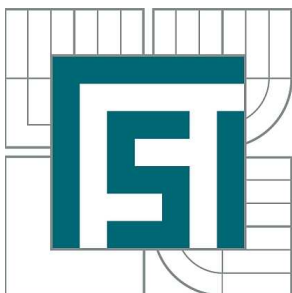


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÁ SIMULACE PROVOZU SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ V NÍZKOENERGETICKÉM RODINNÉM DOMĚ S TEPUVZDUŠNÝM VYTÁPĚNÍM

ENERGY SIMULATION OF SOLAR COLLECTORS OPERATION IN A LOW-ENERGY FAMILY
HOUSE WITH WARM-AIR HEATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ONDŘEJ PECH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Ondřej Pech

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Energetická simulace provozu solárních kolektorů v nízkoenergetickém rodinném domě s teplovzdušným vytápěním

v anglickém jazyce:

Energy simulation of solar collectors operation in a low-energy family house with warm-air heating

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V nově stavěných rodinných domech se začínají stále více uplatňovat netradiční vytápěcí a větrací systémy, jako např. teplovzdušné vytápění. Zároveň se projevuje snaha o maximální využití obnovitelných zdrojů energie, např. instalací solárních kolektorů, zemních výměníků tepla apod. Jejich přínos je ovšem vhodné ověřit ještě před realizací projektu, např. energetickou simulací, a na tomto základě pak posoudit ekonomickou návratnost investice.

Cíle diplomové práce:

Na základě celoroční simulace stanovte energetický přínos solárních kolektorů, využívaných pro přehřev TUV a topné vody v integrovaném zásobníku tepla nízkoenergetického rodinného domu s teplovzdušným vytápěním. Navrhněte vhodný typ a optimální velikost kolektorů a odhadněte ekonomickou návratnost investice.

Seznam odborné literatury:

- Cihelka, J.: Solární tepelná technika, Nakl. T. Malina, Praha, 1994.
Murtinger, K., Truxa, J.: Solární energie pro váš dům. ERA group spol. s r.o., Brno, 2005.
Themessl, A., Weiss, W.: Solární systémy. Grada Publ., Praha, 2005.
Ladener, H., Spate, F.: Solární zařízení. Grada Publ., Praha, 2003.
Schulz, H.: Teplo ze slunce a země. Nakl. HEL, Ostrava, 2002.
Internetové a časopisecké zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 22.10.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Obsahem diplomové práce je energetická simulace solárního systému v nízkoenergetickém rodinném domě s teplovzdušným vytápěním. Z výsledků simulace byl vyhodnocen energetický přínos 4 solárních systémů s různými typy kolektorů. Na základě investičních nákladů a získané úspory použitím daného typu kolektoru byla posouzena výhodnost a návratnost dané investice pro soustavy s různými typy kolektorů.

Teoretická část obsahuje seznámení s problematikou slunečního záření, solárními systémy a pojmem pasivní dům.

Praktická část je věnována popisu simulovaného objektu, použitým modelům v prostředí TRNSYS, vyhodnocení výsledků simulace spolu s ekonomickou návratností investic pro jednotlivé typy kolektorů.

V závěru jsou uvedena doporučení ohledně vhodného typu a velikosti kolektoru z pohledu návratnosti investic.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární kolektor, plochý kolektor, vakuový plochý kolektor, trubicový vakuový kolektor, akumulční zásobník tepla, ekonomická návratnost investic, energetická simulace

ABSTRACT

The thesis deals with energy simulation of a solar energy system in a low-energy family house with warm-air heating. The simulations performed resulted in the assessment of the energy contribution of four solar systems with different types of collectors. The profitability and return of investment for the particular system have been evaluated based on investment costs and the savings gained.

The theoretical part includes an introduction to the solar energy field, solar panel systems and the passive house concept.

The practical part is devoted to description of the simulated object models as used in the TRNSYS environment, the simulation results evaluation along with the assessment of the economic return on investment.

The conclusion recommendations regarding a suitable type and size of the solar panel with respect to the economic criteria chosen are given.

KEY WORDS

Solar collector, flat plate collector, vacuum flat plate collector, vacuum pipe collector, heat storage tank, the economic return on investment, energy simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PECH, O. *Energetická simulace provozu solárních kolektorů v nízkoenergetickém rodinném domě s teplovzdušným vytápěním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 76 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Energetická simulace provozu solárních kolektorů v nízkoenergetickém rodinném domě s teplovzdušným vytápěním* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....
Bc. Ondřej Pech

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D. za pomoc se simulačním programem TRNSYS a za jeho odborné rady k tématu diplomové práce. V neposlední řadě bych také rád poděkoval rodičům za podporu při mém dosavadním studiu a při zpracovávání této práce.

OBSAH

Úvod.....	11
1. Energie slunečního záření	12
1.1 Globální záření	14
2. Solární systém	17
2.1 Solární kolektory	18
2.1.1 Ploché kolektory	18
2.1.2 Vakuové ploché kolektory.....	20
2.1.3 Trubicové vakuové kolektory	20
2.1.4 Účinnost solárních kolektorů.....	22
2.2 Zásobník tepla.....	23
2.2.1 Kapacita zásobníku	23
2.2.2 Velikost zásobníku.....	24
2.2.3 Tepelné ztráty zásobníku	24
2.2.4 Rozvrstvení tepla v zásobníku.....	25
2.2.5 Nabíjení a vybíjení zásobníku.....	25
3. Nízkoenergetický dům.....	27
4. Simulovaný rodinný dům.....	28
4.1 Popis objektu	28
4.2 Tepelné ztráty.....	31
4.2.1 Součinitelé prostupu tepla	33
4.2.2 Tepelná ztráta prostupem.....	35
4.2.3 Tepelná ztráta větráním.....	35
4.2.4 Celková tepelná ztráta.....	35
4.3 Tepelná kapacita budovy.....	36
4.4 Potřeba teplé vody.....	37
4.5 Větrání a vytápění	38
4.6 Zdroje tepla	38
5. Použitý model v prostředí TRNSYS	40
5.1 Meteorologická data	41
5.2 Hlavní simulované komponenty a jejich nastavení	42
5.2.1 Solární kolektory.....	42

5.2.2	Potrubí solárního systému	44
5.2.3	Čerpadlo solárního systému	44
5.2.4	Akumulační nádrž	44
5.2.5	Dům	45
5.2.6	Odběr teplé vody.....	48
6.	Zhodnocení výsledků simulací	49
6.1	Simulace spotřebované a dodané energie domu bez solárního systému.....	49
6.2	Simulace spotřebované a dodané energie domu se solárním systémem	50
7.	Ekonomické zhodnocení	54
7.1	Shrnutí investičních nákladů vybraných kolektorů	54
7.2	Výběr nejvhodnějšího počtu kolektorů	56
7.3	Výběr nejvhodnějšího typu kolektoru	59
	Závěr	61
	Seznam použité literatury.....	62
	Seznam použitých symbolů	64
	Přílohy.....	65

ÚVOD

V dnešní době je stále více se rozvíjejícím trendem bydlení ve vlastním rodinném domku v satelitních **městečkách** okolo velkých měst. Kvůli zdražujícím cenám energií a fosilních paliv rostou provozní náklady na přípravu teplé vody (dále jen TV) a vytápění, které se snaží co nejvíce snížit. Proto je v současnosti mnoho rodinných domků stavěno jako nízkoenergetické, aby se snížilo potřebné množství tepla pro vytápění. U nich je potřeba zvolit vhodný zdroj tepla, případně kombinaci více zdrojů pro přípravu TV a vytápění. Z ekologických důvodů se nejčastěji využívá obnovitelných zdrojů energie.

Jednou z možných variant je využití solární energie. Její výhodou je, že sluneční záření je zdarma, i když technologie na jeho využití bývají někdy velmi drahé. Po vybudování jsou schopny dodávat energii za nízkou cenu, čímž sníží závislost na energetických gigantech. Solární energie se dá využít pro přípravu TV, přitápění v přechodných měsících roku, kdy je jí dostatek, a vyhřívání bazénu v letních měsících, kdy je této energie přebytek.

Pro nízkou návratnost solárního systému je třeba správně navrhnout jeho velikost, protože předimenzovaná soustava by zvýšila pořizovací náklady a návratnost celé investice by se tím prodloužila.

Při návrhu solární soustavy pro ohřev TV, bazénu nebo pro přitápění je výhodné použití různých simulačních programů (např. TRNSYS 16). V tomto programu je možné vypočítat např. potřebu tepla na vytápění, ohřev TV, energii dodanou slunečními kolektory a jejich využití během celého roku. Tyto výsledky je poté možno použít např. k návrhu vhodného typu a velikosti solárních kolektorů nebo objemu akumulární nádrže.

1. ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

Slunce je naší nejbližší hvězdou a tvoří střed sluneční soustavy, jejíž součástí je i Země. Je jediným zdrojem energie pro naši planetu.

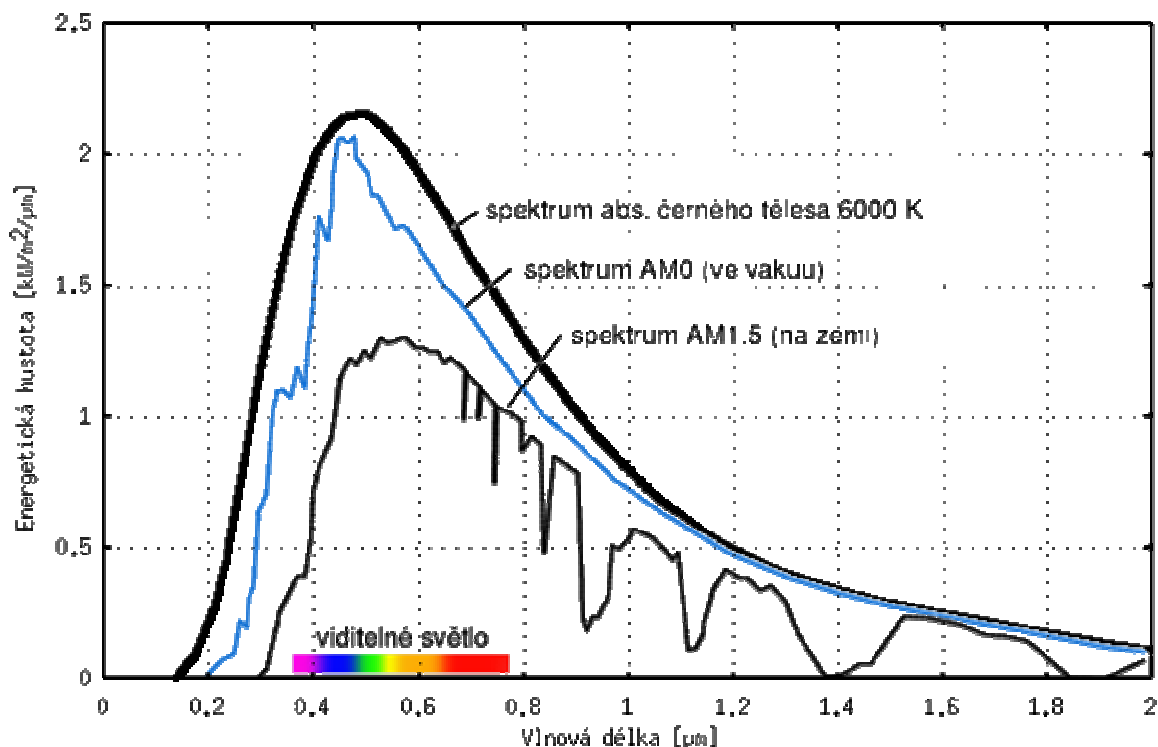
Slunce je koule o průměru $1,392 \times 10^6$ km, což je přibližně 109 průměrů Země. Jeho hmotnost je $1,9891 \times 10^{30}$ kg, tj. 332 950krát větší než hmotnost Země. Je tvořeno převážně z atomárního vodíku (92,1 %), hélia (7,8 %) a stopových množství dalších prvků. Všechny tyto prvky jsou ve Slunci obsaženy ve formě žhavého plazmatu [7].

Uprostřed slunce se nachází jádro, ve kterém dochází k uvolňování energie. Teplota v jádru dosahuje $1,5 \times 10^7$ K. V tomto prostředí jsou již jednotlivé atomy rozloženy na volná jádra a elektrony, současně se vodík postupně a velmi pomalu mění na helium za uvolnění obrovského množství energie. Tento proces se nazývá termojaderná fúze. Uvolněná energie proniká ve formě fotonů k chladnějšímu povrchu (5780 K), odkud je vyzářena do kosmického prostoru. Celkový tok energie vyzářený Sluncem je $3,827 \times 10^{26}$ W. Měrný tok energie (intenzita záření) na povrchu Slunce je $6,28 \times 10^7$ W·m⁻² [7].

Sluneční záření na cestě k Zemi není ničím pohlcováno, ale na hranici zemské atmosféry přichází s nižší intenzitou, protože se kvůli velké vzdálenosti rozptýlí na větší plochu. Proto na povrchu zemské atmosféry na ploše kolmé ke slunečním paprskům je měrný tok energie jen 1367 W·m⁻² (tzv. sluneční nebo také solární konstanta). Ta zahrnuje celé spektrum slunečního záření, nejen viditelné světlo (viz obr. 1.1, spektrum AM0) [7, 8].

Při průchodu slunečního záření zemskou atmosférou dochází k jeho pohlcování. Ve výšce nad 60 km je pohlcováno ultrafialové a rentgenové záření na kyslíku a dusíku, z něhož je atmosféra převážně složená. Tím jsou tyto prvky ionizovány, proto je tato vrstva nazývána ionosférou. Nižší v atmosféře, ve výšce přibližně od 10 do 50 km, je vrstva s velkým obsahem ozónu, na kterém dochází k dalšímu zachycení ultrafialového záření, čímž se tato vrstva zahřívá. Na toto zachycené záření připadá jen malý podíl z celkového toku energie dopadajícího na Zemi, jak ukazuje obr. 1.1 [1].

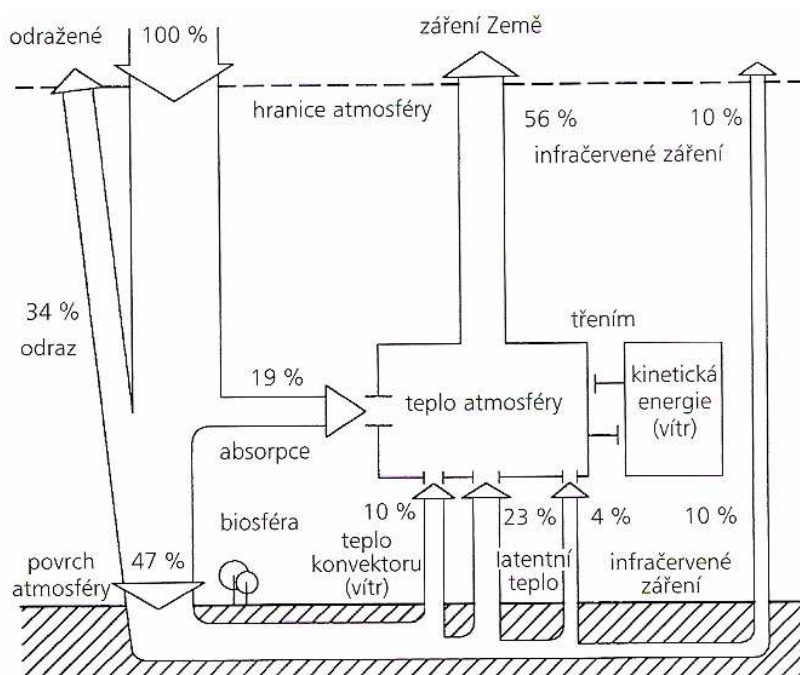
V nejnižší vrstvě atmosféry je sluneční záření pohlcováno vodní parou, kapičkami vody obsaženými v mracích, oxidem uhličitým a prachem. V atmosféře je pohlceno 19 % z celkového toku energie a dalších 34 % je odraženo od mraků a zemského povrchu zpět do vesmíru. Zbývajících 47 % sluneční energie je pohlceno zemským povrchem. Tyto přeměny ukazuje obr. 1.2 [1, 6].



Obr. 1.1 Závislost energie slunečního záření na vlnové délce [9]

AM0 (air mass) – je spektrum slunečního záření na hranici zemské atmosféry.

AM1.5 – je modelové spektrum slunečního záření po průchodu bezoblačnou atmosférou, odpovídající výšce slunce přibližně 45° nad obzorem (ve které je po většinu doby). Sluneční záření v tomto případě prochází 1,5krát mohutnější vrstvou vzduchu oproti poloze slunce v zenitu, tj. ve výšce 90° [9].



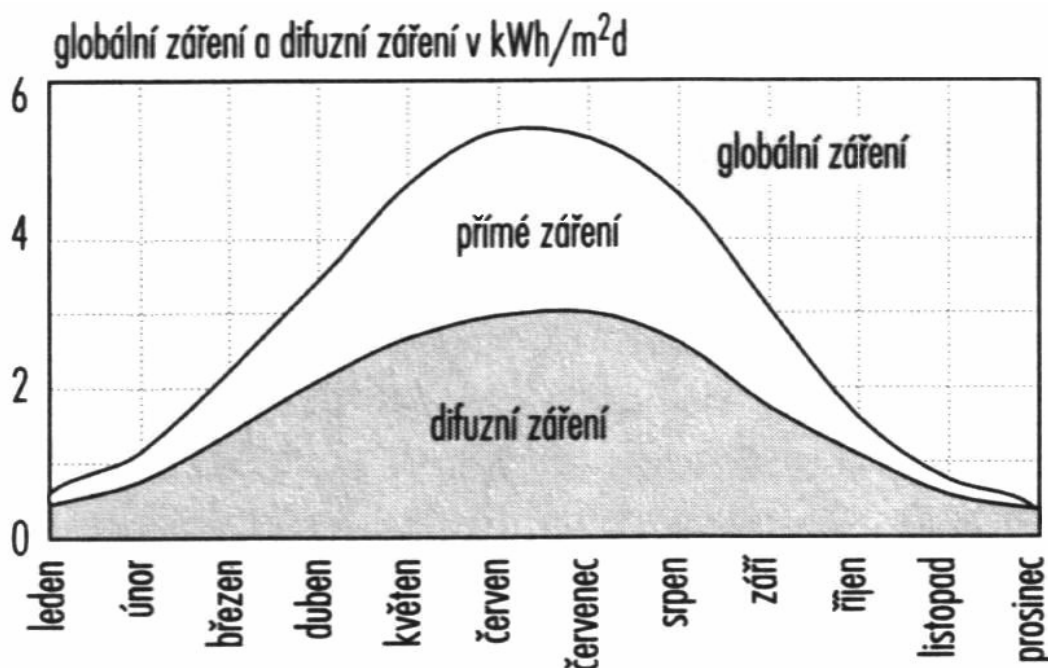
Obr. 1.2 Přeměny energie slunečního záření dopadajícího na Zemi [6]

Záření pohlcené zemským povrchem prochází různými přeměnami. Část je z povrchu vyzářeno, jako infračervené záření. Toto záření je v atmosféře částečně zachyceno víceatomovými plyny, které se tím zahřívají a způsobují trvalé zvýšení teploty atmosféry (skleníkový efekt). Energie dopadající na vodní hladiny se spotřebuje na vypařování vody, která ve vyšších vrstvách atmosféry kondenzuje a předává své skupenské teplo okolnímu vzduchu. Vzduch zahřátý od povrchu stoupá vlivem menší hustoty nahoru a na jeho místo proudí hustší chladný vzduch a tím vznikají větry. Zbylá část sluneční energie je zachycena v biosféře, kde prochází složitými přeměnami v buňkách živých organismů [1].

1.1 Globální záření

Sluneční záření na plochu pod vrstvou atmosféry dopadá ve dvou formách – jako přímé a rozptýlené (difúzní) záření. Jako přímé sluneční záření se označuje záření, které v zemské atmosféře nezměnilo svůj směr, ale pouze intenzitu. Toto záření vytváří stíny a lze jej koncentrovat např. zrcadly nebo čočkami. Difúzní záření vzniká rozptylem přímého záření na molekulách plyných složek vzduchu, vodních kapkách, ledových krystalcích a na různých aerosolových částicích. Toto záření dopadá na zem ze všech směrů, proto nevytváří stíny a nelze jej koncentrovat. Souhrn přímého a difúzního záření se označuje jako globální záření. Zatímco v letním úhrnu představuje difúzní záření přibližně 50 % globálního záření, je jeho podíl v zimě díky oblačnému počasí podstatně vyšší, jak ukazuje obr. 1.3 [2, 3, 4].

Intenzita globálního záření kolísá v závislosti na denní i roční době. V zimě přijímá severní polokoule méně energie než v létě, protože dny jsou kratší a slunce je níž na nebi a záření musí procházet větší vrstvou atmosféry. Na jižní polokouli je to opačně. Roční úhrn slunečního záření na horizontální plochu v ČR kolísá přibližně mezi 950 až 1100 kWh·m⁻², což lze vidět na obr.1.6 [2].



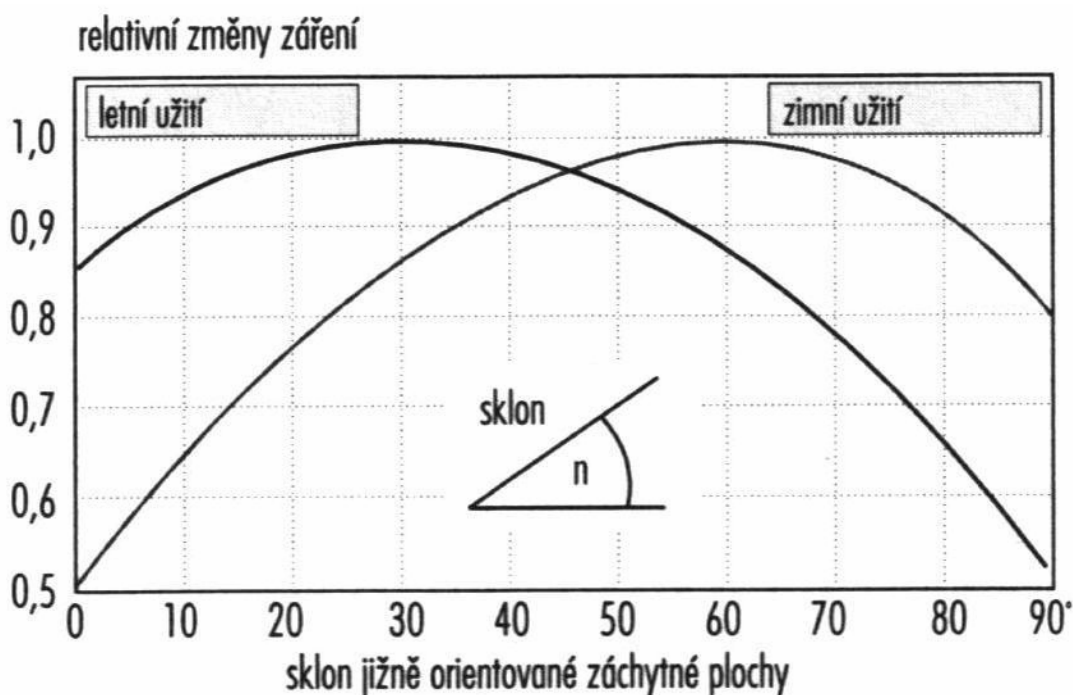
Obr. 1.3 Podíl přímého a difúzního záření v globálním záření [2]

Značně kolísající množství solárního záření je příčinou základního problému v technickém využívání solární energie. Aby byl solární energetický systém schopen energii kontinuálně dodávat, musí buď zahrnovat odpovídající zásobník nebo záložní zdroj tepla [2].

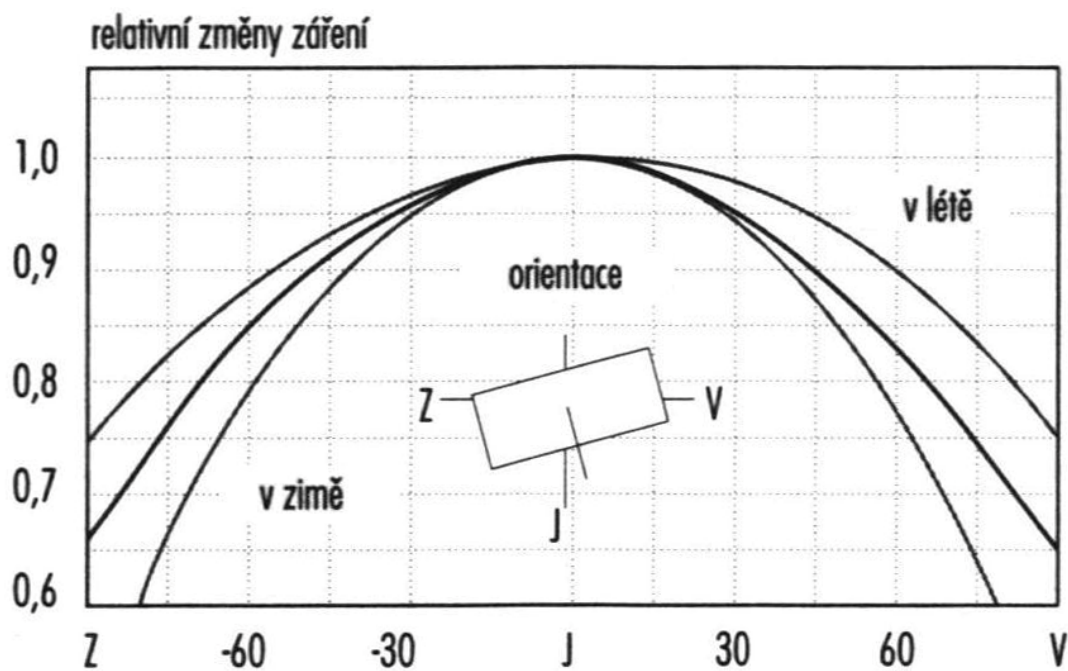
Protože většina plochých kolektorů není v horizontální poloze, ale skloněna pod určitým úhlem, je třeba tento úhel, ale i orientaci kolektoru ke světovým stranám, vhodně zvolit. Vhodnou orientací kolektoru ke slunci můžeme příjem zářivé energie optimalizovat. Nejlepší výtěžnosti lze dosáhnout, pokud kolektor sleduje sluneční dráhu, u koncentrujících kolektorů to je dokonce nutné. U nekoncentrujících kolektorů se sledování sluneční dráhy v praxi téměř nepoužívá, kvůli nevýhodnému poměru mezi náklady a užitkem [2,6].

Pokud není ozářená plocha vodorovná, příjem solární energie se mění v závislosti na sklonu plochy a orientaci ke světovým stranám. Největšího zisku energie v letním období lze dosáhnout při sklonu 30° , zatímco v zimním období při sklonu 60° . Pro celoroční využití jsou akceptovatelné sklony mezi 30 a 60° , jak ukazuje obr. 1.4 [2,6].

Nejlepší orientace pro skloněné kolektory je jih, přičemž malé odchylky k východu nebo západu nemají velký vliv. Obr. 1.5 udává směrné hodnoty letního a zimního období. Při odchylce 45° od jižního směru je ztráta zářivé energie uprostřed roku 10 % [2,6].

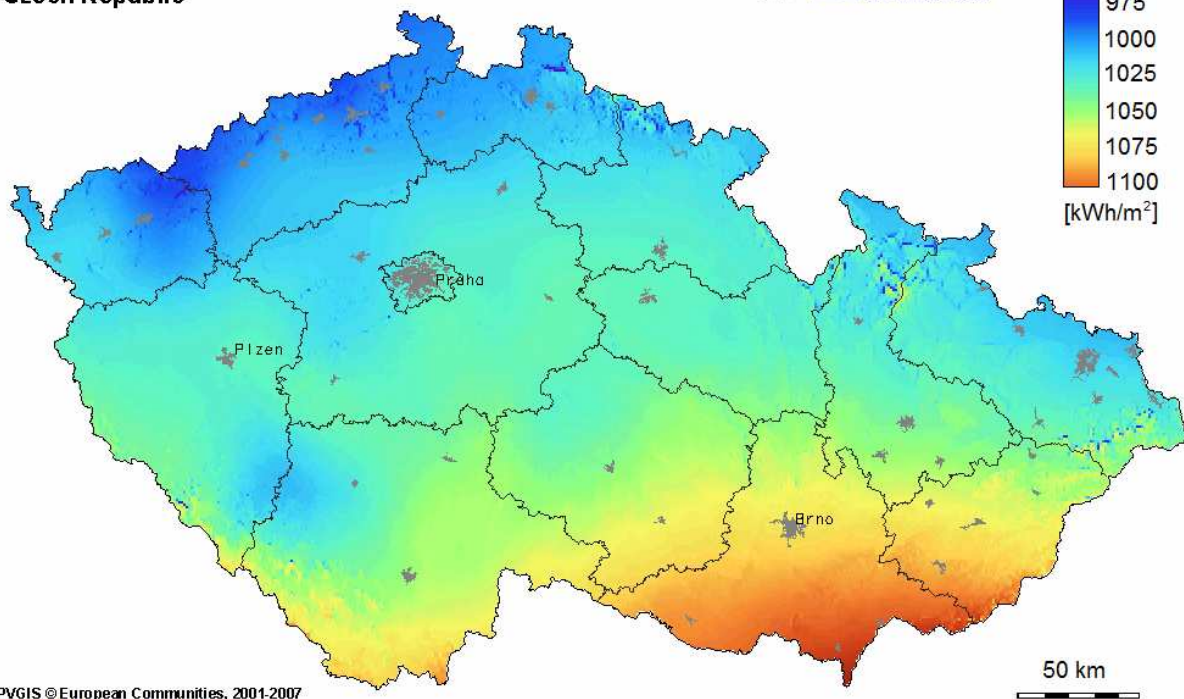


Obr. 1.4 Úhly sklonu příznivé pro solární využití [2]



Obr. 1.5 Relativní změny slunečního záření při odchylkách orientace [2]

Yearly sum of global irradiation on horizontal surface
Czech Republic



PVGIS © European Communities, 2001-2007
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Obr. 1.6 Roční úhrn globálního záření v ČR na horizontální plochu [10]

2.1 Solární kolektory

Solární kolektory jsou nejdůležitějším komponentem aktivních solárních systémů. Zachycují sluneční záření a přeměňují ho na teplo, které zahřívá teplotonosnou tekutinu. Kolektory se využívají v nízkooteplotních systémech, kde teplota teplotonosné látky nepřesahuje 100 °C.

Hlavním prvkem všech solárních kolektorů je absorpční plocha (absorbér), která zachycuje energii dopadajícího záření a ve formě tepla ji předává teplotonosné tekutině. Absorbér bývá nejčastěji vyroben z ocelového, hliníkového nebo mosazného plechu. Účinný povrch absorbéru bývá potažen povlakem, který má velkou schopnost absorbovat dopadající sluneční záření.

Absorbéry levných solárních kolektorů jsou opatřeny různými typy nátěrů, které mají dobrou absorpční schopnost pro krátkovlnné sluneční záření, ale také velkou zářivost (emisivitu), která způsobuje velké ztráty při dlouhovlnném sálání z jeho povrchu, což snižuje jeho účinnost. Jeho výhodou je nízká cena [1, 6].

V současné době se nejvíce používají absorbéry vyznačující se spektrálně selektivními optickými vlastnostmi povrchu. Selektivní povrchy mají velmi nízkou odrazivost (vysokou pohltivost) slunečního záření v oblasti vlnových délek 0,3 až 3 μm, ve kterých přichází 95 % energie slunečního záření. Zároveň mají velmi vysokou odrazivost (nízkou zářivost) v oblasti infračerveného záření 3 až 50 μm [12].

Absorbéry s kvalitními spektrálně selektivními povrchy např. TiNO_x mají součinitel pohltivosti $\alpha = 0,95$ a součinitel poměrné zářivosti (emisivitu) $\varepsilon = 0,05$. V poslední době se objevují další potencionálně levné selektivní povrchy např. s vrstvou boridu hliníku AlB_2 , jež mají součinitel pohltivosti povrchu $\alpha = 0,99$ a součinitel poměrné zářivosti $\varepsilon = 0,05$. Často jsou selektivní povrchy pro zvýšení pohltivosti ještě opatřeny vrchní antireflexní vrstvou [12].

Dále jsou ke spodní straně absorbéru přivařeny, připájeny nebo nalisovány trubky ze stejného materiálu jako je absorbér. Další prvky kolektorů se liší podle typu kolektoru a jsou popsány u jednotlivých typů.

2.1.1 Ploché kolektory

Ploché kolektory jsou vyráběny jako panely, v nichž se nachází absorbér s rozvodnou trubicí teplotonosného média a sběrací trubicí. Nad absorbérem je transparentní kryt kolektoru, který zajišťuje optimální průchod světla a tepelnou izolaci. Kolektor musí být dokonale utěsněn proti vniknutí vody a prachu. Pro zamezení tepelných ztrát, které by snižovaly účinnost kolektoru, je na dně a po stranách vybaven vysoce účinnou tepelnou izolací s tloušťkou 6 až 10 cm a součinitelem prostupu tepla $k = 0,3$ až $0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ [2].

Konstrukce absorbéru: – podle tvaru:

- polštářový absorbér
- lamelový absorbér
- válcovaný absorbér

– podle průtoku:

- meandrový absorbér
- žebříkový absorbér



Obr. 2.2 Plochý kapalinový kolektor [15]

Transparentní kryt:

Transparentní kryt kolektoru má být propustný pro sluneční záření a zároveň má zadržovat zpětné dlouhovlnné vyzařování absorberu, čímž sníží tepelné ztráty kolektoru. Absorbéry se selektivní vrstvou dosahují již s jednou vrstvou zakrytí dostatečné nízké hodnoty součinitele přestupu tepla. Dvojitě zakrytí výrazně redukuje tepelné ztráty, současně ale klesá jeho světelná propustnost, čímž rostou optické ztráty kolektoru [2].

Nejčastěji se používá bezpečnostní sklo chudé na železo, tvrzené, o tloušťce 3 až 6 mm, které má vysokou propustnost světla a vysokou odolnost proti krupobití. Méně používaným materiálem je polykarbonát, jako dvojitá dutinová deska nebo zvlněný kryt. Výhodou plastových krytů je jejich nižší cena a hmotnost. Nevýhodou je křehnutí a tzv. oslepnutí vlivem UV-záření také špinění a poškrábání povrchu vlivem povětrnostních vlivů [2].

Tepelná izolace:

Často jsou používány tvrdé desky z pěnového polyuretanu. Díky pevnosti jsou používány částečně jako konstrukční prvek. Nejsou odolné proti vysokým teplotám přes 200 °C (při chodu kolektoru na prázdko) a musí být chráněny odolnou mezivrstvou. Pro pěnový polystyren to platí ve zvýšené míře, proto se používá jen zřídka. Nejčastěji jsou používané tepelné izolace na bázi čedičových nebo skelných rohoží, pro svou odolnost proti vysokým teplotám. Rouno, desky nebo rohože nesmí obsahovat bitumenová nebo pryskyřičná pojiva [2].

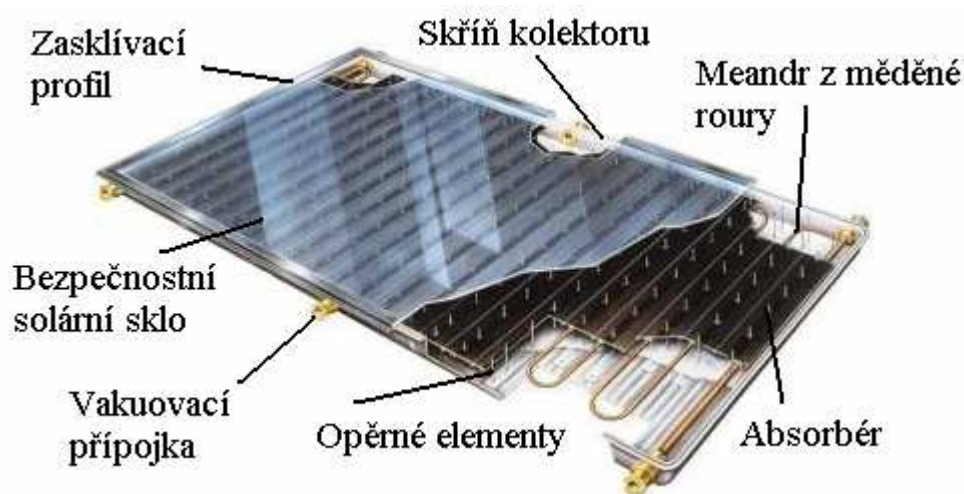
Skříň kolektoru:

Skříň kolektoru zajišťuje spojení absorberu, tepelné izolace a krytu v jeden celek. Musí trvale chránit absorber a tepelnou izolaci před povětrnostními vlivy. Je nezbytné, aby konstrukce byla bez tepelných mostů [2].

Nejčastěji se rámy kolektoru vyrábí z hliníku. Dá se dobře zpracovávat, je lehký, odolný proti povětrnostním vlivům a cenově dostupný. Skříň kolektorů se také vyrábí z pozinkovaného plechu, plastických hmot a v poslední době se také objevuje dřevo [2].

2.1.2 Vakuové ploché kolektory

Tělo kolektoru je vaku-těsné, odolné proti tlaku a připomíná hluboko protaženou bezešvou vanu z ušlechtilé oceli nebo hliníko-hořčíkové slitiny. Uprostřed kolektoru je zavěšen absorbér. Nahoře uzavírá kolektor tabule solárního skla (s tloušťkou minimálně 4 mm) spojená speciálním tepelně odolným těsněním s vanou. Aby sklo neprasklo působením atmosférického tlaku, který činí asi $1000 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, je vyztuženo rastrově uspořádanými nerezovými pružnými opěrnými elementy, odolnými proti vysoké teplotě. Kolektor je evakuován na tlak 0,1–10 kPa až po namontování na střechu. Vakuem jsou významně omezeny tepelné ztráty konvekcí. Nově je tento kolektor plněn vzácným plynem kryptonem na tlak 5 kPa. Měření ukazují výkonnost, která je srovnatelná s kolektory z vakuových trubíc [2, 13].



Obr. 2.3 Plochý vakuový kolektor [15]

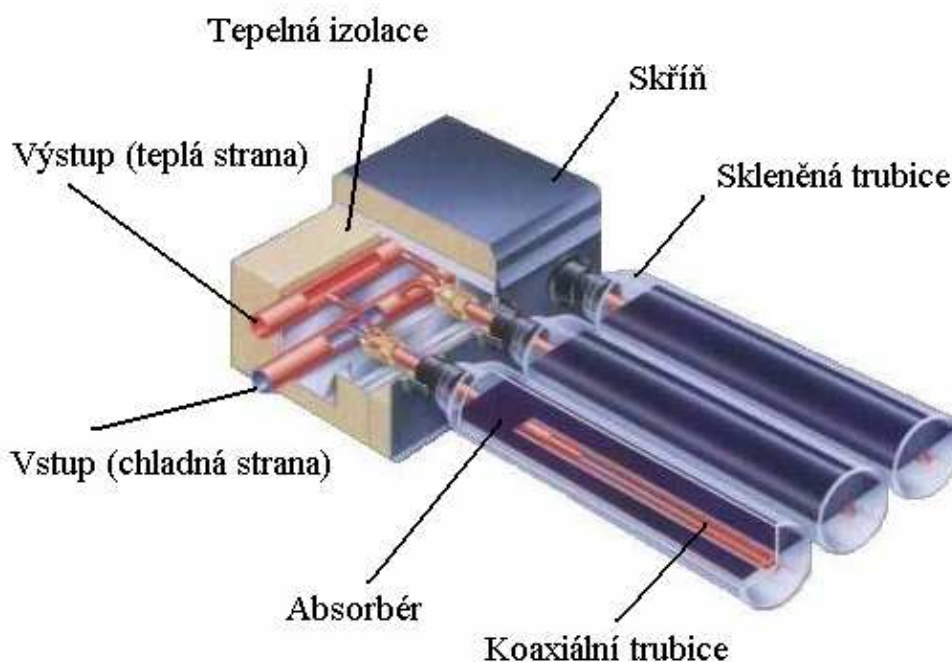
2.1.3 Trubicové vakuové kolektory

Vakuové trubicové kolektory jsou výhodnější oproti plochým kolektorům při větších teplotních rozdílech mezi médiem a okolním prostředím a při menším záření. Jsou tedy vhodné zejména pro topné systémy, méně vhodné jsou pro přípravu teplé vody a pro ohřev vody v bazénech jsou zcela nevhodné [2].

Vakuové trubicové kolektory jsou evakuovány až na 10^{-3} Pa . Protože venkovní vzduch má tlak asi 100 kPa, jsou trubice namáhány velkým rozdílem tlaků, proto musí mít kolektory vždy tvar trubic. V každé trubici je lamela absorberu (jako u plochých kolektorů). Skupina trubic montovaných na rámu ústí do společného sběrného potrubí a tvoří jeden kolektorový modul. Trubicové kolektory bývají vybaveny parabolickým reflektorem zajišťujícím osvit zadní strany absorpční trubice přímým i nepřímým solárním zářením [2].

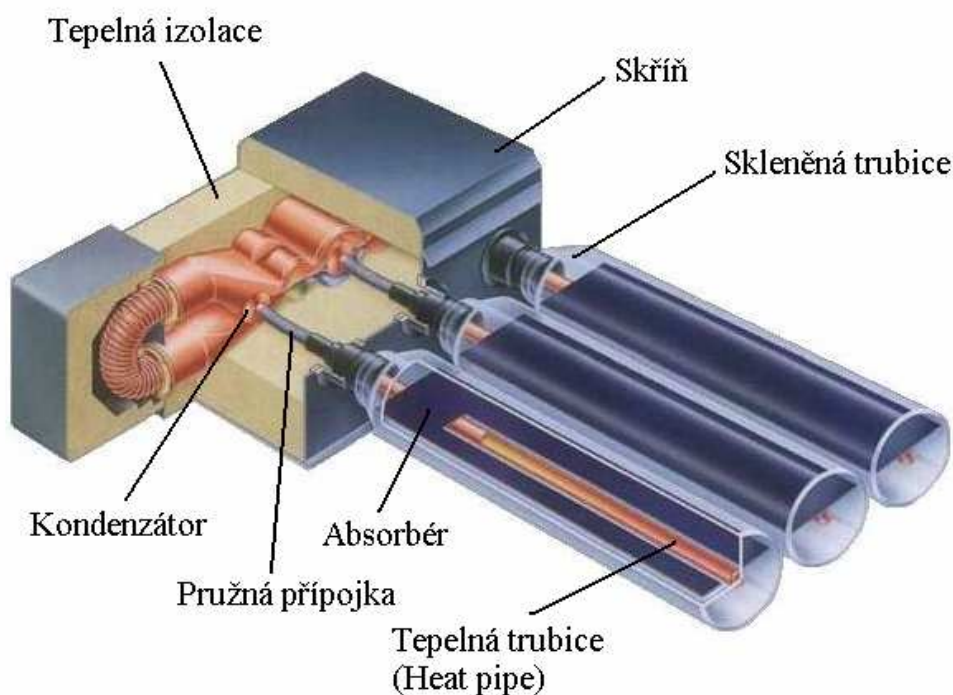
Konstrukce absorbérů:

- přímo protékané absorbéry – u této konstrukce protéká teplotonosné médium buď trubicí ve tvaru U nebo vnitřní koaxiální trubicí (trubka v trubce) až ke spodnímu konci absorberu a zpět protéká vnější trubicí v protiproudu a odebírá při tom teplo z absorberu [2].



Obr. 2.4 Vakuový trubicový kolektor s přímým proděním [16]

- absorbéry s tepelnou trubicí (Heat pipe) – tato konstrukce vyžaduje montáž ve svislé nebo šikmé poloze – nejméně 15–20°. Tepelná trubice je vyplněna snadno se vypařující kapalinou (od 25 °C). Ta se již při menším záření vypařuje, stoupá tepelnou trubicí vzhůru do kondenzátoru, kde předá teplo, kondenzuje a zase stéká vlivem gravitace zpět do spodní části. Předané teplo je odváděno teplotním médiem, protékajícím kolektorovým okruhem [2].



Obr. 2.5 Vakuový trubicový kolektor s tepelnou trubicí [16]

Transparentní kryt:

Trubice jsou vyráběny z borsilikátového skla o tloušťce 1,5 až 3 mm. Toto sklo vykazuje výrazně vyšší mechanickou a tepelnou stabilitu. Optické vlastnosti jsou srovnatelné s plochými kolektory, ale borsilikátové sklo je dražší [2].

Trubice se skládá ze dvou skleněných rour, které jsou na jedné straně polokruhově uzavřeny a na druhé straně jsou staveny. Z prostoru mezi oběma trubicemi se vyčerpá vzduch a prostor se hermeticky uzavře [2].

2.1.4 Účinnost solárních kolektorů

Tepelná účinnost solárních kolektorů je závislá na jejich optických a izolačních vlastnostech. Účinnost je také závislá na rozdílu teploty absorberu (střední teploty teplosné látky) a okolního vzduchu. Při výpočtu platí vztahy:

Účinnost solárního kolektoru [14]:

$$\eta = \frac{Q}{S \cdot G} = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(t_m - t_a)}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_a)^2}{G} \quad (2.1)$$

kde: η	– okamžitá účinnost kolektoru	[-]
Q	– užitečné teplo získané z kolektoru	[W]
S	– plocha apertury nebo absorberu (apertura – plocha, kterou vstupuje solární záření do kolektoru)	[m ²]
G	– globální záření na plochu kolektoru	[W·m ⁻²]
η_0	– optická účinnost	[-]
a_1	– lineární koeficient tepelné ztráty	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
t_m	– střední teplota média v kolektoru	[°C]
t_a	– teplota okolního vzduchu	[°C]
a_2	– kvadratický koeficient tepelné ztráty	[W·m ⁻² ·K ⁻²]

Optická účinnost [14]:

$$\eta_0 = \tau \cdot \alpha \quad (2.2)$$

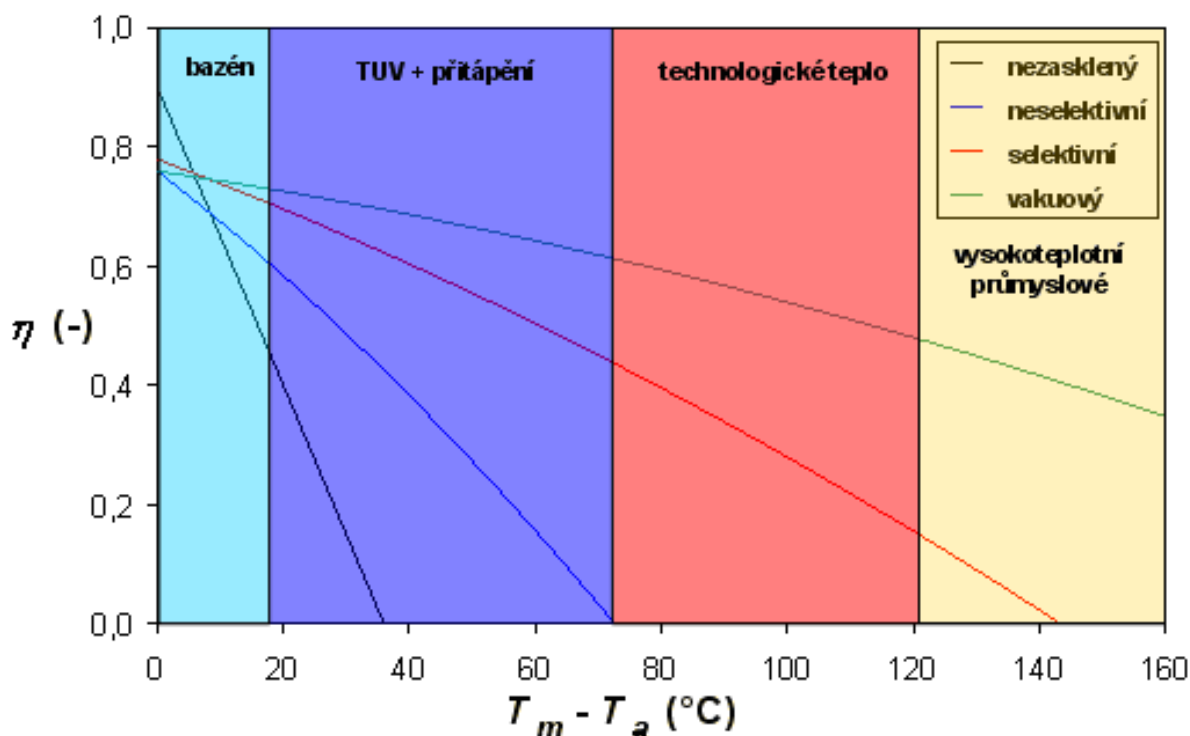
kde: η_0	– optická účinnost	[-]
τ	– transmittance (propustnost) zasklení	[-]
α	– absorptance (pohltivost) absorberu	[-]

Střední teplota média [14]:

$$t_m = \frac{t_{in} + t_{out}}{2} \quad (2.3)$$

kde: t_m	– střední teplota média v kolektoru	[°C]
t_{in}	– teplota na vstupu do kolektoru	[°C]
t_{out}	– teplota na výstupu z kolektoru	[°C]

Rozdíly v účinnosti různých typů kolektorů jsou nejvíce patrné při větším rozdílu střední teploty média T_m [°C] a okolního vzduchu T_a [°C]. V grafu 2.1 jsou zobrazeny účinnosti čtyř typů solárních kolektorů. Zde jsou také vyznačeny typické rozsahy použití kolektorů v základních aplikacích [13].



Graf 2.1 Křivky účinnosti některých typů solárních kolektorů [13]

2.2 Zásobník tepla

Přívod energie slunečního záření není plynulý, ale v průběhu dne i roku značně kolísá. Zároveň energie, která je k dispozici, nekryje její aktuální potřebu, proto musí být součástí solárního systému také zásobník tepla, v němž se teplo zachycené kolektory v době nadbytku slunečního záření akumuluje pro odběr v době, kdy slunce nesvítí.

2.2.1 Kapacita zásobníku

Kapacita zásobníku je v první řadě otázkou způsobu akumulace. Můžeme rozlišovat mezi chemickou a termickou akumulací. Chemická akumulace je pro nás běžná ve formě topného oleje, plynu nebo benzínu. Bohužel se dosud nepodařilo tento proces chemického uvolňování energie obrátit pomocí technik v přijatelných mezních podmínkách a účinnostech, proto se pro uchování tepla uplatňují jen termické, tedy tepelné zásobníky. Tepelné zásobníky se ještě dělí na zásobníky pro teplo latentní a teplo „citelné“ [2].

- zásobník latentního tepla – využívá změnu skupenství, při které je potřeba relativně velkého množství tepla. Toto teplo se označuje jako latentní, protože nevede k žádné změně teploty. Byly objeveny a zkoumány materiály, u nichž změny skupenství probíhají při teplotách využitelných pro domácí topení nebo přípravu TV. Jsou to např. parafin při 20–90 °C, ale také různé hydráty solí mezi 25 a 70 °C. Výhodou zásobníků latentního tepla je výrazně vyšší akumulací kapacita a skutečnost, že se teplota při nabíjení a vybíjení změnou skupenství mění jen minimálně. Zacházení s těmito látkami není bohužel v praxi bez problémů. Některé látky při častém nabíjení a vybíjení mění své vlastnosti a ztrácí akumulací kapacitu, u jiných dělá problémy materiál tuhnoucí na tepelném výměníku. I když se na vývoji zásobníků latentního tepla pracuje již řadu let, není dosud na trhu žádný sériově vyráběný produkt, který by byl vhodný pro přípravu teplé vody nebo vytápění [2].
- zásobník citelného tepla – při přívodu tepla je teplota média v zásobníku zvýšena, při odběru tepla klesá. Nejčastěji se jako akumulací médium využívá vody.

Naakumulované resp. odebrané teplo lze vypočítat dle [2]:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (2.4)$$

kde: Q	– akumulované resp. odvedené teplo	[J]
m	– hmotnost média	[kg]
c	– tepelná kapacita média	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
t_2	– konečná teplota média	[°C]
t_1	– počáteční teplota média	[°C]

2.2.2 Velikost zásobníku

Kapacita zásobníku, resp. jeho potřebný objem se řídí denní spotřebou vody. Např. čtyřčlenná rodina potřebuje pro přípravu TV přibližně 10 kW·h na den. Obvyklé velikosti solárních zásobníků v domovní technice se pohybují mezi 150 až 1000 l objemu. Podle empirického pravidla má být počítáno se zásobou na 1,5 až dvojnásobek denní potřeby. Pokud se používá solární zásobník tepla i pro vytápění, objem zásobníku bývá 50 až 100 litrů na 1 m² kolektorové plochy [2].

2.2.3 Tepelné ztráty zásobníku

Tepelné ztráty jsou nechtěným průvodním jevem. Vznikají, pokud médium v zásobníku dosáhne vyšší teploty než okolí, a jsou přímo úměrné tomuto teplotnímu rozdílu. Redukování tepelných ztrát je možné izolací celé plochy povrchu bez mezer, spár a tepelných mostů. Bezpodmínečně nutná a smysluplná je izolace o tloušťce nejméně 10 cm, lépe ještě větší, přičemž má být použita vysoce hodnotná izolační hmota o tepelné vodivosti 0,040 W·m⁻¹·K⁻¹ nebo méně. Nejčastěji se používá izolace z minerálních vláken nebo polyuretanové pěny. Izolační materiál má plně přiléhat na stěnu zásobníku a nemá mít spáry, čímž se vyloučí ztráty konvekcí [2].

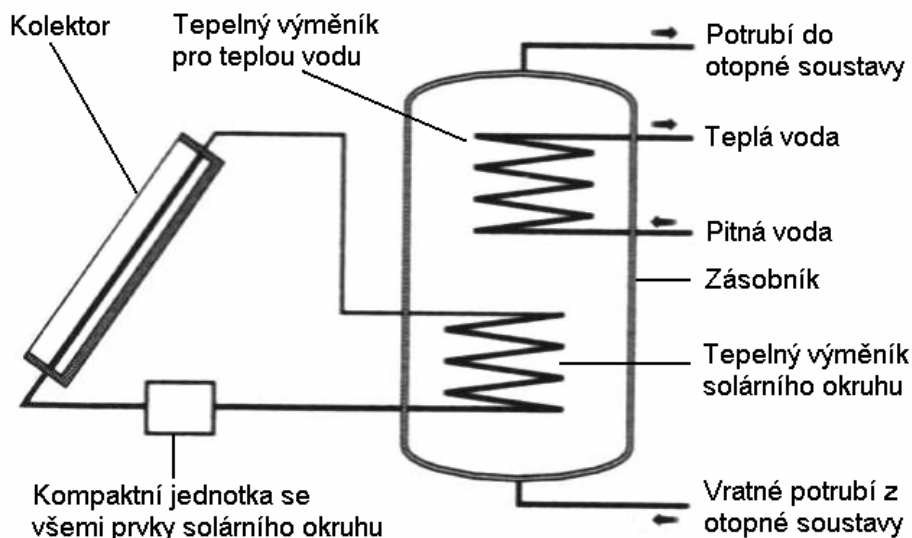
2.2.4 Rozvrstvení tepla v zásobníku

Od solární soustavy je většinou vyžadována voda v rozmezí teplot mezi 45 a 55 °C. Z půlky nabitý zásobník tak může nabídnout různé teploty vody. Např. 300 litrový zásobník se 150 l vody o teplotě 50 °C a 150 l vody o teplotě 10 °C má stejný obsah energie jako zásobník s 300 l vody 30 °C teplé. V prvním případě je odběratel spokojen a 150 ohřátých litrů spotřebuje, ve druhém případě musí vodu dohřívát cizí energií a podle okolností to přisuzuje špatné funkci solární soustavy. Rozdíl je v tom, že v solárním zásobníku dochází k tepelnému vrstvení vody. Chladná voda je těžší a klesá ke dnu nádrže. K tepelnému vrstvení tak dochází samovolně. Navíc má voda relativně malou tepelnou vodivost, díky které je výměna tepla mezi vrstvami s rozdílnými teplotami ztížena. Tepelné rozvrstvení se může tedy udržet tak dlouho, doku nedojde k promíchávání vrstev. U konvenčních zásobníků je jejich obsah promícháván zpravidla vlivem nesprávně instalovaného přívodu a odvodu vody, nevhodného tvaru nádrže, atd. U solárních zásobníků lze jejich vhodnou konstrukcí dosáhnout výraznějšího a stálějšího tepelného vrstvení a tím i dobrého výnosu celé solární soustavy [2].

2.2.5 Nabíjení a vybíjení zásobníku

Rozhodující vliv na tepelné vrstvení vody v zásobníku mají pochody probíhající při nabíjení a vybíjení, tedy při přísunu tepla a jeho odběru, které probíhají u tepelných zásobníků buď přímo tj. přitékající a odtékající vodou nebo nepřímo prostřednictvím tepelného výměníku [2].

Pro přípravu teplé vody a přitápění se nejčastěji používá zásobník s nepřímým nabíjením a vybíjením. Přívod i odvod tepla jsou realizovány prostřednictvím výměníků. Při nabíjení vzniká stoupající konvektivní proudění od teplejšího výměníku, při vybíjení je směr proudu opačný, což vede k promíchávání objemu zásobníku. Voda v zásobníku je zcela oddělena jak od okruhu solárního, tak i okruhu pro ohřev TV, takže může být použita bez problémů i pro další okruh – většinou otopnou soustavu [2].



Obr. 2.6 Tepelný zásobník s nepřímým nabíjením a vybíjením [2]

Konstrukční detaily ovlivňující správné vrstvení:

- Štíhlá stojatá nádrž – pozitivně ovlivňuje termické stoupání vody v zásobníku.
- Přívod studené vody u dna nádrže – musí být zajištěn formou širokého přítoku s promyšleně nastavenou, předřazenou plechovou zarážkou omezující válcové kroužení vody v zásobníku.
- Odběr teplé vody nahoře – použití usměrnění proudu podobně jakou u studené vody.
- Přívod tepelné energie ze solárního výměníku v dolní třetině zásobníku. Nevýhodou je, že prouděním v zásobníku dochází vždy k promíchání vrstev.
- Použití stratifikátoru – rozvrství ohřátou vodu solárním výměníkem na stejnou tepelnou hladinu, čímž zabrání promíchávání a zvýší využitelnost dodaného tepla ze solárního okruhu.
- Všechna uspořádání musí být konstruována tak, aby pokud možno chladná teplotná kapalina tekla zpět do kolektoru a umožnila tak příznivé podmínky pro výkon celé soustavy [2].

3. NÍZKOENERGETICKÝ DŮM

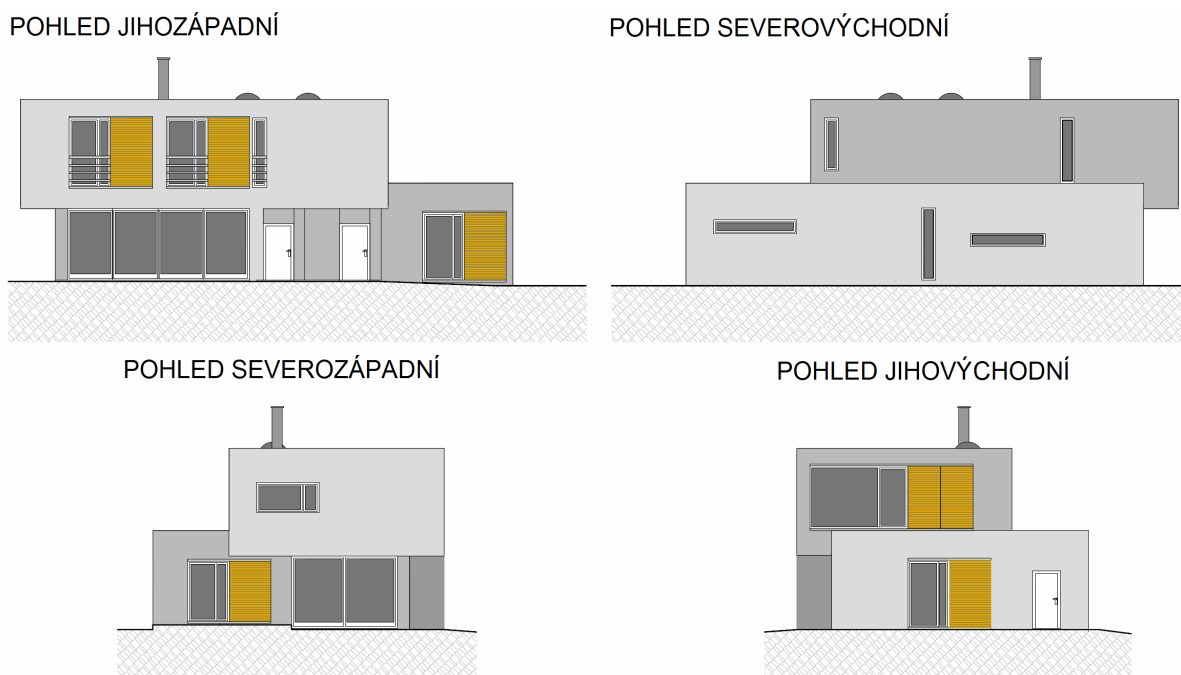
Nízkoenergetický dům je definován podle normy ČSN 730540-2 jako budova s roční plošnou měrnou potřebou tepla na vytápění nepřesahující $50 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ za rok, bez ohledu na tvar budovy, což nejlépe splní dům kompaktního tvaru [5].

Aby mohla být spotřeba tepla pro vytápění snížena pod tuto hranici, je třeba při návrhu domu brát v úvahu několik činitelů, které ji v odlišné míře podle povahy projektu ovlivňují. Je to hlavně vhodné umístění stavby, kompaktnost tvaru, výborná tepelná izolace, minimalizace tepelných mostů a vzduchotěsnost. Také je potřeba vhodně orientovat obývané místnosti na jih a zvýšit tím pasivní solární zisky okny. Tato okna by měla mít vhodnou velikost ale také vlastnosti, aby jimi zbytečně neunikalo teplo. Doporučuje se využití nuceného větrání budovy se zpětným získáváním tepla. Tento způsob větrání nám zajistí nejen hygienickou nezávadnost a dobrou kvalitu vzduchu, ale také nízké ztráty větráním, díky zařízení pro zpětné získávání tepla které dosahuje účinnosti cca 90 % [5].

4. SIMULOVANÝ RODINNÝ DŮM

4.1 Popis objektu

Simulovaný rodinný dům se nachází v obci Studénka v okrese Nový Jičín. Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepený objekt s plochou střechou. Půdorysné rozměry jsou 17,75 m x 10,50 m x 6,77 m, zastavěnou plochou 150,4 m² a zpevněnou plochou 160,7 m². Dispozice jednotlivých podlaží je patrná z obr. 4.3 a 4.4 [18].

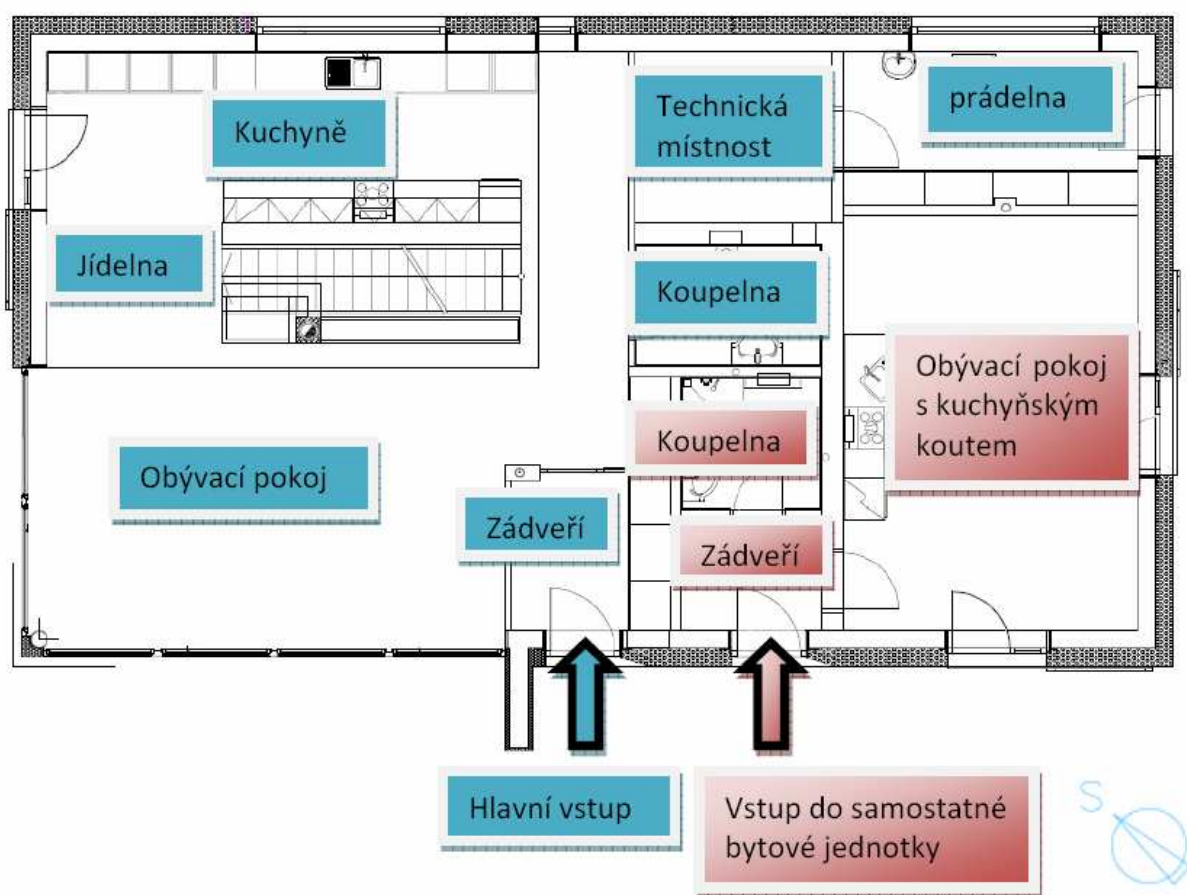


Obr. 4.1 Pohledy zkoumaného rodinného domu [17]

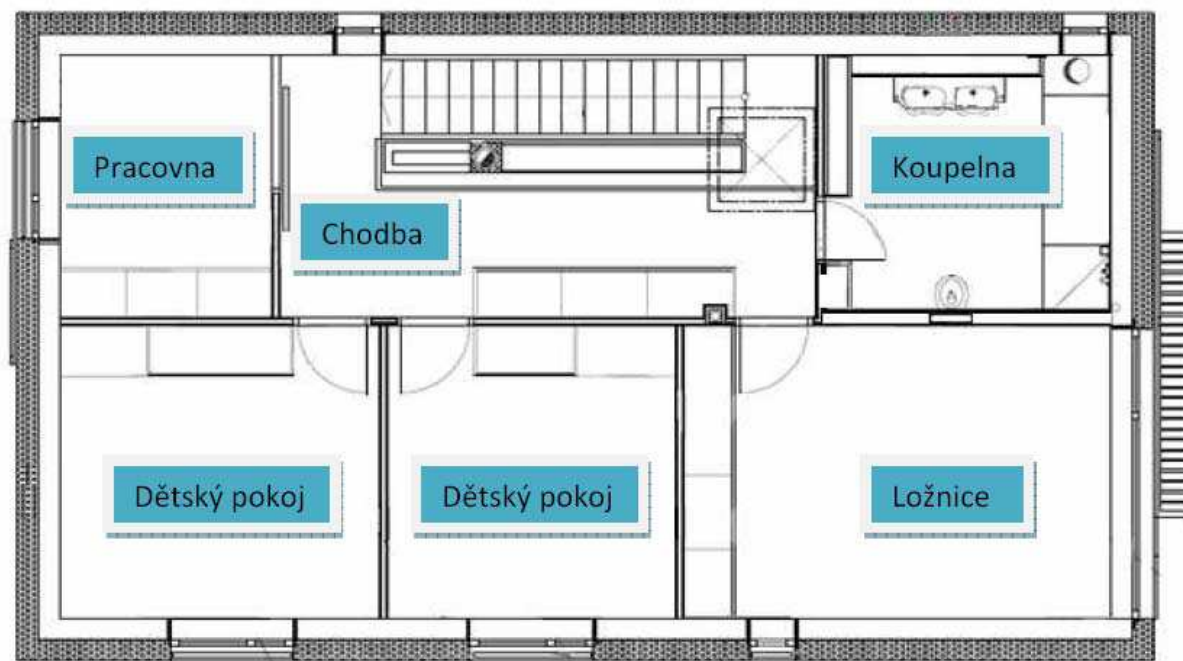
Hlavní nosné konstrukce jsou z vápenopískových tvárnic KM BETA SENDWIX 8 DF D tl. 240 mm, nosné příčky v 1. NP jsou ze stejného materiálu tl. 300 mm. Nenosné příčky jsou provedeny z tvárnic YTONG tl. 100 mm nebo 150 mm. V 2. NP je nosná konstrukce shodná s 1. NP. Příčky jsou sádkartonové tl. 100 mm zhotovené ze sádkartonových desek tl. 12,5 mm s vloženou minerální tepelnou izolací ORSIL tl. 75 mm. Izolaci obvodových konstrukcí zajišťuje zateplovací systém z polystyrenu EPS 100 F tl. 280 mm (lepený a mechanicky kotvený). Podlahy jsou tepelně izolovány expandovaným pěnovým polystyrenem EPS 100 Z tl. 150 mm. Zateplení střechy je tvořeno deskami z polystyrenu EPS 100 Z a EPS 100 S kotvenými do střešní konstrukce, v celkové tl. 320 mm. Okna jsou plastová zdvojená, otevíraná a sklopná, zasklená izolačním dvojsklem [17].



Obr. 4.2 Vizualizace simulovaného objektu [18]



Obr. 4.3 Půdorys 1. NP [18]



Obr. 4.4 Půdorys 2. NP [18]

4.2 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty jsou počítány pro jednotnou střední vnitřní teplotu $t_i = 22\text{ °C}$ a venkovní teplotu vzduchu $t_e = -15\text{ °C}$.

Celková tepelná ztráta [20]:

$$Q_c = Q_p + Q_v \quad (4.1)$$

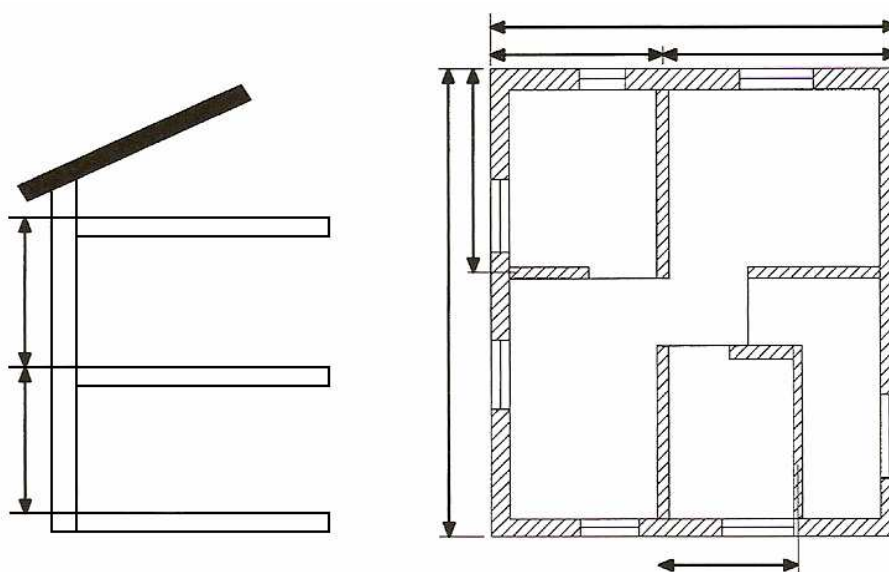
kde: Q_c – celková tepelná ztráta [W]
 Q_p – tepelná ztráta prostupem tepla [W]
 Q_v – tepelná ztráta větráním [W]

Tepelná ztráta prostupem tepla [6]:

Tepelné ztráty prostupem byly vypočítány pomocí zjednodušené (obálkové) metody platí vztahy 4.2 až 4.5.

$$Q_p = \sum_{k=1}^n f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (t_e - t_i) \quad (4.2)$$

kde: Q_p – tepelná ztráta prostupem tepla [W]
 f_k – teplotní korekční součinitel; ztráty do venkovního prostředí $f_k = 1,3$, do země $f_k = 1$ [-]
 A_k – vnější plocha stavebních částí [m²]
 U_k – součinitel prostupu tepla stavební části [W·m⁻²·K⁻¹]
 t_e – teplota prostředí na vnější straně konstrukce, pro vnější prostředí $t_e = -15\text{ °C}$, zemina $t_e = 5\text{ °C}$ [°C]
 t_i – vnitřní teplota $t_i = 22\text{ °C}$ [°C]



Obr. 4.5 Příklad vnějších rozměrů používaných u zjednodušené metody [6]

Součinitel prostupu tepla [20]:

$$U_k = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_e + R_\lambda + R_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (4.3)$$

kde: U_k	– součinitel prostupu tepla vztažený na plochu	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
R_c	– celkový tepelný odpor zdiva	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
R_e	– tepelný odpor na vnější straně konstrukce	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
R_λ	– tepelný odpor prostupem	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
R_i	– tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce	$[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
α_e	– součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny použitý součinitel přestupu tepla $\alpha_e = 23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
α_i	– součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěny pro svislé a vodorovné stěny s přestupem tepla nahoru $\alpha_i = 8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, pro vodorovné plochy s přestupem tepla dolů $\alpha_i = 6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
d	– tloušťka vrstvy konstrukce	$[\text{m}]$
λ	– součinitel tepelné vodivosti vrstvy	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

Tepelná ztráta větráním [20]:

$$Q_v = 1300 \cdot \frac{n_h}{3600} \cdot V_m \cdot (t_i - t_p) \quad (4.4)$$

kde: Q_v	– tepelná ztráta větráním z minimální výměny vzduchu	$[\text{W}]$
n_h	– požadovaná intenzita výměny vzduchu, zde $n_h = 0,5 \text{ h}^{-1}$	$[\text{h}^{-1}]$
V_m	– vnitřní objem místností	$[\text{m}^3]$
t_i	– teplota vnitřního vzduchu	$[\text{°C}]$
t_p	– teplota přiváděného vzduchu	$[\text{°C}]$

Teplota přiváděného vzduchu při použití rekuperace:

$$t_p = t_e + \eta_R \cdot (t_i - t_e) \quad (4.5)$$

kde: t_p	– teplota přiváděného vzduchu	$[\text{°C}]$
t_e	– teplota venkovního vzduchu	$[\text{°C}]$
η_R	– účinnost rekuperace	$[-]$
t_i	– teplota vnitřního vzduchu	$[\text{°C}]$

4.2.1 Součinitelé prostupu tepla

Rozměry a skladba jednotlivých povrchů je dle podkladů majitele. Vlastnosti materiálů jsou z normy ČSN 73 0540-3. Výpočty byly provedeny dle vzorce 4.3.

Tab. 4.1 Složení vnější stěny

Materiál	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A _k [m ²]
Vnitřní štuková omítka cemix směs	0,015	0,570	0,119	224
Zdivo KM BETA SENDWIX 8 DF D	0,240	0,380		
Desky EPS 100 F	0,280	0,037		
Vnější omítka, perlínka, štuková silikonová vrstva	0,003	0,570		

Tab. 4.2 Složení střechy v 1. NP

Materiál	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A _k [m ²]
Vnitřní štuková omítka	0,0150	0,570	0,102	74,6
Keramobetonová konstrukce Miako, POROTHERM	0,2700	0,330		
Parozábrana DORKEN	0,0010	0,350		
Spádoná vrstva z desek EPS 100 Z	0,0100	0,038		
Desky EPS 100 Z	0,2000	0,038		
Desky EPS 100 S stabil	0,1200	0,037		
PE fólie ze skelného rouna	0,0025	0,350		
Separální geotextilie	0,0010	0,350		
Betonová dlažba	0,0400	1,200		

Tab. 4.3 Složení střechy v 2. NP

Materiál	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A _k [m ²]
Sádrokartonový podhled GKV	0,0125	0,220	0,109	99,6
Železobetonová monolitická deska	0,2100	1,740		
Parozábrana DORKEN	0,0010	0,350		
Spádoná vrstva z desek EPS 100 Z	0,0100	0,038		
Desky EPS 100 Z	0,2000	0,038		
Desky EPS 100 S stabil	0,1200	0,037		
PE fólie ze skelného rouna	0,0025	0,350		
Separální geotextilie	0,0010	0,350		
Betonová dlažba	0,0400	1,010		

Tab. 4.4 Složení podlahy v 1. NP

Materiál	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A _k [m ²]
Keramická dlažba	0,008	1,010	0,225	149,3
Lepicí tmel	0,002	0,990		
Betonová mazanina B/20	0,075	0,890		
Separční vrstva PE folie	0,001	0,350		
Desky EPS 100 Z	0,150	0,038		
Asfaltový pás	0,002	0,210		
Betonová deska B/20	0,100	0,890		
Štěrkopísková vrstva	0,100	0,980		

Tab. 4.5 Složení podlahy v 2. NP (převis)

Materiál	d [m]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A _k [m ²]
Dřevoštěpková deska	0,016	0,150	0,082	26,3
Mirelon	0,002	0,037		
Cementová stěrka	0,002	0,990		
Betonová mazanina B/20	0,060	0,890		
Separční vrstva PE folie	0,001	0,350		
Desky EPS 100 Z	0,150	0,038		
Betonová deska B/20	0,210	0,890		
Desky EPS 100 F	0,280	0,037		
Vnější omítka, perlinka, štuková silikonová vrstva	0,003	0,570		

Tab. 4.6 Výplně otvorů

Materiál	U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A _k [m ²]
Okna plastová zdvojená s izolačním dvojsklem	1,10	58,5
Dveře plastové s částečnou skleněnou výplní	1,00	7,1
Kopulové střešní světlíky	1,37	3,1

4.2.2 Tepelná ztráta prostupem

Výpočet byl proveden dle vztahu 4.2 pro:

- venkovní teplotu vzduchu $t_e = -15\text{ °C}$
- teplotu zeminy $t_g = 5\text{ °C}$
- teplotu v budově $t_i = 22\text{ °C}$

Tab. 4.7 Tepelné ztráty prostupem

Povrch	$Q_{p,k}$ [W]	Q_p [W]
Vnější stěna	1 282,8	6 475
Střecha 1. NP	391,5	
Střech 2. NP	487,6	
Podlaha 1. NP	572,3	
Podlaha 2. NP (převis)	103,5	
Okna	3 096,8	
Dveře	339,1	
Kopulové střešní světlíky	201,0	

4.2.3 Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním byla vypočtena dle vzorce 4.4 pro venkovní teplotu vzduchu $t_e = -15\text{ °C}$, veškerý větrací vzduch je venkovní (cirkulace vzduchu je nulová). Byla použita rekuperace s účinností 85 %.

Tab. 4.8 Tepelné ztráty větráním

V_m [m ³]	t_e [°C]	t_i [°C]	t_p [°C]	n_h [h ⁻¹]	Q_v [W]
526,7	-15	22	16,45	0,5	528

4.2.4 Celková tepelná ztráta

Dle vzorce 4.1 je vypočítána celková tepelná ztráta.

Tab. 4.9 Tepelné ztráty

Q_p [W]	Q_v [W]	Q_c [W]
6475	528	7003

4.3 Tepelná kapacita budovy

Tepelná kapacita budovy byla stanovena sečtením tepelných kapacit jednotlivých stavebních prvků, které jsou v přímém kontaktu s vnitřním vzduchem. Maximální započitatelná tloušťka do hmoty vnitřní tepelné kapacity (pro určení využitelnosti tepelných zisků nebo ztrát s periodou kolísání 1 den) je 100 mm.

Tepelnou kapacitu je možné vypočítat podle vztahu [19]:

$$C_m = \sum_{j=1}^n \kappa_j \cdot A_j \quad (4.6)$$

kde: C_m – vnitřní tepelná kapacita budovy $[J \cdot K^{-1}]$
 κ_j – účinná plošná tepelná kapacita stavebního prvku $[J \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
 A_j – vnitřní plocha stavebního prvku $[m^2]$

Účinnou plošnou tepelnou kapacitu stavebního prvku lze určit [19]:

$$\kappa_j = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot c_i \cdot d_i \quad (4.7)$$

kde: κ_j – účinná plošná tepelná kapacita stavebního prvku $[J \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
 ρ_i – hustota vrstvy $[kg \cdot m^{-3}]$
 c_i – měrná tepelná kapacita vrstvy $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
 d_i – tloušťka vrstvy $[m]$

Tab. 4.10 Tepelná kapacita budovy

Povrch	Plocha [m ²]	Plošná tepelná kapacita [J·m ⁻² ·K ⁻¹]	Tepelná kapacita [J·K ⁻¹]	Celková tepelná kapacita [J·K ⁻¹]
Podlaha 1. NP	124,6	183 240,0	22 828,0·10 ³	66 800·10 ³
Podlaha 2. NP	71,8	19 200,0	1 379,3·10 ³	
Strop 1. NP	118,5	9 937,5	1 177,4·10 ³	
Strop 2. NP	77,9	64 224,0	5 005,6·10 ³	
Vnější stěna	155,5	128 110,0	19 914,3·10 ³	
Vnitřní stěna 1. NP	88,5	62 660,0	5 542,2·10 ³	
Vnitřní stěny Sendwix	57,9	174 010,0	10 081,4·10 ³	
Sádrokarton	87,8	9 937,5	872,2·10 ³	

4.4 Potřeba teplé vody

Velikost potřeby závisí na typu objektu, jeho velikosti, počtu obyvatel a jejich chování. Při stanovení potřebného množství energie je nejlepší vycházet z měřením zjištěné potřeby teplé vody. Tyto hodnoty ale většinou nemáme k dispozici.

Dle normy ČSN 06 0320 má TV v místě odběru dosahovat teploty 50 až 55 °C. Tato norma uvádí spotřebu teplé vody pro 1 osobu na den v bytovém objektu 82 litrů při výstupní teplotě 55 °C. Množství odebrané vody je značně závislé na individuálních zvyklostech. Toto množství lze také určit podle směrných hodnot pro spotřebu teplé vody viz tab. 4.11 [2, 22].

Tato norma také předpokládá konstantní teplotu studené vody 10 °C během celého roku [22].

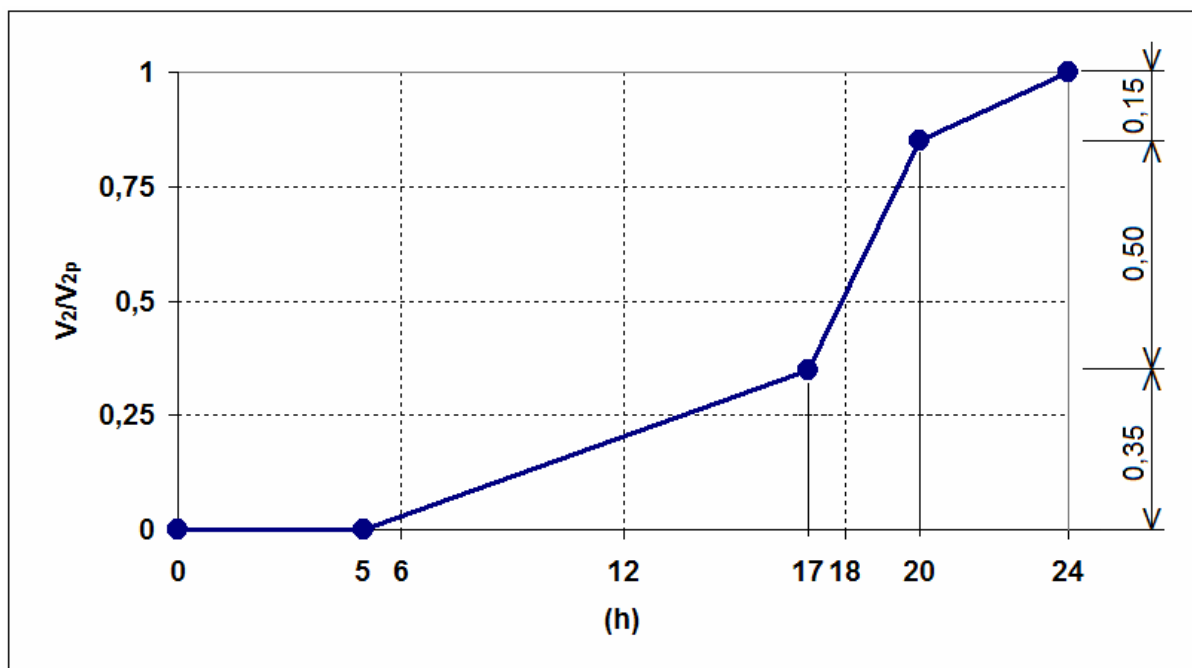
Tab. 4.11 Směrné hodnoty pro odběr teplé vody v domácnosti [2]

Použití	Spotřeba [l]	Teplota [°C]
Tělesná péče		
1 x umytí rukou (obličeje)	2–5	37
1 x čištění zubů	1–2	37
1 x mytí vlasů	10–20	37
1 x lázeň nohou	25	40
1 x sprchování	30–50	37
1 x plná lázeň	100–200	40
1 x dětská lázeň	30–50	37
Domácnost		
1 x mytí nádobí ručně	10–15	45
1 x mytí nádobí v myčce	20–25	50–65
1 x pračka	20–40	30–60
1 x mytí podlah (3 vědra)	30	35

Dle [2] je také možné spotřebu vody rozdělit na nízkou, střední a vysokou, což lze vidět v tab. 4.12. Průběh odběru vody během dne je znázorněn v grafu 4.1.

Tab. 4.12 Odběr teplé vody za den [2]

Potřeba	Nízká [l/d]	Střední [l/d]	Vysoká [l/d]
Spotřeba teplé vody o teplotě 50 °C	30–45	45–60	60–100



Graf 4.1 Křivka odběru teplé vody během dne [22]

4.5 Větrání a vytápění

Větrání a vytápění objektu zajišťuje jednotka DUPLEX RK 1800/420 v kombinaci s podlahovým vytápěcím systémem Ponor, deskovými otopnými radiátory Radik, podlahovými konvektory Licon PK a otopnými žebříky Koralux linear. Pro úsporný provoz jsou všechna zařízení osazena termostatickými hlavicemi [17].

Jednotka DUPLEX RK je určena pro dvouzónové cirkulační teplovzdušné vytápění a současně pro komfortní větrání s rekuperací tepla [17].

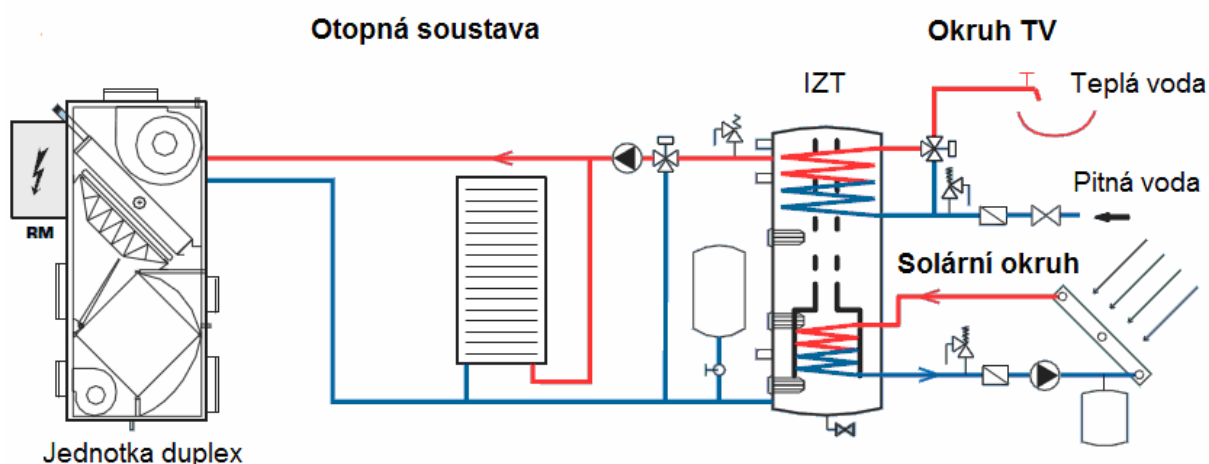
4.6 Zdroje tepla

Hlavním zdrojem tepla pro vytápění a ohřev teplé vody je integrovaný zásobník tepla IZT-I-925 o objemu 925 litrů. Ohřev vody v zásobníku zajišťují 3 elektrické topné spirály a 5 solárních teplovodních kolektorů umístěných na střeše 2. NP, které jsou od jižního směru odkloněny o 30° na západ a jsou skloněny pod úhlem 45° [17].

Jsou použity solární kolektory TS 330 od výrobce THERMO/SOLAR Žiar s.r.o., s celkovou instalovanou absorpční plochou 8,9 m². Tyto kolektory jsou pomocí měděného potrubí DN 18×1 mm s tepelnou izolací tl. 30 mm napojeny na spodní výměník IZT (s plochou 1,84 m²), kde je nejnižší teplota a teplo z kolektorů bude předáno s maximální účinností. Tato akumulární nádrž obsahuje také stratifikátor, který rozvrství ohřátou vodu solárním výměníkem na stejnou tepelnou hladinu, čímž zabrání promíchávání a zvýší se tím využitelnost dodaného tepla ze solárního okruhu. Ohřev teplé vody probíhá ve výměníku v horní části IZT (s plochou 5,66 m²), kde je nevyšší teplota. Výstupní teplota TV je nastavena pomocí trojcestného směšovacího ventilu viz obr. 4.5 [17].

V případě, že solární kolektory nedodávají dostatečný výkon k ohřevu vody v zásobníku, jsou pro dohřev využity elektrické topné spirály o celkovém výkonu 10 kW. Spirály jsou vestavěny ve třech úrovních zásobníku je na obrázku 4.6. Ve střední části je osazena jedna elektrospirála o výkonu 4 kW, pro dohřev horní části zásobníku, jež je využíván pro TV. V dolní části zásobníku jsou osazeny další dvě elektrospirály o výkonu 4 a 2 kW pro akumulční ohřev v zimním období [23].

V obývacím pokoji 1. NP je také umístěn krb s teplovzdušnou vložkou, který je provozován v zimních měsících převážně o víkendech a svátcích, proto je jeho podíl na vytápění oproti ostatním systémům minimální.



Obr. 4.6 Integrovaný zásobník tepla [23]

5. POUŽITÝ MODEL V PROSTŘEDÍ TRNSYS

Energetická simulace byla provedena pomocí software TRNSYS 16.1 (*TRaNsient SYstem Simulation*). TRNSYS je modulární program určený pro dynamickou analýzu energetických systémů staveb. Zejména energetických bilancí budov, solárních soustav, vzduchotechnických systémů pro větrání a teplovzdušné vytápění atd. [24].

Simulovaný objekt je třeba převést do prostředí TRNSYS, což se provede rozdělením na jednotlivé moduly, reprezentující daný reálný prvek (solární kolektor, čerpadlo, přívodní potrubí, apod.). Poté se jednotlivé moduly mezi sebou propojí a nastaví se všechny veličiny charakterizující daný prvek. Tyto veličiny jsou rozděleny do tří skupin:

- PARAMETERS – jsou veličiny (parametry), které se v průběhu simulace nemění a musí se nastavit před začátkem simulace.
- INPUTS – jsou veličiny (vstupy), které se mohou (ale nemusí) v průběhu výpočtu měnit.
- OUTPUTS – tedy výstupy z jednotlivých modulů, sloužící jako další vstupy do dalších modulů, nebo jsou již požadovaným výsledkem simulace.

Je však potřeba vědět, jaký vliv mají zadané veličiny na chování daného modulu a hlavně musíme znát jejich hodnotu pro konkrétní řešený problém [24].

Výsledky simulace je možné zapsat do datových souborů s příponou zvolenou uživatelem (např. *.xls, *.csv, *.txt, atd.) pro následné zpracování v libovolném tabulkovém procesoru. Zároveň je možné průběh simulace (vybraných veličin) sledovat online na monitoru PC [24].

Pro srovnání bylo vytvořeno 5 variant modelu, ve kterých se pro jednotlivé simulace modifikovali nastavené parametry:

- Simulace spotřebované a dodané energie domu bez solárního systému
- Simulace spotřebované a dodané energie domu se solárním systémem s plochými kolektory
- Simulace spotřebované a dodané energie domu se solárním systémem s plochými vakuovými kolektory
- Simulace spotřebované a dodané energie domu se solárním systémem s trubicovými vakuovými kolektory s přímo protékajícím absorberem
- Simulace spotřebované a dodané energie domu se solárním systémem s trubicovými vakuovými kolektory s tepelnou trubicí

Navržené modely vychází převážně z dat nízkoenergetického rodinného domu ve Studénce, prezentovaného v kapitole 4.

5.1 Meteorologická data

Pro získání použitelných výsledků dynamické simulace provozu solárních kolektorů je zásadní znát klimatická data v průběhu roku pro danou oblast, kde bude solární systém provozován a to nejlépe v hodinových intervalech. Ani sebelepší model solárních kolektorů nemůže zajistit použitelná data, pokud použijeme scestné vstupní údaje (teplotu venkovního vzduchu, intenzitu slunečního záření, ...).

Meteorologické stanice, které provádí dostatečně rozsáhlá měření a mohou naměřená data následně poskytnout jsou pouze profesionální meteorologické stanice. Tyto meteo-stanice poskytují klimatická data v hodinových intervalech. Ty jsou ve většině velkých měst, ale většina neměří všechny klimatické parametry, které je potřeba zahrnout do simulace (hlavně intenzitu slunečního záření).

Nejblíže simulovanému domu je meteorologická stanice na letišti Mošnov, která je vzdálena cca 5 km. Naměřená data z této stanice je možné stáhnout z webových stránek Českého hydrometeorologického ústavu. Data z této stanice obsahují pouze průměrné měsíční teploty vzduchu, průměrný měsíční úhrn srážek a průměrné trvání slunečního svitu během daného měsíce. Pro dynamickou simulaci jsou tato data nepoužitelná [11].

Přesnější a obsáhlejší data použitelná v dynamické simulaci lze získat např. pomocí software METEONORM, který obsahuje roční klimatická data z mnoha meteorologických stanic po celém světě. Data která obsahuje reprezentují tzv. „průměrný klimatický rok“, kde jsou započítány všechny denní, měsíční a roční extrémy během určitého časového období. Jsou většinou velice podrobná a obsahují např. teplotu a vlhkost vzduchu, sluneční radiaci, směr a rychlost větru, oblačnost, tlak vzduchu, apod. a to vždy v hodinových intervalech. Výhodou je, že software obsahuje velice hustou síť měřících stanic, a je možné najít tu nejblíže simulovanému místu. Další výhodou je, že data se dají exportovat do mnoha datových souborů (*.xls, *.tm2 – formát TRNSYS, apod.), které následně můžeme dále zpracovávat [25].

Stanice Mošnov není v databázi METEONORM obsažena, je zde ale obsažena meteorologická stanice Ostrava-Poruba, vzdálená asi 15 km od Studénky. Tato stanice je v obdobné nadmořské výšce (Mošnov: 257 m.n.m., Ostrava-Poruba: 242 m.n.m.), takže se zde dá předpokládat i obdobné klima [25].

5.2 Hlavní simulované komponenty a jejich nastavení

Zapojení jednotlivých komponent v programu TRNSYS je zobrazeno v příloze 2.

5.2.1 Solární kolektory

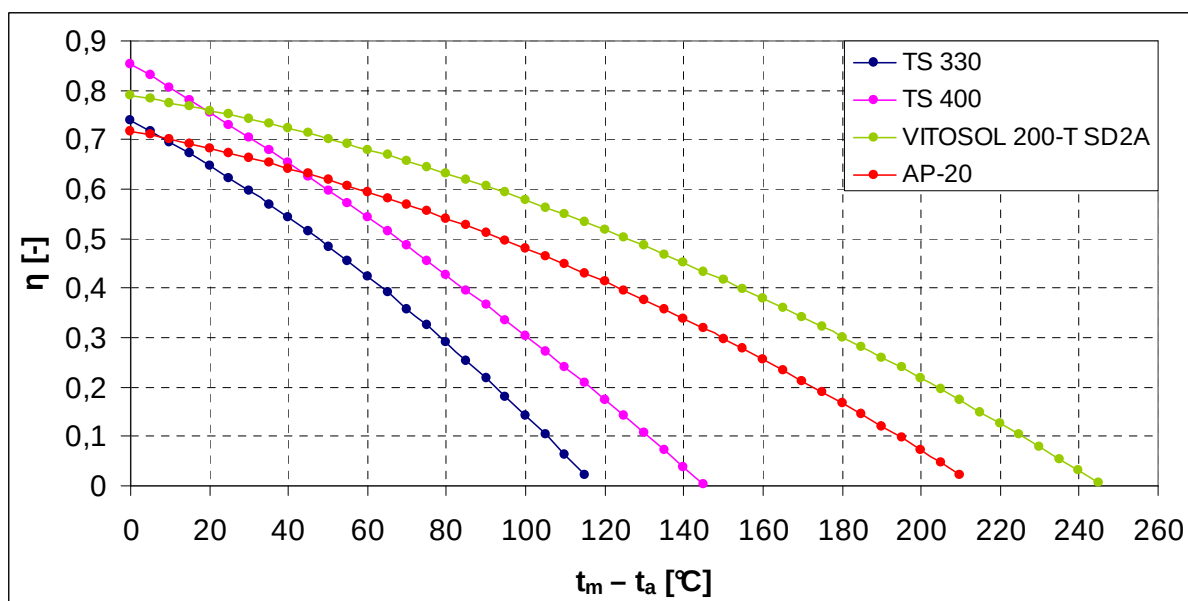
Pro celoroční simulaci je třeba určit vhodný typ kolektoru. Vzhledem k velké nabídce na trhu byl vybrán od každého typu jeden zástupce:

- **Plochý kolektor** – TS 330 od firmy THERMO/SOLAR Žiar s.r.o., tento typ je použit na zkoumaném domě. [15]
- **Vakuový plochý kolektor** – TS 400 od firmy THERMO/SOLAR Žiar s.r.o. [15]
- **Trubicový vakuový kolektor s přímo protékaným absorbérem** – Vitosol 200-T od firmy Viessmann. [26]
- **Trubicový vakuový kolektor s tepelnou trubicí** – AP-20 od firmy Apricus. [27]

Tab.5.1 Vlastnosti použitých solárních kolektorů [15, 26, 27]

	TS 330	TS 400	VITOSOL 200-T	AP-20
Celková plocha [m ²]	2,030	2,029	2,897	2,886
Plocha apertury [m ²]	1,778	1,845	2,140	1,876
Plocha absorbéru [m ²]	1,778	1,698	2,010	1,606
Koeficienty účinnosti pro plochu absorbéru				
η_0 [-]	0,740	0,853	0,789	0,717
a_1 [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4,275	4,698	1,360	1,520
a_2 [W·m ⁻² ·K ⁻²]	0,017	0,008	0,0075	0,0085

V grafu 5.1 jsou pro srovnání vyneseny okamžité účinnosti na plochu absorbéru kolektorů použitých v simulaci, v závislosti na rozdílu střední teploty média t_m [°C] a venkovní teploty t_a [°C], při globálním záření 1000 W·m⁻² vypočítané dle rovnice 2.1. Z tohoto grafu lze vidět, že trubicové kolektory při větším rozdílu teplot pracují s vyšší účinností než ploché kolektory. Také lze vidět, že ploché kolektory mají téměř lineární závislost mezi účinností a rozdílem střední teploty média a venkovní teploty.



Graf. 5.1 Okamžitá účinnosti na plochu absorbéru použitých solárních kolektorů

Pro simulaci plochých kolektorů byl použit typ 1d, jehož základní hodnoty nastavení jsou uvedeny v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Parametry nastavení plochých kolektorů (typ 1d) [15,29]

Parametr	TS 330	TS 400
Počet kolektorů v sérii [-]	1	1
Plocha absorbéru [m ²]	1,778	1,698
Tepelná kapacita média [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	4,190	4,190
Teplota použitá pro výpočet účinnosti	střední teplota média t_m	
Průtok při testování kolektoru [kg·h ⁻¹ ·m ⁻²]	71,99	78,21
Optická účinnost [-]	0,740	0,853
Lineární koeficient tepelné ztráty [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4,275	4,698
Kvadratický koeficient tepelné ztráty [W·m ⁻² ·K ⁻²]	0,017	0,008
Pohltivost absorbéru [-]	0,94	0,94
Počet transparentních krytů [-]	1	1
Index lomu transparentního krytu [-]	1,526	1,526
Útlum záření v transparentním krytu [-]	0,0644	0,0644

K simulaci trubcových vakuových kolektorů byl použit typ 71, jehož základní hodnoty nastavení uvádí tab. 5.3. Tento model trubcových vakuových kolektorů potřebuje také hodnoty modifikátoru úhlu sklonu (IAM) viz tab. 5.4 a 5.5.

Tab. 5.3 Parametry nastavení trubcových vakuových kolektorů (typ 71) [26,27]

Parametr	VITOSOL 200-T SD2A	AP-20
Počet kolektorů v sérii [-]	1	1
Plocha absorbéru [m ²]	2,010	1,606
Tepelná kapacita média [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	4,190	4,190
Teplota použitá pro výpočet účinnosti	střední teplota média t_m	
Průtok při testování kolektoru [kg·h ⁻¹ ·m ⁻²]	89,55	74,72
Optická účinnost [-]	0,789	0,717
Lineární koeficient tepelné ztráty [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	1,360	1,520
Kvadratický koeficient tepelné ztráty [W·m ⁻² ·K ⁻²]	0,0075	0,0085

Tab. 5.4 Hodnoty modifikátoru úhlu sklonu (IAM) pro trubcové vakuové kolektory Vitosol 200-T [26]

IAM / Úhel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Podélný (longitudinal)	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,91	0,83	0,68	0,37	0,00
Příčný (transversal)	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	0,98	0,86	0,72	0,43	0,00

Tab. 5.5 Hodnoty modifikátoru úhlu sklonu (IAM) pro trubcové vakuové kolektory AP-20 [27]

IAM / Úhel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Podélný (longitudinal)	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,87	0,74	0,38	0,00
Příčný (transversal)	1,00	1,02	1,08	1,18	1,37	1,40	1,34	1,24	0,95	0,00

5.2.2 Potrubí solárního systému

Pro simulaci tepelných ztrát v potrubí solárního systému byl využit typ 31. Podle počtu použitých kolektorů v simulaci byla měněna délka potrubí vedoucího venkovním prostředím. Použité parametry jsou uvedeny v tab.5.6, uvedené délky potrubí jsou pro 5 kolektorů.

Tab. 5.6 Parametry nastavení potrubí solárního systému (typ 31) [17]

Parametr	
Vnitřní průměr [m]	0,02
Délka potrubí (ke kolektorům vedoucí v domě) [m]	5,2
Délka potrubí (ke kolektorům ve vnějším prostředí) [m]	3,5-11,5
Délka potrubí (od kolektorů ve vnějším prostředí) [m]	5,8-13,8
Délka potrubí (od kolektorů vedoucí v domě) [m]	5,6
Součinitel tepelné ztráty [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]	3,3
Hustota média [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	1000
Tepelná kapacita média [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	4,190

5.2.3 Čerpadlo solárního systému

Čerpadlo solárního systému je simulováno pomocí typu 3b. Průtok dodávaný čerpadlem je měněn podle počtu použitých kolektorů při simulaci. Použité parametry jsou v tab. 5.7.

Pro řízení čerpadla je použit regulátor typ 2b, který spíná čerpadlo, pokud je rozdíl mezi výstupní teplotou z kolektoru a výstupní teplotou z nádrže do kolektoru větší než 10 °C a vypíná jej pokud je tento rozdíl menší než 2 °C. Tento regulátor také plní ochranu akumulární nádrže a při překročení maximální teploty v nádrži (90 °C), odpojí čerpadlo.

Tab. 5.7 Parametry nastavení čerpadla solárního systému (typ 3b) [17]

Parametr	
Maximální průtok [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$]	20-100
Tepelná kapacita média [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	4,190
Maximální příkon [W]	60

5.2.4 Akumulační nádrž

Pro simulaci akumulární nádrže IZT-I-925 (podrobnější popis v kapitole 4.6) byl použit typ 60d. Použité parametry jsou uvedeny v tab. 5.8. Pro účely simulace byl solární okruh napojen přímo do nádrže bez výměníku. Tato úprava byla použita, aby docházelo ke stratifikaci teplé vody ze solárního systému. Použitím pouze výměníku v akumulární nádrži by nedocházelo k této stratifikaci, ale k promíchávání objemu nádrže a dodané teplo by nemohlo být přímo efektivně využíváno pro vytápění a ohřev TV. Připojení otopné soustavy je pomocí výměníku tepla. V horní části nádrže je elektrická topná spirála 4kW a ve spodní části jsou dvě topné spirály (4 a 2kW), které byly při simulaci spojeny v jednu.

Tab. 5.8 Hlavní parametry nastavení akumulční nádrže (typ 71) [23]

Parametr	
Objem nádrže [m ³]	0,925
Výška nádrže [m]	1,970
Výška výstupu do solárního okruhu [m]	0,16
Tepelná kapacita média [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	4,190
Hustota média [kg·m ⁻³]	1000
Součinitel tepelné ztráty [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,2797
Tepelná vodivost média [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,6507
Výška 1. elektrické topné spirály [m]	0,91
Výška termostatu 1. elektrické topné spirály [m]	1,50
Nastavená teplota 1. elektrické topné spirály [°C]	60
Teplotní diference 1. elektrické topné spirály [°C]	5
Výkon 1. elektrické topné spirály [W]	4000
Výška 2. elektrické topné spirály [m]	0,58
Výška termostatu 2. elektrické topné spirály [m]	1,5
Nastavená teplota 2. elektrické topné spirály [°C]	55
Teplotní diference 2. elektrické topné spirály [°C]	5
Výkon 2. elektrické topné spirály [W]	6000
Vnější průměr výměníku TV [m]	0,0207
Vnitřní průměr výměníku TV [m]	0,0265
Povrch výměníku TV [m ²]	5,66
Tepelná vodivost materiálu výměníku TV [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	15
Výška vstupu do výměníku TV [m]	1,020
Výška výstupu z výměníku TV [m]	1,970

5.2.5 Dům

Zkoumaný rodinný dům je simulován pomocí typu 12c, který využívá hodnoty vypočítané v kapitole 4. Nastavené parametry uvádí tab. 5.9. Solární zisky okny jsou simulovány pomocí typu 35b. Zde byla použita čistá plocha zasklení. Nastavené parametry jsou uvedeny v tab. 5.10. Okna v 1. NP, která jsou částečně kryta převisem podlahy 2. NP využívají typ 34 pro simulaci tohoto stínění. Nastavení je zobrazeno v obr. 5.1 a 5.2.

Tab. 5.9 Parametry nastavení domu (typ 12c)

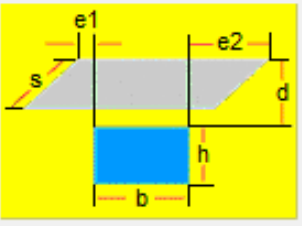
Parametr	
Celková tepelná vodivost domu [W·K ⁻¹]	175
Tepelná kapacita domu [kJ·K ⁻¹]	6800
Poměr latentního a citelného tepla [-]	0,23

Tab. 5.10 Parametry nastavení oken (typ 35b) [17]

Parametr	
Plocha zasklení SV [m ²]	2,9
Plocha zasklení JZ (stíněné) [m ²]	13,6
Plocha zasklení JZ (nestíněné) [m ²]	7,3
Plocha zasklení JV [m ²]	7,3
Plocha zasklení SZ (stíněné) [m ²]	7,9
Plocha zasklení SZ (nestíněné) [m ²]	3,6
Plocha zasklení světlíků [m ²]	3,1
Počet skel [-]	2
Útlum záření v zasklení [-]	0,0644
Index lomu jednoho skla [-]	1,526

Výška zasklení h = 2,277 [m]

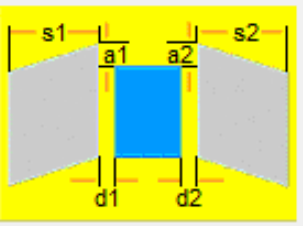
Převís



s = 1,25 [m] e1 = 1,659 [m]
d = 0,119 [m] e2 = 0,119 [m]

Šířka zasklení b = 6,342 [m]

Boční zákryt

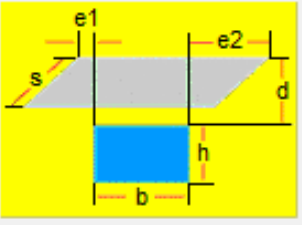


s1 = 0 [m] s2 = 1,25 [m]
d1 = 0 [m] d2 = 0,119 [m]
a1 = 0 [m] a2 = 0,119 [m]

Obr. 5.1 Nastavení stínění oken JZ

Výška zasklení h = 2,277 [m]

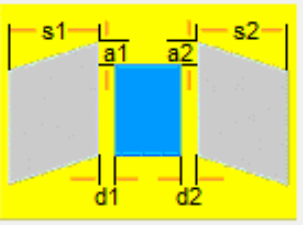
Převís



s = 1,25 [m] e1 = 2,289 [m]
d = 0,119 [m] e2 = 1,659 [m]

Šířka zasklení b = 3,592 [m]

Boční zákryt

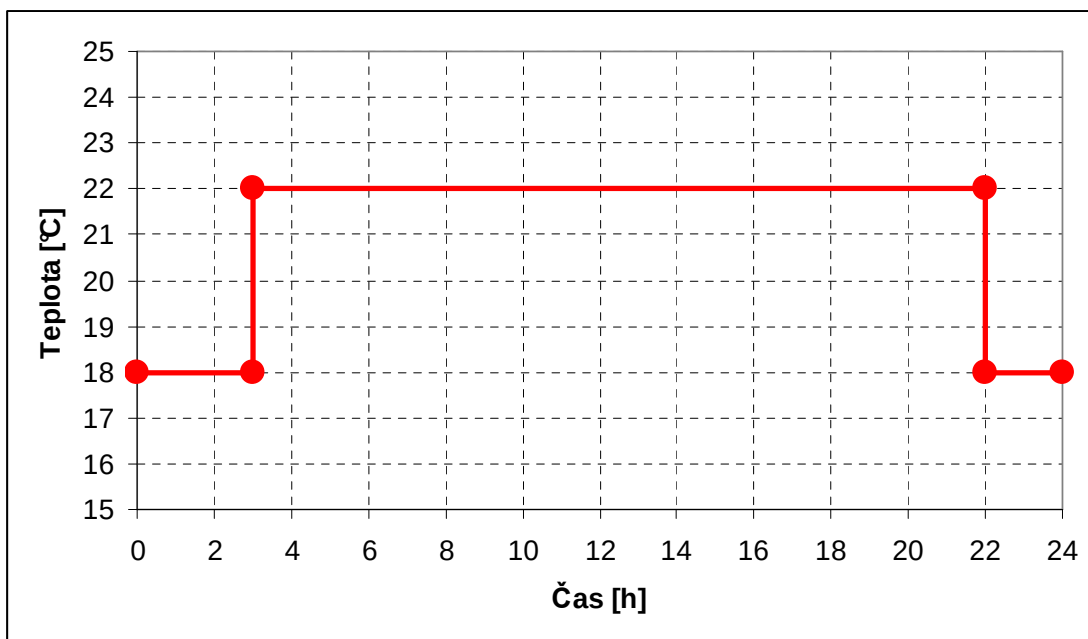


s1 = 0 [m] s2 = 0 [m]
d1 = 0 [m] d2 = 0 [m]
a1 = 0 [m] a2 = 0 [m]

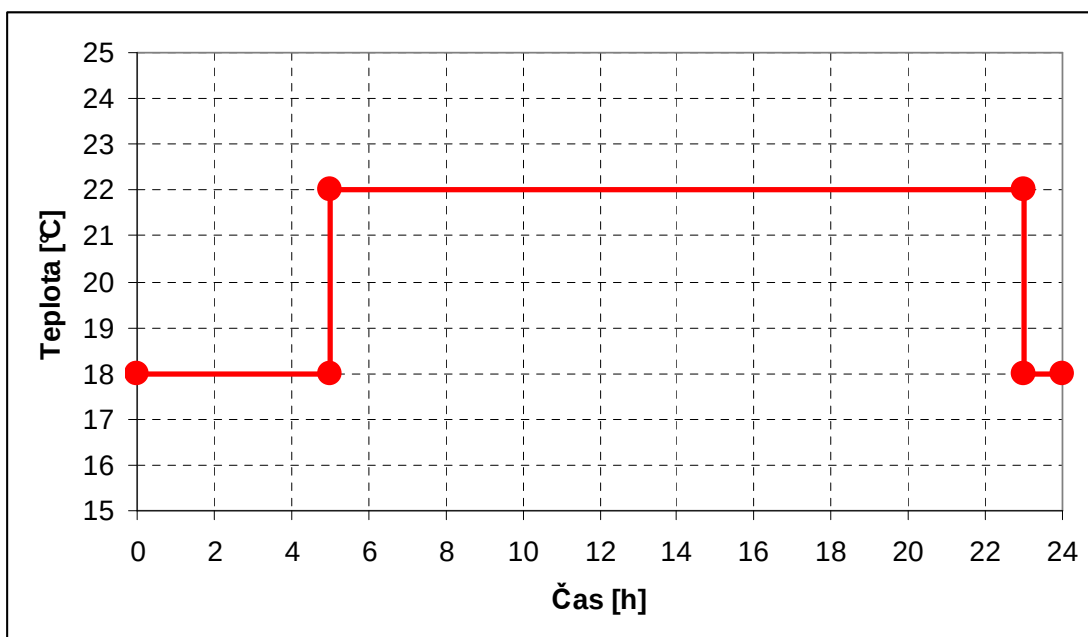
Obr. 5.2 Nastavení stínění oken SZ

Pomocí dvou modulů typu 14e jsou přednastavené průběhy teplot během dne ve vytápěném období. První modul je použit pro všední dny a druhý pro víkendy viz grafy 5.2 a 5.3.

Typ 41a určuje, zda je všední den, nebo víkend a do regulátoru (typ 2b) použít přednastavené hodnoty teploty pro daný den. Regulátor srovnává požadovanou s aktuální teplotou v domě a zapínáním a vypínáním objemového čerpadla (přívodu topné vody) reguluje teplotu v domě.



Graf. 5.2 Přednastavený průběh teploty ve všední dny



Graf. 5.3 Přednastavený průběh teploty o víkendu

6. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ

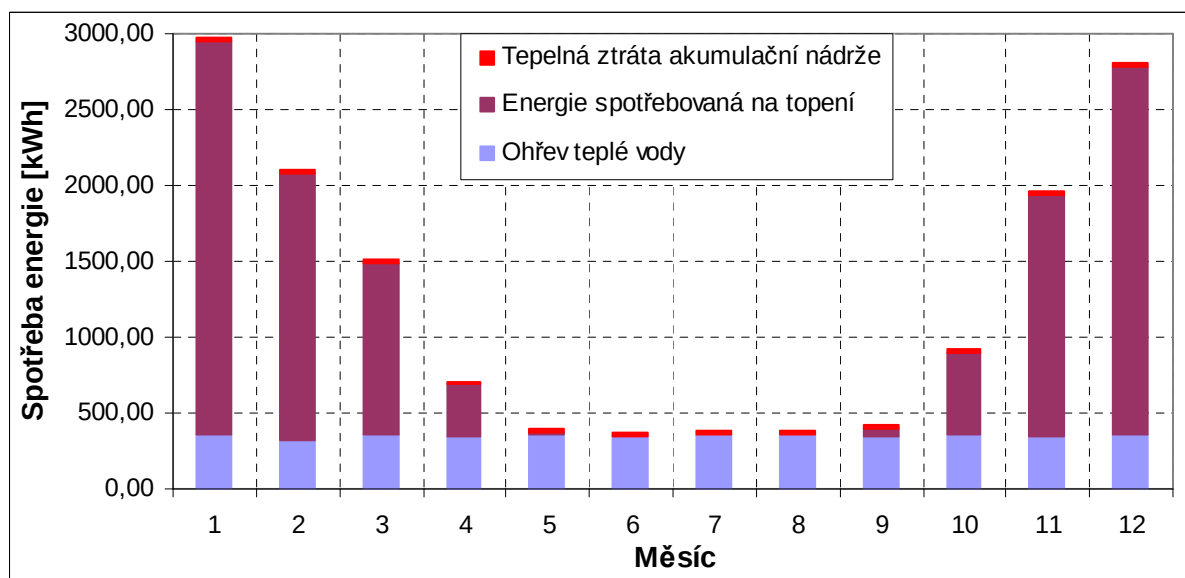
6.1 Simulace spotřebované a dodané energie domu bez solárního systému

Zde je vyhodnocen průběh celkové spotřeby energie, během roku (graf 6.1), která je kryta pouze elektrickou energií. Ta je součtem energie na vytápění, ohřev TV a tepelné ztráty akumulční nádrže (IZT), viz tabulka 6.1.

Tab. 6.1 Spotřeba tepla

Teplá voda [kWh]	4 248
Topení [kWh]	10 419
Tepelné ztráty IZT [kWh]	262
Celkem (dohřev IZT) [kWh]	14 929

Z grafu lze vidět měnící se průběh odběru elektrické energie na vytápění, která je největší v zimních měsících, naopak v letních měsících největší odběr energie pro ohřev teplé vody.



Graf. 6.1 Roční spotřeba energie

6.2 Simulace spotřebované a dodané energie domu se solárním systémem

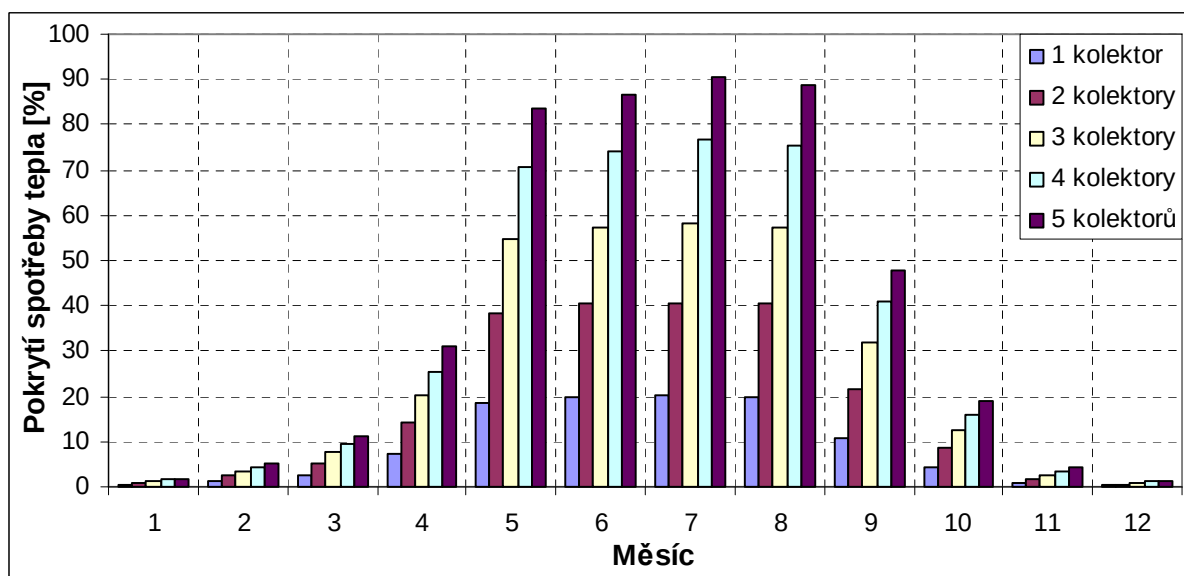
Shrnutí v této kapitole se liší od předchozí pouze tím, že energii na pokrytí tepelných ztrát objektu, akumulční nádrže a ohřev TV primárně dodávají solární kolektory a dohřev řeší elektrická energie. Výsledky simulací pro 1 až 5 kolektorů jsou shrnuty v tabulkách 6.2 až 6.5, které jsou v oddílech a) – d). Z nich je patrná závislost mezi počtem instalovaných kolektorů a procentem pokrytí spotřeby tepla. Tabulky výsledků simulací pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny v příloze 1.

Charakteristika pokrytí roční spotřeby tepla lze vidět v následujících grafech 6.2 až 6.5. Zde se projevila největší nevýhoda solárních kolektorů, tj. závislost na délce a intenzitě slunečního záření. Kdy při nejnižší spotřebě tepla mimo topnou sezónu (pouze pro ohřev TV a pokrytí tepelných ztrát IZT) je pokrytí až 100% a pro přebytečné teplo z kolektorů, které jsou dimenzovány i na přitápění již není odběr. Naopak v topné sezóně, kdy je požadavek na tepelnou energii navýšen o pokrytí tepelných ztrát objektu je dodávka energie solárními kolektory minimální.

a) Ploché kolektory TS 330 od firmy THERMO/SOLAR Žiar s.r.o.

Tab. 6.2 Dílčí spotřeby a dodávky tepla a jeho pokrytí s kolektory TS 330

Počet kolektorů	1	2	3	4	5
Teplá voda [kWh]	4 248	4 248	4 248	4 248	4 248
Topení [kWh]	10 417	10 419	10 419	10 419	10 418
Tepelné ztráty IZT [kWh]	306	318	329	337	350
Teplo dodané kolektory [kWh]	544	1 105	1 589	2 050	2 433
Dohřev IZT [kWh]	14 428	13 880	13 407	12 955	12 583
Pokrytí spotřeby teplé vody [%]	12,8	26,0	37,4	48,3	57,3
Celkové pokrytí spotřeby tepla včetně tepelné ztráty IZT [%]	3,6	7,4	10,6	13,7	16,2

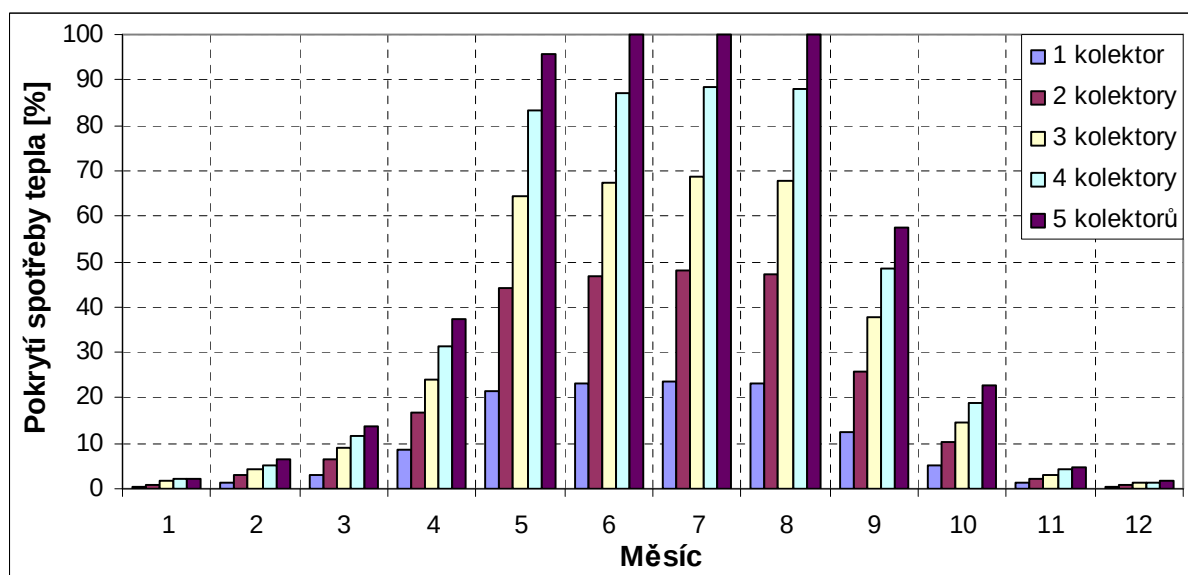


Graf. 6.2 Pokrytí celkové spotřeby tepla včetně tepelných ztrát nádrže během roku

b) Ploché vakuové kolektory TS 400 od firmy THERMO/SOLAR Žiar s.r.o.

Tab. 6.3 Dílčí spotřeby a dodávky tepla a jeho pokrytí s kolektory TS 400

Počet kolektorů	1	2	3	4	5
Teplá voda [kWh]	4 248	4 248	4 248	4 248	4 248
Topení [kWh]	10 418	10 419	10 419	10 420	10 420
Tepelné ztráty IZT [kWh]	307	320	333	344	361
Teplo dodané kolektory [kWh]	636	1 298	1 878	2 427	2 843
Dohřev IZT [kWh]	14 338	13 690	13 122	12 586	12 187
Pokrytí spotřeby teplé vody [%]	15,0	30,6	44,2	57,1	66,9
Celkové pokrytí spotřeby tepla včetně tepelné ztráty IZT [%]	4,2	8,7	12,5	16,2	18,9

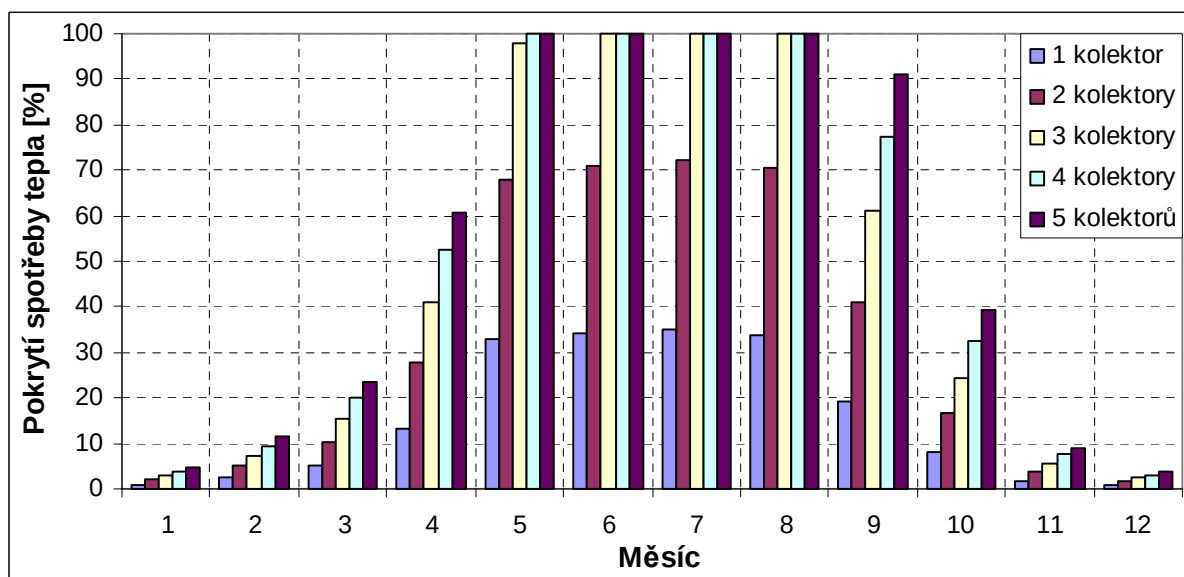


Graf. 6.3 Pokrytí celkové spotřeby tepla včetně tepelných ztrát nádrže během roku

c) Trubicové vakuové kolektory VITOSOL 200-T od firmy Viessmann

Tab. 6.4 Dílčí spotřeby a dodávky tepla a jeho pokrytí s kolektory VITOSOL 200-T

Počet kolektorů	1	2	3	4	5
Teplá voda [kWh]	4 248	4 248	4 248	4 248	4 248
Topení [kWh]	10 419	10 422	10 423	10 419	10 421
Tepelné ztráty IZT [kWh]	311	331	348	370	396
Teplo dodané kolektory [kWh]	986	2 065	3 001	3 455	3 831
Dohřev IZT [kWh]	13 992	12 936	12 017	11 582	11 234
Pokrytí spotřeby teplé vody [%]	23,2	48,6	70,6	81,3	90,2
Celkové pokrytí spotřeby tepla včetně tepelné ztráty IZT [%]	6,6	13,8	20,0	23,0	25,4

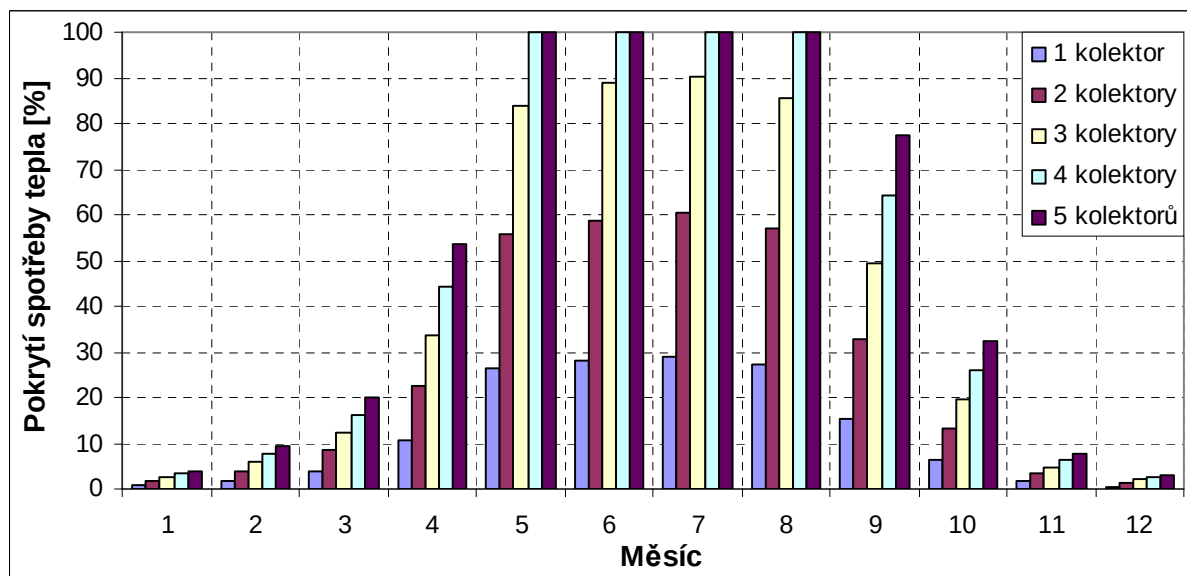


Graf. 6.4 Pokrytí celkové spotřeby tepla včetně tepelných ztrát nádrže během roku

d) Trubicové vakuové kolektory AP-20 od firmy Apricus

Tab. 6.5 Dílčí spotřeby a dodávky tepla a jeho pokrytí s kolektory AP-20

Počet kolektorů	1	2	3	4	5
Teplá voda [kWh]	4 248	4 248	4 248	4 248	4 248
Topení [kWh]	10 418	10 419	10 419	10 423	10 415
Tepelné ztráty IZT [kWh]	309	326	341	364	392
Teplo dodané kolektory [kWh]	796	1 687	2 533	3 124	3 484
Dohřev IZT [kWh]	14 180	13 307	12 476	11 911	11 571
Pokrytí spotřeby teplé vody [%]	18,7	39,7	59,6	73,5	82,0
Celkové pokrytí spotřeby tepla včetně tepelné ztráty IZT [%]	5,3	11,2	16,9	20,8	23,1



Graf. 6.5 Pokrytí celkové spotřeby tepla včetně tepelných ztrát nádrže během roku

U vyhodnocení výsledků simulací se vycházelo z procentuálního pokrytí energetických potřeb objektu solárními kolektory. Ta je rozdílná u jednotlivých typů kolektorů, které se liší použitou technologií. Plocha absorbéru je u většiny kolektorů srovnatelná, výjimkou je VITOSOL 200-T, kdy plocha absorbéru 4 kolektorů odpovídá u jiných typů ploše 5 kolektorů. Z čehož plyne, že nejefektivnější je použití trubicových vakuových kolektorů a to díky nižším tepelným ztrátám, proto se vyšší efektivita promítá i v topné sezóně, kdy je nižší venkovní teplota a délka a intenzita slunečního záření není tak vydatná. Také lze vidět, že při použití více kusů vakuových plochých nebo trubicových kolektorů je spotřeba tepla v letních měsících pokryta ze 100 %.

7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

7.1 Shrnutí investičních nákladů vybraných kolektorů

Ceny jsou převzaté z cenové nabídky, kterou poskytl prodejce investorovi. V tab. 7.1 jsou použité ceny přímo od prodejce, u vyhodnocení ostatních kolektorů (tab. 7.2, 7.3 a 7.4) je pracováno s touto nabídkou, pouze je změněn typ kolektoru a jeho cena [7].

Tab. 7.1 Investiční náklady solárního okruhu s kolektory TS 330 [17]

Položka	Množství	Kč/MJ	Cena
Plochý kolektor TS 330	5 ks	10 520 Kč	52 600 Kč
Konstrukce pro uchycení 5 kolektorů	1 sada	8 200 Kč	8 200 Kč
Pojistný ventil Flamco	1 ks	1 750 Kč	1 750 Kč
Odvzdušňovací ventil	2 ks	630 Kč	1 260 Kč
Kulový kohout solár – 200 °C	1 ks	260 Kč	260 Kč
Exp. Nádoba 33 litrů, včetně držáku	1 ks	3 910 Kč	3 910 Kč
Nemrznoucí kapalina	50 litrů	60 Kč	3 000 Kč
Čerpadlová jednotka dvoutrubková	1 ks	8 500 Kč	8 500 Kč
Regulace AEV 0202	1 ks	3 200 Kč	3 200 Kč
Potrubí Cu, solární izolace, tvarovky	26 m	340 Kč	8 840 Kč
Elektromateriál + čidla	1 sada	1 200 Kč	1 200 Kč
Jímky, svěrná šroubení, vsuvky (mosaz)	1 sada	1 600 Kč	1 600 Kč
Pomocný a závěsný materiál	1 sada	1 500 Kč	1 500 Kč
Betonové patky	10 ks	550 Kč	5 500 Kč
Doprava			1 300 Kč
Montáž, zkoušky, uvedení do provozu			16 050 Kč
Cena bez DPH			117 370 Kč
Cena včetně DPH			140 844 Kč

Tab. 7.2 Investiční náklady solárního okruhu s kolektory TS 400

Položka	Množství	Kč/MJ	Cena
Plochý kolektor TS 400	5 ks	17 830 Kč	89 150 Kč
Konstrukce pro uchycení 5 kolektorů	1 sada	8 200 Kč	8 200 Kč
Pojistný ventil Flamco	1 ks	1 750 Kč	1 750 Kč
Odvzdušňovací ventil	2 ks	630 Kč	1 260 Kč
Kulový kohout solár – 200 °C	1 ks	260 Kč	260 Kč
Exp. Nádoba 33 litrů, včetně držáku	1 ks	3 910 Kč	3 910 Kč
Nemrznoucí kapalina	50 litrů	60 Kč	3 000 Kč
Čerpadlová jednotka dvoutrubková	1 ks	8 500 Kč	8 500 Kč
Regulace AEV 0202	1 ks	3 200 Kč	3 200 Kč
Potrubí Cu, solární izolace, tvarovky	26 m	340 Kč	8 840 Kč
Elektromateriál + čidla	1 sada	1 200 Kč	1 200 Kč
Jímky, svěrná šroubení, vsuvky (mosaz)	1 sada	1 600 Kč	1 600 Kč
Pomocný a závěsný materiál	1 sada	1 500 Kč	1 500 Kč
Betonové patky	10 ks	550 Kč	5 500 Kč

Doprava			1 300 Kč
Montáž, zkoušky, uvedení do provozu			16 050 Kč
<i>Cena bez DPH</i>			153 920 Kč
Cena včetně DPH			184 704 Kč

Tab. 7.3 Investiční náklady solárního okruhu s kolektory VITOSOL 200-T

Položka	Množství	Kč/MJ	Cena
Trubicový kolektor VITOSOL 200-T	3 ks	39 275 Kč	117 825 Kč
Konstrukce pro uchycení 3 kolektorů	1 sada	4 920 Kč	4 920 Kč
Pojistný ventil Flamco	1 ks	1 750 Kč	1 750 Kč
Odvzdušňovací ventil	2 ks	630 Kč	1 260 Kč
Kulový kohout solár – 200 °C	1 ks	260 Kč	260 Kč
Exp. Nádoba 33 litrů, včetně držáku	1 ks	3 910 Kč	3 910 Kč
Nemrznoucí kapalina	50 litrů	60 Kč	3 000 Kč
Čerpadlová jednotka dvoutrubková	1 ks	8 500 Kč	8 500 Kč
Regulace AEV 0202	1 ks	3 200 Kč	3 200 Kč
Potrubí Cu, solární izolace, tvarovky	18 m	340 Kč	6 120 Kč
Elektromateriál + čidla	1 sada	1 200 Kč	1 200 Kč
Jímky, svěrná šroubení, vsuvky (mosaz)	1 sada	1 600 Kč	1 600 Kč
Pomocný a závěsný materiál	1 sada	1 500 Kč	1 500 Kč
Betonové patky	6 ks	550 Kč	3 300 Kč
Doprava			1 300 Kč
Montáž, zkoušky, uvedení do provozu			16 050 Kč
<i>Cena bez DPH</i>			174 395 Kč
Cena včetně DPH			209 274 Kč

Tab. 7.4 Investiční náklady solárního okruhu s kolektory AP-20

Položka	Množství	Kč/MJ	Cena
Trubicový kolektor AP-20	4 ks	21 550 Kč	86 200 Kč
Konstrukce pro uchycení 4 kolektorů	1 sada	8 200 Kč	6 560 Kč
Pojistný ventil Flamco	1 ks	1 750 Kč	1 750 Kč
Odvzdušňovací ventil	2 ks	630 Kč	1 260 Kč
Kulový kohout solár – 200 °C	1 ks	260 Kč	260 Kč
Exp. Nádoba 33 litrů, včetně držáku	1 ks	3 910 Kč	3 910 Kč
Nemrznoucí kapalina	50 litrů	60 Kč	3 000 Kč
Čerpadlová jednotka dvoutrubková	1 ks	8 500 Kč	8 500 Kč
Regulace AEV 0202	1 ks	3 200 Kč	3 200 Kč
Potrubí Cu, solární izolace, tvarovky	22 m	340 Kč	7 480 Kč
Elektromateriál + čidla	1 sada	1 200 Kč	1 200 Kč
Jímky, svěrná šroubení, vsuvky (mosaz)	1 sada	1 600 Kč	1 600 Kč
Pomocný a závěsný materiál	1 sada	1 500 Kč	1 500 Kč
Betonové patky	8 ks	550 Kč	4 400 Kč
Doprava			1 300 Kč
Montáž, zkoušky, uvedení do provozu			16 050 Kč
<i>Cena bez DPH</i>			146 870 Kč
Cena včetně DPH			176 244 Kč

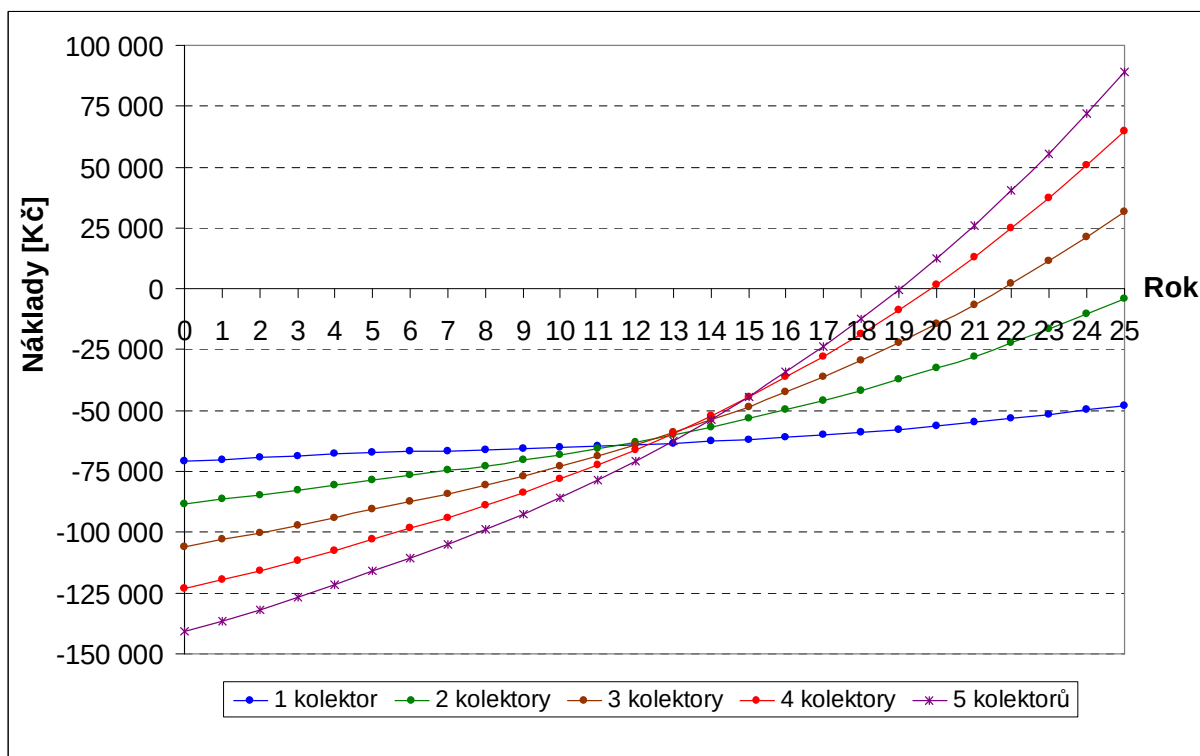
7.2 Výběr nejvhodnějšího počtu kolektorů

Výběr byl proveden na základě porovnání provozních nákladů a návratnosti investic pro vybrané 4 druhy solárních kolektorů s dodatečným elektrickým dohřevem v akumulární nádrži srovnávané s pouze elektrickým ohřevem akumulární nádrže.

Roční ekonomickou úsporu s použitím solárních kolektorů získáme odečtením celkových nákladů na elektrický dohřev a pohon čerpadla solárního okruhu a čistě elektrického ohřevu.

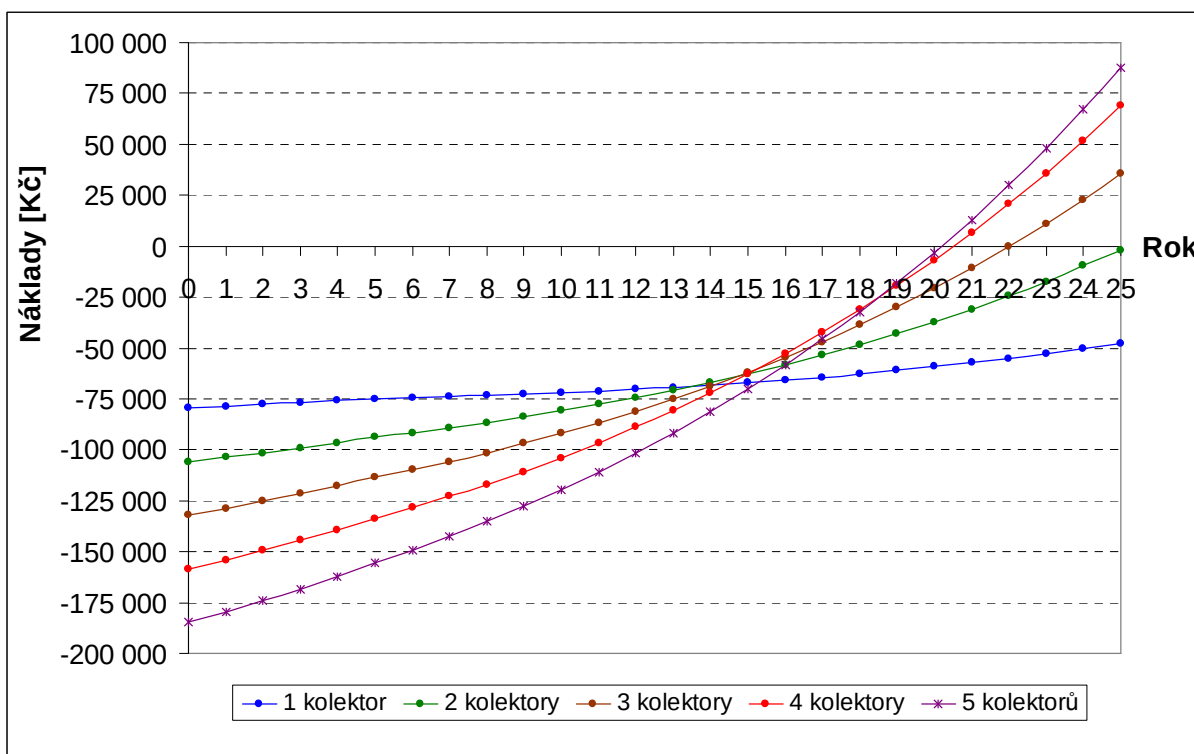
Dobu návratnosti lze určit ze známých investičních nákladů a roční ekonomické úspory s použitím solárních kolektorů. U vyhodnocení bylo uvažováno s 6% ročním nárůstem cen elektrické energie a s pěti letou životností nemrznoucí kapaliny, která tímto snižuje od 6 roku provozu úsporu o poměrnou část nákladů spojenou s její výměnou (cca 600 Kč/rok).

Investiční náklady jsou v následujících grafech uvedeny jako záporné a počítaná doba úspor nepřesahuje předpokládanou dobu životnosti solárních kolektorů 25 let. Návratnost byla vypočítána pro 1 až 5 kolektorů od každého simulovaného typu kolektoru. Výsledky jsou v grafech 7.1, 7.2, 7.3 a 7.4.



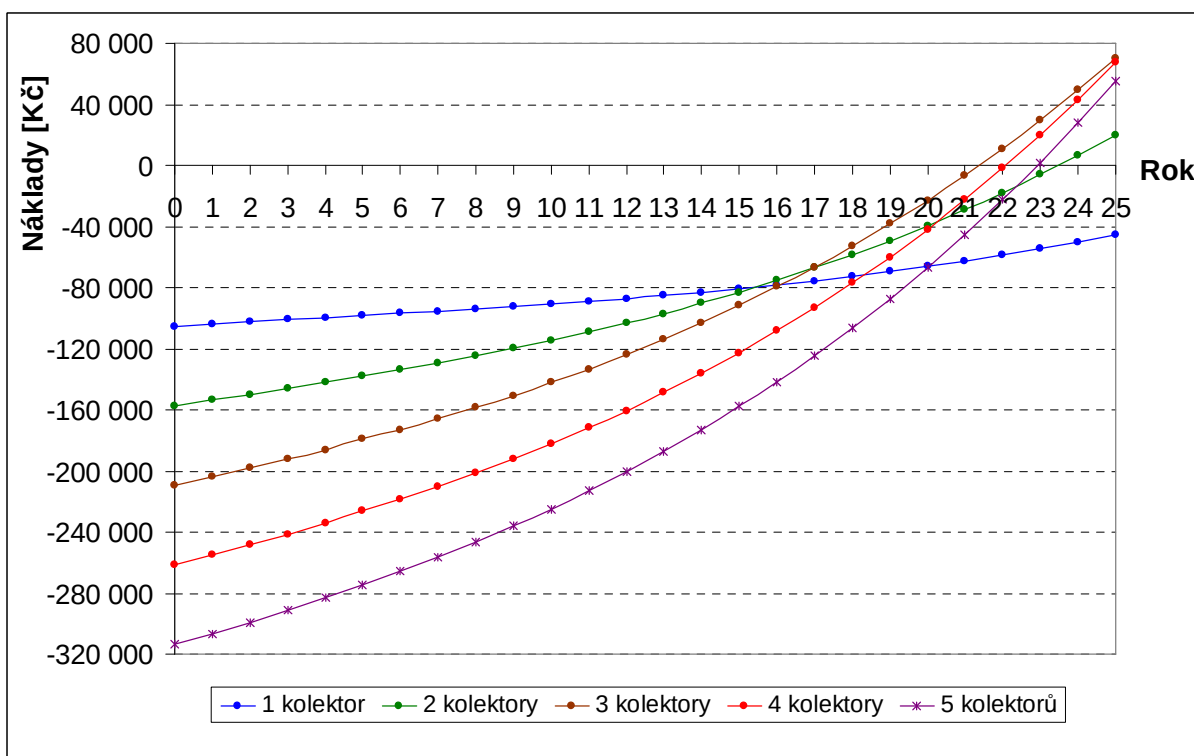
Graf 7.1 Návratnost investice solárních kolektorů TS 330

Pro ploché kolektory TS 330 je z grafu 7.1 zřejmé, že nejkratší doba návratnosti 19 let, vychází při použití pěti kolektorů. Naopak při použití jednoho kolektoru návratnost několiknásobně převyší životnost kolektoru.



Graf 7.2 Návratnost investice solárních kolektorů TS 400

U plochých vakuových kolektorů TS 400 vychází porovnáním návratnost nejlépe při zapojení pěti kolektorů, ale s o rok delší návratností proti kolektorům TS 330.



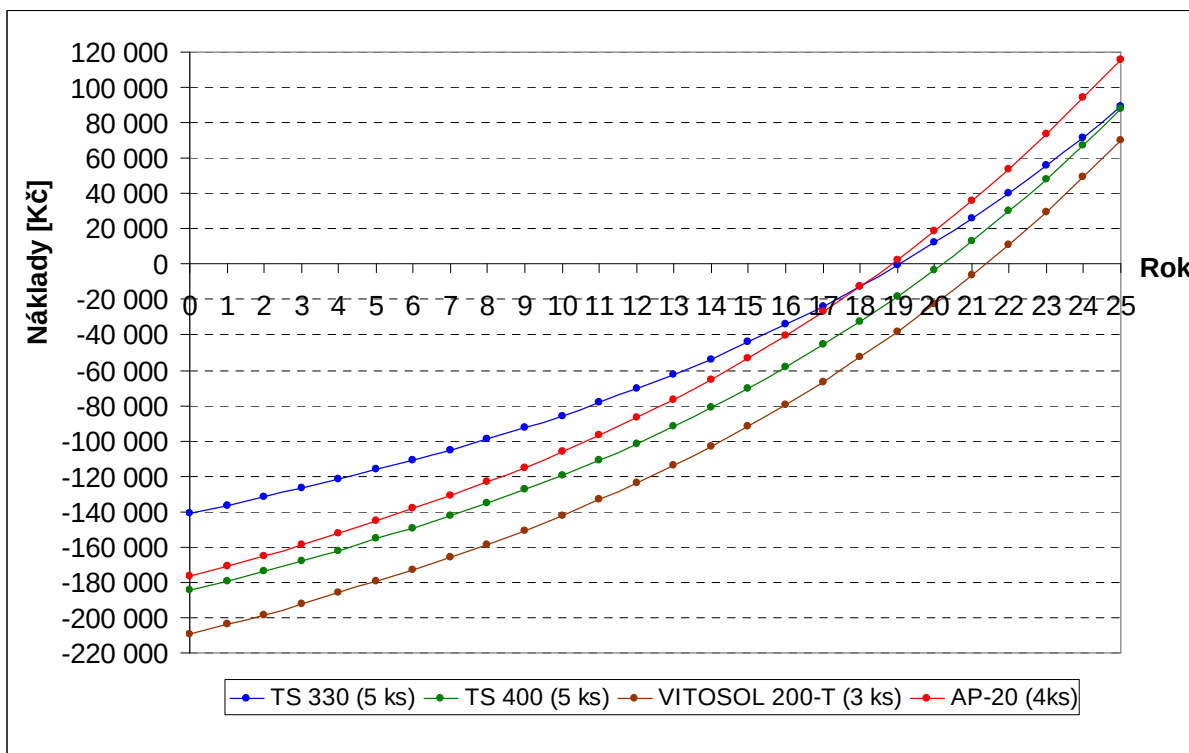
Graf 7.3 Návratnost investice solárních kolektorů VITOSOL 200-T

U vakuových trubicových kolektorů s přímo protékajícím absorbérem VITOSOL 200-T je nejvýhodnější zapojení tří kolektorů s návratností 21,5 roku. Při použití více kolektorů se návratnost, prodlužuje. Tu bychom mohli zkrátit, pokud bychom měli

7.3 Výběr nejvhodnějšího typu kolektoru

Výběr nejvhodnějšího typu kolektoru je na základě porovnání návratnosti kolektorů, TS 330, TS 400, VITOSOL 200-T a AP-20, mezi sebou. Počet použitých kolektorů každého typu je výsledkem kapitoly 7.2.

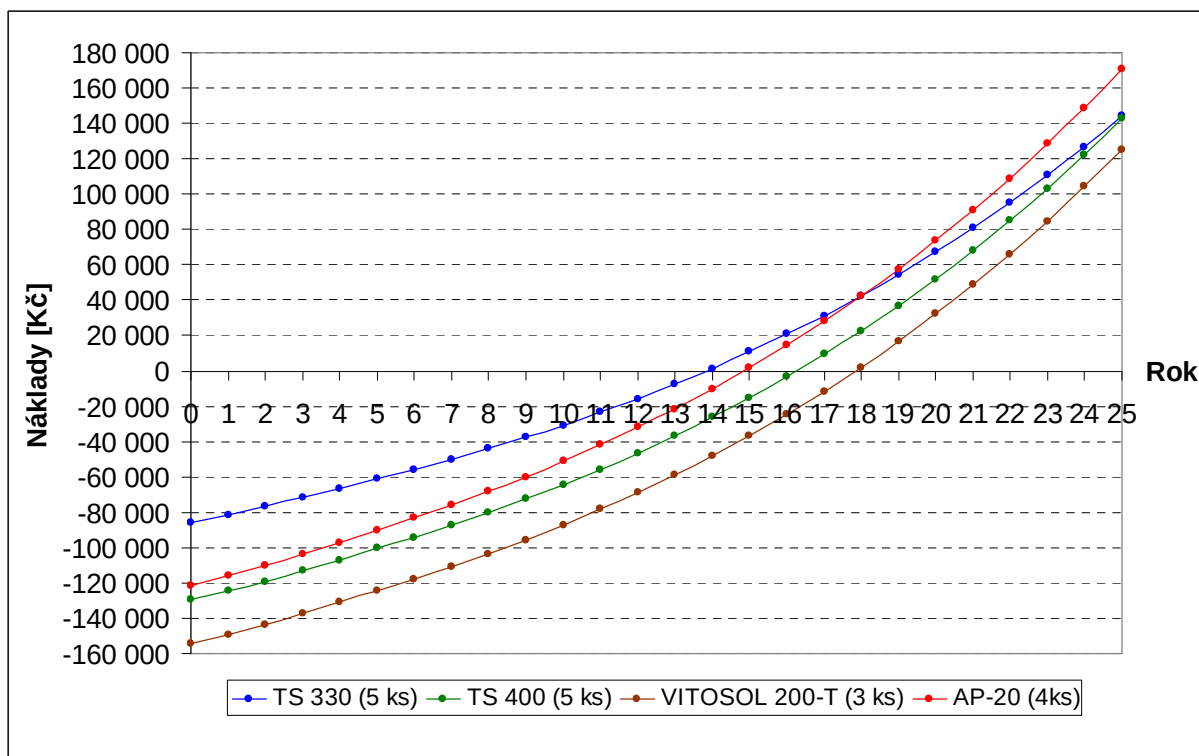
V následujících grafech je zpracováno porovnání doby návratnosti jednotlivých kolektorů. V grafu 7.5 je vynesena doba návratnosti solárních kolektorů bez možnosti získání dotace, která snižuje pořizovací náklady a tím i dobu návratnosti.



Graf 7.5 Návrh návratnosti investice solárních kolektorů

Dle grafu vyplývá, že při použití čtyř kolektorů AP-20 od Firmy Apricus a pěti kolektorů TS 330 firmy THERMO/SOLAR Žiar s.r.o. se návratnost těchto dvou variant liší pouze o 2 měsíce.

Na solární kolektory je možné získat dotaci ze Státního fondu životního prostředí ČR ve výši 55 000 Kč. Tato dotace není nárokovatelná a je potřeba splnit určité podmínky pro její udělení [30]. Jak se změní doba návratností po snížení investičních nákladů touto dotací lze vidět v grafu 7.6.



Graf 7.6 Návrh investice solárních kolektorů při státní podpoře 55 000 Kč

Díky státní dotaci nejlépe vychází použití pěti kolektorů TS 330 firmy THERMO/SOLAR Žiár s.r.o. To je díky charakteristice návratnosti daného kolektoru. V delším časovém horizontu, vychází vyšší úspora při použití tří kolektorů AP-20 od firmy Apricus.

ZÁVĚR

Použití solárních kolektorů nabývá důležitosti, díky trendu dnešní doby kdy se nahrazuje vytápění fosilními palivy obnovitelnými zdroji energie. Zde odpadá proces spalování a tím i znečištění ovzduší zplodinami. Mezi obnovitelné zdroje se řadí také mnou simulované solární kolektory. Pro srovnání byly vybráni zástupci od každého typu kolektoru. Těmi jsou ploché kolektory TS 330, ploché vakuové kolektory TS 400, trubicové vakuové kolektory s přímo protékajícím absorberem VITOSOL 200-T a trubicové vakuové kolektory s tepelnou trubicí AP-20.

Cílem mé diplomové práce bylo na základě celoroční simulace stanovit energetický přínos solárních kolektorů a navrhnout vhodný typ, velikost a odhadnout ekonomickou návratnost investice. Solární kolektory byly simulovány v programu TRNSYS 16.1 pro nízkoenergetický rodinný dům s teplovzdušným vytápěním. Při volbě počtu kolektorů jsem vycházel z výsledků simulací pro 1 až 5 kolektorů, kde směrodatná byla doba návratnosti investice.

S ohledem na nejkratší návratnost investičních nákladů s dotacemi je nejvhodnější použití 5-ti plochých kolektorů TS 330, s plochou absorberu $8,89\text{m}^2$, od fy. THERMO/SOLAR Žiar s.r.o. Tyto kolektory pokryjí 57 % roční potřeby tepla pro ohřev TV. Z celkové potřeby tepla činí pokrytí 16 %. Doba návratnosti se pohybuje kolem 14-ti let, což ještě pokládám za výhodné s ohledem na odhadovanou životnost kolektorů 25 let udávanou výrobcem. Od doby návratnosti investice do konce životnosti kolektorů lze čerpat z jeho výhod.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CIHELKA J., *Solární tepelná technika*, 1. vydání, Praha 1994: Česká typografie, a.s., 208s., ISBN 80-900759-5-9
- [2] LADENER H., SPATE F., *Solární zařízení*, 1. vydání, Praha 2003: Grada Publishing a.s., 268s., ISBN 80-247-0362-9
- [3] THEMESSEL A., WEISS W., *Solární systémy*, dotisk, Praha 2005: Grada Publishing a.s., 120s., ISBN 80-247-0589-3
- [4] BERANOVSKÝ J., TRUXA J., *Alternativní energie pro váš dům*, 2. vydání, Brno 2004: ERA group spol. s.r.o., 138s., ISBN 80-86517-89-6
- [5] ČSN 730540-2, *Tepelná ochrana budov - část 2: Požadavky. Schválena listopad 2002*
- [6] PETRÁŠ D. a kolektiv. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. 1. vydání. Bratislava 2008: Jaga group s r.o., 208s. ISBN 978-80-8076-069-4
- [7] Wikipedia – Slunce [online]. Zveřejněno dne: 5. 3. 2010. [cit. 23. dubna 2010]. Dostupné z <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce>>
- [8] Wikipedia – Slunční konstanta [online]. Zveřejněno dne: 25. 5. 2009. [cit. 24. dubna 2010]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_konstanta>
- [9] Internetové stránky firmy Solartec – Nejekologičtější zdroj nevyčerpatelné energie [online]. [cit. 24. dubna 2010]. Dostupné z <<http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/nejekologictejsi-zdroj-energie.html>>
- [10] JRC European communities – Yearly sum of global irradiation on horizontal surface Czech Republic [online]. [cit. 26. dubna 2010]. Dostupné z <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13y_cz.png>
- [11] Český hydrometeorologický ústav – Odbor klimatologie [online]. Zveřejněno dne: 13. 5. 2010. [cit. 16. května 2010] dostupné na: <<http://www.chmu.cz/meteo/ok/infklim.html>>
- [12] TZB-info – Trendy v solární tepelné technice (II) - Solární kolektory [online]. Zveřejněno dne: 5. 9. 2005. [cit. 28. dubna 2010]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2702>>
- [13] TZB-info – Stanovení účinnosti plochého solárního kolektoru (III) [online]. Zveřejněno dne: 9. 6. 2005. [cit. 28. dubna 2010]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?i=2552&t=2>>
- [14] TZB-info – Zkoušení solárních kolektorů [online]. Zveřejněno dne: 5. 4. 2010. [cit. 28. dubna 2010]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=6366>>
- [15] Internetové stránky firmy Thermo/Solar – sekce Download [online]. [cit. 30. dubna 2010]. Dostupné z <<http://www.thermosolar.sk/>>

- [16] Internetové stránky firmy MONTOP – sekce solární systémy[online]. [cit. 1. května 2010]. Dostupné z <<http://www.montop.cz/solar.htm>>
- [17] Podklady od majitele domu
- [18] KOS, J. *Posouzení tepelné pohody v nízkoenergetickém rodinném domku s teplovzdušným vytápěním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s.83. Vedoucí práce Ing. Michal Jaroš, Dr.
- [19] ČSN EN ISO 13790, *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Schválena říjen 2009.
- [20] ČSN 06 0210, *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Schválena květen 1994.
- [21] ČSN 73 0540-3, *Tepelná ochrana budov - část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Schválena listopad 2005.
- [22] ČSN 06 0320, *Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování*. Schválena září 2006.
- [23] Internetové stránky firmy Atrea – sekce ke stažení[online]. [cit. 1. května 2010]. Dostupné z <<http://www.atrea.cz/cz/ke-stazeni-divize-vetrani-teplovzduzne-vytapeni-rodinnych-domu-bytu>>
- [24] Energie TZB-info – Simulační prostředí TRNSYS [online]. Zveřejněno dne: 30. 7. 2004. [cit. 2. května 2010]. Dostupné z <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1956&h=13&pl=49>>
- [25] Klimatická databáze METEONORM version 6.1
- [26] Internetové stránky firmy Viessmann – Sluneční kolektory Vitosol 200-T [online]. [cit. 2. května 2010]. Dostupné z <http://www.viessmann.cz/cs/products/Solar-Systeme/Vitosol_200.html>
- [27] Internetové stránky firmy South East Solar – sekce Certification[online]. [cit. 2. května 2010]. Dostupné z <<http://www.southeastsolar.net/AP%20Solar%20Collector%20SPF%20Performance%20Report%202004.pdf>>
- [28] Manuál k simulačnímu programu TRNSYS
- [29] DUFFIE, John A., WILLIAM A. *Solar engineering of thermal processes*, 3rd ed., New Jersey, 2006. ISBN: 978-0-471-69867-8
- [30] Internetové stránky Zelená úsporám [cit. 2. května 2010]. Dostupné z <<http://www.zelenausporam.cz/>>
- [31] Internetové stránky společnosti ČEZ – sekce *Produkty a služby*[online]. [cit. 2. května 2010]. dostupné na: <<http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/elektrina-a-tarify/domacnosti/elektrina-2010/comfort/d-akumulace-16.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
A_j	$[m^2]$	Vnitřní plocha stavebního prvku
A_k	$[m^2]$	Vnější plocha stavebních částí
a_1	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Lineární koeficient tepelné ztráty
a_2	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}]$	Kvadratický koeficient tepelné ztráty
C_m	$[J \cdot K^{-1}]$	Vnitřní tepelná kapacita budovy
c	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Tepelná kapacita média
c_i	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita vrstvy
d	$[m]$	Tloušťka vrstvy konstrukce
d_i	$[m]$	Tloušťka vrstvy
f_k	$[-]$	Teplotní korekční součinitel
G	$[W \cdot m^{-2}]$	Globální záření na plochu kolektoru
k	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla
m	$[kg]$	Hmotnost média
n_h	$[h^{-1}]$	Požadovaná intenzita výměny vzduchu
Q	$[W]$	Teplo
Q_c	$[W]$	Celková tepelná ztráta
Q_p	$[W]$	Tepelná ztráta prostupem tepla
Q_v	$[W]$	Tepelná ztráta větráním
R_c	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Celkový tepelný odpor zdiva
R_e	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Tepelný odpor na vnější straně konstrukce
R_i	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce
R_λ	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	Tepelný odpor prostupem
S	$[m^2]$	Plocha apertury nebo absorbéru
t_a	$[^\circ C]$	Teplota okolního vzduchu
t_e	$[^\circ C]$	Teplota prostředí na vnější straně konstrukce
t_i	$[^\circ C]$	Vnitřní teplota
t_m	$[^\circ C]$	Střední teplota média v kolektoru
t_p	$[^\circ C]$	Teplota přiváděného vzduchu
t_{in}	$[^\circ C]$	Teplota na vstupu do kolektoru
t_{out}	$[^\circ C]$	Teplota na výstupu z kolektoru
t_1	$[^\circ C]$	Počáteční teplota média
t_2	$[^\circ C]$	Konečná teplota média
U_k	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla stavební části
V_m	$[m^3]$	Vnitřní objem místností
α	$[-]$	Součinitel pohltivosti povrchu
α_e	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny
α_i	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěny
ε	$[-]$	Součinitel poměrné zářivosti
η	$[-]$	Okamžitá účinnost kolektoru
η_0	$[-]$	Optická účinnost
η_R	$[-]$	Účinnost rekuperace
κ_j	$[J \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Účinná plošná tepelná kapacita stavebního prvku
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti vrstvy
ρ_i	$[kg \cdot m^{-3}]$	Hustota vrstvy
τ	$[-]$	Transmittance (propustnost) zasklení

Příloha 1 – Tabulky výsledků simulací

Tab. P.1 Spotřeba tepla během roku bez použití solárních kolektorů

Měsíc	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Dohřev kWh
Leden	25	361	2590	2976
Únor	23	326	1753	2102
Březen	26	361	1130	1517
Duben	24	349	337	710
Květen	23	361	10	394
Červen	21	349	0	370
Červenec	21	361	0	382
Srpen	21	361	0	382
Září	23	349	54	427
Říjen	25	361	540	926
Listopad	25	349	1583	1957
Prosinec	26	361	2421	2807
Celkem	282	4248	10419	14949

Tab. P.2 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 1 solárního kolektoru TS 330

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	12	26	361	2589	7	2976
Únor	25	24	326	1754	11	2103
Březen	41	27	361	1131	16	1519
Duben	51	27	349	335	21	711
Květen	74	27	361	10	24	398
Červen	73	24	349	0	24	373
Červenec	78	24	361	0	28	385
Srpen	77	25	361	0	25	385
Září	46	26	349	55	18	430
Říjen	40	27	361	540	16	928
Listopad	18	25	349	1582	9	1956
Prosinec	8	26	361	2420	6	2807
Celkem	544	306	4248	10417	207	14428

Tab. P.3 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 2 solárních kolektorů TS 330

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	25	26	361	2589	7	2951
Únor	51	24	326	1754	11	2053
Březen	81	28	361	1132	16	1440
Duben	101	28	349	336	20	613
Květen	152	28	361	10	23	246
Červen	151	25	349	0	24	223
Červenec	157	26	361	0	26	229
Srpen	158	26	361	0	25	229
Září	94	27	349	54	17	337
Říjen	81	28	361	539	16	848
Listopad	37	25	349	1583	9	1921
Prosinec	18	26	361	2420	5	2789
Celkem	1105	318	4248	10419	199	13880

Tab. P.4 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 3 solárních kolektorů TS 330

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	37	26	361	2590	7	2940
Únor	73	24	326	1754	11	2031
Březen	115	29	361	1131	15	1405
Duben	146	29	349	336	19	568
Květen	220	30	361	10	22	181
Červen	216	27	349	0	23	160
Červenec	226	27	361	0	25	163
Srpen	224	28	361	0	24	165
Září	138	28	349	55	17	295
Říjen	116	29	361	540	15	814
Listopad	53	26	349	1584	8	1905
Prosinec	26	26	361	2419	5	2780
Celkem	1589	329	4248	10419	192	13407

Tab. P.5 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 4 solárních kolektorů TS 330

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	47	26	361	2589	7	2928
Únor	92	25	326	1755	10	2013
Březen	146	29	361	1131	15	1375
Duben	182	30	349	336	18	533
Květen	285	31	361	11	21	117
Červen	279	28	349	0	22	98
Červenec	298	28	361	0	25	91
Srpen	294	29	361	0	23	95
Září	176	29	349	54	16	256
Říjen	148	30	361	540	15	783
Listopad	68	26	349	1583	8	1890
Prosinec	33	26	361	2421	5	2774
Celkem	2050	337	4248	10419	187	12955

Tab. P.6 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 5-ti solárních kolektorů TS 330

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	56	26	361	2589	6	2920
Únor	110	25	326	1755	10	1995
Březen	173	30	361	1130	14	1347
Duben	221	31	349	336	18	494
Květen	337	33	361	10	20	67
Červen	328	30	349	0	22	51
Červenec	353	30	361	0	24	38
Srpen	348	31	361	0	23	43
Září	208	30	349	54	16	226
Říjen	176	30	361	540	15	755
Listopad	81	26	349	1583	8	1878
Prosinec	39	26	361	2420	5	2768
Celkem	2433	350	4248	10418	180	12583

Tab. P.7 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 1 solárního kolektoru TS 400

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	15	26	361	2589	8	2961
Únor	30	24	326	1754	12	2074
Březen	48	27	361	1131	17	1471
Duben	60	27	349	334	23	651
Květen	86	27	361	11	25	312
Červen	86	24	349	0	26	287
Červenec	91	24	361	0	29	294
Srpen	89	25	361	0	27	297
Září	54	26	349	54	19	376
Říjen	47	27	361	540	17	881
Listopad	21	25	349	1582	10	1936
Prosinec	10	26	361	2420	6	2797
Celkem	636	307	4248	10418	218	14338

Tab. P.8 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 2 solárních kolektorů TS 400

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	31	26	361	2591	8	2947
Únor	60	24	326	1753	12	2043
Březen	96	28	361	1132	17	1425
Duben	120	28	349	336	22	594
Květen	177	29	361	10	24	222
Červen	175	25	349	0	25	200
Červenec	186	26	361	0	28	201
Srpen	182	26	361	0	26	205
Září	111	28	349	54	18	320
Říjen	95	29	361	539	17	834
Listopad	43	26	349	1583	9	1915
Prosinec	22	26	361	2420	6	2785
Celkem	1298	320	4248	10419	211	13690

Tab. P.9 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 3 solárních kolektorů TS 400

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	45	26	361	2590	7	2932
Únor	87	25	326	1754	11	2017
Březen	137	29	361	1131	16	1384
Duben	173	30	349	336	21	542
Květen	258	30	361	10	24	143
Červen	254	27	349	0	24	123
Červenec	266	28	361	0	27	122
Srpen	264	28	361	0	25	125
Září	163	29	349	54	18	269
Říjen	137	30	361	541	16	794
Listopad	63	26	349	1582	9	1895
Prosinec	32	26	361	2420	6	2776
Celkem	1878	333	4248	10419	204	13122

Tab. P.10 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 4 solárních kolektorů TS 400

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	58	26	361	2589	7	2919
Únor	111	25	326	1755	11	1995
Březen	175	30	361	1131	16	1346
Duben	224	30	349	337	20	493
Květen	336	32	361	10	23	67
Červen	330	29	349	0	23	49
Červenec	345	30	361	0	26	45
Srpen	343	30	361	0	24	47
Září	210	30	349	54	17	224
Říjen	176	30	361	541	16	756
Listopad	80	26	349	1583	9	1878
Prosinec	40	26	361	2421	6	2768
Celkem	2427	344	4248	10420	199	12586

Tab. P.11 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 5-ti solárních kolektorů TS 400

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	69	26	361	2591	7	2909
Únor	132	25	326	1753	11	1972
Březen	211	30	361	1131	16	1311
Duben	266	32	349	336	20	451
Květen	390	35	361	11	22	17
Červen	381	32	349	0	23	0
Červenec	393	33	361	0	25	0
Srpen	394	33	361	0	24	0
Září	251	31	349	55	17	184
Říjen	212	31	361	541	16	721
Listopad	95	26	349	1583	9	1863
Prosinec	48	26	361	2420	6	2759
Celkem	2843	361	4248	10420	192	12187

Tab. P.12 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 1 solárního kolektoru VITOSOL 200-T

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	27	26	361	2589	13	2949
Únor	50	24	326	1754	19	2054
Březen	77	28	361	1131	26	1443
Duben	95	28	349	335	30	617
Květen	131	27	361	11	35	269
Červen	128	24	349	0	34	245
Červenec	135	24	361	0	37	250
Srpen	130	25	361	0	34	255
Září	83	27	349	55	28	347
Říjen	74	28	361	541	25	856
Listopad	36	25	349	1583	17	1921
Prosinec	20	26	361	2420	11	2786
Celkem	986	311	4248	10419	310	13992

Tab. P.13 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 2 solárních kolektorů VITOSOL 200-T

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	59	26	361	2590	13	2918
Únor	104	25	326	1754	18	2001
Březen	159	29	361	1132	26	1363
Duben	199	29	349	336	30	516
Květen	273	30	361	11	34	129
Červen	268	27	349	0	33	109
Červenec	280	27	361	0	36	109
Srpen	274	27	361	0	33	114
Září	177	29	349	54	27	255
Říjen	154	29	361	541	24	777
Listopad	75	26	349	1583	17	1883
Prosinec	44	26	361	2421	11	2764
Celkem	2065	331	4248	10422	303	12936

Tab. P.14 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 3 solárních kolektorů VITOSOL 200-T

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	89	26	361	2590	13	2888
Únor	153	25	326	1755	18	1953
Březen	236	30	361	1131	25	1286
Duben	296	31	349	337	29	422
Květen	395	32	361	11	33	9
Červen	378	29	349	0	32	0
Červenec	390	30	361	0	36	0
Srpen	391	30	361	0	33	0
Září	265	30	349	55	26	169
Říjen	229	31	361	539	24	703
Listopad	113	27	349	1583	16	1846
Prosinec	66	26	361	2422	11	2743
Celkem	3001	348	4248	10423	297	12017

Tab. P.15 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 4 solárních kolektorů VITOSOL 200-T

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	117	27	361	2590	13	2861
Únor	201	26	326	1753	18	1904
Březen	307	32	361	1131	25	1216
Duben	380	33	349	337	28	340
Květen	407	35	361	11	31	0
Červen	382	32	349	0	30	0
Červenec	395	34	361	0	34	0
Srpen	394	34	361	0	31	0
Září	338	32	349	54	25	98
Říjen	303	32	361	539	24	629
Listopad	147	27	349	1584	16	1813
Prosinec	87	26	361	2420	11	2721
Celkem	3455	370	4248	10419	286	11582

Tab. P.16 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 5-ti solárních kolektorů VITOSOL 200-T

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	143	27	361	2591	12	2836
Únor	246	26	326	1754	18	1860
Březen	360	33	361	1132	24	1166
Duben	438	36	349	336	27	282
Květen	409	38	361	10	29	0
Červen	386	36	349	0	28	0
Červenec	399	38	361	0	31	0
Srpen	399	38	361	0	29	0
Září	399	35	349	54	24	39
Říjen	367	34	361	541	23	569
Listopad	180	27	349	1584	16	1780
Prosinec	106	27	361	2420	11	2701
Celkem	3831	396	4248	10421	274	11234

Tab. P.17 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 1 solárního kolektoru AP-20

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	22	26	361	2589	13	2953
Únor	40	24	326	1754	19	2064
Březen	61	27	361	1130	26	1457
Duben	77	27	349	336	30	636
Květen	105	27	361	11	35	294
Červen	105	24	349	0	34	268
Červenec	111	24	361	0	37	274
Srpen	105	25	361	0	34	281
Září	66	26	349	55	27	365
Říjen	58	28	361	539	25	870
Listopad	30	25	349	1583	17	1928
Prosinec	17	26	361	2420	11	2790
Celkem	796	309	4248	10418	307	14180

Tab. P.18 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 2 solárních kolektorů AP-20

Měsíc	Solár kWh	TZ_Izt kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	49	26	361	2591	13	2929
Únor	84	24	326	1754	18	2020
Březen	127	29	361	1131	26	1393
Duben	161	29	349	336	29	554
Květen	224	29	361	10	34	177
Červen	221	26	349	0	33	155
Červenec	235	26	361	0	36	153
Srpen	222	27	361	0	33	166
Září	142	28	349	54	27	289
Říjen	123	29	361	540	24	807
Listopad	63	26	349	1584	16	1896
Prosinec	37	26	361	2420	11	2770
Celkem	1687	326	4248	10419	302	13307

Tab. P.19 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 3 solárních kolektorů AP-20

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	74	26	361	2590	13	2903
Únor	125	25	326	1755	18	1981
Březen	190	29	361	1130	25	1330
Duben	240	31	349	336	29	476
Květen	338	31	361	10	33	65
Červen	336	28	349	0	33	42
Červenec	351	29	361	0	36	39
Srpen	334	29	361	0	33	57
Září	212	30	349	53	26	220
Říjen	184	30	361	540	24	747
Listopad	94	26	349	1584	16	1865
Prosinec	56	26	361	2421	11	2752
Celkem	2533	341	4248	10419	296	12476

Tab. P.20 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 4 solárních kolektorů AP-20

Měsíc	Solár kWh	TZ_IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	97	26	361	2590	12	2880
Únor	163	25	326	1754	18	1942
Březen	249	30	361	1132	25	1274
Duben	319	32	349	338	29	400
Květen	407	36	361	10	32	0
Červen	382	32	349	0	31	0
Červenec	394	33	361	0	34	0
Srpen	393	32	361	0	32	0
Září	280	31	349	54	26	155
Říjen	243	31	361	540	24	689
Listopad	123	27	349	1584	16	1837
Prosinec	73	26	361	2420	11	2734
Celkem	3124	364	4248	10423	290	11911

Tab. P.21 Dílčí spotřeby a dodávky tepla během roku při použití 5-ti solárních kolektorů AP-20

Měsíc	Solár kWh	TZ IZT kWh	TV kWh	Topení kWh	Čerpadlo kWh	Dohřev kWh
Leden	119	27	361	2590	12	2858
Únor	200	26	326	1754	18	1905
Březen	304	32	361	1131	24	1219
Duben	387	34	349	336	28	332
Květen	410	40	361	9	30	0
Červen	386	37	349	0	30	0
Červenec	399	38	361	0	32	0
Srpen	399	38	361	0	31	0
Září	339	34	349	53	25	98
Říjen	300	32	361	540	23	633
Listopad	151	27	349	1582	16	1808
Prosinec	90	27	361	2420	11	2717
Celkem	3484	392	4248	10416	280	11571

Příloha 1 - Schéma zapojení simulace v programu TRNSYS

