

Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.,
Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Stínění fasádních solárních kolektorů budovami



Ústav techniky prostředí

Shadow Casting on Facade Solar Collectors by Buildings

Recenzent
Ing. Zdeněk Lerl

Aplikace solárních kolektorů konstrukčně vestavěných do fasád mají velký potenciál ve výstavbě a rekonstrukcích obytných budov pro soustavy přípravy teplé vody. Integrace solárního kolektoru do svislé obvodové konstrukce budovy přináší řadu výhod (vyšší účinnost kolektorů, nahrazení části fasády energeticky aktivním prvkem, výrazně nižší četnost extrémních stagnačních podmínek, vizuálně přijatelné řešení) i problematických aspektů (nižší dopadající energie během roku, vliv stávajícího nebo budoucího stínění). Stínění fasádních kolektorů blízkými sousedními budovami (stálé stínění) nebo vzrostlou zelení (proměnlivé stínění) může výrazně ovlivnit celkové energetické zisky navržené solární soustavy. V analýze stínění fasádních kolektorů se autoři zabývají vlivem vzdálenosti a výšky okolních budov na roční příjem sluneční energie fasádou budovy umístěné ve větším souboru budov. Jako případové studie jsou vybrány tři typické soubory obytných budov v Praze: sídliště Barrandov, sídliště Chodov a centrální část města (Vinohrady).

Klíčová slova: fasádní solární kolektor, stínění solárních kolektorů, potřeba tepla

The applications of built in facades solar collectors have a great potential at the construction and reconstructions of residential buildings for the warm water heating systems. The integration of solar collector in the vertical peripheral building structure brings a number of advantages (higher collector affectivity, replacing the facade part by energy active element, markedly lower frequency of extreme stagnation conditions, visually acceptable solution) and problematic aspects (lower energy fall in the course of the year, influence of existing or future shading). The facade collectors shading by close neighbouring buildings (constant shading) or by high-grown green vegetation (variable shading) may markedly influence the total energy gains of the designed solar system. In the facade collectors shading analysis the authors deal with the influence of the distance and height of surrounding buildings on the annual earnings of solar energy by the facade of the building located in larger group of buildings. As a case study three typical groups of residential buildings in Prague were chosen; Barrandov housing estate, Chodov housing estate and central town part (Vinohrady).

Key words: facade solar collector, shielding solar collectors, heat demand

ÚVOD

Solární soustavy pro přípravu teplé vody (TV) a případné přitápění (kombinované solární soustavy) nacházejí stále větší uplatnění v moderních rodinných domech. S ohledem na podporu v rámci evropských operačních programů pro využití obnovitelných zdrojů energie cílených mj. na bytová družstva a společenství vlastníků lze očekávat výrazný rozvoj solárních soustav ve výstavbě a v rekonstrukcích bytových domů současných městských sídlišť.

Umísťování solárních kolektorů na bytových domech vykazuje řadu aspektů, s nimiž projektant musí počítat. Na jedné straně bývá problematické umístit potřebnou plochu kolektorů na plochu střechu bytového domu. Časté jsou kolize se zástavbou na střeše, např. strojovny výtahů, zakončení VZT soustav nad střechou, zařízení komunikačních sítí GSM, WiFi, apod. Kolektorové pole na ploché střeše navíc netvoří kompaktní součást budovy, může vzhledově rušit a často je tak architektem odmítnuta solární soustava jako celek. Na druhé straně, solární soustava pro přípravu TV v bytovém domě vykazuje v letním období výrazné přebytky tepla, které nelze nijak využít a způsobují stagnační chování kolektorů. Projevuje se přehříváním kolektorů, tvorbou páry, a jejím pronikáním do rozvodů soustav a možnou degradací prvků při nesprávném návrhu soustavy. Ještě výraznější jsou přebytky u kombinovaných solárních soustav s přitápěním bytových objektů.

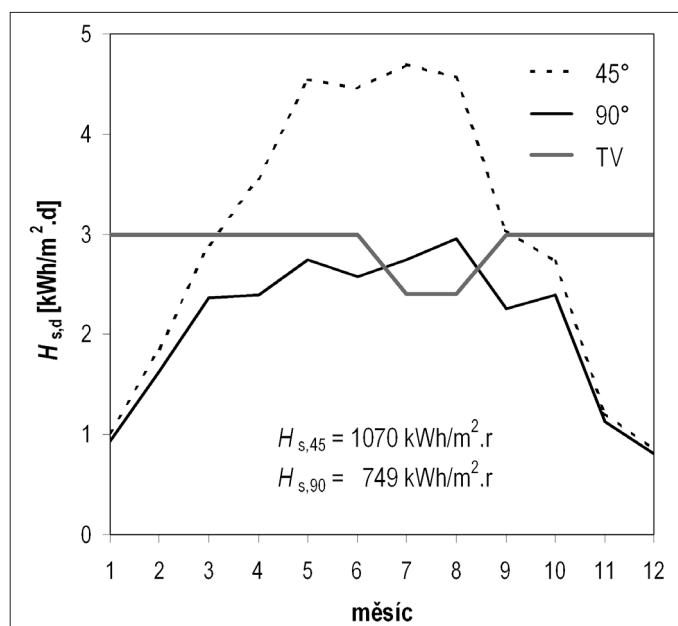
Z výše uvedených důvodů byly detailně zkoumány možnosti integrace solárních kolektorů do obálky budovy, především do její fasády [1, 2]. Chování solárních kolektorů bylo analyzováno jak z hlediska využití solárních zisků a pokrytí energetických potřeb soustav pro přípravu TV a kombinovaných soustav, tak z hlediska interakce fasádních kolektorů s vnitřním prostředím budovy (pasivní zisky, přehřívání). Při integraci solárních kolektorů do fasády u soustav pro přípravu TV je nutné uvažovat zhruba

o 30 % větší plochu kolektorů pro dosažení stejného solárního podílu (60 %) než při instalaci na střeše pod optimálním sklonem. U kombinovaných soustav (přítápění), případně soustav pro přípravu TV s vyšším solárním podílem (70 %) jsou potřebné plochy kolektorů stejné. Výraznou výhodou použití fasádních kolektorů je však snížení četnosti a hladiny stagnačních podmínek v soustavě při rovnoměrnějším rozložení solárních zisků během roku (nižší zisky v létě, vyšší v zimě) oproti tradičně optimálnímu sklonu 45°.

Analýzy chování fasádních solárních kolektorů a soustav zpravidla vycházejí z ideální jižní orientace bez vlivu stínění okolních budov. Při aplikaci fasádních kolektorů v prostředí městských sídlišť však může nevhodné stínění výrazně ovlivnit celkové energetické zisky a ekonomické parametry navržené solární soustavy.

FASÁDNÍ SOLÁRNÍ KOLEKTORY

Integrace solárních kolektorů do fasády přináší několik základních výhod v porovnání s kolektory instalovanými odděleně mimo obálku budovy (před obálkou, na nosné konstrukci na skloněné nebo rovné střeše). Kromě základní funkce solárního kolektoru slouží fasádní kolektor i jako ochranná vrstva fasády před atmosférickými vlivy a částečně zlepšuje tepelné vlastnosti stavební konstrukce budovy vzhledem k pasivním tepelným ziskům od kolektoru v otopném období. Kromě toho je fasádní kolektor esteticky přijatelným řešením, zatímco kolektorové pole instalované na ploché střeše je často cizorodým prvkem a vytváří průmyslový vzhled budovy. Fasádní solární kolektor může být s konstrukcí obálky budovy buď přímo tepelně svázan (přímá, kontaktní integrace) nebo od konstrukce tepelně oddělen vzduchovou mezerou. Výhodou solárního kolektoru tepelně svázaného s fasádou je vyšší účinnost kolektoru vlivem nižší tepelné ztráty.



Obr. 1 Roční průběh denních dávek celkového slunečního záření na různé skloněné plochy (TRY Praha)

V zeměpisných podmínkách území ČR maximální množství sluneční energie za rok dopadá na plochu s jižní orientací a sklonem mezi 35 a 45°. V případě fasádních solárních kolektorů se sklonem 90° je dopadající sluneční energie za rok (roční dávka) o cca 30 % nižší. Na obr. 1 je uveden roční průběh sluneční energie dopadající na 1 m² plochy kolektoru za den pro případ 45° (optimální sklon kolektorů) a 90° (fasádní kolektory).

Porovnání průběhů ukazuje velký rozdíl mezi letní špičkou a poklesem v chladnější části roku v případě klasického umístění kolektorů na obytných budovách (plochá střecha a konstrukce se sklonem 45°) a relativně rovnoměrný profil denních dávek slunečního záření v průběhu roku u fasádních kolektorů více odpovídající přibližně konstantnímu průběhu spotřeby teplé vody (TV) v obytných budovách (letní pokles potřeby tepla pro ohřev TV je způsoben obdobím prázdnin a dovolených). Rovnoměrnější průběh solárních zisků umožňuje návrh solárních soustav s vysokým solárním podílem (nad 60 %) bez výrazného zvýšení četnosti stagnačních period v letním období jak je běžné u solárních soustav s optimálním sklonem 45° při stejném solárním podílu.

PROBLEMATIKA STÍNĚNÍ

Solární kolektory vestavěné do svislé obálky budov v prostředí městské zástavby se mohou potýkat s problémy se zajištěním dostatečného přístupu slunečního záření vlivem stávajícího stínění okolními objekty či potenciálního stínění objekty postavenými v budoucnosti. Problematika možného stínění by měla být uvažována již v rané fázi projektu a koordinována s urbanistickým plánováním okolí instalace, aby byl garantován přístup slunečního záření na fasády s kolektory prostřednictvím vztahů mezi vzdáleností jednotlivých objektů a jejich výškou, orientací ulic a překážek tvořících stíny (umělé, přirozené). Vyloučeny by měly být případy, kdy solární instalace nemůže být realizována vzhledem k nevhodným parametrům (problémy stínění) či dokonce případy, kdy již realizovaná instalace je znehodnocena následným urbanistickým rozvojem lokality [3].

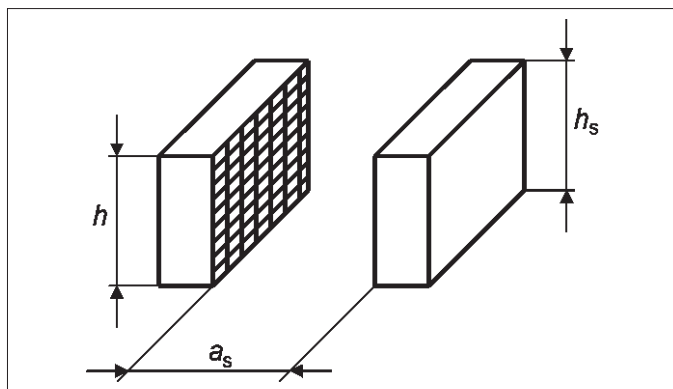
Omezení sluneční energie dopadající na kolektory stálým stíněním (sousední budovy) nebo proměnlivým stíněním (vzrostlá zeleň, stromy) kriticky ovlivňuje energetickou bilanci celé solární soustavy. Problém stínění fasád je výraznější v městských centrech a husté sídlištní zástavbě vzhledem k vysoké koncentraci vysokých budov než u předměstských lokalit se zá-

stavbou nízkopodlažních rodinných domů. V analýze stínění byla proto věnována pozornost především bytovým domům nacházejícím se ve větších sídlištních celcích.

MODELOVÁNÍ STÍNĚNÍ

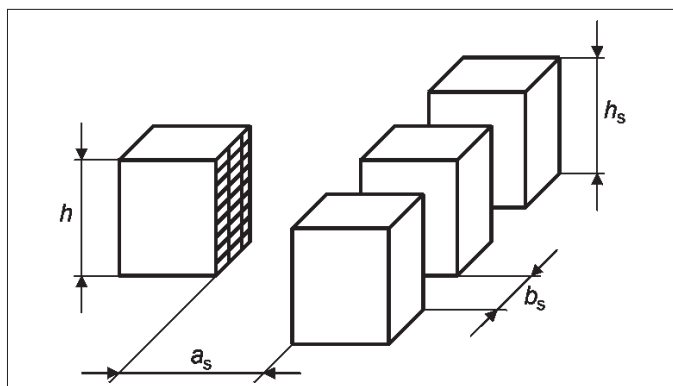
Stínění fasádních solárních kolektorů bylo zkoumáno na dvou typech obytných budov běžných v sídlištní zástavbě: řadové domy a věžové domy. Pro modelování byl využit simulační software ESP-r, umožňující energetické bilance zahrnující stínění okolními objekty. Pro související výpočty ročních dávek slunečního záření byl zvolen izotropický radiální model. Odrazivost okolního terénu byla uvažována $r = 0,2$. Zdrojem ročních solárních dat byla klimatická databáze testovacího referenčního roku (TRY) pro Prahu. Ze simulačních výpočtů byla pro daný případ získána hodnota roční dopadající sluneční energie na jižní fasádu objektu q_s [kWh/m².r] v závislosti na vzdálenosti a výšce okolních stínících objektů. Roční dopadající sluneční energie na nestíněnou fasádu (maximální hodnota) pro danou klimatickou databázi je $q_s = 749$ kWh/m².r (izotropický model).

U řadového domu byl stínícím objektem dům o stejné šířce (50 m) a hloubce (10 m). Proměnnou byla vzdálenost a_s [m] a výška stínícího objektu h_s [m] vzhledem k výšce zkoumaného domu h [m]. V simulacích byly uvažovány vzdálenosti a_s od 3 do 50 m a výšky h a h_s od 3 do 24 m (8patrový dům). Geometrické charakteristiky jsou uvedeny schematicky na obr. 2.

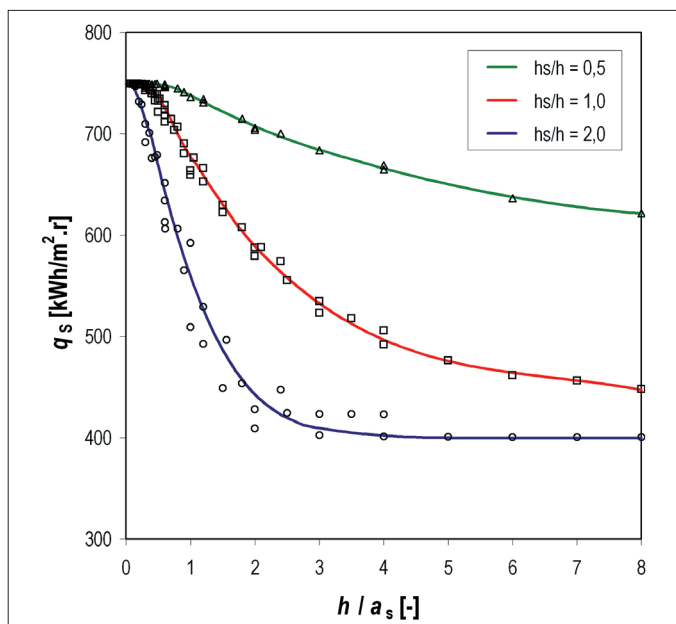


Obr. 2 Geometrické charakteristiky stínících objektů a stíněného objektu se zkoumanou fasádou

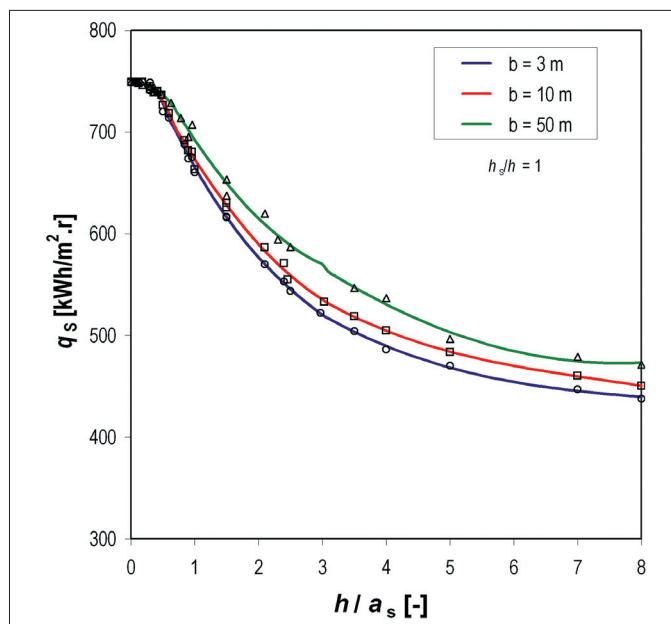
U věžového domu byly uvažovány za stínící objekty tři domy stejného půdorysného rozměru (20 x 20 m) jako zkoumaný. Výška zkoumaného domu i stínících objektů byla uvažována v rozsahu 3 až 24 m. Vzdálenost stínících objektů a_s od zkoumaného a rozestupy mezi stínícími objekty b_s byly uvažovány v rozsahu 3 až 50 m. Geometrické charakteristiky jsou uvedeny schematicky na obr. 3.



Obr. 3 Geometrické charakteristiky stínících objektů a stíněného objektu se zkoumanou fasádou



Obr. 4 Snížení roční dávky celkového slunečního záření na fasádu při různých parametrech stínění (řadové domy)



Obr. 5 Snížení roční dávky celkového slunečního záření na fasádu při různých parametrech stínění (řadové domy)

VÝSLEDKY

Stínění řadového domu v sídlištní zástavbě bylo modelováno pro velký počet variant – kombinací vzdálenosti stínícího objektu od zkoumaného. Byly získány 3 sady výsledků – měrné dávky celkového slunečního záření na jižní fasádu q_s [kWh/m²·rok] v závislosti na poměru výšky zkoumaného stíněného objektu h k jeho vzdálenosti a_s od stínícího objektu s výškou h_s . Jednotlivé sady reprezentují výškový poměr mezi stínícím (výška h_s) a stíněným (výška h) objektem. Na obr. 4 jsou uvedeny závislosti $q_s = f(h/a_s)$ pro různé poměry h_s/h (hodnoty 0,5; 1; 2). Je zřejmé, že pro nízké hodnoty poměru h_s/h ($< 0,5$) nebo poměru h/a_s ($< 0,5$) může být vliv stínění zanedbán.

Stínění věžového domu v sídlištní zástavbě bylo modelováno obdobným způsobem jako u řadového domu. V případě věžového domu byl poměr výšky stínícího objektu k stíněnému $h_s/h = 1$. Kromě vlivu vzdálenosti stínících objektů od zkoumaného (stíněného) a_s , byl zkoumán takto vliv rozestupu stínících objektů b_s . Byly získány 3 sady výsledků pro jednotlivé rozestupy b_s (3; 10; 50 m). Při hodnotách $h/a_s < 0,5$ lze vliv stínění zanedbat (bez ohledu na rozestupy). Tvar křivky se s rozestupem příliš nemění. Výsledky jsou uvedeny na obr. 5.

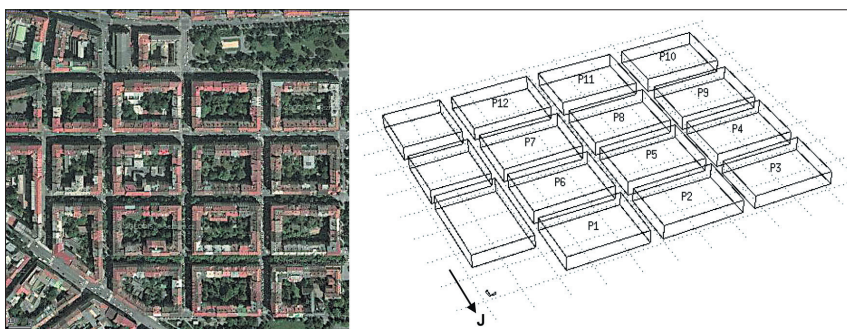
PŘÍPADOVÉ STUDIE

Na typických případech lze ukázat možnosti využití fasádních kolektorů v městské zástavbě. Pro orientační představu, jakým způsobem může běžná městská zástavba ovlivnit roční dopadlou sluneční energii na fasády budov byly vybrány tři různé typy struktury zástavby v Praze. Vybrané soubory budov se liší dobou výstavby a hustotou rozmístění budov. Nejstarší z vybraných příkladů Vinohrady (ul. Korunní, Slezská a okolí) je typický pro centrální část města (viz obr. 6). Zástavba je tvořena pětipatrovými činžovními domy s centrálními dvory a charakteristickými malými roze-

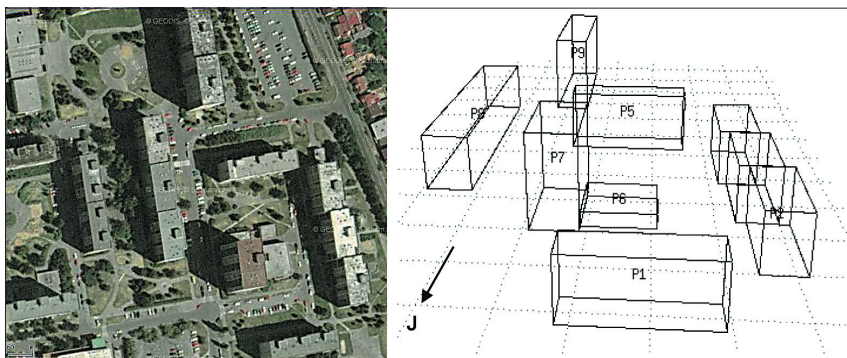
stupy (vzdálenost mezi domy 15 až 20 m). Domy v zástavbě mají sedlovou střechu. Ačkoli je instalace fasádních solárních kolektorů na domech s určitou historickou hodnotou (památková ochrana, estetické hledisko) problematická, tento soubor byl vybrán jako příklad husté zástavby a jejího vlivu na sluneční zisky.

Příklad sídlištní zástavby Chodov (ul. Hněvkovského a okolí) ze 70. let má různorodou topologii (různé výšky budov, různá orientace, viz obr. 7) s volnými plochami mezi převážně řadovými domy s osmi až dvanácti podlažími. Půdorysné rozmístění budov je nepravidelné. Střechy domů jsou ploché s nástavbami výtahových šachet.

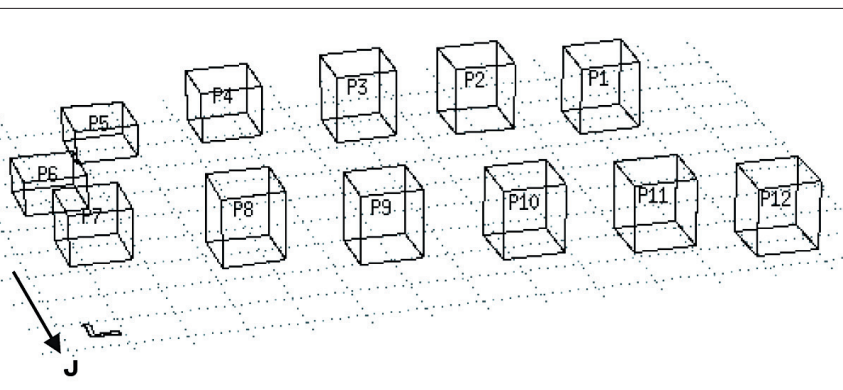
Příklad sídliště Barrandov (ul. Lamačova) je jedním z mladších sídlišť v Praze (vznik 1988). Sídlíště je charakteristické velmi řídkou zástavbou,



Obr. 6 Případ zástavby Vinohrady (letecký pohled [5] a model v programu ESP-r)



Obr. 7 Případ zástavby Chodov (letecký pohled [5] a model v programu ESP-r)



Obr. 8 Příklad zástavby Barrandov (letecký pohled [5] a model v programu ESP-r)

tvorenou čtyřpodlažními až osmipodlažními věžovými panelovými domy (viz obr. 8). Výhodná je zde jižní orientace štitových stěn s výraznými plochami využitelnými pro solární kolektory [4]. Střechy domů jsou ploché s nástavbami výtahových šachet u více jak čtyřpodlažních domů.

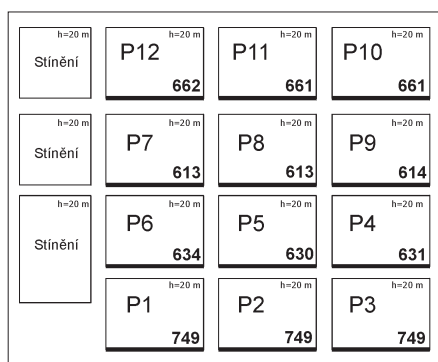
Na obr. 9 až 11 jsou uvedeny u jižních fasád roční dávky slunečního záření [kWh/m²] získané simulačním výpočtem v programu ESP-r (izotropický model). Půdorysné označení budov je shodné s označením v axonometrických pohledech, u každé budovy je v půdoryse uvedena její výška.

Zatímco stínění okolní zástavbou vede v centrální části města (případ Vinohrady) ke snížení roční dávky slunečního záření dopadlé na fasádu o 10 až 20 %, v sídlištní zástavbě u okrajové části města je snížení výrazně nižší okolo 1 % (případ Barrandov), maximálně do 5 % (případ Chodov).

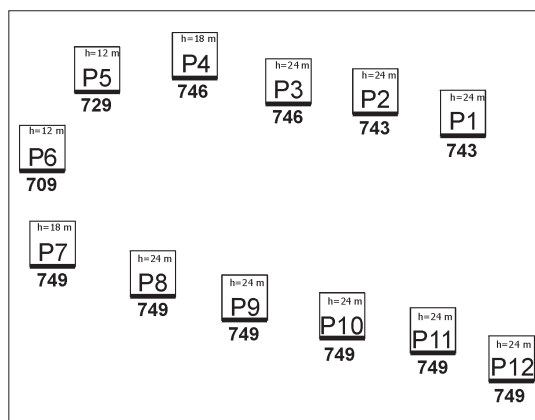
ZÁVĚR

Vzhledem k potenciálu rozvoje instalací solárních soustav v sídlištních celcích v rámci regenerace budov (panelová zástavba) vyvstává otázka vhodného umístění solárních kolektorů na budově. Umísťování kolektorových polí na střeších budov se často potýká s problémem nedostatečné účinné plochy kolektorů (výtahové šachty, větrací zařízení, antény komunikačních sítí) nebo narušení architektonického vzhledu budovy. To vede ke snaze o využití fasádních jižně orientovaných ploch (štitové plochy, podokenní plochy).

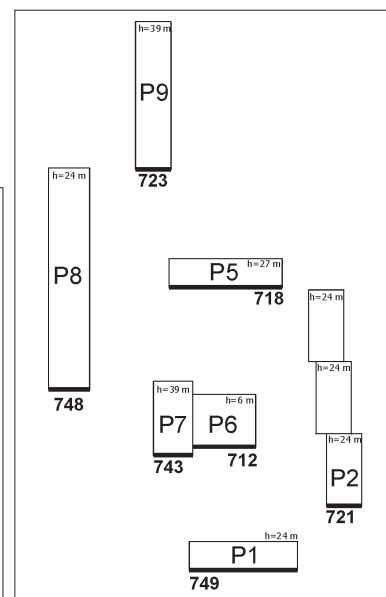
Citlivost fasád na stínění okolními objekty byla zkoumána z hlediska základních geometrických parametrů (výška zkoumané budovy, vzdálenost a výška stínícího objektu) pro dva různé typy budov (řadový dům, věžový dům). Z výsledků simulací vyplývají hodnoty parametrů, případně jejich vztahů, které je nutné dodržet, aby nedocházelo k výraznému snížení dopadajícího slunečního záření na fasádu během roku.



Obr. 9 Roční dávky slunečního záření na fasády v zástavbě Vinohrady [kWh/m²]



Obr. 10 Roční dávky slunečního záření na fasády v zástavbě Barrandov [kWh/m²]



Obr. 11 Roční dávky slunečního záření na fasády v zástavbě Chodov [kWh/m²]

Vliv stínění byl analyzován ve vybraných příkladech souborů budov. Zatímco ve starší husté zástavbě (příklad Vinohrady) dosahuje snížení dopadající sluneční energie až 20 %, u novější běžné zástavby se snížení pohybuje řádově v procentech (Chodov, Barrandov).

SEZNAM VELIČIN

- a_s vzdálenost stínícího objektu [m]
- b_s rozestupy stínících objektů [m]
- h výška zkoumaného objektu [m]
- h_s výška stínícího objektu [m]
- q_s roční dávka slunečního záření (dopadá sluneční energie) [kWh/(m².r)]
- r odrazivost terénu (albedo) [-]

Kontakt na autora: Tomas.Matuska@fs.cvut.cz

Příspěvek byl napsán s podporou výzkumného záměru MSM 6840770011 Technika životního prostředí.

Použité zdroje:

- [1] Matuska T., Šourek B.: Facade solar collectors, *Proceedings of ISES Eurosun 2004*. Freiburg (Germany) 2004.
- [2] Matuska T., Šourek B.: Solar systems with facade-integrated collectors. *Proceedings of ISES 2005 Solar World Congress*. Orlando (Florida, USA) 2005.
- [3] Matuska, T., Šourek, B.: Aspects of solar collector integration into building facade. *Proceedings of ISES Eurosun 2006*. Glasgow 2006.
- [4] Němec, S. Solární soustava pro přípravu teplé užitkové vody v bytovém domě. *Diplomová práce*. ČVUT v Praze 2005.
- [5] Mapy.cz – internetový portál Seznam, Dostupné z: <http://www.mapy.cz>