

OBSAH

ÚVOD	11
A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ	12
A.1 ANALÝZA TÉMATU.....	13
A.2 CÍLE PRÁCE.....	14
A.3 METODY ŘEŠENÍ	15
A.3.1 TEORETICKÉ ŘEŠENÍ	15
A.3.1.1 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV.....	15
A.3.1.2 METODIKA VÝPOČTU ENB V ČR	21
A.3.1.3 KLASIFIKACE BUDOVY DO TŘÍD ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI	23
A.3.1.4 PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY.....	27
A.3.1.5 ZAHRANIČNÍ METODY ENERGETICKÉHO HODNOCENÍ BUDOV.....	32
A.3.1.6 PROGRAMY POUŽÍVANÉ K ENERGETICKÉMU HODNOCENÍ BUDOV.....	33
A.3.1.7 LEGISLATIVA EVROPSKÉ UNIE SOUVISEJÍCÍ S ENB.....	34
A.3.1.8 LEGISLATIVA ČR SOUVISEJÍCÍ S ENB	36
A.3.1.9 ENERGETICKÝ AUDIT	41
A.3.1.10 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU A OPATŘENÍ K JEHO ZLEPŠENÍ	47
A.3.1.11 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	49
A.3.1.12 NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ	59
A.3.2 PRAKTICKÉ ŘEŠENÍ.....	63
A.3.3 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ	64
B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ – KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	65
B.1 O SIMULAČNÍM PROGRAMU BSIM 2010.....	66
B.1.1 GEOMETRIE 3D MODELU BUDOVY	66
B.1.2 KLIMATICKÁ DATA (EXTERIÉR)	67
B.1.3 TEPELNÁ BILANCE	67
B.1.4 MATEMATICKÝ ZÁKLAD VÝPOČTŮ V BSIM 2010	68
B.1.4.1 TEPELNÉ TOKY Z VNITŘNÍCH A EXTERNÍCH PROSTOR	68
B.1.4.2 TEPELNÉ TOKY VÝPLNĚMI OTVORŮ.....	68
B.1.4.3 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	69
B.1.4.4 TEPELNÉ TOKY SPOJENÉ S VĚTRÁNÍM	69
B.1.4.5 TEPELNÉ TOKY Z VNITŘNÍCH ZDROJŮ A SYSTÉMŮ	69
B.1.4.6 CELKOVÁ TEPELNÁ BILANCE ZÓNY.....	69
B.1.4.7 VEDENÍ TEPLA V KONSTRUKCÍCH.....	70
B.1.4.8 ČASOVÁ DISKRETIZACE VÝPOČTU	73

B.2	PŘEDSTAVENÍ AREÁLU	74
B.2.1	TEPELNÉ ZTRÁTY A SPOTŘEBA TEPLA.....	74
B.2.2	OTOPNÁ SOUSTAVA A ZDROJE TEPLA.....	76
B.2.3	POPIS JEDNOTLIVÝCH BUDOV AREÁLU	77
B.2.3.1	BUDOVA A	77
B.2.3.2	BUDOVA B.....	79
B.2.3.3	BUDOVA C.....	81
B.2.3.4	BUDOVA D.....	83
B.3	OKRAJOVÉ PODMÍNKY PŘI VÝPOČTU.....	86
B.3.1	OBJEKT.....	86
B.3.1.1	TEPELNÉ ZÓNY	87
B.4	VÝSTUPY Z PROGRAMU BSIM (GRAFY A TABULKY).....	91
B.5	POROVNÁNÍ SIMULACE SPOTŘEBY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ ZA ROK SE SKUTEČNOU SPOTŘEBOU.....	101
B.5.1	SIMULACE	101
B.5.2	SKUTEČNOST	101
B.5.3	POROVNÁNÍ SIMULACE SE SKUTEČNOSTÍ A ZÁVĚR	102
B.5.4	PODÍL JEDNOTLIVÝCH ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ NA CELKOVÉ SPOTŘEBĚ ENERGIE	103
B.6	IDEOVÉ ŘEŠENÍ NAVAZUJÍCÍCH PROFESÍ VE ZKOUMANÉM OBJEKTU	104
B.6.1	VODOVOD	104
B.6.2	KANALIZACE	104
B.6.3	VYTAPĚNÍ	104
B.6.4	VZDUCHOTECHNIKA.....	104
B.6.5	MAR.....	105
B.6.5.1	MERLIN GERIN – FUNKČNĚ PROPOJEN S HL. REGULÁTOREM SIEMENS....	105
B.6.5.2	REGULUS – SAMOSTATNÝ, JEN K REGULACI SOLÁRNÍ SOUSTAVY.....	105
B.6.5.3	SIEMENS – HLAVNÍ REGULÁTOR SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY TV.....	106
C.	EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ JEHO VÝSLEDKŮ.....	107
C.1	ÚVOD K EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	108
C.2	SLUNEČNÍ ENERGIE A JEJÍ VYUŽITÍ	109
C.2.1	SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE.....	109
C.2.2	KOLOBĚH SLUNEČNÍ ENERGIE NA ZEMI	112
C.2.3	VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE.....	114
C.2.3.1	ZPŮSOBY VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE	116
C.2.3.2	PŘÍMÉ VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE.....	117
C.2.4	SOLÁRNÍ KOLEKTORY	119

C.2.4.1	PRINCIP SOLÁRNÍHO KOLEKTORU.....	119
C.2.4.2	ROZDĚLENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ.....	120
C.2.4.3	KONSTRUKČNÍ KOMBINACE KAPALINOVÝCH SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ, KTERÉ LZE POTKAT V PRAXI	122
C.2.4.4	VYUŽITÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ.....	132
C.2.4.5	VÝHODY A NEVÝHODY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ	133
C.2.4.6	VÝVOJ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ V BÝVALÉM ČESKOSLOVENSKU	134
C.2.4.7	SOUČASNÁ SITUACE NA TRHU SE SOLÁRNÍMI KOLEKTORY.....	136
C.2.5	NÁVRH SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ	139
C.2.5.1	KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR	139
C.2.5.2	UMÍSTĚNÍ SLUNEČNÍCH KOLEKTORŮ.....	142
C.2.5.3	SOLÁRNÍ SOUSTAVY	144
C.2.5.4	SCHÉMATA VYBRANÝCH SOLÁRNÍCH SOUSTAV.....	149
C.2.5.5	FYZIKÁLNÍ PODSTATA DĚJŮ.....	152
C.3	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ NA ZADANÉ BUDOVĚ.....	176
C.3.1	CÍL MĚŘENÍ	176
C.3.2	FYZICKÝ MODEL.....	176
C.3.3	SEZNAM MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ A ČIDEL.....	177
C.3.4	SLEDOVANÉ VELIČINY	178
C.3.5	POSTUP MĚŘENÍ	178
C.3.5.1	VZTAHY A VÝPOČTY – KALORIMETRICKÁ ROVNICE	178
C.3.5.2	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ –GRAFY, FOTODOKUMENTACE	179
C.3.6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	180
C.4	NÁVRATNOST INVESTICE	183
C.4.1	INVESTIČNÍ NÁKLAD JE HRAZEN Z VLASTNÍCH ZDROJŮ	183
C.4.2	INVESTIČNÍ NÁKLAD HRAZEN Z PŮJČKY POSKYTNUTÉ BANKOU.....	186
C.4.3	VYHODNOCENÍ VARIANT	189
C.4.4	METODA ENERGY PERFORMANCE CONTRACTING	190
C.4.5	VEŘEJNÁ PODPORA SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ – DOTAČNÍ PROGRAMY..	192
ZÁVĚR	197	
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	198	
SEZNAM GRAFŮ.....	206	
SEZNAM OBRÁZKŮ	207	
SEZNAM TABULEK	209	
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	210	
SEZNAM PŘÍLOH.....	211	

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá vybranými kapitolami z jinak rozsáhlé problematiky energetického hodnocení budov. Problémy, které nám tato oblast stavebnictví předkládá, lze stejně jako jiné řešit teoreticky (dedukcí vyvozené, exaktní výpočty, omezené na menší nebo konkrétní problémy) nebo v případě složitějších problémů simulací. Realita bývá často tak komplikovaná, že je třeba přistoupit k experimentu, při kterém ze získaných dat usuzujeme z konkrétního problému na obecnou logiku věci (indukce). Ve stejném duchu je práce tvořena třemi na sebe navazujícími tematickými celky:

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

Cílem první části práce je postihnout současný trend společnosti v rostoucím zájmu o ekologii a snahu o zmenšení energetické náročnosti budov. Práce pojednává o energetickém hodnocení budov, které je s touto snahou spojené. Probírá jednotlivé hodnotící faktory a metodiku energetického auditu budov. Pro celkový přehled je uvedena i základní související legislativa.

Jedním z cílů diplomové je porovnání různých zdrojů energie na vytápění pro objekty určené k bydlení. Zdroje jsou porovnány jak z ekonomického, tak i ekologického hlediska.

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ – KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Díky rozvoji výpočetní techniky je možné simulovat podmínky vnitřního mikroklimatu budovy a množství energie, které je k jeho dosažení zapotřebí.

Právě touto cestou se vydává druhá část práce, ve které je zkoumaný objekt převeden pomocí dánského simulačního softwaru BSim na počítačový model. Poté je díky znalosti klimatických podmínek, energetického režimu budovy a dalších okrajových podmínek stanovena roční spotřeba energie na vytápění, která je porovnána se skutečností.

C. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

V poslední části je rozebráno a vyhodnoceno experimentální měření, které proběhlo na solárních kolektorech, instalovaných na střeše jednoho z objektů. Cílem experimentu bylo získat výsledky, které by mohly být použity jako vstup pro stanovení doby návratnosti investice do tohoto alternativního zdroje energie. Nakonec jsou uvedeny vybrané prostředky, vedoucí k snadnějšímu dosažení financí potřebných na realizaci energeticky úsporných opatření.

Na začátku celku jsou pro doplnění přiblíženy možnosti využití, které nám sluneční energie nabízí.

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

A.1 ANALÝZA TÉMATU

První část diplomové práce je věnována základní teorii k lepšímu porozumění tématu energetického hodnocení budov (dále jen EHB). V další kapitole jsou pak vytyčeny cíle, kterých chce práce dosáhnout. Protože se jedná o obsáhlou problematiku, existuje vždy více metod, jak dosáhnout požadovaného řešení úlohy – ať je to teoretický výpočet, počítačová simulace nebo experimentální měření.

Práce je zaměřena, mimo jiné, na jeden z hodnotících faktorů při EHB, a sice faktor vstupující energie. Investor má dnes spoustu možností, který zdroj energie si pro budovu zvolí. Tato práce má pomoci investorům rozhodnutí ulehčit.

Areál, zkoumaný v diplomové práci z teoretické, praktické i experimentální stránky, je tvořen čtyřmi vzájemně oddílanými objekty. Objekty A, C a D jsou provedeny ze stavebního materiálu Thermomur - polystyrenové stavebnicové bloky vylité betonem. Objekt B je roubená dřevostavba. Objekty jsou jednopodlažní, s výjimkou objektu D, který je dvoupodlažní. Na jeho střeše je osazeno šest kusů plochých solárních kolektorů, ve spodním podlaží je umístěna technická místnost.

Hlavním zdrojem energie pro areál je dřevosplyňující kotel ATMOS DC 25s (výkon 17-25 kW), doplňkové zdroje jsou závěsný plynový kondenzační kotel Junkers Cerapur (výkon 3,7-21,8 kW) a solární kolektory ACV Solar 300 doplněné o akumulční zásobník teplé vody Smart SL ME 400l. Objekt je vytápěn deskovými otopnými tělesy (tepelný spád 75/65 °C) a podlahovým topením (teplota přívodu 54,5 °C).

A.2 CÍLE PRÁCE

TEORETICKÁ ČÁST DP

- vystihnout současný trend zájmu o ekologii a snahu o zmenšení energetické náročnosti budov
- popsat postupy energetického hodnocení budov, které je s touto snahou spojené
- popsat jednotlivé hodnotící faktory při energetickém hodnocení budov
- popsat metodiku energetického auditu budov
- seznámit se základní související legislativou
- porovnat různé zdroje energie pro vytápění objektů určených k bydlení jak z ekonomického, tak i ekologického hlediska

PRAKTICKÁ ČÁST DP

- představit zkoumanou budovu a dánský simulační program BSim
- převést zadanou budovu pomocí programu BSim na PC model
- zadat okrajové podmínky (klimatické podmínky, energetický režim budovy atd.)
- stanovit roční spotřebu energie modelu
- porovnat simulaci se skutečností
- získat odborný odhad v profesi

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DP

- seznámit se sluneční energií a možnostmi jejího využití
- popsat principy a postupy při navrhování solárních kolektorů
- seznámit s měřicí technikou a jejím používáním
- vyhodnotit experimentální měření, provedené na solárních kolektorech, instalovaných na střeše jednoho z objektů, a získat odborný odhad v profesi
- stanovit dobu návratnosti investice do tohoto alternativního zdroje energie
- uvést prostředky, které pomohou investorovi k snadnějšímu dosažení úspory energie

A.3 METODY ŘEŠENÍ

A.3.1 TEORETICKÉ ŘEŠENÍ

Řešení vycházející z potřebných teoretických znalostí.

A.3.1.1 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV

Už od nepaměti zajímalo každého stavitele, jak velký prostor pro uskladnění paliva si má v domě vyčlenit. Pro výpočet potřebného množství paliva bylo vyvinuto mnoho více či méně přesných metod (denostupňová metoda pro výpočet potřeby energie na vytápění, měrná potřeba tepla pro typizované objekty atd.). Tyto jednoduché metody přestávají stačit ve chvíli, kdy mezi sebou potřebujeme porovnat více alternativních řešení různých prvků budovy ovlivňujících její spotřebu energie. Příčinou je malá citlivost metod na změnu vstupních parametrů a neprovázanost energetických potřeb budovy se spotřebou energetického zdroje.

Dnešní doba vyžaduje komplexní posuzování budov z mnoha důvodů. Mezi ty hlavní patří:

- **Ekologické** - Snižování energetické náročnosti budov kvůli původu zdroje energie pro budovy, jako jsou například fosilní paliva zatěžující životní prostředí (dále jen ŽP). Snahy o zmenšení celosvětové potřeby energie vedou mimo jiné k zmírnění probíhajících klimatických změn.
- **Ekonomické** - Snaha o zmenšení závislosti státu na dovážené energii i úspora nákladů pro majitele budov.
- **Sociální** - Snaha o vytvoření transparentního ukazatele pro klasifikaci a ohodnocení budovy pomocí uznávaných pravidel a požadavků. Pro investory to znamená lepší představu o aktuálním stavu budovy, jednodušší rozhodování a zpřehlednění trhu s budovami.

Tyto snahy pohání jak touha člověka bádát a prohlubovat své znalosti o fungování světa, tak rozmach výpočetní techniky v 80. letech minulého století. Díky tomu dnes dokážeme stanovit očekávanou spotřebu energie vstupující do budovy, rozlišit různé zdroje energie, způsoby regulace a vlivy nastavení různých parametrů na vnitřní prostředí budov.

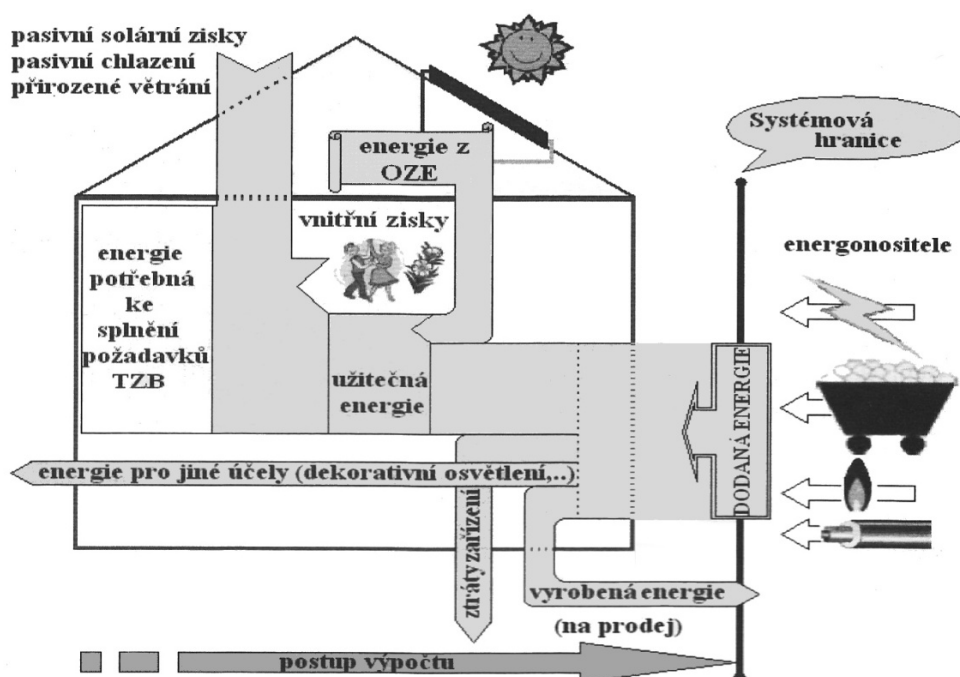
Základním hodnotícím ukazatelem energetické náročnosti (dále jen ENB) je v ČR **celková roční dodaná energie [GJ/rok]** (vychází z požadavků evropské směrnice 2010/31/EU EPBD). Je to množství energie dodané budově včetně energie vyrobené v budově pomocí obnovitelných zdrojů energie a spotřebované v budově za období jednoho roku při standardizovaném užívání budovy bilančním hodnocením. Představuje transparentní ukazatel energetické náročnosti. Získáme ji sečtením dílčích potřeb energie jednotlivých systémů budovy:

- vytápění,
- větrání,
- chlazení,
- klimatizaci,
- příprava teplé vody,
- a osvětlení v legislativou předepsaném množství a kvalitě.

Při komplexním postupu výpočtu je nutné zohlednit:

- účinnost jednotlivých zařízení, tepelné ztráty a využitelné tepelné ztráty
- klimatické podmínky v lokalitě budovy
- normové požadavky na vlastnosti a parametry vnitřního mikroklimatu
- tepelně technické a fyzikální vlastnosti budovy a jejich prvků
- rozdělení budovy na zóny s rozdílnými nároky na vnitřní prostředí a jejich vzájemné ovlivňování
- spotřeba pomocné energie
- vnitřní a vnější (solární) tepelné zisky
- variabilita okrajových podmínek v průběhu hodnotícího období (například kalendářního roku)

ENB a úspory, které je možné realizovat provedením vhodných opatření, se tedy nedotýká jenom stavebního řešení, ale také technického zařízení budovy (dále jen TZB) a úrovně řízení provozu budovy.



Obrázek 1: Energie dodaná na systémovou hranici budovy [1]

Celkovou energetickou náročnost budovy ovlivňují všechny systémy v budově podílející se na spotřebě a výrobě energie. Energie přivedená na **systémovou hranici budovy**¹ je přeměněna ve zdroji energie a rozvedeno do jednotlivých zón. Pokud se zdroj tepla nachází vně obálky budovy, je uvažován jako součást systému (počítá se s účinností zdroje). Jedná-li se o centrální zdroj tepla zásobující velkou oblast (sídlíště), není tento zdroj uvažován uvnitř systémové hranice. Hranici pak tvoří měření spotřeby dodané tepelné energie včetně požadavků plynoucích ze zákona č. 458/2000 Sb. a dalších souvisejících předpisů.

¹ Systémová hranice budovy se uvažuje v souladu s ČSN EN ISO 13790 jako hranice vytápěného prostoru. U dvouplášťových větraných konstrukcí se za vnější hranu konstrukce považuje vnější povrch vnitřního pláště.

Dílejší složky celkové roční bilance energie jsou:

- | | |
|---|-----------------------|
| • roční spotřeba energie na vytápění | $Q_{\text{fuel,H}}$ |
| • roční spotřeba energie na chlazení | $Q_{\text{fuel,C}}$ |
| • roční spotřeba energie na mechanické větrání a zvlhčování | $Q_{\text{fuel,F}}$ |
| • roční spotřeba energie na přípravu teplé vody | $Q_{\text{fuel,W}}$ |
| • roční spotřeba energie na osvětlení a spotřebiče | $Q_{\text{fuel,L}}$ |
| • roční spotřeba pomocné energie pro provoz energetických systémů | $Q_{\text{fuel,Aux}}$ |
| • roční produkce energie solárními kolektory | |
| • roční produkce elektrické energie fotovoltaickými panely | $Q_{\text{el,PV}}$ |
| • roční produkce elektrické energie kogeneračními jednotkami ² | $Q_{\text{el,CHP}}$ |

Bilanční hodnocení se provádí intervalovou výpočtovou metodou, s vhodným časovým krokem (nejlépe měsíčním, u budov s nízkou tepelnou setrvačností se interval zkracuje až na hodinu). Energetická bilance se dále dělí na bilanci jednotlivých zón budovy.

Za **zónu** považujeme skupinu prostorů s podobnými vlastnostmi vnitřního prostředí a režimem užívání. Zónou je každá část budovy, která je zásobována ze stejné baterie energetických systémů budovy nebo má odlišné užívání od standardních podmínek provozu. Energetická bilance na úrovni budovy pro každou zónu zahrnuje:

- tepelný tok prostupem mezi zónou a okolním prostředím (směr určí teplotní gradient)
- tepelný tok větráním mezi zónou a okolním prostředím
- vnitřní tepelné zisky od osob, vybavení a osvětlení zóny
- vnější tepelné zisky od slunečního záření dopadajícího skrz průsvitné konstrukce
- využití tepelných zisků v konstrukcích budovy (akumulace energie slunečního záření)
- potřeba energie na vytápění v topné sezóně
- potřeba energie na chlazení v letní sezóně

Energetická bilance na úrovni energetických systémů pro každou zónu zahrnuje:

- potřeba energie na vytápění a chlazení
- potřeba energie na osvětlení
- potřeba energie na přípravu teplé vody
- vnější tepelné zisky od slunečního záření dopadajícího skrz průsvitné konstrukce
- produkci energie systémů využívajících obnovitelné zdroje energie (dále jen OZE)
- produkci energie systémů KVET³
- stanovení ztráty při výrobě (transformaci), distribuci a sdílení energie

Do **výpočtu ENB** je třeba zahrnout i tepelné vazby mezi jednotlivými zónami. Oddělující konstrukce se tedy nepokládá za adiabatickou⁴. Výpočet ENB se provádí samostatně pro každou zónu a má **kvazi-stacionární charakter**, tzn., že v daném časovém úseku se předpokládá ustálený teplotní stav. Dynamické vlastnosti jsou ve výpočtu

² kogenerace = společná výroba tepla a elektřiny. Umožňuje zvýšení účinnosti využití energie paliv.

³ KVET je zkratka pro kombinovanou výrobu energie a tepla

⁴ Adiabatický děj je termodynamický děj, při kterém nedochází k tepelné výměně mezi plynem a okolím. Děj probíhá při dokonalé tepelné izolaci, takže soustava žádné teplo nepřijímá ani nevydává. Za adiabatický lze pokládat takový děj, který proběhne tak rychle, že se výměna tepla s okolím nestačí uskutečnit.

zohledněny pomocí činitele využití tepelné kapacity budovy, účinností systémů TZB a účinností využití tepelných toků (zisků). Podrobněji se výpočtem potřeby energie na vytápění a chlazení zabývá norma EN ISO 13790. **Systémová hranice zóny** je plocha tvořená vnějším povrchem konstrukcí ohraničujících zónu. U vnitřních konstrukcí se hranice uvažuje v ose konstrukce. Tepelné toky se počítají z vnějších rozměrů konstrukcí ohraničujících zónu (směrem na bezpečnou stranu). Celkovou podlahovou plochou je podlahová plocha všech podlaží budovy vymezená vnějšími stěnami.

Princip výpočtu spočívá v transformování dodané energie ve zdroji energetického systému a její následné rozvedení distribučním systémem do systémů sdílení energie v jednotlivých zónách. Tok energie budovou lze vyjádřit vztahem

$$Q_{fuel} = \sum Q_{gen,sys}$$

$$Q_{gen,sys} = \frac{Q_{dis,sys,z} \cdot F_{gen,sys,z}}{\eta_{gen,sys}}$$

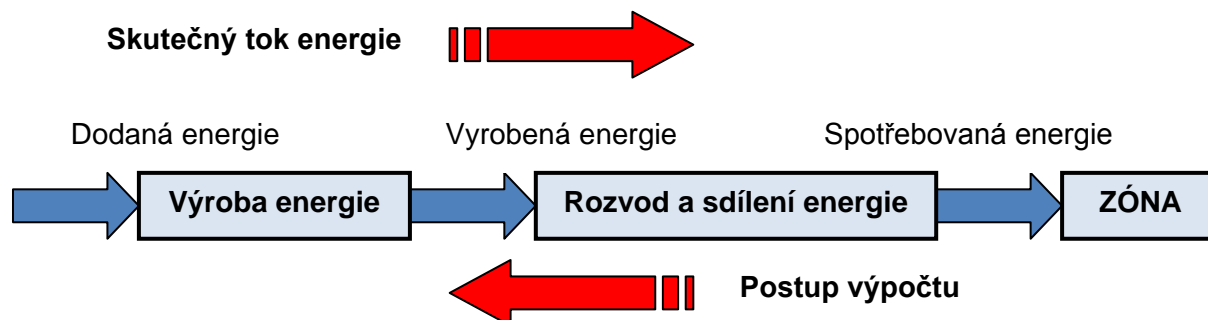
$$Q_{dis,sys,z} = \frac{\sum Q_{em,sys,z}}{\eta_{dis,sys,z}} - Q_{E,sys}$$

$$Q_{em,sys,z} = \frac{Q_{nd,z}}{\eta_{em,sys,z}}$$

kde:

Q_{fuel}	... Celková dodaná energie na systémové hranice budovy	[GJ/rok]
$Q_{gen,sys}$	... Dodaná energie do zdroje energie příslušným en. systémem	[GJ/rok]
$Q_{dis,sys,z}$	... Celková energie dodaná do distribučního systému v z-té zóně příslušným energetickým systémem	[GJ/rok]
$F_{gen,sys,z}$	... Podíl energie dodané příslušným en. systémem do z-té zóny	[GJ/rok]
$\eta_{gen,sys}$	... Účinnost příslušného energetického systému	[%]
$Q_{em,sys,z}$	... Energie dodaná do systému sdílení energie v z-té zóně příslušným energetickým systémem	[GJ/rok]
$Q_{E,sys}$	... Produkce energie dodané systémy využívající OZE nebo systémy KVET	[GJ/rok]
$\eta_{dis,sys,z}$	... Účinnost distribučního systému příslušného energetického systému v z-té zóně	[%]
$Q_{nd,z}$	... Potřeba energie v z-té zóně	[GJ/rok]
$\eta_{em,sys,z}$	... Účinnost sdílení energie příslušného en. systému v z-té zóně	[%]

Výpočtové schéma [1]



Tato užitečná energie zajišťující vytápění, chlazení, větrání, osvětlení a přípravu teplé vody v předepsaném množství a kvalitě zahrnuje účinnosti technických zařízení, vzniklé ztráty, pomocnou energii a využitelné zisky. Její potřeba se stanovuje pro **standardizovaný provoz budovy** vycházející z legislativních požadavků a jednotné klimatické podmínky. **Celková spotřeba dodané energie „EP“ [GJ/rok]** se získá sečtením dílčích spotřeb energií energetických systémů pro každou zónu za všechny časové intervaly v roce (měsíce).

$$EP = Q_{fuel} = Q_{fuel,H} + Q_{fuel,C} + Q_{fuel,F} + Q_{fuel,W} + Q_{fuel,Aux} + Q_{fuel,L} - Q_{el,PV} - Q_{el,CHP}$$

Schéma výpočtu celkové roční dodané energie [1]

	Dílčí dodaná energie	Dodaná pomocná energie	Energie z OZE Elektrická	Celkem
Vytápění	$Q_{fuel,H}$	$Q_{Aux,H}$		$Q_{fuel} = EP$
Chlazení	$Q_{fuel,C}$	$Q_{Aux,C}$	$Q_{el,PV}$	
Větrání	$Q_{fuel,F,Hum} + Q_{Aux,F}$		+	
Teplá voda	$Q_{fuel,W}$	$Q_{Aux,W}$	$Q_{el,CHP}$	
Osvětlení	$Q_{fuel,L}$			

Pro vzájemné porovnání energetické náročnosti budov stejného typu je stanovena **měrná roční spotřeba energie budovy EP_A [kWh·m⁻²·rok⁻¹]**, kterou lze vyjádřit vztahem

$$EP_A = 277,8 \cdot \left(\frac{EP}{A_f} \right)$$

kde:

EP	... Celková roční dodaná energie	[GJ/rok]
A_f	... Celková podlahová plocha budovy ⁵	[m ²]

[1]

A.3.1.1.1 STANDARDIZOVANÉ UŽÍVÁNÍ A ZÓNOVÁNÍ BUDOVY

Jedině při společném základu a stejných okrajových podmínkách provozu lze mezi sebou transparentně a jednotně porovnávat různé budovy pomocí bilančního výpočtu celkové dodané energie do budovy. Jednotná identifikace budovy, nutná pro zajištění stejných okrajových podmínek, znamená určení:

- lokality budovy
- vnějších klimatických podmínek
- orientace budovy vůči světovým stranám a okolní zástavbě
- stavební, materiálové a dispoziční řešení budovy
- typu budovy, na němž závisí stanovení **standardizovaných** (předpokládaných) **podmínek užívání**, probíhajících v souladu se standardizovanými podmínkami vnitřního a venkovního prostředí podle platných norem, souvisejících legislativních předpisů a hygienických standardů (teplota, vlhkost, výměna vzduchu, větrání)

Z hlediska výpočtu celkové dodané energie nelze budovu vždy považovat za homogenní celek. Spotřeba energie jednotlivých částí budovy se může lišit v závislosti na

⁵ jedná se o plochu všech podlaží vymezenou mezi vnějšími stěnami

okrajových podmínkách dané části. Z tohoto důvodu je budova rozdělena na jednotlivé **zóny**, ohraničené systémovou hranicí zóny. Součtem spotřeb energie jednotlivých zón se následně stanoví celková dodaná energie.

Zóny se navzájem liší svou funkcí, provozem a podmínkami vnitřního prostředí. Podle využití zóny se odvíjejí požadavky definující standardizované užívání budovy pro potřeby stanovení ENB:

- rozsah vnitřních provozních teplot
- relativní vlhkost
- výměna vzduchu na základě měrné jednotky (m³, osoba atd.)
- typické vnitřní tepelné zisky
- doba využití během dne, týdne a případné delší odstávky provozu (prázdniny, dovolené)
- útlumové provozu
- počet osob

Pokud má část budovy stejný profil užívání, ale liší se v jiné oblasti, například ve stavební části, dispozici, energetických systémech, využití atd., je třeba budovu rozdělit na potřebný počet zón. Budova nebo její část se nemusí dále dělit, pokud:

- je zásobována ze stejné skladby energetických systémů budovy
- má stejný profil užívání v souladu se standardizovanými podmínkami vnitřního a venkovního prostředí a provozu
- splňuje další specifické požadavky na zónování dané příslušnými technickými normami

V případě **jednozónového přístupu** je posuzovaná budova hodnocena jako jedna zóna a neuvažuje se existence vnitřních dělících konstrukcí. Podle přístupu k hranicím mezi jednotlivými zónami se provede zjednodušený nebo podrobný výpočet.

ZJEDNODUŠENÝ VÝPOČET

Nebere se v úvahu vzájemné tepelné spolupůsobení zón. Zóny jsou odděleny adiabatickou konstrukcí.

Příklad užití: Požadavky jednotlivých zón jsou zajišťovány stejnými energetickými systémy a není nutné znát potřebu energie jednotlivých dílčích zón, ale budovy jako celku.

PODROBNÝ VÝPOČET

Bere se v úvahu vzájemné tepelné spolupůsobení zón. Je proto nutné vyčíslit tepelné toky mezi zónami. Metoda výpočtu pro vícezónové budovy vychází z normy ČSN EN ISO 13790 (norma je velmi náročná pro ruční výpočet a hodí se spíše pro zpracovatele výpočetních programů pro EHB).

Příklad užití: Požadavky jednotlivých zón jsou zajišťovány různými energetickými systémy, nebo v případě, kdy je část budovy pouze vytápěna a další část vytápěna i chlazena. Je tedy nutné znát potřebu energie jednotlivých dílčích zón.

Většina budov, zejména obytných, je hodnocena jako minimálně dvouzónová díky uplatnění požadavku na teplotní zónování. ČSN EN ISO 13790 uvádí, že při celkově vytápěném objektu dělení na zóny není nutné, pokud:

- se požadované teploty mezi teplotními zónami vzájemně neodlišují o více než 4 K
- se dá předpokládat, že poměry tepelných ztrát a zisků se navzájem odlišují o méně než 0,4 (například mezi severní a jižní zónou)
- jsou dveře mezi teplotními zónami pravděpodobně často otevřené

V uvedených situacích platí postup výpočtu pouze pro jednu zónu, i v případě, kdy požadované teploty nejsou stejné. Pro výpočet vnitřní teploty se použije vztah

$$\theta_i = \frac{\sum H_z \cdot \theta_{iz}}{\sum H_z}$$

kde:

H_z	... Měrná tepelná ztráta zóny z	[W/K]
θ_{iz}	... Požadovaná teplota zóny z	[°C]

[1]

A.3.1.2 METODIKA VÝPOČTU ENB V ČR

Energetickou náročnost budovy lze stanovit dvěma způsoby:

A) Podle vyhlášky o energetické náročnosti budov (ČR)

Tento způsob je vhodný zejména pro účely vstupního hodnocení (nové budovy i poprvé hodnocené stávající budovy) a analytického hodnocení, při přípravě změn dokončených budov.

B) Operativním způsobem (některé členské země EU)

Používá se při hodnocení stávajících budov. Tento způsob vychází z využití stávající spotřeby energií, která se porovnává s referenční budovou. Problémem souvisejícím s touto metodou je stanovení absolutní hodnoty ENB „EP“ (podle referenční budovy) a následné zařazení do třídy ENB. Jako nejproblematictější se ukázal tzv. benchmarking, neboli nastavení porovnávacích hodnot a ukazatelů u stávajících budov. Citlivost operativního hodnocení závisí na chování uživatelů budovy, které prakticky není možné zpětně sledovat (vyklučuje jednotný požadavek na standardizované užívání budovy) a na vnějších meteorologických podmínkách ve sledovaném období. V ČR je tento způsob používán **pouze při energetickém auditu**, kdy je hodnocena konkrétní budova a je tedy možné postihnout všechny vlivy působící na budovu.

Výpočetní metodika ENB je bilanční hodnocení budovy, tedy výpočet **celkové roční dodané energie [GJ/rok]** potřebné na vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení při standardizovaném užívání. Pro porovnání budov stejného typu se udává **měrná roční spotřeba energie [kWh·m⁻²·rok⁻¹]**. Díky tomu lze hodnocenou budovu zařadit do příslušné kategorie energetické náročnosti (A – velmi úsporná až G – mimořádně nevhodná, nízkoenergetická, pasivní a podob.). Výpočet v principu probíhá ve dvou krocích:

- stanovení potřeby energie
- stanovení spotřeby energie, vycházející ze stanovené potřeby energie

[1]

A.3.1.2.1 INTERVALOVÝ VÝPOČET S HODINOVÝM KROKEM

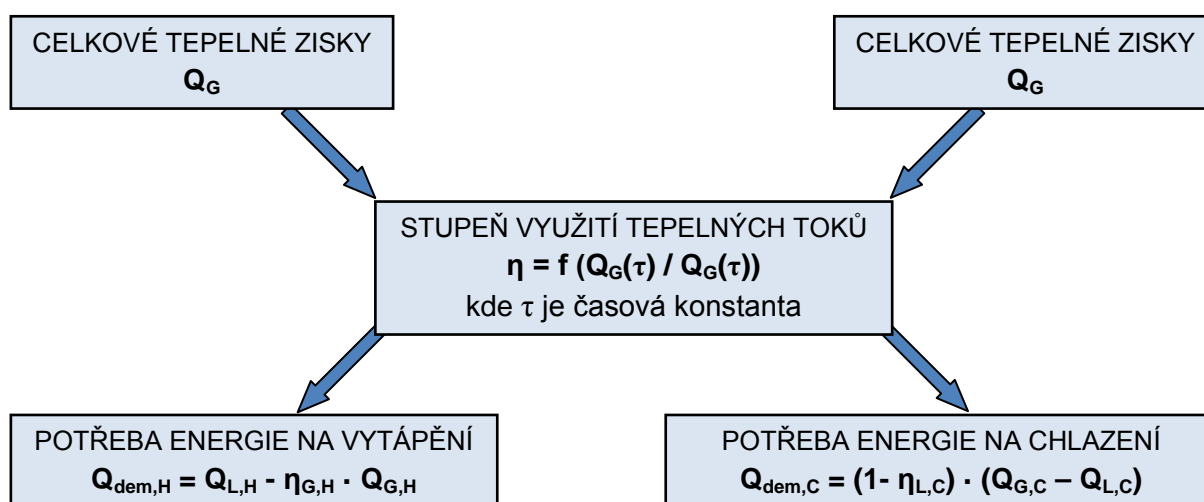
Měsíční interval není možné použít ve všech případech. Například při výpočtu potřeby energie pro systém chlazení umístěný v budově. Pro výpočet potřeby energie **pro vytápění** v topném období se používá **denostupňová** metoda a respektují se okrajové podmínky pro vytápění budovy, zatímco pro výpočet potřeby energie **pro chlazení** se používá **hodinostupňová** metoda a respektují se okrajové podmínky pro chlazení budovy a dynamické chování budovy.

Dynamický vliv tepelných zisků je ve výpočtu zohledněn prostřednictvím stupně využití tepelných toků. Ten je definován pomocí poměru celkové tepelné bilance, zahrnující tepelné ztráty prostupem a větráním za daný j-tý časový úsek a z-tou zónu, k celkovým tepelným ziskům za daný j-tý časový úsek a z-tou zónu. Stupeň (účinnost) využití tepelných zisků určuje výši tepelných toků (zisky nebo ztráty), využitelných vzhledem k celkové energetické bilanci dané zóny a je přímo úměrný tepelné setrvačnosti budovy. Ta závisí na vnitřní tepelné kapacitě zabudovaných konstrukcí⁶, které mohou být lehké, střední nebo těžké. Časová konstanta reprezentuje dobu reakce budovy na změnu okolních podmínek.

V prvním kroku výpočtu se stanoví potřeba energie budovy nebo zóny na vytápění a chlazení pro dané vstupní okrajové podmínky (vnější a vnitřní podmínky, stavebně technické a dispoziční řešení budovy). Zohledňují se tepelně technické vlastnosti konstrukcí, tepelné ztráty prostupem a větráním, tepelné zisky od vnitřních zdrojů a pasivní solární zisky.

V druhém kroku se z dílčích potřeb energie určí spotřeba dodané energie EP (vychází ze skladby a kombinace energetických zařízení), zajišťující pokrytí vznikajících potřeb energie v budově. Do výpočtu je zahrnuta účinnost přeměny energie zdroje $\eta_{\text{gen.sys}}$ (např. u plynového kotle účinnost přeměny energetického obsahu zemního plynu na teplo), ztráty vzniklé při rozvodu energie distribuční soustavou do místa spotřeby $\eta_{\text{dis.sys,z}}$ (např. úroveň izolace, hydraulické vlastnosti, vyvážení distribuční sítě), účinnost systémů sdílení energie $\eta_{\text{em.sys,z}}$ (např. desková otopná tělesa, teplovzdušná jednotka), a další vlivy snižující či zvyšující účinnost systémů a tedy i míru potřeby dílčích energií (například rekuperace nebo využití cirkulační vzduchu snižující potřebný výkon ohříváče VZT jednotky).

Princip výpočtu potřeby energie v zóně [1]



[1]

⁶ vnitřní tepelná kapacita je obsažena v příloze vyhlášky č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov

A.3.1.3 KLASIFIKACE BUDOVY DO TŘÍD ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Klasifikace se provádí přiřazením transparentního ukazatele energetické náročnosti (podle výpočtu ENB), vypovídajícím o aktuálním stavu budovy. Na základě ukazatele je pak budova zařazena do jedné ze sedmi tříd A-G energetické náročnosti (dále jen EN). Toto jednoznačné zařazení má funkci jasného hodnocení budovy a má být srozumitelné pro investora, který je v mnoha případech laik. Zařazení může proběhnout dvěma způsoby.

ZATŘÍDĚNÍ DLE VYHLÁŠKY Č. 148/2007 SB., O ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV

Zatřídění probíhá na základě absolutních hodnot měrné spotřeby dodané energie vztahované na jednotku užité plochy objektu [$\text{kWh/m}^2\text{rok}^{-1}$]. Aby budova vyhověla požadavkům vyhlášky, musí dosáhnout minimálně na třídu A-C. Ostatní třídy D-G jsou kvůli nevhodnému hospodaření s energiemi vyhodnoceny jako nevyhovující. Hodnoty uvedené pro třídu C jsou pro vyjmenované druhy budov ve vyhlášce hodnoty referenční.

Vyhláška zná **9 kategorií** budov. Kategorie se navzájem odlišují podmínkami provozu, účelem, stavebním řešením a svými nároky. Stanovené druhy budov vycházejí z ustanovení směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. Druhy budov uvedené vyhláškou jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1: Klasifikační třídy EN [$\text{kWh/m}^2\text{rok}^{-1}$] pro hodnocení ENB [1]

Druh budovy	A	B	C	D	E	F	G
Rodinný dům ⁷	< 51	51 – 97	98 – 142	143 – 191	192 – 240	241 – 286	> 286
Bytový dům ⁸	< 43	43 – 82	83 – 120	121 – 162	163 – 205	206 – 245	> 245
Hotel a restaurace	< 102	102 – 200	201 – 294	295 – 389	390 – 488	489 – 590	> 590
Administrativní budova	< 62	62 – 123	124 – 179	180 – 236	237 – 293	294 – 345	> 345
Nemocnice	< 109	109 – 210	211 – 310	311 – 415	416 – 520	521 – 625	> 625
Budova pro vzdělávání	< 47	47 – 89	90 – 130	131 – 174	175 – 220	221 – 265	> 265
Sportovní zařízení	< 53	53 – 102	103 – 145	146 – 194	195 – 245	246 – 297	> 297
Budova pro velkoobchod a maloobchod	< 67	67 – 121	122 – 183	184 – 241	242 – 300	301 – 362	> 362

nebo jiný druh budovy (skladová, kulturní, průmyslová budova, zákaznická střediska odvětví vodního hospodářství, energetiky, dopravy a telekomunikací a budovy veřejné správy).

⁷ rodinný dům je podle definice zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu ve znění pozdějších předpisů: „stavba pro bydlení, která svým stavebním uspořádáním odpovídá požadavkům na rodinné bydlení a v níž je více než polovina podlahové plochy místností a prostorů určena pro bydlení; rodinný dům může mít nejvýše tři samostatné byty, nejvýše dvě nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží a podkroví“

⁸ bytový dům je podle definice zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu ve znění pozdějších předpisů: „stavba pro bydlení, ve které převažuje funkce bydlení“

Potenciální problém této metody spočívá v způsobu stanovení měrné spotřeby dodané energie. Při vztahování spotřeby dodané energie na jednotku užité plochy objektu je třeba zachovat komplexní vnímání hodnocení ENB. Příkladem je případ, kdy je budova rozdělena na jednotlivé zóny, jejichž dílčí potřeby energie jsou různé. Zachováním metodiky výpočtu se stanoví měrná spotřeba energie tak, že se tyto jednotlivé dílčí energie sečtou a celková hodnota roční dodané energie ($EP = Q_{fuel}$) se podělí celkovou podlahovou plochou budovy. Při tom může dojít k zjevnému zkreslení ENB.

$$EP_A = 277,8 \cdot \left(\frac{EP}{A_f} \right)$$

Zkreslení můžeme předejít, pokud je měrná spotřeba energie budovy spočtena po částech

$$EP_A = \frac{Q_{fuel,H}}{A_H} + \frac{Q_{fuel,C}}{A_C} + \frac{Q_{fuel,F}}{A_F} + \frac{Q_{fuel,W}}{A_c} + \frac{Q_{fuel,Aux}}{A_c} + \frac{Q_{fuel,L}}{A_c} - \frac{Q_{el,PV}}{A_c} - \frac{Q_{el,CHP}}{A_c}$$

Tento přístup rozlišuje jednotlivé funkční celky (zóny) a **dílčí měrné spotřeby energie se vztahují jen k těm plochám, které jsou daným energetickým systémem skutečně kryty**, ne paušálně k celkové ploše, jako v předchozím případě, kdy by budova s velkou podlahovou plochou byla hodnocena lépe než srovnatelná budova s identickými energetickými systémy a o něco menší podlahovou plochou.

[1]

ZATŘÍDĚNÍ DLE EN 15217

Probíhá na základě porovnávacího klasifikačního ukazatele „CI“. Hodnocená budova je porovnávána se svým protějškem, tzv. „referenční budovou“ a zatříděna do příslušné třídy EN. Tento způsob připouští vyhláška pro budovy, které nelze klasifikovat podle výše uvedeného způsobu ve vyhlášce o energetické náročnosti budov.

Referenční budova (představuje etalon ve své třídě) je stejného druhu, tvaru a velikosti, má stejné vnitřní uspořádání, druh provozu i užívání jako hodnocená budova. Systémy vytápění, chlazení, větrání, klimatizace, přípravy teplé vody (dále jen TV), osvětlení a pomocná energie se započítají do celkové dodané energie, jen pokud jsou obsaženy i v hodnocené budově. Výpočet energetické náročnosti referenční budovy probíhá podle stejné metodiky paralelně s výpočtem energetické náročnosti hodnocené budovy. Referenční budova je charakterizována pouze požadovanými referenčními hodnotami (vlastnosti budovy dané právními předpisy a technickými normami). Postup určení třídy EN dané budovy lze shrnout do následujících kroků:

- určí se druh budovy (například bytový dům)
- zvolí se referenční hodnota předepsané (požadované) energetické náročnosti⁹ R_r v souladu s určeným druhem budovy
- zvolí se referenční hodnota stavebního fondu¹⁰ R_s v souladu s určeným druhem budovy
- stanoví se hodnota energetická náročnost budovy EP
- třída energetické náročnosti se zvolí podle pravidla:

Tabulka 2: Pravidla pro volbu třídy EN [1]

třída A, je-li		EP < 0,5 · R_r
třída B, je-li	0,5 · R_r ≤	EP < R_r
třída C, je-li	R_r ≤	EP < 0,5 · (R_r + R_s)
třída D, je-li	0,5 · (R_r + R_s) ≤	EP < R_s
třída E, je-li	R_s ≤	EP < 1,25 · R_s
třída F, je-li	1,25 · R_s ≤	EP < 1,5 · R_s
třída G, je-li	1,5 · R_s ≤	EP

Tento postup **eliminuje problémy**, vyskytující se při zatřídování budovy do třídy EN podle měrné jednotky – podlahové plochy, jako se tomu děje při předchozím způsobu. Referenční budova požadované energetické náročnosti R_r musí být umístěna na rozmezí tříd B a C. Referenční budova stavebního fondu R_s musí být umístěna na rozmezí tříd D a E.

Pro podmínky ČR bylo následné **zařazení do tříd EN nastaveno podle klasifikačního ukazatele CI**. Výpočet CI závisí na porovnání EN hodnocené budovy s celkovou roční dodanou energií:

$$\text{je-li } EP \leq R_{rq}, \text{ pak} \quad CI = EP / R_{rq}$$

⁹ referenční hodnota předepsané (požadované) energetické náročnosti odpovídá hodnotě typických požadavků předpisů energetické náročnosti pro nové budovy [GJ]

¹⁰ referenční hodnota stavebního fondu odpovídá hodnotě energetické náročnosti dosahované přibližně 50 % národního nebo regionálního stavebního fondu – střední hodnota [GJ]

$$\text{je-li } EP > R_{rq} \text{ a } EP \leq R_s, \text{ pak } CI = 1 + (EP - R_{rq}) / (R_s - R_{rq})$$

$$\text{je-li } EP > R_s, \text{ pak } CI = 1 + EP / R_s$$

kde:

CI	... klasifikační ukazatel	[-]
EP	... Energetická náročnost hodnocené budovy	[GJ]
R_{rq}	... Celková roční dodaná energie požadovaná	[GJ]
R_s	... Celková roční energie stávající úrovně	[GJ]

Podle vypočteného klasifikačního ukazatele CI, zaokrouhleného na 2 desetinné místa, se hodnocená budova zařadí do třídy EN

Tabulka 3: Klasifikační třídy EN na základě ukazatele CI pro hodnocení ENB [1]

Hranice klasifikačních ukazatelů CI	Třída EN budovy	Slovní hodnocení EN budovy
$CI \leq 0,3$	A	Velmi úsporná
$0,3 < CI \leq 0,6$	B	Úsporná
$0,6 < CI \leq 1,0$	C	Vyhovující
$1,0 < CI \leq 1,5$	D	Nevyhovující
$1,5 < CI \leq 2,0$	E	Nehospodárná
$2,0 < CI \leq 2,5$	F	Velmi nehospodárná
$CI > 3,0$	G	Mimořádně nehospodárná

Zatřídění podle klasifikačního ukazatele CI bylo použito v Národním kalkulačním nástroji (NKN) sloužícím k hodnocení ENB. Dále se tento způsob prosadil při **hodnocení kvality obálky budovy („energetický štítek obálky budovy“)** podle ČSN 730540-2. Porovnávacím ukazatelem je průměrný součinitel prostupu tepla obálkou U_{em} , na základě kterého je stanovena hodnota CI a následné hodnocení obálky budovy.

Následující tabulka je uvedena pro doplnění, kategorie jsou určeny pouze energií potřebnou k vytápění.

Tabulka 4: Přehled výstavby podle energetické náročnosti [6]

Běžná výstavba v 70. - 80. letech	Současná novostavba	Nízkoenergetický dům	Pasivní dům	Nulový dům, dům s přebytkem tepla
Charakteristika				
zastaralá otopná soustava, zdroj tepla je velkým zdrojem emisí; větrá se pouhým otevřením oken, nezateplené, špatně izolující konstrukce, přetápí se	klasické vytápění pomocí plynového kotle o vysokém výkonu, větrání otevřením okna, konstrukce na úrovni požadavků normy	otopná soustava o nižším výkonu, využití obnovitelných zdrojů, dobře zateplené konstrukce, řízené větrání	pouze teplovzdušné vytápění s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce	parametry min. na úrovni pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů
Potřeba tepla na vytápění – podle normy ČSN 730540 [kWh/(m²rok)]				
většinou nad 200	80 - 140	méně než 50	méně než 15	méně než 5

[1]

A.3.1.4 PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) ukládá vyhláška č. 148/2007 Sb. vypracovávat od 1. ledna 2009. Bývá zaměňován s „energetickým štítkem obálky budovy“ a s „energetickým průkazem budovy“. Tyto dva dokumenty však postihují hodnocení ENB pouze zčásti, a to z hlediska potřeby tepla na vytápění.

Energetický průkaz budovy podle zrušené vyhlášky č. 291/2001 Sb. (§ 9), byl od roku 2001 součástí dokumentace pro stavební povolení. Dnes již plně nahrazený předchůdce průkazu energetické náročnosti. Formou formuláře popisně hodnotil budovu a obsahoval měrnou roční potřebu tepla na vytápění. **Dnes již není vyžadován.**

Energetický štítek obálky budovy podle ČSN 730540-2 se graficky podobá průkazu energetické náročnosti. Obsahuje však **pouze tepelně technické vlastnosti obálky** vytápěné části budovy prostřednictvím parametru průměrného součinitele prostupu tepla obálkou U_{em} . Vyjadřuje dodržení normou požadovaných tepelně technických vlastností parametrů stavby. I když bývá občas kvůli přehledu vyžadován, není povinnou součástí stavební dokumentace.

Průkaz energetické náročnosti oproti nim **komplexně hodnotí skutečnou provozní ENB**. Jeho součástí je protokol průkazu ENB, obsahující popis budovy ze stavební i tepelně technické stránky a parametry jednotlivých energetických systémů budovy (dílní spotřeby energie) včetně celkové spotřebované energie. V další části je formou štítku graficky znázorněna třída ENB pomocí barevně rozlišené stupnice a třída ENB po provedení možných energeticky úsporných opatření. Platnost průkazu je 10 let.

Díky energetickému průkazu mají majitelé i budoucí vlastníci budov ucelenější představu o tom, jaké náklady jsou s provozováním objektu spojeny. Navíc je vyvíjen tlak, aby byly navrhované domy šetrnější k životnímu prostředí. Pro ČR to znamená snížení spotřeby energie a popřípadě i menší závislost na výkyvech cen okolních zemí, ze kterých energie dovážíme.

Průkaz energetické náročnosti budovy může zpracovávat a **vystavit pouze osoba** definovaná zákonem č. 406/2000 Sb. § 10, tedy energetický auditor nebo osoba autorizovaná podle zvláštního právního předpisu v oborech pozemní stavby, technologická zařízení staveb a technika prostředí staveb. Oprávněná osoba pro zpracování energetického průkazu - průkazu ENB musí být přezkoušená Ministerstvem průmyslu a obchodu (dále jen MPO) podle prováděcího právního předpisu z podrobností vypracování energetického průkazu náročnosti budov.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY		
Typ budovy, místní označení Adresa budovy Celková podlahová plocha:	Hodnocení budovy	
	stávající stav	po realizaci doporučení
Měrná vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m ² rok	XY	XY
Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ	XY	XY
Podíl dodané energie připadající na:		
Vytápění	Chlazení	Větrání
%	%	%
Doba platnosti průkazu		
Průkaz vypracoval	Jméno a příjmení Osvědčení č.	



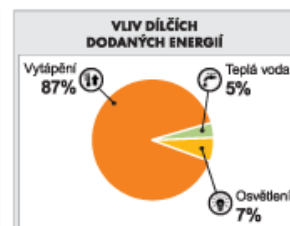
PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo:	V Sádce 871	Platnost do:	1. 1. 2023
PSC, místo:	664 53 Újezd u Bma	Datum vyhotovení:	1. 1. 2013
Typ budovy:	Rodinný dům	Jméno a příjmení zpracovatele:	
Plocha obálky budovy:	418 m ²	Podpis:	
Obestavěný prostor:	476 m ³	Kontakt:	
Objemový faktor tvaru A/V:	0,88 m ³ /m ²	Osvědčení č.:	
Energetická vztažná plocha:	138 m ²		

VÝSLEDNÉ HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY	
	Stav / Návrh
Velmi úsporná	
	A
	B
	C
	D
	E
	F
	G
Mimořádně ne hospodárná	
	kWh / (m ² ·rok)
Celková dodaná energie	51,1 MWh / 9,4 MWh
Celková primární energie	153,3 MWh / 14,1 MWh
Podíl obnoviteln. zdrojů energie	0 % / 21 %
Klasifikační třída	A B C D E F G → E
Množství emisí CO ₂	59,7 tuny/rok / 3,2 tuny/rok

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY	
Vnější stěny:	zateplení vnějších stěn kontaktním zateplovacím systémem 26 cm
Střeška:	nová skladba střechy se zateplovacím systémem 34 - 40 cm (vyspádovat)
Podlaha:	ponechat stávající stav
Okna a dveře:	nové otvorové výplně s U _t < 0,8 [W/m ² ·K], předřazená montáž do izolace
Otopný systém:	výměna et. vyt. za kond. plyn. kotlů nebo automat. kotlů na dřev. peletky
Příprava teplé vody:	dva solární kolektory (celkem 4 m ²), akumulární nádrž 300 litrů
Větrání:	nový systém ruceného větrání s rekuperační jednotkou
Chlazení / klimatizace:	nebude využito, zastřežení jehličk oken pergolou
Osvětlení:	možná výměna stávajícího osvětlení za LED zdroje



DÍLČÍ HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY						
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava RH	Osvětlení
	U _o W / (m ² ·rok)			Díleč dodaná energie kWh / (m ² ·rok)		
Velmi úsporná						
	0,34	40		2		8
	1,01	323				20
Mimořádně ne hospodárná						
Klasifikační třída	A B C D E F G	A B C D E F G	A B C D E F G	A B C D E F G	A B C D E F G	A B C D E F G

Obrázek 2: Stará (nahore) a pracovní verze nové (dole) podoby Průkazu energetické náročnosti budov (PENB) podle vyhlášky č. 148/2007 Sb. [7], [8]

A.3.1.4.1 KDY JE POTŘEBA? (POŽADAVKY NA VYSTAVENÍ PRŮKAZU ENB)

Od 1. ledna 2009 platí požadavek, aby projektová dokumentace pro ohlašované stavby podle § 104 a pro stavební řízení podle § 109 zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu v rozsahu vyhlášky č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, v části **B Souhrnná technická zpráva obsahovala** podle § 6a zákona č. 177/2006 Sb., splnění požadavků **na energetickou náročnost budov** a stanovení ENB (to znamená povinnost vypracovat průkaz energetické náročnosti budovy) podle přílohy č. 4 vyhlášky o energetické náročnosti budov.

Autorizovaný inženýr může zpracovat posouzení ENB podle vyhlášky č. 148/2007 Sb. při zachování jednotného tvaru protokolu průkazu dle přílohy k vyhlášce. V tomto případě se ale nejedná o průkaz podle odst. 2 § 6a zákona č. 177/2006 Sb., ale **pouze o součást technické zprávy**.

Legislativa stanovuje stavebníkovi, vlastníkovi budovy nebo společenství vlastníků jednotek při pořízení stavby nebo její změně následující povinnosti:

- splnění požadavků na energetickou náročnost budovy – vyhláška č. 148/2007 Sb.
- splnění porovnávacích ukazatelů (požadovaných tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí, vlastnosti a provoz TZB, osvětlení) – vyhláška č. 148/2007 Sb.
- splnění požadavků stanovených harmonizovanými českými technickými normami

Splnění požadavků dokládá stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek **Průkazem energetické náročnosti budovy**, který nesmí být starší 10 let a je součástí dokumentace při:

- a) výstavbě nových budov.** Součástí průkazu nové budovy s celkovou podlahovou plochou **nad 1000 m²** musí být i výsledky posouzení technické, ekologické a ekonomické proveditelnosti alternativních systémů vytápění (KVET, dálkové nebo blokové ústřední vytápění či chlazení, decentralizované systémy dodávky energie založené na energii z obnovitelných zdrojů, tepelná čerpadla).
- b) větších změnách stávajících budov** s celkovou podlahovou plochou **nad 1000 m²**, které ovlivňují jejich energetickou náročnost. Větší změny by měly být využity jako příležitost k efektivnímu využití nákladů. Větší změny stavby (opravy, rekonstrukce, modernizace) jsou takové, které se provádějí na více než 25 % celkové plochy obvodového pláště budovy, tzn. jak svislých, tak i vodorovných vnějších ochlazovaných ploch, nebo je-li výchozí součet ovlivněných spotřeb energií větší než 25 % celkové spotřeby energie.
- c) prodeji nebo nájmu budov**, popř. jejich částí v případech, kdy pro tyto budovy nastala povinnost vypracovat průkaz ENB dle předchozích dvou bodů. Směrnice požaduje, aby byl při prodeji nebo pronájmu vlastníkovi nebo vlastníkem potenciálně kupujícímu nebo nájemci **předložen průkaz energetické náročnosti**

Tyto požadavky nemusí být splněny při změně dokončené budovy v případě, že:

- vlastník budovy **se prokáže energetickým auditem**
- **není technicky a funkčně možné** nebo ekonomicky vhodné podmínky splnit s ohledem na životnost budovy nebo její provozní účely, nebo pokud to odporuje požadavkům zvláštního právního předpisu (např. vyhlášce č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči ve znění pozdějších předpisů).
- se jedná o budovu **dočasnou** s plánovanou dobou užívání do 2 let
- se jedná o budovu **experimentální**
- se jedná o budovu s **občasným používáním**, zejména pro **náboženské činnosti**, obytných budov, které jsou určeny k **užívání kratšímu než 4 měsíce v roce**
- se jedná o budovu **samostatně stojící** o celkové podlahové ploše **menší než 50 m²**
- se jedná o budovu **obsahující vnitřní technologické zdroje tepla**
- se jedná o **výrobní budovy v průmyslových areálech, provozovny a neobytné zemědělské budovy s nízkou roční spotřebou energie na vytápění**

Provozovatelé budov využívaných pro účely školství, zdravotnictví, kultury, obchodu, sportu, ubytovacích a stravovacích služeb, zákaznických středisek odvětví vodního hospodářství, energetiky, dopravy a telekomunikací a veřejné správy o celkové podlahové ploše **nad 1000 m²** jsou povinni **umístit průkaz na veřejně přístupném místě v budově.**

Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb klade požadavek na rozsah a obsah projektové dokumentace pro ohlášení stavby uvedené v § 104 odst. 2 písm. a) až d) stavebního zákona, k žádosti o stavební povolení podle § 110 odst. 2 písm. b) stavebního zákona a k oznámení stavby ve zkráceném stavebním řízení podle § 117 odst. 2 stavebního zákona. Pro tyto účely musí část projektové dokumentace D Dokladová část obsahovat:

- a) stanoviska, posudky a výsledky jednání vedených v průběhu zpracování projektové dokumentace
- b) průkaz energetické náročnosti budovy podle zákona o hospodaření energií

[1]

VYBRANÉ ČÁSTI ZE ZÁKONA Č. 318/2012 SB. TÝKAJÍCÍ SE SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI A PRŮKAZŮ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Zákon č. 318/2012 Sb. novelizuje zákon č. 406/2000 Sb. a nabývá účinnosti od 1. ledna 2013.

V případě výstavby nové budovy je stavebník povinen:

- zajistit splnění požadavků na ENB na nákladově optimální úrovni od 1. ledna 2013
- zajistit splnění požadavků na ENB s téměř nulovou spotřebou energie užívané orgánem veřejné moci, jejíž celková energeticky vztažná plocha bude:
 - > 1 500 m² od 1. ledna 2016
 - > 350 m² od 1. ledna 2017
 - < 350 m² od 1. ledna 2018
- zajistit splnění požadavků na ENB s téměř nulovou spotřebou energie pro všechny nové budovy, jejichž celková energeticky vztažná plocha bude:
 - > 1 500 m² od 1. ledna 2018
 - > 350 m² od 1. ledna 2019
 - < 350 m² od 1. ledna 2020
- zajistit posouzení proveditelnosti alternativních dodávek energie

V případě větší rekonstrukce budovy je stavebník povinen:

- zajistit splnění požadavků na ENB pro budovu, nebo měněné stavební nebo měněné technické systémy na nákladově optimální úrovni od 1. ledna 2013
- zajistit posouzení proveditelnosti alternativních dodávek energie
- zajistit stanovení doporučených opatření snižující ENB

Ostatní povinnosti a povinnosti související s provozem budov:

- vybavit vnitřní tepelná zařízení budov přístroji regulující a registrující dodávku tepla
- monitoring spotřeby energie budovy nad 1500 m² užívané orgány státní správy
- nepřekročit měrné ukazatele spotřeby tepla pro ústřední topení a TV
- řídit se pravidly pro vytápění, chlazení a dodávku TV

Požadavky na energetickou náročnost budovy nemusí být splněny:

- u budov s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 50 m²
- u budov, které jsou kulturní památkou, anebo nejsou kulturní památkou, ale nacházejí se v památkové rezervaci nebo památkové zóně¹¹
- u budov navrhovaných a obvykle užívaných jako místa bohoslužeb a pro náboženské účely
- u staveb pro rodinnou rekreaci¹²
- u průmyslových a výrobních provozů, dílenských provozoven a zemědělských budov se spotřebou energie do 700 GJ/rok
- při větší změně dokončené budovy v případě, že stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek prokáže energetickým auditem, že to není technicky nebo ekonomicky vhodné s ohledem na životnost budovy a její provozní účely.

¹¹ zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů

¹² vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů

Požadavky na vytápění a dodávku TV nemusí být splněny:

- rodinné domy a stavby pro rodinnou rekreaci
- pro nebytové prostory za podmínky nepřekročení limitů a neohrožení zdraví
- byty ve společenství vlastníků jednotek pokud odsouhlasí odlišná pravidla - podmínka nepřekročení limitů a neohrožení zdraví a majetku

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek je povinen:

- zajistit zpracování průkazu energetické náročnosti při výstavbě nových budov nebo při větších změnách dokončených budov
- zajistit zpracování průkazu u budovy užívané orgánem veřejné moci
 - od 1. července 2013 s celkovou energeticky vztažnou plochou < 500 m²
 - od 1. července 2015 s celkovou energeticky vztažnou plochou > 250 m²
- zajistit zpracování průkazu pro užívané bytové domy nebo administrativní budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou:
 - > 1 500 m² do 1. ledna 2015
 - > 1 000 m² do 1. ledna 2017
 - < 1 000 m² do 1. ledna 2019
- u budovy užívané orgánem veřejné moci v případě, že pro ni nastala povinnost zajistit zpracování průkazu podle odstavce 1 písm. a) až c), umístit průkaz v budově podle prováděcího právního předpisu,

Vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek je povinen:

- zajistit zpracování průkazu:
 - při prodeji budovy nebo ucelené části budovy
 - při pronájmu budovy
 - od 1. ledna 2016 při pronájmu ucelené části budov

Vlastník budovy je povinen:

- zajistit uvedení ukazatelů energetické náročnosti uvedených v průkazu v informačních a reklamních materiálech při:
 - prodeji jednotky,
 - od 1. ledna 2016 pronájmu jednotky.

A.3.1.5 ZAHRANIČNÍ METODY ENERGETICKÉHO HODNOCENÍ BUDOV

Bývají vyžadovány zahraničními investory, kteří potřebují mít možnost mezinárodního srovnání parametrů budovy.

Velmi rozšířená je například metoda LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) vyvíjená od roku 1994 v USA. Formou bodovacího systému hodnotí i dopad budovy na životní prostředí. Mezi dalšími metodami lze uvést např. BREEAM, Estidama, Green Mark, Green Star Greenway, Passivhaus, QSAS a další.

Tyto metody energetického hodnocení budov však nemají oporu v české legislativě, a tak záleží na rozhodnutí zadavatele, která metoda nejlépe vyhoví jeho požadavkům.

[4]

A.3.1.6 PROGRAMY POUŽÍVANÉ K ENERGETICKÉMU HODNOCENÍ BUDOV

Z důvodů velké náročnosti ručního výpočtu ENB (díky množství a provázání jednotlivých částí) podle vyhlášky č. 148/2007 Sb., zohledňující požadavky dané směrnicí EPDB, vznikla potřeba vytvoření softwaru, který by na základě matematického modelu a příslušného algoritmu, vypočítal hodnoty veličin požadovaných při zpracování Průkazu energetické náročnosti budov.

Pokud chceme mít možnost porovnávat mezi sebou energetickou náročnost jednotlivých budov, je třeba, aby byla vytvořena jednotná „národní metodika výpočtu ENB“, vedoucí k objektivnímu hodnocení budov. Z těchto důvodů je za finanční podpory MPO vyvíjen Národní kalkulační nástroj (NKN).

NKN (FREWARE - AKTUÁLNÍ VERZE 2.066)

Výpočetní nástroj, vytvořený pod vedením Prof. Ing. Karla Kabeleho, CSc. na stavební fakultě ČVUT v Praze, slouží jako pomůcka pro výpočet energetické náročnosti budov ve smyslu zpracování Průkazu energetické náročnosti budov ve formě protokolu a jeho grafického znázornění. Hodnocení probíhá na základě prováděcí vyhlášky č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov k § 6a zákona č. 406/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Výpočetní nástroj je vytvořen v programu Microsoft Excel s využitím programovatelných funkcí pro ošetření některých okrajových vlastností výpočtu. Vzhledem k tomu, že uvedená vyhláška neobsahuje řadu údajů potřebných pro úplný výpočet, byly v NKN tyto údaje a vstupy doplněny podle platných evropských a národních technických norem a předpisů. Jedná se především o vytvoření tzv. standardizovaných profilů užívání a klimatických dat. V případě, že daná oblast není normou popsána, byly použity hodnoty popisující běžnou praxi. Výpočet v NKN probíhá intervalovou metodou s časovým krokem jedné hodiny na dvanácti reprezentativních dnech pro celý rok, kde každý den reprezentuje jeden kalendářní měsíc.

ENERGIE 2011 (KOMERČNÍ SW OD SVOBODA SOFTWARE)

Program ENERGIE 2011 je součástí balíku programů „Stavební fyzika“ vyvíjeného ve spolupráci s doc. Dr. Ing. Zbyňkem Svobodou. Je určen pro výpočet měrné tepelné ztráty a potřeby tepla na vytápění budov. Dle ČSN EN ISO 13790, revidované ČSN 730540-2 a vyhlášky 148/2007Sb. Program vychází z NKN. Umožňuje zpracování Průkazu energetické náročnosti budov ve formě protokolu včetně jeho grafického znázornění. Výpočet probíhá intervalovou metodou s měsíčním časovým krokem. Připravuje se aktualizace programu související s připravovaným vydáním novely vyhlášky 148/2007 Sb.

MODUL ENB 2011 (KOMERČNÍ SW OD PROTECH, spol. s.r.o.)

Modul ENB 2011, vyvíjeného ve spolupráci s Ing. Zdeňkem Ryšavým, slouží ke zpracování Průkazu energetické náročnosti budovy včetně grafického vyjádření, podle vyhlášky č. 148/2007 Sb. Výpočtové postupy vycházejí z metodiky publikované k NKN a byly doplněny o některé postupy z Energie 2011. K jeho fungování je zapotřebí program TV nebo HB od stejné firmy. Od března 2013 bude nahrazen novým modulem Průkaz 2013 umožňujícím hodnocení budov podle novelizace stávající vyhlášky č.148/2007 Sb., která by měla nabýt účinnosti od 1. 4. 2013.

[9], [10], [11]

A.3.1.7 LEGISLATIVA EVROPSKÉ UNIE SOUVISEJÍCÍ S ENB

Díky členství naší země v EU (od 1. 5. 2004) je legislativa ČR provázána s evropskou. Jednou z aktuálních priorit Evropského společenství je komplexní úspora energie. V mnoha odvětvích, zejména v oblastech s významným potenciálem úspor energie:

- konečné využití energie a jeho efektivita
- energetická účinnost budov
- eko-design
- štítkování spotřebičů (budova je v tomto smyslu také spotřebič)
- kombinovaná výroba tepla a elektřiny

Právě provozní energetická náročnost budov je odvětví, ve kterém lze dosáhnout při přijatelných nákladech, významných úspor energie. Celkovou spotřebu energie v EU lze rozdělit do tří kategorií: doprava, průmysl a budovy. Budovy se na celkové spotřebě podílejí až 40 %. Dvě třetiny energie využitá v budovách představují domácnosti. Jejich podíl se stále zvyšuje v souvislosti s narůstající životní úrovní. S ní je spojeno větší využívání vytápěcích a klimatizačních systémů. Komplexní přístup zahrnuje jak známá opatření vedoucí k energetickým úsporám na vytápění, tak skloubení všech systémů v budově ovlivňujících její provozní energetickou náročnost – dodanou energii do budovy.

Cíl 20-20-20, vyjadřuje ekonomický i ekologický záměr EU snížit spotřebu energie o 20 %, snížení emisí skleníkových plynů o 20 % a zvýšení podílu OZE na 20 % celkové výroby energie v Evropě v porovnání s rokem 1990. Pro podporu lepšího prosazování této myšlenky v členských zemích přijala Evropská komise (dále jen EK) příslušné směrnice a dokumenty vztahující se k úsporám energie v budovách:

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES o energetické náročnosti budov (EPDB)** – základní prováděcí dokument, který určuje minimální požadavky norem na úsporu energie, vychází z Kjótského protokolu. **V roce 2010 bylo vydáno přepracované znění této směrnice, kterou nahrazuje v plném rozsahu pod označením 2010/31/EU.** Nová směrnice upravuje původní a zpřísňuje a definuje nové administrativní nástroje k nížení ENB a zavádí pojem „budova s téměř nulovou spotřebou energie“.
- **Zelená kniha** (2000 a 2005) – Evropská strategie pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii.
- **Akční plán EK pro energetickou účinnost** ze dne 19. října 2006 – strategický dokument, který rámcově stanovuje cíle v oblasti úspory energie v časovém horizontu do roku 2020 a soubor opatření, kterými ji lze dosáhnout. Nejaktuálnější, vychází ze Zelené knihy.

Zájem EU o změnu v oblasti energetiky budov je evidentní a ambiciózní. Je třeba, aby legislativní opatření pomohla k jeho naplnění a nikoliv k pouhému zvýšení administrativní zátěže.

[1]

A.3.1.7.1 EVROPSKÁ SMĚRNICE 2010/31/EU (EPBD)

Udává pro jednotlivé členské státy společné požadavky na obecný způsob hodnocení ENB, kontrolu a stanovení provozní spotřeby energie v budovách. Určuje základní rámec opatření pro snížení spotřeby energie v budovách a uvádí doporučení vládám členských zemí pro naplnění uvedených cílů. Cílem směrnice je stanovení, následné dodržování a kontrola požadavků na ENB ve vazbě na vnější klimatické a místní podmínky země, požadavky na vnitřní prostředí a efektivnost nákladů provozu budov. Snížení celkové ENB neznámá nutně celkovou rekonstrukci budovy, můžeme se omezit pouze na určitá opatření s velkým vlivem na ENB efektivních z hlediska nákladů. Směrnice poukazuje na hospodaření s energií s ohledem na intenzitu využití budov, apod.

Ve srovnání s původní směrnicí je mimo jiné upravena **definice termínu ENB** jako „*vypočítané nebo změřené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s typickým užíváním budovy, což mimo jiné zahrnuje energii používanou pro vytápění, chlazení, větrání, teplou vodu a osvětlení.*“ Termín standardizované užívání je nahrazen typickým užíváním a dále jsou modifikována hlediska, zohledněná v metodě pro stanovení ENB. Druhou důležitou změnou je povinnost vyjádřit **energetickou náročnost také číselným ukazatelem spotřeby primární energie**¹³.

Provedení požadavků se v jednotlivých zemích EU může lišit, neboť se prosazují prostřednictvím legislativních předpisů na národních úrovních. Základní body vycházející z revidované směrnice EPBD jsou:

- **uplatnění minimálních požadavků na energetickou náročnost budov a při rekonstrukcích také na jejich ucelené části, prvky i technické systémy**, při zachování optimální nákladové úrovně (článek 2)
- **přijetí metody výpočtu** integrované ENB (čl. 3)
- stanovení **minimálních požadavků** na energetickou náročnost **nových budov** (čl. 6)
- stanovení **minimálních požadavků** na energetickou náročnost velkých již **stávajících** budov, u kterých má proběhnout rozsáhlejší rekonstrukce (čl. 7)
- **budovy s téměř nulovou spotřebou energie**¹⁴ – požadavek na nové budovy státní správy od 1. 1. 2019 a na všechny nové budovy od 1. 1. 2021. I přes velmi ambiciózní cíle jsou termíny použité pro definici velmi obecné a bude záležet na členských zemích, jakým způsobem směrnicí pojmu. (čl. 9)
- **certifikace ENB, tzn. vypracování průkazů ENB** kvalifikovanými odborníky a jejich využívání, kde přibývá povinnost uvádět v průkazu referenční hodnoty, jako jsou minimální požadavky na energetickou náročnost, umožňující vlastníkům nebo nájemcům budovy porovnání a posouzení její EN. Dále musí průkaz obsahovat

¹³ Primární energií (PE) nazýváme energii z obnovitelných (sluneční záření, vítr, vodní energie, geotermální energie, biomasa) nebo neobnovitelných zdrojů (uhlí, ropa, zemní plyn) ve formě, v jaké se vyskytuje v přírodě, a která neprošla procesem přeměny nebo transformace. V oblasti ENB je snaha o snižování PE z neobnovitelných zdrojů. Také OZE jsou zatíženy určitou spotřebou neobnovitelné PE. Tento fakt vyjadřuje konverzní faktor přeměny primární energie. Faktor zahrnuje veškeré ztráty vzniklé od těžby (získání) tzv. energonositele (zpravidla fosilní palivo, biomasa a obnovitelná energie) až po systémovou hranici budovy, tedy ztráty těžbou, dopravou, přeměnou, zpracováním, uskladněním aj. (např. hodnota pro zemní plyn je 1,1 zatímco pro solární teplo je 0,05)

¹⁴ Budova s téměř nulovou spotřebou energie je definována jako budova, jejíž EN určená podle metody, dané směrnicí 2010/31/EU, je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z OZE, včetně OZE vyráběné v místě či jeho okolí.

i doporučení na opatření vedoucí k snížení ENB, které je efektivní vzhledem k vynaloženým nákladům, pokud ve srovnání s platnými požadavky na EN existuje pro taková zlepšení potenciál. PENB se tak postupně blíží energetickému auditu budov. (čl. 11, 12 a 13)

- **zajištění pravidelné kontroly otopných soustav a klimatizačních systémů** v budovách podle jejich výkonu – 20 kW pro otopné soustavy a 12 kW pro klimatizační systémy, včetně náležitostí následné inspekční zprávy (čl. 14, 15 a 16)
- **nezávislý kontrolní systém certifikátů ENB a zpráv o inspekcích otopných soustav a klimatizačních systémů**, prováděný na statisticky významném souboru - kontrola platnosti uváděných údajů (čl. 18)
- přijmutí **opatření k prohloubení informací mezi uživatele** budov o různých možnostech snížení ENB (čl. 20)

[1], [12]

A.3.1.8 LEGISLATIVA ČR SOUVISEJÍCÍ S ENB

Podpurným dokumentem pro hodnocení ENB je evropská norma EN 15217, která definuje a popisuje její základní principy a rámce vyjádření a výpočtu. ENB lze vyjádřit jedním z globálních indikátorů, který si může každý členský stát EU zvolit:

- emise CO₂
- dodaná energie
- primární energie
- celkové náklady na energii

Česká republika si jako **globální indikátor ENB** zvolila celkovou **dodanou energii** do budovy. Požadavky vyplývající z původní evropské směrnice 2002/91/ES (**článek 3** o metodách výpočtu ENB a **článek 7** o certifikaci budov), která řeší problematiku ENB jsou do českého právního řádu začleněny prostřednictvím závazných legislativních předpisů a technických norem. Na implementaci nové směrnice do české legislativy se teprve pracuje.

V právním systému ČR je směrnice EPDB zapracována do novely zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, a to vložním **§ 6a „Energetická náročnost budov“**¹⁵. Zákon byl novelizován zákonem č. 177/2006 Sb., nejnověji zákonem č. 318/2012 Sb. a celkově prošel 12 ti novelizacemi, které odrážely okamžité potřeby místních i mezinárodních přijatých podmínek. V současnosti probíhají práce na další novele tak, aby účinnost novely zákona nabyla platnosti od 1. ledna 2013. Zároveň se pracuje na novelizaci vyhlášek na něho navazujících, jako např. vyhláška č. 148/2007 Sb.

Prováděcím dokumentem k § 6a zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů **je vyhláška MPO č. 148/2007 Sb.**, kterou se stanoví podrobnosti energetické náročnosti budov (náhrada za zrušenou vyhlášku č. 291/2000 Sb.). V platnost vstoupila 1. července 2007 a nabyla účinnosti od 1. ledna 2009, kdy začala povinnost certifikace budov metodou hodnocení ENB a vypracováním průkazů ENB pro nové budovy.

¹⁵ Pojem ENB definuje zákon č. 406/2000 Sb. jako: „Množství energie skutečně spotřebované, u projektů nových staveb nebo projektů změn staveb, na které je vydáno stavební povolení, vypočtené množství energie pro splnění požadavků na standardizované užívání budovy, zejména na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, úpravu vzduchu větráním a úpravu parametrů vnitřního prostředí klimatizačním systémem a osvětlení.“

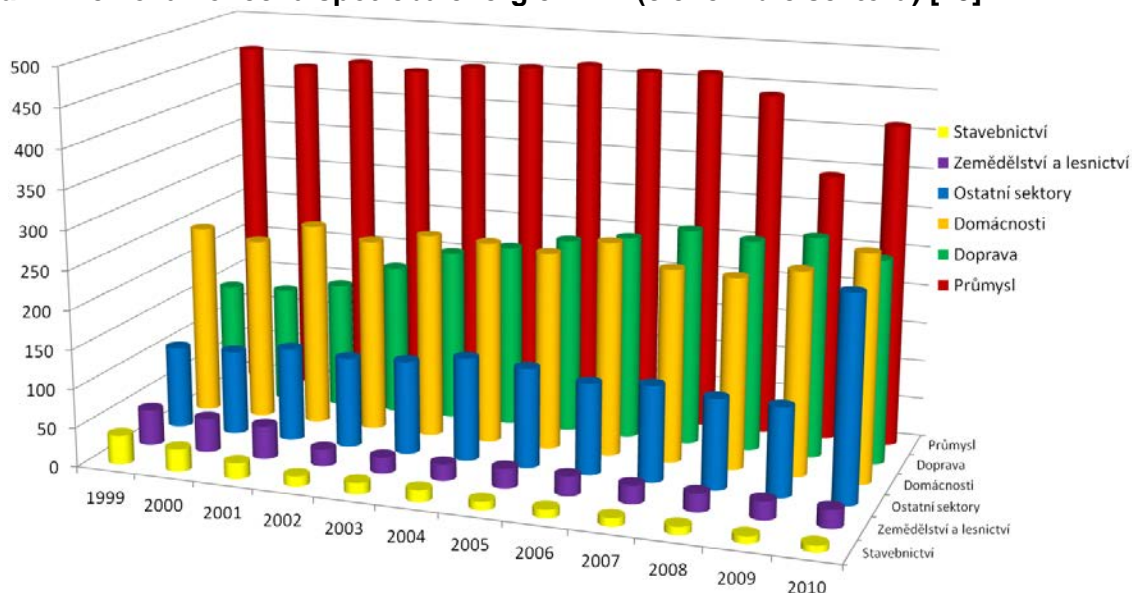
ČR je jako součást EU nucena respektovat také další závazky přijaté pro EU. Implementace směrnice 2010/31/EU (čl. 3 a čl. 11-13 EPDB, odpovídající čl. 3 a 7 původní směrnice) do české legislativy vede sekundárně také k naplňování závazků ČR vůči EU v oblasti úspor energie. Uvedené dokumenty na národní úrovni řeší komplexně úspory energií a jsou nástrojem státu v této oblasti. Zastřešujícím dokumentem v sektoru energetické politiky je **Státní energetická koncepce** (dále jen SEK). Jejím trvalým a nejdůležitějším cílem je maximalizace energetické efektivity. Dále popisuje konkrétní realizační nástroje v oblasti hospodaření s energií. Podle scénáře Státní energetické koncepce ČR by v roce 2030 měla celková konečná spotřeba energie dosáhnout 1 210 000 TJ. V případě snižování ENB na SEK navazují další dokumenty přijaté vládou ČR, odrážející aktuální závazky ČR v oblasti úspor energie nebo skleníkových plynů. Jsou to:

- **Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu v ČR** schválený usnesením vlády č. 187 ze dne 3. března 2004, vedoucí k snížení emisí skleníkových plynů
- **Národní program hospodárného nakládání s energií a využívání jejích obnovitelných a druhotných zdrojů**¹⁶ udává prioritní cíle ČR, zpracovává jej Ministerstvo průmyslu a obchodu ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí (dále jen MŽP) na pětileté období
- **Akční plán energetické účinnosti** podle čl. 14 směrnice 2006/32/ES o energetické účinnosti u konečného uživatele a o energetických službách¹⁷.

Dalšími nástroji sloužícími k podpoře úspory energií jsou resortní programy, jako např. „program EFEKT“, který slouží MPO k ovlivnění úspor energie a využití OZE v ČR. Náplní programu je osvětová činnost, energetické plánování, investiční akce menšího rozsahu, atd. Doplnuje energetické programy podporované ze strukturálních fondů EU.

[1]

Graf 1: Celková konečná spotřeba energie v ČR (členění dle sektorů) [13]



¹⁶ Druhotné energetické zdroje nebo také druhotné zdroje energie (DZE) se po použití v určitém energetickém nebo technologickém procesu znovu využívají ve formě paliv nebo tepla. Mezi DZE řadíme např. všechny druhy odpadního tepla (např. teplo získané z chlazení zahřátého kovu) či technologické odpady (kdy se odpad tepelně likviduje a energie se dále využívá).

¹⁷ Akční plán energetické účinnosti je základní strategický dokument v oblasti cílů úspory energie v ČR. Cílem má být snížení spotřeby z let 2002 – 2006 o 9 % v období 2008 – 2016. Akční plán bude upřesňován v tříletých periodách.

A.3.1.8.1 VÝČET NOREM A PRÁVNÍCH PŘEDPISŮ SOUVISEJÍCÍCH S ENB

Pro lepší začlenění směrnice EPDB zpracovává Evropský výbor pro normalizaci (CEN) soubor technických norem, představující rámec výpočtových metodik zaváděných jednotlivými státy EU. Řadu z nich přejala i ČR a sloužily jako podklad pro vypracování národních metodiky výpočtu ENB. Řada důležitých potřebných norem ale stále není k dispozici.

Nejdále je v této oblasti Německo se souborem národních norem DIN V 18599. Jedná se o rozsáhlý v té době nejkomplexnější soubor sestávající z deseti částí. Popisuje celý princip výpočetního postupu ENB a využívají jej i komerční SW pro výpočet ENB i Národní kalkulační nástroj (NKN).

NORMY

- ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení (2009)
- ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu (2005)
- ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda (2008)
- ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody (2009)
- ČSN EN ISO 14683 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární součinitel prostupu tepla – Zjednodušené postupy a orientační hodnoty (2009)
- ČSN EN ISO 10211 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Výpočet tepelných toků a povrchových teplot – Podrobné výpočty (2009)
- ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda (2008)
- ČSN EN ISO 10077 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla (část 1: všeobecně, 2007; část 2: Výpočtová metoda pro rámy, 2012)
- ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – část 1: Vnitřní pracovní prostory (2012)
- ČSN 73 4301 Obytné budovy (2004)
- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov (část 1: Terminologie, 2005; část 2: Požadavky, 2011; část 3: Návrhové hodnoty veličin, 2005; část 4: Výpočtové metody, 2005)
- ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení (2007)
- ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování (2006)
- ČSN EN ISO 14438 Sklo ve stavebnictví – Stanovení hodnoty energetické bilance – Výpočtová metoda (2002)
- ČSN EN 15217 Energetická náročnost budov – Metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov (2008)
- ČSN EN 15241 Větrání budov – Výpočtové metody pro stanovení energetických ztrát způsobených větráním a infiltrací v komerčních budovách (2007)
- ČSN EN 15242 Větrání budov – Výpočtové metody pro stanovení průtoku vzduchu v budovách včetně infiltrace (2007)

ČSN EN 15193	Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení (2008)
ČSN EN 15265	Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby tepla na vytápění a chlazení dynamickými metodami – Obecná kritéria a ověřovací postupy (2008)
ČSN EN 15316	Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinnosti soustavy (2008)
ČSN EN 15603	Energetická náročnost budov – Celková potřeba energie a definice energetických hodnocení (2008 - 2013)
DIN V 18599	Neue Vornom zur energetischen Bewertung von Gebäuden gemäß neuer EU-Richtlinie

PRÁVNÍ PŘEDPISY

- Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů (nejnověji novelizován zákonem č. 177/2006 Sb. a zákonem č. 318/2012 Sb.)
- Zákon č. 458/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)
- Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře a využívání obnovitelných zdrojů
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- Vyhláška č. 49/1993 Sb., o technických a věcných požadavcích na vybavení zdravotnických zařízení
- Nařízení vlády č. 106/2001 Sb., o hygienických požadavcích na zotavovací akce pro děti zaměstnanců při práci, ve znění nařízení vlády č. 523/2002 Sb. a ve znění nařízení vlády č. 441/2004 Sb.
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- Vyhláška č. 137/2004 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných
- Vyhláška č. 410/2005 Sb., o technických a věcných požadavcích na vybavení zdravotnických zařízení
- Vyhláška č. 49/1993 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška č. 150/2001 Sb., kterou se stanoví minimální účinnost užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie
- Vyhláška č. 372/2001 Sb., kterou se stanoví pravidla pro rozúčtování nákladů na vytápění a nákladů na poskytování teplé užitkové vody mezi konečné spotřebitele
- Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)
- Vyhláška č. 25/2003 Sb., kterou se stanoví technické požadavky na účinnost nových teplovodních kotlů spalujících kapalná nebo plynná paliva

- Vyhláška č. 425/2004 Sb., kterou se mění vyhláška č. 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitosti energetického auditu
- Vyhláška č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov
- Vyhláška č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu
- Vyhláška č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům
- Vyhláška č. 276/2007 Sb., o účinnosti kotlů
- Vyhláška č. 277/2007 Sb., o kontrole klimatizačních systémů
- Vyhláška č. 137/1998 Sb., o obecných technických požadavcích na výstavbu
- Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb

[1]

A.3.1.9 ENERGETICKÝ AUDIT

Energetický audit lze popsat jako soubor činností, jejichž výsledkem jsou informace o způsobech a úrovni využívání energie v budovách a v energetickém hospodářství. Součástí auditu je návrh na opatření, která je třeba realizovat pro dosažení energetických úspor (dodatečná izolace obálky budovy, výměna dveří a oken, automatická regulace, hydronické vyregulování otopného systému aj.). Postup kroků při realizaci energetického auditu nazýváme Proces zachování energie, tj. Proces **ENCON** (ENergy CONservation).

[2]

A.3.1.9.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA ENERGETICKÝ AUDIT BUDOV

V ČR je energetický audit budov definován zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů. **Prováděcí vyhláškou je vyhláška č. 480/2012 Sb.**, o energetickém auditu a energetickém posudku, která **nabývá účinnosti dnem 1. ledna 2013**, a která ruší vyhlášku č. 425/2004 Sb., kterou se mění vyhláška č. 213/2001 Sb., udávající podrobnosti náležitosti energetického auditu.

Legislativa ukládá povinnost na zpracování energetického auditu podle celkové roční spotřeby energie:

- **Pro fyzické a právnické osoby** je hodnota, od níž vzniká povinnost, stanovena ve výši **35 000 GJ/rok** jako součet za všechny budovy a **týká se pouze jednotlivých budov**, které mají spotřebu energie vyšší než **700 GJ/rok**.
- **Pro organizační složky státu** je hodnota, od níž vzniká povinnost, stanovena ve výši **1 500 GJ/rok** jako součet za všechny budovy a **týká se pouze jednotlivých budov**, které mají spotřebu energie vyšší než **700 GJ/rok**.
- Pro určení celkové roční spotřeby energie v případě pevných, kapalných a plyných paliv se použije výhřevnost udávaná jejich dodavatelem při obchodním styku.

Oprávněnou osobou ke zpracování energetického auditu je energetický auditor (neustranná a nezávislá fyzická osoba), který splnil požadavky zákona č.406/2000 Sb. § 10. Energetičtí auditoři splňující tyto podmínky, jsou zapsáni v seznamu energetických expertů, vedeným Ministerstvem průmyslu a obchodu.

A.3.1.9.2 OBSAH ENERGETICKÉHO AUDITU

- a) **titulní list**
- b) **identifikační údaje**
- c) **popis stávajícího stavu budovy, jež je předmětem energetického auditu**
 - základní údaje o předmětu energetického auditu (dále jen EA)
 - základní údaje o energetických vstupech do předmětu EA za předchozí 3 roky
 - vlastní energetické zdroje
 - rozvod energie v předmětu EA
 - významné spotřebiče energie
 - tepelně technické vlastnosti předmětu EA
 - systém managementu hospodaření energií
- d) **vyhodnocení stávajícího stavu**
 - účinnosti užití energie (ve zdrojích, v rozvodech tepla a chladu a významných spotřebičích)
 - tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí
 - úrovně systému managementu hospodaření energií
 - celkové energetické bilance
- e) **návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užití energie**
 - název a popis opatření
 - roční úspory energie v MWh/rok a porovnání úspor se stavem před realizací
 - náklady na realizaci navrhovaného opatření
 - beznákladová (organizační, změna chování personálu, apod.)
 - nízkonákladová (např. v rámci údržby)
 - vysokonákladová (investice)
 - průměrné roční provozní náklady v tisících Kč/rok a porovnání se stavem před realizací navrhovaného opatření
- f) **varianty (nejméně 2) z návrhu jednotlivých opatření, které obsahují:**
 - popis navrhovaných opatření
 - roční úspory energie v MWh/rok a porovnání se stavem před realizací
 - náklady na realizaci navrhovaného opatření
 - průměrné roční provozní náklady v tisících Kč/rok a porovnání se stavem před realizací navrhovaného opatření
 - ekonomické vyhodnocení
 - ekologické vyhodnocení
 - stanovení okrajových podmínek
 - celkovou energetickou bilanci
- g) **výběr optimální varianty**
 - ekonomické vyhodnocení v tisících Kč/rok s ohledem na velikost úpory energie za MWh/rok
 - podle kritérií dotačních programů
 - ekologické vyhodnocení
- h) **doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat EA**
- i) **evidenční list EA**
- j) **kopii dokladu o vydání oprávnění** podle § 10b zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

A.3.1.9.3 PROCES ENCON

Mezi pozitivní následky ropné krize z let 1973 – 1974 (spojené s výrazným nárůstem cen ropy) patří zvýšení snahy vlád mnoha zemí o úspory energie. Tyto snahy podpořila i 90. léta, kdy se začaly více sledovat environmentální dopady fosilních paliv. Zejména ve skandinávských zemích mají v oblasti úspor energie bohaté zkušenosti díky dlouholeté tradici. ČR patří mezi země, které ze severských zkušeností čerpají.

Cíle projektů na zachování energie (ENCON) lze rozdělit na 3 oblasti:

A) zjištění potenciálu ENCON

Neboli hledání oblastí, ve kterých je možné snížit spotřebu energie:

- obvodový plášť budovy (kvalita použitých materiálů, okna, dveře, tepelná izolace)
- technická zařízení budov (vytápění, chlazení, větrání příprava TV, osvětlení)
- provoz a údržba

B) učinění potřebných opatření vedoucích k dosažení ekonomicky výhodných úspor energie

Seřazení opatření podle ekonomické výhodnosti a jejich realizace (začíná se nejvýhodnějšími opatřeními)

C) zajištění, aby v praxi byly dosaženy a udrženy vypočítané hodnoty

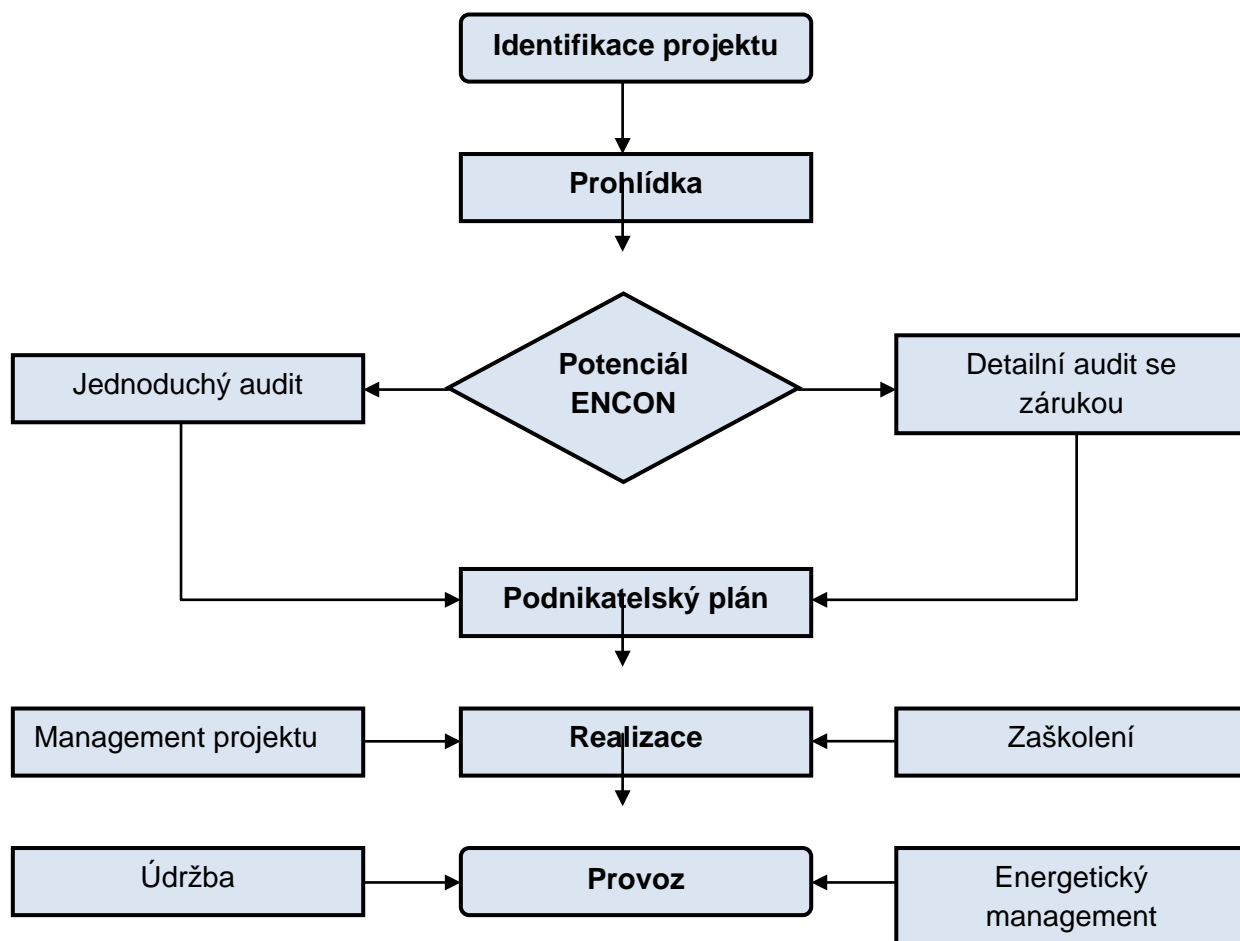
Probíhá zejména zaškolením personálu údržby a provozu. Dále také prostřednictvím systému energetického managementu (systematické a průběžné kontrolování provozních podmínek a spotřeby energií, při odchýlení od očekávaných hodnot je třeba identifikovat příčinu a sjednat nápravu)

Celý proces ENCON je rozdělen do šesti hlavních částí. Jestliže informace získané během **identifikace** projektu (dialog s uživatelem, prostudování projektové dokumentace, zjištění spotřeb energií v předchozích obdobích, zájem a finanční možnosti investora) naznačí možnosti úspor, uskuteční se **prohlídka**, při níž se zjišťuje, jaká energeticky úsporná zařízení lze realizovat (inspekce skutečného stavu, energetické výpočty pomocí klíčových čísel, ekonomické výpočty). Zpráva z prohlídky obsahuje:

- celkový potenciál úspor
- celkové požadované investice
- celkovou dobu návratnosti (ziskovost)
- doporučená opatření
- určení stavu vnitřního prostředí a úrovně údržby
- současnou spotřebu a ceny energií

Pokud projeví investor zájem o navrhované opatření, pokračuje proces **energetickým auditem** (jednoduchý – přesnost 10 až 15 % nebo detailní – přesnost 5 až 10 %). V případě, že investor potřebuje k realizaci projektu externí finanční zdroje, přichází na řadu vypracování **podnikatelského záměru**. Během **realizace** je potřeba zaškolení personálu pro obsluhu a údržbu systémů a zařízení nutných pro energeticky efektivní provoz budovy. Po realizaci opatření ENCON jsou zavedeny postupy pro **provoz**, údržbu a energetický management, které mají zajistit udržení nízké úrovně spotřeby energie.

Schéma procesu ENCON [2]



[2]

A.3.1.9.4 METODA KLÍČOVÝCH ČÍSEL

Metoda klíčových čísel je výhodná pro praktickou aplikaci k určení energetické bilance budov. Metoda je založena na **referenčních hodnotách pro specifickou spotřebu energie [kWh/(m²rok)]**, zahrnujících faktory jako typ budovy, klimatické podmínky, úroveň izolace, aj. Referenční hodnoty jsou schopny popsat i stav po realizaci opatření ENCON. Vychází z předpokladu dokonale optimalizovaného provozu (v praxi obtížně proveditelné). Srovnáním vypočtených a naměřených spotřeb energií s klíčovými čísly je možné určit energetickou efektivnost a budovy (nové i stávající) a její potenciál úspor. Metodu lze aplikovat v procesu návrhu nové budovy, stejně jako při zvažování renovačních postupů a návrhu energeticky úsporných opatření u stávající budovy. Existují tři úrovně klíčových čísel:

KLÍČOVÁ ČÍSLA 1. ÚROVNĚ

Představují hodnoty celkové roční specifické spotřeby energie [kWh/(m²rok)] **pro různé typy budov**. Dále se dělí na kategorie, podle doby, ve které byla budova postavena

KLÍČOVÁ ČÍSLA 2. ÚROVNĚ

Představují detailněji hodnoty celkové roční specifické spotřeby energie [kWh/(m²rok)] **pro jednotlivé bilanční položky** (vytápění, větrání, TV, ventilátory/čerpadla, osvětlení, různé zařízení, chlazení a venkovní) které se mohou v budově nacházet.

KLÍČOVÁ ČÍSLA 3. ÚROVNĚ

Slouží k rychlým energetickým propočtům, představují **pracovní formuláře vytvořené pro konkrétní typ budovy v konkrétních podmínkách**. Formuláře jsou rozděleny pro každou položku energetické bilance.

Na základě metody klíčových čísel byl pro potřeby uživatelů vyvinut počítačový program Key Number Software ENSI[®].

[2]

A.3.1.9.5 FINANCOVÁNÍ OPATŘENÍ NAVRHOVANÝCH V ENERGETICKÉM AUDITU

Při nákladnějších investicích může nastat problém s financováním vedoucí až k zamítnutí investice do úsporných opatření, i když by mohly přinést trvalé snížení spotřeby energie nemluvě o pozitivním dopadu na ŽP. **Problémy s financováním projektu řeší například metoda Energy Performance Contracting (dále jen EPC)**, jež je podrobněji popsána v části C diplomové práce. Její princip lze stručně popsat následovně:

V současné době je zažitý způsob financování investic do energeticky úsporných opatření. Spotřebitel energie dopředu ví, jaké úsporné opatření chce realizovat, a na tento účel vyčlení příslušný objem financí. Dodavateli projektu pak spotřebitel energie uhradí náklady jednorázově.

Pokud se spotřebitel energie rozhodne pro financování formou EPC, veškeré náklady spojené s realizací úsporného opatření nese poskytovatel služby EPC. Spotřebitel energie vynaloženou investici postupně splácí z dosažených úspor nákladů na energii, a nemusí tak na realizaci úsporného opatření vyčlenit žádné mimořádné finanční prostředky. Poskytovatel ručí za vhodnou volbu použité technologie, projekt, realizaci a následný provoz. Ve výsledku metoda EPC přináší spotřebiteli komplexní služby zahrnující návrh projektu, realizaci, pravidelnou údržbu a měření a vyhodnocování dosažených úspor.

Dosažené úspory jsou smluvně garantovány. Výnosem poskytovatele EPC je rozdíl mezi kumulovanými úsporami za energii od zákazníka a celkovými náklady poskytovatele EPC (náklady na realizaci projektu včetně úroků z úvěrů a přiměřený zisk) po dobu trvání smlouvy. Po vypršení smlouvy zákazník zaznamená snížení nákladů oproti původnímu stavu před provedením energetického opatření.

Součástí energetického auditu může být také stanovení koncepce pro budoucí investice do energetického hospodářství zadavatele. Koncepce je výsledkem posouzení více variant. Základem je předpoklad, že vynaložené investice budou účelně využity.

K podrobné přípravě projektu slouží:

- **Studie proveditelnosti**, která analyzuje a vyhodnocuje různé varianty řešení. Zaměřuje se zejména na hodnocení ekonomické efektivity a slouží jako podklad pro výběr optimální varianty.
- **Podnikatelský plán**, který na základě vybrané optimální varianty definuje postup, podmínky a prostředky pro dosažení podnikatelského cíle. Bez kvalitního a dobře připraveného podnikatelského plánu projektu nelze získat přístup k finančním zdrojům na národní či nadnárodní úrovni.

Ideální postup při plánování investic v energetice lze shrnout do následujících bodů:

- podnikatelský záměr
- studie proveditelnosti
- výběr optimální varianty
- podnikatelský plán
- zajištění financování
- technická dokumentace
- realizace

Tabulka 5: Rozdíly mezi studii proveditelnosti a energetickým auditem [15]

Studie proveditelnosti	Energetický audit
identifikace problému	identifikace problému
analýza trhu	-
technická analýza a návrh variant	technická analýza a návrh variant
ekonomická analýza	ekonomická analýza
finanční analýza	-
-	analýza vlivu na ŽP
analýza rizik a ostatních faktorů	analýza rizik a ostatních faktorů
návrh optimální varianty	návrh optimální varianty

[14], [15]

A.3.1.10 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU A OPATŘENÍ K JEHO ZLEPŠENÍ

VYTÁPĚNÍ

Hodnotí se postupně celá otopná soustava (zdroj tepla, rozvody, otopná tělesa i systém regulace) i spokojenost uživatelů s parametry vnitřního prostředí. U zdroje tepla se hodnotí technický stav, pokrytí potřeby (zda není výkon kotle předdimenzován nebo poddimenzován – s ohledem na konečný stav po provedení energeticky úsporných opatření) a vhodnost způsobu zapojení, vzhledem k požadavkům na soustavu. U rozvodů se hodnotí technický stav potrubí a armatur, vybavenost měření, energetické toky v jednotlivých úsecích a tloušťka a stav tepelné izolace. Otopná tělesa jsou hodnocena z hlediska výkonu, technického stavu a armatur. V případě regulace se posuzuje správnost její koncepce, technický stav a typ.

Možná opatření EA:

- výměna kotle za novou technologii s lepší účinností spalování
- seřízení kotlů a hořáků
- kompletní rekonstrukce kotelny/otopného systému
- změna tepelného spádu
- hydraulické vyregulování otopné soustavy
- nová tepelná izolace rozvodů
- výměna armatur, oběhových čerpadel, otopných těles
- osazení otopných těles termostatickými hlavicemi
- seřízení systému regulace a regulace pomocí ekvitermní křivky (vhodné jsou systémy automatické regulace nezávislé na lidském faktoru)

VĚTRÁNÍ

Hodnotí se postupně celá vzduchotechnická (dále jen VZT) soustava (strojovna, zpětné získávání tepla, rozvody, distribuční prvky i systém regulace) i spokojenost uživatelů s parametry vnitřního prostředí. Ve strojovně VZT se hodnotí typ VZT jednotky (technický stav, pokrytí potřeby výměny vzduchu), vhodnost způsobu zapojení, vzhledem k požadavkům na soustavu a účinnost ventilátorů. U rozvodů se hodnotí technický stav potrubí a armatur, vybavenost měření, energetické toky v jednotlivých úsecích a tloušťka a stav tepelné izolace. U distribučních prvků se hodnotí vhodnost použitého typu a jeho

technický stav. Otopná tělesa jsou hodnocena z hlediska výkonu, technického stavu a armatur. V případě regulace se posuzuje správnost její koncepce, technický stav a typ.

Možná opatření EA:

- výměna VZT jednotky (potřeba jiných parametrů průtoku, teploty, rychlosti vzduchu aj.)
- nová tepelná izolace rozvodů
- výměna poškozeného potrubí
- kontrola tlakových ztrát (kvalita odboček)
- výměna nebo seřízení distribučních prvků
- zařazení prvku pro zpětné získávání tepla
- seřízení systému regulace a regulace pomocí ekvitermní křivky

PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Hodnotí se systém přípravy teplé vody (dále jen TV), rozvody, efektivita přípravy TV a technický stav.

Možná opatření EA:

- časové řízení přípravy TV – nejlépe v období NT elektřiny
- stratifikační zásobník (odběr TV požadované teploty již při náběhu ohřevu)
- využití solární energie, odpadního tepla atd.
- zajištění co nejkratší délky rozvodů
- výměna starého potrubí
- nová tepelná izolace rozvodů
- seřízení cirkulace
- seřízení systému regulace a regulace pomocí ekvitermní křivky

OSVĚTLENÍ

Hodnotí se efektivita osvětlení, jeho využívání a typ svítidel.

Možná opatření EA:

- instalace úsporných žárovek (zářivky, LED aj.)
- inteligentní regulace osvětlení podle potřeby

A.3.1.11 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Výstižná myšlenka Prof. Erazima Koháka z knihy Kapitoly z ekologické etiky zní: „Kdo si myslí, že na prokazatelně omezené planetě můžeme realizovat neomezený hospodářský růst, je buď blázen, nebo ekonom.“

Pojem OZE se v textu práce objevil již vícekrát v souvislosti s environmentálním trendem, zvýšit jejich podíl na energetickém trhu. Mimo jiné, jde také o jeden z hodnotících faktorů při EHB, a sice faktor vstupující energie. OZE jsou zde rozebrány kvůli lepšímu rozhledu v tématice, který je nutný k následnému porovnání různých zdrojů energie k vytápění objektů určených pro bydlení jak z ekonomického, tak i ekologického hlediska.

Veškeré přístupné formy energie na Zemi lze rozdělit podle jejich původu do následujících skupin:

A) ZDĚDĚNÁ ENERGIE - jedná se o nejstarší energii na Zemi spojená se samotným vznikem naší planety. Její formy jsou:

- **deuterium a tritium** (těžký vodík a velmi těžký vodík) – radioaktivní prvek, pocházející ze sluneční mlhoviny (formující se kolem tehdy vznikajícího Slunce), z níž před přibližně 4,6 miliardami let vznikla Země. Využití najde jako palivo pro termojadernou fúzi atomových jader těžkého a velmi těžkého vodíku v budoucích jaderných elektrárnách.
- **geotermální energie** – zbytková tepelná energie zemského jádra z doby, kdy se planeta formovala a částečně teplo, vznikající rozpadem radioaktivních prvků a působením slapových sil. Obvykle se řadí mezi OZE. Jedná se o velmi čistý zdroj energie.
- **slapová energie** – vzniká díky gravitační síle soustavy Země-Měsíc a Země-Slunce. Projevuje se deformací hladiny moří a oceánů způsobující kolísání hladiny (příliv a odliv). Největší rozpětí lze pozorovat v zálivu Fundy v Kanadě (20 m) a v Evropě pak ve Francii v zátocě Mont Saint-Michel (13 m).

B) PŘEMĚNĚNÁ SLUNEČNÍ ENERGIE – po dopadu slunečního záření na naši planetu je sluneční záření transformováno na další formy energie:

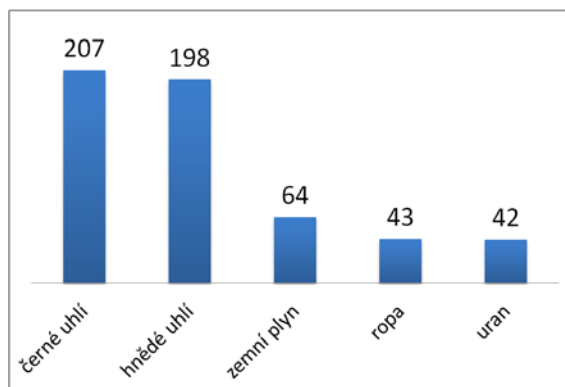
- **větrná energie** – sluneční energie ohřívá a uvádí v pohyb vzdušné masy (které uvádí do pohybu také vody oceánů – transformace do energie vln)
- **vodní energie** – koloběh vody v přírodě (využití potenciální energie vypařené a nazpět zkondenzované vody)
- **energie biomasy** – energie vázaná v tělech živých organismů využívaná nejčastěji spalováním či zplyňováním (ale také ve formě potravy přijímané živými organismy)
- **fosilní paliva** – nerostné suroviny vzniklé v dávných dobách procesem přeměny odumřelých těl rostlin a živočichů za nepřístupu kyslíku (energie, jež se v nich během jejich života nashromáždila, má původ ve slunečním záření) - uhlí, ropa, zemní plyn (dále jen ZP). Fosilní paliva jsou vyčerpateľný a ekologicky nevhodný zdroj energie.

C) ENERGIE DOPADAJÍCÍHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ – energie slunečního záření má svůj původ v termojaderné reakci vodíku probíhající uvnitř Slunce

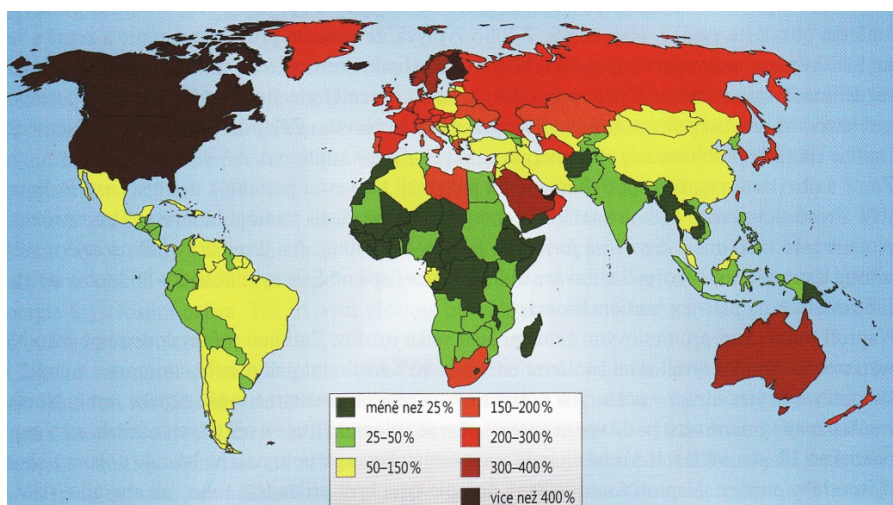
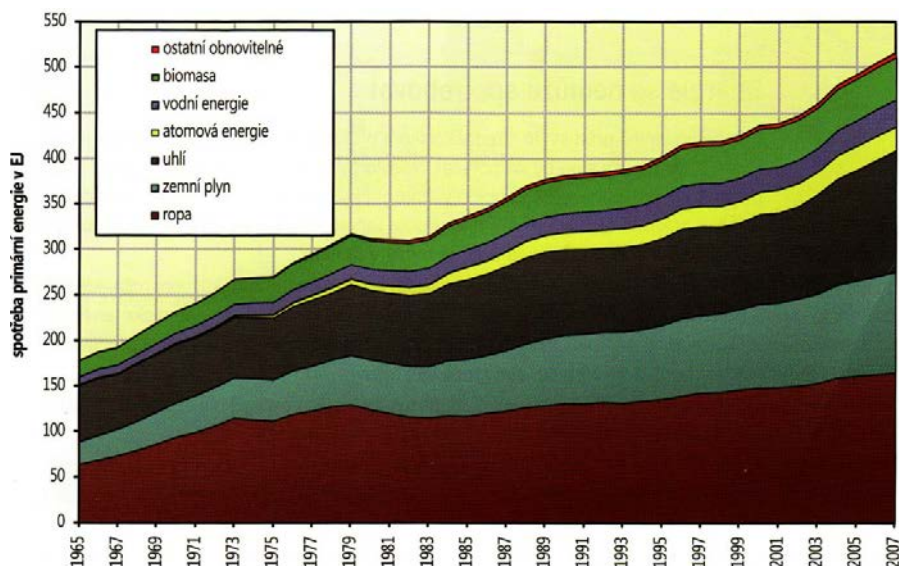
D) JADERNÁ ENERGIE – představuje část energie atomového jádra, kterou lze uvolnit jadernou reakcí (fúze, štěpení nebo radioaktivní rozpad). V jaderných elektrárnách se využívá řízené řetězové reakce (kritické štěpení, při kterém není zachycen jeden neutron,

který pak štěpí další jádra). První řízenou řetězovou reakci s použitím moderátoru provedl italský fyzik Enrico Fermi v roce 1942.

Graf 2: Znamé zásoby energetických zdrojů [roky], při současném tempu těžby [3]



Graf 3: Vývoj celosvětové spotřeby primárních energetických zdrojů [3]



Obrázek 3: Primární spotřeba energie vztahovaná k celosvětovému průměru [3]

[3], [16], [17], [18]

A.3.1.11.1 ENERGETICKÝ VÝVOJ

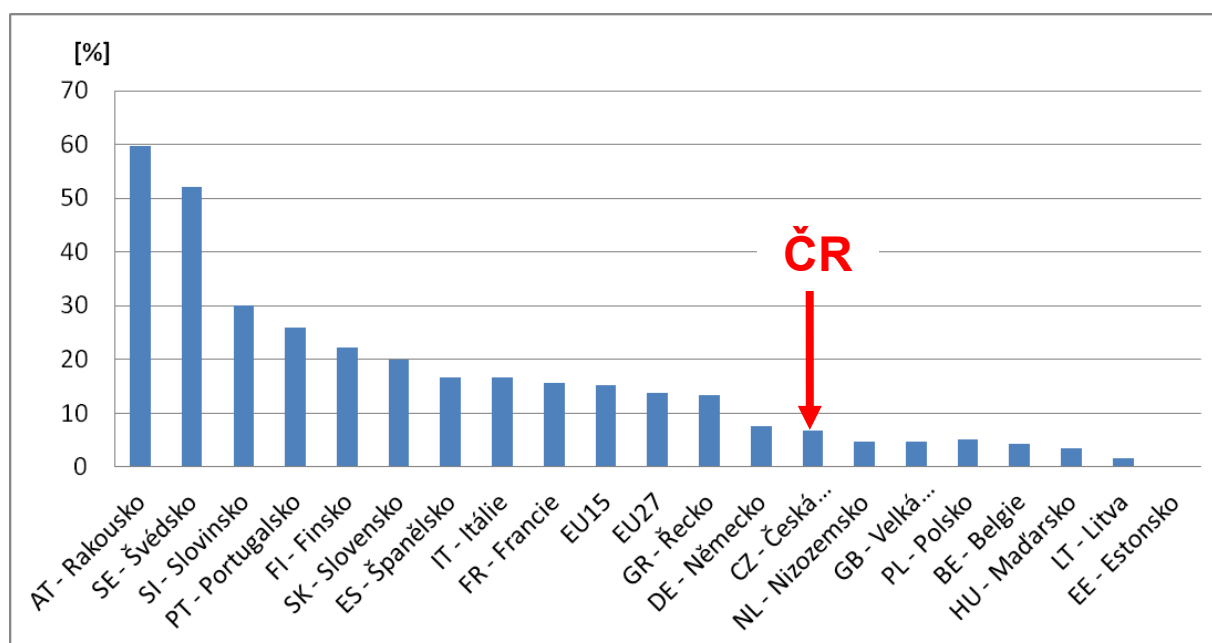
Energetický vývoj lidské společnosti lze rozdělit do několika etap. Na začátku patřily mezi nejdůležitější energetické zdroje energie biomasy (palivové dříví) a svaly hospodářských zvířat. Dřevo se stalo strategickou surovinou potřebnou nejen k vytápění, ale i k výrobě železa (zejména zbraně). Hojně se také využívaly OZE. V 17. století bylo na území Nizozemska v provozu na 8000 větrných mlýnů a odhaduje se, že ke konci 18. století se v Evropě využívalo 500 000 vodních mlýnů. **Uhlí** již tenkrát lidé sice znali, ale kvůli těžké dostupnosti nebylo hojně využíváno. Kolem roku 1800 se 60 % černého uhlí spálilo jako topivo v domácnostech. Jeho éra přišla o 40 let později, zejména díky rozvoji energeticky náročné výroby oceli, se již většina uhlí využila ve vysokých pecích a jeho spotřeba enormně rostla. Koncem 20. století stoupla těžba černého uhlí v celosvětovém měřítku na téměř 4 miliardy tun. Ve srovnání s uhlím našla **ropa** využití mnohem později. Zpočátku se používala jako mast k léčbě kožních onemocnění či ke svícení (objev ropy tak nepřímo zachránil populaci velryb intenzivně lovených kvůli velrybímu tuku používanému ke svícení), z důvodů nebezpečně snadné zápalnosti čekala ropa na počátek průmyslové těžby až do roku 1859, kdy Američan Edwin L. Drake navrtal poblíž Titusville v americkém státě Pensylvánie do hloubky 20 m ropné ložisko. Vznikaly první ropné společnosti, například společnost Standard Oil Johna Davisona Rockefellera. Černé zlato, jak se ropě přezdívá, umožnilo rozvoj spalovacích motorů, letectví a až do ropných krizí, způsobených válečnými konflikty (1973 – čtvrtá arabsko-izraelská, též Jomkipurská válka a 1979 – po revoluci v Iránu následované válkou v Perském zálivu, kdy Organizace států vyvážejících ropu – OPEC omezila dodávky ropy) její spotřeba téměř exponenciálně rostla. V roce 2009 tvořila celková těžba ropy 3821 miliónů tun (z toho 41,2 % OPEC). „Nejmladším“ využívaným fosilním zdrojem energie je **zemní plyn**. Bývá považován za nejčistší ze všech fosilních nosičů energie, protože při jeho spalování vzniká méně škodlivin a CO₂. Důvodem jeho pozdějšího nástupu byla značná hloubka vrtů, potřebná k jeho dosažení (až několik tisíc metrů) a nákladnější systém transportu. Poptávka po zemním plynu není v průběhu roku stálá, z tohoto důvodu jsou budovány obrovské podzemní zásobníky, sloužící k vyrovnání výkyvů poptávky mezi létem a zimou. V roce 1938 se Otto Hahnovi a Fritzi Straßmannovi podařilo rozštěpit atom uranu, čímž dali základ pro využití **atomové energie**. Za první skutečně komerční jadernou elektrárnu je považována elektrárna Calder Hall ve Velké Británii (v r. 1956). Při štěpné reakci jádra se uvolní obrovské množství energie. Z 1 kg uranu lze získat asi 238 miliónů kWh, což je energie ekvivalentní k spálení cca 3000 tun uhlí. Riziko havárie jaderných elektráren (1986 – Černobyl, 2011 – Fukušima) spojené s radioaktivním zamořením širokého okolí způsobuje, navzdory veškerým bezpečnostním opatřením jaderných elektráren, diskuzi ve společnosti ohledně využívání tohoto zdroje energie. Například Německo odhlasovalo plán na odstavení svých jaderných elektráren do roku 2022. Budoucnost v energetice může představovat **termojaderná fúze**. Při ní probíhá za extrémních teplot mnoha miliónů °C slučování lehkých jader vodíku. Protože žádný známý materiál není schopen odolat tak vysokým teplotám, probíhá výzkum technologií. Nejnadějnější cestou k realizaci kontrolované jaderné fúze jsou tokamaky, neboli zařízení vytvářející toroidální magnetické pole, ve kterém je přehřáté plazma zadržováno. Projekt experimentálního termonukleárního reaktoru (např. projekt ITER) má rozpočet v řádech desítek miliard eur a spolupracuje na něm mnoho států. Vědci odhadují, že první termojaderné elektrárny by se mohly začít stavět kolem roku 2050.

Využívání energie mělo vždy zřetelný vliv na životní prostředí. Nárůst světové populace a zvyšující se životní úroveň ženou spotřebu energie stále výš a výš. Zatímco v počátcích se využívání zdrojů energie dotýkalo jen blízkého okolí, dnes již nabývá globálních rozměrů a má dopady na celý ekosystém planety. Konečné zásoby a ekologický dopad dnes nejhojněji využívaných fosilních paliv jsou důvody k tomu, aby se hledaly jejich vhodné alternativy.

Obnovitelné zdroje energie jsou teoreticky (s ohledem na životní cyklus Slunce) nevyčerpatelné. Ačkoliv je jejich nástup v současné době podporován mnoha státy (Brazílie, Island, Kanada, Německo, Norsko, Nový Zéland, Rakousko, Švédsko, Švýcarsko aj.), oproti hojně využívaným fosilním palivům (neobnovitelný zdroj) stále patří spíše mezi zdroje alternativní¹⁸. Velmi také záleží na přírodních podmínkách pro využití zdroje v dané zemi.

[3]

Graf 4: Podíl OZE na hrubé spotřebě energie (2006), mezinárodní srovnání [13]



A.3.1.11.2 PRAVDA O OBNOVITELNÝCH ZDROJÍCH ENERGIE

OZE mají v energetice specifické postavení a jako každý jiný zdroj jsou spojeny s řadou výhod i nevýhod. Jistě, jsou šetrné k životnímu prostředí, ale na druhou stranu existují fakta, která si zaslouží bližší pohled.

Například není až tak pravdivé, že se jedná o lehce dostupný zdroj energie. OZE mají oproti fosilním palivům či uranu velmi nízkou koncentraci nositele energie v prostoru a čase. Pokud bychom chtěli jadernou elektrárnu Temelín (o výkonu 2000 MW) nahradit větrnou elektrárnou (o průměru rotoru 30 m a výkonem 200 kW), bylo by takových elektráren zapotřebí 10 000. To vede k dalšímu faktu, že ačkoliv jsou OZE označovány za nevyčerpatelné, je nasnadě, že pro 10 000 vrtulí by se v krajině asi těžko hledalo místo. V určité oblasti lze získat za určitý čas jen určité množství obnovitelné energie.

¹⁸ alternativní zdroje energie jsou takové zdroje energie, které jsou majoritně využívaným zdrojům a technologiím v menšině

Ani z pohledu emisí CO₂ na tom nejsou OZE, navzdory skutečné šetrnosti k životnímu prostředí, nejlépe. Viníkem je tzv. „šedá energie“¹⁹. Studie „životního cyklu“ energetických surovin, který si v roce 2006 nechala vypracovat britská vláda, zohledňovala z pohledu emisí CO₂ veškeré vstupní suroviny a jejich technologické zpracování na stavební a konstrukční materiály potřebné pro výstavbu energetických zdrojů, dále materiály a technologie potřebné pro zpracování vlastní energetické suroviny (např. uhlí, jaderné palivo atd.) a konečně i konkrétní technologie pro výrobu energie. Nejnižší emise CO₂ za celou životnost energetických surovin prokázaly jaderné elektrárny (vzhledem k opravdu gigantické výrobě elektřiny na vyrobenou kWh). Na výrobu fotovoltaických článků je totiž třeba množství vysoce ušlechtilého křemíku, germania, nejrůznějších sloučenin a polymerů všeho druhu, které jsou vyráběny a zušlechťovány s využitím celého spektra metalurgických a chemických technologií spojených s emisemi CO₂. K výrobě biomasy je zase nutné používat značné množství dusíkatých hnojiv. Biomasa se do výroby sváží ze širokého okolí dopravními prostředky spalujícími fosilní paliva produkující CO₂ (podobná je i problematika energetických plodin, typickým představitelem je u nás řepka olejka pěstovaná jako surovina pro výrobu biopaliv, jejichž cílem má být snížení emisí CO₂. Nadměrné pěstování těchto monokulturních plodin ale vede jak ke ztrátě biodiverzity v rámci regionu, tak k záboru zemědělské půdy).

Pokud chceme, aby OZE konkurovaly tradičním zdrojům energie, je nutné, aby byly výhodné taky ekonomicky. Na příkladu fotovoltaických panelů je vidět, že jsou prosazovány jen díky státní podpoře výkupních cen elektřiny z tohoto zdroje. To také vede ke zvyšování cen elektřiny, které po boomu solárních elektráren v Česku nastalo.

Je tedy možné, že OZE v budoucnu zcela nahradí tradiční zdroje energie? V lokálním měřítku, kdy budou jednotlivé domy energeticky soběstačné, díky panelům instalovaným na střechách a dalšími zařízeními ano. V globálním měřítku to ale vylučuje už jejich podstata. Technický vývoj elektráren směřoval k velkým výkonům, technologiím s maximální nezávislostí na aktuálních povětrnostních vlivech a provozem po velkou část roku (typicky jaderné elektrárny). Tyto elektrárny pracují v tzv. základním pásmu denního diagramu zatížení (odběr elektřiny během dne kolísá). Při vysokém zatížení jsou spouštěny pološpičkové elektrárny (menší uhelné nebo plynové) a v době špičky se do sítě připojují i špičkové elektrárny (obvykle vodní přečerpávací). Tato soustava zajišťuje pokrytí aktuálních potřeb energie a stabilitu energetické sítě. Naproti tomu OZE jsou závislé na povětrnostních podmínkách, pracují po kratší dobu (vyjádřenou koeficientem ročního využití instalovaného výkonu [%]) a jejich výkon je nepředvídatelný. Pokud by byla celá energetická soustava sestavena jenom z OZE, nebyla by jako taková regulovatelná a při špatných klimatických podmínkách by se celá síť zhroutila (tzv. blackout).

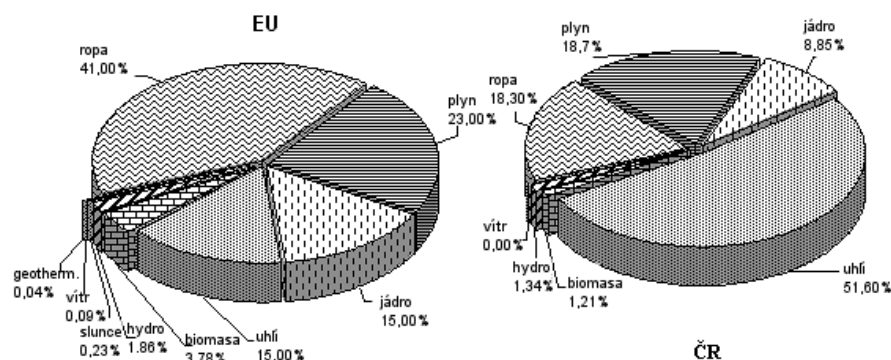
K OZE je tedy zapotřebí přistupovat komplexně a s rozumem. Počáteční nadšení vede zejména mezi laickou veřejností k přeceňování schopností OZE. Víze do budoucnosti ohledně jejich využívání jsou nezbytné, ale nesmí být nereálné. Jedná se o zdroje šetrné k životnímu prostředí, ale samotné nejsou schopny současné zdroje energie z fosilních paliv nahradit.

[19], [20], [21], [22]

¹⁹ Jako šedá energie je označována veškerá energie, spotřebovaná přímo i nepřímo při produkci výrobku. Například v případě cihly bude zahrnovat energii potřebnou k těžbě cihlářské hlíny, k jejímu transportu do cihelny, k lisování a vypalování, transportu na stavbu, stejně jako energii spotřebovanou při výrobě zařízení a materiálů použitých při její výrobě jako jsou těžební a dopravní zařízení, cihlářská pec atd.

A.3.1.11.3 SITUACE V ČR

V EU se OZE podílí na spotřebě energie zhruba z 6 %, v ČR zhruba z 2,6 %. Není to mnoho a je zde prostor k navýšení těchto hodnot. Také je ale zapotřebí zohlednit problematiku skladování energie vyprodukované OZE, které je v případě sluneční energie, větrné energie a vodní energie značně obtížné.

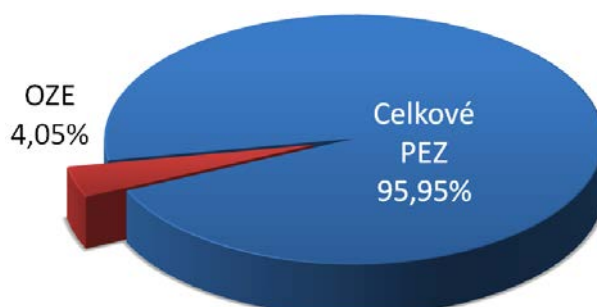


Obrázek 4: Současné postavení OZE ve struktuře spotřeby energie [23]

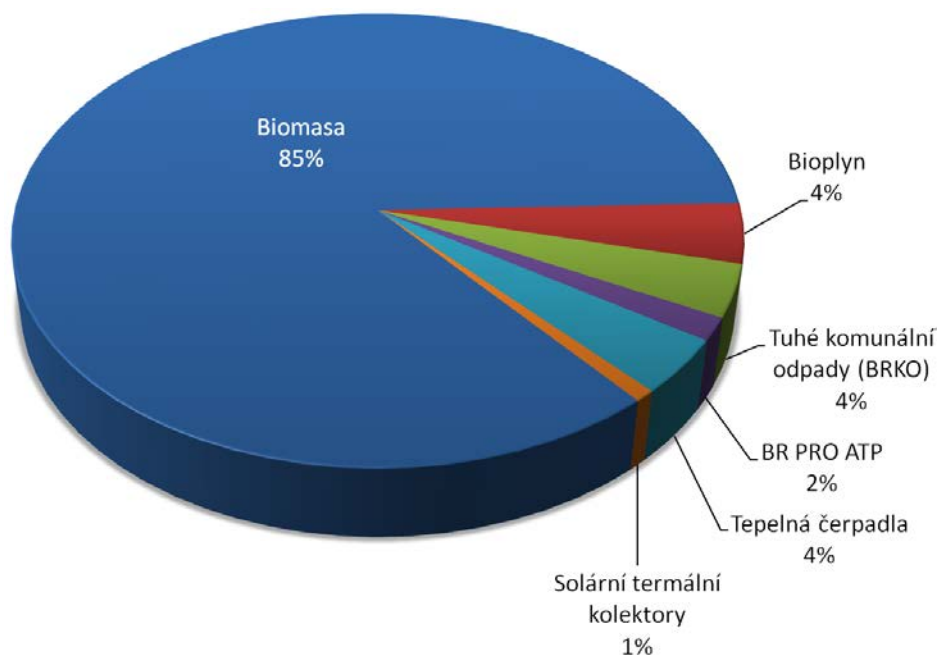
V české legislativě je pojem OZE definován v následujících zákonech:

- **zákon č.17/1992 Sb., o životním prostředí**, který definuje OZE následovně: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka. Neobnovitelné přírodní zdroje spotřebováváním zanikají.“
- **zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie**, který definuje OZE následovně: „Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou:
 - energie větru
 - energie slunečního záření
 - geotermální energie
 - energie vody
 - energie půdy
 - energie vzduchu
 - energie biomasy
 - energie skládkového plynu
 - energie kalového plynu
 - a energie bioplynu.“

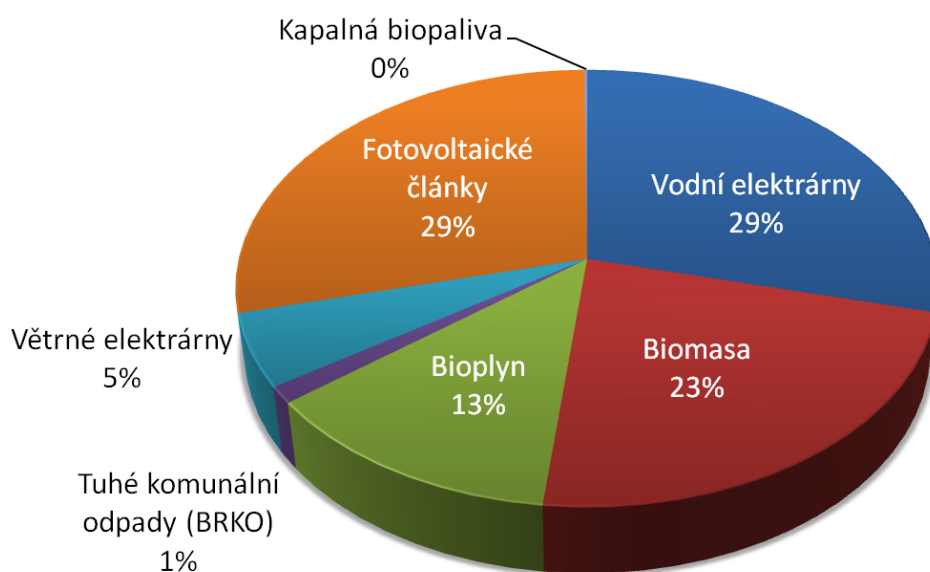
Graf 5: Podíl energie vyrobené z OZE na celkových PEZ, stanovený cíl pro rok 2010 byl 6 % [13]



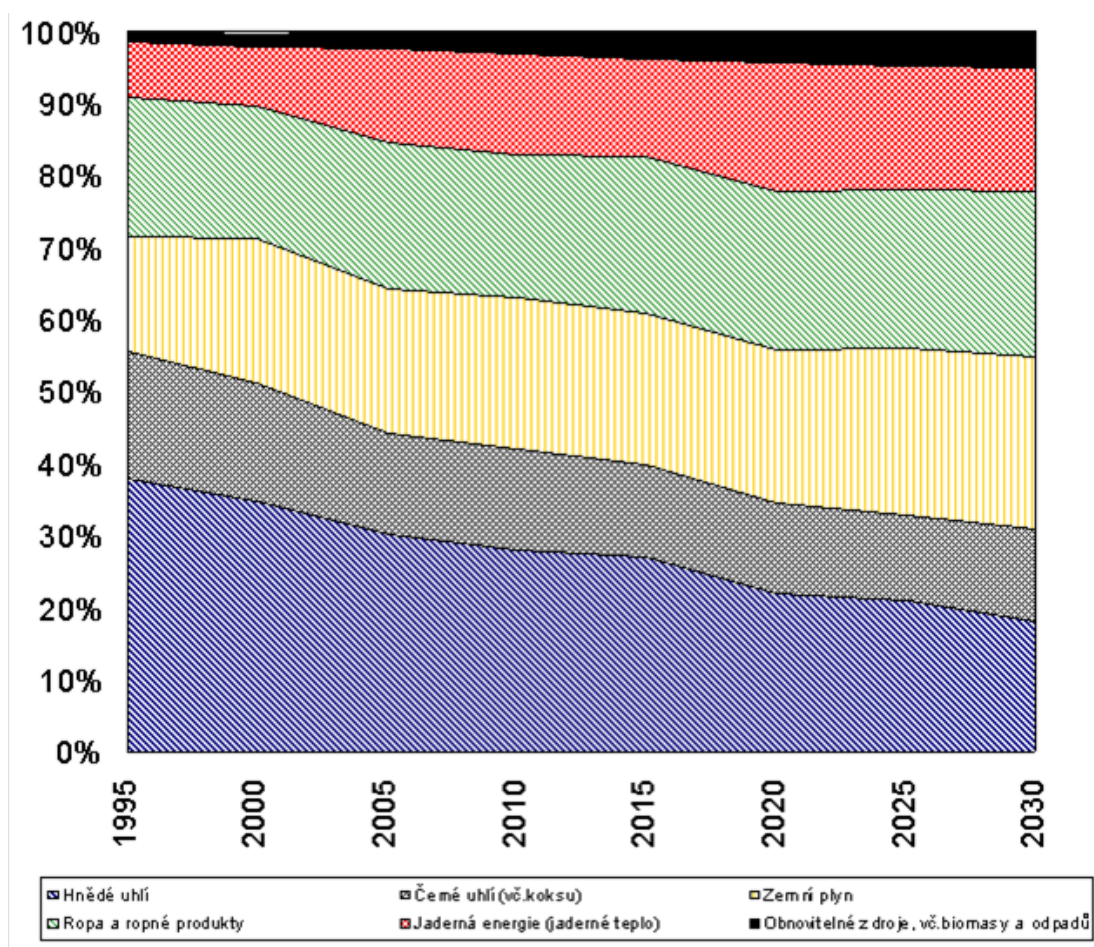
Graf 6: Výroba tepla z obnovitelných zdrojů energie a z odpadů, ČR v roce 2011 [13]



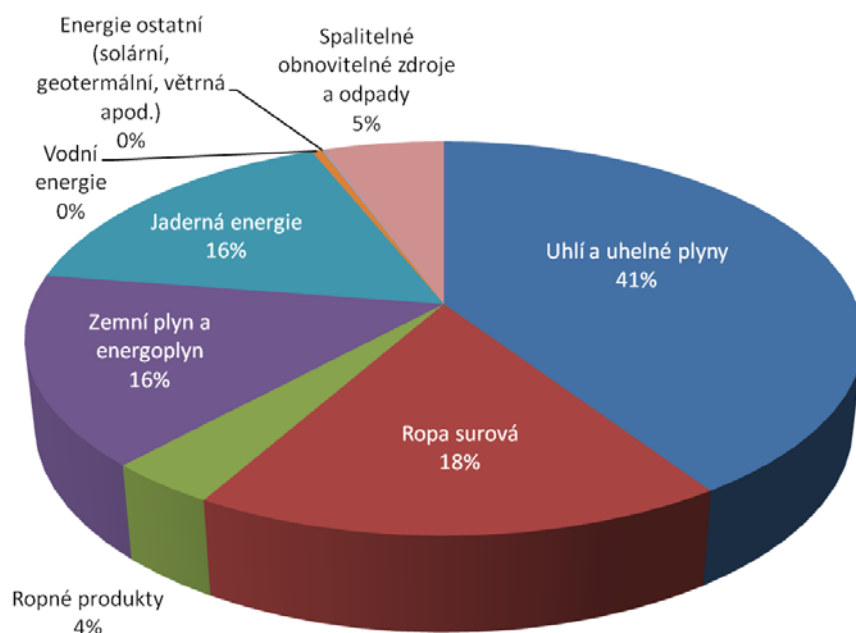
Graf 7: Výroba elektřiny z OZE a z odpadů, ČR v roce 2011 [13]



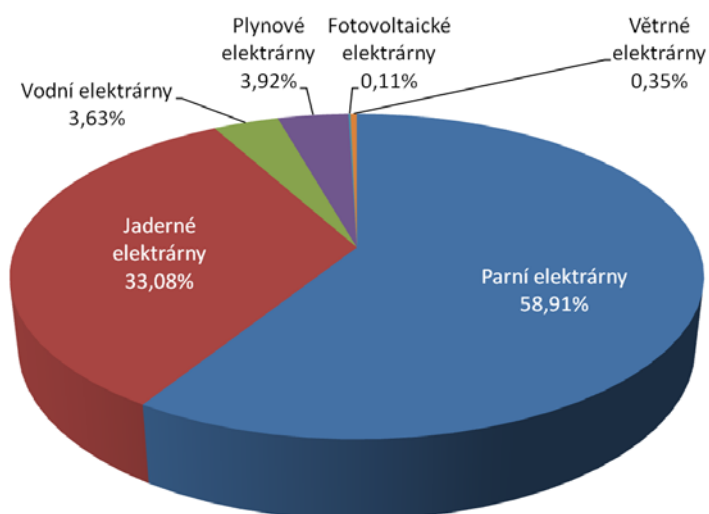
Graf 8: Vývoj struktury tuzemské spotřeby prvotních energetických zdrojů [84]



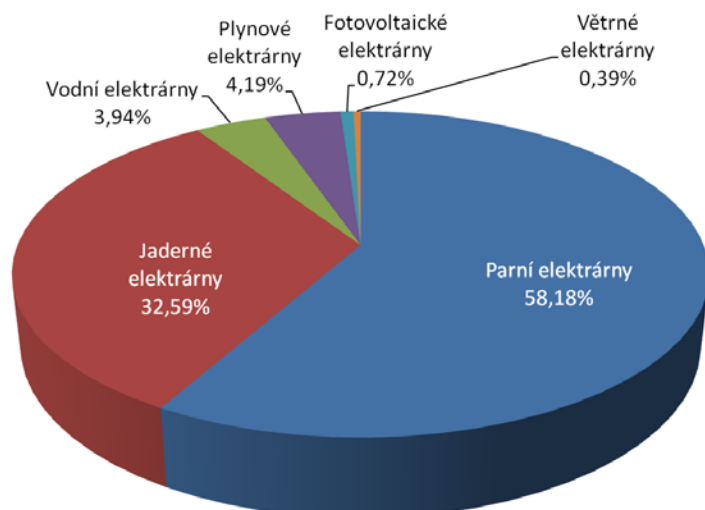
Graf 9: Struktura primárních energetických zdrojů v ČR v roce 2009 [13]



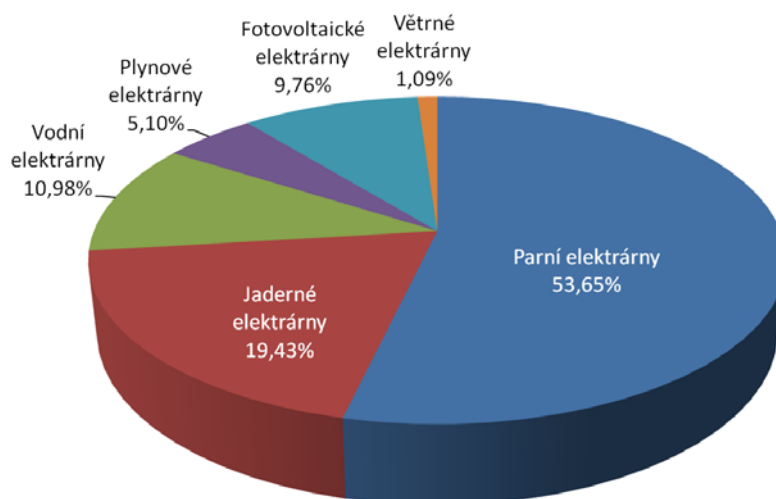
Graf 10: Výroba elektřiny v ČR za rok 2009 [13]



Graf 11: Výroba elektřiny v ČR za rok 2010 [13]



Graf 12: Instalovaný výkon v ČR za rok 2010, celkový instalovaný výkon je 20 073 MW [25]



V porovnání s ostatními státy EU se ČR řadí mezi státy s nižším podílem OZE na celkové spotřebě elektrické energie. Příčinou je malá dostupnost potenciálu OZE v ČR, oproti možnostem pro vodní elektrárny, jako např. v Norsku a Rakousku, nebo pro větrné elektrárny, jako např. v Německu. Ve využití biomasy je však potenciál ČR srovnatelný s ostatními zeměmi střední Evropy. Díky energii z OZE se zvyšuje podíl energie vyráběné na našem území, rozčleňuje se skladba používaných paliv a zdroje dovozu energie, zvyšuje se podíl energie z politicky stabilních oblastí a jsou vytvářena nová pracovní místa. Tím vším volba této energie napomáhá zlepšovat zabezpečení dodávek energie. Navíc jsou OZE původci pouze nízkých (nebo i žádných) emisí skleníkových plynů a jsou značným přínosem pro kvalitu ovzduší.

Solární energie

Solární energie je v současné době velkým tématem a o její využití se zajímají nejen velcí investoři, ale stále častěji také domácnosti, které ji využívají na ohřev vody nebo pro výrobu elektřiny. Efektivní využití solární energie ovlivňují dva zásadní faktory: intenzita slunečního záření (v tuzemsku je průměrná intenzita slunečního záření [kWh/(m²rok)] a doba slunečního záření [h]. Největší solární elektrárna v ČR Ralsko Ra 1 má instalovaný výkon 38 MW. Největší solární elektrárna světa se nachází poblíž Abu Dhabi (SAE) a její instalovaný výkon je 100 MW.

Větrná energetika

ČR má menší potenciál k rozvoji větrné energetiky než jiné země EU. Ráz krajiny je převážně kopcovitý, pokrytý vegetací, což většinu území řadí z hlediska energetického potenciálu využití větru do kategorie D (energetický potenciál 30 %). V současné době pracují větrné elektrárny asi na 50 lokalitách (především horských – Krušnohorská, Jesenická a Českomoravská vrchovina), které mají vhodné povětrnostní podmínky pro výrobu větrné energie. Největší větrná elektrárna v Ostružné na Jesenicku má instalovaný výkon 3 MW (v roce 2002 byl instalovaný výkon větrných elektráren v Německu 12 000 MW). Největší větrná elektrárna světa, větrná farma ve Walney se nachází ve Velké Británii a má instalovaný výkon 367 MW. Větrné elektrárny mají řadu odpůrců kvůli hluku, stroboskopickému efektu a výraznému ovlivnění rázu krajiny.

Biomasa

V ČR se z biomasy v roce 2011 vyrobilo 1 682,6 GWh elektřiny. U tohoto zdroje se v následujících letech počítá s největším nárůstem. Její výhoda oproti ostatním OZE spočívá v možnosti uskladnění a akumulace.

Využívají se zejména tyto formy biomasy:

- **Zbytková biomasa z lesnictví** – například dřevní odpad vznikající při těžbě dřeva či dřevovýrobě (větve, pařezy, piliny, štěpky, hobliny, kůra).
- **Zbytková biomasa ze zemědělství** – tedy nedřevní fytomasa vznikající jako vedlejší produkt (obilná a řepková sláma, organické a rostlinné zbytky ze zpracovatelského průmyslu – např. obaly olejnatých semen, organické zbytky – např. chlévská mrva).
- **Energetické plodiny I. a II. generace** – k I. generaci řadíme například řepku a palmu olejnou, pšenici, kukuřici (výroba bioethanolu) či žitovec, z něhož se vyrábí pelety. K II. generaci patří topoly, vrby, energetický šťovík či proso.

Vodní energetika

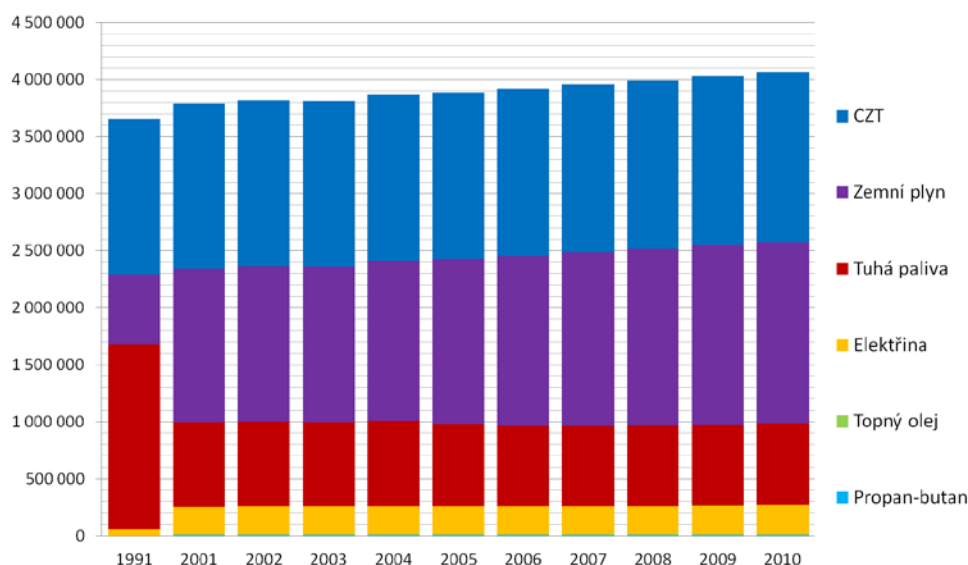
Nejvíce využívaná forma OZE s dlouholetou tradicí. Vodní elektrárny se dělí na malé (do 10 MW) a velké nad (10 MW). Výstavba dalších velkých vodních elektráren je v ČR nereálná, veškeré využitelné větší vodní toky jsou již využity (vodní elektrárna s největším instalovaným výkonem 706 MW je na vltavské kaskádě, největší vodní elektrárna v Evropě Cleuson-Dixence se nachází ve Švýcarsku s instalovaným výkonem 1 269 MW, největší vodní elektrárna světa Tři soutěsky se nachází v Číně a má instalovaný výkon 18 300 MW). Malé vodní elektrárny se staví v místě bývalých mlýnů a jezů za účelem pokrytí vlastní potřeby, eventuálně prodeje elektřiny do sítě distributorů. Celkový instalovaný výkon všech vodních elektráren v ČR v roce 2011 představoval 2201 MW, který se na výrobě elektřiny podílel 3,2 %. Současný evropský trend výstavby vodních elektráren oproti předpokladům uvedeným v Bílé knize o obnovitelných zdrojích v EU zaostává.

[13], [23]

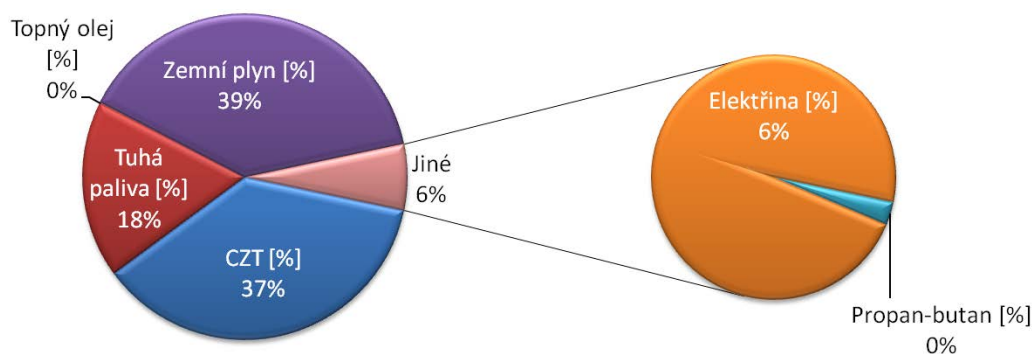
A.3.1.12 NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ

Faktor vstupující energie je jeden z hodnotících faktorů při EHB. Tato kapitola porovnává různé zdroje energie používané k vytápění objektů určených pro bydlení z ekonomického hlediska a ekologického hlediska.

Graf 13: Počet domácností, dle způsobu vytápění v ČR za období 1991 – 2010 [13]

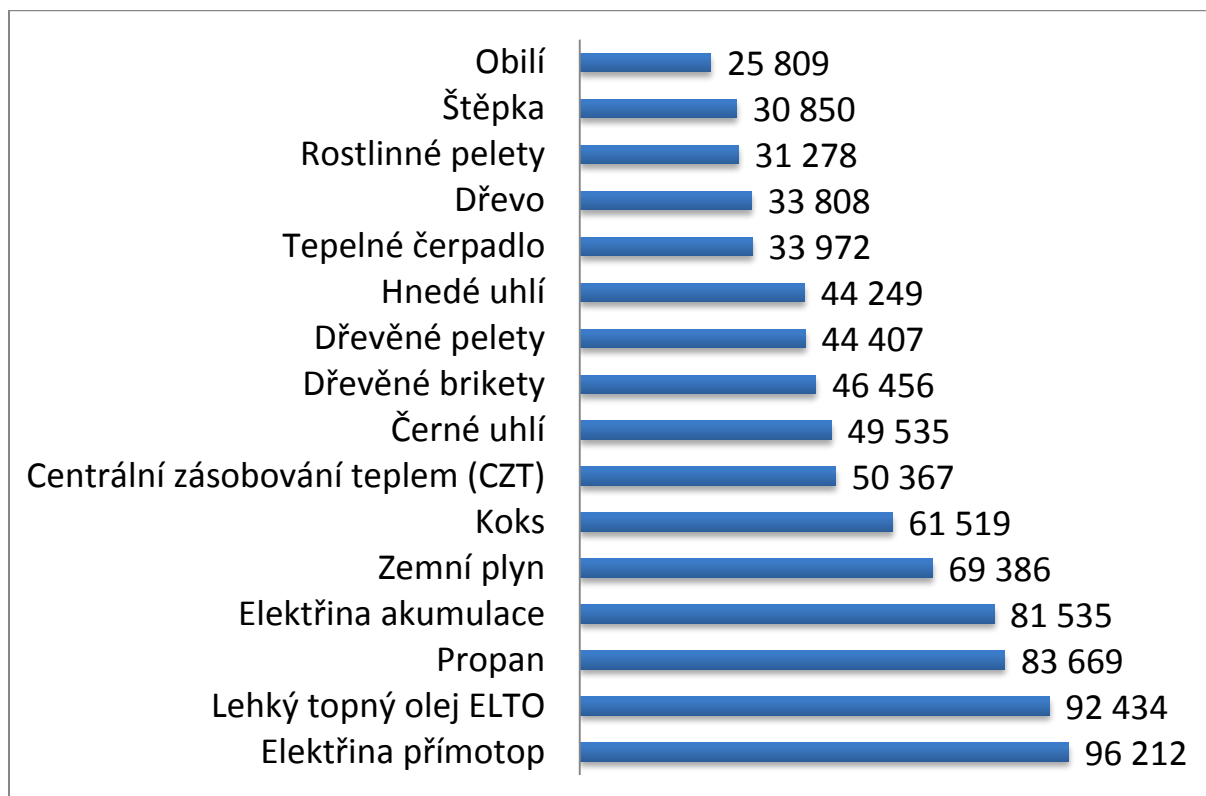


Graf 14: Způsob vytápění v domácnostech ČR během roku 2010 [13]

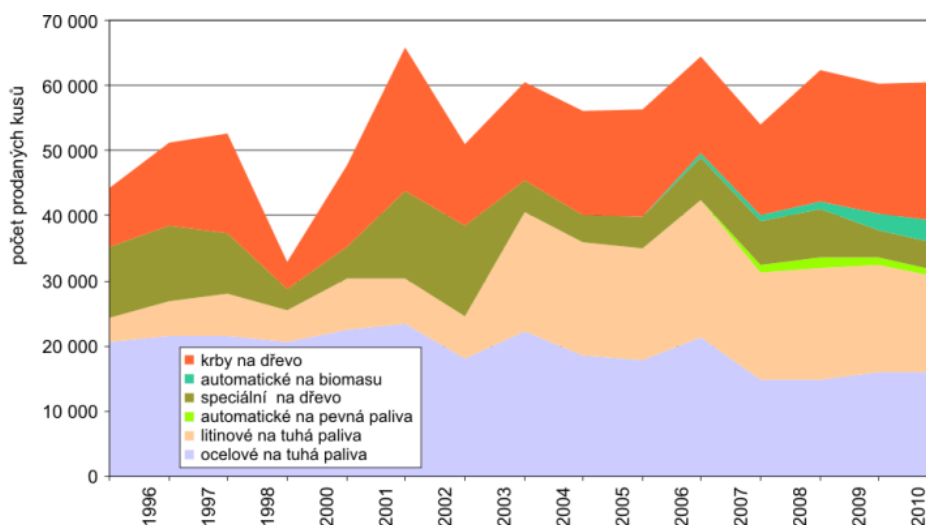


Každého majitele domu zajímá, jak topit co nejlevněji. Díky osvětě se také více než v minulosti hledí i na to, aby zvolený způsob byl i ekologicky přijatelný. Jaké alternativy paliv má tedy uživatel pro vytápění k dispozici? Uvažujme objekt, identický s objektem řešeným v praktické části práce s celkovou roční potřebou tepla na vytápění $Q_{VYT,rok} = 123,4$ GJ/rok:

Graf 15: Náklady na vytápění za rok, platnost cen k 1. 1. 2012 [Kč včetně DPH] [24]

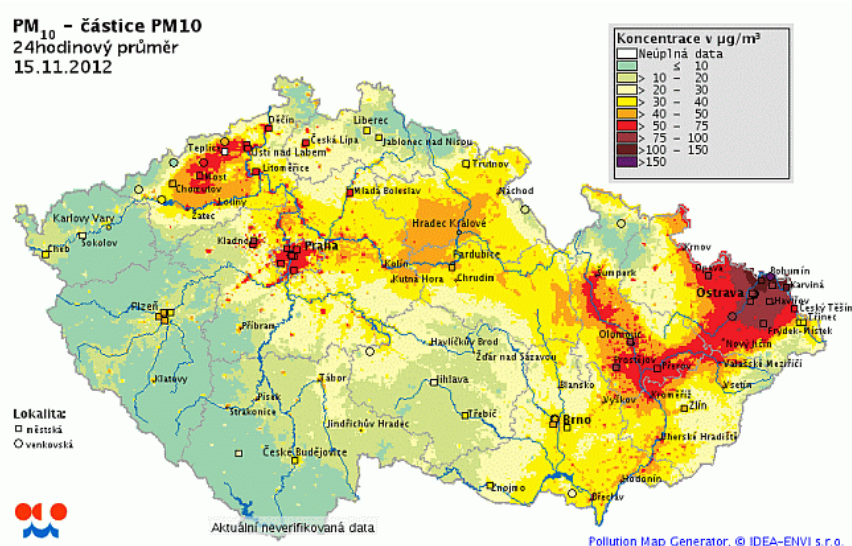


Řada kotlů umožňuje spálení netříděného uhlí, hadrů, pilin nasycených vyjetým motorovým olejem naplněným do PET lahví a dalšího odpadu. Tento stav je neudržitelný. Podle odhadů se staré kotle o tepelném příkonu do 300 kW podílejí na celkových emisích látek vytvářejících smog (oxid uhelnatý, oxid siřičitý, oxidy dusíku, prach aj.) přibližně 40 %.



Obrázek 5: Spotřeba paliv malých zdrojů (REZZO 3), za období 1992–2010 [26]

Zejména ve venkovských oblastech tak přispívají k významným problémům s kvalitou ovzduší. Pokud se přidá ještě znečištění od těžkého průmyslu, jako se tomu děje například v Moravskoslezském kraji (jedny z nejpostiženějších oblastí jsou právě venkovské části Radvanice a Bartovice), je znečištění ovzduší alarmující. To můžeme pozorovat i na Obrázku č. 6, zobrazujícím znečištění částicemi PM₁₀. Povolený denní limit pro prach je 50 µg.m⁻³. Tento limit bývá překročen i více než dvojnásobně. Pro obyvatele to znamená zhoršenou viditelnost, zápach i dýchací problémy, zvýšené riziko vzniku rakoviny a další, zejména u dětí. Proto MPO ve spolupráci s Moravskoslezským krajem spustilo v lednu 2012 dotační program k financování obnovy lokálních topenišť v rodinných domech. V rámci pilotní výzvy, na kterou bylo poskytnuto celkem 20 milionů korun, byly podporovány pouze kotle s automatickým přikládáním na uhlí, popřípadě na uhlí a biomasu s parametry minimálně 3. emisní třídy. Dotace byla poskytnuta maximálně ve výši 60 tisíc korun. V navazujícím programu, spuštěném v červnu 2012 bylo do konce října 2012 možné zažádat o podporu v maximální výši 40 tisíc korun. Celkem se na výzvu vyčlenilo 40 milionů korun.



Obrázek 6: Znečištění ovzduší poletavými částicemi (PM₁₀) dne 15. 11. 2012 - nejvyšší hodnoty jsou na Ostravsku a Karvinsku, minulý rok byla v listopadu situace horší [27]

Novelizovaný **zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší**, který vstoupil v účinnost 1. září 2012, ukládá povinnost provozovat kotle, které plní stanovené emisní limity.

- **od 1. 1 2014** nebudou v ČR na trh uváděny kotle na tuhá paliva **1. a 2. emisní třídy**²⁰ (odhořivací a prohořivací kotle s ručním přikládáním a nízkou účinností, které dnes tvoří odhadem 75 % všech prodávaných kotlů na tuhá paliva)
- **od 1. 1. 2018** nebudou v ČR na trh uváděny kotle na tuhá paliva **3. emisní třídy** (podle dostupných informací je v současné době jediný český výrobce automatických kotlů na uhlí do 50 kW, jehož kotle splňují parametry 4. a 5. emisní třídy - kvalitní automatické kotle na pelety a dřevosplyňující kotle)

²⁰ emisní třídy se řídí podle ČSN EN 303-5

Zákon také stanovuje sankce pro provozovatele kotle:

- pokuta 20 000 Kč od 1. 1. 2017, pokud nepředloží revizi svého kotle
- pokuta 50 000 Kč od 1. 9. 2022, pokud se při revizi prokáže, že kotel o jmenovitém tepelném příkonu do 300 kW nesplňuje parametry alespoň 3. třídy
- pokuta 50 000 Kč, pokud bude provozovatel v kotli používat paliva, které jsou zakázána (především odpady, uhelné kaly apod.)

Staré kotle bude nutno buď renovovat (dovybavení automatickým podavačem paliva nebo automatickým hořákem) nebo vyměnit za nové. Vyžádané kontroly kotlů budou probíhat jednou za dva roky odborně způsobilou osobou proškolenou výrobcem kotlů s oprávněním k instalaci, provozu a údržbě daného kotle. Novela zákona ukládá povinnost předložit revizi kotleny obecnímu úřadu, pokud si to vyžádá.

Důvody, kvůli kterým je zavádění modernějších a ekologičtějších způsobů vytápění spíše pozvolné, jsou zejména ekonomické (výše vstupní investice), a dále pak nedůvěra k novým technologiím – zapříčiněná nedostatečnou informovaností a spíše konzervativní povahou Čechů. Vyšší počáteční investice jsou při dobré ekonomické úvaze (správně stanovené době návratnosti) vykoupeny menšími provozními náklady. Zvláště u novostaveb by moderní technologie a materiály měly být voleny jako standard. Že tomu tak v praxi není, bývá způsobeno většími nároky na kvalitu provedení související s potřebnou vyšší odborností provádějících profesí.

Pro rozšíření moderních technologií mluví zlepšující se ekologická uvědomělost společnosti a stále stoupající cena tradičních paliv, jako jsou plyn, uhlí a elektřina. U každého paliva stoupá cena jinou rychlostí. Cena zemního plynu vzrostla během posledních deseti let asi o 70 %, cena elektřiny asi o 40 % a cena dřevních pelet asi o 12 %. Nízký nárůst cen dřevních pelet je způsobený minimální závislostí na stoupajících cenách ropy. Cena uhlí a elektřiny roste také díky zavedení tzv. ekologické daně od r. 2008. Cenu fosilních paliv ovlivní i zavedení plánované „uhlíkové daně“ od roku 2014.

[28], [29]

A.3.2 PRAKTICKÉ ŘEŠENÍ

Řešení zahrnující využití výpočetní techniky:

- **ArchiCAD 13**
V programu byly vytvořeny veškeré použité výkresy a schémata zkoumaného objektu.
- **BSim 2010**
V programu byl vytvořen PC model zkoumané budovy a zadány okrajové podmínky potřebné k výpočtu spotřeby energie budovy za časové období jednoho roku.
- **MS Excel 2007**
Tabulkový procesor, byl použit pro náročnější výpočty a k vytvoření tabulek a grafů.
- **MS Word 2007**
Textový procesor, použit k zpracování diplomové práce.
- **Teplo 2010 (z programového balíku Stavební fyzika od fy Svoboda Software)**
V programu byly spočteny součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí.

A.3.3 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ

Experimentální řešení proběhlo formou experimentálního měření na solárních kolektorech instalovaných na střeše jednoho ze zkoumaných objektů.

Měřicí přístroje:

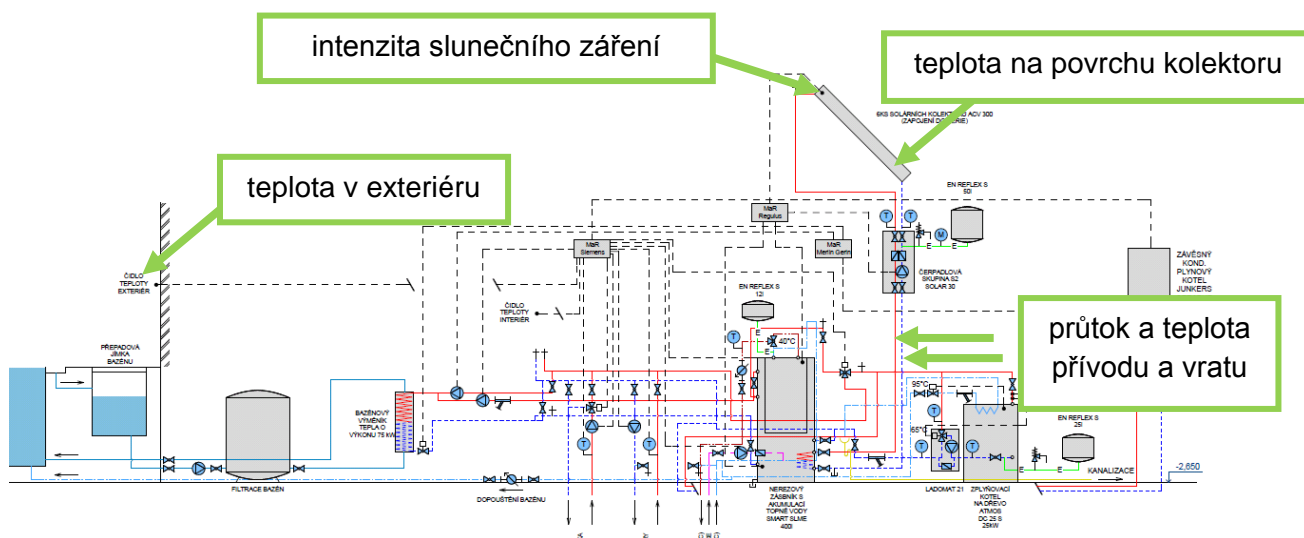
- Controlotron System 1010 DP UNIFLOW
- ústředna Ahlborn ALMEMO 3290-8
- pyranometr SG 0013, výrobce J. Tlušťák
- (Commeter D0241 pro srovnání teplot)

Čidla a snímače:

- | | |
|---|---------------------|
| • pro měření průtoku fungující na ultrazvukovém principu | 2 ks (Controlotron) |
| • pro měření teploty Pt100 (odporové dráty) | 4 ks (Ahlborn) |
| • pro měření intenzity slunečního záření | 1 ks (Ahlborn) |
| • (pro měření teploty Pt1000 nebo Ni1000 – jen pro srovnání | 3 ks) |

Sledované veličiny byly:

- | | | |
|-------------------------------|---|---------------------|
| • průtok | Q | [l/s] |
| • teplota | t | [°C] |
| • intenzita slunečního záření | I | [W/m ²] |



Výsledky měření sloužily jako vstup pro následný výpočet prosté i diskontované doby návratnosti investice do solárních kolektorů.

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ – KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

B.1 O SIMULAČNÍM PROGRAMU BSIM 2010

Program Building Simulation 2010 (BSim 2010) slouží k simulování a analýze vnitřního mikroklimatu budov. Zároveň ukazuje i potřebu energie k jeho dosažení a vliv jednotlivých složek na celkové potřebě. Byl vyvinut společností Danish Building and Urban Research při universitě v Aalborgu.

Díky vyvinutého podrobného matematického modelu, je možné simulovat i velmi složité budovy s moderními způsoby vytápění a větrání a provozních strategií, které se liší v průběhu dne a roku.

Inženýři a architekti mohou využívat BSim jako užitečný nástroj při plánování a projektování budov, zejména při porovnávání a analýze alternativních projekčních návrhů s ohledem na spotřebu energie, tepelné vnitřní klima a podmínky denního světla. Software také simuluje provozní podmínky a dynamickou souhru mezi budovou, zařízeními a jejich automatickými kontrolními systémy. Z hlediska analýzy, je software vhodný zejména pro parametry studie týkající se například dopadajícího slunečního záření, pasivního využití slunečního tepla a velikosti a orientace oken.

Software počítá výkony a energetických toky v rámci budovy a mezi budovou a jejím okolím. Pro všechny simulované prostory nebo zóny software vypočítá tepelné ztráty prostupem, infiltrací a větráním, tepelný příkon ve formě slunečního tepla, teplo a vlhkost produkovaného lidmi a zařízeními, spotřebu elektřiny pro osvětlení a pro každou složku systémů vytápění, chlazení a větrání. Vnitřní klima je počítáno v hodinových intervalech (vnitřní teplota vzduchu, povrchová teplota, relativní vlhkost vzduchu a výměna vzduchu pro každou zónu).

[30]

B.1.1 GEOMETRIE 3D MODELU BUDOVY

Podklady pro vytvoření modelu lze, buď importovat z výkresů vytvořených v AutoCADu, nebo lze model vytvořit pomocí jednoduchých geometrických tvarů (místností) přímo v BSimu. V případě složitějších tvarů je třeba rozdělit konstrukci na více částí a z nich se teprve sestaví požadovaný tvar. Všem povrchům a konstrukcím se poté přiřadí materiál a nadefinují jejich vlastnosti. Jednotlivé místnosti se podle potřeby (stejně využití nebo režim) sdruží do tzv. „teplotních zón“. Teplotní zóny lze odlišit operativní teplotou, používanými systémy, režimem vytápění i provozem. Mimo teplotních zón má model běžně i tzv. virtuální zónu, například zeminu nebo vnější vzduch (klimatické podmínky - načteny z externího datového souboru). Hodnoty vzduchu (teplota a obsah vodní páry) jsou počítány v uzlovém bodu. Dále se předpokládá, že vzduch v zónách je dokonale promíchán.

Program má k dispozici následující systémy:

- chlazení
- vytápění
- podlahové vytápění/chlazení
- vybavení (zisky od vnitřních zdrojů)
- tepelné čerpadlo

- infiltraci venkovního vzduchu
- osvětlení
- vlhkostní zátěž
- obsazení osobami
- klimatizaci
- větrání

Režim využívání jednotlivých systémů lze zadat pro průběh dne, týdne i měsíce. Výstupem z programu je energetická bilance budovy a odpovídající graf. Modelovat lze v průběhu celého roku nebo pro vybrané období (např. den, týden nebo měsíc). Po spuštění výpočtu program provede simulaci pro zadané období, vložená klimatická data, zadaný provoz soustav TZB a režim užívání budovy.

Výstupem je tabulkové a grafické shrnutí všech potřebných energií pro provoz jednotlivých součástí systému TZB.

[30]

B.1.2 KLIMATICKÁ DATA (EXTERIÉR)

Na začátku zadávání, se programu určí místo stavby (zeměpisnou šířkou a délkou, nadmořskou výškou a časovým pásmem). Aby se simulace blížila skutečnosti co nejlépe, nahrají se do BSimu hodinová klimatická data (okrajové podmínky pro vnější prostředí), obsahující:

- teplotu venkovního vzduchu
- relativní vlhkost
- přímou a difúzní sluneční radiaci
- celkovou dobu slunečního svitu
- směr a rychlost větru a další...

[30]

B.1.3 TEPELNÁ BILANCE

Do tepelné bilance budovy jsou zahrnuty:

- tepelné toky konstrukcemi (mezi budovou a okolím)
- tepelné toky ze sousedních prostor (v rámci budovy)
- sluneční záření pronikající přes výplně otvorů
- tepelná zátěž od vnitřních zdrojů
- infiltrace venkovního vzduchu
- vzduch přiváděný nuceným větráním
- vzduch přiváděný z jiných zón atd.

[30]

B.1.4 MATEMATICKÝ ZÁKLAD VÝPOČTŮ V BSIM 2010

Nestacionární tepelně-vlhkostní chování budovy je programem zjednodušeno a převedeno ve velmi krátkých časových intervalech na stacionární podle Fourierovy rovnice sdílení tepla.

Program vyhodnocuje vnitřní prostředí budovy (teplota vzduchu v interiéru, povrchová teploty, relativní atmosférická vlhkost, výměna vzduchu) v hodinových intervalech. Krok prostorové diskretizace je programem volen automaticky. Při přenosu tepla konstrukcí, považuje program konstrukci za homogenní. Pokud je ale příliš mohutná, je rozdělena do více tenkých vrstev (metoda kontrolních objemů).

[30]

B.1.4.1 TEPELNÉ TOKY Z VNITŘNÍCH A EXTERNÍCH PROSTOR

Proudění tepla mezi stavebními povrchy a vzduchem je definováno pomocí kombinovaných tepelných odporů a příslušných teplot, které jsou specifikované pro každý individuální povrch. Tepelná ztráta je počítána pomocí vztahu

$$\Phi_{\text{air,const}} = \sum A_{\text{surf}} \frac{T_{\text{surf}} - T_{\text{air}}}{R_{\text{surf}}}$$

kde:

$\Phi_{\text{air,const}}$	... Tepelná ztráta všech povrchů	[W]
A_{surf}	... Plocha povrchu	[m ²]
T_{surf}	... Teplota povrchu	[K]
T_{air}	... Teplota vzduchu v dané zóně	[K]
R_{surf}	... Tepelný odpor povrchu	[m ² K/W]

[30]

B.1.4.2 TEPELNÉ TOKY VÝPLNĚMI OTVORŮ

Pro výplně otvorů se nepředpokládá tepelná jímavost. Proudění tepla (kladné nebo záporné) skrz tento druh konstrukcí se počítá pro uzel na každé straně konstrukce pomocí vztahu

$$\Phi_{\text{air,win,dor}} = \sum A_{\text{win,dor}} \cdot U_{\text{win,dor}} \cdot (T_1 - T_2)$$

kde:

$\Phi_{\text{air,win,dor}}$	... Tepelná ztráta přes výplně otvorů	[W]
$A_{\text{win,dor}}$	... Plocha povrchu výplně otvoru	[m ²]
$U_{\text{win,dor}}$	... Součinitel prostupu tepla výplně otvoru	[W/(m ² K)]
T_1, T_2	... Teplota vzduchu na příslušných stranách výplně otvoru	[K]

[30]

B.1.4.3 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Sluneční záření, přicházející skrz výplně otvorů, je pro každou zónu rozděleno mezi povrchy a vzduch podle vztahu

$$\Phi_{\text{air,sol}} = f_{\text{sol-air}} \cdot \Phi_{\text{sol}}$$

kde:

$\Phi_{\text{air,sol}}$	... Tepelné zisky od slunečního záření v zóně	[W]
$f_{\text{sol-air}}$	... Součinitel zisku slunečního záření poskytnutého vzduchu	[-]
Φ_{sol}	... Celkový zisk ze slunečního záření v zóně	[W]

[30]

B.1.4.4 TEPELNÉ TOKY SPOJENÉ S VĚTRÁNÍM

Vzduch se může do tepelné zóny dostat více způsoby: infiltrace, smíšení, přirozené a nucené větrání. Účinek na tepelný tok každého z vyjmenovaných závisí na objemovém průtoku a na teplotě vzduchu, který je do zóny dodáván a je vyjádřen pomocí vztahu

$$\Phi_{\text{air,vent}} = n_{\text{vent}} V \rho c_p \cdot (T_{\text{vent}} - T_{\text{air}})$$

kde:

$\Phi_{\text{air,vent}}$	... Teplo dodávané přiváděným vzduchem	[W]
n_{vent}	... Intenzita výměny vzduchu	[s ⁻¹]
V	... Objem zóny	[m ³]
c_p	... Měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kg·K]
T_{vent}	... Teplota přiváděného vzduchu	[K]
T_{air}	... Teplota vzduchu v dané zóně	[K]

[30]

B.1.4.5 TEPELNÉ TOKY Z VNITRNÍCH ZDROJŮ A SYSTÉMŮ

Tyto příspěvky k celkové tepelné bilanci jsou spojeny s užíváním zóny (lidé, vybavení, vnitřní zdroje tepla či chladu). Jejich tepelné účinky se mění pole definovaných režimů a řízení systémů. Při definování systémů lze určit, jaký bude poměr produkovaného tepla indukci do vzduchu a záření na povrchy zóny.

[30]

B.1.4.6 CELKOVÁ TEPELNÁ BILANCE ZÓNY

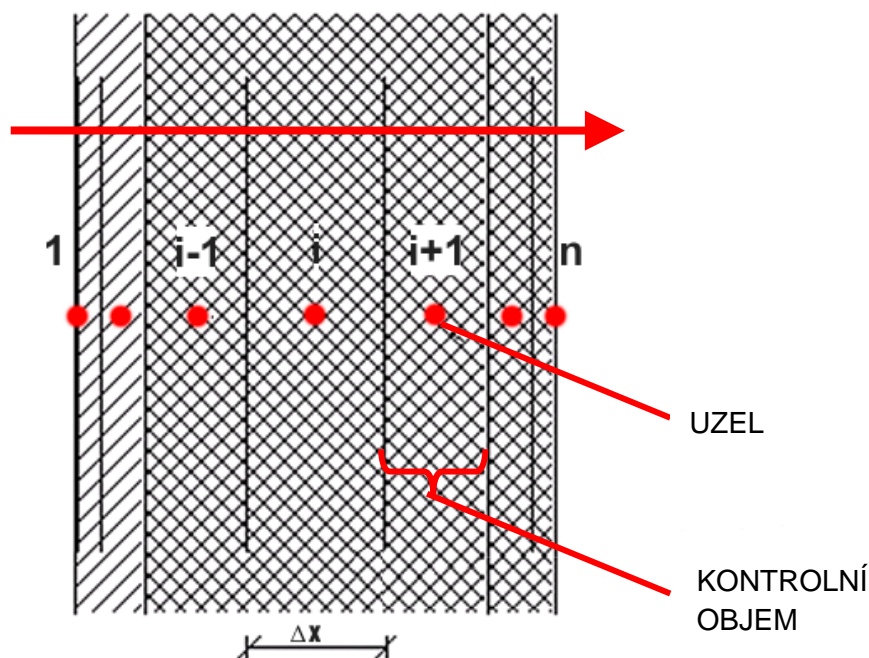
Jedná se o sumu všech tepelných toků (kladných i záporných), pomocí kterých se vypočte výsledná teplota vzduchu v zóně v každém časovém kroku pomocí vztahu

$$T_{\text{air}} = \sum \frac{A_{\text{surf}} \cdot T_{\text{surf}}}{R_{\text{surf}}} + \sum A_{\text{win,dor}} \cdot U_{\text{win,dor}} \cdot T_{\text{adj,zone}} + V(\rho c_p)_{\text{air}} \cdot \left(n_{\text{outdoor}} T_{\text{outdoor}} + \sum n_{\text{zone}} \cdot T_{\text{zone}} \right) + \Phi_{\text{air,sol}} + \Phi_{\text{air,vent}} + \Phi_{\text{air,syst}}$$

[30]

B.1.4.7 VEDENÍ TEPLA V KONSTRUKCÍCH

Pro tyto účely jsou mohutnější nebo složitější konstrukce rozčleněny na i vrstev. Vedení tepla v konstrukci je pak řešeno pomocí bodů (uzlů) umístěných uprostřed jednotlivých vrstev konstrukce při zahrnutí jejich tepelné jímavosti.



Obrázek 7: Prostorová diskretizace konstrukce [30]

Pro každý i -tý úsek je provedena kontrola, kolik tepla je získáno sdílením ze sousedního úseku a kolik je odebráno. Z této bilance plyne změna entalpie, která může být na základě měrné tepelné kapacity materiálu převedena na teplotní změnu.

Bereme-li i -tou vrstvou jako základ, je sdílení tepla ze sousedního prvku $i-1$ je vypočítáno na základě Fourierovy rovnice sdílení tepla s přesností, kdy teplotní spád mezi uzly sousedních vrstev je stejný jako ve stacionární situaci. Toto přiblížení nahrazuje odlišující se teplotní gradienty ve Fourierově zákoně za gradienty vypočtené z teplotních rozdílů mezi uzly konečné vzdálenosti. Běžné techniky založené na číselných metodách dosahují dostačující přesnosti, pokud je diskretizace dostatečně jemná, při předpokladu, že každý materiál má vlastní označení a vrstva má vlastní tloušťku (Δx). Prvek tak sdílí teplo za jednotku času na určitou oblast (tepelný tok), tedy na povrchu mezi dvěma vrstvami do času neboli kroku $j+1$. Tepelný tok lze vyjádřit následujícím vztahem (1)

$$q_i^{j+1} = - \frac{T_i^{j+1} - T_{i-1}^{j+1}}{\frac{\Delta x_{i-1}}{2\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + R_i}$$

kde:

q	... Tepelný tok	[W/m ²]
Δx	... Tloušťka vrstvy	[m]
λ	... Měrná tepelná vodivost vrstvy	[W/m·K]
R	... Tepelný odpor vrstvy (kontrolního objemu)	[m ² K/W]
i	... Index prostorové diskretizace	[-]
j	... Index časové diskretizace	[-]

[30]

Na základě tohoto vztahu je vypočten tepelný tok z teplot na konci časového kroku. Když výpočty dorazí k časovému kroku v čase j a mají se vypočítat podmínky času $j+1$, stav tohoto časového kroku není dosud známý. Nelze tedy vložit explicitní hodnoty pro teploty na pravé straně rovnice. Je tedy použit implicitní postup výpočtu vyjádřený vztahem (2)

$$q_i \Delta x_i = \frac{h_i^{j+1} - h_i^j}{\Delta t} = - (q_{i+1}^{j+1} - q_i^{j+1})$$

kde:

h	... Měrná entalpie definovaná na základě referenční úrovně	[J/kg]
Δt	... Délka časového kroku	[s]

Změnu entalpie lze vyjádřit také jako změnu teploty vynásobené měrnou tepelnou kapacitou. Po dosazení do vztahu (1) získáme (3)

$$(\rho c_p)_i \Delta x_i \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\frac{\Delta x_{i-1}}{2\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + R_i} + \frac{T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + \frac{\Delta x_{i+1}}{2\lambda_{i+1}} + R_{i+1}}$$

Tato rovnost je připravena pro všechna i s ohledem na teplotu v nové časové úrovni. Tento výpočet je možný jen, pokud jsou známy okrajové podmínky. Vztah je proto vyjádřen v mírně odlišné formě, která je platná pro hranici $i = 1$, v tváři 1 konstrukce. Pokud hranice uzlu leží blízko aktuální hranice, je možné napsat vztah (4)

$$(\rho c_p)_1 \Delta x_1 \frac{T_1^{j+1} - T_1^j}{\Delta t} = q_{\text{surf,face1}} \frac{T_{\text{surf}} - T_1^{j+1}}{R_{\text{surf,face1}}} + \frac{T_2^{j+1} - T_1^{j+1}}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{2\lambda_2} + R_2}$$

kde:

$q_{\text{surf,face1}}$	... Přestup tepla přímo na povrchu	[W/m ²]
Δt	... Povrchový odpor	[m ² K/W]

T_1 je teplota, která se v celkové tepelné rozvaze zóny nazývá T_{surf} . Přestupy tepla pro povrchy sousedící s vnitřními zónami jsou složeny z dopadu slunečního záření do zóny nepřipraveného vzduchu a možného podílu tepla ze systémů, přiřazeného povrchům.

Sluneční povrchový příspěvek je distribuovaný podle povrchové plochy, ale s různou intenzitou, jak je uvedeno v slunečním distribučním menu pro zónu. Povrchový příspěvek ze systémů je distribuován rovným dílem na všechny plochy povrchů v zóně. Povrchy orientované do exteriéru mají tepelný příspěvek vypočítaný ze slunečního dopadu pro vnější povrch s významným ohledem na orientaci a pohltivost povrchového materiálu. Rovnost odpovídající (4) je však platná pro tvář 2 konstrukce ($i = n$).

Nastavení soustavy rovnic pro všechny i , je realizováno pomocí členů H a HO , které jsou představiteli pro vnitřní kontrolní objemy (5) a (6)

$$H_i = \frac{1}{\frac{\Delta x_{i-1}}{2\lambda_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{2\lambda_i} + R_i}$$

$$HO_i = \frac{(\rho c_p)_i \Delta x_i}{\Delta t}$$

Pro povrchový kontrolní objem tváře 1 je níže popsán HO, zatímco H_1 a H_2 jsou popisují následující vztahy (7) a (8)

$$H_1 = \frac{1}{R_{\text{surf,face}}}$$

$$H_2 = \frac{1}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{2\lambda_2} + R_2}$$

Pomocí těchto členů je možné vztahy (3) a (4) přepsat na jednodušší formu při spojení, která zahrnují teploty na „nové“ časové úrovni $j+1$, napsané na levé straně rovnice a hodnoty dané explicitně jako spojení, která zahrnují teploty na „staré“ časové úrovni j napsané na pravé straně.

Pro vnitřní kontrolní objemy lze sestavit následující vztah (9)

$$-H_i T_{i-1}^{j+1} + (HO_i + H_i + H_{i+1}) \cdot T_i^{j+1} - H_{i+1} T_{i+1}^{j+1} = HO_i T_i^j$$

Tento výraz může být dále zjednodušen na vztah (10) pomocí součinitelů A, B, C a D, definovaných oborem $\langle o, z \rangle$, které jsou zjevné při srovnání vztahů (8) a (9)

$$A_i T_{i-1}^{j+1} + B_i T_i^{j+1} + C_i T_{i+1}^{j+1} = D_i$$

Pro povrchové kontrolní objemy v tváři 1 konstrukce získáme následující výraz (11)

$$(HO_1 + H_1 + H_2) \cdot T_1^{j+1} - H_2 T_2^{j+1} = HO_1 T_1^j + H_1 T_{\text{air}} + q_{\text{surf,face1}}$$

Tento výraz může být dále zjednodušen na vztah (12) pomocí součinitelů B, C a D.

$$B_1 T_1^{j+1} + C_1 T_2^{j+1} = D_1$$

Vztahy (11) a (12) a vztahy, analogicky napsané pro povrch tváře 2, lze sestavit do jedné soustavy rovnic

$$\begin{bmatrix} B_1 & C_1 & & & \\ \bullet & \bullet & \bullet & & \\ & A_2 & B_2 & C_2 & \\ & & \bullet & \bullet & \bullet \\ & & & A_n & B_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1^{j+1} \\ \bullet \\ T_i^{j+1} \\ \bullet \\ T_n^{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ \bullet \\ D_i \\ \bullet \\ D_n \end{bmatrix}$$

Matice koeficientů v této soustavě rovnic má nuly vně všech třech hlavních diagonál a může proto být vyřešena jednoduchým a rychlým algoritmem.

Nově vypočítané teploty z jednorázových kroků výpočtu se stávají „starými“ teplotami pro další časový krok. Takto lze postupovat dále při znalosti okrajových podmínek, tedy

teploty vzduchu a indukce záření na každém z dvou povrchů. Pro začátek výpočtu je nastavena počáteční teplota (implicitně jsou všechny teploty rovny 20 °C). Pro tyto hodnoty proběhne simulace v prvním dnu vícekrát, než je dosaženo stability.

[30]

B.1.4.8 ČASOVÁ DISKRETIZACE VÝPOČTU

Pro dosažení dostatečné přesnosti a stability výpočtu je třeba vyhnout se příliš velkým časovým krokům, jako v případě explicitní metody, která používá teploty na „staré“ úrovni. Proto je velikost omezena Fourierovým kritériem pro kontrolní objemy. Kritérium lze stanovit pomocí vztahu

$$R = \frac{\lambda}{\rho c_p} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2}$$

Program BSim volí a posuzuje zvolený časový krok Δt tak, aby Fourierovo číslo nepřesáhlo hodnotu 1,25 (stabilitní kritérium) pro každou z kontrolních hodnot modelu budovy. Maximální časový krok lze stanovit pomocí vztahu

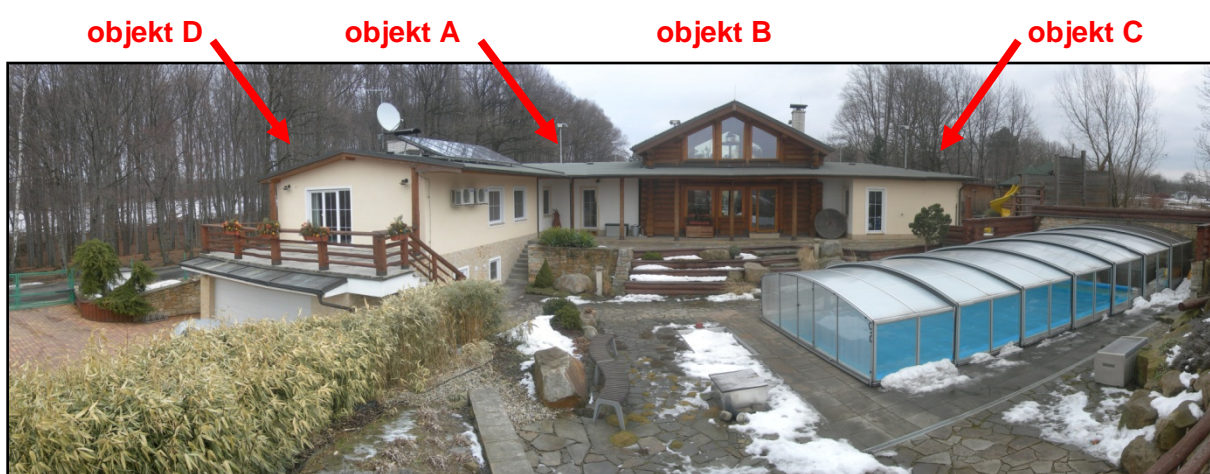
$$(\Delta t)_{\max} = \min \left(1,25 \frac{\rho c_p}{\lambda} (\Delta x)^2 \right)_{\text{allcontrolvolumes}}$$

Při startu simulace program vypočítá a nabídne doporučený časový krok (počet časových kroků za hodinu). Uživatel by si měl uvědomit, že významný rozdíl mezi doporučeným a vybraným časovým krokem může způsobit větší nepřesnost při výpočtech.

[30]

B.2 PŘEDSTAVENÍ AREÁLU

Areál stojí okrajové části městečka Brušperk v nadmořské výšce 280 m. Je tvořen čtyřmi samostatnými oddílovanými budovami navzájem komunikačně propojených. Areál slouží jako zázemí pro sportovce (A, B, C) a kancelář (D). Objekty A, C a D jsou provedeny ze stavebního materiálu Thermomur - polystyrenové stavebnicové bloky vylité betonem. Objekt B je roubená dřevostavba. Objekty jsou jednopodlažní, s výjimkou objektu D, který je dvoupodlažní. Na jeho střeše je osazeno šest kusů plochých solárních kolektorů, v jeho spodním podlaží je umístěna technická místnost a garáž. Celý areál je nepodsklepený, střechy jsou sedlové se sklonem 10° (A, B, C – modifikované asfaltové pásy) a 22° (D – lehká krytina typu Satjam). Celková zastavěná plocha je 277,5 m² a celkový obestavěný prostor je 1291,5 m³.



Obrázek 8: Sportovně rekreační areál na Veselíčku v Brušperku

B.2.1 TEPELNÉ ZTRÁTY A SPOTŘEBA TEPLA

Výpočet tepelných ztrát objektů byl proveden podle ČSN 060210 pro výpočtovou teplotu exteriéru -15 °C. V rámci výpočtu byly uvažovány přírážky na zátop (převažující teploty, popřípadě provoz na snížený výkon zdroje tepla cca 12 h), a to pro objekt C 20 % a pro objekty A, B, D 10 %.

Tepelné ztráty:

- budova A $Q = 5,33 \text{ kW}$
- budova B $Q = 4,6 \text{ kW}$
- budova C $Q = 4,35 \text{ kW}$
- budova D $Q = 7,61 \text{ kW}$

Tepelné ztráty celkem: $Q = 21,95 \text{ kW}$

Roční spotřeba tepla: $E_{\text{MAX}} = 123,4 \text{ GJ}$

Stavba areálu proběhla v roce 2000 a splňovala tehdejších normové požadavky.

B.2.2 OTOPNÁ SOUSTAVA A ZDROJE TEPLA

Zdrojem tepla pro přípravu otopné vody je zplyňovací kotel na dřevo ATMOS DC 25S o jmenovitém výkonu 25 kW. Alternativní zdroje jsou pak závěsný plynový kondenzační kotel JUNKERS Cerapur o jmenovitém výkonu 23 kW a topná spirála pro šest solárních kolektorů ACV SOLAR 300 doplněných o akumulční zásobník teplé vody Smart SL ME 400l.

Primární funkcí topné soustavy je vytápění sportovně rekreačního areálu a kanceláří. Jedná se o tři zděné a jeden srubový objekt, které jsou vzájemně propojeny. Vytápění je realizováno teplovodní dvoutrubkovou soustavou s nuceným oběhem topné vody o tepelném spádu 75/65 °C s konvekčními deskovými otopnými tělesy, a ve srubovém objektu pak nízkoteplotním okruhem podlahového vytápění s teplotou přívodu 54,5 °C.

Soustava dále zajišťuje přípravu TV v zásobníkovém ohřivači ACV SMART LINE ME 200 (dva soustředěné zásobníky systému „Tank in Tank“). Vnitřní zásobník o objemu 99 l obsahuje užitkovou vodu, vnější pak vodu topnou, která své teplo předává vodě užitkové.

Třetí neméně důležitou funkcí je pak ohřev venkovního bazénu o objemu 55 m³. Ohřev probíhá prostřednictvím cílené výroby přebytku tepla pro účely vytápění a přípravy TV, který je pak přes tepelný výměník předán do bazénové vody.

Schéma zapojení technické místnosti – viz příloha P1

B.2.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH BUDOV AREÁLU

B.2.3.1 BUDOVA A

Slouží jako provozně správní objekt, nachází se v ní:

- kancelář a denní místnost
- hygienická místnost (sprcha a WC)
- úklidová místnost

Rozměry: 11,20 x 7,70 m
Světlá výška: 2,70 m
Výška hřebene: 3,60 m
Zastavěná plocha: 76,5 m²
Obestavěný prostor: 285 m³

B.2.3.1.1 POSUDKY SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA „U“ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ DOMU DLE ČSN 730540-2:2011, SOFTWARE TEPLO 2010

VNĚJŠÍ KONSTRUKCE - OBVODOVÁ NOSNÁ ZEĎ TL. 250 mm – THERMOMUR

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{aj} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,02 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,13 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,04 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Omítka Supertherm	0.0250	0.1500	850.0	200.0	8.0
2	Pěnový polystyren	0.0500	0.0340	1270.0	25.0	50.0
3	Beton hutný	0.1500	1.2300	1020.0	2100.0	17.0
4	Pěnový polystyren	0.0500	0.0340	1270.0	25.0	50.0
5	Omítka Supertherm	0.0250	0.1500	850.0	200.0	8.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N = 0,30$ W/m²K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0,30 W/m²K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

PODLAHOVÁ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{aj} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,02 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Podlaha na zemině
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,17 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,00 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Keramická dlažba	0.0060	1.0100	840.0	2000.0	200.0
2	Cementový potěr	0.0500	1.3000	1020.0	2200.0	20.0
3	Tepelná izolace EPS	0.0800	0.0380	1270.0	25.0	50.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_{N=}$	0,45 W/m ² K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,45 W/m ² K
$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN	

STROPNÍ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{aj} :	21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU :	0,05 W/m ² K
Typ hodnocené konstrukce:	Strop, střecha – tepelný tok zdola
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0,10 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0,04 m ² K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c[J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Sádrokarton	0.0200	0.2200	1060.0	750.0	9.0
2	Jutafol N96 S	0.0001	0.3800	1700.0	640.0	65000.0
3	Tepelná izolace EPS	0.2000	0.0380	1270.0	25.0	50.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_{N=}$	0,30 W/m ² K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,23 W/m ² K
$U > U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN	

DVEŘE VEKRA CLASSIC

- stabilní vícekomorový profil, výztuhy jsou v rozích spojeny
- těsnění doléhající k prahu zabraňující průvanu
- vysoká odolnost proti UV záření a vnějším vlivům

Požadavek n součinitel prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_{N=}$	1,70 W/m ² K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,99 W/m ² K
$U > U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN	

OKNA VEKRA DESIGN

- elegantní oblý sedmikomorový PVC profil
- dvojitě těsnění rámu a křídla
- zasklení izolačním dvojsklem
- vysoká odolnost proti UV záření a vnějším vlivům

Požadavek n součinitel prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_{N=}$	1,50 W/m ² K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,99 W/m ² K
$U > U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN	

B.2.3.2 BUDOVA B

Slouží jako společenská místnost s krbem, nachází se v ní:

- klubovna
- galerie přecházející v balkón

Rozměry: 8,10 x 6,80 m
Světlá výška: až 5,50 m
Výška hřebene: 5,70 m
Zastavěná plocha: 66 m²
Obestavěný prostor: 355 m³

B.2.3.2.1 POSUDKY SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA „U“ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ DOMU DLE ČSN 730540-2:2011, SOFTWARE TEPLO 2010

VNĚJŠÍ KONSTRUKCE - OBVODOVÁ NOSNÁ ZEĎ TL. 300 mm – ROUBENÉ DŘEVO

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,02 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,13 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,04 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Dřevo tvrdé	0.3000	0.0900	2510.0	600.0	157.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N = 0,30$ W/m²K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0,30 W/m²K
 $U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,05 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Strop, střecha – tepelný tok zdola
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,10 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,04 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Dřevěné podbití	0.0180	0.2200	2510.0	600.0	157.0
2	Tepelná izolace ORSIL 0.2000	0.0440	0.0440	1150.0	75.0	1.1

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N = 0,24$ W/m²K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0,26 W/m²K
 $U > U_N \rightarrow$ POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN (pro současné normové hodnoty)

PODLAHOVÁ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} :	21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU :	0,02 W/m ² K
Typ hodnocené konstrukce:	Podlaha na zemině
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0,17 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0,00 m ² K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Keramická dlažba	0.0060	1.0100	840.0	2000.0	200.0
2	Cementový potěr	0.0500	1.3000	1020.0	2200.0	20.0
3	Tepelná izolace EPS	0.0800	0.0380	1270.0	25.0	50.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: U_N =	0,45 W/m ² K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,45 W/m ² K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

B.2.3.3 BUDOVA C

Slouží jako zázemí pro sportovce, nachází se v ní:

- šatny a sprchy pro muže a ženy
- WC pro muže a ženy
- sauna a klidová místnost

Rozměry: 6,50 x 7,70 m
Světlá výška: 2,50 m
Výška hřebene: 3,60 m
Zastavěná plocha: 47 m²
Obestavěný prostor: 173 m³

B.2.3.3.1 POSUDKY SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA „U“ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ DOMU DLE ČSN 730540-2:2011, SOFTWARE TEPLO 2010

VNĚJŠÍ KONSTRUKCE - OBVODOVÁ NOSNÁ ZEĎ TL. 250 mm – THERMOMUR

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,02 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,13 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,04 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Omítka Supertherm	0.0250	0.1500	850.0	200.0	8.0
2	Pěnový polystyren	0.0500	0.0340	1270.0	25.0	50.0
3	Beton hutný	0.1500	1.2300	1020.0	2100.0	17.0
4	Pěnový polystyren	0.0500	0.0340	1270.0	25.0	50.0
5	Omítka Supertherm	0.0250	0.1500	850.0	200.0	8.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N = 0,30$ W/m²K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0,30 W/m²K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

PODLAHOVÁ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,02 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Podlaha na zemině
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,17 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,00 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Keramická dlažba	0.0060	1.0100	840.0	2000.0	200.0
2	Cementový potěr	0.0500	1.3000	1020.0	2200.0	20.0
3	Tepelná izolace EPS	0.0800	0.0380	1270.0	25.0	50.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N =$ 0,45 W/m²K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,45 W/m²K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

STROPNÍ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,05 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Strop, střecha – tepelný tok zdola
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,10 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,04 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c[J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Sádrokarton	0.0200	0.2200	1060.0	750.0	9.0
2	Jutafol N96 S	0.0001	0.3800	1700.0	640.0	65000.0
3	Tepelná izolace EPS	0.2000	0.0380	1270.0	25.0	50.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N =$ 0,30 W/m²K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,23 W/m²K

$U > U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

B.2.3.4 BUDOVA D

Budova D navazuje na budovu A a je řešena jako patrová, se suterénní částí částečně osazenou ve svahu. Suterén je s 1NP propojen vnitřním schodištěm. Budova slouží jako provozně správní objekt, nachází se v ní:

- kancelář (1NP)
- sklad (1S)
- garáž (1S)
- technická místnost (1S)

Rozměry: 6,70 x 13,10 m
Světlá výška 1NP: 2,50 m
Světlá výška 1S: 2,35 m
Výška hřebene: 3,60 m
Zastavěná plocha: 88 m²
Obestavěný prostor: 478,5 m³

B.2.3.4.1 POSUDKY SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA „U“ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ DOMU DLE ČSN 730540-2:2011, SOFTWARE TEPLO 2010

VNĚJŠÍ KONSTRUKCE - OBVODOVÁ NOSNÁ ZEĎ TL. 250 mm – THERMOMUR

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,02 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Stěna
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,13 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,04 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Omítka Supertherm	0.0250	0.1500	850.0	200.0	8.0
2	Pěnový polystyren	0.0500	0.0340	1270.0	25.0	50.0
3	Beton hutný	0.1500	1.2300	1020.0	2100.0	17.0
4	Pěnový polystyren	0.0500	0.0340	1270.0	25.0	50.0
5	Omítka Supertherm	0.0250	0.1500	850.0	200.0	8.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N = 0,30$ W/m²K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0,30 W/m²K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

PODLAHOVÁ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e : -15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} : 21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU : 0,02 W/m²K
Typ hodnocené konstrukce: Podlaha na zemině
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0,17 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0,00 m²K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c[J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Keramická dlažba	0.0060	1.0100	840.0	2000.0	200.0
2	Cementový potěr	0.0500	1.3000	1020.0	2200.0	20.0
3	Tepelná izolace EPS	0.0800	0.0380	1270.0	25.0	50.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N =$ 0,45 W/m²K

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,45 W/m²K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

STROPNÍ KONSTRUKCE MEZI 1NP A 1S

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} :	21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU :	0,05 W/m ² K
Typ hodnocené konstrukce:	Strop - tepelný tok shora
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0,17 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0,04 m ² K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c[J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Dřevo tvrdé	0.0200	0.4900	2510.0	600.0	4.5
2	Beton hutný	0.0700	1.2300	1020.0	2100.0	17.0
3	Pěnový polystyren	0.0800	0.0380	1270.0	25.0	50.0
4	Potěr cementový	0.0200	0.9600	840.0	1200.0	38.0
5	Stropní desky HURDIS	0.0800	0.800	900.0	1700.0	8,5
6	Omítka	0.0250	0.1500	850.0	200.0	8.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N =$ 1,05 W/m²K

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,47 W/m²K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

STROPNÍ KONSTRUKCE - TERASA

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} :	21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU :	0,02 W/m ² K
Typ hodnocené konstrukce:	Strop, střecha - tepelný tok zdola
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0,10 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0,04 m ² K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c[J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Omítka vápenná	0.0300	0.8700	840.0	1600.0	6.0
2	Potěr cementový	0.0200	0.9600	840.0	1200.0	38.0
3	Pěnový polystyren	0.0800	0.0380	1270.0	25.0	50.0
4	Beton hutný	0.0600	1.2300	1020.0	2100.0	17.0
5	Pěnový polystyren	0.0500	0.0380	1270.0	25.0	50.0
6	Beton hutný	0.1300	1.2300	1020.0	2100.0	17.0
7	Keramická dlažba	0.0250	1.0100	840.0	2000.0	115.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: $U_N =$ 0,75 W/m²K

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: 0,31 W/m²K

$U < U_N \rightarrow$ POŽADAVEK JE SPLNĚN

STROPNÍ KONSTRUKCE

Rekapitulace vstupních dat:

Návrhová venkovní teplota t_e :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu t_{ai} :	21,0 °C
Korekce součinitele prostupu ΔU :	0,05 W/m ² K
Typ hodnocené konstrukce:	Strop, střecha – tepelný tok zdola
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} :	0,10 m ² K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} :	0,04 m ² K/W

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D[m]	λ [W/mK]	c[J/kgK]	ρ [kg/m ³]	Mi[-]
1	Sádkartón	0.0200	0.2200	1060.0	750.0	9.0
2	Jutafol N96 S	0.0001	0.3800	1700.0	640.0	65000.0
3	Tepelná izolace EPS	0.2000	0.0380	1270.0	25.0	50.0

Požadavek na součinitele prostupu tepla (čl. 5. 2. v ČSN 730540 – 2):

Požadavek: U_N =	0,30 W/m ² K
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:	0,23 W/m ² K

U > U_N → POŽADAVEK JE SPLNĚN

B.3 OKRAJOVÉ PODMÍNKY PŘI VÝPOČTU

Okrajové podmínky pro vnější prostředí program čerpá z externího souboru obsahujícím klimatická data (v tomto případě je zdrojem ČHMÚ):

- atmosférický tlak [Pa]
- difuzní sluneční radiace [W/m²]
- měrná vlhkost [kg/kg]
- oblačnost [-]
- přímá sluneční radiace [W/m²]
- relativní vlhkost [%]
- rychlost větru [m/s]
- sluneční azimut [°]
- směr větru [°]
- teplota oblohy [°C]
- teplota vzduchu [°C]
- výška Slunce [°]

B.3.1 OBJEKT

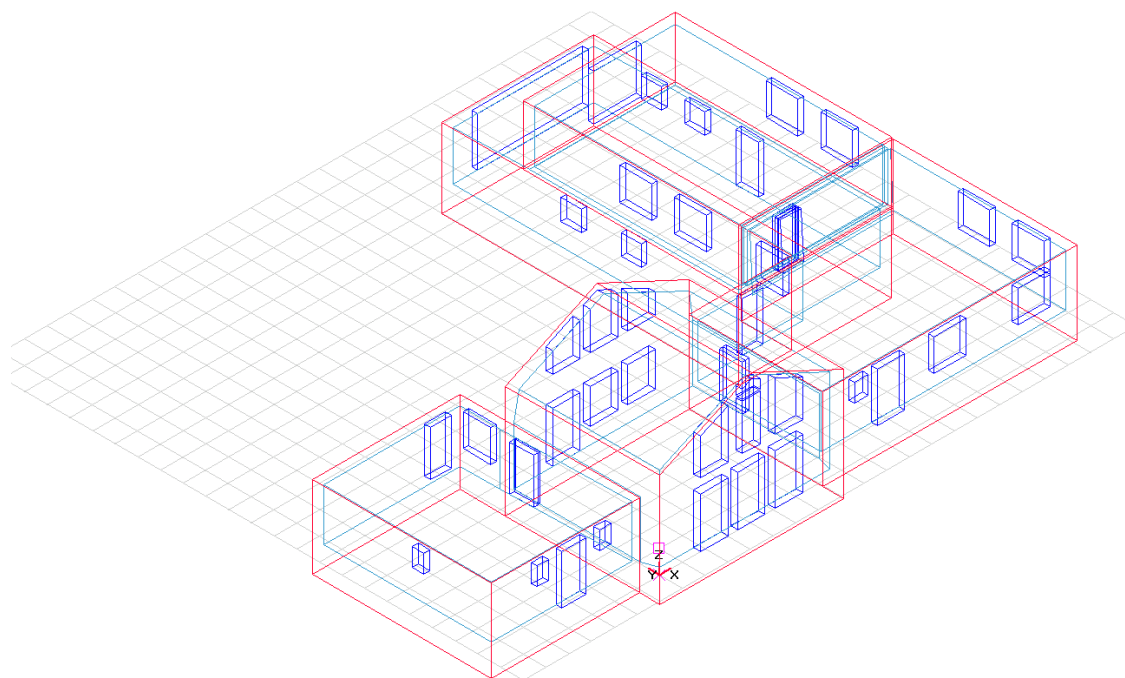
Účel: Sportovně rekreační areál (A, B, C), kancelář (D)

Poloha: ČR, Brušperk, 280 m. n. m.

GPS souřadnice: 49° 42' 31.0993007" N, 18° 13' 18.1764793" E



Simulované období: 1. 1. 2010 – 31. 12. 2010

Počítačový model:



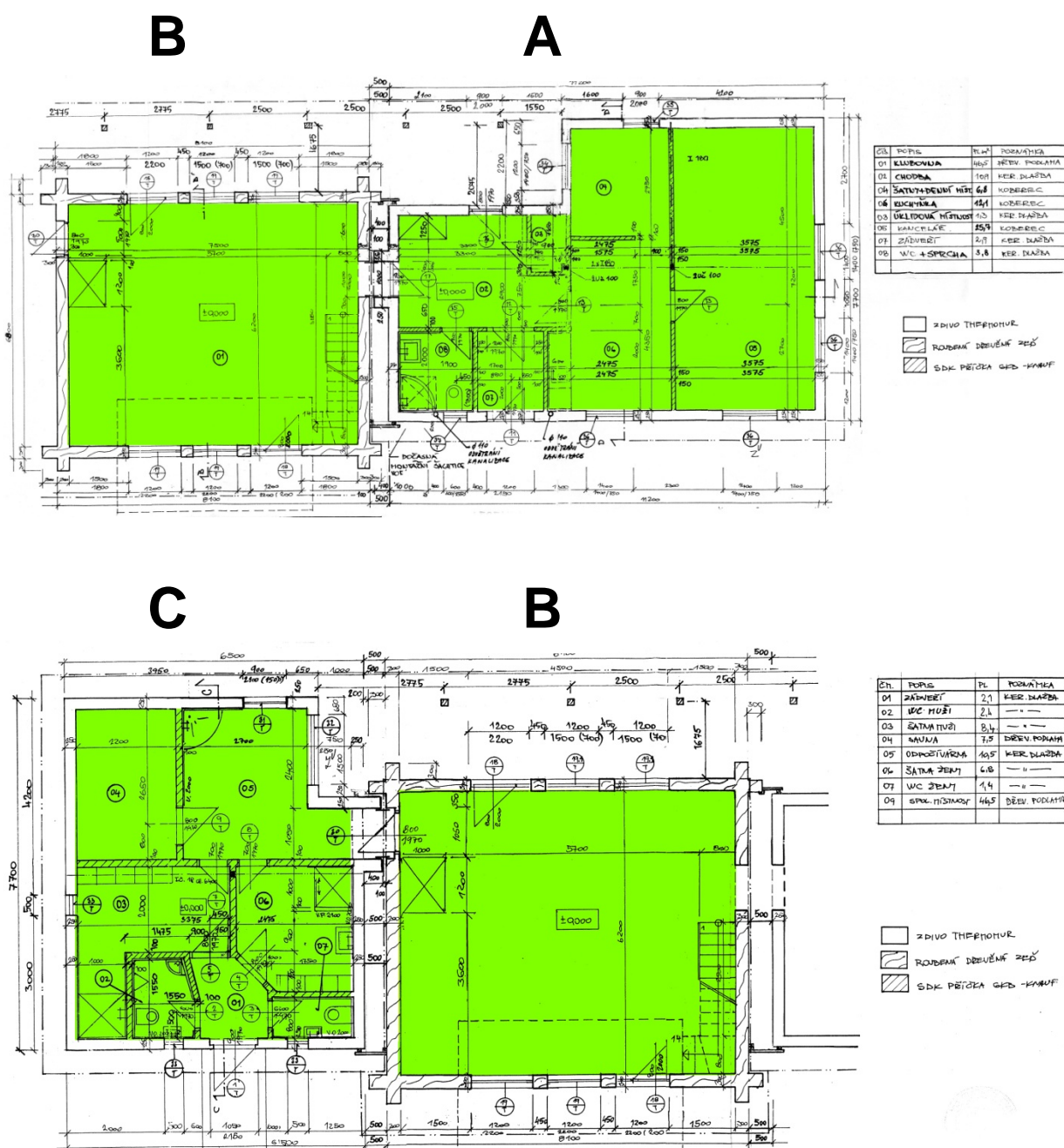
B.3.1.1 TEPELNÉ ZÓNY

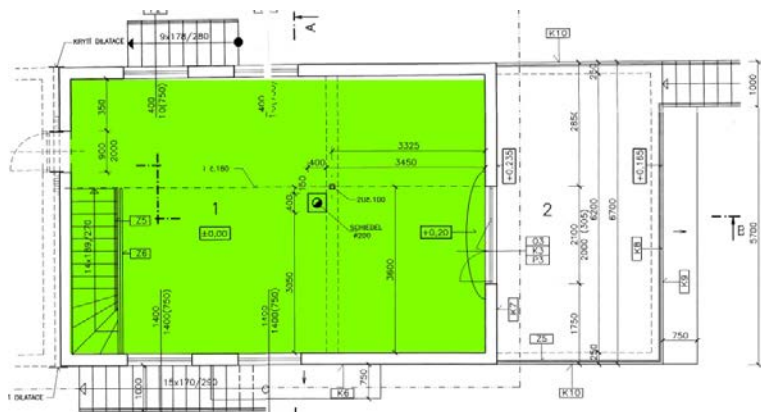
V areálu jsou simulovány 2 tepelné zóny:

- Obytné místnosti ($t_i = 20\text{ °C}$) 
- Garáž a technická místnost ($t_i = 10\text{ °C}$) 

Mimo těchto tepelných zón jsou pro simulaci zapotřebí ještě tzv. „virtuální“ zóny. Patří mezi ně okolní prostředí (klimatická data z oblasti Ostrava-Mošnov z roku 2010) a zemina (teplota zeminy kolísá v průběhu roku mezi 9 až 12 °C).

Rozmístění tepelných zón v areálu je znázorněno v půdorysech jednotlivých objektů:





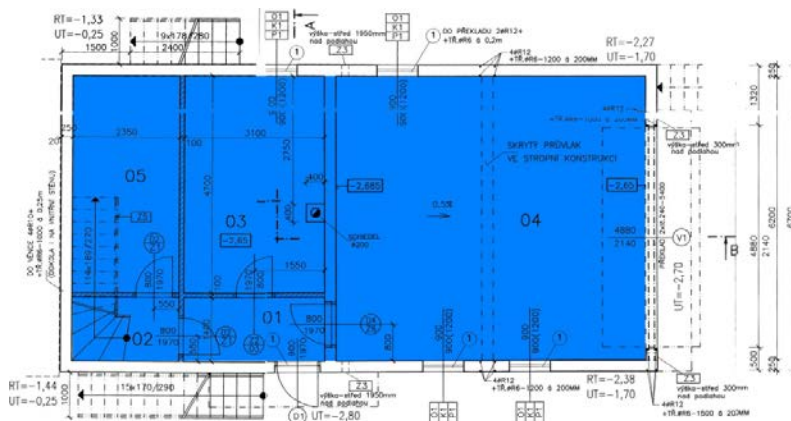
LEGENDA MÍSTNOSTÍ

Č.M.	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA m ²	DŘUH PODLAHY	POZNÁMKA
1	JEDNACÍ MÍSTNOST	55,80	DŘEVĚNÁ PODLAHA	
2	TERASA	22,32	DLAŽBA	

LEGENDA MATERIÁLŮ:

ZDVO THERMOMUR

D 1NP



LEGENDA MÍSTNOSTÍ

Č.M.	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA m ²	DŘUH PODLAHY	POZNÁMKA
01	ZÁKŮBĚ	4,34	Keramická dlažba	
02	SCHOD. PROSTOR	3,29	Keramická dlažba	
03	LOUČENÁ MÍSTNOST	44,47	Keramická dlažba	
04	GABAZ	42,16	Cementový potěr	
05	SKLAD	11,05	Keramická dlažba	

LEGENDA MATERIÁLŮ:

ZDVO THERMOMUR

ZDVO PÓROBETON

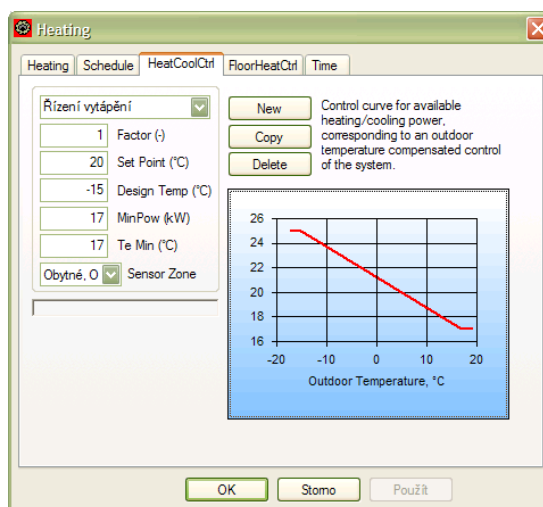
D 1S

B.3.1.1.1 TEPELNÁ ZÓNA: OBYTNÉ MÍSTNOSTI

Následuje popis jednotlivých energetických systémů ovlivňujících tepelnou bilanci zóny.

VYTÁPĚNÍ

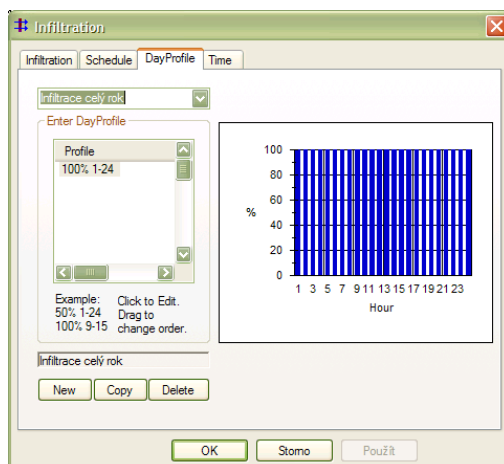
- Max. topný výkon: $Q_{H,max} = 25 \text{ kW}$
- Teplota v interiéru: $t_i = 20 \text{ °C}$ (přes víkend → plyn)
- Návrhová teplota exteriéru: $t_{e,zima} = -15 \text{ °C}$
- Časový plán: leden-duben, říjen-prosinec (jen v otopné sezóně)



Obrázek 11: Řízení výkonu dřevoplyňujícího kotle na základě venkovní teploty

INFILTRACE

- Výměna vzduchu: $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$
- Časový plán: po celý rok PO-NE: 100% 1-24 hod



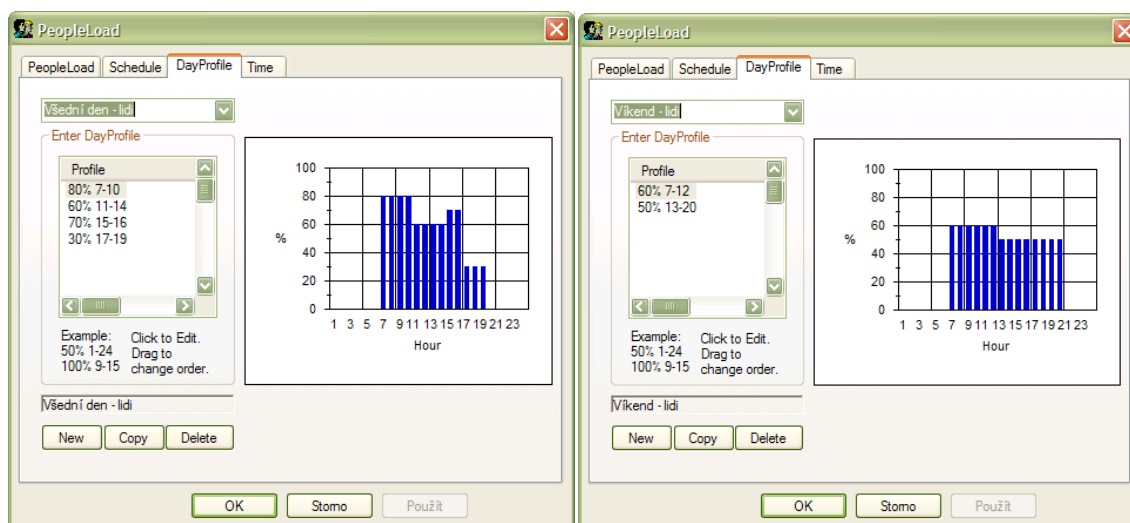
Obrázek 12: Intenzita infiltrace v průběhu dne [%]

OSVĚTLENÍ

- Výkon hl. osvětlení: $Q_{L,general} = 0,2 \text{ kW}$
- Výkon doplň. osvětlení: $Q_{L,task} = 0,05 \text{ kW}$
- Úroveň intenzity osvětlení: $E = 200 \text{ lux}$
- Min výkon osvětlení: $Q_{L,minl} = 0,2 \text{ kW}$
- Časový plán: po celý rok PO-NE: 7 a 16-19 hod

TEPELNÉ ZISKY OD LIDÍ

- Max. počet osob: $n_{max} = 6 \text{ osob}$
- Tepelná zátěž od 1 osoby: $Q_P = 0,1 \text{ kW}$
- Vlhkostní zátěž od 1 osoby: $M_P = 0,06 \text{ kg/h}$
- Časový plán: po celý rok



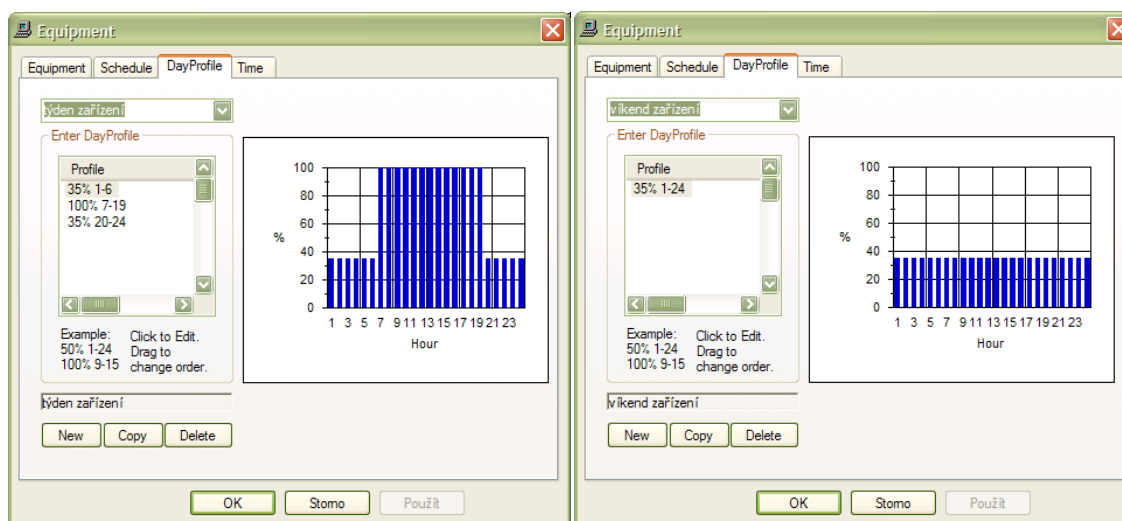
Obrázek 13: Obsazení objektu lidmi v průběhu dne PO-PÁ (vlevo) a SO-NE (vpravo)

VĚTRÁNÍ

- Výměna vzduchu: $n = 3 \text{ h}^{-1}$
- Větrá se při teplotě: $t_{i,max} = 23 \text{ °C}$
- Časový plán: březen-říjen

TEPELNÉ ZISKY OD ZAŘÍZENÍ

- Výkon zařízení: $Q_{E,general} = 1 \text{ kW}$



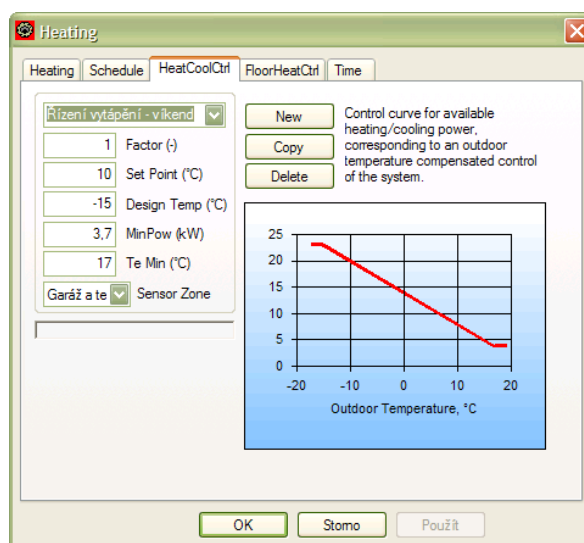
Obrázek 14: Využívání zařízení v průběhu dne PO-PÁ (vlevo) a SO-NE (vpravo)

B.3.1.1.2 TEPELNÁ ZÓNA: GARÁŽ A TECHNICKÁ MÍSTNOST

Jsou uvedeny pouze systémy s odlišným provozem oproti předchozí zóně. Zařízení v této zóně nejsou přítomny.

VYTÁPĚNÍ

- Teplota v interiéru: $t_i = 10 \text{ °C}$ (přes víkend → plyn)



Obrázek 15: Řízení výkonu dřevosplyňujícího kotle na základě venkovní teploty

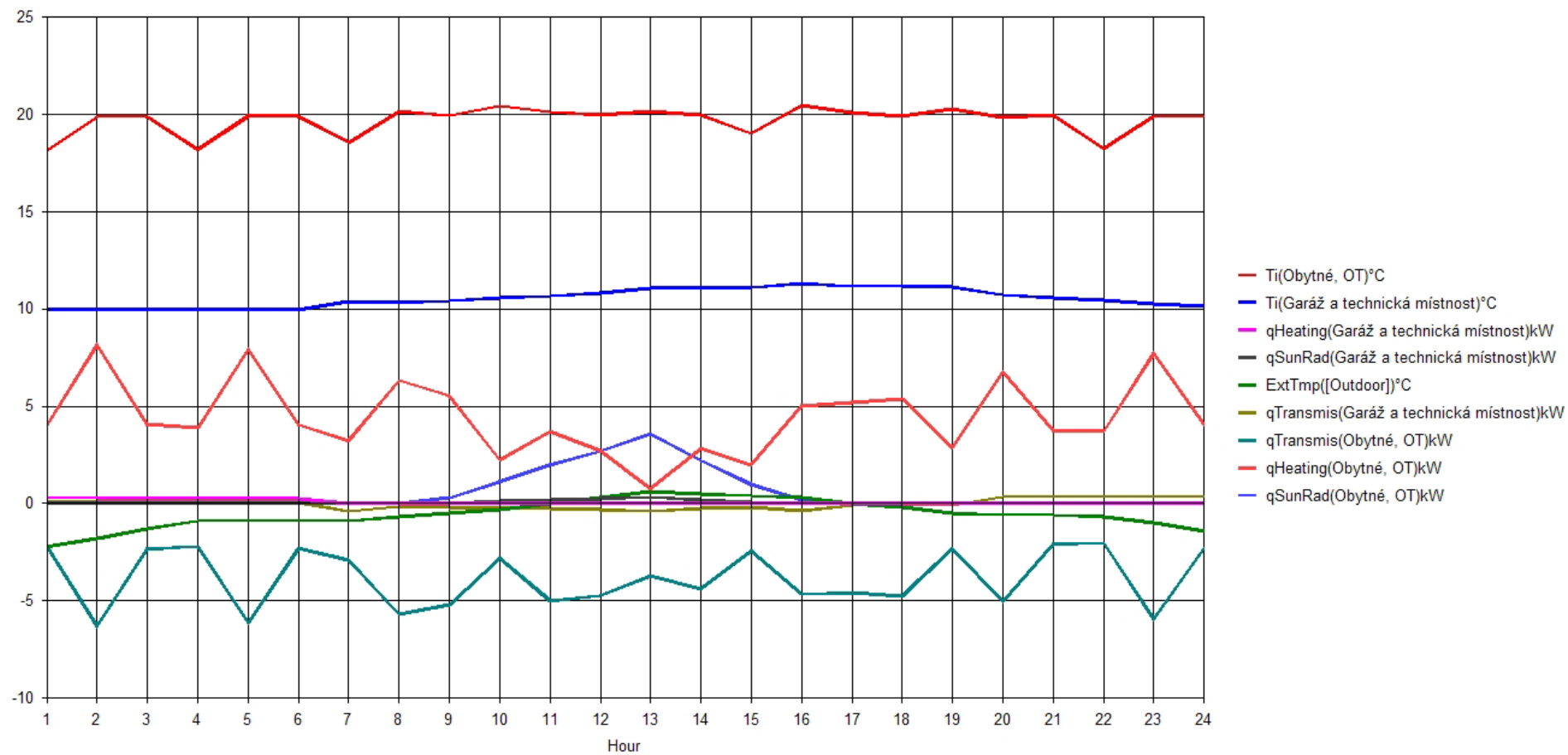
B.4 VÝSTUPY Z PROGRAMU BSIM (GRAFY A TABULKY)

Pro budovu podrobenou simulaci bylo postupným zadáváním hodnot vymodelováno optimální mikroklima. K výpočtu bylo použito časového kroku 8 výpočtů za jednu hodinu. Během vyhodnocení software poskytoval uspokojivé výsledky neboli malé odchylky od očekávaných údajů.

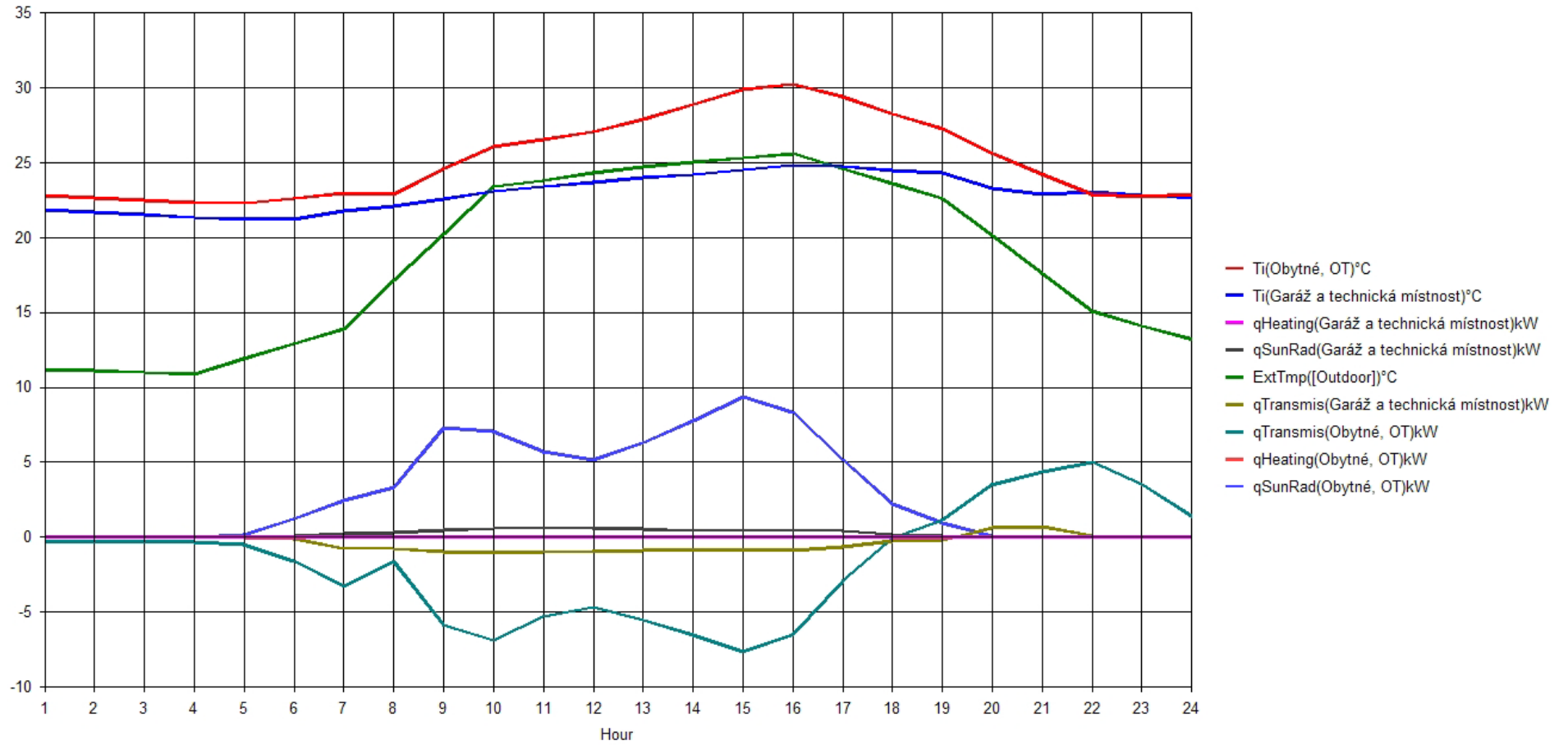
Počítačový model zjednodušeně reprezentuje skutečnou budovu. K **verifikaci modelu** (a validaci) bylo provedeno porovnání spotřeby energie vypočtené v simulaci se známou skutečnou spotřebou energie objektu za plyn (z faktur za zúčtovací období 1. 1. – 31. 12. 2010). V objektu se plyn používá k temperování přes noc a přes víkendy. Tyto okrajové podmínky byly zadány do modelu a v následné simulaci byla stanovena odchylka od skutečné hodnoty 15 % (hodnota daná výstupem ze simulace byla menší než skutečná).

Výstupy z programu jsou prezentovány ve formě následujících grafů a tabulek.

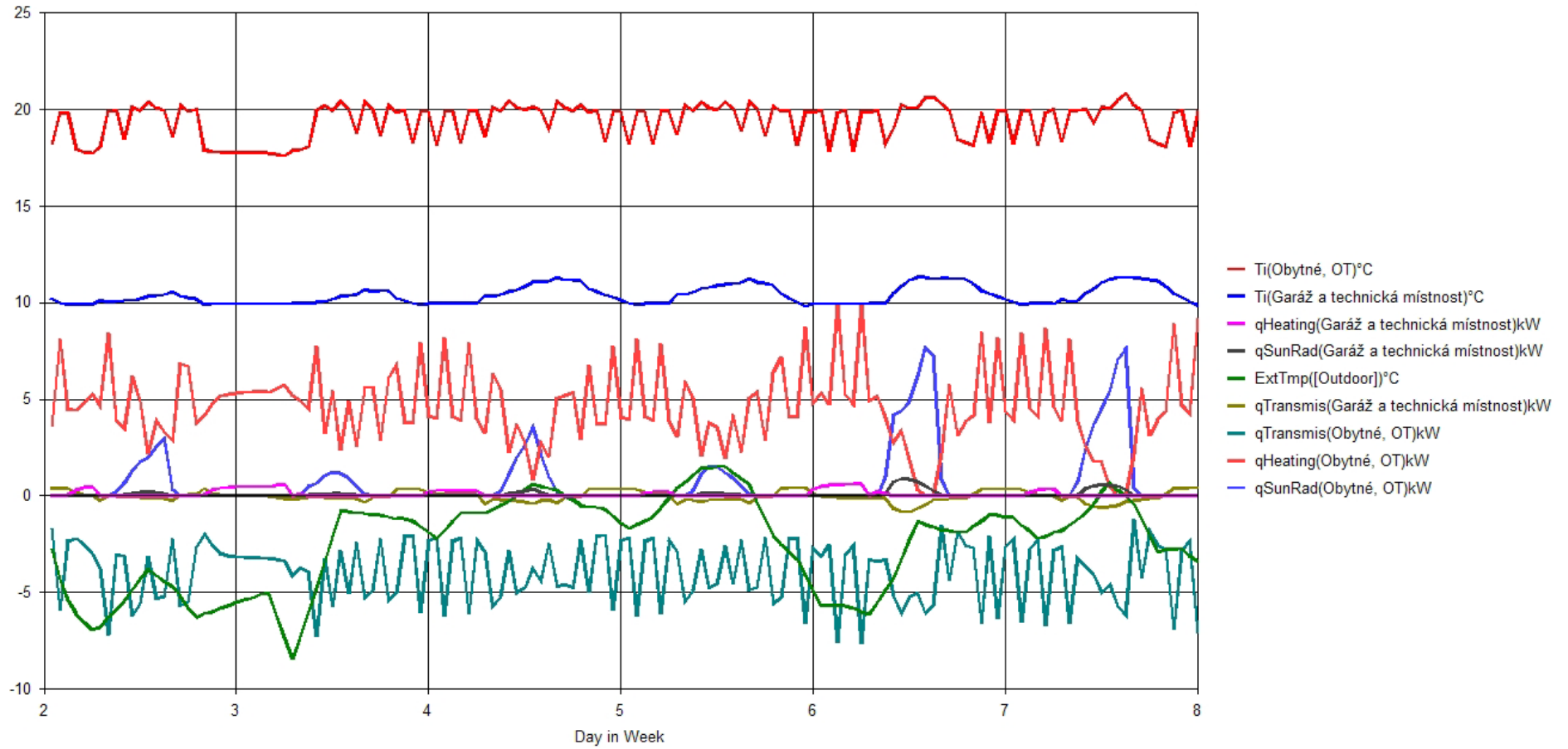
Graf 16: Zimní den (čtvrtek 3.1.)



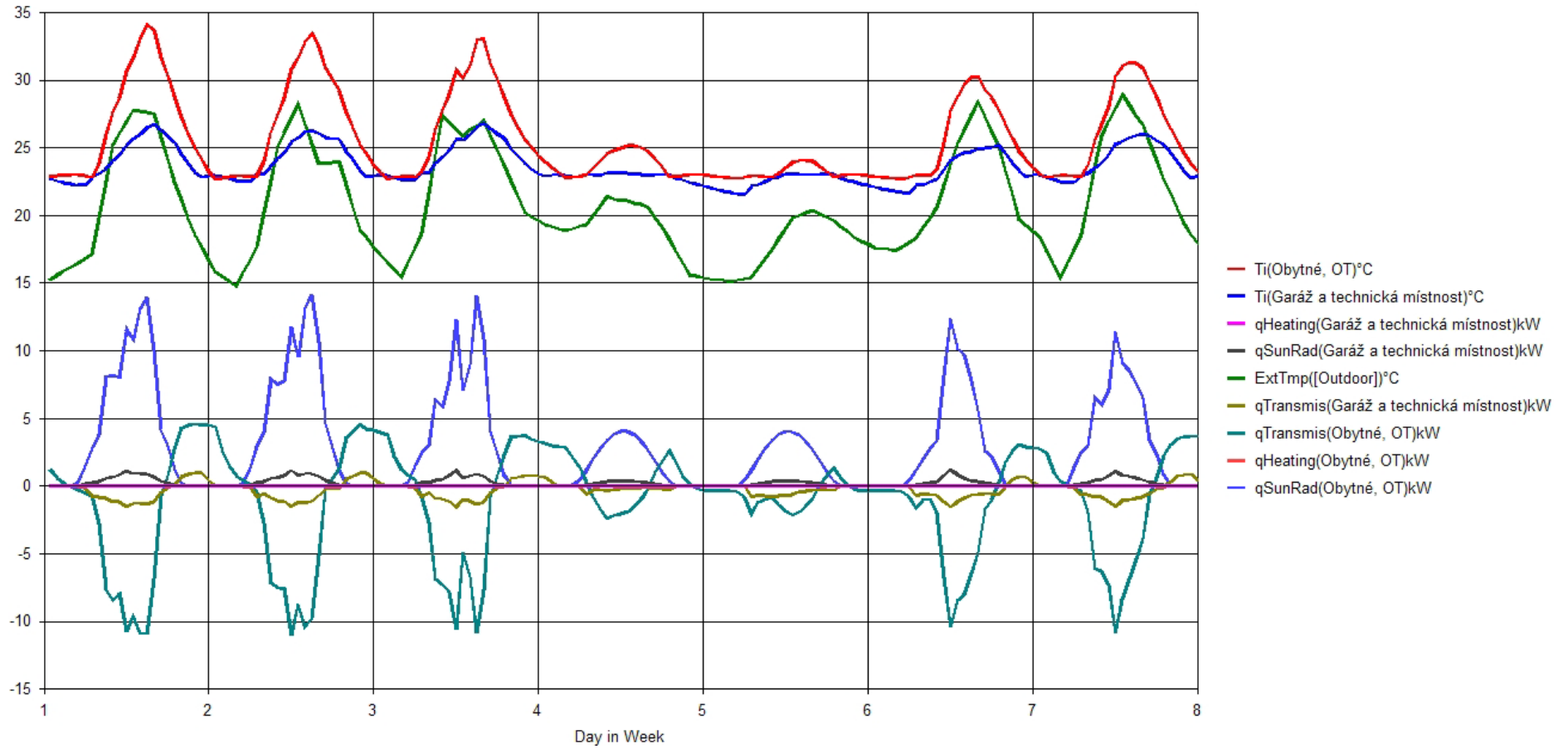
Graf 17: Letní den (úterý 30.7.)



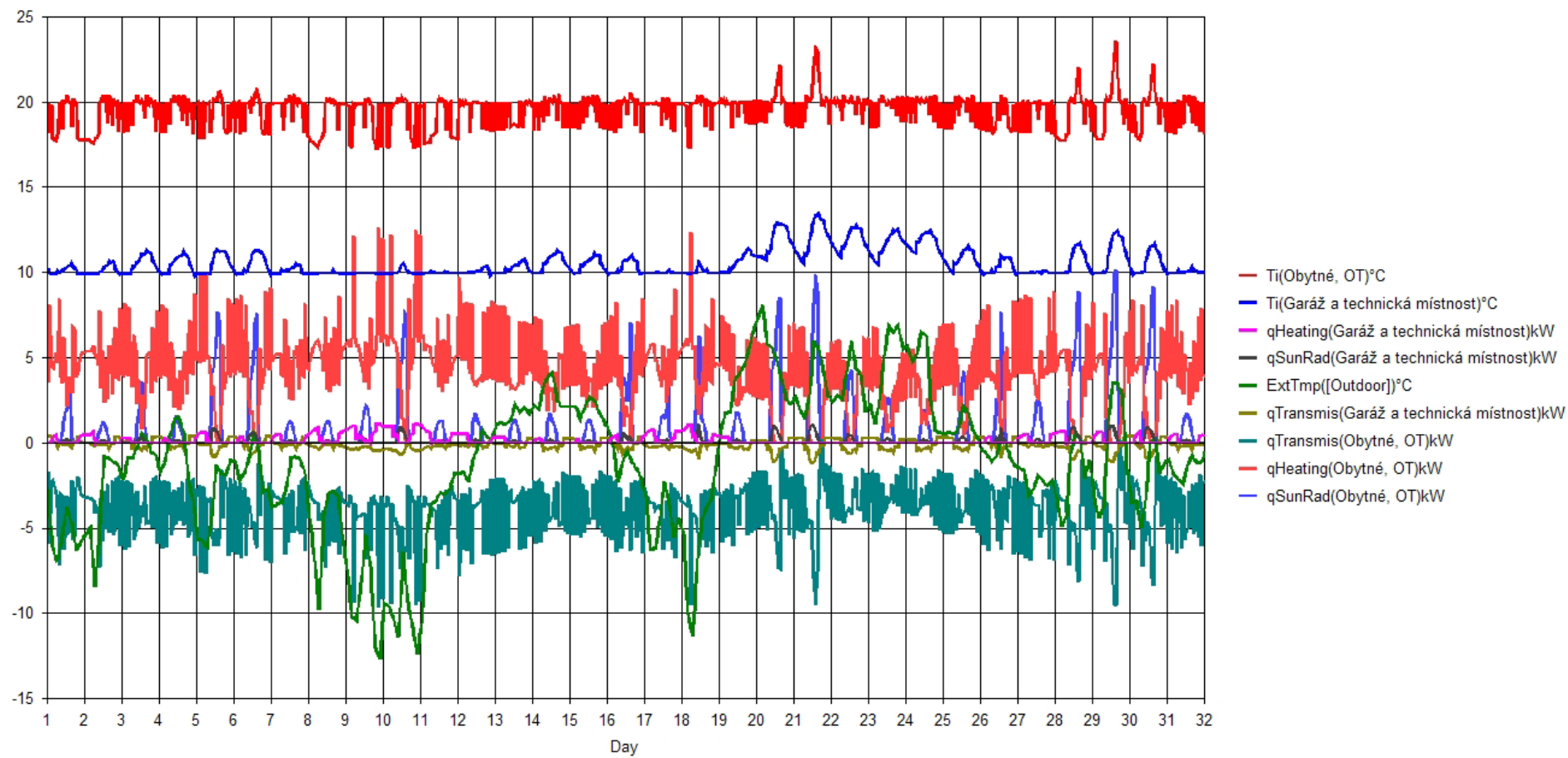
Graf 18: Zimní týden (1. týden)



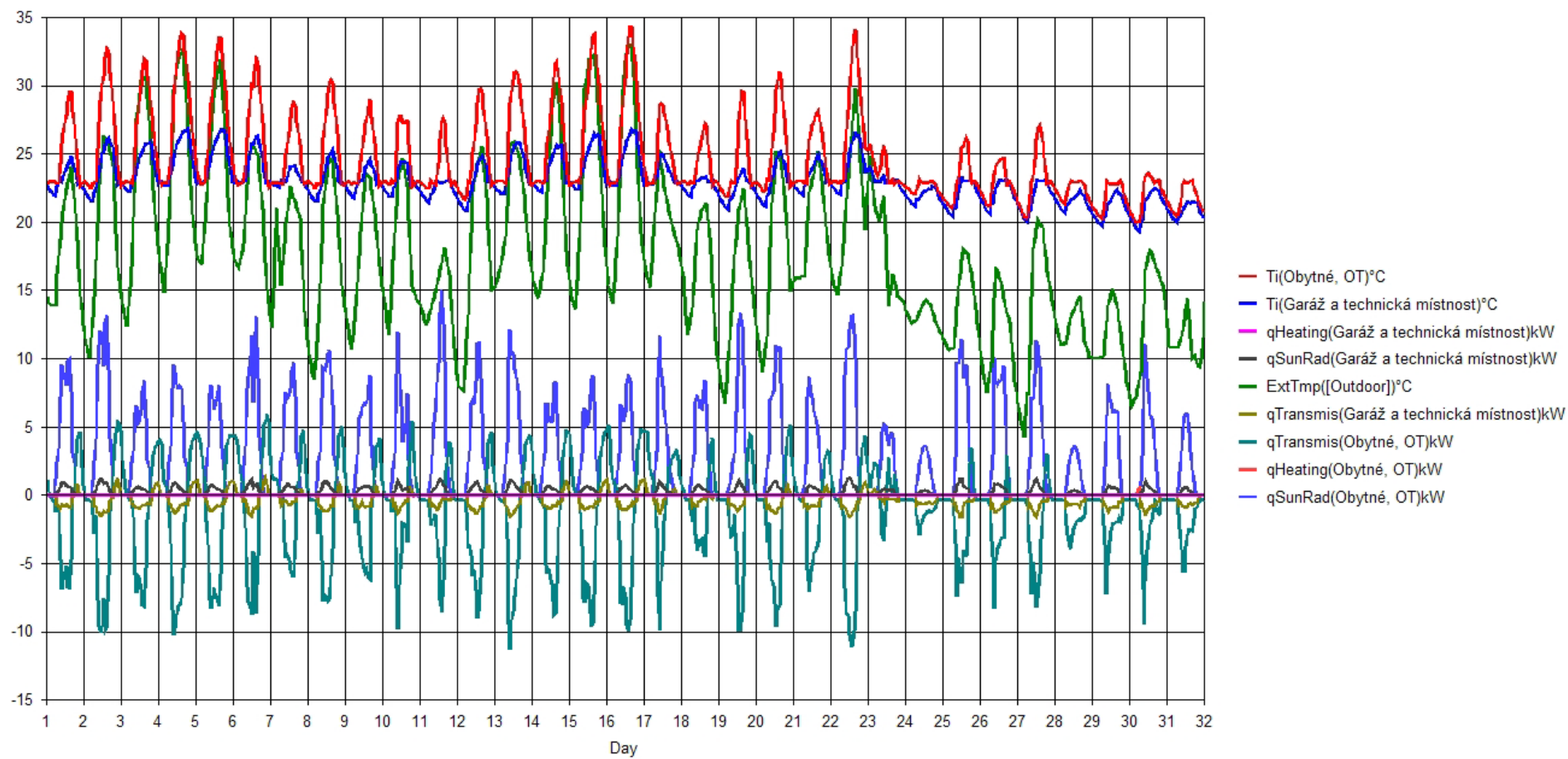
Graf 19: Letní týden (29. týden)



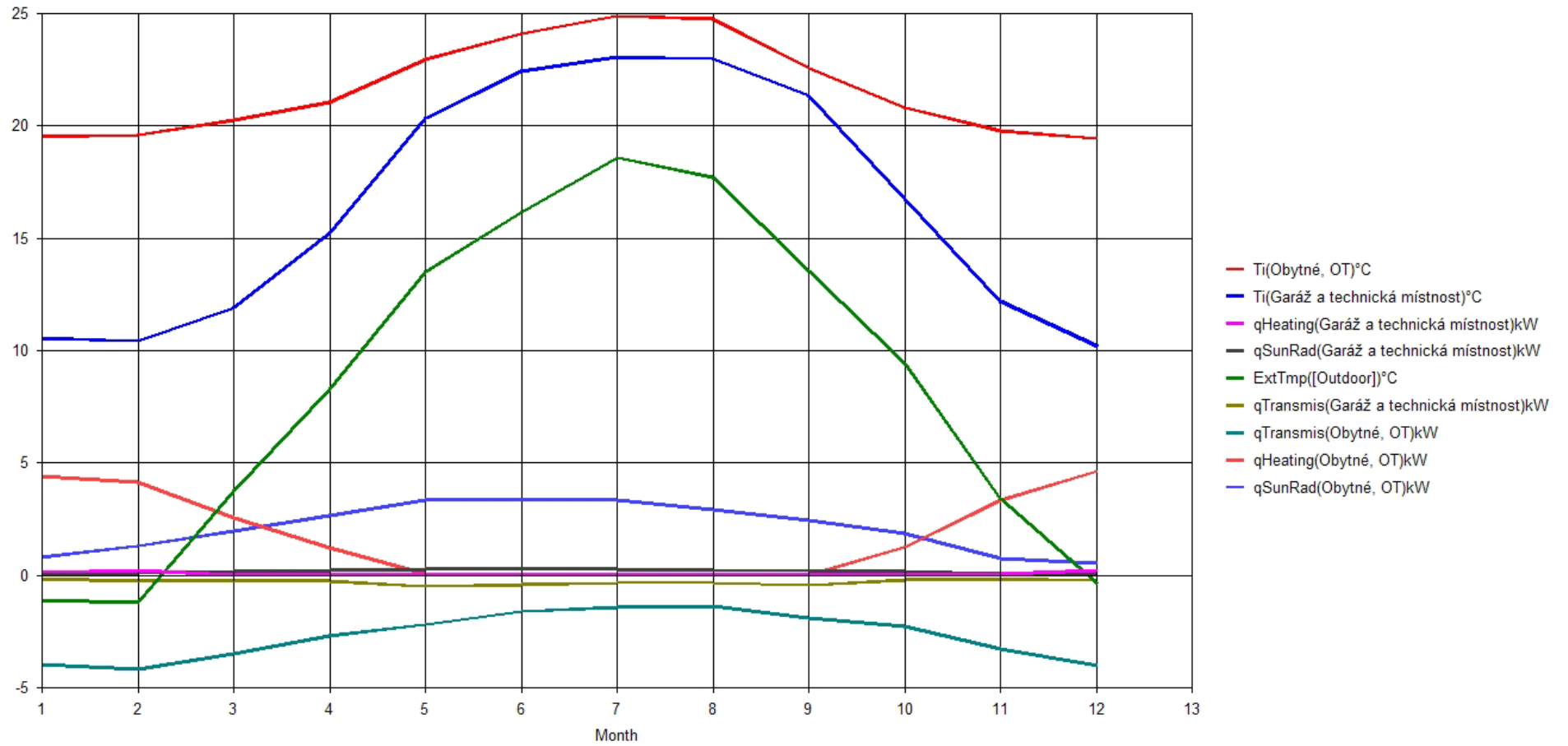
Graf 20: Zimní měsíc (leden)



Graf 21: Letní měsíc (srpen)



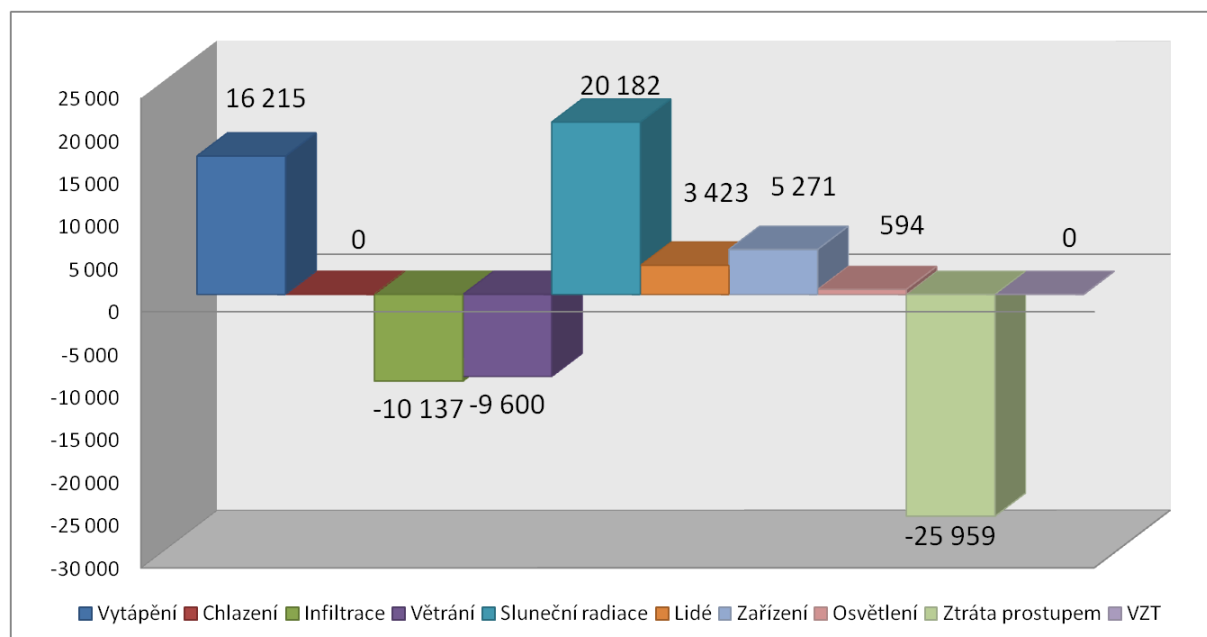
Graf 22: Celý rok 2010



Tabulka 6: Celková roční tepelná bilance (2010)

Areál Veselíčko - Bilance zkoumaných veličin v roce 2010									
Veličina dle BSIm	Český překlad	Jednotka	Sum/Mean	leden	únor	březen	duben	květen	červen
qHeating	Vytápění	[kWh]	16 215	3 385	2 941	1 911	889	46	0
qCooling	Chlazení	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0
qInfiltration	Infiltrace	[kWh]	-10 137	-1 827	-1 661	-1 426	-1 073	0	0
qVenting	Větrání	[kWh]	-9 600	-1	-6	-143	-525	-1 541	-1 924
qSunRad	Sluneční radiace	[kWh]	20 182	666	966	1 602	2 064	2 703	2 646
qPeople	Lidé	[kWh]	3 423	291	263	290	282	291	281
qEquipment	Zařízení	[kWh]	5 271	455	404	438	438	455	421
qLighting	Osvětlení	[kWh]	594	73	58	55	39	27	25
qTransmission	Ztráta prostupem	[kWh]	-25 959	-3 044	-2 968	-2 727	-2 115	-1 981	-1 448
qVentilation	VZT	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0
tOutdoor mean	Průměrná teplota ext.	[°C]	8,5	-1,1	-1,2	3,7	8,3	13,5	16,2
tOp mean	Průměrná operativní teplota	[°C]	19,1	15,1	15	16,1	18,2	21,6	23,3
AirChange	Výměna vzduchu	[h ⁻¹]	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,4
Rel. Moisture	Rel. vlhkost	[%]	49	36,2	36,7	39,5	40,9	65,8	57,2
CO ₂	CO ₂	[ppm]	2753,4	641,9	641,4	633,5	617,1	15959,3	1711,5
Veličina dle BSIm	Český překlad	Jednotka		červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
qHeating	Vytápění	[kWh]	16 215	0	1	12	929	2 479	3 622
qCooling	Chlazení	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0
qInfiltration	Infiltrace	[kWh]	-10 137	0	0	0	-1 012	-1 392	-1 746
qVenting	Větrání	[kWh]	-9 600	-2 176	-1 863	-1 013	-394	-14	0
qSunRad	Sluneční radiace	[kWh]	20 182	2 693	2 350	1 920	1 506	612	453
qPeople	Lidé	[kWh]	3 423	291	291	281	291	281	291
qEquipment	Zařízení	[kWh]	5 271	455	446	429	455	429	446
qLighting	Osvětlení	[kWh]	594	26	34	47	63	72	76
qTransmission	Ztráta prostupem	[kWh]	-25 959	-1 289	-1 260	-1 676	-1 838	-2 469	-3 145
qVentilation	VZT	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0
tOutdoor mean	Průměrná teplota ext.	[°C]	8,5	18,6	17,7	13,6	9,4	3,4	-0,4
tOp mean	Průměrná operativní teplota	[°C]	19,1	24	23,9	21,9	18,8	16	14,9
AirChange	Výměna vzduchu	[h ⁻¹]	0,9	1,9	1,6	0,7	0,7	0,5	0,5
Rel. Moisture	Rel. vlhkost	[%]	49	59,7	54	68,3	46,5	43,2	40
CO ₂	CO ₂	[ppm]	2753,4	752,9	1523,2	8644,1	635,2	639	642

Graf 23: Celková roční tepelná bilance (2010) [kWh]



Tabulka 7: Vyhodnocení sledovaných veličin

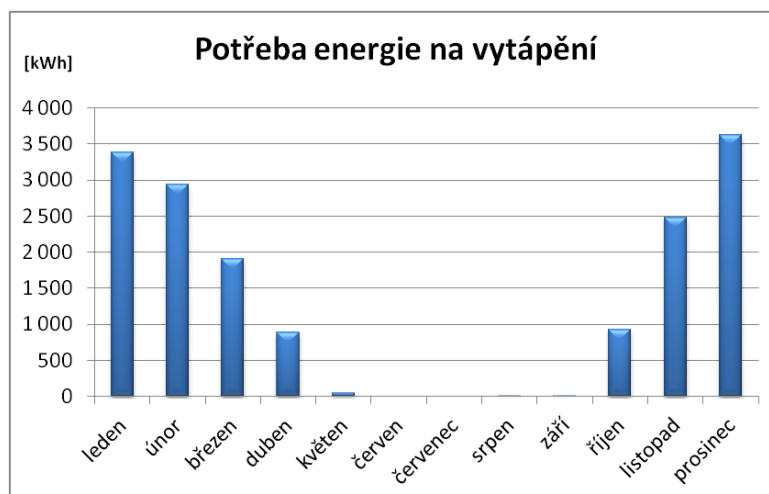
Sledovaná veličina	Jednotka	Hodnoty zkoumaných veličin v roce 2010								
		Min	Mean	Max	leden	únor	březen	duben	květen	červen
Ti (Obytné místnosti)	[°C]	17,13	21,65	34,28	19,5	19,59	20,25	21,06	22,96	24,09
Ti (Garáž a technická místnost)	[°C]	9,79	16,49	26,83	10,55	10,42	11,91	15,26	20,33	22,42
qHeating (Garáž a technická místnost)	[kW]	0	0,057	1,4	0,152	0,227	0,013	0	0	0
qHeating (Obytné místnosti)	[kW]	0	1,794	12,823	4,398	4,15	2,555	1,235	0,062	0
qSunRad (Garáž a technická místnost)	[kW]	0	0,18	1,366	0,082	0,118	0,172	0,218	0,271	0,277
qSunRad (Obytné místnosti)	[kW]	0	2,124	15,216	0,814	1,319	1,981	2,649	3,363	3,398
qTransmis (Garáž a technická místnost)	[kW]	-1,726	-0,28	1,263	-0,14	-0,249	-0,188	-0,251	-0,478	-0,408
qTransmis (Obytné místnosti)	[kW]	-11,678	-2,683	5,916	-3,951	-4,168	-3,477	-2,687	-2,184	-1,603
ExtTmp (Outdoor)	[°C]	-14,1	8,53	32,9	-1,11	-1,19	3,74	8,3	13,51	16,15
CO ₂ (Obytné, místnosti)	[ppm]	350	458,2	2823,4	474,7	473,9	461,6	433,2	465,1	401,3
Sledovaná veličina	Jednotka	Min	Mean	Max	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Ti (Obytné místnosti)	[°C]	17,13	21,65	34,28	24,88	24,76	22,55	20,82	19,79	19,43
Ti (Garáž a technická místnost)	[°C]	9,79	16,49	26,83	23,06	22,99	21,34	16,72	12,2	10,21
qHeating (Garáž a technická místnost)	[kW]	0	0,057	1,4	0	0	0	0	0,082	0,225
qHeating (Obytné místnosti)	[kW]	0	1,794	12,823	0	0,001	0,017	1,249	3,361	4,643
qSunRad (Garáž a technická místnost)	[kW]	0	0,18	1,366	0,274	0,242	0,204	0,162	0,075	0,058
qSunRad (Obytné místnosti)	[kW]	0	2,124	15,216	3,346	2,916	2,462	1,862	0,775	0,551
qTransmis (Garáž a technická místnost)	[kW]	-1,726	-0,28	1,263	-0,333	-0,321	-0,432	-0,197	-0,148	-0,22
qTransmis (Obytné místnosti)	[kW]	-11,678	-2,683	5,916	-1,399	-1,371	-1,895	-2,273	-3,281	-4,007
ExtTmp (Outdoor)	[°C]	-14,1	8,53	32,9	18,58	17,7	13,55	9,42	3,41	-0,35
CO ₂ (Obytné, místnosti)	[ppm]	350	458,2	2823,4	381,2	414,8	606,5	443,3	472,7	474,7

Simulace zobrazuje, průběhy požadovaných veličin během roku.

Teplota v obytných místnostech se pohybuje v rozmezí od 17 °C do 34 °C. Tyto výkyvy teplot (zejména v létě) jsou zapříčiněny absencí klimatizace, situaci uživatelé řeší intenzivním větráním. V zimním období je teplota udržována vytápěním kolem 20 °C.

Koncentrace CO₂ se pohybuje v rozmezí od 350 ppm do 2820 ppm. Vyšší z hodnot překračuje maximální doporučenou koncentraci 1500 ppm. Ve skutečnosti se překročení povolené koncentrace zabrání větráním.

Graf 24: Potřeba energie na vytápění v průběhu roku



B.5 POROVNÁNÍ SIMULACE SPOTŘEBY ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ ZA ROK SE SKUTEČNOU SPOTŘEBOU

B.5.1 SIMULACE

Celková roční spotřeba energie na vytápění byla v programu BSim stanovena

$$Q_{\text{VYT, sim}} = 16\,215 \text{ kWh} = \underline{58,4 \text{ GJ}}$$

B.5.2 SKUTEČNOST

Skutečná spotřeba energie je dána fakturami za energie a spotřebou dřeva za simulované období. Z podkladů (o vstupních energiích) poskytnutých majitelem objektu pro období podrobené simulaci (1. 1. 2010 – 31. 12. 2010) lze vyčíslit celkovou roční potřebu energie na vytápění za rok.

ELEKTRICKÁ EBERGIE

spotřeba el. energie $Q_{\text{el}} = 16\,826 \text{ kWh} = \underline{60,6 \text{ GJ}}$

(z faktur za zúčtovací období 1. 1. – 31. 12. 2010)

ZEMNÍ PLYN (POSKYTOVATEL RWE):

spotřeba ZP $Q_{\text{plyn}} = 16\,079 \text{ kWh} = \underline{58 \text{ GJ}}$

(z faktur za zúčtovací období 1. 1. – 31. 12. 2010)

DŘEVO (ZDROJEM DŘEVA JE LES VE VLASTNICTVÍ MAJITELE OBJEKTU):

spotřeba dřeva 15 m^3

druh použitého dřeva 70 % habr a 30 % bříza

uskladnění dřeva pod střechou, po dobu 1 až 2 let → vlhkost dřeva 25 %

Výpočet energie získané spalováním dřeva:

$$Q_{\text{dřevo}} = m \cdot H = \frac{V}{1,54} \cdot \rho \cdot H = \frac{15}{1,54} \cdot (680 \cdot 12,1 \cdot 0,7 + 585 \cdot 13,5 \cdot 0,3) = \underline{79 \text{ GJ}}$$

kde:

$Q_{\text{dřevo}}$	... Celková energie získaná spálením dřeva	[GJ]
m	... Hmotnost dřeva spotřebovaného za 1 rok	[kg/rok]
H	... Výhřevnost dřeva	[MJ/kg]
V	... Objem dřeva spotřebovaného za 1 rok	[m ³ /rok]
1,54	... Součinitel pro přepočítání z prm ²¹ na plm ²²	[-]
ρ	... Objemová hmotnost dřeva	[kg/m ³]

Celková energie dodaná do objektu je tedy

$$Q_{\text{celk,skut}} = Q_{\text{plyn}} + Q_{\text{dřevo}} = 58 + 79 = \underline{137 \text{ GJ}}$$

Celková energie dodaná do objektu je blízko roční spotřebě tepla stanovené projektem ($E_{\text{MAX}} = 123,4 \text{ GJ}$).

B.5.3 POROVNÁNÍ SIMULACE SE SKUTEČNOSTÍ A ZÁVĚR

Skutečná spotřeba energie je větší, než spotřeba stanovená simulací. Tento rozdíl je způsoben využíváním zdroje tepla také k ohřevu venkovního bazénu, na který v programu BSim není brán zřetel.

Simulace: $Q_{\text{VYT, sim}} = \underline{58,4 \text{ GJ}}$

Skutečnost: $Q_{\text{celk, skut}} = \underline{137 \text{ GJ}}$

Porovnání: $Q_{\text{VYT, sim}} < Q_{\text{celk, skut}}$

Z porovnání různých zdrojů energie k vytápění vychází nejlépe **dřevo**, jako tradiční, dostupný zdroj s malým dopadem na životní prostředí. Z ekonomického hlediska vychází nejhůře **elektřina**, která neustále zdražuje a při vytápění je vhodné využívat NT poskytované dodavateli. Z ekologického hlediska vychází velmi dobře **obilí** (etika spalování zdroje potravy), **dřevní štěpka a peletky** (možné problémy s dodávkou) a **tepelné čerpadlo** (vyšší počáteční investice, umístění výparníku produkujícího hluk a omezený výkon v závislosti na teplotě vzduchu v exteriéru). Z hlediska snadnosti obsluhy vede **CZT a ZP**, která jsou v domácnostech nejvyužívanější. Navzdory původní euforii kolem ZP (nejčistší forma fosilních paliv) a rozsáhlé plynofikaci dnes ZP neustále zdražuje (fosilní palivo, závislost na vývoji cen ropy). **Uhlí** vychází cenově draž než dřevo a jeho ceny jsou srovnatelné například s peletkami, jeho nevýhodou je nepříznivý dopad na ŽP

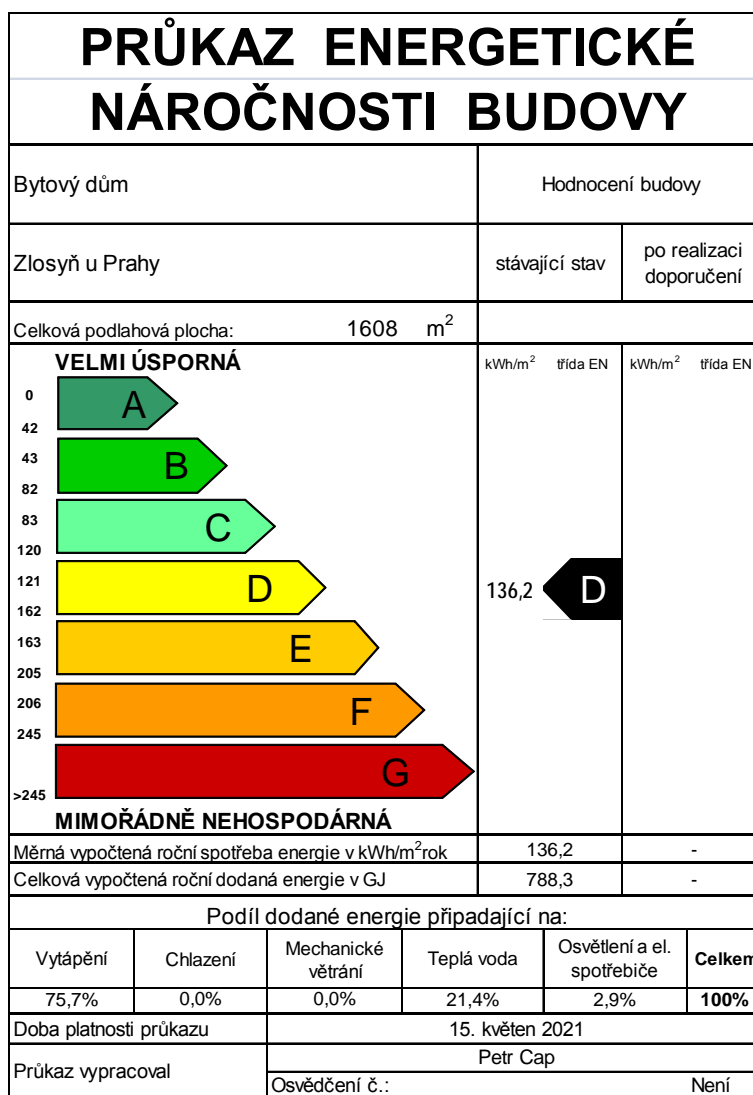
Rozhodování investorů, který zdroj tepla zvolí nejvíce ovlivňuje cena, dále pak náročnost obsluhy a dostupnost paliva a individuálně dopad na životní prostředí.

²¹ prm = 1 m³ rovných polen, obsahuje 60-75 % dřeva (prostorový – rovný metr)

²² plm = 1 m³ plné dřevní hmoty (plnometr – pevný metr)

B.5.4 PODÍL JEDNOTLIVÝCH ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ NA CELKOVÉ SPOTŘEBĚ ENERGIE

Z důvodu absence podkladů pro spotřebu vody a teplé vody nebyl vypracován PENB. Pro představu procentuálního zastoupení jednotlivých energetických systémů uvádím objekt zkoumaný v bakalářské práci.



Průkaz energetické náročnosti budovy je zpracován pomocí výpočetního nástroje NKN verze 2.066
Průkaz ENB splňuje požadavky §6a zákona č. 406/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 148/2007 Sb.

Obrázek 16: PENB uvádí podíl jednotlivých energetických systémů na celkové spotřebě budovy, zdroj: vlastní práce

Procentuální podíl jednotlivých systémů se liší v závislosti na úrovni tepelné izolace objektu a provedených energeticky úsporných opatřeních. U běžných budov lze v zásadě říci, že více než polovina energie dodané do budovy se spotřebuje na vytápění, zatímco osvětlení a el. spotřebiče představují jen malou část v řádu jednotek procent.

B.6 IDEOVÉ ŘEŠENÍ NAVAZUJÍCÍCH PROFESÍ VE ZKOUMANÉM OBJEKTU

B.6.1 VODOVOD

Areál je napojen na vodovodní řad vedený pod ulicí Veselíčko. Vodoměrná sestava je umístěna ve vodoměrné šachtě umístěné na hranici pozemku. Potrubí vnitřního vodovodu je vedeno drážkami ve stěnách, materiál potrubí je sítovaný PE. Teplá voda je připravována s pomocí solárních kolektorů. Při nedostatku tepla z kolektorů zajišťuje přípravu TV plynový kotel nebo dřevosplyňující kotel.

B.6.2 KANALIZACE

Dešťová voda je jímána v jímce, od které je vedena a vsakována drenážním potrubím do veřejného dešťového kanalizačního řadu. Odvod splašků z areálu je zajištěn splaškovou kanalizací ústící do ČOV, odkud dále pokračuje do veřejného dešťového kanalizačního řadu. Potrubí splaškové i dešťové kanalizace je vyvedeno z PE. Připojovací potrubí je vedeno drážkami ve stěnách. Čistící kusy jsou volně přístupné

B.6.3 VYTAPĚNÍ

Zdrojem tepla pro přípravu otopné vody je zplyňovací kotel na dřevo ATMOS DC 25S o jmenovitém výkonu 25 kW. Alternativní zdroje jsou pak závěsný plynový kondenzační kotel JUNKERS Cerapur o jmenovitém výkonu 23 kW a topná spirála pro šest solárních kolektorů ACV SOLAR 300 doplněných o akumulární zásobník teplé vody Smart SL ME 400l. Funkce topné soustavy jsou následující (podle významu)

- **Vytápění sportovně rekreačního areálu** a kanceláří. Jedná se o tři zděné a jeden srubový objekt, které jsou vzájemně propojeny. Vytápění je realizováno teplovodní dvoutrubkovou soustavou s nuceným oběhem topné vody o tepelném spádu 75/65 °C s konvekčními deskovými otopnými tělesy, a ve srubovém objektu pak nízkoteplotním okruhem podlahového vytápění s teplotou přívodu 54,5 °C.
- **Příprava TV** v zásobníkovém ohřivači ACV SMART LINE ME 200 (dva soustředěné zásobníky systému „Tank in Tank“). Vnitřní zásobník o objemu 99 l obsahuje užitkovou vodu, vnější pak vodu topnou, která své teplo předává vodě užitkové.
- **Ohřev venkovního bazénu** o objemu 55 m³. Ohřev probíhá prostřednictvím cílené výroby přebytku tepla pro účel vytápění a přípravu TV, který je pak přes tepelný výměník předán do bazénové vody.

B.6.4 VZDUCHOTECHNIKA

Areál je větrán pouze přirozeným větráním. Hygienické místnosti a kuchyň pak mají podtlakový systém větrání zajištěný axiálním ventilátorem. Technická místnost je větrána přetlakovým systémem, zajištěným opět axiálním ventilátorem. Ten je umístěn v neuzavíratelném přívodním otvoru a zajišťuje hygienickou výměnu vzduchu v místnosti, dostatek spalovacího vzduchu a optimální teplotu v technické místnosti (min 7 °C v zimě

a max 40 °C v létě). Při poruše ventilátoru, který zajišťuje přívod vzduchu, musí být dřevozplyňující kotel odstaven z provozu z důvodu dodržení minimální hygienické výměny 0,5 h⁻¹.

B.6.5 MAR

B.6.5.1 MERLIN GERIN – FUNKČNĚ PROPOJEN S HL. REGULÁTOREM SIEMENS

Zajišťuje ochranu kotle na pevné palivo před přetopením.

- Teplotní čidlo měří teplotu topné vody na výstupu z kotle a porovnává ji se zvolenou teplotou (85 °C) při jejím přesáhnutí dá signál regulátoru, který dá pokyn k otevření regulačního ventilu a sepnutí čerpadla, aby nedošlo k přetopení kotle. Přebytké teplo se tak v tepelném výměníku o výkonu 75 kW **předá bazénové vodě**.
- Přetopení kotle zabraňuje **chladicí smyčka**, teplotní čidlo je umístěno v zadní části kotle a chrání kotel proti přetopení tak, že stoupne-li teplota vody v kotli nad 95 °C, vpustí do chladicí smyčky vodu z vodovodního řádu, která převezme přebytečnou energii a odejde do odpadu.
- Neekonomickému použití chladicí smyčky se předejde nastavením nižší teploty (85 °C < 95 °C) na teplotním čidlu na výstupu teplé vody z kotle. **Preferuje se zchlazení** (může být cílené při požadavku na ohřev bazénu – viz níže) **předáním tepla bazénové vodě nad použitím chladicí smyčky**.
- **Laddomat 21** svou konstrukcí nahrazuje klasické zapojení z jednotlivých dílů. Skládá se z litinového tělesa, termoregulačního ventilu, čerpadla, zpětné klapky, kulových ventilů a teploměřů. Při teplotě vody v kotli nižší než 65 °C nechává topnou vodu cirkulovat pouze v malém okruhu kotle. Při přesáhnutí dané teploty otevře termoregulační ventil přívod ze zásobníku a umožní topné vodě průtok celým topným okruhem.
- **POŽADAVEK UŽIVATELE NA OHŘEV BAZÉNOVÉ VODY:**
Uživatel nastaví Laddomat na 50 °C a Merlin Gerin na 55 °C (již při této teplotě se začne vyrobené teplo předávat ve výměníku bazénové vodě jako při přetopení). Na MaR Siemens je zároveň třeba vypnout požadavek na přednostní přípravu TV.

B.6.5.2 REGULUS – SAMOSTATNÝ, JEN K REGULACI SOLÁRNÍ SOUSTAVY

Zajišťuje správnou funkci **solární soustavy** a informuje o teplotě:

- a) ve spodní části zásobníku
- b) v horní části zásobníku
- c) na výstupu ze solárního panelu

Teplotní čidlo na výstupu teplé vody ze solárního panelu dá při přesáhnutí zvolené teploty (40 °C – uživatelem požadovaná teplota TV) signál MaR, která sepne čerpadlo a vyrobené teplo je předáno topnou spirálou v zásobníkovém ohříváči topné vodě. Současně musí být splněna podmínka, aby teplota výstupu teplé vody ze solárního panelu byla alespoň o 5 °C vyšší než teplota ve spodní části zásobníku.

B.6.5.3 SIEMENS – HLAVNÍ REGULÁTOR SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY TV

Zajišťuje správnou funkci celé otopné soustavy. Funkce se liší v letním a zimním režimu – nastavuje uživatel podle potřeby.

- Chod čerpadel a třícestných směšovačů je řízen ekvitermním regulátorem na základě pokojových termostatů a venkovního čidla.
- Regulace okruhu **podlahového vytápění** je řešena samostatným ekvitermním regulátorem.
- **Ekviterm** – teplotní čidla v interiéru, exteriéru a na přívodním potrubí dávají signál MaR, která podle nastavených ekvitermních křivek následně řídí otáčky čerpadel do topných okruhů a výkon plynového kotle nebo směšování třícestným ventilem.
- **Cirkulace** – při malé teplotě v potrubí dá regulátor pokyn k zapnutí čerpadla a kotle.
- **Přednostní příprava topné vody nebo teplé vody (dále jen TV)** – zda ano nebo ne rozhoduje uživatel, MaR poté nastaví třícestný směšovací ventil do požadované polohy. MaR dá pokyn k sepnutí plynového kotle, pokud teplota TV v zásobníku klesne pod 40 °C.
- Při **přetopení zásobníku** (o hraniční teplotě ve vrchní části zásobníku TV rozhoduje uživatel) dá regulátor pokyn k sepnutí čerpadla, což vede k ochlazení výměníku předáním přebytečného tepla bazénové vodě prostřednictvím výměníku tepla.

C. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ JEHO VÝSLEDKŮ

C.1 ÚVOD K EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

V této části diplomové práce je popsáno experimentální měření, které proběhlo na solárních kolektorech instalovaných na střeše jednoho ze zkoumaných objektů. Výsledky měření sloužily jako vstup pro následný výpočet návratnosti investice do tohoto zařízení.

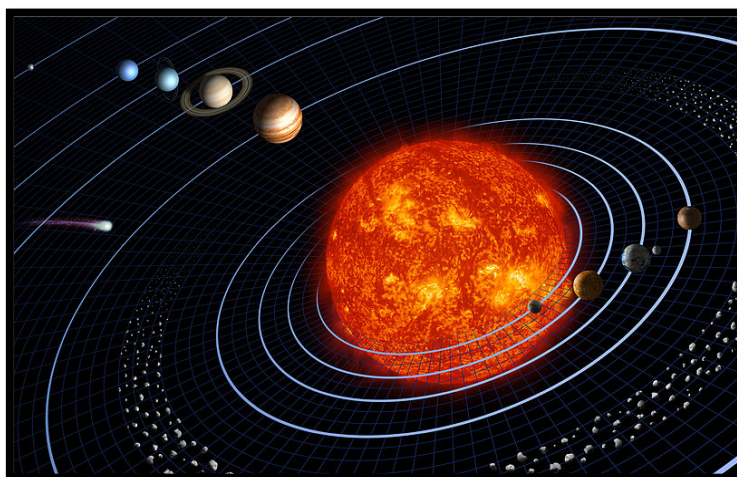
Nejdříve je však přiblížena související problematika využití sluneční energie, jako jednoho z nejdůležitějších alternativních zdrojů energie.

C.2 SLUNEČNÍ ENERGIE A JEJÍ VYUŽITÍ

C.2.1 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE

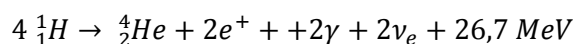
Slunce je naprosto běžná hvězda, jakých je jen v naší galaxii 150 miliard. Přitom jen do vzdálenosti, kam dohlédnou největší dalekohledy světa, je sto miliard galaxií. Z tak nesmírné perspektivy se Slunce zdá naprosto nevýznamné.

A přece se kol něj vše točí. Aspoň z pohledu lidstva. Starověké národy Slunce často považovaly za Boha. Jako naše nejbližší hvězda je Slunce zdrojem energie pro Zemi a pro veškerý život na ní. Tvoří střed sluneční soustavy a představuje 99,8 % její hmotnosti. Váží jako 330 000 Zemí. Jeho průměr je zhruba 1 400 000 km, což činí asi 109 průměrů Země. Letadlo letící rychlostí zvuku by na překlenutí takové vzdálenosti potřebovalo dva měsíce. Jeho objem je zhruba 1,3 milionkrát větší než objem Země.



Obrázek 17: Sluneční soustava [31]

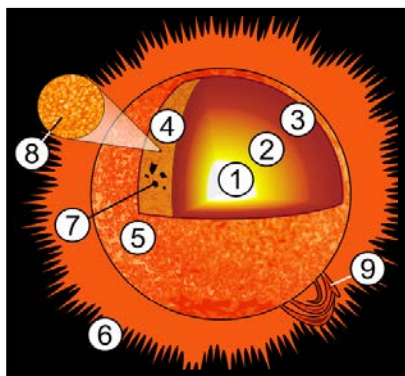
Slunce je staré přibližně 4,6 miliard let, jedná se o obrovskou kouli žhavých plynů neboli plazmatu (složení podle hmotnosti: 73 % vodík, 25 % helium, 2 % ostatní prvky). Teplota v oblasti jádra je 15 miliónů. Tyto vysoké teploty umožňují průběh termojaderné fúze, při které dochází k přeměně vodíku na hélium. Tuto řetězovou reakci proton-proton lze vyjádřit celkovou rovnicí:



kde:

- e^+ ... pozitron
- γ ... gama záření
- ν_e ... neutrino

Teplota vesmíru je 2,7 K a podle 2. zákona termodynamiky se Slunce snaží odevzdat své teplo chladnějším okolí. Teplota na jeho povrchu je 5800 K, proto ho lidé vnímají jako žluté. Slunce neustále produkuje ohromné množství energie. Z jeho povrchu se za sekundu vyzáří $3,826 \times 10^{26}$ J.

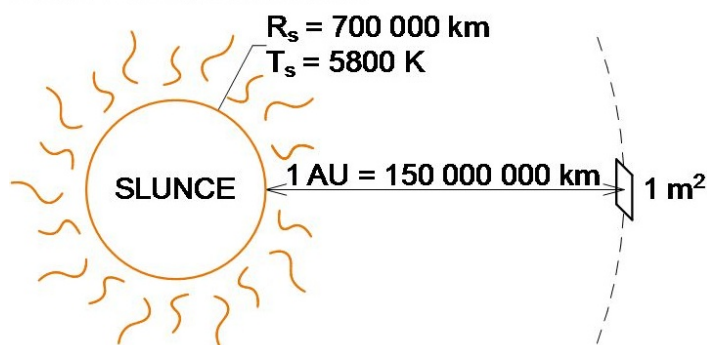


Vnitřní stavba Slunce:

1. jádro Slunce
2. vrstva v zářivé rovnováze
3. konvektivní vrstva
4. fotosféra
5. chromosféra (vzestup teploty až na 2 mil. K)
6. koróna
7. sluneční skvrna
8. granulace
9. protuberance

Obrázek 18: Schéma vnitřní stavby Slunce [32]

Mezi Sluncem a Zemí se rozprostírá 150 milionů km vakua (tato vzdálenost je označována jako 1 AU = 1 astronomická jednotka). Světlo ze Slunce dosáhne povrchu Země za 8 minut a 19 sekund. Vakuum vylučuje přenos tepla vedením a prouděním. Naopak sálání je elektromagnetické záření, které ke svému přenosu hmotu nepotřebuje. Energie tak Slunce opouští ve formě elektromagnetické radiace a neutrin (v malé míře také v podobě kinetické a termální energie slunečního větru a jako energie magnetického pole).



Výpočet výkonu Slunce

$$P = I \cdot S_s = (\sigma \cdot T_s^4) \cdot (4\pi \cdot R_s^2)$$

$$P = (5,6704 \cdot 10^{-8} \cdot 5800^4) \cdot [4\pi \cdot (7 \cdot 10^8)^2]$$

$$P = \underline{\underline{4 \cdot 10^{26} \text{ W}}}$$

kde:

- I ... intenzita záření Slunce [Wm^{-2}]
 S_s ... povrch Slunce [m^2]
 σ ... Stefan-Botzmannova konstanta ($\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

V nitru Slunce se přemění každou sekundu 700 milionů tun vodíku v hélium, při tom se jadernou silou z klidové hmotnosti vodíku uvolní energie a hmotnost Slunce se zmenší o 4 miliony tun (v souladu s Einsteinovým vztahem $E = mc^2$). Z ohromujícího výkonu, vyzařujícího do všech směrů, připadne Zemi jen asi 2 miliardtiny. Ze znalosti výkonu Slunce lze následně odvodit tzv. **Solární konstantu**, což je celkový tok sluneční energie (ve všech vlnových délkách) dopadající na plochu 1 m^2 umístěnou kolmo na směr paprsků ve střední vzdálenosti Země-Slunce (na hranici zemské atmosféry).

Výpočet solární konstanty

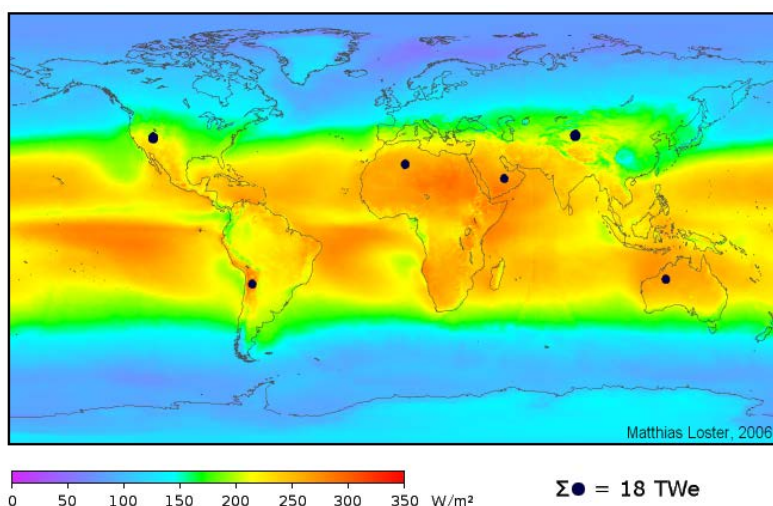
$$I_0 = \frac{P}{S_{AU}} = \frac{\sigma \cdot T_s^4 \cdot 4\pi \cdot R_s^2}{4\pi \cdot AU^2} = 5,6704 \cdot 10^{-8} \cdot 5800^4 \cdot \left(\frac{7 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^{10}}\right)^2 = \underline{\underline{1397 \text{ W/m}^2}}$$

Tabulky uvádí hodnotu solární konstanty 1367 W/m² (v různých zdrojích se tato hodnota může mírně odlišovat). Po prostupu atmosférou pak na povrch dopadne zhruba 1000 W/m². Na našem území dosahuje průměrná intenzita slunečního záření hodnoty kolem 620 W/m². Celkové množství záření přijímaného Zemí ze Slunce je určeno zemským průřezem $S_{\text{průřez}} = \pi R^2$, ale díky rotaci planety je tato energie distribuována na celý zemský povrch $S_{\text{povrch}} = 4\pi R^2$. Proto je průměrná hodnota množství slunečního záření (tzv. insolace neboli oslunění) rovna čtvrtině sluneční konstanty – kolem 342 W/m². Další vliv na množství sluneční energie dopadající v daném místě a čase má stav atmosféry (oblačnost), zeměpisná šířka a roční období.

[18], [33], [35], [36]

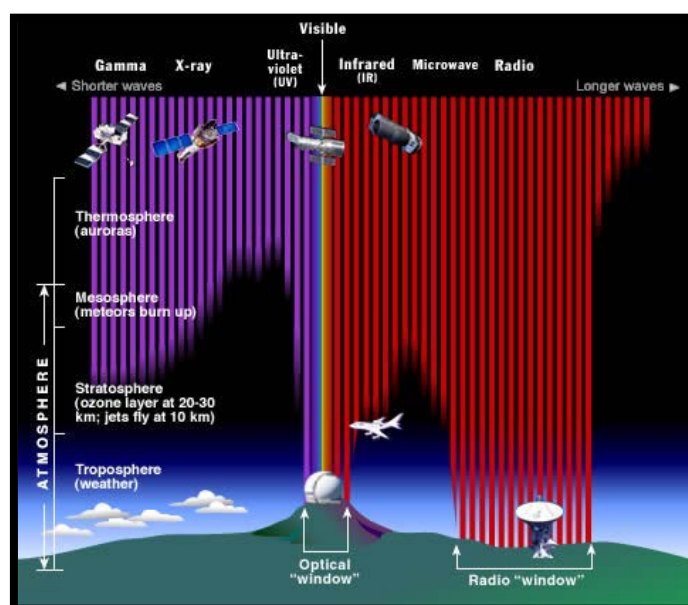
C.2.2 KOLOBĚH SLUNEČNÍ ENERGIE NA ZEMI

Zlomek energie, který Slunce své planetě Zemi daruje, představuje nesmírný přívál zářivé energie přibližně 180 000 TW. To je dva tisíckrát více, než potřebuje celá biosféra, a zároveň 12 tisíckrát více, než dnes spotřebovává celé lidstvo (spotřeba energie lidstva v roce 2008 představovala 132 000 TWh, spotřeba elektrické energie v ČR za rok 2010 je 59 TWh, Čína v roce 2011 spotřebovala 4 693 TWh, celé lidstvo pak 19 320 TWh elektrické energie).



Obrázek 19: Intenzita slunečního záření – svět (černé body mají potenciál pokrýt solárními panely s osmiprocentní účinností poptávku světa po energii) [37]

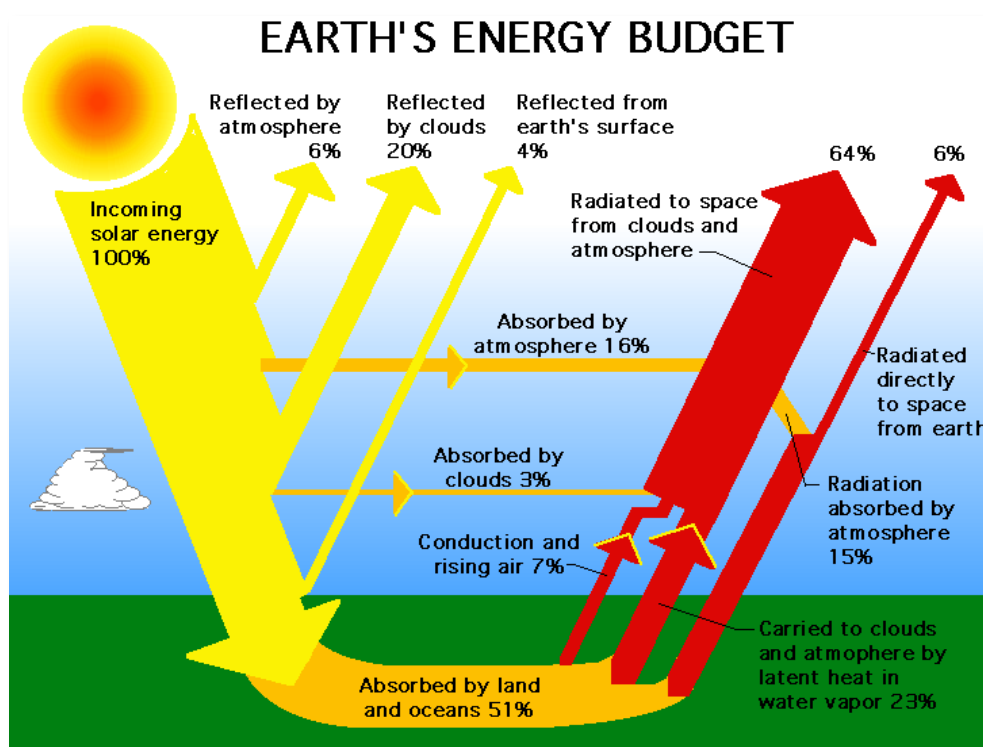
Slunce vyzářuje energii prakticky v celém rozsahu vlnových délek. Atmosféra nás chrání před škodlivými účinky krátkovlnných záření. Pohlcuje prakticky veškeré záření ultrafialové, rentgenové i gama záření. Z obrázku je vidět, že až na zemský povrch se dostane jen viditelné světlo, část infračerveného záření a rádiové vlny. Ostatní druhy je možno registrovat a pozorovat teprve ve velkých výškách, například pomocí umělých družic a kosmických sond.



Obrázek 20: Pohlcování různých vlnových délek zemskou atmosférou [34]

Z celkového slunečního záření dopadajícího na horní hranici atmosféry, se jedna třetina odrazí zpět do kosmického prostoru, přibližně pětina je pohlcena (= absorbována, tzn. přeměněna na teplo) atmosférou a mraky a pouhé 0,1 % se spotřebuje na fotosyntézu, esenciální pro život na naší planetě. Zbývající zhruba polovina sluneční energie je pohlcena oceány a pevninou. Pohlcené teplo je po různých přeměnách spolu s geotermální energií a dalšími energiemi opět vyzářeno zpět do vesmíru v podobě infračerveného záření.

Příchodem člověka, zejména pak průmyslovou revolucí spojenou s vypouštěním skleníkových plynů je tento rovnovážný stav narušován. Schopnost atmosféry účinně zachytit infračervené záření stoupá (tento proces nazýváme **skleníkový efekt**) a dochází ke **globálnímu oteplování**.



Obrázek 21: Koloběh sluneční energie na Zemi [34]

Energie slunečního záření je hlavním zdrojem klimatických procesů, jako je vypařování, déšť a oceánské i vzdušné proudění. Zahřátý proud stoupá vzhůru a těžší chladný klesá na jeho místo. Proudů pak po planetě rozvádí teplo či vlhkost.

Díky Slunci je na Zemi průměrná teplota kolem 15°C, voda v kapalném skupenství, probíhá fotosyntéza, a celkově vhodné podmínky pro život. Bez Slunce by byla na Zemi teplota -263 °C a bez geotermální energie dokonce -270 °C.

[18], [34], [40]

C.2.3 VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

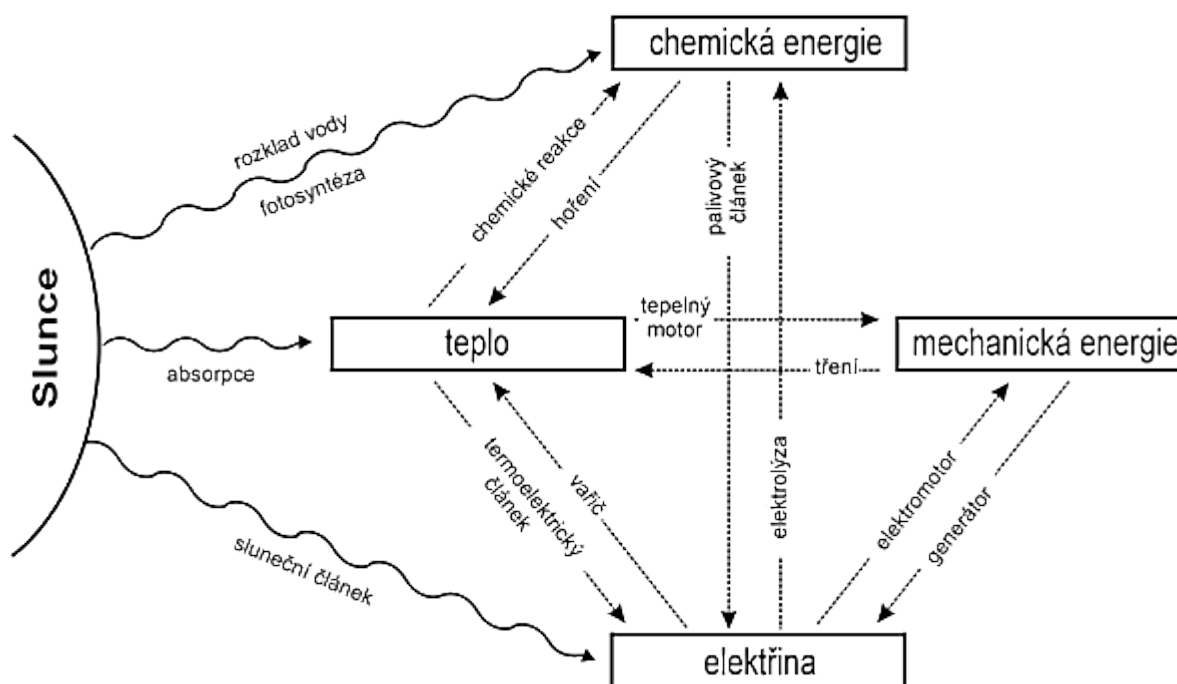
HISTORIE:

- **7. století př. n. l.** – použití zvětšovacího skla (čočky) k soustředění slunečního paprsku k zapálení ohně – Asyřané, Řekové
- **3. století př. n. l.** – sluneční hodiny – starověké Řecko, Řím, v Egyptě se v černých nádržích přes den nahřívá voda, která večer ohřívá královský palác
- **3. století př. n. l.** – Archimédes ze Syrakus objevil princip koncentrace slunečních paprsků pomocí zakřivených zrcadel (konkávních), které vyráběl leštěním bronzových plechů
- **1. století n. l.** – italský dějepisec Pliny Younger staví ze sklenic pasivní slunečný dům, tato technologie mu umožňuje mít v interiéru domu stálou teplotu
- **1. století n. l.** – První zprávy o zapalování posvátných ohňů soustředěnými slunečními paprsky (Čína)
- **216 n. l.** – císař Marcus Aurelius otevírá největší dobové veřejné lázně (využití Slunce k ohřevu vody)
- **1565** – Němec Georg Fabricius provádí pokusy s chloridem stříbrným, který je-li osvětlen, zčerná
- **1600** – vzdělaní učenci přijímají názor, že Slunce je hvězda
- **1695** – francouzský přírodovědec Buffon Georges soustřeďuje paprsek slunečního záření pomocí zrcadla a pálí dřevo a taví olovo
- **konec 17. století** - V době vlády krále Ludvíka XIV. (Král Slunce) probíhají experimenty se soustřeďováním slunečních paprsků (zapalování dřeva, tavení olova)
- **1727** – Isaac Newton vysvětluje rozklad slunečního světla
- **1767** -- Švýcar Horace de Saussure zkonstruoval první solární kolektor
- **18. století** – francouzský chemik Lavoisier Antoine staví sluneční pec pro roztavení platiny
- **19. století** – v Evropě se staví skleníky s nakloněnými stěnami orientovanými na jih
- **1827** – v Chile byla sluneční energie použita k získávání pitné vody destilací slané vody s denní produkcí okolo 23 tun pitné vody za den
- **1839** – Francouz Alexander Edmund Meceruel objevuje fotoelektrický jev
- **1861** – francouzský vědec August Mouchot sestrojil parní stroj na bázi solární energie
- **1891** – Clarence M. Kemp si nechal patentovat první komerční solární ohříváč vody
- **1908** – americká společnost Carnegie Steel (William J. Bailey) představila sluneční kolektor vhodný pro umístění na domy – trubková konstrukce plochého solárního kolektoru
- **1939** – novodobý pokus o vytápění domů pomocí sluneční energie s modelem postaveným v MIT, Slunce využito pasivně i aktivně, Sir George Porter prohlásil: „Kdyby sluneční paprsky byly bojová technika, využívali bychom aktivně sluneční energii o sto let dříve.“
- **1941** – ve státě Florida jsou zprovozněny solární ohříváče vody
- **1950** – architekt Frank Bridgers projektuje kancelářskou budovu, která je vyhřívána sluneční energií. Je to první budova, která využívá slunečního záření
- **1958** – solární (fotovoltaické) články se využívají při kosmickém výzkumu

V poslední době se člověk snaží napodobit hvězdy a zkrotit termonukleární fúzi. Nicméně udržet stabilní plyny o teplotách milionů stupňů není jednoduchá ani levná záležitost.

Slunce je přitom dokonalý přírodní termonukleární reaktor. Dodává Zemi už 4,5 miliard let nejčistší bezpečnou energii, v množství, které ani nejsme schopni spotřebovat. Slunce je zcela zdarma a palivo mu vystačí na dalších 5 až 7 miliard let. Má do budoucna obrovský energetický potenciál, a jako **obnovitelný zdroj čisté energie** by měl být hojně a co nejefektivněji využíván. Jeho využitím můžeme zmírnit důsledky globálního oteplování a znečišťování životního prostředí.

Sluneční energie je neregulovatelný a nestálý zdroj energie, závisí na počasí, denní době a podob. Pokud je elektřiny nedostatek, nelze výkon sluneční energie navýšit. Proto se vyvíjí systémy na uskladnění různých forem energií pro jejich akumulaci při přebytku a následném využití podle aktuální potřeby (např. vodíkové hospodářství, přečerpávací vodní elektrárny, akumulátory aj.).



Obrázek 22: Přeměna slunečního záření v potřebnou formu energie - přímo (vlnovka) nebo nepřímo (slabé šipky) [17]

Na Zemi se sluneční energie transformuje, ukládá a projevuje v různých formách. Podle zákona zachování energie se přeměňuje beze zbytku v jiné formy.

Lze říci, že téměř všechna energie, kterou dnes máme k dispozici a využíváme, pochází ze Slunce (energie biomasy, energie fosilních paliv, vodní, větrná a tepelná aj.).

[18], [38], [41], [48], [56]

C.2.3.1 ZPŮSOBY VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

a) NEPŘÍMÉ VYUŽITÍ – využívá se transformovaná sluneční energie

- **tepelná** – tepelná čerpadla, OTEC = Ocean Thermal Energy Conversion energie pohlcená oceány či pevninou způsobí využitelný rozdíl teplot mezi povrchem a hlubšími vrstvami
- **kinetická** – pohon turbín – větrné, příbojové a vlnové elektrárny, solární komíny větrná energie = energie vzdušných mas, proudění vzniká díky teplotnímu rozdílu vodní energie = energie mořských proudů, proudění vzniká díky teplotnímu rozdílu energie vln = větrná energie uvádí do pohybu hladiny oceánů
- **potenciální** – voda roztáčí turbíny vodní elektrárny vodní energie = koloběh vody (vypařování a kondenzace), využití vodních toků
- **chemicky vázaná** – spalování fosilních paliv a biomasy v tepelných elektrárnách chemická energie biomasy = většinou ve formě sloučenin uhlíku (energie je uvolňována zpět dýcháním a spalováním)
 - fosilní paliva = tzv. „energetické konzervy“, využití sloučenin uhlíku vzniklých rozkladem odumřelých těl pravěkých rostlin. Slunce svítilo na Zemi po miliony let a ukládalo energii do těl organismů. Za 1 rok spotřebuje lidstvo množství energie, které se vytvářelo přibližně 1 milion let → **nejedná se o OZE**
 - biomasa = hmota tvořící těla všech organismů

b) PŘÍMÉ VYUŽITÍ – přímá přeměna sluneční energie

- **solární kolektor** – vytápění a příprava TV, ohřev vody v bazénu fototermální přeměna = přímá přeměna sluneční energie v tepelnou. Záření dopadá na povrch absorbéru, který záření pohltí a zvýší svou teplotu. Funguje jako tepelný výměník, teplotonosná látka pak přenesení získané teplo do výměníku tepla v zásobníku, kde je teplo akumulováno a následně transportováno do místa spotřeby.
- **fotovoltaický článek (panel)** – výroba elektrické energie fotovoltaická přeměna = přímá přeměna sluneční energie v elektřinu. Je možná na základě fotovoltického jevu (r. 1839 Antoine-César Becquerel), při němž částice světla (fotony) přímo dopadají na solární článek (vysoce čistý křemík) a svojí energií z něj "vyrážejí" elektrony. Polovodičová struktura článku pak uspořádává pohyb elektronů (uvolněné elektrony na n-vrstvě se přesouvají k p-vrstvě, tj. od – k +) na využitelný stejnosměrný elektrický proud. Využití našla v 50. letech v kosmickém programu USA a dnes i v energetice. Z počátečních hodnot účinnosti 4 % a ceny 150 \$/Watt-peak se technologie vyvinula až na současné běžné hodnoty účinnosti okolo 20 % a ceny 3\$/Watt-peak. V roce 2006 byla na Universitě v Delaware dosažena rekordní účinnost 40,8 %. Rostoucí odvětví energetiky, mezitím i o 50 %.
- **fotosyntéza** fotochemická přeměna = v chloroplastech rostlin a řas jsou z oxidu uhličitého a vody tvořeny složité organické molekuly, do nichž je vložena sluneční energie
- fotoelektrolýza – rozklad vody působením světla
- zpracování užitkové vody – desalinace a desinfekce
- skleníky – zemědělství
- Stirlingův motor – výroba el. energie (receptor soustředěného slunečního záření)

[17], [18], [37], [40]

C.2.3.2 PŘÍMÉ VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

Považuje se za nejefektivnější využití solární energie, neboť každá přeměna energie souvisí s určitou ztrátou (přeměnou energie v jinou formu, která není cílem využití).

a) PASIVNÍ VYUŽITÍ

Termín popisuje vzájemnou interakci mezi slunečním zářením a ohřivaným předmětem.

K přenosu energie nevyžadujeme žádnou aktivní součást, nejsou s ní tedy spojeny žádné provozní náklady. Jedná se o principy tzv. **solární architektury**, jejíž typické znaky v průběhu projektování a výstavby jsou:

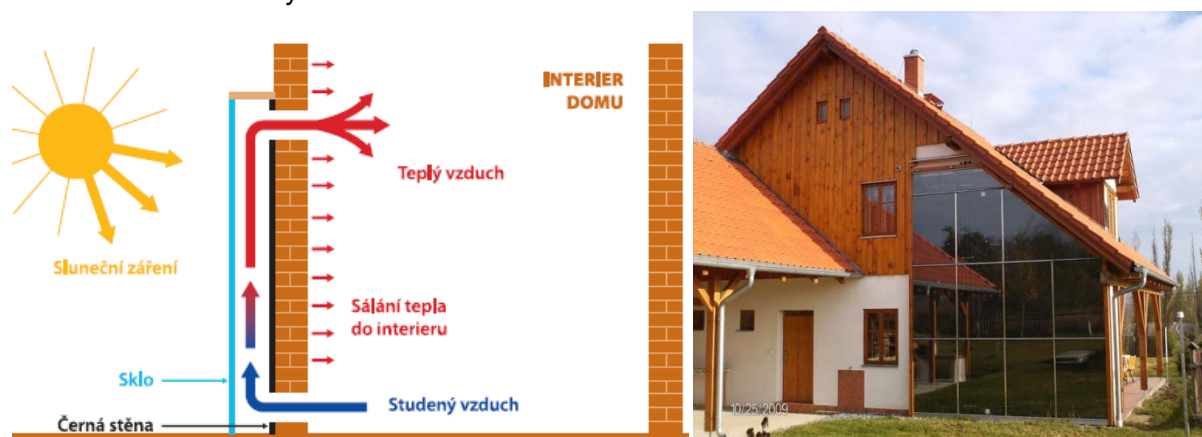
- vhodná orientace prosklených ploch a tepelně akumulčních konstrukcí
→ především na jih (bezprostřední **využití skleníkového efektu**)
- dosažení maximálního objemu stavby při minimálním povrchu obvodových (ochlazovaných) stěn
- opatření pro minimalizaci tepelných zisků v letním období
- zabezpečení dostatku denního světla pro min. potřebu umělého osvětlení
- důkladná tepelná izolace
- využití obnovitelných zdrojů pro energetické zásobování stavby

Jedná se o poměrně levnou a jednoduchou metodu. Stavby, které ji využívají, nazýváme **sluneční domy**. Ty mají za cíl maximalizovat tepelné zisky ze slunečního záření, minimalizovat tepelné ztráty a tím docílit minimálního požadavku na vytápění.

Další příklady pasivního využití:

- vzduchové a okenní kolektory
- dvouplášťové fasády
- **Trombeho stěna** (akumulace tepla do stěn domu event. štěrkového zásobníku, ohřev vzduchu)
- optické rastry
- transparentní tepelné izolace
- skleníky a zimní zahrady
- sušárny

Většina slunečních domů kombinuje také aktivní využití sluneční energie - solární kolektory pro ohřev vody, případně i fotovoltaické panely. Tím se výrazně zvýší účinnost celého solárního systému.

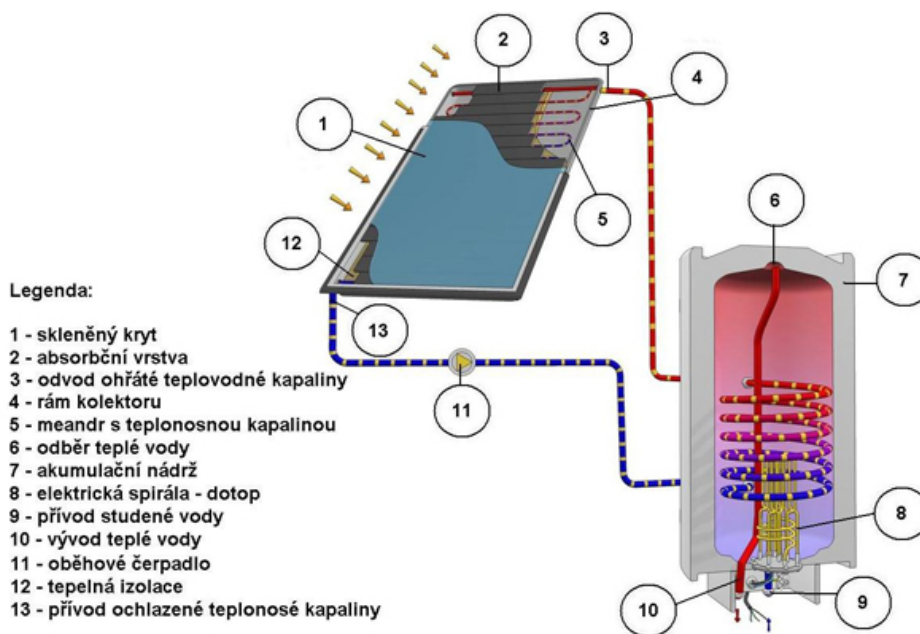


Obrázek 23: Princip fungování Trombeho stěny [42], [43]

b) AKTIVNÍ VYUŽITÍ

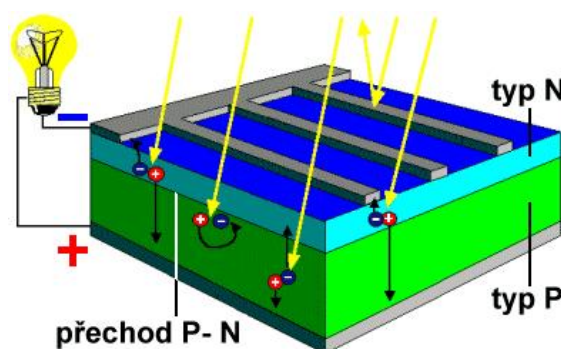
Dá se říci, že pokud je teplo dál přenášeno přidavným technickým zařízením, jedná se o aktivní využití solární energie. Jde o složitější využití a je k němu třeba lepší technické vybavení. Také náklady bývají vyšší. Aktivní využití je v podstatě dvojího typu:

- přeměna na teplo – solární kolektory



Obrázek 24: Využití sluneční energie solárním kolektorem [44]

- přeměna na elektřinu – fotovoltaické články (panely)



Obrázek 25: Využití sluneční energie fotovoltaickým článkem [41]

V rámci rozsahu této práce se budu zabývat pouze solárními kolektory.

Poznámka: Užívání termínu „panel“ u solárních kolektorů je potlačováno, aby se předcházelo nežádoucí záměně s fotovoltaickými panely.

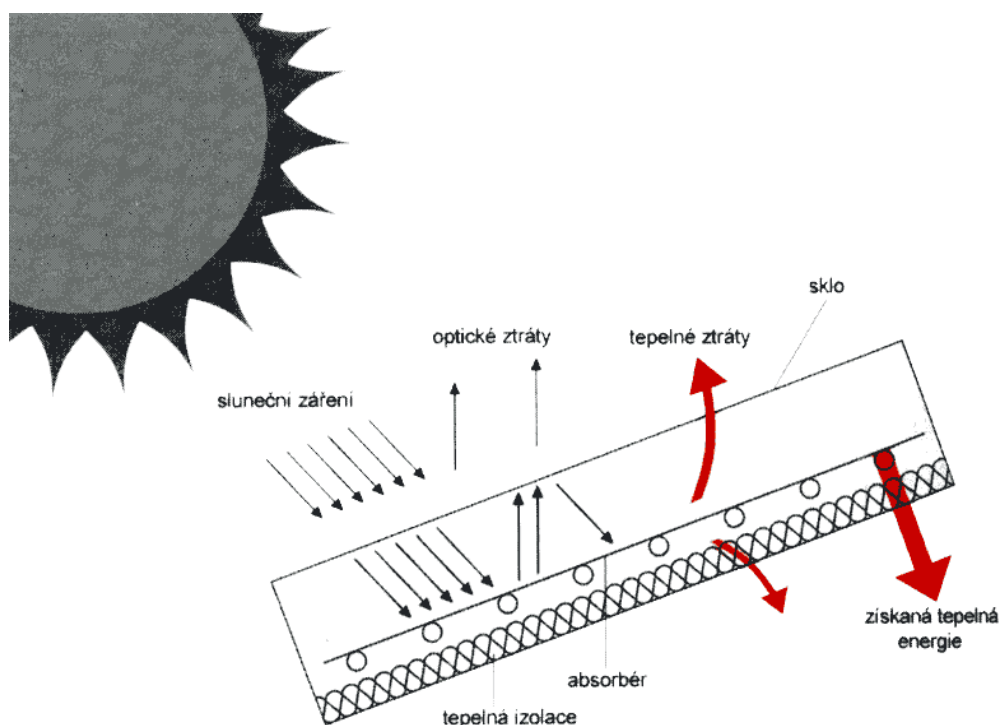
[40], [41]

C.2.4 SOLÁRNÍ KOLEKTORY

C.2.4.1 PRINCIP SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

Kolektor je „sběrač“ slunečního záření, jeho prostřednictvím je ohřívána pracovní látka nebo je solární energie koncentrována do určitého místa. Dokonalý sluneční kolektor přeměňuje záření na tepelnou energii. Tato přeměna probíhá dopadem slunečního paprsku na plochu **absorbéru**, kterým je pohlčen. Jako každé těleso, tak i absorbér vyzařuje zpět do prostoru elektromagnetické záření, které odpovídá teplotě jeho povrchu. Záření zpět do prostoru by představovalo ztrátu na výkonu kolektoru. Proto dokonalý povrch absorbéru by měl mít povrch se součinitelem relativní absorpce (pohltivosti) $\alpha=1$ a poměrnou emisivitou (zářivostí) $\alpha=0$. Cestou ke snížení poměrné zářivosti povrchu absorbéru je nanést na povrch absorbéru tzv. **selektivní vrstvu**. Jedná se o kompromis mezi poměrnou zářivostí a absorpcí povrchu, kdy poměr a/ε takového povrchu by měl být co největší (zpravidla 5 až 10). Takovými povrchy jsou tenké vrstvičky tmavého kovu např. niklu a chromu nanesené elektrochemicky ve vakuu na vrstvu lesklého leštěného kovu, např. hliníku nebo keramicko-kovové naprašování (kermet). Celý absorbér bývá uložen v **izolované skříní**, která zabraňuje ztrátám tepla prostupem a ve směru slunečního záření je zakryt transparentní vrstvou s co nejnižší reflexivitou (odrazivostí) $r \rightarrow 0$ a průchodnou pro sluneční paprsky (**krycí sklo**). Tato vrstva uzavírá kolektor proti odvodu tepla vedením a konvekcí (okolní vzduch) a chrání absorbér proti nepříznivému počasí (dešť, sníh atd.).

Pouze pro sezónní provoz jsou pak určeny absorpční matrace (nebo také rohože), které nejsou umístěné v izolované skříní a chráněné transparentní vrstvou. Jsou určeny například pro ohřev vody v bazénech atd.



Obrázek 26: Princip solárního kolektoru [45]

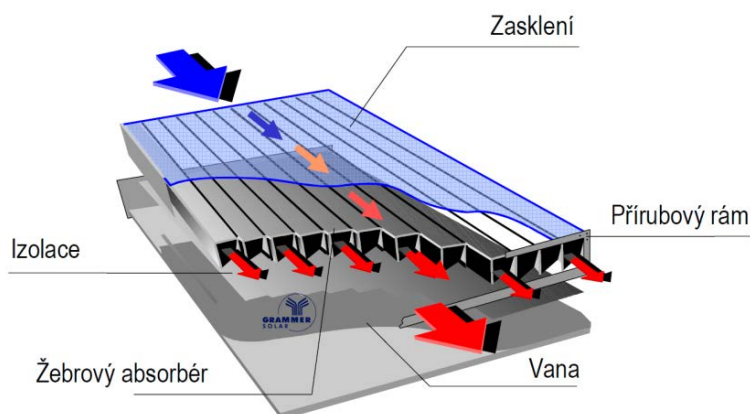
[40]

C.2.4.2 ROZDĚLENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Rozdělení z hlediska:

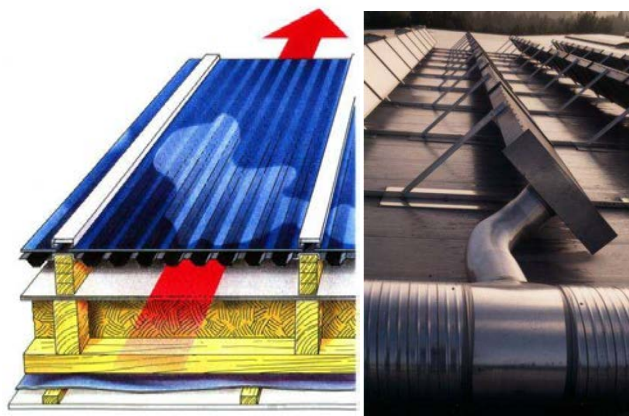
a) TEPLONOSNÉ LÁTKY

- kapalinové – naprostá většina aplikací (voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu)
- vzduchové – využívané spíše okrajově, například pro sušení v zemědělství, předehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění



Obrázek 27: Vzduchový kolektor [47]

Nízká tepelná kapacita vzduchu, vede na vysoké průtoky, velké rozměry a spotřebu elektrické energie na pohon.



Obrázek 28: Použití vzduchového kolektoru: Integrace do střešního pláště (vlevo) a předehřev vzduchu ve VZT (vpravo) [47]

b) KONSTRUKCE

- ploché - nejběžnější
- trubkové
- koncentrační – málo běžné, speciální technologické aplikace, průmysl,

c) ZASKLENÍ

- bez zasklení
- jednoduché
- vícevrstvé

d) TLAKU VÝPLNĚ

- atmosférický
- subatmosférický (vakuový)

e) ABSORBÉRU

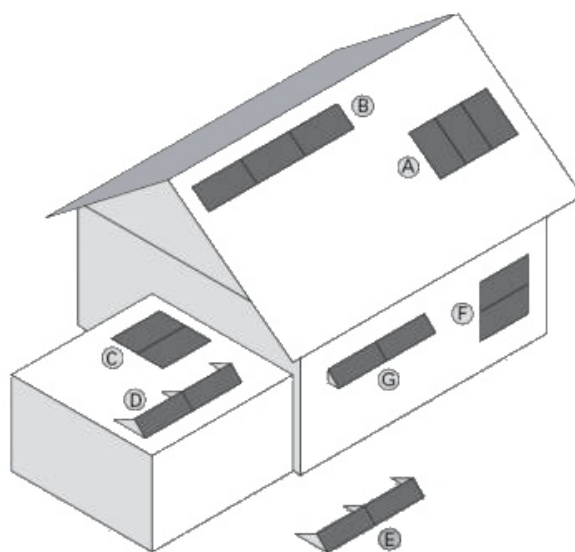
- plastový
- kovový – neselektivní
- kovový – selektivní = speciální povlak, který zaručuje vysokou absorpci krátkovlnného záření a nízkou emisi tepelného záření
- akumulční

f) ORIENTACE

- stacionární – kolektory připevněny na pevném stojanu
- nestacionární – kolektory připevněny na otočný stojan, který sleduje pohyb Slunce a natáčí kolektor tak, aby byl pořád kolmo ke slunečnímu záření (až o 40% větší celoroční zisk energie)

g) UMÍSTĚNÍ

- šikmá střecha (vhodný sklon)
 - nad krytinu (A)
 - integrace do střechy (B)
- plochá střecha (C) a (D)
- na terénu před budovou (E)
- na fasádu (lze integrovat do zateplovacího systému) (F)
- stínící prvek nad výplň otvorů (G)



Obrázek 29: Možnosti umístění solárních kolektorů [85]

[47]

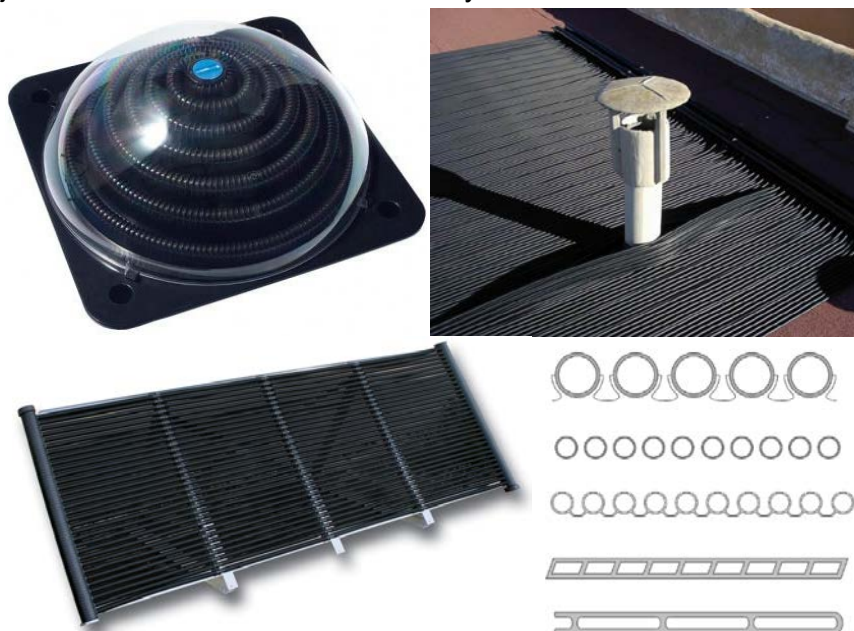
C.2.4.3 KONSTRUKČNÍ KOMBINACE KAPALINOVÝCH SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ, KTERÉ LZE POTKAT V PRAXI

C.2.4.3.1 PLOCHÉ SOLÁRNÍ KOLEKTORY

PLOCHÝ NEKRYTÝ KOLEKTOR

Zpravidla plastová rohož bez zasklení a tedy s vysokými tepelnými ztrátami závislými na venkovních podmínkách, zvláště na rychlosti proudění větru. Díky těmto ztrátám pracují na nízké teplotní úrovni. Pro zajištění dostatečného přenosu tepla ($\lambda_{\text{plast}} = 0,2 \text{ W/(mK)}$) $\times \lambda_{\text{Cu}} = 390 \text{ W/(mK)}$) je třeba malá rozteč a silné stěny trubek. Díky absenci zasklení odpadají ztráty prostupem a odrazem a při nevýrazných teplotních rozdílech tj. do 10°C mezi absorbérem a okolním prostředím je stupeň účinnosti, v porovnání s kapalinovým i vakuovým kolektorem dokonce vyšší.

→ využití: zejména sezónní ohřev bazénové vody.



Obrázek 30: Mobilní „solární pyramida“ a klasické kolektory pro ohřev bazénové vody [47], [49], [50]

PLOCHÝ NESELEKTIVNÍ KOLEKTOR

Zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně neselektivním povlakem - jen černý nátěr, který sice dobře přijímá tepelné záření ($\alpha = 0,92$), ale stejně tak ho i vydává (vysoká emisivita $\epsilon = 0,85$). Zejména v zimním období trpí značnými tepelnými ztrátami vlivem sálání absorbéru.

→ využití: pouze sezónní přehřev vody při nízké teplotní úrovni
Na trhu se v současné době příliš nevyskytují.

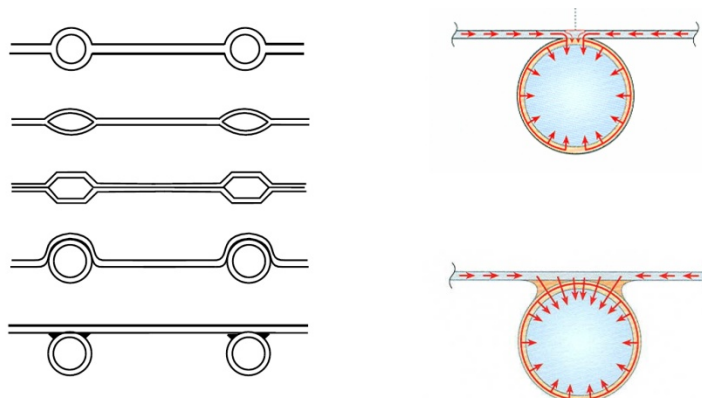
PLOCHÝ SELEKTIVNÍ KOLEKTOR

Zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a s tepelnou izolací na boční a zadní straně kolektorové skříňe. Díky tomu má výrazně snížené tepelné ztráty sáláním absorbéru.

→ využití: celoroční solární ohřev vody a vytápění
Tvoří naprostou většinu zasklených kolektorů na trhu.

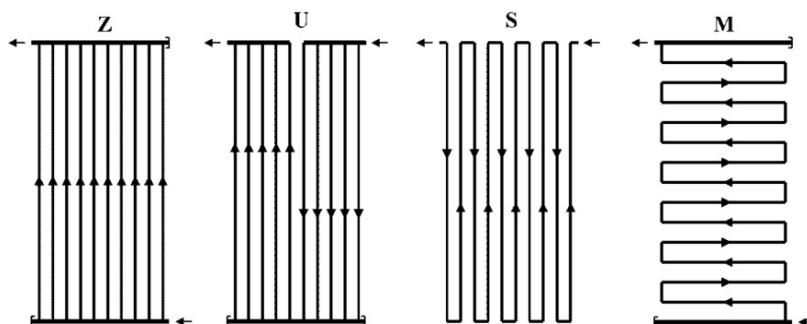
Jeho základní stavební prvky jsou:

- **Absorbér** - je vyroben z různě tvarovaného měděného nebo hliníkového plechu, k jehož zadní straně jsou připevněny nebo nalisovány měděné trubice. Technické a konstrukční řešení tvaru absorpční desky může být různé:
 - absorbér je tvořen dvěma svařovanými deskami s vylisovanými kanálky
 - kompaktní lisovaná deska s drážkami pro osazení trubky
 - kompaktní deska s přivařenými trubkami



Obrázek 31: Technické a konstrukční řešení tvaru absorpční desky [46]

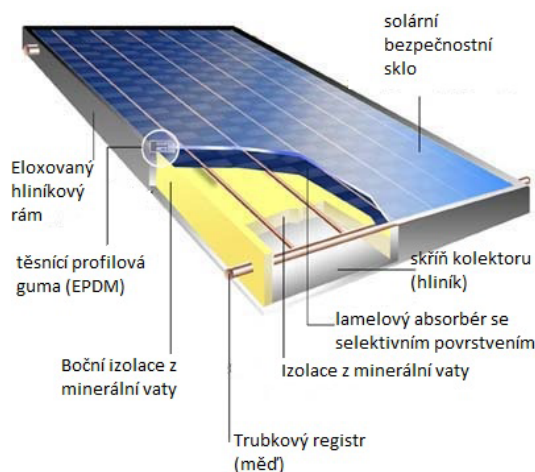
Povrch absorbéru je upraven tak, aby pohlcoval co nejvíce záření, tzv. selektivní spektrální nátěr, který pohlcuje až 96 % záření a přitom teplo jen minimálně vyzařuje ($\epsilon = 0,05 - 0,16$). Tyto nátěry umožňují využít nejen přímé, ale i rozptýlené sluneční světlo a jsou vhodné pro celoroční využití. Získané teplo se odvádí vodou nebo nemrznoucí kapalinou proudící v trubicích. Stagnační teplota u kvalitního plochého kolektoru překračuje hodnotu 200°C, a u vakuového kolektoru je to ještě vyšší hodnota.



Obrázek 32: Geometrické uspořádání trubkového registru v desce absorbéru [46]

- **Skříň** - kovová, plastová nebo dřevěná vana pro uložení absorbéru a dalších prvků. Musí být dostatečně robustní, protože slouží ke spolehlivému uchycení kolektoru na střechu nebo stěnu budovy a chrání jeho prvky před nepříznivými povětrnostními vlivy.
- **Izolace** – na spodní a bočních stranách, omezuje tepelné ztráty a brání úniku tepla z absorbéru stěnami skříně. Nejčastěji se používá tepelná izolace z minerální vlny nebo polyuretanu. Tloušťka bývá větší než 40 mm. Dále musí odolávat teplotám do 200 °C a nesmí přijímat z okolního prostředí vlhkost.
- **Krycí sklo** - omezuje tepelné ztráty konvekcí a vedením přední stěnou kolektoru. Viditelné sluneční světlo (krátkovlnné) jím snadno prochází a v absorbéru se mění na

teplo. Dlouhovlnné tepelné záření však sklo nepropouští ven. Uvnitř kolektoru vzniká skleníkový jev, při kterém se zvyšuje teplota proudící kapaliny. Používá se speciální bezpečnostní solární sklo s velkou propustností, chemickou stálostí a dlouhou životností (sodné a silikátové sklo, sklo s nízkým obsahem FeO_3 , akrylátové sklo, plexisklo atd.). Může být jedno, dvou i trojvrstvé. Nutností je odolnost proti teplotním změnám. Častá je také antistatická povrchová úprava proti usazování prachu a nečistot, které by snižovaly výkon kolektoru, a antireflexní úprava pro minimální odraz šikmo dopadajících paprsků.

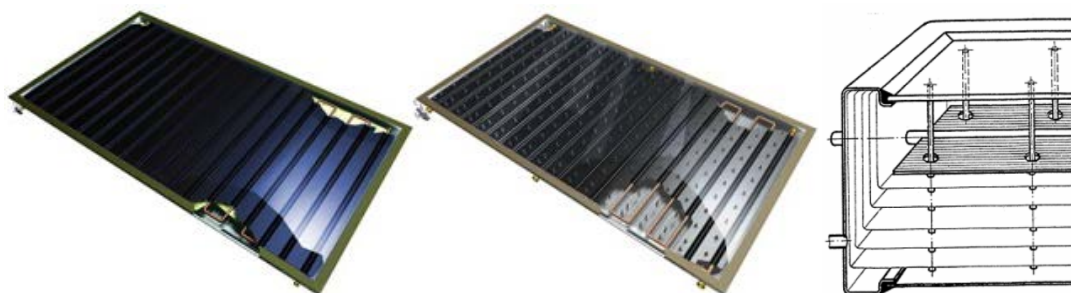


Obrázek 33: Prvky plochého selektivního kolektoru [48]

PLOCHÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR

Zasklený deskový kolektor v těsném provedení s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a tlakem uvnitř kolektoru nižším než atmosférický tlak v okolí kolektoru (celá rámová konstrukce kolektoru včetně zasklení a průchodek měděné trubky je řešena jako vzduchotěsná a v celém objemu kolektoru je vakuum - absolutní tlak cca 1 až 10 kPa) pro zajištění nízké celkové tepelné ztráty.

→ využití: celoroční solární ohřev vody a vytápění případně průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100 °C.

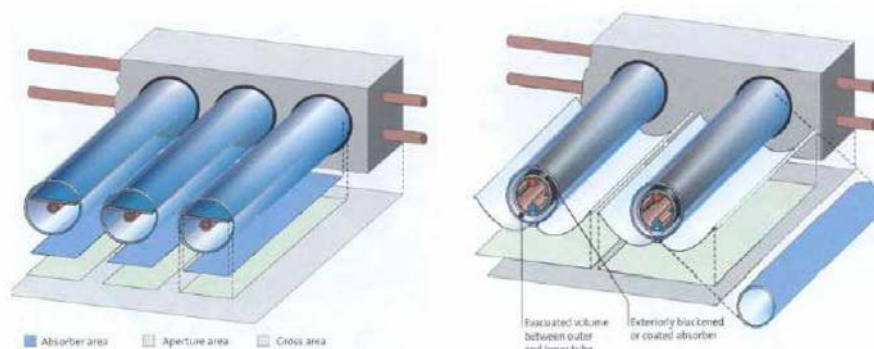


Obrázek 34: Ploché atmosférický a vakuový kolektor, vpravo pak opěrky kvůli zatížení krycího skla vakuem [47], [81]

[46], [47], [64], [73], [81]

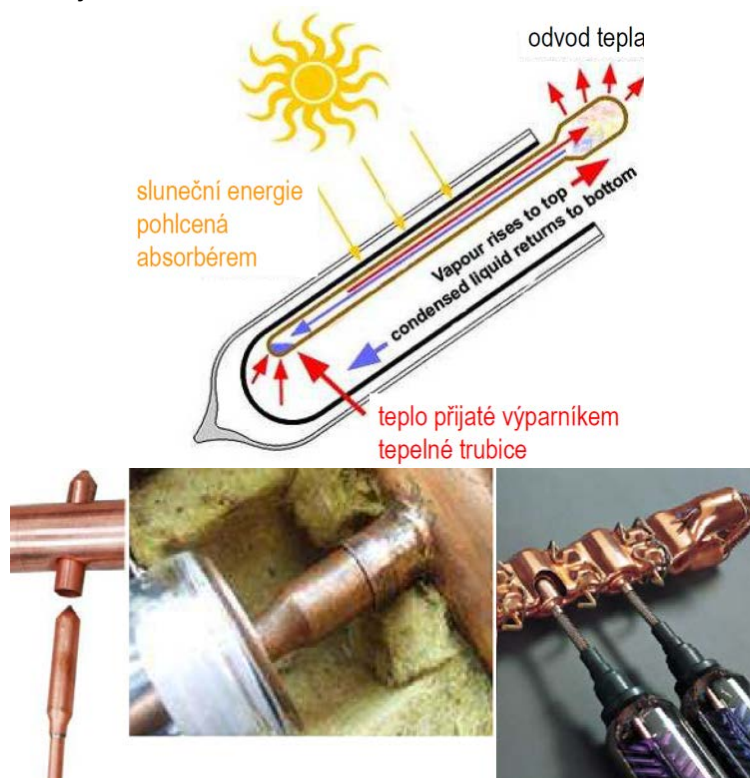
C.2.4.3.2 TRUBKOVÝ VAKUOVÝ SOLÁRNÍ KOLEKTOR

V současné době se na trhu vyskytují především dva základní konstrukčně odlišné typy: kolektory s **jednostěnnou vakuovou trubicí** a kolektory s **dvojitěnnou (Sydney) vakuovou trubicí**. Výrazné omezení tepelných ztrát je dosaženo nízkoemisivním absorptérem a vakuovou izolací (absolutní tlak $< 10^{-3}$ Pa), mohou tak získávat teplo i při velmi slabém slunečním záření (slunce za mrakem – difúzní záření) a nízkých teplotách.



Obrázek 35: Jednostěnná vakuová trubka s plochým absorptérem (vlevo) a dvojitěnná vakuová trubka Sydney s válcovým absorptérem a reflektorem (vpravo) [47]

Každá z nabízených variant pak může mít vyřešeno předání tepla buď formou přímo protékané **U-trubky (U-pipe)** nebo **tepelnou trubicí (Heat-pipe)**. Tepelná trubice je naplněna těkavou kapalinou, která se při zahřátí slunečními paprsky stane párou. Pára stoupá do hlavice, kde odevzdává teplo kapalině, která proudí kolem ní (uvolní se kondenzační teplo). Pára po ochlazení přechodem přes studenou kapalinu kondenzuje, kapalná opět sestupuje do spodní části trubice a proces se stále opakuje. Technologie tepelné trubice potřebuje sklon od 15 do 75 °.



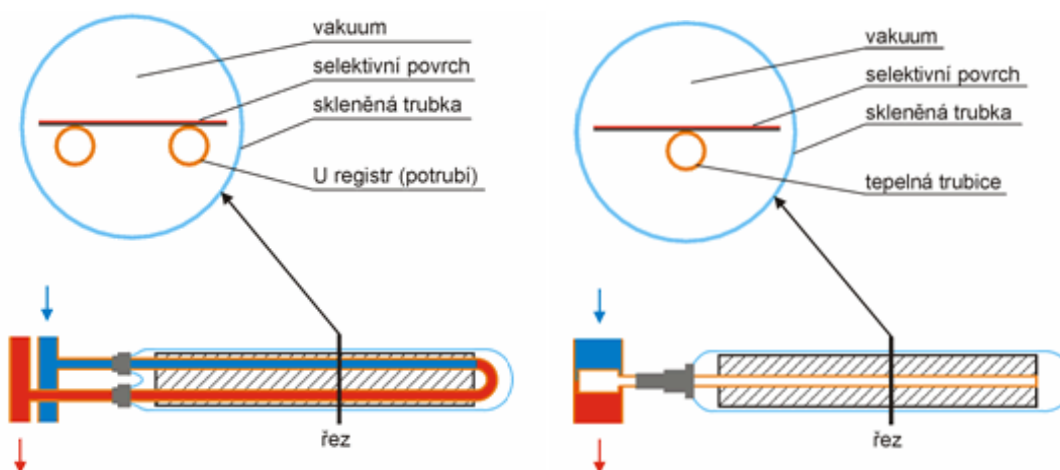
Obrázek 36: Princip tepelné trubice (nahore) a její napojení (dole) [47]

TRUBKOVÝ JEDNOSTĚNNÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR

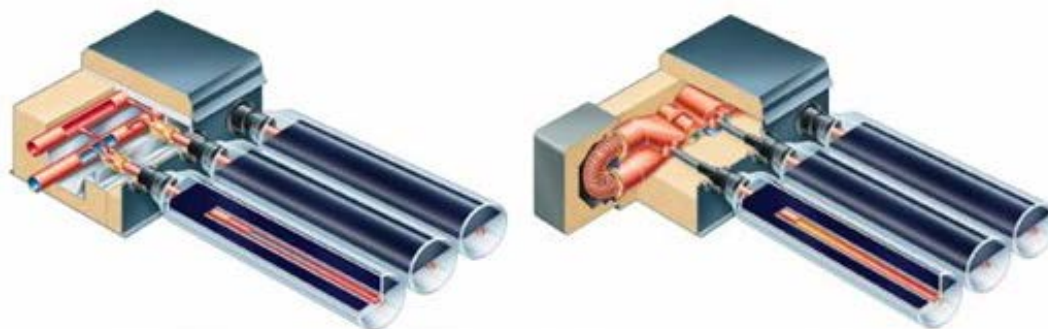
Je tvořen jednotěnou skleněnou vakuovanou trubicí, v níž je umístěna lamela plochého spektrálně selektivního absorbéru přivařená na měděném potrubí (přímo protékající U-smyčka) nebo na výparník tepelné trubice (Heat-pipe) zajišťující odvod tepla z absorbéru kondenzačním teplem při změně skupenství plynného na kapalné (viz následující obrázek). Prostup potrubí skleněnou vakuovou trubicí je řešen speciálním těsněním sklo-kov, které zajistí dlouhodobé udržení vakua ve skleněné trubce.

→ využití: kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C)

Tyto již klasické kolektory jsou v současnosti na vysoké technické úrovni, které však odpovídá i cena a pro většinu aplikací jde o investičně nedostupné řešení.



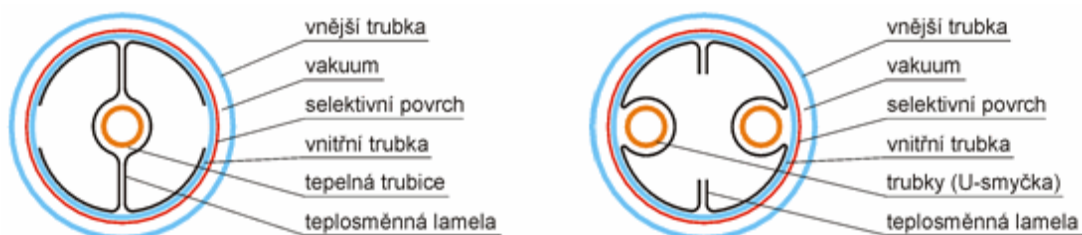
Obrázek 37: Systémy protékání: U-pipe (vlevo) a Heat pipe (vpravo) [51]



Obrázek 38: Praktické provedení jednotěného trubkového kolektoru: U-smyčka (vlevo) a tepelná trubice (vpravo) [51]

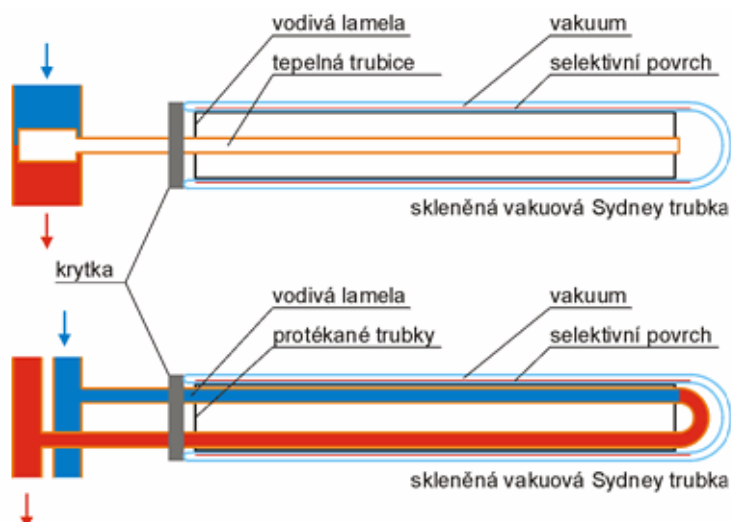
TRUBKOVÝ DVOJSTĚNNÝ (SYDNEY) VAKUOVÝ KOLEKTOR

Základní součástí je tzv. Sydney trubka, válcová dvojitěná skleněná trubka obdobná Dewarově nádobě (například součást termosek). Meziprostor mezi vnější krycí trubicí (ve funkci zasklení) a vnitřní absorpční trubicí (ve funkci absorbéru s válcovým tvarem) je vakuován. Vnější povrch vnitřní absorpční skleněné trubky je opatřen selektivním absorpčním povrchem, nejčastěji napařeným nitridem hliníku. Vakuum zajišťuje nízké tepelné ztráty z absorbéru do okolí (konvekcí, vedením), selektivní povrch zajišťuje vysokou pohltivost slunečního záření a nízkou emisivitu absorpční plochy a tedy nízké tepelné ztráty zářením z absorbéru.



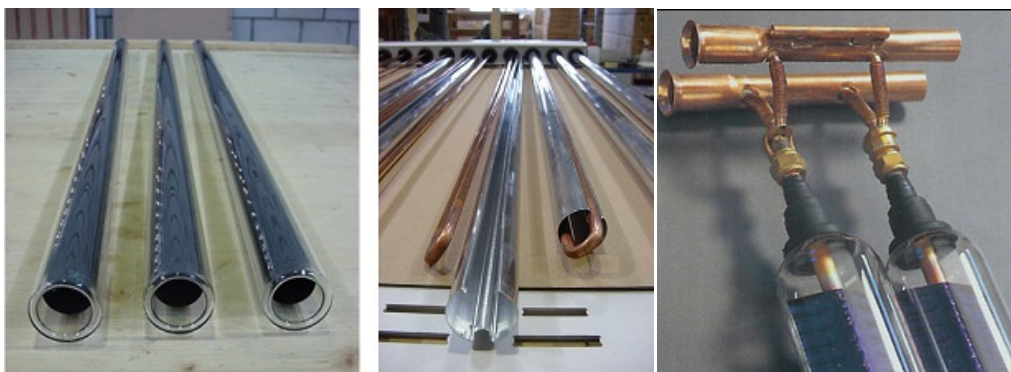
Obrázek 39: Příčný řez dvoustěnným trubkovým vakuovým kolektorem [51]

Podobně jako jednostěnné trubkové kolektory i trubkové Sydney kolektory jsou konstrukčně řešeny s přímo protékaným trubkovým registrem (U-trubka) nebo s tepelnou trubicí. Kritickým místem Sydney kolektoru je však přenos tepla z vnitřního povrchu vnitřní absorpční trubky do teplotnosné látky, tedy především na povrch přímo protékané U-smyčky z měděného potrubí nebo na povrch výparníku tepelné trubice. K tomu slouží teplosměnná vodivá lamela (nejčastěji z hliníku), která by měla vykazovat co nejlepší (nejvodivější) kontakt jak s vnitřním povrchem absorpční trubky, tak s potrubím pro odvod tepla (U-smyčka, tepelná trubice).



Obrázek 40: Podélný řez dvoustěnným trubkovým vakuovým kolektorem [51]

U varianty protékání U-trubkou je lépe vyřešen přenos tepla mezi primární nemrznoucí kapalinou ve vakuové trubici a sběrným potrubím otopné vody - odpadají tedy problémy s přenosem tepla vlivem stárnutí a výrobních nedostatků.



Obrázek 41: Vlastní vakuová Sydney trubka (vlevo) U-smyčka z měděného potrubí s hliníkovou lamelou (uprostřed) a napojení U-trubky (vpravo) [51], [52]

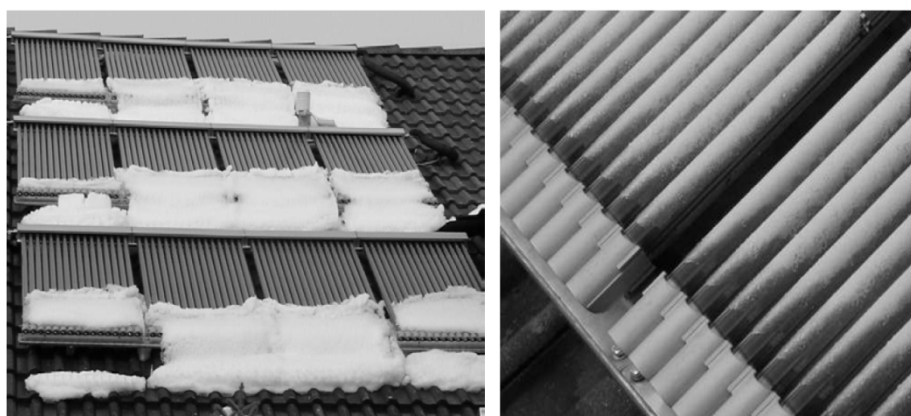
Oproti konstrukčnímu uspořádání trubkových solárních kolektorů s jednostěnnými vakuovanými skleněnými trubkami s absorberem ve tvaru plochých lamel mají kolektory se Sydney trubkou a válcovým absorberem svá pro i proti:

- výhody:
 - snadná vyměnitelnost Sydney trubek při poruše
 - odstranění problému utěsnění vakua a prostupů potrubí
 - díky válcovému tvaru absorberu dopadají sluneční paprsky po celý den kolmo, a dochází tak k přeměně maximálního množství záření
 - nízká cena
- nevýhody:
 - nižší účinnost přenosu tepla z absorpčního povrchu do teplotnosné látky

→ využití: kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C)



Obrázek 42: Trubkový vakuový kolektor [53]



Obrázek 43: Problematické tvoření námrazy a akumulace sněhu na trubkových kolektorech zapříčiněné vakuovou izolací [47]

Tabulka 8: Porovnání plochého a trubkového vakuového kolektoru [54]

	PLOCHÝ KOLEKTOR	TRUBKOVÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR
Výhody (+)	<ul style="list-style-type: none"> • menší vznik námrazy • ztráty průchodem a odrazy přes jednu skleněnou vrstvu jsou u plochého kolektoru menší (u vakuového to je většinou dvě skleněné vrstvy), proto v letních měsících dokáže lépe připravit TV • cenově dostupné • větší nabídka na trhu, firmy mají s jejich realizací větší zkušenosti • primární okruh s teplotonosnou látkou (např. směs nemrznoucí kapaliny s vodou) oddělený od okruhu otopné soustavy • atraktivnější vzhled díky hladkým souvislým plochám 	<ul style="list-style-type: none"> • v zimních měsících za slunečného počasí má vyšší výkon, čím je venkovní teplota nižší, tím je rozdíl větší (výborná vakuová izolace). • vyrovnanější výkonnostní průběh během dne i roku (dodávají více tepla i ráno a večer) • při poškození u systému Heat-pipe stačí vyměnit jen konkrétní vadnou trubici • primární okruh s teplotonosnou látkou (např. směs nemrznoucí kapaliny s vodou) oddělený od okruhu otopné soustavy • průměrný roční energetický zisk je v oblasti teplot nad 60 °C přibližně o 25 % vyšší
Nevýhody (-)	<ul style="list-style-type: none"> • vzhledem k celistvé ploše v porovnání s větší, členitou plochou trubkového, má na „zastavěnou plochu“ menší výkon 	<ul style="list-style-type: none"> • díky vakuové izolaci může docházet k vzniku námrazy • častější servisní prohlídky a kontroly • vyšší cena • vyšší křehkost trubic, které nelze kalit jako ploché sklo

Graf 25: Porovnání účinností plochého a trubkového vakuového kolektoru [55]

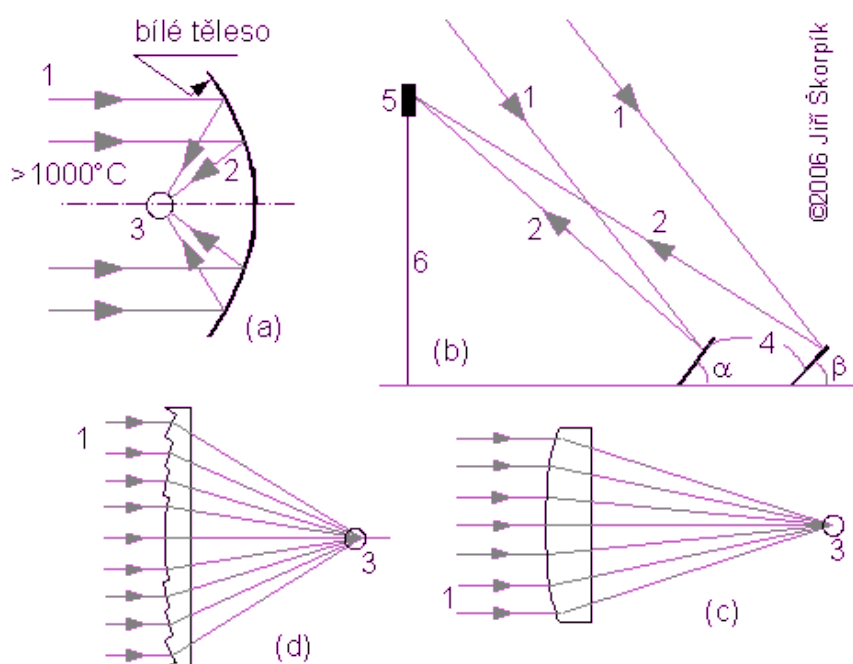


[47], [51], [62], [63]

C.2.4.3.3 KONCENTRAČNÍ SOLÁRNÍ KOLEKTORY

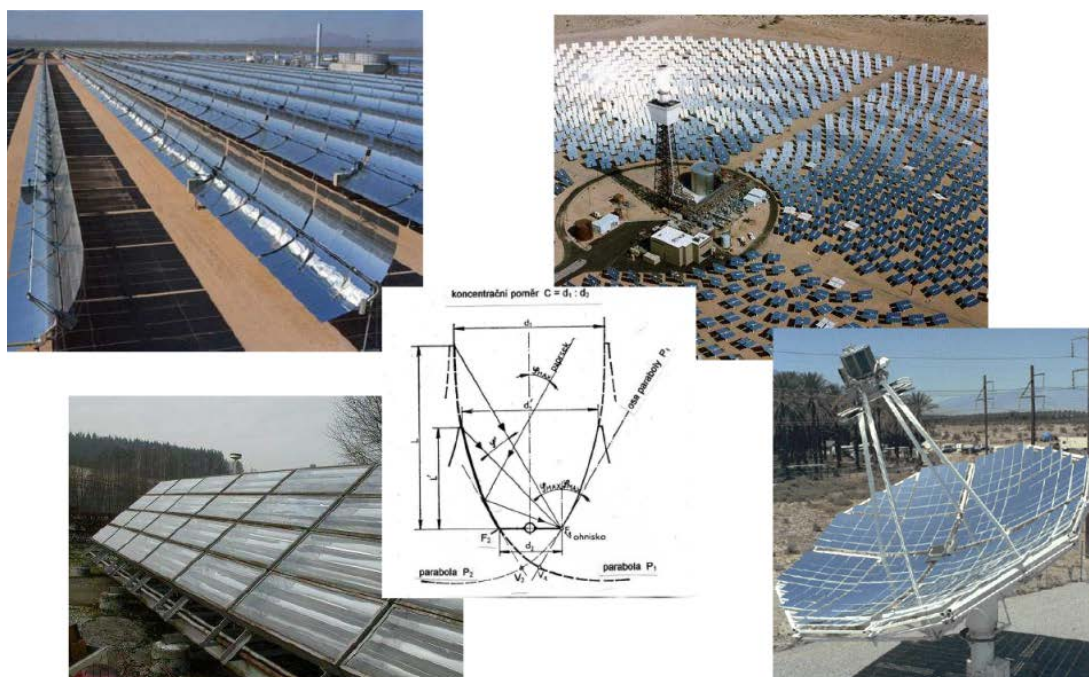
Obecně kolektor, ve kterém jsou využity zákony optiky - odraz zrcadla (reflektor) nebo lom čočky (refraktor) k usměrnění a soustředění přímého slunečního záření, procházejícího aperturou kolektoru, do ohniska (absorbéru). Pro své použití dokáže využít pouze přímé sluneční záření, nikoli difuzní. Ohnisko má výrazně menší plochu než je vlastní plocha apertury a může být:

- **LINEÁRNÍ** například parabolický reflektor, Winstonův kolektor, kolektor s Fresnelovou čočkou
- **BODOVÉ** například paraboloidní reflektor, fasetové reflektory, heliostaty



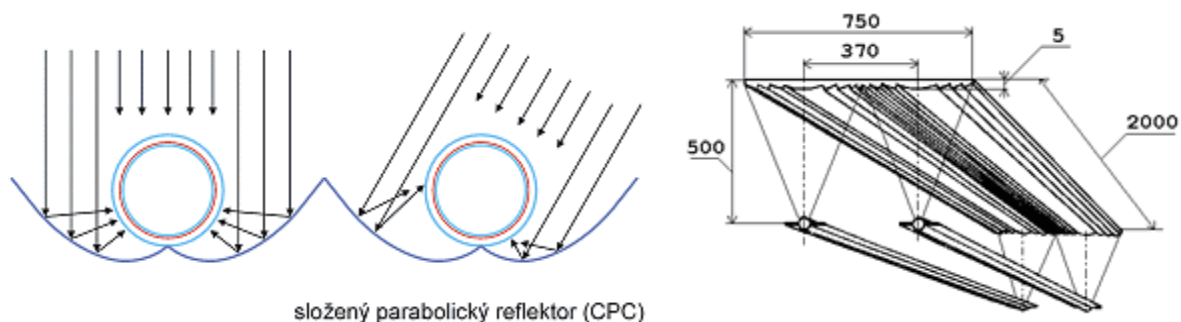
Obrázek 44: Koncentrující kolektory: **a)** parabolické zrcadlo; **b)** solární věž; **c)** koncentrace paprsků pomocí čočky; **d)** koncentrace paprsků pomocí Fresnelovy čočky. 1 přímé sluneční paprsky; 2 odražené sluneční paprsky; 3 ohnisko (sběrač, kaverna); 4 natáčivá zrcadla; 5 kaverna; 6 sloup [40]

→ využití: kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty až 2000 °C), ohřev pracovního média tepelných motorů s vnějším přestupem tepla (Stirlingův motor), výroba páry pro parní turbínu či pístový parní motor



Obrázek 45: Příklady využití koncentračních solárních kolektorů [47]

Ploché kolektory vybavené vnějším zrcadlem nebo kolektory s vakuovanými Sydney trubkami opatřenými reflektorem jsou rovněž považovány za soustřeďující kolektory. Lineární Fresnelova čočka (LFČ), pracující na principu kombinace pasivního a aktivního využití energie Slunce je původem český kolektorový systém. Pod čočkou, která je zabudována do střešní konstrukce, je v ohniskové vzdálenosti (cca 40 cm) umístěn pohyblivý rám s absorbérem. LFČ má schopnost separovat přímou a difuzní složku dopadajícího slunečního záření. Koncentrovaná přímá složka je pak soustředěna na absorbér, a difuzní složka bez podstatných změn proniká do vnitřních prostor, kde osvětluje prosklený interiér stavby.



Obrázek 46: Trubkový Sydney kolektor s reflektorem (vlevo), solární kolektor s lineární Fresnelovou čočkou (vpravo) [46], [47]

[40], [47], [64]

C.2.4.4 VYUŽITÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Rozdělení podle teploty pracovní látky:

a) NÍZKOTEPLTNÍ (< 40 °C)

- ohřev bazénové vody (nezasklené rohože, neselektivní kolektory)
- sušení plodin (vzduchové)

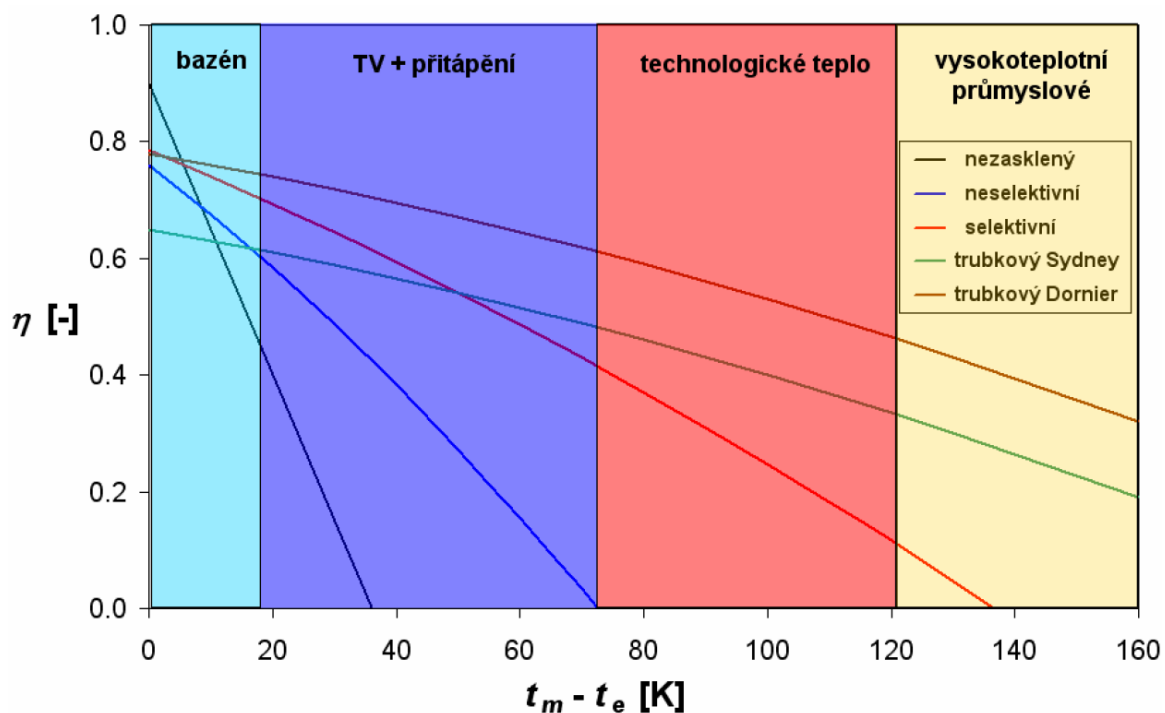
b) STŘEDNĚTEPLTNÍ (< 90 °C)

- příprava TV a přitápění (kolektory s jedním zasklením a selektivním absorberem)

c) VYSOKOTEPLTNÍ (> 90 °C)

- technologické teplo (vakuové kolektory, vícenásobná zasklení, transparentní izolace, koncentrační kolektory - až 2000 °C)

Graf 26: Možnosti využití solárních kolektorů [47]



[46]

C.2.4.5 VÝHODY A NEVÝHODY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

a) VÝHODY

- Solární kolektory jsou šetrné k životnímu prostředí (možnost 100% recyklace použitých materiálů, zároveň v době zhruba dvou let, vyrobí solární kolektor stejné množství energie, která byla k jeho výrobě spotřebována).
- Návratnost solárního systému i bez dotací se pohybuje kolem 10 let.
- Větší nezávislost na monopolních dodavatelích energií.
- Ceny energií stále rostou, naproti tomu sluneční energie je zdarma a v neomezeném množství
 - Běžná domácnost spotřebuje ročně na ohřev užitkové vody asi 2 600 kWh energie. Solární kolektory mohou uspořit až 70 % této energie.
 - Průměrná roční hodnota výkonu slunečního záření přepočtená na m² se v našich podmínkách pohybuje (se započtenou 35% účinností kolektorů) kolem 350 kWh. K pokrytí 2/3 celkové roční spotřeby energie na ohřev vody pro běžnou domácnost postačují solární kolektory o ploše 6m² (3 kolektory).
- Zanedbatelně nízké provozní náklady, po počáteční investici zaručuje solární systém investorovi téměř bezplatnou dodávku tepla na dalších 20-30 let.
- Zajímavé možnosti architektonického ztvárnění budov.
- Vyrobené teplo lze použít také pro pohon chladicího zařízení, navíc v letním období, kdy je největší potřeba chlazení, jsou také tepelné zisky z kolektorů největší. Solární chlazení (např. jednostupňové absorpční) ve spojení se solární soustavou pro přípravu TV a vytápění výhodně využívá letních přebytků tepla a zvyšuje využitelnost sluneční energie v budově.

b) NEVÝHODY

- Zdánlivě vysoké počáteční investiční náklady. Na pořízení 2 kusů slunečních kolektorů včetně příslušenství se pohybuje okolo 70 000 Kč (lze získat státní dotaci).
- Potřeba doplňujících energetických zdrojů, lze sice dosáhnout 100% pokrytí energetických potřeb, ale zatím za cenu extrémně vysokých investičních nákladů.

[65], [82]

C.2.4.6 VÝVOJ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ V BÝVALÉM ČESKOSLOVENSKU

Solární technika má u nás poměrně dlouhou tradici. Při troše pátrání zjistíme, že období ropné krize po roce 1973 připomnělo světu, že zásoby fosilních paliv nejsou nekonečné. Kromě vnímání o nutnosti ochrany životního prostředí krize také odstartovala zájem celého světa o využívání alternativních zdrojů energie. I náš stát měl zájem na zmenšení energetické závislosti, a tak vytváří první solární koncepci. V tomto období pozorujeme rozmach budování solárních soustav. V zemědělství, lázeňských rekreačních a sportovních zařízeních, školství, zdravotnictví, občanských budovách ale i rodinných domech a bytech. Průmyslové podniky dostávaly na nový zdroj sluneční energie dotace, JZD hospodařící samostatněji snižovala náklady a investovala do solárních soustav z vlastních prostředků. V rodinných domech se díky dotovaným cenám energií jednalo spíše o nadšence. Dnes je tomu spíše naopak, velkých soustav ubývá, malé soustavy na rodinných domech přibývají.



Obrázek 47: Nejstarší dosud funkční systém v Herbertově na Šumavě je v provozu od roku 1982 (koncentračních kolektory) [57]

První solární systém byl realizován roku 1978 v JZD Čechtín a nejstarší dosud funkční systém dodnes funguje od roku 1982 v Herbertově na Šumavě. Mezi první významné velké solární akce pro přípravu TV lze zařadit dodnes pracující solární systém s kroměřížskými kolektory v podniku Mechanické dílny Kojetín na Přerovsku z roku 1982 a koupaliště Rusava u Holešova kde bylo osazeno 557 m² (1984-85), dnes již rekonstruované s novými kolektory.

Všechno se vyvíjelo od začátku. Od textilních a plastových absorbérů, polyetylenových fólií místo skla a primitivního kolektoru ze spojených skel (povrch vnitřního spodního skla natřený černou barvou, voda protékala plným profilem mezi skly). První kolektory byly zasklené deskové radiátory. Vývoj šel dále od obyčejných deskových a lineárních Fresnelových čoček až na koncentrační, deskové vakuové, trubicové vakuové atd.

Zprvu byly kolektory využívány pouze k přípravě TV (venkovní bazény nebyly kdysi rozšířeny, jako je tomu dnes). Až postupně se získávaly zkušenosti s návrhem solární soustavy a automatickou regulací. Tepelná čerpadla ani biomasa nebyla veřejnosti vůbec známa. V počátcích také nebyla vyvinuta nemrznoucí kapalina, soustavy pracovaly s vodou pouze od jara do podzimu. Nenadálý noční mráz, či zapomenutí vypustit vodu z kolektorů a následné škody mnohé od Slunce odradily. Pro energetické využití se zkoumala velikost dopadajícího slunečního záření v čase a prostoru, optimalizace orientace a sklonu kolektorů, znečištění atmosféry, podílu oblačnosti, nadmořské výšky atd.

I přes řadu iniciativ se doposud nepodařilo vytvořit cech nebo jinou zastřešující organizaci zabývajících se využitím sluneční energie. Můžeme ale jmenovat průkopníky a propagátory sluneční energie jako jsou: Jaromír Cihelka, Milan Ogoun, Jaromír Sum, Ladislav Michalička, Bohumil Nábělek, Josip Kleczek, Vladimír Jirka, Jaroslav Valášek, Karel Svoboda a další.

První větší výrobci slunečních kolektorů byli například:

- Okresní podnik služeb Kroměříž
- Závod Slovenského národního povstání v Žiaru nad Hronom
- Stavoprojekt Liberec
- INKLEMO Praha
- Koventa Česká Třebová
- Elektrosvit Nové Zámky
- Slovenské závody technického skla v Bratislavě



Obrázek 48: Jeden z prvních československých koncentračních kolektorů v chropyňském závodě Státního statku Kroměříž v den exkurze, realizace před rokem 1984, konstrukce umožňovala samonatáčení za Sluncem [58]

Po roce 1989 vznikaly nové výrobní a dovozní firmy. V první polovině devadesátých let dominoval dovoz slovenských kolektorů THERMOSOLAR a textilně-plastových absorbérů firmy Ekosolaris. Využívání plastových absorbérů (pro sezónní ohřev bazénové vody) je v ČR vyšší i proti praxi v EU.

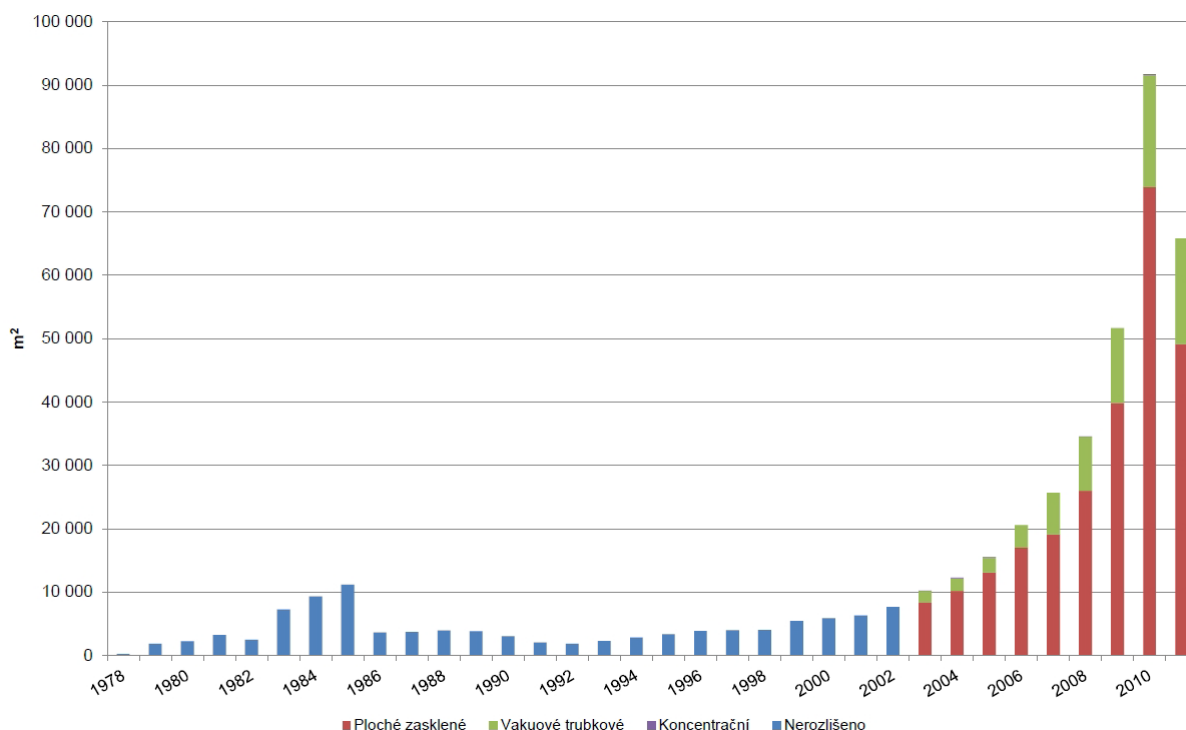
[57], [58]

C.2.4.7 SOUČASNÁ SITUACE NA TRHU SE SOLÁRNÍMI KOLEKTORY

V posledních letech dynamicky roste počet firem na trhu i objemu dodávek solárních kolektorů. To je způsobeno zejména růstem cen konvenčních paliv, který se projevuje masivním zájmem o solární systémy. Od roku 2007 prudce roste dovoz trubcových vakuových kolektorů z Číny. Tento trend lze pozorovat i v okolních zemích (např. na Slovensku, v Německu, Polsku aj.). Lze ho přisuzovat časté účasti čínských výrobců na mezinárodních výstavách a zejména pak mimořádně nízké ceně těchto kolektorů. Od druhé poloviny roku 2011 se nové dovozní firmy objevují v celních statistikách jen výjimečně. Oproti počátkům solární techniky u nás, také ubývá větších solárních instalací v průmyslu.

Na prodeji solárních kolektorů se zcela fatálně projevíly státní dotace poskytované v letech 2009 až 2011. Již v roce 2009 byl z bývalého „státního programu SFŽP“ podpořen rekordní počet solárních systémů, aby trend vygradoval v programu „Zelená úsporám“, kdy bylo v letech 2009 až 2011 vybráno k podpoře 17 635 instalací s celkovou plochou 10 614 m². Tato masivní podpora měla za následek prudký vzestup celkové dodávky solárních kolektorů až na historicky nejvyšší hodnotu 91 717 m². Bohužel ukončení programu Zelená úsporám jenom potvrzuje, že dodávka solárních kolektorů je závislá právě na objemu státních dotací. Pro rok 2011 je odhadována dodávka „pouze“ 65 800 m². Statisticky zajímavým bude rok letošní, kdy po mnoha letech nejsou vypsány státní dotace. Je ale pravděpodobné, že pokles prodeje bude dále pokračovat.

Graf 27: Vývoj dodávek solárních kolektorů na český trh [59]

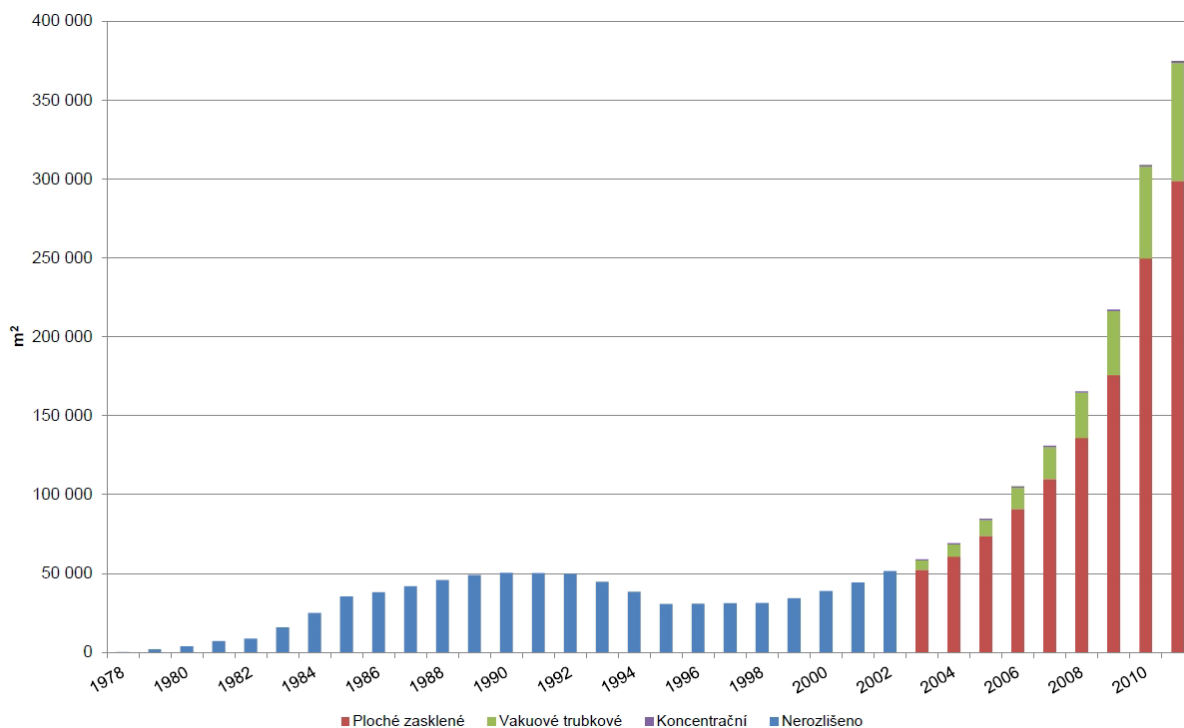


Celkově je podle statistik MPO (pro rok 2011) v ČR instalovaná plocha činných solárních kolektorů 375 tisíc m², které vyrobí 478 275 GJ tepelné energie.

Z této plochy jsou:

- 79,8 % ploché zasklené solární kolektory
- 20 % vakuové trubkové solární kolektory
- 0,2 % koncentrační solární kolektory

Graf 28: Vývoj plochy činných solárních kolektorů [59]



Graf 29: Solární kolektory v Evropě (údaje z roku 2008) [47]



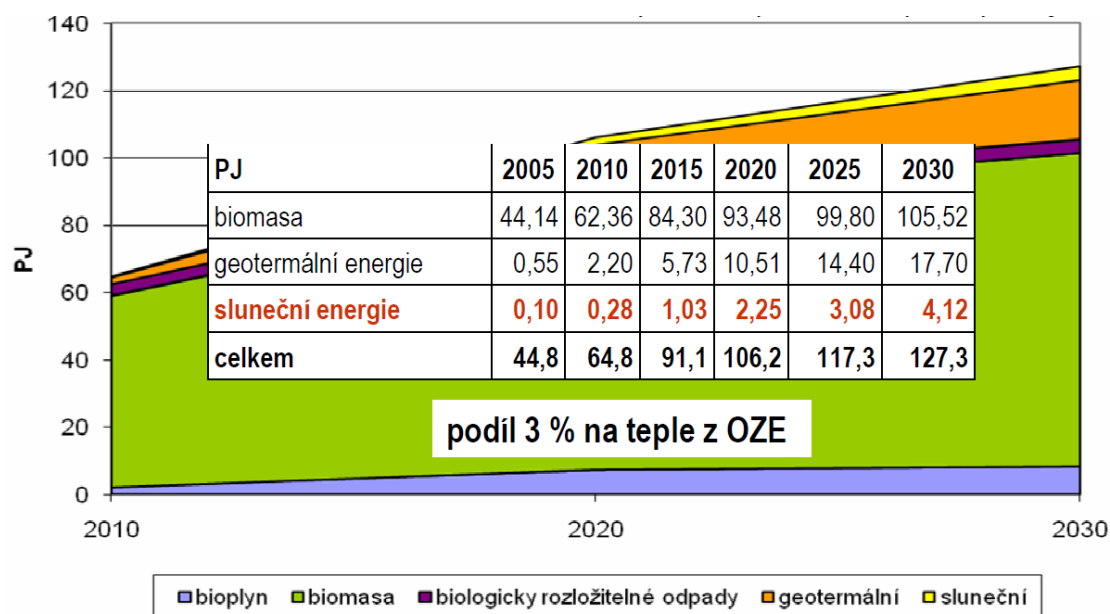
zdroj: ESTIF

Tabulka 9: Výroba tepla z OZE v roce 2011 [59]

	Hrubá výroba tepla (GJ)	Podíl na teple z OZE (%)	Orientační odhad podílu na celkové hrubé výrobě tepla (%)
Biomasa celkem	45 436 726	85,7%	6,5%
Biomasa mimo domácnosti	16 132 625	30,4%	2,3%
Palivové dřevo	360 065	0,7%	0,1%
Štěpka apod.	8 415 717	15,9%	1,2%
Celulózové výluhy	6 609 281	12,5%	0,9%
Neaglom. rostlinné materiály	429 334	0,8%	0,1%
Brikety a pelety	316 126	0,6%	0,0%
Ostatní biomasa	0	0,0%	0,0%
Kapalná biopaliva	2 102	0,0%	0,0%
Biomasa domácnosti	29 304 101	55,3%	4,2%
Bioplyn celkem	1 910 636	3,6%	0,3%
Komunální ČOV	745 856	1,4%	0,1%
Průmyslové ČOV	71 484	0,1%	0,0%
Bioplynové stanice	1 015 821	1,9%	0,1%
Skládkový plyn	77 474	0,1%	0,0%
Biologicky rozložitelná část TKO	2 074 883	3,9%	0,3%
Biologicky rozl. část PRO a ATP	929 871	1,8%	0,1%
Tepelná čerp. (teplo prostředí)	2 193 404	4,1%	0,3%
Solární termální systémy	478 275	0,9%	0,1%
Celkem	53 023 795	100,0%	7,6%

Jak je vidět na následujícím grafu, počáteční naděje vkládané do solární energie, jako čistého, levného zdroje energie a vymanutí se z energetické závislosti na fosilních palivech, se vzhledem k malému procentu využití (zatím) nenaplnily.

Graf 30: Očekávaný potenciál výroby tepla z OZE v ČR [47]



[5], [57], [59]

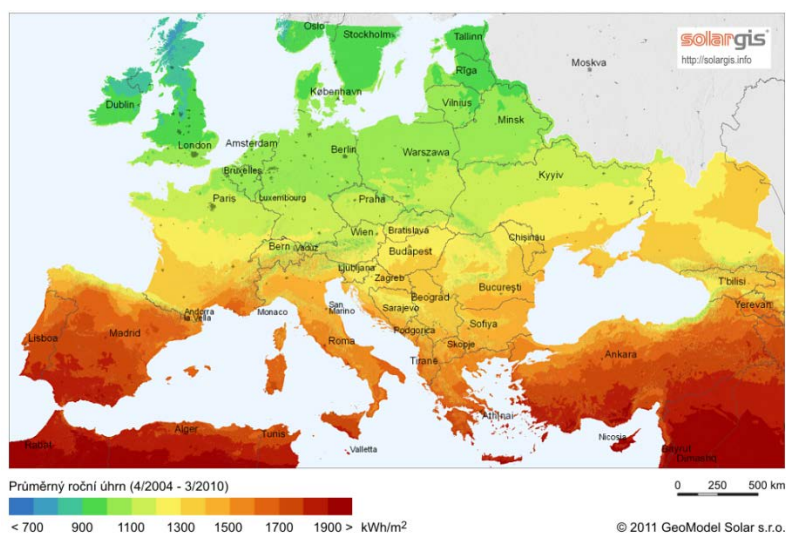
C.2.5 NÁVRH SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

C.2.5.1 KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR

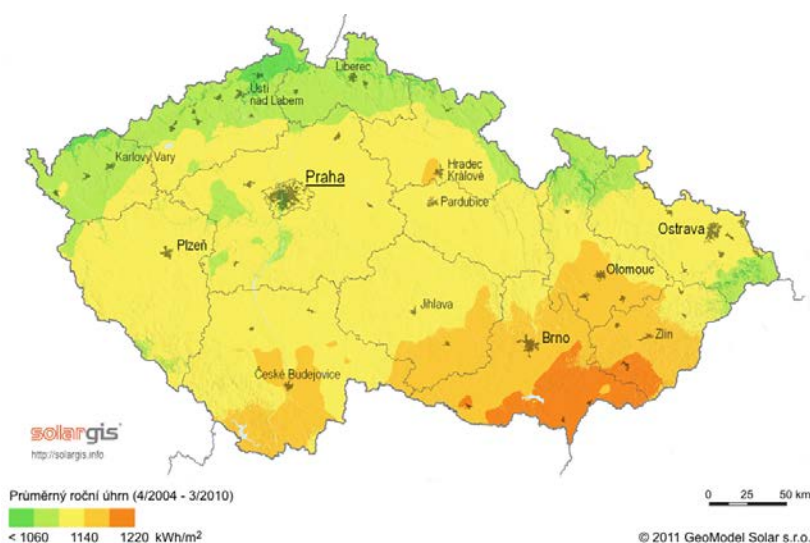
Na vnějším okraji atmosféry činí průměrná intenzita záření 1367 W/m^2 (solární konstanta). Za jasného dne po průchodu atmosférou, zbude pro naše potřeby $800\text{-}1100 \text{ W/m}^2$ (příkon menší rychlovarné konvice). Průměrná intenzita slunečního záření je u nás kolem 620 W/m^2 .

Množství dopadajícího slunečního záření může být značně nerovnoměrné. Získáme ho z literatury nebo hydrometeorologických ústavů a představuje reprezentativní hodnoty pro navrhování solárních energetických systémů. Závisí především na těchto faktorech:

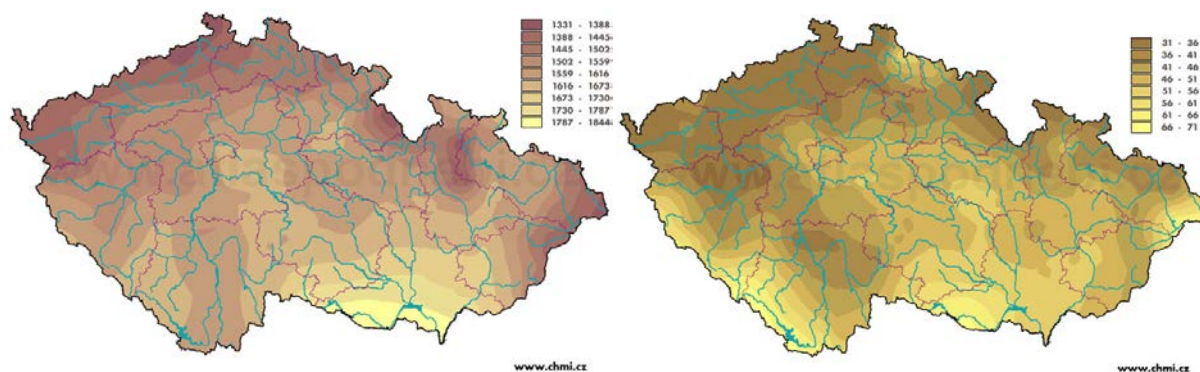
- geografické poloze – zejména zeměpisné šířce (množství energie se rychle zvyšuje s nižší zeměpisnou šířkou)
- místních klimatických podmínkách (počasí, oblačnost apod.)
- stupni znečištění atmosféry
- ročním období a délce dne



Obrázek 49: Globální horizontální sluneční záření – Evropa [37]



Obrázek 50: Množství solárního záření dopadajícího za rok kolmo na metr čtvereční povrchu země při jasné bezoblačné obloze [37]



Obrázek 51: Roční průměrná doba slunečního záření [h] (vlevo) a roční průměrný počet bezoblačných dní (vpravo) [48]

Česká republika (48° až 50° s.z.š.) má poměrně dobré podmínky pro využití solární energie. Roční množství slunečního záření dopadající na povrch země v nejslunnějších oblastech planety přesahuje 2200 kWh/m². **V České republice** jsou průměrně dosahovány hodnoty **950-1100 kWh/m²** (to je srovnatelné s množstvím energie, uvolněné při spálení 220 kg uhlí). I v rámci samotné České republiky jsou určité rozdíly mezi regiony. **Doba přímého slunečního svitu** se pohybuje **mezi 1400-1700 h/rok**. Nejmenší počet hodin má SZ území, směrem na JV počet hodin narůstá. Lokality se od sebe běžně liší v průměru o ±10 %. V oblastech se silně znečištěnou atmosférou nebo v oblastech s vysokým výskytem inverzí je nutné počítat s poklesem globálního záření o 5-10 %. Pro oblasti s nadmořskou výškou od 700 do 2000 m. n. m. je možné počítat s 5 % nárůstem globálního záření.

Maximální denní dávka ozáření v ČR:

- **Léto** 8 kWh/m²
- **Zima** 3 kWh/m²
- **Přechodové období** 5 kWh/m²

Průměrná česká domácnost spotřebuje ročně zhruba 15-20 MWh energie, tedy tolik, kolik dopadne za rok na méně než 20 m². Na ohřev užitkové vody spotřebuje asi 2 600 kWh energie. K pokrytí 2/3 celkové roční spotřeby energie na ohřev vody pro běžnou domácnost postačují solární kolektory o ploše 6m² (3 kolektory). Při využití solární energie pro vytápění platí obecné pravidlo, že na 10 m² obytné plochy je třeba 1-2 m² kolektorové plochy.

Roční energetický zisk kolektorů se liší podle provedení:

- **ploché kolektory bez selektivní vrstvy** 250-400 kWh/m²
- **ploché kolektory se selektivní vrstvou** 320-530 kWh/m²
- **trubkové vakuové kolektory** 400-890 kWh/m²

V ČR dopadá v letním období až 75% ročního množství slunečního záření. Na zbytek roku, tedy **na 7 měsíců topné sezóny, kdy je potřeba energie nejvyšší** (říjen-duben), **pak připadá jen 25% energie**. Přesná čísla záleží na počasí a na oblasti. V horských oblastech, kde je delší topná sezóna, je poměr o trochu příznivější, což se nejvíce projeví v jarních měsících. V nejteplejších měsících je z hlediska ekonomiky solárního systému klíčové nalézt pro získané teplo efektivní využití. Průměrný denní energetický zisk, jenž solární systém může v těchto měsících z jednoho čtverečního metru své kolektorové plochy vyrobit, se totiž blíží až k hodnotě 3,5 kilowatthodiny, což je takové množství energie, které by bylo schopno ohřát 80 litrů vody až o 40 °C. Reálná spotřeba teplé vody v těchto měsících však může být

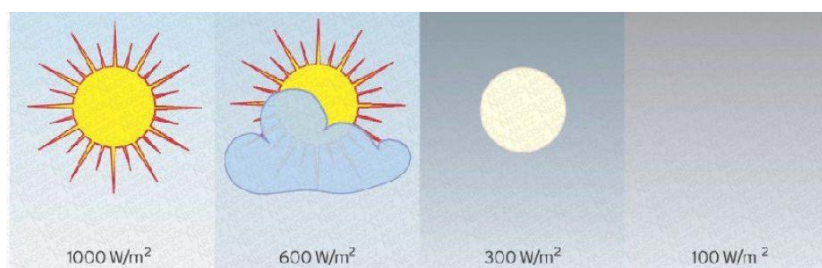
značně menší (denní spotřeba teplé vody o teplotě 60 °C při běžné hygieně nepřevyšuje 30 až 40 litrů na osobu, nicméně je individuální).

To má za následek nižší celoroční zisk, a tedy i účinnost systému a bez nutných opatření může rovněž poškozovat funkčnost solárního systému (přehřívání absorberu kolektorů, degradace či výpar teplotně odolné látky). Tento problém je obzvláště zásadní u větších systémů, sloužících i pro přitápění (předehřev TV). Zde je pak nutné při návrhu systému zajistit dostatečný odběr tepla. Počítat s dostatečně velkým akumulátorem v podobě bazénu či velkoobjemového vodního zásobníku, anebo prostě zamezit nadbytečným ziskům tepla zakrytím reflexní fólií, která odrazí většinu záření. Další možností je zvětšit sklon kolektorů, například vertikální umístění kolektorů na fasády, které je v ČR prozatím opomíjeno. Takto instalované kolektory slouží jako tepelná izolace domu, v zimě nezapadávají sněhem, méně se špiní a není tak snižována jejich účinnost. V letních měsících je využíváno nízké polohy Slunce nad obzorem a odrazu paprsků od bílé sněhové pokrývky.

Intenzita slunečního záření I [W/m^2], dopadající na plochu pod vrstvou atmosféry se skládá z přímého záření a difuzního záření:

- **Přímé záření I_p [W/m^2]** je sluneční záření, které při průchodu atmosférou není odraženo ani pohlceno a znovu vyzářeno. Vytváří stíny.
- **Difuzní záření I_D [W/m^2]** je sluneční záření, které se odrazilo od částic obsažených v atmosféře (vodní kapky, prach atd.) a změnilo směr. Je všesměrně rozptýlené. Vlnová délka tohoto záření zůstává stejná jako před odrazem. Množství difuzního záření závisí na oblačnosti a znečištění atmosféry. Tyto jevy naopak zmenšují množství přímého záření. Například při zatažené obloze dopadá na povrch Země pouze difuzní záření. Zatímco v létě je podíl difuzního záření cca 50 % globálního záření, v zimě je jeho podíl daleko větší.

Valná většina tepelné energie vyrobené solárními systémy pochází z přímého slunečního záření. Při zatažené obloze klesá toto množství na 50 až 100 W/m^2 . Při plném svitu má záření přibližně 10 krát více energie oproti zatažené obloze. Obecně platí, že kolektory vyrobí alespoň nějakou využitelnou energii, pokud vidíme zpoza mraků sluneční kotouč. Pokud nedokážeme určit přesnou polohu slunce, jsou solární zisky zcela minimální (platí pro všechny kolektory bez rozdílu konstrukce).



Obrázek 52: Přibližná intenzita slunečního záření v závislosti na oblačnosti a mlze [60]

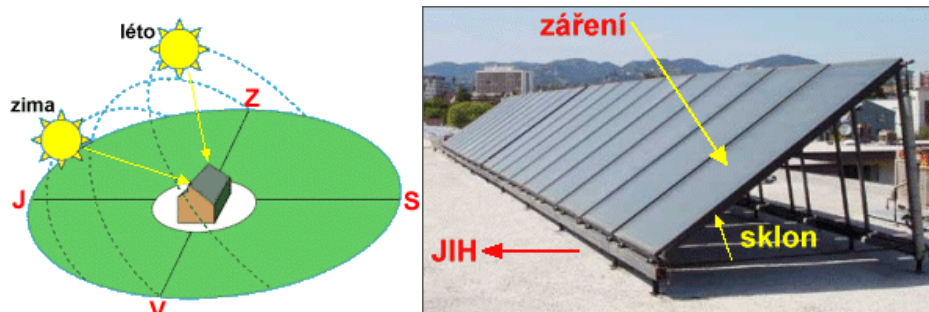
Tabulka 10: Přibližná intenzita slunečního záření v závislosti na oblačnosti a mlze [61]

OBLAČNOST	$G = G_p + G_D$ [W/m^2]
jasná obloha	800 – 1000
lehce zataženo	400 – 700
silně zataženo	100 – 300

[40], [48], [60], [61], [66]

C.2.5.2 UMÍSTĚNÍ SLUNEČNÍCH KOLEKTORŮ

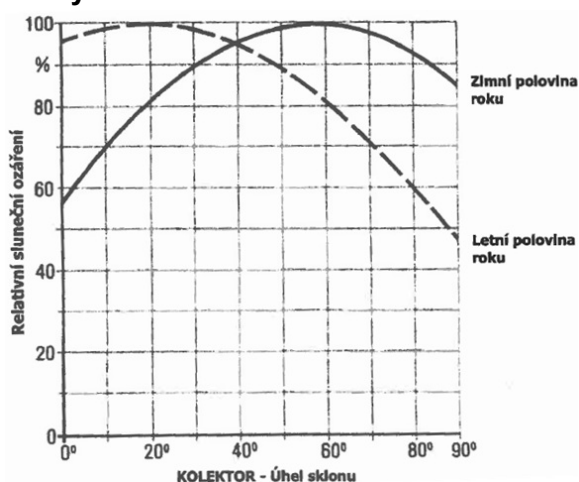
Při instalaci kolektoru na střeše, stěně budovy nebo na volném terénu je třeba splnit několik podmínek. Konstrukce je obvykle nepohyblivá, takže je třeba při umístění kolektoru volit kompromisní řešení.



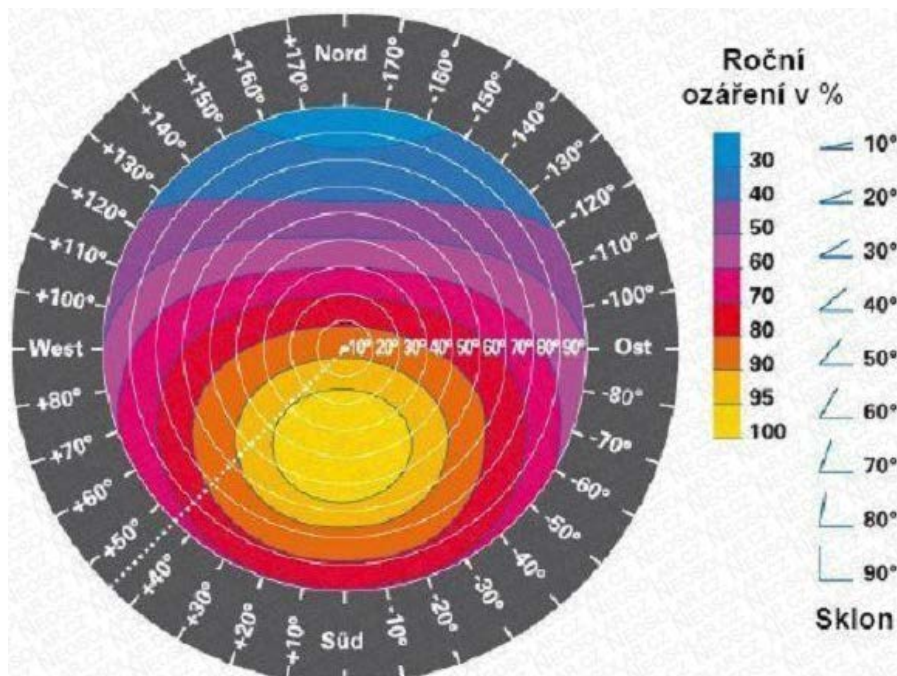
Obrázek 53: Vhodná orientace a sklon solárního kolektoru [41]

- **Konstrukce** - musí být dostatečně pevná, aby dobře odolávala různým přírodním vlivům (vítr, odolnost proti překlopení, sníh...). Kolektor by měl být co nejbližší místu spotřeby ohřáté vody, aby se co nejvíce omezily tepelné ztráty v rozvodném potrubí. Přívodní trubice musí být opatřeny dobrou tepelnou izolací.
- **Orientace kolektoru k světovým stranám (azimutový úhel γ)** - nejvhodnější je natočení směrem k **jihu nebo jihozápadu**, aby se využila největší intenzita slunečního záření kolem poledne. Pokud si můžeme vybrat mezi stejným odklonem na východ nebo západ, potom volíme odklon na západ. Tepelné zisky budou o málo vyšší tím, že se vyhneme ranním mlhám a nízké oblačnosti a dále tím, že v odpoledních hodinách jsou vyšší teploty, což má pozitivní vliv na vyšší účinnost.
- **Sklon kolektoru od vodorovné roviny (úhel β)** - sklon a orientace kolektorů by měla být zvolena takovým způsobem, aby kolektory zachytili co nejvíce slunečního záření po co nejdelší dobu v roce. Ideální by tedy bylo, kdyby na plochu absorberu dopadalo záření stále kolmo. Výška Slunce nad obzorem se však mění nejen během dne, ale i v průběhu roku. V létě je Slunce nad obzorem výše než v zimě.
V létě by byl vhodný sklon kolektoru 30 °, v zimě kolem 60 °. Obvykle se jako **kompromis volí sklon v rozmezí 35 ° - 45 °.** Optimální sklon stoupá také s rostoucí zeměpisnou šířkou.

Graf 31: Optimální sklony slunečních kolektorů s ohledem na roční období [48]

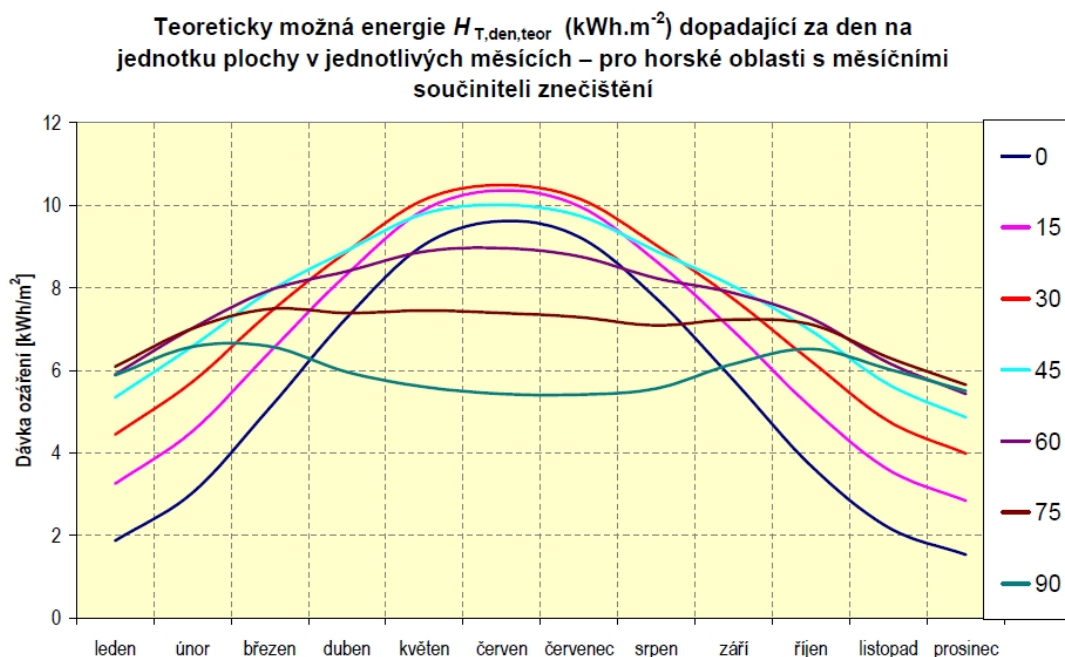


Množství získané energie není nějak extrémně náchylné na konkrétní sklon a orientaci kolektorů. Pokud je sklon v rozsahu od 20° do 60° a orientace od jihovýchodu po jihozápad, jsou rozdíly v solárních ziscích zanedbatelné v řádu několika procent. Jako ideální sklon kolektorů při celoročním provozu je 45° a orientace přímo na jih nebo s mírným odklonem na západ (cca 10°).



Obrázek 54: Míra ročního ozáření v závislosti na sklonu a orientaci kolektoru [60]

Graf 32: Teoretické množství energie dopadající na plochu v jednotlivých měsících [61]



[41], [48], [60]

C.2.5.3 SOLÁRNÍ SOUSTAVY

Samotný kolektor pro praktické využití sluneční energie nestačí - zahřátá teplotná kapalina musí získané teplo přenést na místo spotřeby. Kapalina, ohřátá v solárním kolektoru, se přivádí do zásobníku nebo výměníku tepla. Hlavními prvky solárního systému jsou: **kolektor, potrubí, zásobník, tepelný výměník, oběhové čerpadlo, expanzní nádoba, pojistný ventil, armatury, regulační prvky, a jiné**. Všechny tyto prvky musí vzájemně ladit, a pak dohromady vytvářejí ucelenou solární soustavu. Její parametry a vzájemné propojení určují její typ.

Soustavy lze rozdělit podle:

a) PRŮTOKU

- s malým průtokem (Low-Flow), 8-15 l/(hm²)
- s velkým průtokem (High-Flow), 30-70 l/(hm²)
- s proměnným průtokem (Matched-Flow), 8-40 l/(hm²)

b) OBDOBÍ VYUŽITÍ:

- sezónní
- celoroční

c) OBĚHU TEPLONOSNÉ KAPALINY:

- samotížné
- nucené

d) PODLE SPOTŘEBIČŮ

- jednookruhové – například sezónní ohřev bazénové vody, studená voda prochází přímo solárním kolektorem, ohřívá se v něm a shromažďuje se v tepelně izolovaném zásobníku nad kolektorem
- dvouokruhové – primární okruh teplotnosné kapaliny je oddělen od okruhu topné či užitkové vody
- víceokruhové

e) TLAKU V SOUSTAVĚ

- otevřené (Drain-Back)
- uzavřené

f) VELIKOSTI INSTALOVANÉ PLOCHY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

- malé (< 20 m² kolektorové plochy)
- střední (< 200 m² kolektorové plochy)
- velké (> 200 m² kolektorové plochy)

g) KOMBINACE S JINÝMI ZDROJI ENERGIE (BIVALENTNÍM ZDROJEM)

- kombinované (např. tuhá paliva, elektřina, plyn...)
- samostatné

V zeměpisných šířkách ČR je zpravidla nutné zdroj tepla založený na sluneční energii v zimních měsících doplnit dalším zdrojem (elektřina, kotel, biomasa...), pro relativně nízkou intenzitu dopadajícího slunečního záření. Nejpoužívanější solární systém u menších objektů je dvouokruhový kapalinový pro celoroční přípravu teplé vody.

LOW FLOW

Soustavy pracující ve srovnání s konvenčními se značně sníženým měrným průtokem, **8-15 l/(hm²)** kolektorové plochy. Při výrazně nízkém průtoku se projeví řada výhodných rozdílů:

- teplota teplotnosné kapaliny v kolektoru se značně zvýší, a to **až o 50 °C**. Podaří-li se tuto teplotu uložit do horní vrstvy zásobníku, má spotřebitel k dispozici rychleji teplou vodu na požadované úrovni, což vede ke zkrácené době případného doplňkového ohřevu. Použití nízkého průtoku je výhodné pouze ve spojení se **stratifikačním zásobníkem** (nabíjeným ve vrstvách).
- U Low-Flow systémů jsou **kolektory řazeny do série**. Díky menšímu průtoku není ani u větších polí vysoká tlaková ztráta na kolektorech (tlaková ztráta roste právě s druhou mocninou rychlosti proudění). Při těchto nízkých průtocích je potřebný menší výkon čerpadla, proto byla speciálně pro tyto účely vyvinuta **nová čerpadla**. Také **potrubí může být menších dimenzí**, což vede nejen k menším tepelným ztrátám potrubí, ale i materiálovým a cenovým úsporám.

Aby i při vyšších teplotách nepracoval kolektor s horší účinností než při klasickém High-Flow konceptu, jsou k dispozici opatření, která udržují teplotu na vstupu do kolektoru tak nízkou, jak je to možné. Proto se používají hlavně vnější deskové výměníky. Pro velké soustavy to nepředstavuje žádný problém, takže velké soustavy jsou dnes téměř bez výjimky dimenzovány pro provoz v Low-Flow systému. U malých soustav hovoří proti Low-Flow systému vysoké ceny vnějších výměníků. Proto nyní někteří výrobci vyvinuli inteligentní tepelné výměníky, které takové požadavky splňují. Při optimálně vyladěných komponentech a zejména dobrém vrstvení tepla v zásobníku jsou oproti High-Flow systému možné o 5 až 20 % vyšší výnosy. Vesměs se u Low-Flow systému jedná o relativně novou techniku. Nelze přehlédnout, že tento účinný koncept bude v příštích letech nabývat na významu a rozšíří se, a tím bude k dostání i širší paleta speciálních dílů (čerpadlo, vysoce výkonný tepelný výměník, speciální zásobníky atd.)

HIGH-FLOW

Soustavy s měrným průtokem **30-70 l/(hm²)** kolektorové plochy. Jde o standardní systém u menších typizovaných soustav např. RD. Při vysokém průtoku a maximálním slunečním záření dojde ke **zvýšení teploty teplotnosné kapaliny v kolektoru o 8 až 15 °C**. Aby teplotnosná látka dosáhla požadované teploty, musí oběhnout systémem vícekrát. Při přerušovaném svitu ji nemusí dosáhnout vůbec. Zásobník se nabíjí postupně a pomalu. Kolektor je hlavně z počátku nabíjen provozován s vyšší účinností. **Řazení kolektorů bývá převážně paralelní**. Oproti Low-Flow má větší dimenze potrubí a vyšší tlakové ztráty.

MATCHED-FLOW

Vychází ze **snahy spojit výhody obou** jmenovaných konceptů, tedy s Low-Flow technikou docílit dostatečně vysoké teploty a s High-Flow optimalizované výnosy. Protože však systémy vyžadují rozdílné komponenty a konstrukční části, je použití Matched-Flow velmi obtížné dobře sladit a vyžaduje relativně náročný systém regulační techniky. Specifický měrný průtok leží mezi **8-40 l/(hm²)** kolektorové plochy. Toho času je jen málo výrobců, kteří nabízejí zařízení podle této koncepce. S trvalým provozem soustav u uživatelů je dosud málo ověřených zkušeností.

Tabulka 11: Porovnání soustav z hlediska průtoku [68]

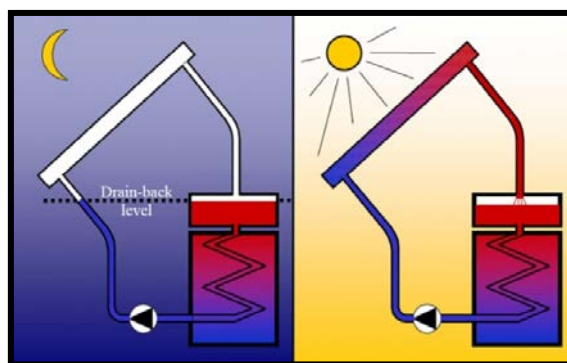
Průtok	Výhody (+)	Nevýhody (-)
Low-Flow 8-15 l/(m ² h)	<ul style="list-style-type: none"> rychlejší ohřev pohotovostní části zásobníku na teplotu užitkové vody, a tím menší potřeba dohřívání vyšší solární zisk (účinnost) použitím tenčích trubek menší tepelné ztráty z potrubí a úspora materiálu menší potřebný výkon čerpadla velký potenciál v budoucnosti 	<ul style="list-style-type: none"> výhody platí, pouze když jsou všechny komponenty systému navzájem sladěny není-li soustava optimálně seřízena, může se vysokými teplotami kolektoru snížit jeho účinnost relativně nová technika systému, některé specifické komponenty Low-Flow komponenty t. č. ve vývoji u několika málo výrobců je těžké použít stejné komponenty pro High-Flow a Low-Flow, proto kompromis
High-Flow 30-70 l/(m ² h)	<ul style="list-style-type: none"> kolektor je provozován s nejvyšší účinností jednoduchá, řadou let ověřená technologie s konvenčními součástkami 	<ul style="list-style-type: none"> pomalý ohřev zásobníku na požadovanou úroveň teploty
Matched-Flow 8-40 l/(m ² h)	<ul style="list-style-type: none"> sjednocuje výhody High-Flow a Low-Flow, ale není ještě dlouhodobě ověřený 	<ul style="list-style-type: none"> je těžké použít stejné komponenty pro High-Flow a Low-Flow, proto je vždy nutný kompromis velmi mladá technologie systému

DRAIN-BACK

Zajímavou variantou z pohledu konstrukce solárního okruhu je Drain-Back systém (=systém zpětného odvodnění). V klidovém stavu čerpadla, tedy když není sluneční záření dostatečné, aby zajistilo dostatek tepla (nebezpečí zamrznutí), při výpadku elektrického proudu, uvedení soustavy do klidu, či při hrozbě přehřátí zůstanou kolektory prázdné. Teplonosné médium vyteče z kolektorů do úměrně velké záchytné nádrže, odkud je kapalina při příštím naběhnutí čerpadla znovu čerpána do kolektorů. Jedná se tedy o okruh, v němž se vedle teplonosného média nachází i jisté množství vzduchu. Takový systém má následující znaky:

- Jako teplonosná kapalina může být použita čistá voda (voda má o 10-15 % vyšší měrnou tepelnou kapacitu), tzn., že není potřebný žádný prostředek proti zamrznutí.
- Protože v kolektorovém okruhu hraje vzduch jistou roli, odpadají ze systému odzdušňovací ventily.
- Systém je velmi bezpečný, protože varu kapaliny lze zamezit vypnutím čerpadla. Totéž platí při poruše čerpadla. Namísto membránové expanzní nádrže je potřebná záchytná nádrž na kapalinu.
- Nevýhodou je možnost koroze spojené s přítomností vzduchu. Protože se jedná o uzavřený systém, je toto nebezpečí zvládnutelné, mimoto jsou používány ušlechtilé materiály. Je také vyšší spotřeba elektrické energie pro cirkulaci v soustavě.

Nejlépe se po mnoho let osvědčily Drain-Back systémy v Nizozemsku. O tom, zda se prosadí i ve střední Evropě, rozhodne nakonec projekční praxe a ověření u uživatelů.



Obrázek 55: Princip fungování systému Drain-Back [83]

MALÉ SOUSTAVY (< 20 m² KOLEKTOROVÉ PLOCHY)

Soustavy, které pro přenos tepelného výkonu do akumulace (zásobníku) nevyžadují deskový výměník. Používají se pro menší objekty jako rodinné domy, malé firmy, aj. Vyznačují se relativně významným poměrem tepelných ztrát (potrubí, zásobník) vůči produkci tepla kolektory (až 30 %).

STŘEDNÍ SOUSTAVY (< 200 m² KOLEKTOROVÉ PLOCHY)

Soustavy vybavené vždy deskovým výměníkem tepla pro účinný přenos výkonu do uvažované aplikace. Používají se pro větší objekty jako zdravotnická a sociální zařízení, pečovatelské ústavy, menší sportovní zařízení a koupaliště, hotely, aj. Vyznačují výrazně menším poměrem tepelných ztrát (potrubí, zásobník) vůči produkci tepla kolektory (do 10 %).

VELKÉ SOUSTAVY (> 200 m² KOLEKTOROVÉ PLOCHY)

Soustavy pro velké objekty a soustavy centrálního zásobování teplem, výtopy pro sídliště (výhodná kombinace s biomasou), potravinářský a chemický průmysl, sportovní stadiony, aj. Vyznačují zanedbatelným poměrem tepelných ztrát (potrubí, zásobník) vůči produkci tepla kolektory (do několika %). U takových soustav je pro zajištění správné funkce věnovat pozornost řešení stagnačních stavů v době bez odběru tepla z kolektorů.

Pro dobrý a efektivní provoz celého solárního systému je proto velmi důležitá volba velikosti kolektorové plochy (tepelného výkonu) tak, aby odpovídala akumulační schopnosti systému – a rovněž pak předpokládané spotřebě.

Tabulka 12: Empirická pravidla pro návrh solárních komponent

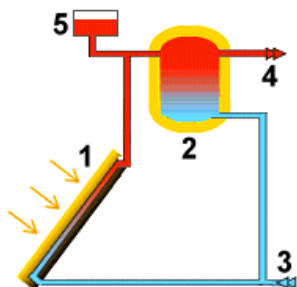
EMPIRICKÁ PRAVIDLA VELIKOSTI KOLEKTOROVÉ PLOCHY A AKUMULAČNÍHO ZÁSOBNÍKU		
Využití systému	Kolektorová plocha [m ²]	Akumulační objem zásobníku [m ³]
TV	1–1,5 na osobu	50–100 l na m ² kolektorové plochy
TV + přitápění	0,08-0,16 na m ² podlahové plochy	min. 50 l na m ² kolektorové plochy

Zásobníky slouží pro akumulaci tepelné energie přiváděné z kolektorů pro pozdější využití. V solární technice mají značný význam, často se o nich hovoří jako o srdci solární soustavy. Podstatným kritériem pro účinnost solárního zařízení je dimenzování zvoleného zásobníku na teplou vodu. Objem musí být zvolen tak aby bylo možné překlenout 1-2 dny bez zisku energie ze solárního zařízení a to pokud možno bez přídavného ohřívání.

[67], [68], [86]

C.2.5.3.1 JEDNOOKRUHOVÁ SOUSTAVA (SEZÓNÍ OHŘEV BAZÉNOVÉ VODY)

Studená voda přichází do solárního kolektoru, ohřívá se v něm a shromažďuje v tepelně izolovaném zásobníku nad kolektorem. Na obrázku je zobrazeno zjednodušené schéma takového zařízení.

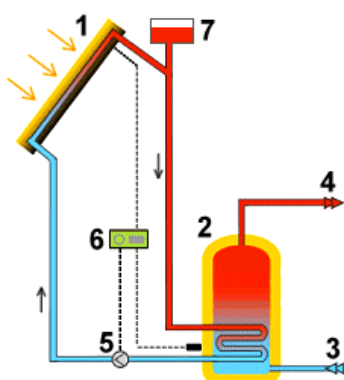


1. solární kolektor
2. zásobník teplé vody
3. přívod studené vody
4. odběr teplé vody
5. expanzní nádob

[41]

C.2.5.3.2 DVOUOKRUHOVÁ SOUSTAVA (CELOROČNÍ PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY)

V tomto systému se k přenosu tepla z kolektoru do výměníku používá nemrznoucí kapalina na bázi propylenglykolu. V tepelném výměníku předává nemrznoucí kapalina stěnami měděného „hada“ teplo ohříváné užitkové vodě. Cirkulaci teplonosné kapaliny v hermeticky uzavřeném okruhu zajišťuje oběhové čerpadlo. Expanzní nádoba vyrovnává změny objemu kapaliny při různých teplotách. Automatická regulace řídí celý solární systém na základě údajů, naměřených čidly v různých částech systému.



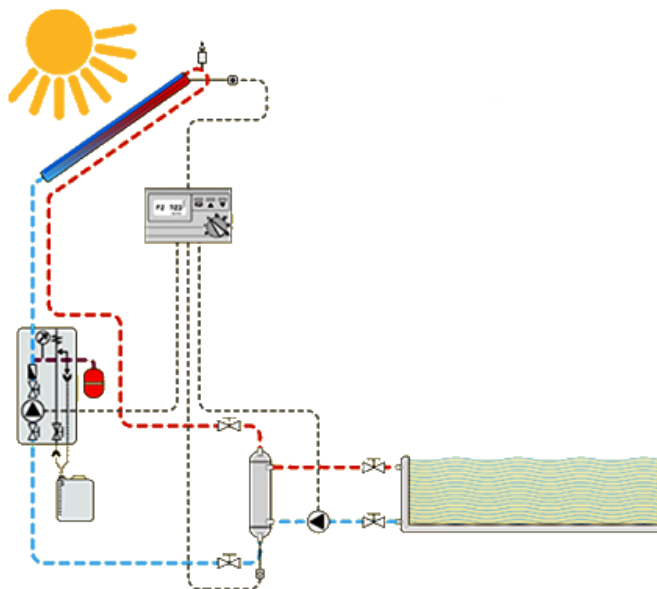
1. solární kolektor
2. tepelný výměník
3. přívod studené vody
4. odběr teplé vody
5. oběhové čerpadlo
6. automatická regulace
7. expanzní nádoba

[41]

C.2.5.4 SCHÉMATA VYBRANÝCH SOLÁRNÍCH SOUSTAV

C.2.5.4.1 OHŘEV BAZÉNU

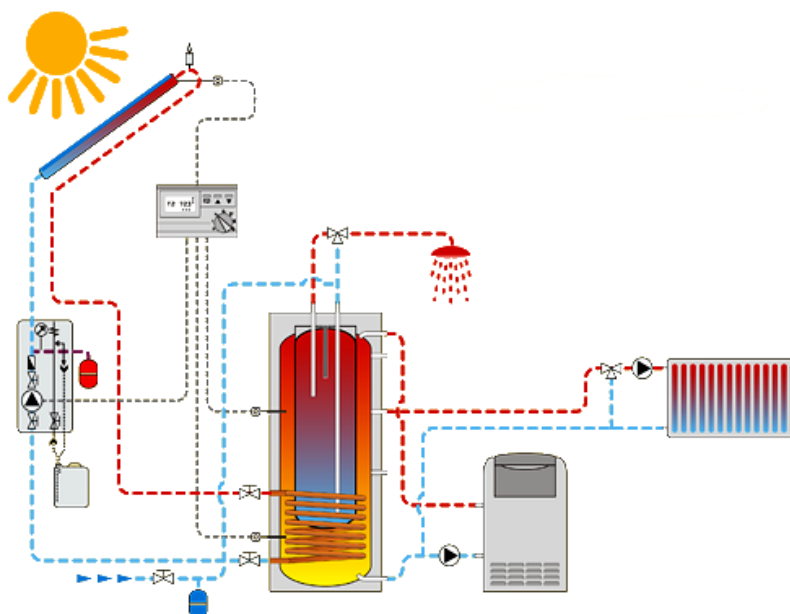
Velmi jednoduchý a levný systém ohřívání vody v bazénu. Dobu koupání lze prodloužit až o několik měsíců. Vhodně vybraný výměník tepla v oběhu filtrování vody přenáší teplo ze slunečního okruhu do vody v bazénu.



Obrázek 56: Soustava pro ohřev bazénu [69]

C.2.5.4.2 PŘÍPRAVA TV A PODPORA VYTÁPĚNÍ

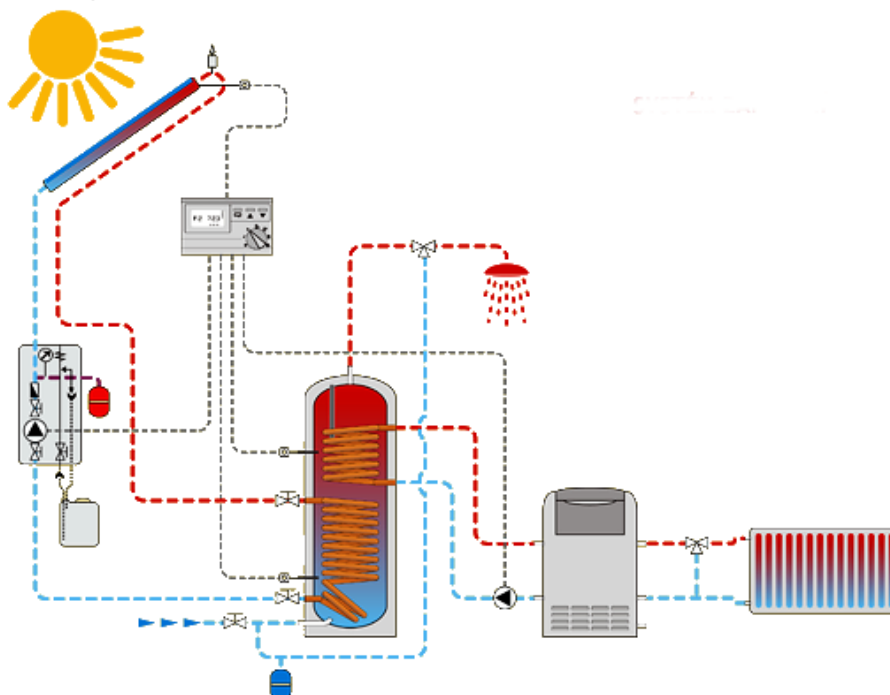
Praktický systém přípravu TV a podpory ohřevu teplovodního nízkoteplotního vytápění s dvoufunkční sběrnou nádobou, která umožňuje sloučení více zdrojů tepla. Instalace uvádí příklad optimálního využití většího množství slunečních kolektorů - v létě zajišťuje teplou užitkovou vodu (možnost také ohřívát bazén) a v zimních měsících napomáhá ohřívát vodu pro vytápění.



Obrázek 57: Soustava pro přípravu TV a vytápění [69]

C.2.5.4.3 PŘÍPRAVA TV

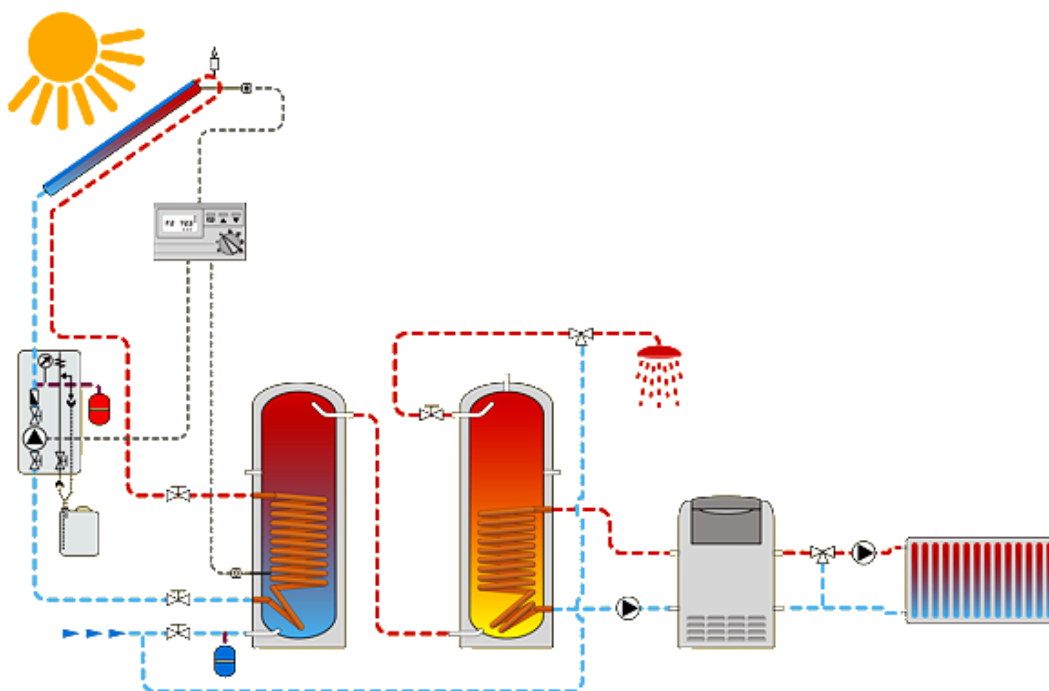
Základní a nejvíce používaný systém pro přípravu TV s využitím slunečních kolektorů. Voda ohřátá slunečními kolektory je dále dohřívána kotlem (na tuhá paliva, plyn atd.) který je napojen na horní spirálu bivalentního zásobníku.



Obrázek 58: Soustava pro přípravu TV [69]

C.2.5.4.4 NAPOJENÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU KE STÁVAJÍCÍMU OHŘEVU

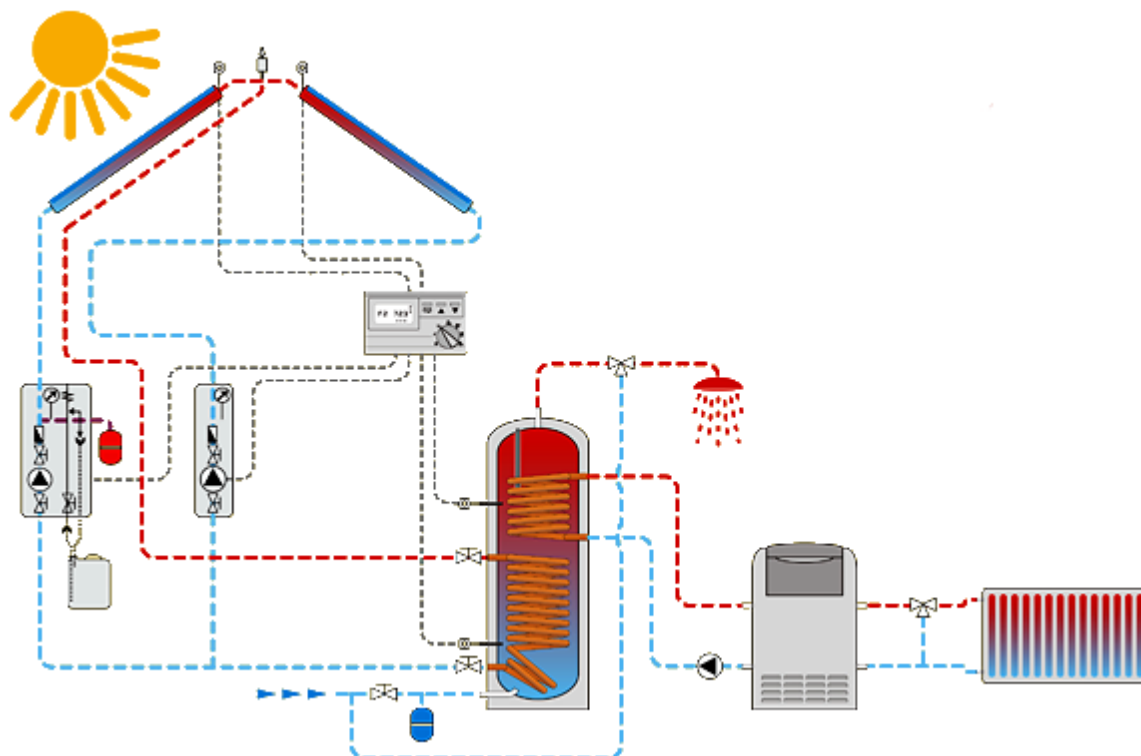
K původnímu ohřevu vody se připojí dodatečná sběrná nádoba vody či výměník (má-li ohřivač dostatečnou kapacitu). Studená voda v tomto systému je ohřívána slunečními kolektory a dále je pak vedena k dohřívání kotlem.



Obrázek 59: Soustava napojená ke stávajícímu ohřevu [69]

C.2.5.4.5 NASMĚROVÁNÍ KOLEKTORŮ NA VÝCHOD – ZÁPAD

Tento systém se používá v případě, kdy nelze nasměrovat kolektory na jižní stranu. Sluneční kolektory se instalují ve směru východ – západ, každá strana má samostatné oběhové čerpadlo. Sluneční kolektory nastavené východním směrem pracují v ranních hodinách, v poledne pracují obě sady kolektorů a odpoledne pracují pouze kolektory směřující k západu. Systém je řízen centrálním regulátorem.



Obrázek 60: Soustava s nasměrováním kolektorů východ – západ [69]

C.2.5.5 FYZIKÁLNÍ PODSTATA DĚJŮ

Solární soustavy je možné obecně rozdělit podle účelu:

- **příprava TV**
- **kombinované soustavy pro vytápění a přípravu TV**
- **ohřev bazénové vody**
- průmyslové aplikace (technologické teplo)
- chlazení a klimatizace
- sezónní akumulace tepla

Následující text se zabývá dimenzováním²³ solárních kolektorů pro tři nejběžnější typy solárních soustav. Pro průmyslové aplikace nelze použít univerzální postup. Vzhledem k odlišným profilům potřeby tepla se vždy jedná o originální řešení. Chlazení a klimatizace závisí na použitém typu cyklu (uzavřený, otevřený, absorpční, adsorpční) a dlouhodobá akumulace tepla vyžaduje z důvodu náročného iteračního řešení pro návrh plochy kolektorů a velikosti zásobníku výpočet pomocí PC.

Plocha solárních kolektorů se určí pro referenční den období, ve kterém je požadováno pokrytí potřeby tepla solární soustavou. Obecný postup při dimenzování slunečních kolektorů je následující:

- stanovení denní potřeby tepla Q_p [kWh/den]
- denní dávka sluneční energie $H_{T,den}$ na 1 m² uvažované plochy kolektoru (sklon, orientace) [kWh/(m²den)]
- průměrná účinnost solárního kolektoru η_k během daného dne [%]
- denní měrný tepelný zisk q_k z 1 m² kolektoru pro pokrytí potřeby tepla [kWh/(m²den)]
- potřebná plocha solárních kolektorů A_k [m²]
- a z ní následně konečný počet kusů solárních kolektorů n [ks]

[76]

C.2.5.5.1 STANOVENÍ DENNÍ POTŘEBY TEPLA

Při bilancování potřeby tepla je kromě holé denní potřeby tepla nutné započíst i denní tepelné ztráty solární soustavy (potrubí, zásobník) Q_z . Velikost těchto ztrát se zpravidla vyjádří procentuální přírážkou na tepelné ztráty p .

$$Q_z = p \cdot Q_p$$

kde:

Q_z	... Denní tepelné ztráty solární soustavy	[kWh/den]
Q_p	... Denní potřeba tepla	[kWh/den]
p	... Přírážka na tepelné ztráty solární soustavy ²⁴	[%]

²³ Pod pojmem dimenzování solárních soustav se obecně rozumí určení plochy a počtu solárních kolektorů. Z těchto údajů se pak odvíjí návrh dalších prvků solární soustavy jako dimenze potrubí, objem expanzní nádoby, typ oběhového čerpadla, atd.

²⁴ Hodnota přírážky na tepelné ztráty solární soustavy závisí na typu aplikace: u běžných solárních soustav, např. pro přípravu teplé vody nebo vytápění, se přírážka pohybuje mezi 5 až 15 %, ale např. u sezónní akumulace pro 100% pokrytí tepla na vytápění jsou hodnoty $p > 50$ %).

Celková denní potřeba tepla Q_{pc} [kWh/den] je potom

$$Q_{pc} = Q_p + Q_z = Q_p + p \cdot Q_p$$

$$Q_{pc} = (1 + p) \cdot Q_p$$

[76]

C.2.5.5.2 DENNÍ DÁVKA SLUNEČNÍ ENERGIE

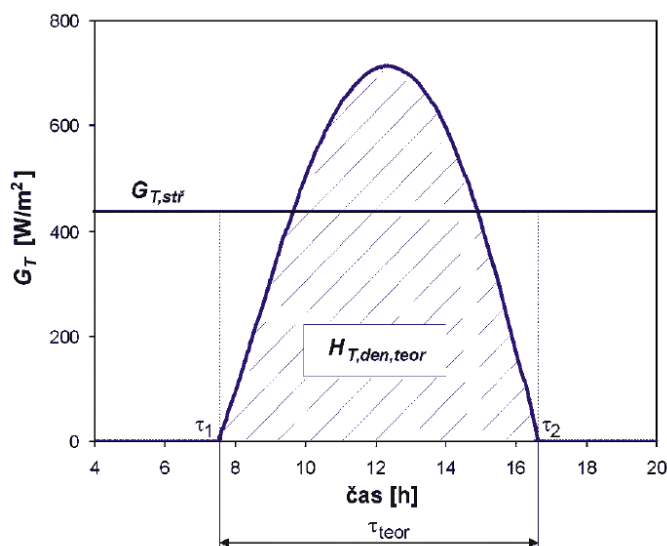
Pro sluneční záření, dopadající na povrch země je v solární technice používáno více označení. Záleží na tom, k čemu se vztahují a k výpočtu čeho jsou použity.

- **Intenzita slunečního záření I [W/m^2]**, dopadající na plochu pod vrstvou atmosféry se skládá z přímého záření a difuzního záření:
- **Ozáření G [W/m^2]**, hustota zářivé energie dopadající na povrch, neboli podíl zářivého toku dopadajícího na určitý povrch a velikosti tohoto povrchu.
- **Dávka ozáření H [$kWh/(m^2den)$]**, zářivá energie dopadající na jednotku plochy za určitou dobu, která se zjistí integrací ozáření v určitém časovém intervalu, často za hodinu nebo den.

Pro stanovení sluneční energie dopadlé na plochu kolektoru během dne určeného referenčního období (denní dávka slunečního ozáření) je nutné znát teoretickou denní dávku ozáření plochy $H_{T,den,teor}$ [$kWh/(m^2den)$]. V podstatě jde o energii přímého slunečního záření dopadlou během dne bez jakékoli oblačnosti na danou plochu. Teoreticky je možné hodnotu $H_{T,den,teor}$ získat integrací slunečního ozáření (výkonu) G_T [W/m^2] dané plochy od východu τ_1 do západu τ_2 Slunce, tj. za teoretickou dobu slunečního svitu τ_{teor} .

$$H_{T,den,teor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_T d\tau$$

Graf 33: Průběh slunečního ozáření G_T při jasném dni [76]



Hodnoty G_T je možné stanovit teoreticky výpočtem z geometrie slunečního záření vycházejícím ze solární konstanty. V praxi se hodnoty $H_{T,den,teor}$ odečítají z tabulek určených pro danou oblast.

Z teoretické doby slunečního svitu, tj. časového úseku mezi východem a západem Slunce, je možné stanovit také střední denní sluneční ozáření $G_{T,stř}$ [W/m²]

$$G_{T,stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_T d\tau = \frac{H_{T,den,teor}}{\tau_{teor}}$$

Hodnoty $H_{T,den,teor}$ vychází z předpokladu, nulové oblačnosti během celého dne. Což neodpovídá skutečnosti a je proto nutné počítat se skutečnou denní dávkou ozáření plochy $H_{T,den}$ [kWh/(m²den)], která je dána vztahem

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

kde:

τ_r	... Poměrná doba slunečního svitu ²⁵	[-]
$H_{T,den,dif}$	... Denní dávka difúzního slunečního ozáření	[kWh/(m ² den)]

$$\tau_r = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}}$$

Skutečná doba slunečního svitu je závislá na ročním období s charakteristickou oblačností. V ČR se hodnoty τ_{skut} pohybuje v rozmezí od 1700 do 2200 h/rok (odpovídají zhruba roční době provozu solárních soustav).

V literatuře²⁶ jsou tabelovány hodnoty:

- τ_r pro různá města ČR v jednotlivých měsících
- $G_{T,stř}$ pro různé sklony a orientace uvažované plochy a různé oblasti
- $H_{T,den,teor}$ a $H_{T,den,dif}$ pro ČR pro různé sklony a orientace uvažované plochy a různé oblasti (horské oblasti, venkov, město, průmyslové oblasti)

[76]

C.2.5.5.3 ÚČINNOST SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

ENERGETICKÁ BILANCE SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

Účinnost kolektoru vychází z energetické bilance.

Obecný zápis:

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q}_s - \dot{Q}_{z,o} - \dot{Q}_{z,t} - \dot{Q}_k$$

Ustálené Podmínky: $\frac{dQ}{dt} = 0$

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_s - \dot{Q}_{z,o} - \dot{Q}_{z,t}$$

²⁵ Poměrná doba slunečního svitu τ_r se určuje z dlouhodobých průměrů na základě skutečné doby slunečního svitu, tedy doby s přímým slunečním zářením.

²⁶ Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Nakladatelství T. Malina, Praha, 1994.
Brož, K., Šourek, B.: Alternativní zdroje energie. Skriptum ČVUT v Praze, 2003

kde:

Q_s	... Dopadající výkon sl. záření	$Q_s = G \cdot A_k$	[W]
$Q_{z,o}$	... Optické ztráty	$Q_{z,o} = Q_s - Q_s \tau \alpha$	[W]
$Q_{z,t}$	... Tepelné ztráty	$Q_{z,t} = U \cdot A_k \cdot (t_{abs} - t_e)$	[W]
Q_k	... Tepelný výkon kolektoru	$Q_k = M \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1})$	[W]

Výkon Kolektoru:

$$\dot{Q}_k = GA_k \tau \alpha - UA_k (t_{abs} - t_e)$$

ÚČINNOST SK VZTAŽENÁ KE STŘEDNÍ TEPLOTĚ ABSORBÉRU

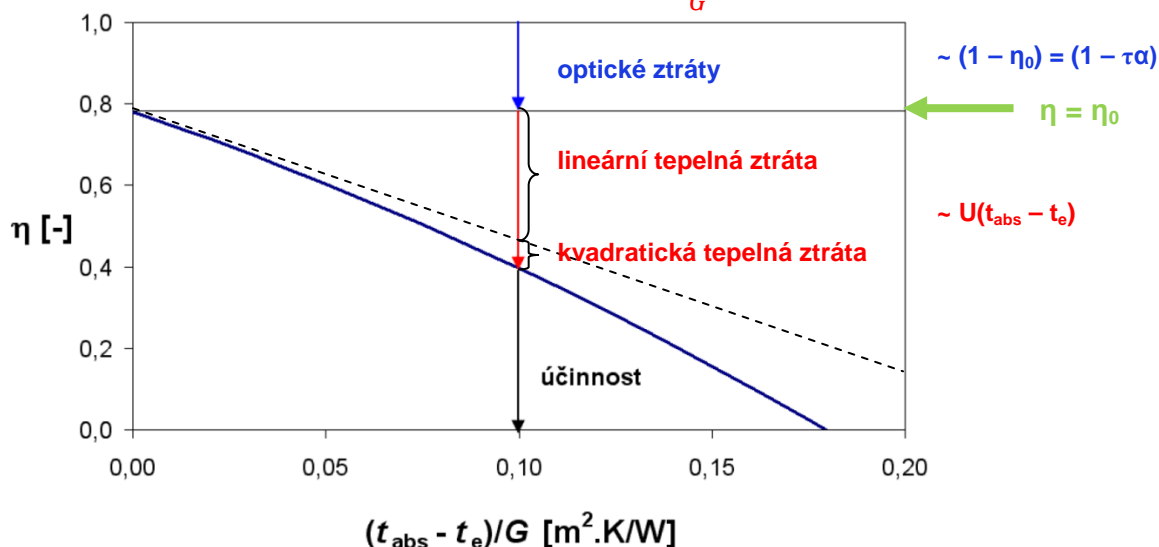
$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_s} = \frac{\dot{Q}_k}{GA_k} = \frac{GA_k \tau \alpha - UA_k (t_{abs} - t_e)}{GA_k} = \tau \alpha - U \frac{(t_{abs} - t_e)}{G}$$

kde:

G	... Sluneční ozáření	[W/m ²]
A_k	... Vztažná plocha kolektoru (obvykle plocha apertury kolektoru)	[m ²]
τ	... Propustnost slunečního záření zasklení	[-]
α	... Pohltivost slunečního záření absorbéru	[-]
U	... Součinitel prostupu tepla kolektoru	[W/(m ² K)]
t_{abs}	... Střední teplota absorbéru	[°C]
t_e	... Teplota okolí	[°C]

Účinnost je poměr tepelného výkonu odváděného teplosnosnou látkou z kolektoru k „příkonu“ představovaného slunečním zářením dopadajícím na kolektor.

Graf 34: Účinnost solárního kolektoru [47] $\eta = \tau \alpha - U \frac{(t_{abs} - t_e)}{G}$



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

kde:

η_k	... Účinnost solárního kolektoru	[%]
η_0	... Účinnost solárního kolektoru při nulovém tepelné ztrátě ²⁷	[%]
a_1	... Součinitel tepelné ztráty (lineární) ²⁸	[W/(m ² K)]
a_2	... Součinitel tepelné ztráty (kvadratický) ²⁹	[W/(m ² K ²)]
G	... Sluneční ozáření uvažované plochy kolektoru	[W/m ²]
t_m	... Střední teplota teplotnosné látky v kolektoru	[°C]
t_e	... Teplota vzduchu v okolí kolektoru	[°C]

PRŮMĚRNÁ DENNÍ ÚČINNOST SOLÁRNÍHO KOLEKTORU (MĚŘENÍ)

Regresní parabola proložená naměřenými hodnotami: $y = a + bx + cx^2$

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_m - t_{es}}{G_{T,stř}} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_{es})^2}{G_{T,stř}}$$

kde:

η_k	... Střední denní účinnost solárního kolektoru	[%]
$G_{T,stř}$	... Střední sluneční ozáření během dne na uvažovanou plochu $G_{T,stř} = f(\text{sklon, orientace})$, hodnoty tabelovány v literatuře ³⁰	[W/m ²]
t_m	... Střední teplota teplotnosné kapaliny v kolektoru během dne (závisí na aplikaci, zkušenostech apodob.) $t_m = (t_{k1} + t_{k2})/2$	[°C]
t_{es}	... Střední teplota v době slunečního svitu (venkovní) hodnoty tabelovány v literatuře ³¹	[°C]

Hodnoty η_0 , a_1 , a_2 jsou parametry použitého solárního kolektoru. Uvádí je výrobce, dodavatel kolektoru nebo zkušebna na základě zkoušky v souladu s EN 12975-2.

Tabulka 13: „Typické“ konstanty křivky účinnosti [47]

Typ kolektoru	η_0 [-]	a_1 [W/(m ² K)]	a_2 [W/(m ² K ²)]
Plochý selektivní	0,78	4,2	0,015
Trubkový vakuový jednostěnný	0,75	1,5	0,008
Trubkový vakuový dvojtěnný (Sydney)	0,65	1,5	0,005

Křivky účinnosti:

- k ploše, v závislosti na $(t_m - t_e)/G$
- typické, v závislosti na $(t_m - t_e)$

²⁷ někdy označován jako „optická účinnost“ $\eta_0 = F' \tau \alpha$, kde F' je účinnostní součinitel kolektoru závislejší na geometrii a tepelných vlastnostech absorberu ($F' > 0,9$)

²⁸ analogie součinitele prostupu tepla

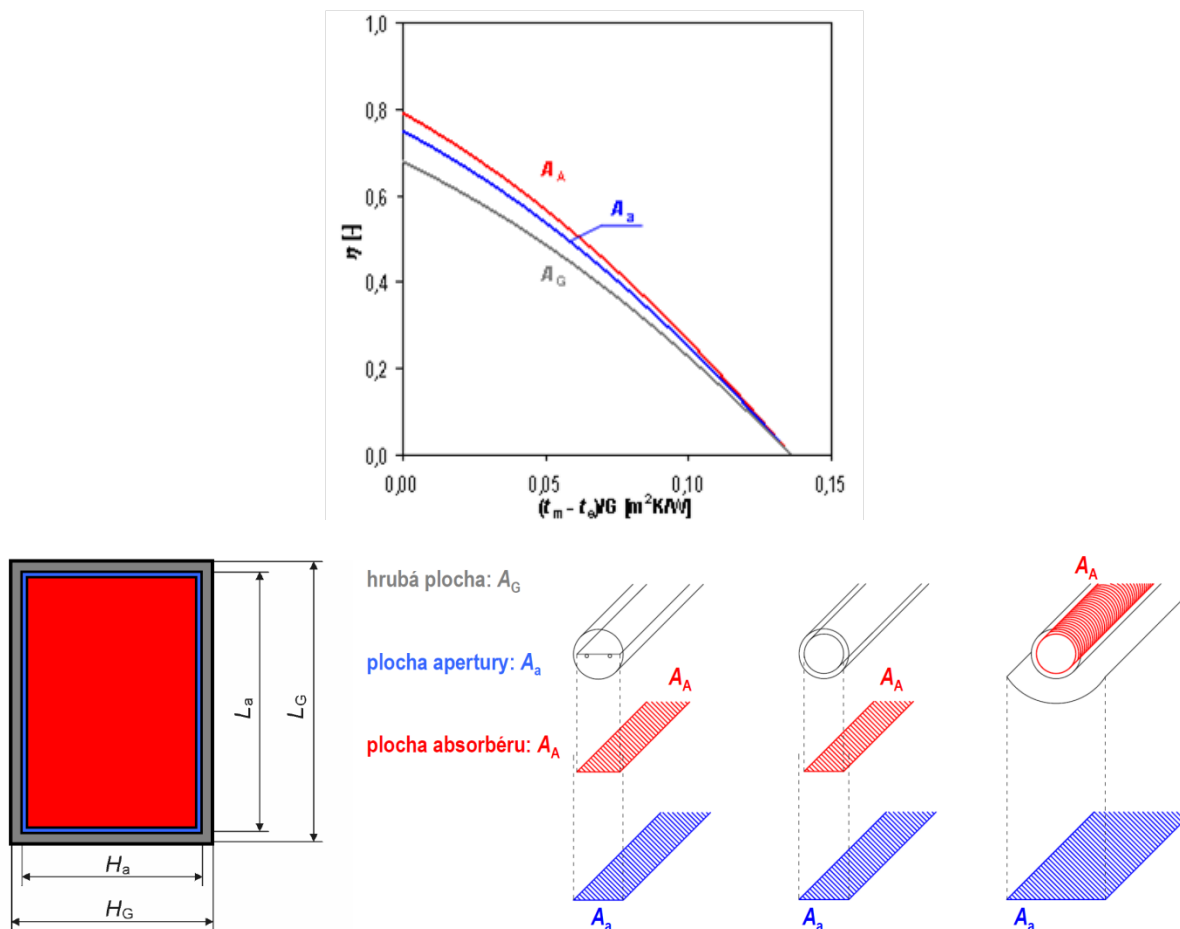
²⁹ vyjadřuje zvýšení tepelných ztrát vlivem sálání

³⁰ Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Nakladatelství T. Malina, Praha, 1994.

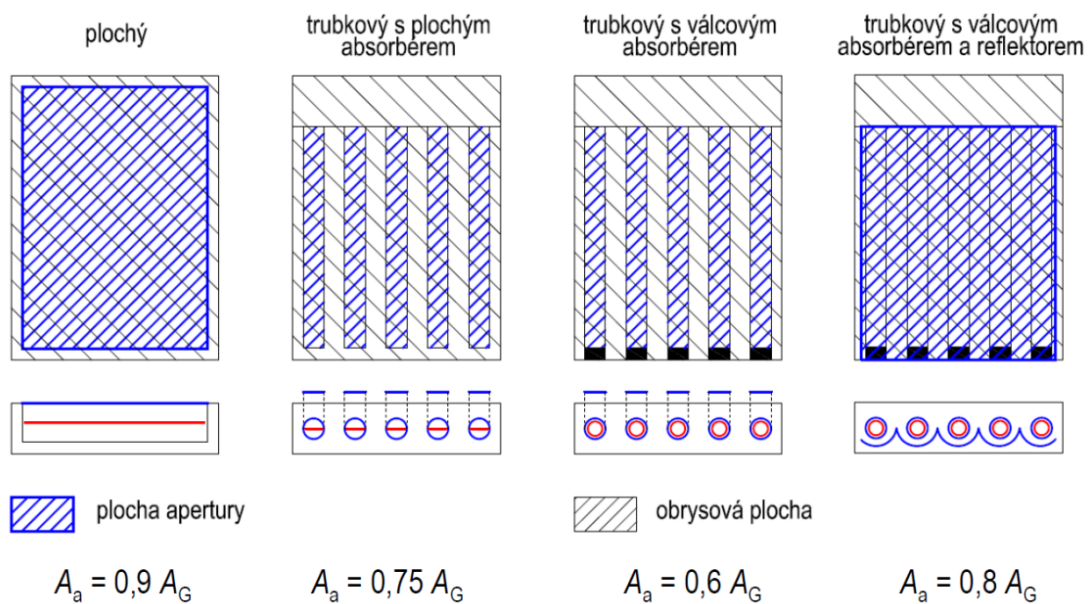
Brož, K., Šourek, B.: Alternativní zdroje energie. Skriptum ČVUT v Praze, 2003

³¹ Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Nakladatelství T. Malina, Praha, 1994.

Brož, K., Šourek, B.: Alternativní zdroje energie. Skriptum ČVUT v Praze, 2003



Obrázek 61: Plocha solárního kolektoru [47]



Obrázek 62: Podíl plochy apertury na hrubé ploše kolektoru [47]

[46], [47], [76], [86]

C.2.5.5.4 DENNÍ MĚRNÝ TEPELNÝ ZISK Z KOLEKTORŮ

Pro jeho stanovení se používá vztah

$$q_k = \eta_k \cdot H_{T,den}$$

kde:

q_k	... Denní měrný tepelný zisk z 1 m ² kolektoru	[kWh/(m ² den)]
η_k	... Střední denní účinnost solárního kolektoru	[%]
$H_{T,den}$	... Skutečná denní dávka ozáření plochy	[kWh/(m ² den)]

Poznámka: Používám vždy hodnoty pro vybraný měsíc

[76], [86]

C.2.5.5.5 POTŘEBNÁ PLOCHA SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Plocha solárních kolektorů se stanoví pro zvolené charakteristické období, ve kterém chceme zajistit pokrytí potřeby tepla energetickým ziskem z kolektorů podle vztahu

$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{Q_p + Q_z}{\eta_k \cdot H_{T,den}} = \frac{(1 + p) \cdot Q_p}{\eta_k \cdot H_{T,den}}$$

kde:

A_k	... Vztažná plocha kolektoru (obvykle plocha apertury kolektoru)	[m ²]
Q_{pc}	... Celková potřeba tepla v daném období	[kWh]
Q_p	... Potřeba tepla v dané aplikaci (denní potřeba)	[kWh]
Q_z	... Tepelné ztráty soustavy (rozvody, zásobník v daném období)	[kWh]
η_k	... Účinnost solárního kolektoru (střední denní účinnost)	[%]
$H_{T,den}$	... Skutečná denní dávka slunečního ozáření plochy kolektoru	[kWh/m ²]
p	... Přírážka na tepelné ztráty soustavy, obvykle 5 až 10 %	[%]

Tabulka 14: Velikost přírážky na tepelné ztráty podle typu aplikace SK [86]

Aplikace	Plocha kolektorů	p [%]
Příprava teplé vody	do 10 m ²	20
	10 až 50 m ²	10
	50 až 200 m ²	5
	nad 200 m ²	3
Příprava teplé vody s podporou vytápění	do 10 m ²	30
	10 až 50 m ²	20
	50 až 200 m ²	10
	nad 200 m ²	6
Ohřev bazénové vody		1

[76], [86]

C.2.5.5.6 POČET KUSŮ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Konečný počet kusů P_k solárních kolektorů se stanoví prostým vydělením vypočtené celkové plochy A_k plochou jednoho kolektoru A_{1k} a výsledek se zaokrouhlí na celé číslo.

$$P_k \doteq \frac{A_k}{A_{1k}}$$

kde:

P_k	... Konečný počet instalovaných solárních kolektorů	[ks]
A_{1k}	... Plocha apertury jednoho kolektoru (dle podkladů výrobce)	[m ²]

U malých soustav do 5 kolektorů může zaokrouhlení znamenat desítky procent celkové plochy. Proto je třeba rozhodnout, zda zaokrouhlovat směrem nahoru (nutnost zajištění využití vzniklých přebytků) nebo směrem dolů.

U větších solárních soustav, kde se plocha 1 kolektoru pohybuje v řádech jednotek procent celkové plochy a méně, lze počet kolektorů přizpůsobit požadovanému počtu kolektorů instalovaných paralelně v jedné skupině (vzhledem k dispozici na střeše nebo fasádě). Skutečná plocha solárních kolektorů je potom

$$A_{ks} = A_{1k} \cdot P_k$$

kde:

A_{ks}	... Skutečná plocha solárních kolektorů	[m ²]
----------	---	-------------------

[76], [86]

a) PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY (TV)

Pro zjištění potřeby tepla k přípravě teplé vody, kterou mají pokrýt solární kolektory, je nutné co nej přesněji stanovit skutečnou denní potřebu teplé vody v objektu. Pro její stanovení je nutné:

Ve stávajících budovách:

- vycházet ze skutečné spotřeby TV v objektu (nejlépe dlouhodobé měření spotřeby TV v objektu a zohlednit teplotní úroveň, tedy teplotu, na kterou je studená voda ohřívána)
- měření skutečné spotřeby tepla (kalorimetr)
- získání souhrnných údajů o spotřebě energie na přípravu TV za delší časové období (poslední rok)
- nebo alespoň několik celodenních měření příloženými průtokoměry na patě objektu

V novostavbách:

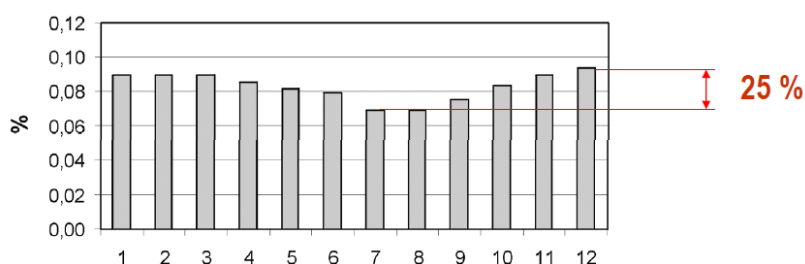
- rozhodovat se podle typu objektu (nejsou k dispozici reálná data) a srovnávat s potřebou v jiných podobných již stojících budovách
- použít směrné hodnoty z literatury
- nepoužívat údaje o potřebě TV z normy ČSN 06 0320³², protože jsou značně předimenzovány = 82 l/(os.den) a 4,3 kWh/(os.den).

Tabulka 15: Denní potřeba teplé vody podle typu objektu [86]

	Nízký standart	Střední standart	Vysoký standart	
RD, BD	10-20	20-40	40-80	l/(os.den)
Restaurace	5	15	30	l/(místo.den)
Ubytování	20	35	70	l/(lůžko.den)
Sportovní zařízení	30	60	100	l/(sprchu.den)
	hostel	pokoj se sprchou	pokoj s vanou	
Hotely	25-50	50-95	95-138	l/(os.den)
	Letní vytížení	Zbylá část roku		
Nemocnice	30-35	30-60		l/(os.den)
Domovy důchodců	30-35	30-60		l/(os.den)
Koleje, internáty	20-25 (0 – mimo provoz)		25-50	l/(os.den)
Školy	0	5-10		l/(os.den)
Administrativa	0-10			l/(os.den)

³² ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování, ČNI, 2006

Graf 35: Letní pokles (bytové domy) potřeby tepla k přípravě TV [77]



Letní pokles může být způsoben:

- školní prázdniny, dovolené uživatelů
- vyšší teplota studené vody o cca 5 K
- odlišné chování uživatelů (rychlá sprcha v létě oproti teplé vaně v zimě)

Pokud jsou v budově plánována úsporná opatření, které změní potřebu tepla pro přípravu teplé vody, měla by se pro správný a šetrný návrh solární soustavy provést vždy před jejím návrhem.

Patří mezi ně:

- osazení úsporných výtokových armatury
- individuální měření spotřeby TV
- minimalizace délky rozvodů TV
- zmenšení tepelných ztrát rozvodů TV a cirkulace zateplením
- omezení běhu cirkulace TV na nezbytné minimum, tzn. automatické časové spínání nebo spínání podle nastavené minimální teploty (řídí MaR)
- hydraulické vyvážení dlouhých a větvených tras

DENNÍ POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Stanoví se z kalorimetrické rovnice

$$Q_p = Q_{TV,den} = (1 + z) \cdot Q_{TV} = (1 + z) \cdot \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6}$$

kde:

Q_p	... Průměrná denní potřeba tepla na přípravu TV	[kWh/den]
z	... Ztráty soustavy při distribuci a přípravě TV ³³	[%]
Q_{TV}	... Denní potřeba tepla na přípravu TV	[kWh/den]
V	... Denní spotřeba TV	[m ³ /den]
ρ	... Hustota vody	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ [kg/m ³]
c	... Měrná tepelná kapacita vody	$c = 4186 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ [J/(kg·K)]
t_1	... Teplota SV (počáteční)	$t_1 = 10\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C}$ [°C]
t_2	... Požadovaná teplota TV (konečná)	$t_2 = 45\text{-}60 \text{ }^\circ\text{C}$ [°C]

³³ záleží na typu soustavy - zásobníkový ohřev bez cirkulace 15 %, centrální zásobníkový s cirkulací řízenou 30 %, centrální zásobníkový s nepřetržitou cirkulací 50 až 100 %, systémy centrálního zásobování teplem (dále jen CZT) 200 % a více

POTŘEBNÁ PLOCHA SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

RODINNÉ DOMY:

- Navrhuje se pro měsíce **duben a září** (z výsledných hodnot se stanoví průměr).
- Střední teplota teplotnosné látky v kolektoru se volí $t_m = 40 \text{ °C}$ (odpovídá průměrné teplotě v zásobníku TV v průběhu roku).
- Návrh zajišťuje **pokrytí** potřeby tepla na přípravu TV zhruba z **60 až 70 %** (záleží na poměru velikosti zásobníku TV oproti denní potřebě).
- Objem zásobníku se navrhuje optimálně 1,3 až 1,5 krát větší než vychází denní potřeba TV.
- Solární soustava pro přípravu TV v rodinných domech vychází s potřebnou plochou solárních kolektorů většinou do 6 m^2 (v závislosti na potřebě TV).

Potřebná plocha solárních kolektorů se stanoví podle obecného postupu jako

$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{Q_p + Q_z}{\eta_k \cdot H_{T,den}} = \frac{(1 + p) \cdot Q_{TV,den}}{\eta_k \cdot H_{T,den}}$$

Při zvolení větší plochy kolektorů, než vychází výpočtem, je potřeba najít vhodné využití letních přebytků, například pro:

- ohřev bazénové vody
- sušení palivového dřeva
- sušení zahradních rostlin či plodin

BYTOVÉ DOMY:

- Navrhuje se pro měsíc **červenec**.
- Střední teplota v solárním kolektoru se volí $t_m = 40 \text{ °C}$.
- Snaha o minimalizování letních nevyužitelných přebytků energie a celoroční solární **pokrytí** potřeby tepla na přípravu TV okolo **50 %**. Zásobník TV se navrhuje přibližně stejného objemu jako denní potřeba TV.
- Solární soustavy pro přípravu TV v bytových domech zpravidla vychází jako velkoplošné soustavy s plochou SK od 50 do 500 m^2 .

Skutečnost, že u bytových domů není v letním období možnost využití přebytků vyrobeného tepla, je třeba zohlednit v návrhu soustavy. Plocha kolektorů se tak navrhuje jen k pokrytí letní potřeby TV. Předimenzování plochy solárních kolektorů, může v letním období vést k následujícím provozním problémům:

- stagnace (var teplotnosné látky v kolektorech, pronikání přehřáté páry do rozvodů a nebezpečí poškození teplem i prvků, které jsou vzdáleny od kolektorového pole)
- snížení měrných ročních zisků solárních kolektorů q_k které jsou u BD více zohledňovány, kvůli sledování ekonomických parametrů instalace.

[77], [86]

b) PODPORA VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Kombinované solární soustavy využívají sluneční energii kromě přípravy TV i pro pokrytí tepelných ztrát domu otopnou soustavou. Zejména v přechodovém období, kdy je tepelná ztráta relativně nízká a je k dispozici dostatek slunečního záření. Jejich obliba je spojena s narůstajícím trendem výstavby nízkoenergetických a energeticky pasivních domů, kde najdou nejlepší uplatnění.

POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

viz předchozí kapitola a)

POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Základem návrhu je stanovení potřeby tepla pro vytápění, které závisí na tepelně technických vlastnostech objektu (ztráta tepla prostupem a větráním). Pro její určení existuje řada metodik.

Zjednodušený výpočet průměrné denní potřeby tepla na vytápění v určitém období (měsíci), je dán vztahem (tzv. Denostupňová metoda)

$$Q_{VYT,den} = 24 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot Q_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})}$$

kde:

Q_{VYT}	... Denní potřeba tepla na vytápění	[kWh/den]
24	... Vyjádření jednoho dne v hodinách	[h]
ε	... Korekční součinitel ³⁴	[-]
η_o	... Součinitel „účinnosti“ obsluhy či regulace ³⁵	[%]
η_r	... Součinitel „účinnosti“ rozvodu vytápění ³⁶	[%]
Q_z	... Výpočtová tepelná ztráta objektu ³⁷	[kW]
t_{ip}	... Průměrná denní vnitřní teplota	[°C]
t_{ep}	... Průměrná denní venkovní teplota	[°C]
t_{iv}	... Výpočtová (jmenovitá) teplota vnitřního vzduchu ³⁸	[°C]
t_{ev}	... Výpočtová teplota venkovního vzduchu	[°C]

³⁴ zahrnuje nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem, snížení teploty v místnosti během dne či zkrácení doby vytápění. Korekční součinitel ε je možné určit z odborné literatury nebo podle vlastních zkušeností.

Odhadem lze určit pro PD $\varepsilon = 0,5$, pro NED $\varepsilon = 0,6$ a pro objekt vyhovující požadavkům normy ČSN 730540 $\varepsilon = 0,75$.

Detailní tabulka pro stanovení korekčního součinitele je uvedena v:

Brož, K.: Vytápění. Skriptum ČVUT v Praze, 1995 a nebo na výpočtovém on-line nástroji na tzb-info.cz

³⁵ η_o závisí na typu zdroje tepla, regulaci otopné soustavy, atd.

³⁶ η_r závisí na tepelných ztrátách rozvodů tepla

³⁷ stanovená pro výpočtovou (jmenovitou) teplotu venkovního vzduchu t_{ev}

³⁸ podle příslušné normy například ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu, ČNI, 2005.

Pro RD, BD se obvykle $t_{ip} = t_{iv} = 20$ °C

Pro přesnější stanovení potřeby tepla na vytápění je možné použít metodiku podle ČSN EN ISO 13790³⁹. Výpočet potřeby tepla se provádí pro jednotlivé měsíce, denní potřeba se získá z měsíčních hodnot prostým podělením počtem dní příslušného měsíce. Metodika je velmi detailní ve výpočtu a výsledky vykazují relativně dobrou shodu s dynamickými simulačními metodami (při použití stejných klimatických dat). Nevýhodou je potřeba velkého množství informací, především o zasklení (nejen tepelné, ale i optické vlastnosti), o stínění oken (výpočet stínění přesahy a markýzami) a vlastnostech materiálů všech konstrukcí (hustota, tepelná kapacita).

Výpočet podle ČSN EN ISO 13790 zahrnuje:

- solární zisky okny s ohledem na světové strany
- vnitřní tepelné zisky
- stupeň využití tepelných zisků na základě akumulční schopnosti konstrukcí (výpočet tepelné kapacity, časové konstanty)
- případně výpočty nestandardních prvků (Trombeho stěna, apod.).

POTŘEBNÁ PLOCHA SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

- Navrhuje se pro pokrytí celkové potřeby tepla (TV + vytápění) v okrajových měsících přechodového období: **duben a září** (z výsledných hodnot se stanoví průměr).
- Nejčastějším řešením je společné zapojení s centrálním zásobníkem otopné vody, který zajišťuje i přípravu TV (ve vnitřním nebo vnějším tepelném výměníku).
- Střední teplota teplotonosné látky v kolektoru se volí $t_m = 50 \text{ °C}$ (objem centrálního zásobníku je větší než u samostatné přípravy TV, také teplotní úroveň je vyšší).
- Plocha kolektorů se určí součtem denní potřeby tepla na přípravu TV a vytápění

Potřebná plocha solárních kolektorů se stanoví podle obecného postupu jako

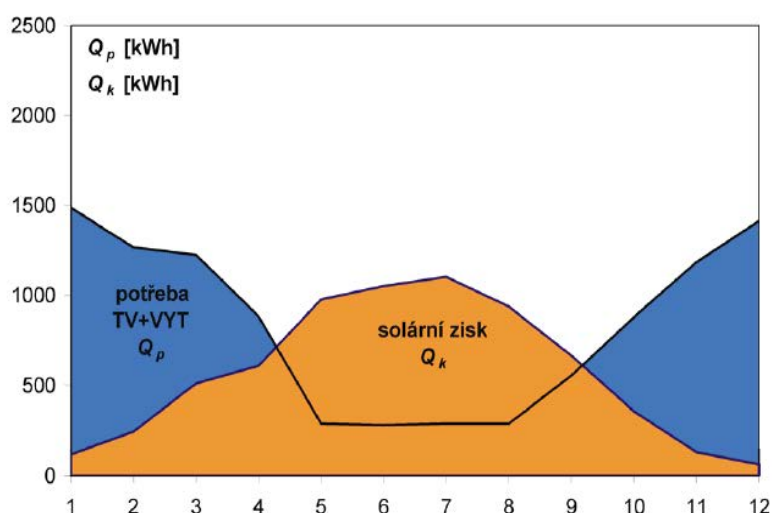
$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{Q_p + Q_z}{\eta_k \cdot H_{T,den}} = \frac{(1 + p) \cdot (Q_{TV,den} + Q_{VYT,den})}{\eta_k \cdot H_{T,den}}$$

Přirážka na tepelné ztráty solární soustavy p se uvažuje okolo 5 %

Pokud řešení solární soustavy pro přípravu TV a vytápění vychází ze dvou samostatných zásobníků, nutné stanovit potřebnou plochu kolektorů samostatnými výpočty a pro určení střední teploty v kolektoru t_m pro vytápění je nutné odhadnout průměrnou denní teplotu v zásobníku s ohledem na teplotní spád soustavy a velikost zásobníku.

³⁹ ČSN EN ISO 13790 - Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení, ČNI, 2009

Graf 36: Průběh potřeby tepla na přípravu TV a vytápění a solárních zisků [78]



Z návrhu větší plochy solárních kolektorů (větší o plochu pro vytápění) plynou vysoké letní přebytky a maření energie při stagnaci kolektorů. Tyto lze buď zmenšit větším sklonem kolektorů, například integrací solárních kolektorů do fasády (mají díky sklonu vyšší zisky v zimě, kdy je Slunce nízko nad obzorem a nižší v létě, kdy je Slunce naopak vysoko nad obzorem) nebo zisky využít pro jiný spotřebič tepla, u rodinných domů nejčastěji bazén.

Doporučení při navrhování kombinovaných soustav pro přípravu TV a vytápění lze shrnout v následujících bodech:

- vhodný typ soustavy v kombinaci s nízko teplotními otopnými plochami = teplotní spád 45/35 °C (podlahové a stěnové vytápění, teplovzdušné vytápění)
- návaznost na ostatní zdroje tepla a technologie v budově včetně MaR
- zajistit využití letních přebytků tepla z kolektorů
- vhodná orientace a sklon solárních kolektorů (70 - 90°)

[78], [86]

c) OHŘEV BAZÉNOVÉ VODY

Využití solárních kolektorů k ohřevu bazénové vody má řadu výhod. Bazénová sezóna je v létě, tedy ve stejné době, kdy je k dispozici nejvíce sluneční energie. Ohřev bazénové vody je velmi náročný na energii a využití sluneční energie k jeho ohřevu je relativně jednoduchá a levná alternativa. Navíc se bazénová voda nemusí ohřívat na tak vysoké teploty, a tak je možné využívat i levné solární kolektory a rohože při udržení vysokých zisků.

Nízké teploty bazénové vody zaručují větší diferenci teplot a tedy vysokou účinnost solárních kolektorů spojenou s vyššími tepelnými zisky. Empiricky je věřeno, že teplotu bazénové vody není výhodné příliš zvyšovat, z důvodů:

- rostoucí potřeby tepla k jejímu ohřevu
- horký bazén přestává být komfortní a osvěžující
- kolísání teploty bazénové vody s venkovní teplotou nemá vliv na návštěvnost bazénu

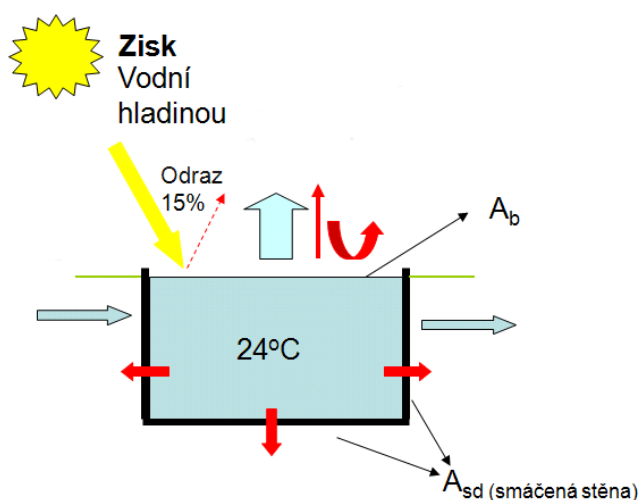
Při ohřívání vody v bazénech je potřeba dodávat teplo pro:

- pokrytí tepelných ztrát přestupem z vodní hladiny (sálání, proudění, vypařování)
- pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla stěnami bazénu (pod úrovní vodní hladiny),
- ohřívání přiváděné čisté vody (náhrada vody za tu, která je vycákána a vynášena na tělech plavců, voda pro praní filtrů a ředící voda 30 až 60 l/(os.den))

Dimenzování plochy solárních kolektorů velmi závisí na typu bazénu (venkovní, vnitřní), požadované teplotě bazénové vody a způsobu omezování tepelných ztrát bazénu (zakrývání fólií).

VENKOVNÍ OTEVŘENÉ BAZÉNY

Počítá se s návrhovou teplotou bazénové vody $t_w = 20$ až 25 °C a provozem od **května do září**. Do energetické bilance se zahrnuje sluneční záření dopadající na vodní hladinu. U venkovních sezónních bazénů je možné využít nezasklené solární kolektory (plastové rohože). **Optimální sklon** se nachází v rozmezí **15° až 30°**.



Obrázek 63: Schéma provozních podmínek vnějšího bazénu [86]

STANOVENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT BAZÉNU

Největší tepelná ztráta je zpravidla vypařováním (odparem z vodní hladiny. Oproti ní je tepelná ztráta prostupem stěnami bazénu do zeminy většinou velmi malá a často ji lze zanedbat. Dále je potřeba započíst ztrátu přestupem tepla z vodní hladiny (konvekce a sálání) a popřípadě potřebu tepla na ohřev vody (výměna vody ve veřejných bazénech).

Přibližné rozložení tepelných ztrát u otevřeného bazénu je:

- konvekce do okolí 10-20 %
- záření vůči obloze 5-20 %
- vypařování z vodní hladiny 50-80 %
- vedení stěnami bazénu 2-5 %

Protože provozní parametry nejsou během celého dne stejné a mění se v závislosti na využívání bazénu, je výpočet rozdělen na časové úseky v době provozu a mimo provoz.

Tepelná ztráta přestupem tepla mezi hladinou a prostředím se stanoví ze vztahu

V době provozu

$$\dot{Q}_{z,pp} = \frac{1}{1000} \cdot \tau_p \cdot \alpha_e \cdot A_b \cdot (t_w - t_{es})$$

kde:

$Q_{z,pp}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
τ_p	... Doba provozu odpovídá době slunečního svitu $\tau_p = \tau_s$	[h]
α_e	... Součinitel přestupu tepla prouděním a sáláním ⁴⁰	[W/(m ² K)]
A_b	... Plocha hladiny bazénu	[m ²]
t_w	... Teplota bazénové vody obvykle $t_w = 24 \text{ °C}$	[°C]
t_{es}	... Střední teplota okolního vzduchu v době slunečního svitu	[°C]

V době mimo provoz

$$\dot{Q}_{z,pn} = \frac{1}{1000} \cdot (24 - \tau_p) \cdot \alpha_e \cdot A_b \cdot (t_{w,n} - t_{en})$$

kde:

$Q_{z,pn}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
$t_{w,n}$	... Teplota bazénové vody obvykle $t_{w,n} = 24 \text{ °C}$	[°C]
t_{en}	... Střední teplota venkovního vzd. v době mimo sluneční svit	[°C]

⁴⁰ pro exteriér se volí výpočtová hodnota $\alpha_e=10-15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny se stanoví ze vztahu

V době provozu

$$\dot{Q}_{z,op} = \frac{1}{1000} \cdot \tau_p \cdot \beta_p \cdot A_b \cdot (p''_{v(t_w,p)} - p_{v(t_{e,p})}) \cdot \frac{I_w}{3600}$$

kde:

$Q_{z,op}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
β_p	... Součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény ⁴¹	
	[kg/(h·m ² Pa)]	
$p''_{v(t_w,p)}$	... Tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny při $t_v = t_w$ ⁴²	[Pa]
$p_{v(t_{e,p})}$	... Parciální tlak vodní páry ve vzduchu ⁴³	[Pa]
I_w	... Výparné teplo vody $I_w = 2,5 \cdot 10^6$ J/kg	[J/kg]

V době mimo provoz

$$\dot{Q}_{z,on} = \frac{1}{1000} \cdot (24 - \tau_p) \cdot \beta_n \cdot A_b \cdot (p''_{v(t_w,n)} - p_{v(t_{e,n})}) \cdot \frac{I_w}{3600}$$

kde:

$Q_{z,on}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
β_p	... Součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény ⁴⁴	
	[kg/(h·m ² Pa)]	
$p''_{v(t_w,n)}$	... Tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny při $t_v = t_w$	[Pa]
$p_{v(t_{e,n})}$	... Parciální tlak vodní páry ve vzduchu	[Pa]

Zakrýváním hladiny plastovými foliemi s plováky mimo provozní dobu lze eliminovat **přestup tepla vypařováním** a částečně snížit i přestup tepla sáláním a konvekcí. Celkově lze tímto úsporným opatřením zmenšit **tepelné ztráty** o přibližně 50 %. Krycí folie musí být odolná proti UV záření (zejména u venkovních bazénů). U velkých veřejných bazénů je ekonomicky náročné zajistit zakrývání hladiny a často vychází levněji zvýšení plochy solárních kolektorů. U vnitřních bazénů má zakrývání vodní hladiny ještě další významný dopad a to snížení produkce vlhkosti v interiéru (menší potřeba odvlhčení, nižší riziko poruch stavebních konstrukcí).

⁴¹ v době provozu při odkryté vodní hladině je $\beta_p = 2,9 \cdot 10^{-4}$ kg/(h·m²·Pa), při zakrytí bazénu je $\beta_p = 0$

⁴² $p''_v = \exp\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t_w}\right)$, pro teplotu vody 24 °C je $p''_v = 2985$ Pa

⁴³ $p_v = \varphi \cdot p''_v$, pro relativní vlhkost se uvažuje výpočtová hodnota $\varphi = 50$ %
pro $p''_v = \exp\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t_v}\right)$ se uvažuje teplota vzduchu $t_v = t_{es}$ (střední teplota vzduchu v době slunečního svitu) - pro dobu provozu anebo $t_v = t_{en}$ (střední teplota vzduchu v době bez slunečního svitu) - pro dobu mimo provoz.

⁴⁴ mimo dobu provozu při odkryté vodní hladině je $\beta_n = \beta_p$, při zakrytí bazénu je $\beta_p = 0$ (nedochází k odpařování bazénové vody do okolí)

Potřeba tepla na dohřev vyměňované vody závisí na množství ředící vody, která se podílí na splnění požadavků na jakost vody. viz zákon č. 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví a související předpisy - vyhláška č. 135/2004 Sb. ve znění pozdějších předpisů, kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště atd. Množství ředící vody musí být měřeno samostatným vodoměrem a je dáno počtem návštěvníků za den, přičemž na každého návštěvníka se musí denně obměnit:

- 30 l vody u krytých plaveckých bazénů
- 45 l vody u krytých bazénů koupelových
- 60 l vody u nekrytých bazénů a brouzdališť

Kapacitu vodní plochy lze orientačně stanovit tak, že v části pro neplavce se počítá prostor pro jednoho neplavce 3 m² a v části pro plavce 5 m². Návrhová návštěvnost u areálů **krytých umělých koupališť** se počítá přibližně jako 1,5 až 2 násobek kapacity vodní plochy bazénů. **U nekrytých umělých koupališť** se pak počítá zhruba jako 3 až 5 ti násobek kapacity vodní plochy bazénů.

Hodinová kapacita bazénu (venkovní, plavecký)

$$k_h = 3 \cdot \frac{A_b}{5}$$

Hodinová kapacita bazénu (vnitřní, plavecký)

$$k_h = 1,5 \cdot \frac{A_b}{5}$$

Denní kapacita bazénu (20 % podle měsíční bilance návštěvnosti)

$$k = 0,2 \cdot k_h \cdot \tau_p$$

kde:

τ_p ... Doba provozu = doba slunečního svitu (12 h pro vnitřní bazén) [h]

Denní potřeba tepla na ohřev studené vody pro výměnu

$$Q_{z,SV} = k \cdot \frac{V_{SV,os} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_w - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6}$$

kde:

$Q_{z,SV}$	... Denní potřeba tepla na ohřev SV pro výměnu	[kWh/den]
k	... Denní kapacita bazénu	[os/den]
$V_{SV,os}$	... Objem vyměněné vody	[m ³ /os]
t_{SV}	... Teplota SV (počáteční)	$t_{SV} = 15 \text{ °C}$ [°C]
t_w	... Požadovaná teplota bazénové vody	$t_w = 24 \text{ °C}$ [°C]

Denní ztráta prostupem tepla do zeminy

$$Q_{z,z} = 24 \cdot A_{sd} \cdot U_z \cdot (t_w - t_z)$$

kde:

$Q_{z,z}$	... Denní ztráta prostupem tepla do zeminy	[kWh/den]
A_{sd}	... Smáčená plocha bazénu ve styku se zeminou	[m ²]
U_z	... Součinitel prostupu tepla stěn a dna bazénu	[W/(m ² K)]
t_w	... Teplota bazénové vody	[°C]
t_z	... Teplota zeminy (u stěn a pod dnem bazénu) ⁴⁵	[°C]

⁴⁵ květen cca 10°C, červen a září cca 12-15°C, červenec a srpen cca 15-18 °C

TEPELNÉ ZISKY BAZÉNU

Mimo tepelné ztráty je nutno do energetické bilance bazénu zahrnout také **tepelné zisky**. Zdrojem zisků může být přímo dopadající sluneční záření (u venkovních bazénů), teplo uvolněné z oběhových čerpadel či teplo dodávané plavci (100 až 250 W/os). Nejvýznamnější z výše uvedených jsou tepelné zisky **od pohlceného slunečního záření** dopadajícího na nezakrytou vodní hladinu. Výpočet energie zachycené osluněnou vodní hladinou je obdobný jako u slunečních kolektorů. Uvažuje se pouze stálá účinnost absorpce slunečního záření vodou $\eta_a = 0,85$ (ztráty odrazem od hladiny 15 %), neboť tepelné ztráty bazénu do okolí jsou již zahrnuty v tepelné ztrátě přestupem z vodní hladiny.

Energie slunečního záření zachycená přes vodní hladinu

$$Q_{H,den} = H_{T,den} \cdot \eta_a \cdot A_b$$

kde:

$Q_{H,den}$	... Energie slunečního záření zachycená přes vodní hladinu	[kWh]
η_a	... Pohltivost slunečního záření vodní hladinou	[%]

TEPELNÁ BILANCE A POTŘEBA TEPLA VENKOVNÍHO BAZÉNU

Tepelnou bilanci celkové potřeby tepla pro ohřev bazénové vody lze vyjádřit jako

$$Q_{pc} = (1 + p) \cdot (Q_{z,pp} + Q_{z,pn} + Q_{z,op} + Q_{z,on} + Q_{z,SV} + Q_{z,z} - Q_{H,den})$$

kde:

Q_{pc}	... Celková denní potřeba tepla	[kWh/den]
$Q_{z,pp}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
$Q_{z,pn}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
$Q_{z,op}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
$Q_{z,on}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
$Q_{z,SV}$	... Denní potřeba tepla na ohřev SV pro výměnu	[kWh/den]
$Q_{z,z}$	... Denní ztráta prostupem tepla do zeminy	[kWh/den]
$Q_{H,den}$	... Energie slunečního záření zachycená přes vodní hladinu	[kWh/den]
p	... Přirážka na tepelné ztráty solární soustavy	$p = \text{cca } 5 \%$ [%]

Poznámka: Pro zjednodušení je v bilanci potřeby tepla zaměněna doba provozu bazénu s dobou slunečního svitu, což nemusí odpovídat skutečnosti. Pro návrh to ale většinou nehraje zásadní roli.

VNITŘNÍ KRYTÉ BAZÉNY

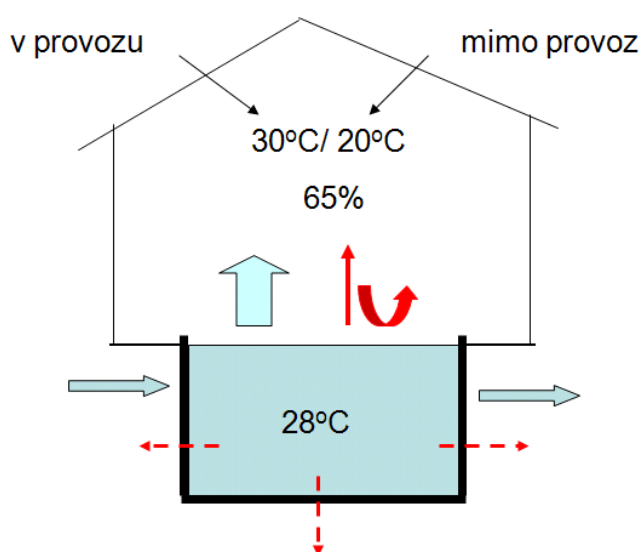
Počítá se s vyšší návrhovou teplotou bazénové vody $t_w = 25$ až 28 °C a zpravidla **celoročním provozem**. Díky tomu je třeba použít již zasklené solární kolektory. Optimální sklon je o něco vyšší, a to **30° až 50°**.

Plavecké bazény: Teplota vzduchu $t_v = 25-30$ °C (o 3K více než voda)

- Pro závodní plavání $t_w = 22-24$ °C
- Pro skokanský bazén $t_w = 22-23$ °C
- Dětský bazén $t_w = 26-28$ °C

Terapeutické bazény Teplota vzduchu $t_v = 27-29$ °C

- Terapeutický bazén $t_w = 29-35$ °C



Obrázek 64: Schéma provozních podmínek vnitřního bazénu [86]

STANOVENÍ TEPELNÝCH ZTRÁT BAZÉNU

Tepelná ztráta přestupem tepla mezi hladinou a prostředím se stanoví ze vztahu

V době provozu

$$\dot{Q}_{z,pp} = \frac{1}{1000} \cdot \tau_p \cdot \alpha_i \cdot A_b \cdot (t_{w,p} - t_{i,p})$$

kde:

$Q_{z,pp}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
τ_p	... Provozní doba bazénu $\tau_p = 12$ h	[h]
α_i	... Součinitel přestupu tepla prouděním a sáláním ⁴⁶	[W/(m ² K)]
$t_{w,p}$	... Teplota bazénové vody	[°C]
$t_{i,p}$	... Střední teplota okolního vzduchu v době slunečního svitu	[°C]

Při $t_{ip} \geq t_{w,p}$ je $Q_{z,pp} = 0$ kWh/den

⁴⁶ pro interiér se volí výpočtová hodnota $\alpha_i=10$ W/(m²K)

V době mimo provoz

$$\dot{Q}_{z,pn} = \frac{1}{1000} \cdot (24 - \tau_p) \cdot \alpha_i \cdot A_b \cdot (t_{w,n} - t_{i,n})$$

kde:

$\dot{Q}_{z,pn}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
$t_{w,n}$	... Teplota bazénové vody	[°C]
$t_{i,n}$	... Střední teplota venkovního vzd. v době mimo sluneční svit	[°C]

Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny se stanoví ze vztahu

V době provozu

$$\dot{Q}_{z,op} = \frac{1}{1000} \cdot \tau_p \cdot \beta_p \cdot A_b \cdot (p''_{v(t_w,p)} - p_{v(t_{i,p})}) \cdot \frac{I_w}{3600}$$

kde:

$\dot{Q}_{z,op}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
β_p	... Součinitel přenosu hmoty pro vnitřní bazény ⁴⁷	[kg/(h·m ² Pa)]
$p''_{v(t_w,p)}$	... Tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny při $t_v = t_w$ ⁴⁸	[Pa]
$p_{v(t_{i,p})}$	... Parciální tlak vodní páry ve vzduchu ⁴⁹	[Pa]

V době mimo provoz

$$\dot{Q}_{z,on} = \frac{1}{1000} \cdot (24 - \tau_p) \cdot \beta_n \cdot A_b \cdot (p''_{v(t_w,n)} - p_{v(t_{i,n})}) \cdot \frac{I_w}{3600}$$

kde:

$\dot{Q}_{z,on}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
β_p	... Součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény ⁵⁰	[kg/(h·m ² Pa)]
$p''_{v(t_w,n)}$	... Tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny při $t_v = t_w$	[Pa]
$p_{v(t_{i,n})}$	... Parciální tlak vodní páry ve vzduchu	[Pa]

Denní ztráta prostupem tepla do okolního prostředí

$$Q_{z,i} = 24 \cdot A_{sd} \cdot U_{i,z} \cdot (t_w - t_{i,z})$$

kde:

$Q_{z,i}$	... Denní ztráta prostupem tepla do zeminy	[kWh/den]
A_{sd}	... Smáčená plocha bazénu ve styku se zeminou	[m ²]
U_z	... Součinitel prostupu tepla stěn a dna bazénu	[W/(m ² K)]
t_w	... Teplota bazénové vody	[°C]
$t_{i,z}$	... Teplota okolního prostředí ⁵¹	[°C]

⁴⁷ v době provozu při odkryté vodní hladině je $\beta_p = 1,6 \cdot 10^{-4}$ kg/(h·m²·Pa), při zakrytí bazénu je $\beta_p = 0$

⁴⁸ pro teplotu vody 28 °C je $p''_v = 3780$ Pa

⁴⁹ $p_v = \varphi \cdot p''_v$, pro relativní vlhkost se uvažuje výpočtová hodnota $\varphi = 65$ %

pro $p''_v = \exp\left(23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t_v}\right)$ se uvažuje teplota vzduchu $t_v = 30$ °C teplota vzduchu v interiéru - pro dobu provozu anebo $t_v = 20$ °C teplota vzduchu v interiéru - pro dobu mimo provoz.

⁵⁰ mimo dobu provozu při odkryté vodní hladině je $\beta_n = \beta_p$, při zakrytí bazénu je $\beta_p = 0$ (nedochází k odpařování bazénové vody do okolí)

TEPELNÁ BILANCE A POTŘEBA TEPLA VNITŘNÍHO BAZÉNU

Tepelnou bilanci celkové potřeby tepla pro ohřev bazénové vody lze vyjádřit jako

$$Q_{pc} = (1 + p) \cdot (Q_{z,pp} + Q_{z,pn} + Q_{z,op} + Q_{z,on} + Q_{z,SV} + Q_{z,i})$$

kde:

Q_{pc}	... Celková denní potřeba tepla	[kWh/den]
$Q_{z,pp}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
$Q_{z,pn}$	... Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
$Q_{z,op}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v době provozu	[kWh/den]
$Q_{z,on}$	... Tepelná ztráta odparem z vodní hladiny v noci	[kWh/den]
$Q_{z,SV}$	... Denní potřeba tepla na ohřev SV pro výměnu	[kWh/den]
$Q_{z,i}$	... Denní ztráta prostupem tepla do zeminy	[kWh/den]
p	... Přirážka na tepelné ztráty solární soustavy	$p = \text{cca } 5 \%$ [%]

POTŘEBNÁ PLOCHA SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

- Navrhuje se pro měsíc, ve kterém je požadavek na pokrytí potřeby tepla sluneční energií.
- Střední teplota teplonosné látky v kolektoru se volí $t_m = 30$ až 35 °C (podle typu bazénu).
- Jestliže dimenzujeme plochu solárních kolektorů pro přípravu TV a ohřev bazénové vody (venkovní bazén), je třeba potřebné plochy kolektorů sečíst. Plocha kolektorů pro vytápění se ale už nepřičítá, protože v létě dodává solární soustava teplo pro venkovní bazén, v zimě pro vytápění. TV je připravována po celý rok.

Tabulka 16: Orientační hodnoty návrhu kolektorové plochy pro ohřev bazénové vody [79]

Typ bazénu	Kolektorová plocha
Vnitřní – zakrývaná hladina	$A_k = 0,5 \cdot S$
Vnitřní – nezakrývaná hladina	$A_k = 0,7 \cdot S$
Venkovní – nezakrývaná hladina	$A_k = 1 \cdot S$
Venkovní – nezakrývaná hladina	$A_k = 2 \cdot S$

[79], [86]

⁵¹ květen cca 10°C, červen a září cca 12-15°C, červenec a srpen cca 15-18 °C

C.2.5.5.7 BILANCOVÁNÍ SOLÁRNÍ SOUSTAVY

Určíme měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk kolektorové plochy pro I. až XII. měsíc (u letního provozu pouze pro ohřev bazénové vody určíme jen zvolené rozmezí – například V. až IX. měsíc).

Měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk kolektorové plochy se stanoví podle vztahu

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

kde:

$Q_{k,u}$	... Měsíční teoretický využitelný tepelný zisk kolektorové plochy	[kWh/měsíc]
η_k	... Účinnost solárního kolektoru (střední denní účinnost)	[%]
n	... Počet dnů v měsíci	[dny]
$H_{T,den}$	... Skutečná denní dávka ozáření plochy kolektoru	[kWh/(m ² den)]
A_k	... Vztažná plocha kolektoru (obvykle plocha apertury kolektoru)	[m ²]

Měsíční potřeby tepla pro přípravu TV se určí pro I. až XII. měsíc podle vztahu

$$Q_{p,TV,m} = n \cdot Q_{p,TV,den}$$

kde:

$Q_{p,TV,m}$	... Měsíční potřeby tepla pro přípravu TV	[kWh/měsíc]
n	... Počet dnů v měsíci	[dny]
$Q_{p,TV,den}$	... Denní potřeby tepla pro přípravu TV	[kWh/měsíc]

Měsíční potřeby tepla pro vytápění se určí pro měsíce topné sezóny podle vztahu

$$Q_{p,VYT,m} = n \cdot Q_{p,VYT,den}$$

kde:

$Q_{p,VYT,m}$	... Měsíční potřeby tepla pro vytápění	[kWh/měsíc]
n	... Počet dnů v měsíci	[dny]
$Q_{p,VYT,den}$	... Denní potřeby tepla pro vytápění	[kWh/měsíc]

Měsíční potřeby tepla pro ohřev bazénové vody se určí pro zvolené měsíce podle vztahu

$$Q_{b,venk,m} = n \cdot (Q_{z,pp} + Q_{z,pn} + Q_{z,op} + Q_{z,on} + Q_{z,SV} + Q_{z,z} - Q_{H,den})$$

$$Q_{b,vnitř,m} = n \cdot (Q_{z,pp} + Q_{z,pn} + Q_{z,op} + Q_{z,on} + Q_{z,SV} + Q_{z,i})$$

Nezahrnuje se při hodnocení pro dotace SFŽP ČR

kde:

$Q_{b,venk,m}$	... Měsíční potřeby tepla pro venkovní bazén	[kWh/měsíc]
$Q_{b,vnitř,m}$	... Měsíční potřeby tepla pro vnitřní bazén	[kWh/měsíc]
n	... Počet dnů v měsíci	[dny]

Využitelné tepelné zisky solární soustavy se určí pro každý měsíc podle vztahu

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}, Q_{pc})$$

kde:

$Q_{ss,u}$	... Měsíční využitelné tepelné zisky solární soustavy	[kWh/měsíc]
$Q_{k,u}$	... Měsíční teoreticky využitelný zisk	[kWh/měsíc]
Q_{pc}	... Celková měsíční potřeba tepla	[kWh/měsíc]

Solární pokrytí (solární podíl) za rok

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

kde:

$q_{ss,u}$	... Roční využitelné měrné tepelné zisky	[kWh/(m ² rok)]
$Q_{ss,u}$	... Měsíční využitelné tepelné zisky solární soustavy	[kWh/měsíc]
A_k	... Vztažná plocha kolektoru	[m ²]

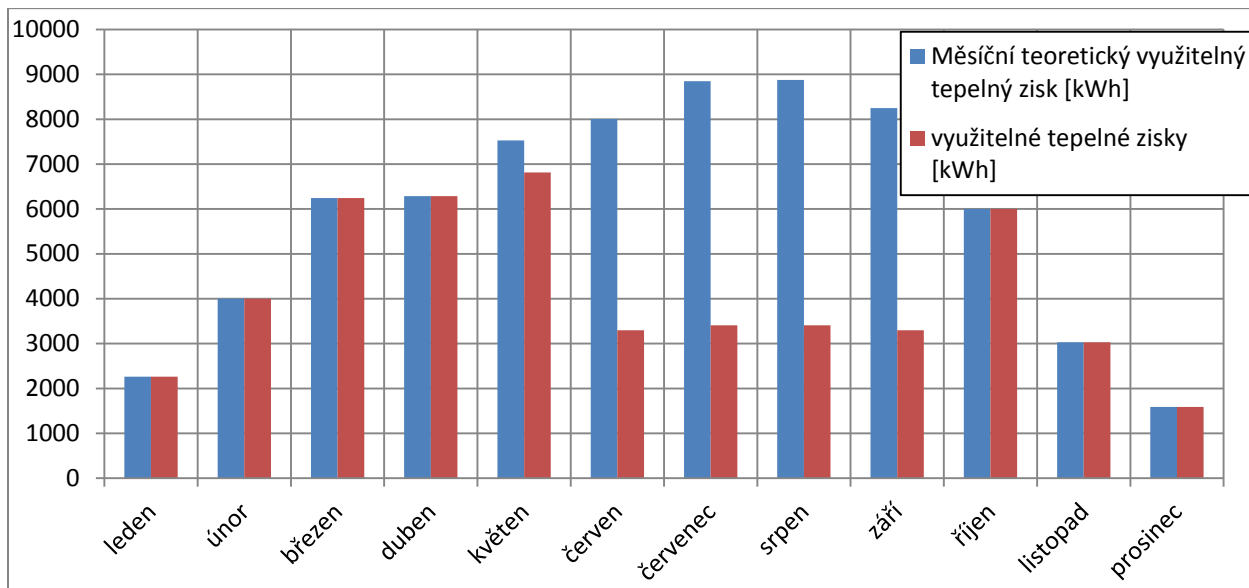
Solární pokrytí (solární podíl) za rok

$$f = 100 \cdot \frac{\sum_I^{XII} Q_{ss,u}}{\sum_I^{XII} Q_{pc}}$$

kde:

f	... Využitelné tepelné zisky solární soustavy	[%]
$Q_{ss,u}$	... Měsíční využitelné tepelné zisky solární soustavy	[kWh/měsíc]
Q_{pc}	... Celková měsíční potřeba tepla	[kWh/měsíc]

Graf 37: Příklad roční bilance solární soustavy pro přípravu TV, zdroj: vlastní práce



[86]

C.3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ NA ZADANÉ BUDOVĚ

C.3.1 CÍL MĚŘENÍ

Cílem experimentálního měření bylo získání výsledků, které mohou být následně použity jako vstupní údaje nezbytné pro výpočet návratnosti investice do plochých solárních kolektorů, instalovaných na střeše jednoho ze zkoumaných objektů. Pro tento účel bylo požadováno:

- a) Ultrazvukovou metodou stanovit a zaznamenat průběh **průtoku vody** v potrubí okruhu solární kolektor – zásobník
- b) Změřit a zaznamenat průběh **teplot**:
 - o v přívodním a vratném potrubí okruhu solární kolektor – zásobník
 - o v exteriéru
 - o na povrchu solárního kolektoru umístěného na střeše objektu
- c) Změřit a zaznamenat průběh **intenzity slunečního záření** dopadajícího na solární kolektory

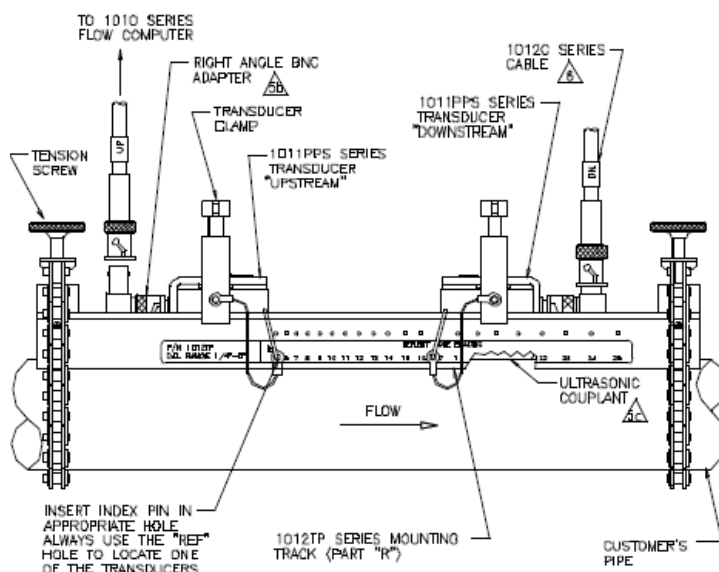
C.3.2 FYZICKÝ MODEL

- přirozený model – budova sportovně-rekreačního firemního areálu

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O EXPERIMENTU:

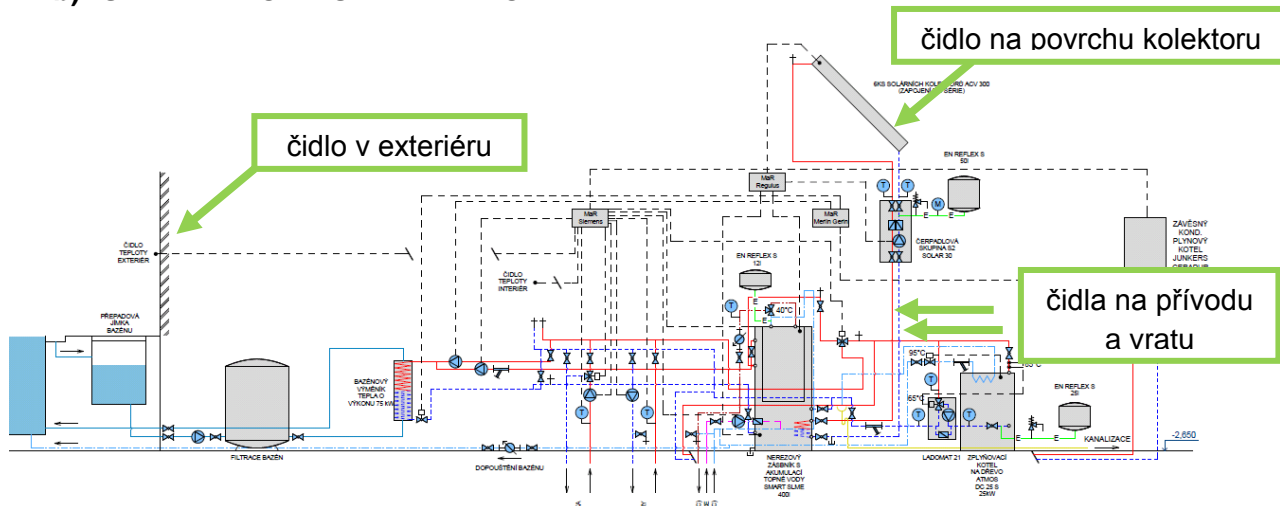
- **datum měření:** 10.-12. 9. 2012
- **doba měření:** 3 dny = 72 h
- **místo měření:** ČR - Brušperk (venkov), střecha objektu, potrubí uvnitř objektu a exteriér
- **úhel sklonu kolektorů β :** 30°
- **azimutový úhel kolektorů γ :** 15°

a) SCHÉMA UPEVNĚNÍ ULTRAZVUKOVÝCH SNÍMAČŮ NA POTRUBÍ:

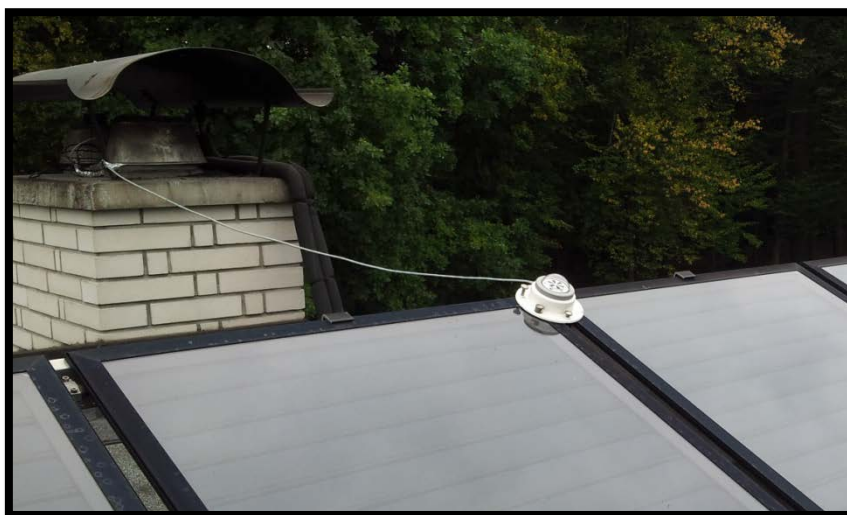


Obrázek 65: Schéma upevnění ultrazvukových snímačů, zdroj: manuál přístroje

b) SCHÉMA ROZMÍSTĚNÍ TEPLOTNÍCH ČIDEL:



c) UMÍSTĚNÍ PYRANOMETRU NA SOLÁRNÍM KOLEKTORU:



C.3.3 SEZNAM MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ A ČIDEL

MĚŘICÍ PŘÍSTROJE:

- Controlotron System 1010 DP UNIFLOW
- ústředna Ahlborn ALMEMO 3290-8
- pyranometr SG 0013, výrobce J.Tlušťák
- (Commeter D0241 pro srovnání teplot)

ČIDLA A SNÍMAČE:

- pro měření průtoku fungující na ultrazvukovém principu 2 ks (Controlotron)
- pro měření teploty Pt100 (odporové dráty) 4 ks (Ahlborn)
- pro měření intenzity slunečního záření 1 ks (Ahlborn)
- (pro měření teploty Pt1000 nebo Ni1000 – jen pro srovnání) 3 ks

C.3.4 SLEDOVANÉ VELIČINY

• průtok	Q	[l/s]	přesnost měření ± 2 %
• teplota	t	[°C]	přesnost měření ± %
• intenzita slunečního záření	I	[W/m ²]	přesnost měření ± 3 %

C.3.5 POSTUP MĚŘENÍ

a) MĚŘENÍ PRŮTOKU

Na potrubí zbaveném nečistot v okruhu solární kolektor - zásobník byly pro potřeby měření nainstalovány ultrazvukové snímače. Byly dodrženy výrobcem doporučené uklidňující délky (15 DN před nátokovým snímačem a 5 DN za odtokovým snímačem). S pomocí snímačů se měřil a zaznamenával aktuální průtok v potrubí. Jednalo se o příložná čidla pracující na principu měření časové difference mezi signály vyslanými proti sobě. Přístrojem navrhnutý způsob instalace čidel byl odrazový (na základě materiálu potrubí Cu, jeho průměru DN 22x1, druhu proudící kapaliny směs vody a propylenglykolu atd...).

b) MĚŘENÍ TEPLoty

Na přívodní a vratné potrubí okruhu solární kolektor – zásobník byla instalována čidla pro měření teploty fungující na principu změny odporu v závislosti na okolní teplotě. Vzniklé napětí je přímo teplotě. Pro dosažení co nejpřesnějších hodnot byla čidla přilepena hliníkovou páskou na očištěné potrubí pod kaučukovou tepelnou izolací (Aeroflex, tl. 13 mm). Další čidlo bylo instalováno na povrchu solárního kolektoru umístěného na střeše jednoho z objektů a pro měření teploty exteriéru bylo instalováno čidlo na stíněném místě podbití střechy, opatřeném stíněním proti případnému vlivu sálání okolních ploch.

c) MĚŘENÍ INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

Na solární kolektory byl připevněn pyranometr tak, aby byl jeho sklon stejný, jako sklon solárních kolektorů, a výsledky měření byly srovnatelné se skutečným množstvím dopadlého záření na solární kolektory. Měření je založeno na principu teplotní difference vzniklé dopadem záření na černou a bílou plochu. Elektrické napětí na připevněných termočláncích je potom úměrné intenzitě slunečního záření. Z důvodu vystavení připojovacího kabelu povětrnostním podmínkám, byl na kabelu proveden okapový nos pro zabránění zatečení vody ke konektoru a měřicí technice.

C.3.5.1 VZTAHY A VÝPOČTY – KALORIMETRICKÁ ROVNICE

$$Q = \sum [M \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau]$$

kde:

Q	... Teplo (množství vyrobené energie)	[J, kWh]
M	... Hmotnostní průtok	[kg/s]
c	... Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg/K], c = 4186 J/kg/K
t ₁	... Teplota na výstupu z kolektoru k zásobníku	[°C]
t ₂	... Teplota na vstupu do kolektoru ze zásobníku	[°C]
τ	... Měřicí interval	[s], τ = 15 s

C.3.5.2 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ – GRAFY, FOTODOKUMENTACE

GRAFY

viz přílohy:

- P2: Graf č.1 – Výsledky měření soustavy solárních kolektorů 10.-12. 9. 2012
- P3: Graf č.2 – Průtok v solárních panelech 10.-12. 9. 2012
- P4: Graf č.3 – Počasí
- P5: Graf č.4 – Porovnání odporových drátů a čidel systému Comet

FOTODOKUMENTACE:



Obrázek 66: Umístění pyranometru na solárních kolektorech



Obrázek 67: Ověřování správné funkčnosti ultrazvukového průtokoměru (vlevo) a instalace na potrubí v měřeně (vpravo)



Obrázek 68: Ranní pohled od jihu na solární kolektory (vlevo), chráněné čidlo externí teploty (vpravo)



Obrázek 69: Měřicí ústředna Ahlborn (vlevo) a technická místnost (vpravo)

C.3.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Během tří dnů pozdního léta (10.-12.9. 2012), ve kterých proběhlo měření, bylo štěstí na počasí. První dva dny byly bezoblačné, teplé, jasné a intenzita sluneční radiace dosáhla až k 870 W/m^2 . Třetí den pak bylo zataženo a intenzita sluneční radiace kolísala od 80 až k 560 W/m^2 . Z **P2: graf č.1** lze dobře rozeznat rozdíly v intenzitě slunečního záření a s ním souvisejících teplot. Podle intenzity sluneční radiace lze také poměrně přesně určit časy východů a západů Slunce a pozorovat krácení dnů.

Ultrazvukovou metodou byl zaznamenán průtok v primárním okruhu solární kolektor – zásobník. Naměřené hodnoty vykazovaly stabilní průtok kolem $0,02 \text{ l/s}$, což je považováno za chybu měření vzhledem k přítomnosti zpětné klapky v primárním okruhu. V **P3: graf č.2** lze pozorovat spínání čerpadla při nárůstu slunečního záření. Zejména v dopoledních hodinách jelo téměř nepřetržitě. To je přisouzeno poklesu teploty v zásobníku během noci a vzestupu teploty v solárním panelu. Při hezkém počasí dosáhla teplota v kolektoru požadované teploty a čerpadlo se zapnulo již kolem 8:30 dopoledne, při oblačnosti až kolem 10:30 dopoledne.

Z P3: graf č.2 lze také odečíst hodnotu průtoku přibližně 0,215 l/s = 774 l/h při sepnutí cirkulačního čerpadla (typ čerpadla WILO ST25/6-3 P). Při 6 ks solárních panelů ACV SOLAR 300, instalovaných na střeše objektu, každý s absorpční plochou 1,78m², lze vypočítat měrný průtok 72,5 l/(hm²) kolektorové plochy. Jedná se, dle očekávání, o solární soustavu High-Flow.

Pro praxi je přesnost proběhlého měření dostačující. Nepřesnost měření může být způsobena nedokonalým kontaktem čidla s trubicí nebo rušivým vlivem proudící kapaliny uvnitř trubky.

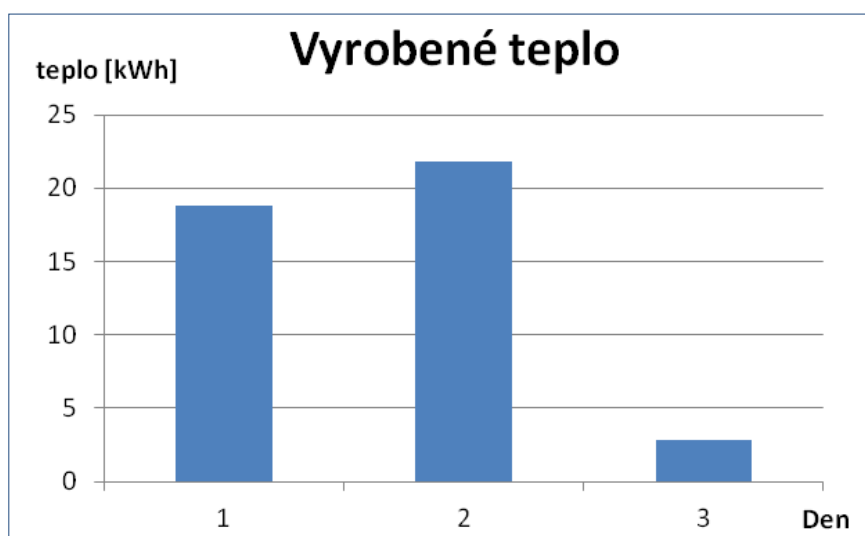
Tabulka 17: Teplo vyrobené SK během jednotlivých dnů experimentálního měření

Den (počasí)	Vyroběné teplo [J]	Vyroběné teplo [kWh]	Vyroběné teplo [kWh/m ²]	Podíl vyrobeného tepla [%]
1. (jasno)	67 814 070	18,8	1,76	43
2. (jasno)	78 648 812	21,8	2,05	50
3. (zataženo)	10 237 934	2,8	0,27	7
celkem za 3 dny	157 700 816	43,5		100

Tabulka 18: Účinnost SK během jednotlivých dnů experimentálního měření

Den (počasí)	Doba slunečního svitu [h]	Průměrná intenzita slunečního záření [W/m ²]	Dopadá sluneční energie [kWh/m ²]	Účinnost SK [%]
1. (jasno)	13	450	5,850	30
2. (jasno)	13	462	6,006	34
3. (zataženo)	13	153	1,989	13

Graf 38: Množství vyrobeného tepla během jednotlivých dnů experimentálního měření



V doplňující **P4: graf č.3** jsou zobrazeny zaznamenané poznámky o počasí během experimentu (teplota, míra slunečního svitu).

V další doplňující **P5: graf č.4** je vidět srovnání dvou různých měřidel, a to Pt100 (odporový drát) a Ni1000 systému Comet. I přes stejný trend průběhu vidíme značný rozdíl až 50 °C zejména na přívodu a vratu. Tento rozdíl je přisouzen velké tepelné kapacitě čidla Ni1000, které není schopno reagovat na rychlé změny teploty a také zřejmě špatné instalaci na potrubí, kdy nebyla použita teplovodivá pasta. Venkovní teplota, která tak rychle nekolísá, byla oběmi systémy naměřena téměř shodně. Pro výpočty byly vždy použity hodnoty z odporových čidel.

Vzhledem ke krátké době proběhlého experimentálního měření, pouhé tři dny, nevyovídá měření o tom, jaké úspory investorovi vytvoří za celý rok. Proto byla v následující ekonomické části uvažována hodnota roční úspory (za teplo vyrobené solárními kolektory), stanovená z běžného ročního energetického zisku plochých kolektorů se selektivní vrstvou, které jsou instalované na zkoumaném objektu (320-530 kWh/m²). Roční energetický zisk solárních kolektorů, byl odhadnut na 450 kWh/m².

Hodnota roční úspory byla stanovena:

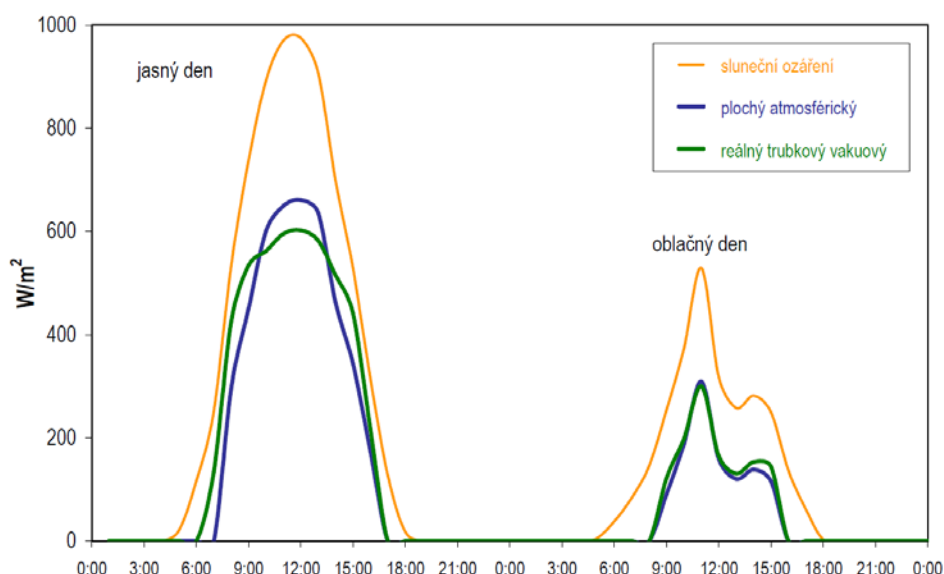
$$R = Q \cdot C = n \cdot A_A \cdot q \cdot C = 6 \cdot 1,78 \cdot 450 \cdot 2,2045 = 10\,582 \text{ Kč}$$

kde:

R	... Úspora za 1 rok	[Kč]
Q	... Teplo vyrobené kolektory za 1 rok	[kWh]
C	... Cena za 1 kWh zemního plynu	[Kč/kWh]
n	... Počet instalovaných solárních kolektorů	[ks]
A _A	... Plocha absorbéru	[m ²]
q	... Roční energetický zisk kolektoru	[kWh/m ²]

Hodnoty i průběh naměřené intenzity sluneční radiace se podobají hodnotám, které uvádí literatura, jak lze vidět na následujícím grafu.

Graf 39: Výkon solárního kolektoru v reálných podmínkách [47]



C.4 NÁVRATNOST INVESTICE

Návratnost investice do solárních kolektorů, které budou po dobu své životnosti, investorovi přinášet každoroční úspory, byla spočítána ve dvou variantách:

- a) Investiční náklad byl hrazen z vlastních zdrojů
- b) Investiční náklad byl hrazen z půjčky poskytnuté bankou

Prostá doba návratnosti

Dobou návratnosti (Payback method) rozumíme počet let, za které projekt vytvoří čisté peněžní toky (dále jen CF) ve výši investovaných nákladů projektu. Pokud jsou CF v jednotlivých letech konstantní, lze dobu návratnosti stanovit jednoduchým podílem investičních nákladů (dále jen IC) a ročního CF.

Výpočet prosté doby návratnosti [v letech]:

$$DN = \frac{IC}{\sum CF}$$

V praxi se však většinou nesetkáváme s projekty, které by měly konstantní CF v jednotlivých letech hodnoceného období. Proto dobu návratnosti stanovujeme kumulativním načítáním ročních CF až do výše investičních nákladů. Suma výnosů se většinou nebude rovnat přesně výši investičních nákladů. Vytvoří interval hodnot sum výnosů dvou po sobě jdoucích let, ve kterém se bude nacházet hodnota investičního nákladu. Dobu návratnosti lze potom vyčíslit v letech a měsících následujícím vzorcem:

$$DN = \text{počet let spodní hranice intervalu} + \frac{CF \text{ kumulované horní hranice intervalu} - IC}{\text{roční CF spodní hranice intervalu}}$$

Diskontovaná doba návratnosti

Z pohledu časové hodnoty peněz je nutné opět jednotlivé peněžní toky diskontovat a porovnávat sumu diskontovaných toků s počátečními investičními náklady. Čím je doba návratnosti kratší, tím je investice hodnocena příznivěji.

Postup výpočtu je shodný s prostou dobou návratnosti. Jedná se opět o kumulaci tentokrát diskontovaných toků až do okamžiku, ve kterém se budou rovnat investičním nákladům.

[87]

C.4.1 INVESTIČNÍ NÁKLAD JE HRAZEN Z VLASTNÍCH ZDROJŮ

Uvažované vstupní údaje:

- Investiční náklad 170 465 Kč
 - Produkovaná roční úspora (výnos) 10 582 Kč
 - Předpokládaná doba ekonomické životnosti SK 30 let
 - Míra inflace 3 %
 - Diskontní sazba 2 %
- (zvolená podle ročního zhodnocení peněz při alternativní investici investora)

Tabulka 19: Výpočet doby návratnosti investice [Kč]

A	B	C	D	E	F	G
rok	úspora i s inflací	kumulovaná úspora	kumulované CF	diskontovaná úspora	kumulovaná diskontovaná úspora	kumulované diskontované CF
1	10 582	10 582	-159 883	10 375	10 375	-160 090
2	10 899	21 481	-148 984	10 476	20 851	-149 614
3	11 226	32 708	-137 757	10 579	31 430	-139 035
4	11 563	44 271	-126 194	10 683	42 112	-128 353
5	11 910	56 181	-114 284	10 787	52 900	-117 565
6	12 267	68 449	-102 016	10 893	63 793	-106 672
7	12 635	81 084	-89 381	11 000	74 793	-95 672
8	13 015	94 099	-76 366	11 108	85 901	-84 564
9	13 405	107 504	-62 961	11 217	97 117	-73 348
10	13 807	121 311	-49 154	11 327	108 444	-62 021
11	14 221	135 532	-34 933	11 438	119 882	-50 583
12	14 648	150 180	-20 285	11 550	131 431	-39 034
13	15 087	165 267	-5 198	11 663	143 094	-27 371
14	15 540	180 807	10 342	11 777	154 872	-15 593
15	16 006	196 814	26 349	11 893	166 765	-3 700
16	16 486	213 300	42 835	12 009	178 774	8 309
17	16 981	230 281	59 816	12 127	190 901	20 436
18	17 490	247 772	77 307	12 246	203 147	32 682
19	18 015	265 787	95 322	12 366	215 514	45 049
20	18 556	284 342	113 877	12 487	228 001	57 536
21	19 112	303 455	132 990	12 610	240 611	70 146
22	19 686	323 140	152 675	12 733	253 344	82 879
23	20 276	343 416	172 951	12 858	266 202	95 737
24	20 884	364 301	193 836	12 984	279 187	108 722
25	21 511	385 812	215 347	13 112	292 298	121 833
26	22 156	407 968	237 503	13 240	305 539	135 074
27	22 821	430 789	260 324	13 370	318 909	148 444
28	23 506	454 295	283 830	13 501	332 410	161 945
29	24 211	478 506	308 041	13 633	346 043	175 578
30	24 937	503 443	332 978	13 767	359 810	189 345

**Prostá doba návratnosti byla za daných podmínek stanovena na 13,3 let.
Diskontovaná doba návratnosti byla za daných podmínek stanovena na 15,3 let.**

Diskontovaná doba návratnosti má pro investora mnohem větší vypovídající hodnotu, zlepšuje mu investiční rozhodování, protože zahrnuje více faktorů a hlavně změnu hodnoty peněz v čase.

Vychází vždy větší než prostá, protože k ní musím ještě přičíst dobu, za kterou investice přinese stejný výnos, který by do té doby vznikl v možné alternativní investici. Investor požaduje zisk. Investováním např. do solárních kolektorů je ale po uplynutí doby prosté návratnosti na nule. Oproti tomu, kdyby na začátku investičního rozhodování vložil peníze do alternativní investice, například do banky, s určitými výnosy (reprezentovanými diskontní sazbou), měl by už zisky. Diskontovaná doba návratnosti je delší o dobu, než výnosy ze solárních panelů „doženou“ výnosy z peněz uložených v bance.

Komentář k vybraným sloupcům tabulky:

- **Sloupec B** Znázorňuje roční úsporu (výnos) zvoleného energetického opatření. Nominální úspora se navyšuje, protože předpokládám nárůst cen energií způsobený inflací.

$$P_n = P_0(1 + p)^n$$

kde:

P_0	... Dnešní hodnota peněz	[Kč]
P_n	... Budoucí hodnota peněz	[Kč]
p	... Míra inflace	[%]
n	... Počet let	[roky]

- **Sloupec D** S přibývajícím roky k počátečnímu investičnímu nákladu se načítají další a další a další úspory a dochází ke kumulování peněžních toků neboli Cash Flow (CF). Představuje součet veškerých příjmů (úspora – z pohledu investora kladná hodnota) a výdajů (počáteční investiční náklad – záporná hodnota) za určité časové období (jednoho roku). V momentě, kdy přechází ze záporných hodnot do kladných, se nachází prostá doba návratnosti.

$$CF = IC - \sum_{i=0}^n R$$

- **Sloupec E** Vychází z hodnot sloupce B a znázorňuje diskontovanou úsporu s , investorem zvoleným, diskontním faktorem 2 %, protože předpokládá alternativní výnosnost investovaných peněz. Peníze (investiční náklad) mohou mít možnost vložit například do banky, cenných papírů, projektu atd., kde by se ročně navýšily, právě o 2 % zvoleného diskontního faktoru.

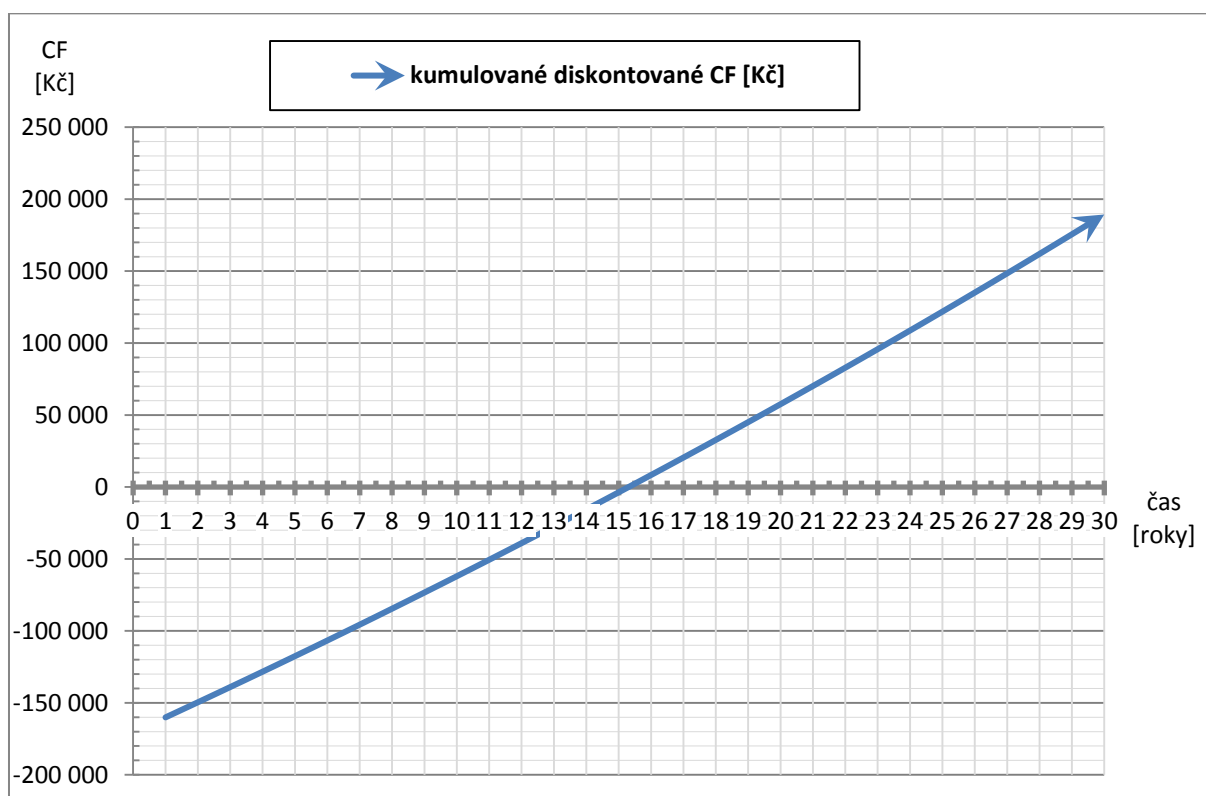
$$R_{diskont} = \frac{R}{(1 + r)^n}$$

kde:

R	... Úspora	[Kč]
$R_{diskont}$	... Diskontovaná úspora	[Kč]
r	... Diskontní sazba	[%]
n	... Počet let	[roky]

- **Sloupec G** Stejný princip jako u sloupce D, jen počítá s diskontovanou úsporou. Moment, kdy se hodnoty dostanou do kladných čísel ($CF = 0$), je diskontovaná doba návratnosti.

Graf 40: Diskontovaná doba návratnosti investice



[87]

C.4.2 INVESTIČNÍ NÁKLAD HRAZEN Z PŮJČKY POSKYTNUTÉ BANKOU

Uvažované vstupní údaje:

- Investiční náklad 170 465 Kč
- Produkovaná roční úspora (výnos) 10 582 Kč
- Předpokládaná doba ekonomické životnosti SK 30 let
- Míra inflace 3 %
- Diskontní sazba 2 %
(zvolená podle ročního zhodnocení peněz při alternativní investici investora)
- Úroková míra půjčky v bance 5 %
- Dohodnutá doba splácení půjčky 20 let

Tabulka 20: Výpočet doby návratnosti investice [Kč]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
rok	roční splátka	zůstatek	úrok	anuita = splátka + úrok	úspora i s inflací	CF	kumulovaný CF	diskontovaná úspora	diskontovaný CF	kumulovaný diskontovaný CF
1	8 523	170 465	8 523	17 047	10 582	-6 465	-6 465	10 375	-6 338	-6 338
2	8 523	161 942	8 097	16 620	10 899	-5 721	-12 185	10 476	-5 499	-11 836
3	8 523	153 419	7 671	16 194	11 226	-4 968	-17 153	10 579	-4 681	-16 518
4	8 523	144 895	7 245	15 768	11 563	-4 205	-21 358	10 683	-3 885	-20 402
5	8 523	136 372	6 819	15 342	11 910	-3 432	-24 790	10 787	-3 108	-23 510
6	8 523	127 849	6 392	14 916	12 267	-2 648	-27 438	10 893	-2 352	-25 862
7	8 523	119 326	5 966	14 490	12 635	-1 854	-29 292	11 000	-1 614	-27 476
8	8 523	110 802	5 540	14 063	13 015	-1 049	-30 341	11 108	-895	-28 371
9	8 523	102 279	5 114	13 637	13 405	-232	-30 573	11 217	-194	-28 566
10	8 523	93 756	4 688	13 211	13 807	596	-29 977	11 327	489	-28 077
11	8 523	85 233	4 262	12 785	14 221	1 436	-28 540	11 438	1 155	-26 921
12	8 523	76 709	3 835	12 359	14 648	2 289	-26 251	11 550	1 805	-25 116
13	8 523	68 186	3 409	11 933	15 087	3 155	-23 096	11 663	2 439	-22 677
14	8 523	59 663	2 983	11 506	15 540	4 034	-19 063	11 777	3 057	-19 620
15	8 523	51 140	2 557	11 080	16 006	4 926	-14 137	11 893	3 660	-15 960
16	8 523	42 616	2 131	10 654	16 486	5 832	-8 304	12 009	4 249	-11 712
17	8 523	34 093	1 705	10 228	16 981	6 753	-1 551	12 127	4 823	-6 889
18	8 523	25 570	1 278	9 802	17 490	7 689	6 137	12 246	5 383	-1 506
19	8 523	17 047	852	9 376	18 015	8 640	14 777	12 366	5 930	4 425
20	8 523	8 523	426	8 949	18 556	9 606	24 383	12 487	6 465	10 889
21	0	0	0	0	19 112	19 112	43 495	12 610	12 610	23 499
22	0	0	0	0	19 686	19 686	63 181	12 733	12 733	36 233
23	0	0	0	0	20 276	20 276	83 457	12 858	12 858	49 091
24	0	0	0	0	20 884	20 884	104 342	12 984	12 984	62 075
25	0	0	0	0	21 511	21 511	125 853	13 112	13 112	75 187
26	0	0	0	0	22 156	22 156	148 009	13 240	13 240	88 427
27	0	0	0	0	22 821	22 821	170 830	13 370	13 370	101 797
28	0	0	0	0	23 506	23 506	194 336	13 501	13 501	115 298
29	0	0	0	0	24 211	24 211	218 547	13 633	13 633	128 932
30	0	0	0	0	24 937	24 937	243 484	13 767	13 767	142 699

Prostá doba návratnosti byla za daných podmínek stanovena na 17,2 let.
Diskontovaná doba návratnosti byla za daných podmínek stanovena na 18,3 let.

Komentář k vybraným sloupcům tabulky:

- **Sloupec B** Znárodňuje konstantní roční splátku. Po uplynutí dohodnuté doby splázení je půjčka splacena.
- **Sloupec C** Zůstatek, zbývající do splázení půjčky.
- **Sloupec D** Úrok půjčky, nutný zaplatit bance při dané úrokové míře. Jeho základem je zůstatek ve sloupci C.
- **Sloupec E** Anuita neboli celková platba bance. Zahrnuje roční splátku a úrok.
- **Sloupec F** Znárodňuje roční úsporu (výnos) zvoleného energetického opatření. Nominální úspora se navyšuje, protože předpokládám nárůst cen energií způsobený inflací. Výpočet je obdobný jako v první variantě.

- **Sloupec G** Peněžní toky (CF) představují součet veškerých příjmů. Skládá se z ročních úspor (z pohledu investora příjem) a anuity (z pohledu investora výdaj).

$$CF = \text{úspora} - \text{anuita}$$

- **Sloupec H** Kumulovaný součet CF, pro stanovení okamžiku, kdy přejde ze záporných hodnot do kladných. Tento okamžik určuje prostou dobu návratnosti, neboť je splacen investiční náklad.
- **Sloupec I** Obdobně, jako v první variantě.
- **Sloupec J** Zobrazuje diskontovaný CF. Základem pro jeho výpočet je CF.

$$CF_{\text{diskont}} = \frac{CF}{(1+r)^n}$$

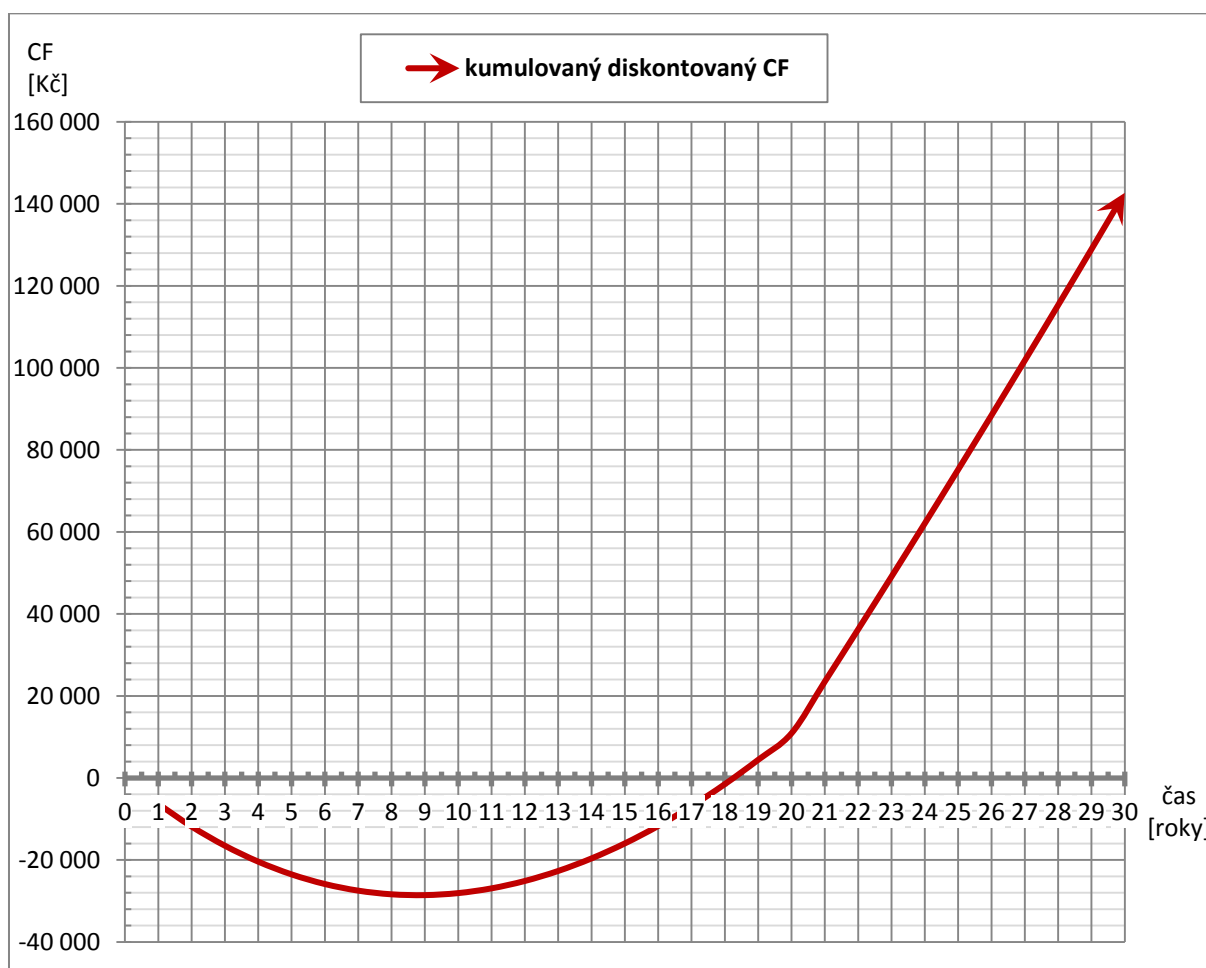
kde:

CF	... Cash Flow	[Kč]
CF _{diskont}	... Diskontované Cash Flow	[Kč]
r	... Diskontní sazba	[%]
n	... Počet let	[roky]

- **Sloupec K** Kumulovaný součet diskontovaného CF, pro stanovení okamžiku, kdy přejde ze záporných hodnot do kladných. V okamžiku přechodu je diskontovaná doba návratnosti.

[87]

Graf 41: Diskontovaná doba návratnosti investice (půjčka)



C.4.3 VYHODNOCENÍ VARIANT

V případě **druhé varianty**, kdy si investor vzal na investiční náklad půjčku v bance, vyšly doby návratnosti vyšší (**prostá 17,2 let a diskontovaná 18,3 let**), než **v první variantě**, kdy investici financoval z vlastních zdrojů (**prostá 13,3 let a diskontovaná 15,3 let**).

Obě varianty jsou velmi **citlivé na zvolených vstupních parametrech**. Výsledné doby návratnosti závisí na ceně peněz, tzn. úroku poskytnutého bankou, poměru míry inflace k diskontní sazbě, investorem zvolené diskontní sazbě a jiných.

V probíraném případě, je pro investora výhodnější první varianta, protože má o kumulovaný úrok menší investiční náklad, a doba návratnosti tak vychází kratší.

Pokud by například úrok poskytnutý bankou byl jen 2 %, situace by se obrátila a doba návratnosti by vycházela lépe u druhé varianty. Na podobném principu funguje i moderní, stále populárnější metoda – tzv. **Energy Performance Contract**.

[87]

C.4.4 METODA ENERGY PERFORMANCE CONTRACTING

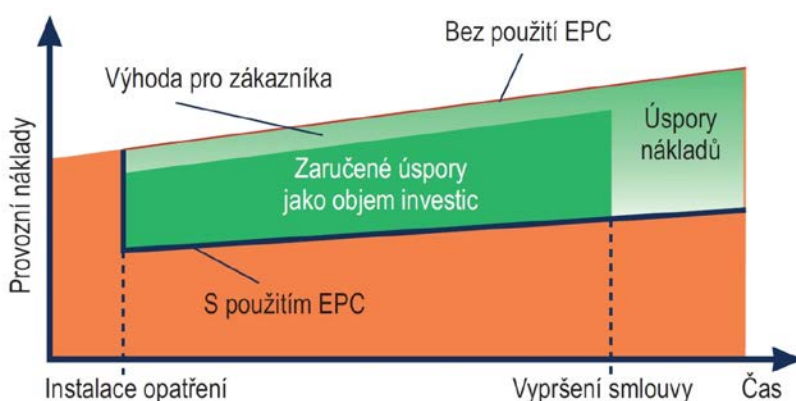
S rostoucími cenami energie stoupá zájem o snižování její spotřeby. Snižování spotřeby energie znamená uvolnění finančních prostředků, které mohou být využity účelněji a užitečněji.

Největší zájem je o energeticky úsporná opatření, která jsou ekonomicky návratná. K jejich aplikaci jsou nutné znalosti vhodných technologií, praktické zkušenosti, a hlavně investiční prostředky.

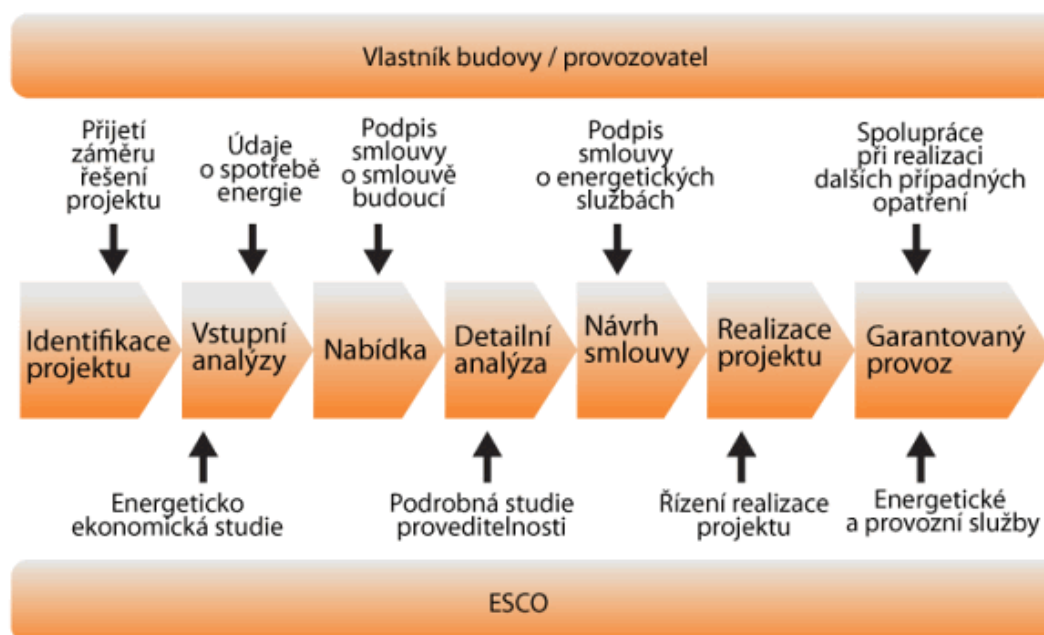
To vše přináší metoda EPC neboli „energetické služby se zárukou“. Metodu lze charakterizovat jako „financování energeticky úsporných opatření z očekávaných budoucích úspor se zárukou“.

Základní princip metody EPC spočívá v uzavření smlouvy mezi klientem a dodavatelem služby EPC. Dodavatel následně provede energetický audit, navrhne a instaluje energeticky úsporné opatření v kombinaci se zajištěním potřebných finančních zdrojů. Investor (zákazník) tedy k její realizaci nepotřebuje žádné vlastní finanční zdroje. Investice je splácena dodavateli (poskytovatel služby EPC) postupně z ušoupených provozních nákladů, za jejichž dosažení dodavatel smluvně ručí. Výsledek projektu je smluvně garantován tak, že investor nikdy nebude platit víc, než za energii platí v době uzavření smlouvy a tedy počátku projektu. Investor tedy nemá žádný dodatečný náklad a navíc poté, co je úvěr dodavateli služby EPC splacen, investor zaznamená úspory nákladů, oproti původnímu stavu.

Graf 42: Princip fungování služby EPC [80]



EPC je tedy komplexní služba umožňující úpravy energetického hospodářství bez nutnosti vynaložení potřebných investičních prostředků v době instalace opatření. Služby zahrnují energetickou analýzu, návrh projektu, instalaci zařízení, pravidelnou údržbu, výcvik obsluhy a většinou i financování projektu. Dodavatel služby dostane za své služby plně zaplacen jen tehdy, přinese-li projekt úspory energie ve sjednané výši. Platba dodavateli služby bývá obvykle nižší než úspora nákladů na nákup energie a souvisejících provozních nákladů zákazníka.



Obrázek 70: Proces řešení projektu metodou EPC [80]

Metodu EPC dovedli k dokonalosti američtí byrokraté. V 80. letech se v USA řešila otázka, jak zaplatit energetické úspory košatě federální administrativy. Kdyby si na ně stát měl půjčovat, jeho dluhy by byly ještě bolavější, a kdyby se na ně mělo naopak spořit postupně z rozpočtu, změny by byly pomalé.

Řešením byla přeměna spotřebovávaných energií na peníze. V součinnosti s firmami vznikla metoda, jejíž kouzlo spočívá v tom, že by se nemělo platit za to, co nevidíte. Investice se totiž splácí jen z reálných úspor ve spotřebě energie.

Metoda EPC byla české energetické veřejnosti představena v roce 1992 a během roku 1993 byly připraveny první dva projekty. Energetickými službami se zabývají firmy označované jako „ESCO“ (Energy Services Company – společnost energetických služeb). Od počátku devadesátých let zhruba deset společností energetických služeb zorganizovalo více než sto projektů řešených metodou EPC, z nichž kolem poloviny je již splaceno a přináší profit zákazníkům. Investice do projektu metodou EPC mají návratnost 5 až 10 let. Je možné s ním dosáhnout snížení až 40 % nákladů na energie.

Projekty řešené metodou EPC jsou na českém trhu nejčetnější ve školství (základní, střední i vysoké školy), ve zdravotnictví (nemocnice, léčebny), u ostatních veřejných budov (plavecké bazény, zimní stadiony apod.) a uplatnění nacházejí i v privátním sektoru. Pro rodinné domy není EPC vhodné, protože náklady na analýzu, specializované pracovníky atd. jsou značné a musí být pokryty z úspor budoucího projektu. O EPC se dá uvažovat, pokud jsou náklady investora na energie v řádech milionů Kč ročně.

Poznámka: Označení jako například: Contract Energy Management, Performance Contracting (PFC), Technology Performance Contracting, Contract Du Resultat nebo Third Party Financing (financování třetí stranou) nevyjadřují různé modifikace EPC, ale jde obvykle o jednu a tutéž službu, která je obecně velmi podobná službě u nás nazývané EPC.

[14], [80]

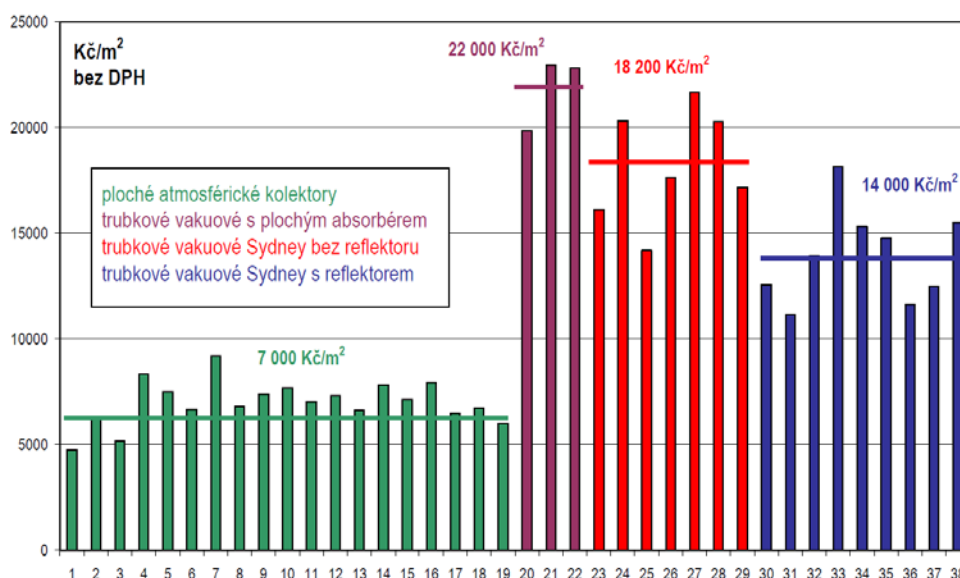
C.4.5 VEŘEJNÁ PODPORA SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ – DOTAČNÍ PROGRAMY

Trvale udržitelný rozvoj není možný bez většího využívání obnovitelných zdrojů. Přesto jejich podíl na českém trhu není nijak zvlášť velký, i když se jedná o odzkoušené moderní technologie. Ačkoliv se tento stav zlepšuje, lze za jeho příčiny označit:

- zažité využívání tradičních zdrojů (fosilní paliva, pevná paliva...)
- informační bariéra, malá informovanost uživatelů a s tím spojená nedůvěra a málo zkušeností s novými technologiemi
- **výše počáteční investice**

Při obvyklé průměrné investiční náročnosti dosahující 18 až 22 tis. Kč/m² kolektorové plochy (zahrnuje cenu kompletní technologie vč. instalace a DPH) a provozních nákladech (spotřeba elektřiny na chod oběhového čerpadla a základní údržba) ve výši min. 1 až 1,2 Kč na vyrobenou a efektivně využitou kilowatthodinu tepla je možné za obvyklou 20letou životnost zařízení dosáhnout průměrné nákladové ceny získávaného tepla mezi 2 až 3 Kč/kWh (a při zohlednění časové hodnoty peněz 3,5 až 4 Kč/kWh).

Graf 43: Porovnání cen vybraných druhů solárních kolektorů [74]



Ve srovnání se současnými cenami energií se to zdá být vysoké, v perspektivě dvou desetiletí však investice do solárního systému může být prozíravým krokem, neboť umožní investorovi dlouhodobě zafixovat část nákladů na teplo a navíc prokazatelně uspoří tuny emisí CO₂, které by jinak byly vypuštěny do atmosféry při konvenční výrobě tepla spalováním fosilních paliv a biomasy. To je také důvodem k veřejné podpoře instalací solárních systémů.

Právě vysoká investice, a tedy dlouhá návratnost může leckoho odradit. Rozsáhlejší využívání se svými dotacemi snaží podporovat náš stát i Evropská unie jako celek formou různých dotačních programů. Právě podle toho, odkud můžeme dotace čerpat, můžeme rozlišovat dotace:

- evropské
- národní
- komunální

a) EVROPSKÉ DOTACE

Evropské dotace lze čerpat v rámci operačního programu Životní prostředí. Tento program se týká především velkých a finančně značně náročných projektů, a je tedy určen obcím, krajům, neziskovým organizacím apod.

b) NÁRODNÍ DOTACE

V současné době dobíhá program ministerstva Životního prostředí „Zelená úsporám“. Program je zaměřen na podporu instalací zdrojů na vytápění s využitím obnovitelných zdrojů energie, ale také investic do energetických úspor při rekonstrukcích i v novostavbách (kvalitní zateplování, náhrada neekologického vytápění za nízkoemisní zdroje na biomasu a účinná tepelná čerpadla, instalace těchto zdrojů do nízkoenergetických novostaveb a také výstavba v pasivním energetickém standardu).

Česká republika získala na tento program finanční prostředky prodejem AAU (jednotka přiděleného množství, Assigned Amount Unit) tzv. emisních povolenek Kjótského protokolu o snižování emisí skleníkových plynů. Ke dni 26. 11. 2012 se prodalo asi 91 milionů jednotek AAU. Aktuální výnos z prodeje jednotek AAU se pohybuje ve výši cca 19,026 miliard korun představujících 72 762 žádostí (naprostá většina byly RD).

Mezi hlavní mezníky programu Zelená úsporám patří:

- zmírnění podmínek a otevření programu pro panelové domy (září 2009)
- avízo o zastavení dotací na zpracování dokumentace (březen 2010), které přineslo největší dočasný nárůst příjmu žádostí
- rozšíření podpory tepelných čerpadel a solárních systémů a výzva pro předkládání projektů na veřejné budovy (červen 2010)
- zastavení příjmu žádostí pro panelové domy (srpen 2010)
- zastavení příjmu všech žádostí v programu Zelená úsporám (říjen 2010.)

Podpora v rámci programu Zelená úsporám je nastavena tak, aby prostředky mohly být čerpány v průběhu celého období **od vyhlášení programu v dubnu 2009 do 31. prosince 2012**. O dotaci bylo možné požádat jak před realizací opatření, tak po ní, nebylo však možné žádat o podporu opatření dokončených před vyhlášením programu. Jeho základní postupy poskytování podpory upravuje směrnice MŽP č. 9/2009.

Program je členěn do tří základních oblastí podpory:

A. Úspora energie na vytápění

- A.1. Celkové zateplení
- A.2. Dílčí zateplení

B. Výstavba v pasivním energetickém standardu

C. Využití obnovitelných zdrojů energie pro vytápění a přípravu teplé vody

- C.1. Výměna neekologického vytápění za nízkoemisní zdroje na biomasu a účinná tepelná čerpadla
- C.2. Instalace nízkoemisních zdrojů na biomasu a účinných tepelných čerpadel do novostaveb
- C.3. Instalace solárně-termických kolektorů

D. Dotační bonus za vybrané kombinace opatření - některé kombinace opatření jsou zvýhodněny dotačním bonusem (pouze při současném podání žádosti a maximálně jednou pro daný objekt i při využití více z uvedených kombinací)

E. Dotace na přípravu a realizaci podporovaných opatření v rámci Programu

Tabulka 21: Dotace z programu Zelená úsporám na solární systémy [73]

Typ zařízení	Rodinný dům	Bytový dům
Solární systém pro přípravu TV	55 000 Kč	25 000 Kč/byt
Solární systém pro přípravu TV a přitápění	80 000 Kč	35 000Kč/byt

O podporu mohli požádat vlastníci a stavebníci rodinných a bytových domů, kteří dům využívají k bydlení nebo k poskytování bydlení třetím osobám, tedy:

- fyzické osoby podnikající i nepodnikající
- společenství vlastníků bytových jednotek
- bytová družstva
- města a obce (včetně městských částí)
- podnikatelské subjekty
- případně další právnické osoby

Program Zelená úsporám sice končí, má už ale svého nástupce, další dotační program „**Nová Zelená úsporám**“, který má běžet v letech 2013 až 2020 a počítá se s rozdělením až 28 miliard korun. Z něj budou podporovány jak soukromé domy, tak veřejné budovy. Dotovat se budou výhradně komplexní opatření ke snížení energetické náročnosti. Program má v současné době podobu návrhu, který bude projednávat vláda.



Obrázek 71: Logo nového programu [75]

Nová zelená úsporám je zaměřena podobně jako dobíhající Zelená úsporám na investice do energetických úspor při rekonstrukcích i v novostavbách. Opatření budou financována formou přímé dotace, zvýhodněného úvěru a bonusu.

Přímé dotace a výhodné úvěry pro ty, co nemají dostatek finančních prostředků nebo nedosáhnou na běžný komerční úvěr, budou určeny na realizaci opatření ke zlepšení tepelně-technických vlastností obálky budovy (tepelná izolace stěn, střechy, podlahy nejnižšího podlaží a výměna oken), dále bude podpora poskytována na výstavbu pasivních domů a domů s téměř nulovou spotřebou energie. Podporována bude také instalace řízeného větrání se zpětným získáváním tepla a nová regulace otopné soustavy.

Při komplexní realizaci snížení energetické náročnosti - tedy zateplení celé obálky, bude bonusem podporována i výměna zdroje tepla na tuhá fosilní paliva za jiný šetrnější zdroj: plynový kotel, kotel na peletky, tepelné čerpadlo nebo termické solární kolektory. Finanční podpora bude poskytována rovněž na zpracování projektové dokumentace a průkazu energetické náročnosti, který bude součástí posudku prokazujícího splnění parametrů pro přidělení dotace. Samostatná podpora instalace například obnovitelných zdrojů bez zateplení obálky (oblast podpory C v původním programu Zelená úsporám) nebude poskytována.

Program předpokládá poskytovat dotace ve třech hladinách:

- **Hladina 1** - snížení potřeby tepla na vytápění alespoň o 40 % - podpora 25 % z uznatelných nákladů
- **Hladina 2** - snížení potřeby tepla na vytápění alespoň o 50 % - podpora 35 % z uznatelných nákladů
- **Hladina 3** - snížení potřeby tepla na vytápění alespoň o 60 % - podpora 50 % z uznatelných nákladů
- Výstavba rodinného domu v pasivním standardu 400 tisíc korun
- Výstavba rodinného domu s téměř nulovou spotřebou energie 500 tisíc korun

Sledované parametry pro přidělení dotace:

U jednotlivých hladin podpory rekonstrukcí budou určeny hraniční hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla a měrné roční potřeby tepla na vytápění. Dosažení parametrů se bude dokládat odborným posudkem, jeho podobu a obsah bude definovat SFŽP. Jednou z částí posudku bude průkaz energetické náročnosti budovy pro původní a nový stav. Veškeré parametry obálky budovy a energetické náročnosti se budou určovat dle novely zákona 406/2000 Sb. a novely vyhlášky 148/2007 Sb. Osoby oprávněné zpracovat průkaz a posudek budou také definovány novelou jmenované vyhlášky

Finanční prostředky budou rozděleny v poměru 70 % ku 30 % ve prospěch objektů určených k bydlení, a to následujícím způsobem:

- 55 % rekonstrukce objektů k bydlení
- 15 % novostavby objektů k bydlení (pasivní domy, domy s téměř nulovou spotřebou energie)
- 24 % rekonstrukce objektů veřejných služeb
- 6 % novostavby objektů veřejných služeb

Žadatelé o dotaci mohou být:

- vlastníci rodinných a bytových domů, tzn. fyzické osoby
- společenství vlastníků bytových jednotek
- bytová družstva
- města a obce (včetně městských částí)
- podnikatelské subjekty
- případně další právnické osoby

O dotaci z programu Nová zelená úsporám lze žádat jak před realizací opatření tak po ní a uznány budou náklady na **opatření realizované po 1. lednu 2013**. Příjem žádostí o dotace bude zahájen v srpnu 2013.

Přínosy programu Nová Zelená Úsporám:

- klíčový prorůstový program pro českou ekonomiku
- rozhybání stavebnictví, návazně výroby, dopravy a služeb v jednotlivých regionech ČR
- racionální přístup k životnímu prostředí – ekologické = ekonomické pro občana i pro stát
- přinese úspory nákladů na vytápění pro občany
- přispěje ke zlepšení vzhledu měst a obcí

- zvýší kulturu bydlení
- výrazně podpoří lokální ekonomiku
- zvýší HDP státu
- zvýší zaměstnanost
- zvýší příjmy státního rozpočtu
- sníží energetickou závislost státu
- sníží emise skleníkových plynů

c) KOMUNÁLNÍ DOTACE

Jedná se o formu místních příspěvků jednotlivých měst.

[70], [71], [72], [73], [74], [75]

ZÁVĚR

Diplomová práce splnila stanovené cíle. Snižování energií je jednou z priorit Evropské unie, která prostřednictvím národní legislativy, čím dál více ovlivňuje naše stavebnictví. Cílem diplomové práce je poskytnout základní přehled o jednotlivých faktorech energetického hodnocení budov.

Tematicky rozdělené oddíly práce probírají možné přístupy k problematice. Prezentují ekologické (dopad vybraného druhu paliva na životní prostředí – část A) i ekonomické (například doba návratnosti – část C) faktory, které je nutné posoudit před realizací úsporných opatření. Komplexní přístup k budově při energetickém hodnocení je nezbytný k dosažení optimálního řešení.

V blízké době lze očekávat nárůst poptávky po odbornících v oboru energetického hodnocení budov. K jejich úspěšnému uplatnění je nutná znalost analytických, numerických, simulačních i empirických metod řešení problémů, znalost výpočetní metodiky, specializovaných programů a měřících přístrojů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

KNIŽNÍ PUBLIKACE A ČASOPISY:

- [1] KABELE, Karel a Karel KABELE. *Energetická náročnost budov v souvislostech s platnou legislativou ČR*. Vyd. 1. Praha: ARCH, 2008, 142 s., ISBN 978-80-86905-45-7.
- [2] DAHLSVEEN, Trond, Dušan PETRÁŠ a Jiří HIRŠ. *Energetický audit budov*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 295 s. ISBN 80-889-0586-9.
- [3] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [4] KABELE, Karel. Evropská směrnice o energetické náročnosti budov a energetické hodnocení budov. *Vytápění, větrání, instalace*. 2012, roč. 2012, č. 4, s. 173-176.
- [5] BUFKA, Aleš. Obnovitelné zdroje energie v domácnostech: statistika roku 2011. *Větrání, vytápění, instalace*. 2012, č. 5, s. 198-201.

INTERNETOVÉ ZDROJE:

- [6] Co je pasivní dům?. *Pasivní domy* [online]. © 2006-2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/co-je-pasivni-dum.html?chapter=definice-rozdeleni-podle-energeticke-narocnosti>
- [7] Průkaz energetické náročnosti budovy do 3 dnů. *Energetický průkaz ENB* [online]. 2008-2012 © [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.energeticke-prukazy.cz/energeticky-prukaz.php>
- [8] AKRMAN, Libor. Energetické štítky jsou povinné. Co to znamená pro stavebníky a realitní agentury?. *Probyznysinfo.ihned.cz - Řídím firmu - Provoz firmy* [online]. 19. 9. 2012, 19. 9. 2012 23:17 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://probyznysinfo.ihned.cz/c1-57552800-energeticke-stitky-jsou-povinne-co-to-znamená-pro-stavebniky-a-realitni-agentury>
- [9] Nástroj NKN. *NKN* [online]. © 2007 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/projects/nkn/>
- [10] RYŠAVÝ, Zdeněk. Software pro hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky č.148/2007 Sb. *TZB-info* [online]. 4.8.2008 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4996-software-pro-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-podle-vyhlasky-c-148-2007-sb>
- [11] Hodnocení energetické náročnosti budov. *PROTECH, spol. s r.o.* [online]. Copyright © 2013 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.protech.cz/produkty/hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov>

- [12] JIRÁSEK, Pavel. Implementace směrnice č. 2010/31/EU, o energetické náročnosti budov a novela zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií – II. díl. *TZB-info* [online]. 21.8.2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8954-implementace-smernice-c-2010-31-eu-o-energeticke-narocnosti-budov-a-novela-zakona-c-406-2000-sb-o-hospodareni-energii-ii-dil>
- [13] Klíčové indikátory ŽP ČR - energetika a průmysl. *ISSaR* [online]. [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1515>
- [14] Co je to financování pomocí EPC. *ENERGOPLAN s.r.o. - projektová a inženýrská kancelář* [online]. [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.energoplan.cz/stranky/co-je-dobre-vedet/co-je-to-financovani-pomoci-epc.htm>
- [15] BERANOVSKÝ, Jiří, Karel SRDEČNÝ a Jan TRUXA. Energetické audity - zákon a praxe. *TZB-info* [online]. 29.8.2001 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/643-energeticke-audity-zakon-a-praxe>
- [16] KOS, Michal. Solární systémy. *Zateplení budov* [online]. © Energeticky.cz, 2008 - 2009 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.energeticky.cz/62-solarni-systemy.html>
- [17] Obnovitelný zdroj energie. *Wikipedie* [online]. 8. 1. 2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%BD_zdroj_energie
- [18] KLECZEK, Josip. Slunce a jeho energie. *TZB-info* [online]. 27.4.2004 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [19] NEJEDLÝ, Petr. 5 iluzí o obnovitelných zdrojích (komentář). *Nazeleno.cz* [online]. 23. 10. 2008 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/nazeleno/plus/komentare-1/5-iluzi-o-obnovitelnych-zdrojich-komentar.aspx>
- [20] NEJEDLÝ, Petr. 5 iluzí o obnovitelných zdrojích – jsou opravdu čisté?. *Nazeleno.cz* [online]. 30. 10. 2008 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/nazeleno/plus/komentare-1/5-iluzi-o-obnovitelnych-zdrojich-jsou-opravdu-ciste.aspx>
- [21] NEJEDLÝ, Petr. 5 iluzí o obnovitelných zdrojích – nahradí uhlí a jádro?. *Nazeleno.cz* [online]. 06. 11. 2008 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/nazeleno/plus/komentare-1/5-iluzi-o-obnovitelnych-zdrojich-nahradi-uhli-a-jadro.aspx>
- [22] Zelená nebo šedá energie?: Otázky udržitelnosti produkce biopaliv. [online]. [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/zelseden.pdf>
- [23] NOSKIEVIČ, Pavel a Jaroslav KAMINSKÝ. Fakta a mýty o obnovitelných zdrojích (I). *TZB-info* [online]. 8.4.2004 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1925-fakta-a-myty-o-obnovitelnych-zdrojich-i>

- [24] Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. *TZB-info* [online]. duben 2012 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva>
- [25] Vše podstatné o českém trhu s elektřinou na jednom místě. ENERGOSTAT. *Energostat* [online]. ©2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://energostat.cz/elektrina.html>
- [26] Groc2010 kap11 cz. [online]. [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr10cz/kap11.html>
- [27] Znečištění ovzduší při inverzi. *In-počasi* [online]. 16.11.2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/znecesteni-ovzdusi-inverze/>
- [28] Nový zákon o ochraně ovzduší vstupuje v účinnost 1. září. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 30.08.2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/news_120831_ochrana_ovzdusi
- [29] PONCAROVÁ, Jana. 15 let starý kotel novým požadavkům nevyhoví. Pokuta 20 000 korun. *Finance.cz* [online]. 19.10.2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.finance.cz/zpravy/finance/367959-15-let-stary-kotel-novym-pozadavkum-nevyhovi-pokuta-20-000-korun/>
- [30] WITTCHEN, Kim B, Kjeld JOHNSEN a Karl GRAU. User's Guide. *BSim* [online]. 17 januar 2011 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.sbi.dk/download/bsim/bsim02uk.chm>
- [31] Nexo:Sistema Solar. *Wikipédia, a enciclopédia livre* [online]. 16h56min de 9 de setembro de 2011 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Sistema_Solar
- [32] Jádro Slunce. *Wikipedie* [online]. 30. 11. 2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/J%C3%A1dro_Slunce
- [33] Slunce. *Wikipedie* [online]. 8. 1. 2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce>
- [34] Solar Energy in Earth's Atmosphere. *Windows to the Universe* [online]. September 1, 2010 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/earth_atmosph_radiation_budget.html
- [35] SOLÁRNÍ ENERGIE. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k12.htm>
- [36] What type of energy does the sun produce from nuclear fusion. *Answers - The Most Trusted Place for Answering Life's Questions* [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://wiki.answers.com/Q/What_type_of_energy_does_the_sun_produce_from_nuclear_fusion

- [37] Sluneční energie. *Wikipedie* [online]. 12. 11. 2012 v 13:49 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie
- [38] Když zatopí slunce.... *21století.cz* [online]. 20.1.2006 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://21století.cz/blog/2006/01/20/kdyz-zatopi-slunce/>
- [39] BLAHOUTOVÁ, Hana. Solární energie a její využití. *Zelené zprávy* [online]. 13.10.2011 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.zelenezpravy.cz/solarni-energie-a-jeji-vyuziti/>
- [40] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, *Transformační technologie*, 2006-09, [date of last update 2012-01]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [41] SOLÁRNÍ ENERGIE. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/kap2.htm>
- [42] Trombeho stěna na domě v Netunicích nominována na ocenění. *NICM* [online]. 3.8.2010, 24 Leden, 2012 - 16:14 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.nicm.cz/trombeho-stena-na-dome-v-netunicich-nominovana-na-oceneni>
- [43] Trombeho stěna vytopí dům a ohřeje i vodu. *EnergiePlus+ úspory energie* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://eon.energieplus.cz/energy-globe/trombeho-stena-vytopi-dum-a-ohreje-i-vodu>
- [44] CHIXOY. Sluneční energie. *Vítejte na Zemi* [online]. 2011 © [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=slunecni_energie&site=energie
- [45] Solární panely a kolektory Bramac do krytiny. *OBB - pro Vaši střechu to nejlepší* [online]. Copyright 2000-2013 © [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.obb.cz/produkty/solarni-kolektory-bramac/>
- [46] MATUŠKA, Tomáš. Solární kolektory. In: [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: http://solab.fs.cvut.cz/Podklady/solarni_kolektory.pdf
- [47] *Solární kolektory* [online]. © 2009-2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/AZE/P2-solarni_kolektory.pdf. ČVUT v Praze.
- [48] Úvod do termických systémů. *CNE Czech Nature Energy, a. s.* [online]. 07.01.2013 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/solarni-ohrev-vody/uvod-do-termickych-systemu/>
- [49] Solární ohřev bazénové vody (levně). *Bazény - akce, fotografie, info* [online]. 13 Březen 2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://nej-bazeny.cz/solarni-ohrev-bazenove-vody-levne>

- [50] NEO-FIP. *Bazén-shop Jiří PACLT* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.bazen-shop.cz/katalog/87/neo-fip/>
- [51] MATUŠKA, Tomáš. Účinnost vakuových trubkových solárních kolektorů (I). *TZB-info* [online]. 9.6.2008 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4903-ucinnost-vakuovych-trubkovych-solarnich-kolektoru-i>
- [52] Vakuový sluneční kolektor Vitosol 200. *TZB-info* [online]. 20.10.2000 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/348-vakuovy-slunecni-kolektor-vitosol-200>
- [53] Aktuality / Solární systémy. *Tempner - solární systémy* [online]. © 2011 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tempner.eu/aktuality.html>
- [54] Solární kolektor. *Wikipedie* [online]. 8. 1. 2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sol%C3%A1rn%C3%AD_kolektor#Typy_fototermick.C3.BDch_sol.C3.A1rn.C3.ADch_kolektor.C5.AF
- [55] Solární panely, kolektory. *Quantum a.s.* [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.quantumas.cz/solarni-kolektor/#>
- [56] BRYCHTA, Karel a Martin STRAKA. *Solární energie a doprava: Vývoj využívání sluneční energie* [online]. [11-2002] [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni/27_SP_07.PDF
- [57] BUFKA, Aleš. Realizace solárních zařízení v ČR: přehled využívání solárních kolektorů v letech 1977-2007 statistika solárních systémů. In: *Seminář: „Využití sluneční energie v budovách“* [online]. Praha, září 2008 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://www.csvts.cz/csse/Udalosti/2008/ForArch/8_Bufka.pdf
- [58] PETERKA, Jaroslav. Solární historie v ČR a SR. *TZB-info* [online]. 20.4.2004 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1940-solarni-historie-v-cr-a-sr>
- [59] ODBOR 32300. Obnovitelné zdroje energie v roce 2011: Obnovitelné zdroje energie. *MPO* [online]. 4.12.2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument118407.html>
- [60] Solární záření. *Neosolar.cz* [online]. [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://www.neosolar.cz/solarni_systemy/solarni-zareni
- [61] ŠOUREK, Bořivoj. Vznik a vývoj sluneční energie: Sluneční energie v ČR. In: [online]. ČVUT v Praze [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://solab.fs.cvut.cz/Podklady/SlunecniEnergie.pdf>
- [62] Solární vytápění kapalinové | Sluneční kolektory. TOPENÁŘI EKOMPLEX. [online]. [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/kapalinove.php>
- [63] Vakuové trubicové sluneční kolektory. *Unikosol* [online]. Copyright © 2009 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://unikonsol.com/unisolarenergy/obecn/58-vakuove-trubicove-sluneni-kolektory.html>

- [64] Sluneční kolektory - přehled trhu. *TZB-info* [online]. 5.3.2004 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1862-slunecni-kolektory-prehled-trhu>
- [65] MATUŠKA, Tomáš. Trendy v solární tepelné technice (VI) - Solární chlazení. *TZB-info* [online]. 19.12.2005 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2952-trendy-v-solarni-tepelne-technice-vi-solarni-chlazení>
- [66] Solární termické kolektory. *Powertank.cz: Česká solární s.r.o.* [online]. Copyright © 2011 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.ceska-solarni.cz/powertank/solarni-termicke-kolektory.php>
- [67] KRAMOLIŠ, Petr. Velkoplošné solární systémy. *TZB-info* [online]. [2005] [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1949-velkoplosne-solarni-systemy>
- [68] Solární soustavy. *Československá společnost pro sluneční energii* [online]. copyright (c) 2010-2013 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/solarni-soustavy>
- [69] Solární systémy - schémata sestav. *EKIM MORAVIA - tepelná čerpadla, rekuperace, solární panely, kotle* [online]. © 2011 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.ekimmoravia.cz/solarni-panely-schema.html>
- [70] Popis programu. *Zelená úsporám* [online]. Copyright © 2009 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.zelenausporam.cz/sekce/470/popis-programu/>
- [71] Nové zprávy o programu Zelená úsporám jsou očekávány v dubnu. *TZB-info* [online]. 2.4.2011 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/zelena-usporam-na-tzb-info/7308-nove-zpravy-o-programu-zelena-usporam-jsou-ocekavany-v-dubnu>
- [72] Aktuality. *Zelená úsporám* [online]. Copyright © 2009 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.zelenausporam.cz/clanek/193/1213/nova-zelena-usporam-miliardy-na-uspory-pro-ceske-domacnosti/>
- [73] DANIEL, David. Solární energie: Efektivní ohřev vody nejen v bazénu. *Nazeleno.cz* [online]. 18. 05. 2010 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/solarni-energie-efektivni-ohrev-vody-nejen-v-bazenu.aspx>
- [74] Spočtete si: Kdy se vyplatí solární kolektory?. *Nazeleno.cz* [online]. 09. 08. 2010 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/spoctete-si-kdy-se-vyplati-solarni-kolektory.aspx>
- [75] Nová zelená úsporám startuje v srpnu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 27.11.2012 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/news_121127_Nov%C3%A1_zelen%C3%A1_%C3%BAspor%C3%A1m
- [76] MATUŠKA, Tomáš. Dimenzování solárních soustav (I). *TZB-info* [online]. 2.7.2007 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4214-dimenzovani-solarnich-soustav-i>

- [77] MATUŠKA, Tomáš. Dimenzování solárních soustav (II). *TZB-info* [online]. 16.7.2007 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4238-dimenzovani-solarnich-soustav-ii>
- [78] MATUŠKA, Tomáš. Dimenzování solárních soustav (III). *TZB-info* [online]. 30.7.2007 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4265-dimenzovani-solarnich-soustav-iii>
- [79] MATUŠKA, Tomáš. Dimenzování solárních soustav (IV). *TZB-info* [online]. 6.8.2007 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4277-dimenzovani-solarnich-soustav-iv>
- [80] EPC (Energy Performance Contracting). *TZB-info* [online]. [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/epc-energy-performance-contracting>
- [81] MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. *TZB-info* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [82] RŮŽIČKOVÁ, Gisela. Efektivní využití sluneční energie na vytápění i ohřev vody v domácnosti. *Novinky.cz* [online]. pátek 10. srpna 2012, 11:03 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/bydleni/jak-na-to/275512-efektivni-vyuziti-slunecni-energie-na-vytapeni-i-ohrev-vody-v-domacnosti.html>
- [83] Drain Back system. *ZEN Renewables: Energizing your future* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.zen-international.com/technology/solar-thermal-energy/drain-back-system/>

STUDIJNÍ PODKLADY:

- [84] HORÁK, Petr. *BT54 – Energetické hodnocení budov: 1. Metody energetického hodnocení budov, legislativní požadavky*. [Přednáška]. VUT v Brně. [cit. 2013-01-10].
- [85] POČINKOVÁ, Marcela. *Umístění kolektorového pole a vybraná schémata* [Přednáška]. VUT v Brně, 2011 [cit. 10.1.2013]
- [86] POČINKOVÁ, Marcela. *Dimenzování solárních systémů* [Přednáška]. VUT v Brně, 2011 [cit. 10.1.2013]
- [87] KORYTÁROVÁ, Jana. *Ekonomika investic: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*. Brno, 2006.

LEGISLATIVA:

- zákon č.17/1992 Sb., o životním prostředí
- zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií
- zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie
- zákon č. 177/2006 Sb. kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů
- zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší
- zákon č. 318/2012 Sb., kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů
- vyhláška č. 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov
- vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku
- evropská směrnice 2010/31/EU

NORMY:

- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky (2011)
- ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění (2009)

SOFTWARE:

- Archicad 13 (studentská verze)
- BSim 2010
- MS Word 2007
- MS Excel 2007
- Teplo 2010 © Svoboda software
- Zoner Photo Studio 14 PRO

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Celková konečná spotřeba energie v ČR (členění dle sektorů) [13]	37
Graf 2: Znamé zásoby energetických zdrojů [roky], při současném tempu těžby [3]	50
Graf 3: Vývoj celosvětové spotřeby primárních energetických zdrojů [3]	50
Graf 4: Podíl OZE na hrubé spotřebě energie (2006), mezinárodní srovnání [13]	52
Graf 5: Podíl energie vyrobené z OZE na celkových PEZ, stanovený cíl pro rok 2010 byl 6 % [13]	54
Graf 6: Výroba tepla z obnovitelných zdrojů energie a z odpadů, ČR v roce 2011 [13]	55
Graf 7: Výroba elektřiny z OZE a z odpadů, ČR v roce 2011 [13]	55
Graf 8: Vývoj struktury tuzemské spotřeby prvotních energetických zdrojů [84]	56
Graf 9: Struktura primárních energetických zdrojů v ČR v roce 2009 [13]	56
Graf 10: Výroba elektřiny v ČR za rok 2009 [13]	57
Graf 11: Výroba elektřiny v ČR za rok 2010 [13]	57
Graf 12: Instalovaný výkon v ČR za rok 2010, celkový instalovaný výkon je 20 073 MW [25]	57
Graf 13: Počet domácností, dle způsobu vytápění v ČR za období 1991 – 2010 [13]	59
Graf 14: Způsob vytápění v domácnostech ČR během roku 2010 [13]	59
Graf 15: Náklady na vytápění za rok, platnost cen k 1. 1. 2012 [Kč včetně DPH] [24]	60
Graf 16: Zimní den (čtvrtek 3.1.)	92
Graf 17: Letní den (úterý 30.7.)	93
Graf 18: Zimní týden (1. týden)	94
Graf 19: Letní týden (29. týden)	95
Graf 20: Zimní měsíc (leden)	96
Graf 21: Letní měsíc (srpen)	97
Graf 22: Celý rok 2010	98
Graf 24: Celková roční tepelná bilance (2010) [kWh]	99
Graf 23: Potřeba energie na vytápění v průběhu roku	101
Graf 25: Porovnání účinností plochého a trubkového vakuového kolektoru [55]	129
Graf 26: Možnosti využití solárních kolektorů [47]	132
Graf 27: Vývoj dodávek solárních kolektorů na český trh [59]	136
Graf 28: Vývoj plochy činných solárních kolektorů [59]	137
Graf 29: Solární kolektory v Evropě (údaje z roku 2008) [47]	137
Graf 30: Očekávaný potenciál výroby tepla z OZE v ČR [47]	138
Graf 31: Optimální sklony slunečních kolektorů s ohledem na roční období [48]	142
Graf 32: Teoretické množství energie dopadající na plochu v jednotlivých měsících [61] ...	143
Graf 33: Průběh slunečního ozáření G_T při jasném dni [76]	153
Graf 34: Účinnost solárního kolektoru [47]	155
Graf 35: Letní pokles (bytové domy) potřeby tepla k přípravě TV [77]	161
Graf 36: Průběh potřeby tepla na přípravu TV a vytápění a solárních zisků [78]	165
Graf 37: Příklad roční bilance solární soustavy pro přípravu TV, zdroj: vlastní práce	175
Graf 38: Množství vyrobeného tepla během jednotlivých dnů experimentálního měření	181
Graf 39: Výkon solárního kolektoru v reálných podmínkách [47]	182
Graf 40: Diskontovaná doba návratnosti investice	186
Graf 41: Diskontovaná doba návratnosti investice (půjčka)	189
Graf 42: Princip fungování služby EPC [80]	190
Graf 43: Porovnání cen vybraných druhů solárních kolektorů [74]	192

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Energie dodaná na systémovou hranici budovy [1]	16
Obrázek 2: Stará (nahore) a pracovní verze nové (dole) podoby Průkazu energetické náročnosti budov (PENB) podle vyhlášky č. 148/2007 Sb. [7], [8]	28
Obrázek 3: Primární spotřeba energie vztažená k celosvětovému průměru [3].....	50
Obrázek 4: Současné postavení OZE ve struktuře spotřeby energie [23]	54
Obrázek 5: Spotřeba paliv malých zdrojů (REZZO 3), za období 1992–2010 [26]	60
Obrázek 6: Znečištění ovzduší poletavými částicemi (PM ₁₀) dne 15. 11. 2012 - nejvyšší hodnoty jsou na Ostravsku a Karvinsku, minulý rok byla v listopadu situace horší [27]	61
Obrázek 7: Prostorová diskretizace konstrukce [30]	70
Obrázek 8: Sportovně rekreační areál na Veselíčku v Brušperku.....	74
Obrázek 9: Areál z ptačího pohledu, zdroj: mapy Google.....	75
Obrázek 10: Poloha areálu v městě Brušperk (10 km jižně od Ostravy), zdroj: mapy Google	75
Obrázek 11: Řízení výkonu dřevosplyňujícího kotle na základě venkovní teploty	88
Obrázek 12: Intenzita infiltrace v průběhu dne [%].....	89
Obrázek 13: Obsazení objektu lidmi v průběhu dne PO-PÁ (vlevo) a SO-NE (vpravo)	89
Obrázek 14: Využívání zařízení v průběhu dne PO-PÁ (vlevo) a SO-NE (vpravo).....	90
Obrázek 15: Řízení výkonu dřevosplyňujícího kotle na základě venkovní teploty	90
Obrázek 16: PENB uvádí podíl jednotlivých energetických systémů na celkové spotřebě budovy, zdroj: vlastní práce.....	103
Obrázek 17: Sluneční soustava [31]	109
Obrázek 18: Schéma vnitřní stavby Slunce [32]	110
Obrázek 19: Intenzita slunečního záření – svět (černé body mají potenciál pokryt solárními panely s osmiprocentní účinností poptávku světa po energii) [37].....	112
Obrázek 20: Pohlcování různých vlnových délek zemskou atmosférou [34]	112
Obrázek 21: Koloběh sluneční energie na Zemi [34]	113
Obrázek 22: Přeměna slunečního záření v potřebnou formu energie - přímo (vlnovka) nebo nepřímo (slabé šipky) [17].....	115
Obrázek 23: Princip fungování Trombeho stěny [42], [43].....	117
Obrázek 24: Využití sluneční energie solárním kolektorem [44]	118
Obrázek 25: Využití sluneční energie fotovoltaickým článkem [41]	118
Obrázek 26: Princip solárního kolektoru [45]	119
Obrázek 27: Vzduchový kolektor [47].....	120
Obrázek 28: Použití vzduchového kolektoru: Integrace do střešního pláště (vlevo) a přehřev vzduchu ve VZT (vpravo) [47].....	120
Obrázek 29: Možnosti umístění solárních kolektorů [85]	121
Obrázek 30: Mobilní „solární pyramida“ a klasické kolektory pro ohřev bazénové vody [47], [49], [50]	122
Obrázek 31: Technické a konstrukční řešení tvaru absorpční desky [46].....	123
Obrázek 32: Geometrické uspořádání trubkového registru v desce absorbéru [46]	123
Obrázek 33: Prvky plochého selektivního kolektoru [48].....	124
Obrázek 34: Plochý atmosférický a vakuový kolektor, vpravo pak opěrky kvůli zatížení krycího skla vakuem [47], [81].....	124
Obrázek 35: Jednostěnná vakuová trubka s plochým absorbérem (vlevo) a dvojitěnná vakuová trubka Sydney s válcovým absorbérem a reflektorem (vpravo) [47].....	125

Obrázek 36: Princip tepelné trubice (nahore) a její napojení (dole) [47]	125
Obrázek 37: Systémy protékání: U-pipe (vlevo) a Heat pipe (vpravo) [51]	126
Obrázek 38: Praktické provedení jednostěnného trubkového kolektoru: U-smyčka (vlevo) a tepelná trubice (vpravo) [51].....	126
Obrázek 39: Příčný řez dvoustěnným trubkovým vakuovým kolektorem [51].....	127
Obrázek 40: Podélný řez dvoustěnným trubkovým vakuovým kolektorem [51]	127
Obrázek 41: Vlastní vakuová Sydney trubka (vlevo) U-smyčka z měděného potrubí s hliníkovou lamelou (uprostřed) a napojení U-trubky (vpravo) [51], [52].....	127
Obrázek 42: Trubkový vakuový kolektor [53]	128
Obrázek 43: Problematické tvoření námrazy a akumulace sněhu na trubkových kolektorech zapříčiněné vakuovou izolací [47]	128
Obrázek 44: Koncentrující kolektory: a) parabolické zrcadlo; b) solární věž; c) koncentrace paprsků pomocí čočky; d) koncentrace paprsků pomocí Fresnelovy čočky. 1 přímé sluneční paprsky; 2 odražené sluneční paprsky; 3 ohnisko (sběrač, kaverna); 4 natáčivá zrcadla; 5 kaverna; 6 sloup [40]	130
Obrázek 45: Příklady využití koncentračních solárních kolektorů [47]	131
Obrázek 46: Trubkový Sydney kolektor s reflektorem (vlevo), solární kolektor s lineární Fresnelovou čočkou (vpravo) [46], [47].....	131
Obrázek 47: Nejstarší dosud funkční systém v Herbertově na Šumavě je v provozu od roku 1982 (koncentračních kolektory) [57]	134
Obrázek 48: Jeden z prvních československých koncentračních kolektorů v chropýňském závodě Státního statku Kroměříž v den exkurze, realizace před rokem 1984, konstrukce umožňovala samonatáčení za Sluncem [58].....	135
Obrázek 49: Globální horizontální sluneční záření – Evropa [37]	139
Obrázek 50: Množství solárního záření dopadajícího za rok kolmo na metr čtvereční povrchu země při jasné bezoblačné obloze [37]	139
Obrázek 51: Roční průměrná doba slunečního záření [h] (vlevo) a roční průměrný počet bezoblačných dní (vpravo) [48]	140
Obrázek 52: Přibližná intenzita slunečního záření v závislosti na oblačnosti a mlze [60]	141
Obrázek 53: Vhodná orientace a sklon solárního kolektoru [41].....	142
Obrázek 54: Míra ročního ozáření v závislosti na sklonu a orientaci kolektoru [60].....	143
Obrázek 55: Princip fungování systému Drain-Back [83].....	147
Obrázek 56: Soustava pro ohřev bazénu [69].....	149
Obrázek 57: Soustava pro přípravu TV a vytápění [69]	149
Obrázek 58: Soustava pro přípravu TV [69].....	150
Obrázek 59: Soustava napojená ke stávajícímu ohřevu [69]	150
Obrázek 60: Soustava s nasměrováním kolektorů východ – západ [69]	151
Obrázek 61: Plocha solárního kolektoru [47]	157
Obrázek 62: Podíl plochy apertury na hrubé ploše kolektoru [47].....	157
Obrázek 63: Schéma provozních podmínek vnějšího bazénu [86]	166
Obrázek 64: Schéma provozních podmínek vnitřního bazénu [86].....	171
Obrázek 65: Schéma upevnění ultrazvukových snímačů, zdroj: manuál přístroje	176
Obrázek 66: Umístění pyranometru na solárních kolektorech	179
Obrázek 67: Ověřování správné funkčnosti ultrazvukového průtokoměru (vlevo) a instalace na potrubí v měřeně (vpravo)	179
Obrázek 68: Ranní pohled od jihu na solární kolektory (vlevo), chráněné čidlo externí teploty (vpravo)	180
Obrázek 69: Měřicí ústředna Ahlborn (vlevo) a technická místnost (vpravo).....	180

Obrázek 70: Proces řešení projektu metodou EPC [80]	191
Obrázek 71: Logo nového programu [75].....	194

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Klasifikační třídy EN [kWh/m ² rok ⁻¹] pro hodnocení ENB [1].....	23
Tabulka 2: Pravidla pro volbu třídy EN [1].....	25
Tabulka 3: Klasifikační třídy EN na základě ukazatele CI pro hodnocení ENB [1].....	26
Tabulka 4: Přehled výstavby podle energetické náročnosti [6]	26
Tabulka 5: Rozdíly mezi studií proveditelnosti a energetickým auditem [15]	47
Tabulka 6: Celková roční tepelná bilance (2010)	99
Tabulka 7: Vyhodnocení sledovaných veličin.....	100
Tabulka 8: Porovnání plochého a trubkového vakuového kolektoru [54].....	129
Tabulka 9: Výroba tepla z OZE v roce 2011 [59]	138
Tabulka 10: Přibližná intenzita slunečního záření v závislosti na oblačnosti a mlze [61].....	141
Tabulka 11: Porovnání soustav z hlediska průtoku [68].....	146
Tabulka 12: Empirická pravidla pro návrh solárních komponent.....	147
Tabulka 13: „Typické“ konstanty křivky účinnosti [47]	156
Tabulka 14: Velikost přírážky na tepelné ztráty podle typu aplikace SK [86]	158
Tabulka 15: Denní potřeba teplé vody podle typu objektu [86]	160
Tabulka 16: Orientační hodnoty návrhu kolektorové plochy pro ohřev bazénové vody [79]	173
Tabulka 17: Teplo vyrobené SK během jednotlivých dnů experimentálního měření	181
Tabulka 18: Účinnost SK během jednotlivých dnů experimentálního měření	181
Tabulka 19: Výpočet doby návratnosti investice [Kč]	184
Tabulka 20: Výpočet doby návratnosti investice [Kč]	187
Tabulka 21: Dotace z programu Zelená úsporám na solární systémy [73]	194

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AAU	jednotka přiděleného množství (Assigned Amount Unit)
CF	peněžní toky (Cash Flow)
CZT	centrální zdroj tepla
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	česká technická norma
DIN	německá národní norma (Deutsche Industrie-Norm)
DZT	druhotný zdroj energie
EA	energetický audit
EK	Evropská komise
EP _A	měrná roční spotřeba energie budovy
EP	celková spotřeba dodané energie
EPC	financování energeticky úsporných opatření z očekávaných budoucích úspor se zárukou (Energy Performance Contracting)
EHB	energetické hodnocení budov
EN	energetická náročnost
EN	evropská norma
ENB	energetická náročnost budov
ENCON	proces zachování energie (ENergy CONservation)
EU	Evropská unie
ITER	mezinárodní termonukleární experimentální reaktor (International Thermonuclear Experimental Reactor)
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
LED	dioda emitující světlo (Light-Emitting Diode)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NKN	Národní kalkulační nástroj
NT	nízký tarif (elektrické energie)
OPEC	Organizace států vyvážejících ropu (Organization of the Petroleum Exporting Countries)
OZE	obnovitelné zdroje energie
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
PEZ	primární (také prvotní) energetický zdroj
SEK	Státní energetická koncepce
SK	solární kolektor
SW	počítačový program (Software)
TV	teplá voda
TZB	technické zařízení budov
U _N	normou požadovaný součinitel prostupu tepla
VZT	vzduchotechnika
ZP	zemní plyn
ŽP	životní prostředí

SEZNAM PŘÍLOH

- **PŘÍLOHA P1:** Schéma zapojení technické místnosti
- **PŘÍLOHA P2:** Graf č.1 – Výsledky měření soustavy solárních kolektorů 10.-12. 9. 2012
- **PŘÍLOHA P3:** Graf č.2 – Průtok v solárních panelech 10.-12. 9. 2012
- **PŘÍLOHA P4:** Graf č.3 – Počasí
- **PŘÍLOHA P5:** Graf č.4 – Porovnání odporových drátů a čidel systému Comet
- **PŘÍLOHA P6:** Výkresová dokumentace zkoumaného objektu