info@solarnienergie.cz - Autorizace č. 111/2015

Interaktivní program na výpočet návratnosti solární soustavy je možné najít na internetové adrese: <http://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/134-navratnost-solarni-tepelne-soustavy>

Solární Energie s.r.o. tel: 603 450 199

5b) Teplonosné kapaliny

Pro celoroční provoz solárních soustav se používají nemrznoucí směsi, které chrání soustavu před poškozením mrazem (hlavní úkol).

Teplonosná kapalina musí splňovat řadu požadavků pro zajištění dlouhodobě bezproblémového provozu solární soustavy:

- Nízký bod tuhnutí (nejlépe kolem – 25 až -30 °C)
- Dobré tepelně-fyzikální vlastnosti (tepelná kapacita, viskozita), co nejvíce podobné vodě
- Nehořlavost
- Ochrana proti korozi
- Kompatibilita s těsnicími materiály
- Ekologické aspekty (netoxická, biologicky rozložitelná)
- Dlouhodobá stálost vlastností – teplotní odolnost
- Rozumná cena

Voda

Voda je netoxická, nehořlavá a levná. Je ideální látkou z hlediska vysoké tepelné kapacity, tepelné vodivosti a nízké viskozity. Nevýhodou je nízký bod varu a především vysoký bod tuhnutí. Tyto vlastnosti je proto řadí pouze mezi teplonosné kapaliny pro solární soustavy s letním provozem. Voda může způsobit korozi, pokud její **pH faktor** není udržován na neutrální hodnotě 7 (hladina kyselosti-zásaditosti).

Glykolové nemrznoucí směsi

Nejčastěji používanými teplonosnými látkami jsou vodní směsi propylenglykolu nebo etylenglykolu. Etylenglykol je vysoce jedovatý a jeho používání v solárních soustavách je možné pouze v případech, kdy je primární okruh oddělen od pitné vody alespoň dvěma teplonosnými plochami (např. kombinované solární soustavy). V současné době se především využívají netoxické směsi propylenglykolu s vodou s potřebnými inhibitory. Korozivita směsi propylenglykolu s vodou je proti samotné vodě výrazně vyšší. Proto inhibitory, rozpustné v kapalině, umožňují zamezit korozi vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovů.

Nemrznoucí směsi propylenglykolu a vody mají sklon ke stárnutí vlivem vysokých teplot při stagnačních podmínkách v kolektorech. U propylenglykolu dochází k rozkladu v důsledku oxidačních reakcí, tvoří se kyseliny, a při opakovaném přehřívání dochází k poklesu pH faktoru kapaliny pod hodnotu 7. Proto doporučujeme pravidelně (cca 1x za 1-2 roky) tento pH faktor měřit (kontrolovat).

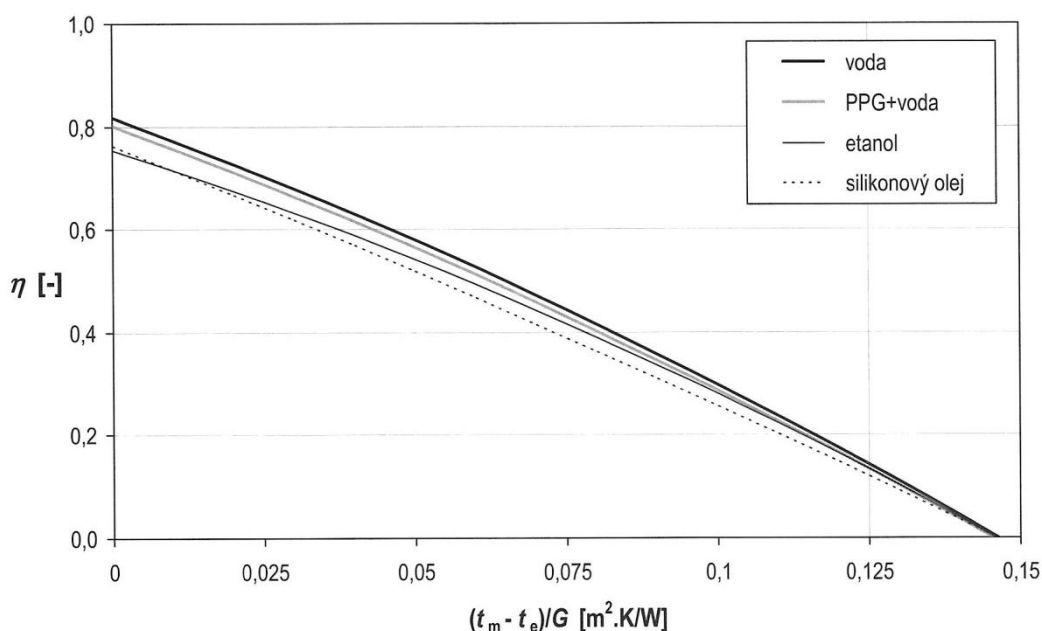
Propylenglykolové směsi jsou nejčastěji od výrobce naředěny tak, aby teplota tuhnutí byla okolo – 30 °C. Takové směsi se oproti vodě vyznačují zhruba o 25% nižší tepelnou kapacitou a obecně vyšší kinematickou viskozitou (až 6x vyšší než u vody). V současné době jsou k dispozici jednak klasicky inhibované glykolové směsi pro použití v plochých kolektorech (stagnační teplota pod 200 °C) a jednak směsi pro použití i v trubkových vakuových kolektorech (stagnační teplota až 300 °C).

Silikonové oleje

Teplonosné látky na bázi silikonových olejů mají velmi nízký bod tuhnutí a velmi vysoký bod varu. Nejsou korozivní a mají velkou životnost. To jsou jejich klady. Na druhou stranu se vyznačují vysokou viskozitou a nízkou tepelnou kapacitou, což vede k vyšší spotřebě energie pro pohon oběhových čerpadel. Jsou také vzlinavé, snadno unikají z uzavřeného okruhu i mikroskopickými netěsnostmi. Jejich použití se omezuje na vysokoteplotní aplikace a koncentrační kolektory s vysokým koncentračním poměrem.

Vliv kapaliny na účinnost kolektoru

Na obrázku jsou porovnány standardní křivky účinnosti solárního kolektoru při použití různých teplonosných látek (voda, směs propylenglykolu a vody, etanol a silikonový olej). Z grafů vyplývá, že zatímco u běžné nemrznoucí směsi se účinnost kolektoru snižuje v řádu 1%, u etanolu a silikonového oleje jde o cca 5%.



Kontrola vlastností kapaliny

Vlivem stárnutí kapaliny je třeba průběžně kontrolovat její vlastnosti. Pravidelně jednou za cca 2 roky měříme zejména bod tuhnutí pomocí refraktometru (pozor na správnou stupnici !) a rovněž kontrolujeme správnou hodnotu pH pomocí měřiče pH (vlivem degradace klesá pod hodnotu 7).

5f) Materiály potrubí a tepelné izolace pro solární termické soustavy

Potrubí

Musí odpovídat typu a použití solární soustavy, odolávat teponosné kapalině a vyhovovat teplotním a tlakovým poměrům v solární soustavě.

Nízkoteplotní solární soustavy s nezasklenými kolektory pro sezónní (letní) ohřev bazénové vody (max. 60 °C i v případě stagnace):

- **plastové potrubí** – např. EPDM, polypropylen, polyester

Solární soustavy se selektivními kolektory pro celoroční provoz (180-250 °C, tlak do 1 MPa,):

- **měděné trubky** (nerozebíratelné spojení pájením, lisováním; rozebíratelné spojení pomocí svěrného šroubení – přípoje ke kolektorům)
- **nerezové vlnovkové trubky** s převlečenými maticemi
- **kompaktní potrubní systém s tepelnou izolací a kabelem**
- **ocelové trubky** (vyjimečně, jen pro velké systémy – velké průměry potrubí, které je v mědi velmi drahé; nevhodné jsou pozinkované ocelové trubky, vzhledem ke korozivním reakcím zinku s nemrznoucí směsí na bázi glykolu)

Na každých 10 – 15 metrů by se měl umístit **dilatační prvek** (smyčky, ohyby, kompenzátory), aby se zabránilo škodám a případným netěsnostem vzniklým vnitřním pnutím.

Kovová potrubí by měla být připojena na **uzemnění** domu.

Tepelná izolace

Základním požadavkem na tepelné izolace je především jejich životnost (odolnost vůči teplotám, UV záření, degradaci, atmosférickým vlivům atd.).

Nízkoteplotní solární soustavy pro ohřev bazénové vody se většinou neizolují.

Solární soustavy pro celoroční ohřev vody a přitápění se izolují, aby nedocházelo ke snižování celkové účinnosti soustavy.

Tepelná izolace musí odolávat teplotám nad 150 °C, u venkovních rozvodů je navíc nutná ochrana proti UV záření a navlhavosti. Nejčastěji se používají izolace na bázi EPDM s uzavřenou strukturou (odolné vlhkosti), minerální vlna kaširovaná hliníkovou sítíovou fólií, případně izolace opláštěné hliníkovým plechem kvůli ochraně před vlhkostí poškozením způsobeným ptáky či hlodavci.

Důležité je izolovat celý potrubní rozvod včetně fitínek, ventilů, zásobníkových vstupů a výstupů. Uchycení potrubí do třmenů (objímek) je vhodné umístit až na tepelnou izolaci potrubí, aby se nevytvářely zbytečné tepelné mosty.

Instalatér solárních termických soustav (kód: 23-099-M)

Solární Energie s.r.o., Slavíkova 6143/18e, 708 00 Ostrava, info@solarnienergie.cz - Autorizace č. 111/2015

Solární Energie s.r.o. tel: 603 450 199

TAB. A

Úhel sklonu plochy β	Teoretická denní dávka celkového slunečního ozáření $H_{T,den,teor}$ [kWh/(m ² .den)] pro charakteristickou oblast venkov (Z = 3)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)												
0	1,70	2,81	4,74	6,67	8,22	8,84	8,40	7,13	5,34	3,36	1,98	1,37
15	2,84	4,08	5,92	7,51	8,66	9,07	8,74	7,80	6,37	4,54	3,11	2,39
30	3,81	5,10	6,75	7,92	8,64	8,84	8,62	8,04	7,03	5,46	4,06	3,27
45	4,54	5,82	7,18	7,89	8,16	8,17	8,05	7,83	7,28	6,05	4,76	3,94
60	4,99	6,17	7,18	7,40	7,26	7,10	7,09	7,20	7,11	6,27	5,17	4,37
75	5,12	6,15	6,75	6,51	6,01	5,71	5,79	6,18	6,52	6,12	5,25	4,53
90	4,93	5,74	5,92	5,26	4,50	4,14	4,27	4,86	5,56	5,59	5,00	4,39
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 15^\circ$												
15	2,80	4,03	5,88	7,48	8,64	9,06	8,72	7,77	6,33	4,49	3,07	2,35
30	3,73	5,01	6,67	7,87	8,62	8,84	8,60	8,00	6,96	5,37	3,98	3,20
45	4,43	5,69	7,07	7,83	8,15	8,18	8,05	7,79	7,19	5,93	4,65	3,85
60	4,85	6,02	7,05	7,36	7,28	7,14	7,11	7,18	7,01	6,13	5,03	4,25
75	4,97	5,98	6,62	6,49	6,07	5,79	5,85	6,19	6,42	5,96	5,10	4,39
90	4,77	5,56	5,79	5,28	4,61	4,27	4,39	4,91	5,48	5,43	4,85	4,25
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
15	2,68	3,90	5,75	7,38	8,58	9,02	8,68	7,70	6,22	4,37	2,96	2,25
30	3,50	4,76	6,44	7,72	8,55	8,80	8,55	7,88	6,76	5,14	3,76	2,99
45	4,11	5,33	6,77	7,66	8,11	8,19	8,03	7,67	6,94	5,60	4,33	3,56
60	4,46	5,58	6,71	7,21	7,30	7,23	7,16	7,09	6,74	5,73	4,64	3,90
75	4,53	5,49	6,27	6,39	6,19	5,99	6,00	6,17	6,17	5,53	4,66	4,00
90	4,32	5,07	5,48	5,29	4,86	4,59	4,66	5,00	5,28	4,99	4,39	3,85
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 45^\circ$												
15	2,50	3,69	5,56	7,24	8,49	8,96	8,60	7,57	6,04	4,17	2,77	2,08
30	3,14	4,37	6,09	7,48	8,42	8,73	8,44	7,68	6,46	4,77	3,40	2,67
45	3,61	4,80	6,32	7,38	8,00	8,16	7,95	7,45	6,55	5,11	3,84	3,10
60	3,85	4,95	6,21	6,94	7,26	7,28	7,16	6,90	6,32	5,16	4,04	3,35
75	3,85	4,81	5,78	6,19	6,26	6,17	6,11	6,07	5,78	4,93	4,00	3,38
90	3,62	4,39	5,05	5,20	5,07	4,92	4,91	5,02	4,97	4,42	3,72	3,21
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 60^\circ$												
15	2,26	3,42	5,30	7,04	8,37	8,87	8,49	7,41	5,81	3,92	2,53	1,87
30	2,71	3,89	5,65	7,14	8,21	8,59	8,27	7,40	6,06	4,32	2,97	2,27
45	3,00	4,16	5,75	6,98	7,79	8,04	7,79	7,13	6,05	4,52	3,24	2,55
60	3,13	4,21	5,59	6,55	7,11	7,25	7,05	6,60	5,79	4,49	3,34	2,69
75	3,09	4,04	5,18	5,87	6,21	6,25	6,11	5,84	5,29	4,24	3,25	2,67
90	2,86	3,66	4,54	4,99	5,15	5,12	5,04	4,91	4,57	3,78	2,99	2,49
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 75^\circ$												
15	1,99	3,12	5,00	6,80	8,21	8,76	8,36	7,20	5,54	3,63	2,26	1,63
30	2,22	3,35	5,12	6,73	7,95	8,40	8,04	7,05	5,58	3,81	2,48	1,84
45	2,37	3,46	5,09	6,49	7,48	7,83	7,53	6,71	5,46	3,85	2,61	1,97
60	2,40	3,42	4,88	6,04	6,83	7,08	6,83	6,19	5,17	3,75	2,62	2,02
75	2,32	3,24	4,49	5,42	6,01	6,17	5,97	5,50	4,70	3,50	2,50	1,96
90	2,12	2,91	3,94	4,65	5,07	5,16	5,01	4,67	4,08	3,11	2,27	1,80
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 90^\circ$												
15	1,71	2,79	4,68	6,54	8,03	8,63	8,21	6,98	5,25	3,32	1,98	1,38
30	1,74	2,78	4,55	6,26	7,61	8,14	7,75	6,64	5,06	3,26	1,99	1,40
45	1,75	2,74	4,37	5,90	7,07	7,51	7,16	6,20	4,81	3,17	1,98	1,42
60	1,71	2,64	4,11	5,43	6,41	6,77	6,47	5,66	4,47	3,01	1,92	1,40
75	1,62	2,46	3,75	4,86	5,65	5,93	5,67	5,02	4,03	2,77	1,80	1,33
90	1,47	2,20	3,29	4,19	4,82	5,02	4,81	4,30	3,51	2,45	1,63	1,21

Příloha B – Teoretické denní dávky difúzního slunečního ozáření $H_{T,den,dif}$

Úhel sklonu plochy β	Teoretická denní dávka difúzního slunečního ozáření $H_{T,den,dif}$ [kWh/(m².den)]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Charakteristická oblast hory (Z = 2)												
0	0,29	0,41	0,60	0,77	0,93	1,10	1,07	0,96	0,74	0,50	0,34	0,26
15	0,30	0,41	0,61	0,78	0,94	1,12	1,08	0,97	0,75	0,51	0,34	0,26
30	0,30	0,42	0,63	0,82	0,98	1,16	1,12	1,00	0,77	0,52	0,35	0,27
45	0,31	0,44	0,66	0,87	1,06	1,22	1,18	1,04	0,80	0,54	0,36	0,27
60	0,31	0,46	0,71	0,94	1,15	1,31	1,26	1,11	0,84	0,56	0,37	0,27
75	0,32	0,48	0,76	1,03	1,25	1,41	1,36	1,18	0,89	0,59	0,38	0,28
90	0,33	0,51	0,81	1,11	1,37	1,51	1,46	1,25	0,95	0,62	0,39	0,28
Charakteristická oblast venkov (Z = 3)												
0	0,38	0,52	0,78	1,08	1,35	1,50	1,48	1,27	0,95	0,67	0,45	0,35
15	0,38	0,52	0,78	1,09	1,35	1,50	1,49	1,27	0,95	0,67	0,45	0,34
30	0,37	0,52	0,79	1,10	1,37	1,51	1,50	1,28	0,96	0,67	0,44	0,34
45	0,37	0,53	0,80	1,12	1,39	1,54	1,51	1,29	0,97	0,67	0,44	0,34
60	0,37	0,53	0,82	1,14	1,42	1,56	1,53	1,31	0,98	0,67	0,43	0,33
75	0,36	0,54	0,84	1,17	1,46	1,60	1,56	1,32	0,99	0,67	0,43	0,32
90	0,36	0,54	0,86	1,21	1,49	1,63	1,58	1,34	1,01	0,67	0,42	0,31
Charakteristická oblast město (Z = 4)												
0	0,49	0,68	0,99	1,37	1,64	1,77	1,75	1,53	1,19	0,83	0,56	0,43
15	0,48	0,67	0,99	1,36	1,64	1,77	1,74	1,52	1,19	0,83	0,56	0,43
30	0,47	0,66	0,99	1,36	1,63	1,76	1,74	1,51	1,18	0,82	0,55	0,42
45	0,46	0,65	0,97	1,34	1,62	1,75	1,72	1,50	1,16	0,80	0,53	0,40
60	0,44	0,63	0,96	1,33	1,61	1,74	1,70	1,48	1,14	0,78	0,51	0,38
75	0,42	0,61	0,94	1,31	1,60	1,73	1,68	1,45	1,11	0,75	0,48	0,36
90	0,39	0,59	0,93	1,29	1,58	1,71	1,66	1,42	1,08	0,72	0,46	0,33
Charakteristická oblast průmysl (Z = 5)												
0	0,57	0,81	1,20	1,64	1,96	2,13	2,09	1,83	1,43	1,01	0,67	0,50
15	0,56	0,80	1,20	1,63	1,95	2,12	2,08	1,82	1,42	1,00	0,67	0,50
30	0,55	0,78	1,17	1,60	1,92	2,09	2,05	1,79	1,39	0,97	0,65	0,48
45	0,52	0,75	1,14	1,56	1,88	2,04	2,00	1,74	1,35	0,94	0,62	0,46
60	0,49	0,72	1,10	1,51	1,82	1,98	1,93	1,67	1,29	0,89	0,58	0,43
75	0,45	0,67	1,04	1,44	1,75	1,90	1,85	1,60	1,23	0,83	0,54	0,40
90	0,42	0,63	0,99	1,37	1,68	1,82	1,76	1,51	1,15	0,77	0,49	0,36

TAB. C

Úhel sklonu plochy β	Střední hodnota slunečního ozáření $G_{T,m}$ [W/m ²] pro charakteristickou oblast venkov (Z = 3)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)												
0	203	287	404	491	539	550	537	501	430	320	224	172
15	338	417	505	552	568	565	558	548	512	433	352	300
30	453	522	576	583	567	550	551	565	566	520	459	411
45	540	595	612	580	535	508	515	550	586	577	538	496
60	593	631	612	545	476	442	453	506	572	598	583	551
75	609	628	576	479	394	356	370	434	525	583	593	570
90	586	587	505	367	295	257	273	341	448	533	565	553
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 15^\circ$												
15	333	412	501	550	567	564	557	546	509	429	347	296
30	443	512	569	579	565	550	550	562	560	512	450	402
45	527	582	603	576	535	509	514	548	579	565	525	484
60	577	615	601	541	478	444	454	504	564	584	568	535
75	591	611	564	477	398	361	374	435	517	568	576	553
90	567	568	494	389	303	266	280	345	441	517	547	536
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
15	319	398	490	543	563	562	554	541	501	417	334	283
30	416	486	549	568	561	548	546	554	544	490	424	377
45	488	545	577	564	532	510	513	539	559	534	489	448
60	530	571	572	530	479	450	457	498	542	547	524	491
75	538	561	535	470	406	373	383	434	496	527	526	503
90	513	518	467	389	319	285	298	351	425	476	496	484
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 45^\circ$												
15	297	377	474	532	557	558	549	532	486	398	313	262
30	374	447	520	550	552	543	539	540	520	455	384	336
45	429	491	539	543	525	508	508	524	528	487	433	391
60	457	506	530	511	476	453	457	485	509	492	456	421
75	458	492	493	456	410	384	391	426	465	470	452	426
90	431	449	431	382	333	306	314	352	400	421	420	404
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 60^\circ$												
15	289	350	452	518	549	552	543	520	468	374	286	235
30	322	397	481	526	539	535	529	520	488	412	335	286
45	357	425	490	514	511	500	498	501	487	431	366	321
60	373	430	477	482	466	451	451	464	466	428	377	338
75	367	413	441	432	407	389	391	411	426	404	367	336
90	340	374	387	367	338	319	322	345	368	360	337	313
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 75^\circ$												
15	237	319	427	500	539	545	534	506	446	346	256	205
30	264	342	437	495	521	523	514	495	450	363	280	231
45	281	353	434	477	491	487	481	472	440	367	294	248
60	286	350	416	445	448	440	436	435	416	358	295	254
75	276	331	383	399	394	384	381	386	378	334	283	246
90	253	298	336	342	332	321	320	328	328	297	257	227
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 90^\circ$												
15	203	286	399	481	527	537	524	490	422	316	224	173
30	206	284	388	461	499	507	495	467	407	311	225	177
45	208	280	373	434	464	467	458	436	387	302	224	179
60	204	270	351	399	421	421	413	398	360	287	217	176
75	193	252	320	357	371	389	362	353	325	264	204	167
90	175	225	281	308	316	312	307	302	283	234	183	152

Příloha D – Poměrná doba slunečního svitu τ

Místo	Poměrná doba slunečního svitu τ											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Praha	0,21	0,32	0,42	0,45	0,51	0,54	0,55	0,55	0,53	0,37	0,21	0,14
České Bud.	0,18	0,29	0,37	0,39	0,43	0,46	0,49	0,51	0,48	0,34	0,22	0,15
Hradec K.	0,18	0,27	0,40	0,44	0,50	0,51	0,52	0,54	0,52	0,37	0,19	0,17
Brno	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,56	0,53	0,50	0,37	0,23	0,12
Bratislava	0,25	0,35	0,46	0,50	0,56	0,59	0,66	0,66	0,63	0,47	0,25	0,20
Košice	0,26	0,31	0,42	0,46	0,53	0,54	0,58	0,59	0,57	0,47	0,27	0,23

Příloha E – Střední venkovní teploty $t_{e,s}$ a $t_{e,p}$

Místo	Střední teplota v době slunečního svitu $t_{e,s}$ v jednotlivých měsících [°C]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Praha	2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5
České Bud.	1,7	2,4	6,2	10,7	15,8	18,6	20,8	20,6	17,4	12,1	6,9	3,3
Hradec K.	1,6	2,4	6,0	10,7	15,9	18,9	20,7	20,8	18,0	12,7	7,2	3,3
Brno	1,7	2,8	7,0	12,0	17,2	20,2	22,1	21,8	18,5	13,1	7,7	3,5
Bratislava	2,1	3,6	8,5	13,4	18,5	21,6	23,5	23,6	20,5	14,7	8,5	4,2
Košice	0,1	1,7	6,6	12,1	16,3	20,5	22,4	22,2	18,7	13,1	7,5	2,8

Místo	Střední teplota $t_{e,p}$ v jednotlivých měsících [°C]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Praha	-1,5	0,0	3,2	8,8	13,6	17,3	19,2	18,6	14,9	9,4	3,2	-0,2
České Bud.	-2,0	-0,9	3,0	7,4	12,7	15,7	17,5	16,6	12,9	7,7	2,8	-0,4
Hradec K.	-2,1	-1,0	2,7	7,4	12,8	15,6	17,4	16,8	13,5	8,3	3,1	-0,4
Brno	-2,0	-0,6	3,7	8,7	14,1	16,9	18,8	17,8	14,0	8,7	3,6	-0,2
Bratislava	-1,6	0,2	5,2	10,1	15,4	18,3	20,2	19,6	16,0	10,3	4,4	0,5
Košice	-3,6	-1,7	3,3	8,8	14,3	17,2	19,1	18,2	14,2	8,7	3,4	-0,9