

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE PRO VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ – SOLÁRNÍ FASÁDY

UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR HEATING AND VENTILATION – SOLAR FACADES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ MAZÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce „Využití solární energie pro vytápění a větrání – solární fasády“ je popis v současnosti používaných typů solárních fasád, posouzení jejich technických parametrů a zhodnocení teoretického popisu na vybrané budově. První část je zaměřena na popis slunečního záření, možnosti využití v solárním systému a vysvětlení jeho principu. V druhé části je popsáno rozdělení solárních fasád z hlediska jejich základních kritérií. Třetí část obsahuje konkrétní zhodnocení budov, na kterých je použit pasivní solární systém v podobě solární fasády.

Abstract

The objective of bachelor's thesis „The Usage of Solar Energy for Heating and Ventilation – The Solar Facades“ is the description of nowadays used types of solar facades, the examination of their technical parameters and the estimation of theoretical project on chosen building. The first part is focused on general description of solar radiation, the possibility of its usage in the solar system and and the explanation of its principle. The division of solar facades in terms of their basic criteria is described in the next part. The last part deals with particular estimation of buildings which uses the passive solar system in form of the solar Facade.

Klíčová slova

Obnovitelný zdroj energie, solární energie, pasivní solární systém, vytápění, větrání, dvojitá transparentní fasáda, automatizovaný systém řízení, spotřeba energie.

Key words

Renewable ressource of energy, solar energy, passive solar system, heating, ventilation, double transparent facade, automated system of control, consumption of energy

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 609

MAZÁČ, O. Využití solární energie pro vytápění a větrání – solární fasády.

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 40.

Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Jaroš, Dr.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne:

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

1. Úvod	13
2. Slunce a využití solární energie.....	14
2.1 Slunce	14
2.2 Využití solární energie	15
3. Charakteristika dvojitě transparentní fasády	16
3.1 Pasivní přeměna solární energie.....	16
3.2 Charakteristika dvojitě transparentní fasády	17
3.3 Inteligentní budova.....	18
4. Rozdělení dvojitých transparentních fasád.....	19
4.1 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska geometrie meziprostoru	19
4.1.1 Správnost návrhu výšky sekce meziprostoru	20
4.2 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska aerodynamiky meziprostoru	21
4.3 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska druhu proskleného systému pro vnější transparentní stěnu	22
4.4 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska využití fyzikální podstaty meziprostoru	23
5. Vytápění a větrání.....	24
5.1 Využití teplého vzduchu.....	25
5.2 Přirozené teplovzdušné vytápění a větrání.....	26
5.3 Nucené teplovzdušné vytápění a větrání.....	27
6. Dvojitá transparentní fasáda budovy ČEZ, a.s. v Hradci Králové	28
6.1 Popis budovy	28
6.2 Zhodnocení budovy z hledisek rozdělení transparentních fasád.....	29
6.3 Využití dvojitě transparentní fasády pro vytápění a větrání budovy ČEZ, a.s....	32
6.3.1 NTNU / SINTEF, Trondheim, Norsko.....	33
6.4 Spotřeba energie	34
7. Návrh dvojitě hybridní fasády pro Matematicko – fyzikální fakultu UK v Praze	35
7.1 Popis budovy	35
7.2 Využití dvojitě hybridní transparentní fasády pro vytápění a větrání budovy MFF UK v Praze	36
8. Závěr.....	38
9. Seznam použité literatury	39
10. Přílohy	40

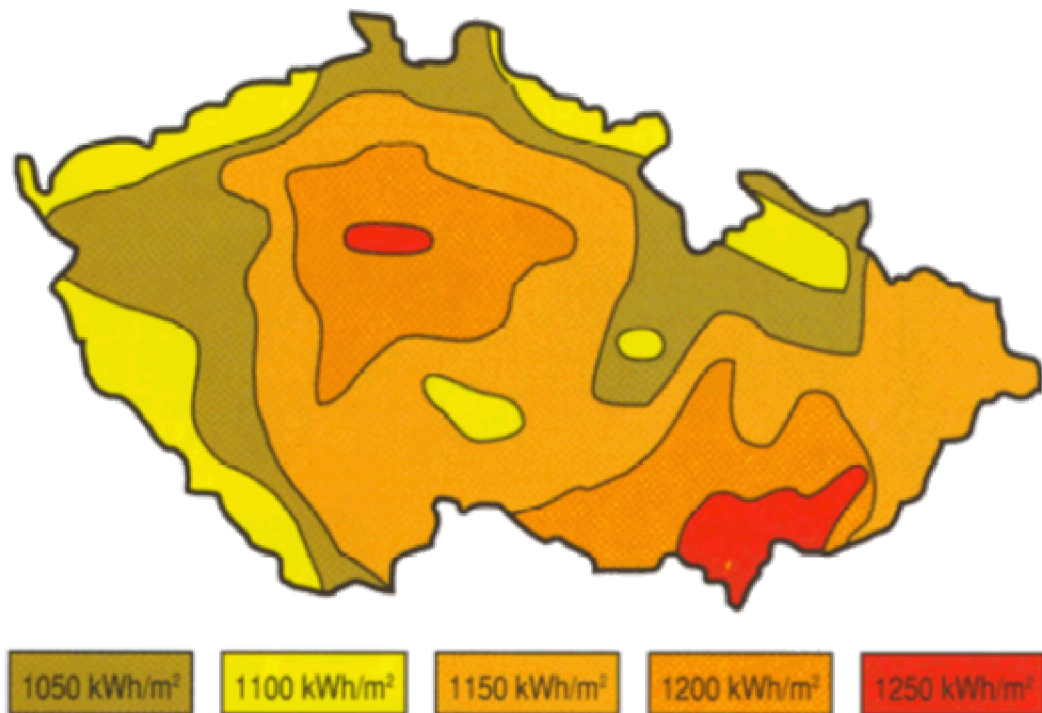
1. Úvod

Moderní architektura, stále zvyšování cen energií, důraz na ekologické a nízko-energetické požadavky a v neposlední řadě přihlídnutí ke zdravému, ekologicky čistému životnímu stylu mělo za následek vznik transparentních fasád. Úbytek fosilních paliv a znečišťování životního prostředí vedl k velkému výzkumu právě těch solárních systémů, jimiž lze v budově částečně nahradit elektrickou či jinou energii, vyráběnou způsobem neekologickým a nešetrným k naší planetě, která je využívána k vytápění a větrání budov. V našich podmínkách je sice možné vyrábět elektrickou energii ze Slunce, ale ve srovnání s jinými místy na naší planetě s dostatečným počtem slunečných dnů to není příliš efektivní. Avšak místa bez přístupu k elektrické síti by se bez solárních elektráren neobešla. Dobrým příkladem pro realizaci těchto solárních elektráren je Sahara, vyznačující se velkou neobydlenou plochou a dostatečným počtem slunečních dnů. Sahara již takové elektrárny má a ještě velké množství se jich chystá vybudovat. V naší zeměpisné poloze se tedy solární systémy využívají zejména pro ohřev užitkové vody, vytápění a větrání budov. Z ekonomického hlediska jsou pořizovací náklady vyšší než u dodnes používaných systémů, ale díky dlouholeté garanci životnosti od výrobců a finanční podpoře od státu na tyto systémy se zdá být takto získaná energie velmi perspektivní.

2. Slunce a využití solární energie

2.1 Slunce

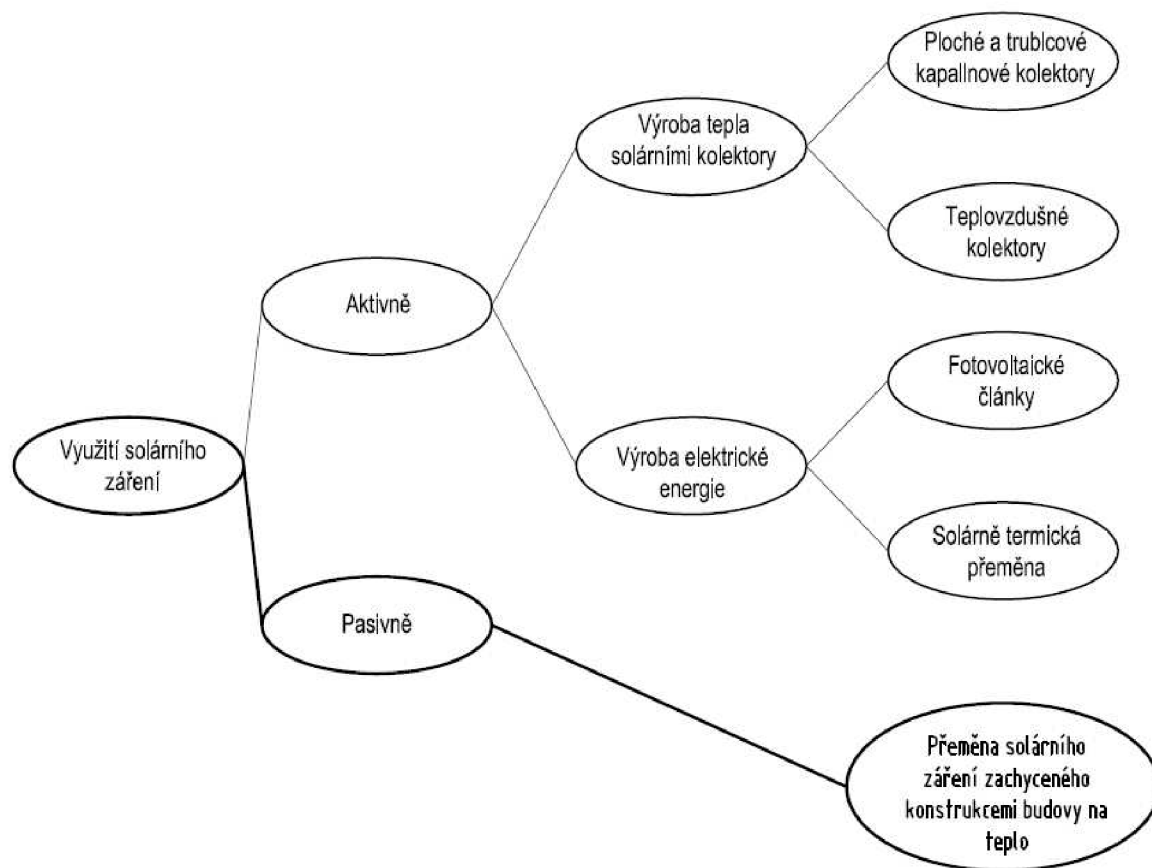
Slunce, naše nejbližší hvězda, je velice vydatným zdrojem energie. Každou sekundu do svého okolí marnotratně vyzáří energii 4×10^{26} [W]. Na Zemi pak z tohoto množství dopadne záření o energii $1,8 \times 10^{17}$ [W]. Z tohoto množství energie se přibližně 34 % odráží od atmosféry a 19 % je atmosférou pohlceno. Zbýlých 47 % sluneční energie se dostává až k zemskému povrchu. Vzhledem k tomu, že průměrná spotřeba celého lidstva je 10^{13} [W] za každou sekundu, dává nám Slunce zhruba 20 000× více energie, než potřebujeme. A je jenom na nás, zda této velkorysé nabídky, jejíž platnost potrvá ještě několik miliard let, nějak využijeme, nebo zda sluneční energii necháme vyzářit zpět do vesmíru ve formě infračerveného záření, aniž bychom ji jakkoliv využili. Využití slunečního záření jako obnovitelného zdroje energie pro krytí energetických potřeb společnosti má pro lidstvo oproti jiným zdrojům energie hned několik výhod. Slunce je bezpečný jaderný reaktor, od něhož se v době řádově miliard let nemusíme obávat žádné havárie či výraznější změny funkce, není rovněž zneužitelné žádnými teroristickými skupinami, takže lidstvo se od něj nemusí obávat žádné katastrofy. Sluneční energie je zadarmo, za sluneční světlo není třeba nikomu nic platit, sluneční světlo není třeba odnikud dovážet, i když je pravda, že některé lokality jsou ve výhodě (například v Evropě Řecko a Španělsko). A konečně tato energie je čistá, nezpůsobuje žádné toxické odpady, zápach, zplodiny a prach [4].



Obr. 1 Průměrné množství slunečního záření dopadajícího na území ČR za rok [5].

2.2 Využití solární energie

Přeměnu solární energie v teplo můžeme realizovat pomocí pasivních solárních prvků budov tzv. přeměna pasivní - prosklené fasády, zimní zahrady nebo pomocí přídavných technických zařízení tzv. přeměna aktivní - sluneční sběrače - kolektory. Podrobné rozdělení možností ukazuje následující obrázek:



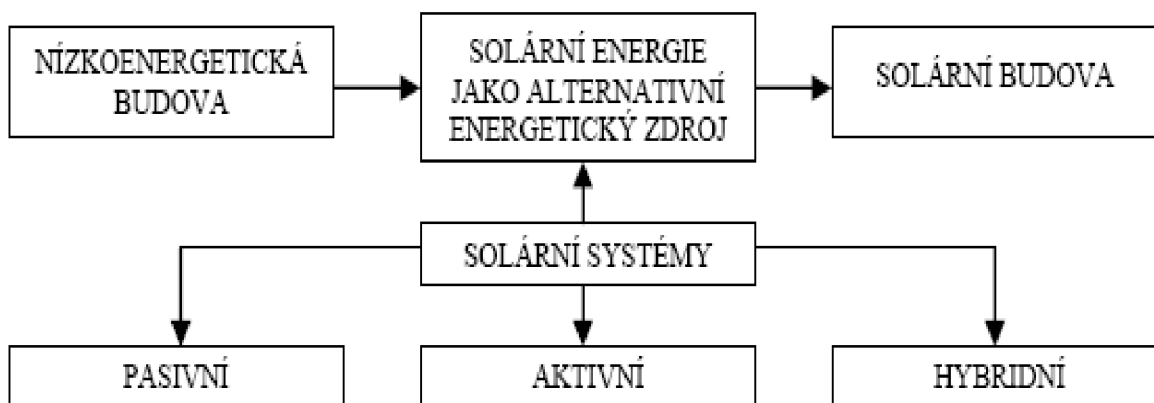
Obr. 2 Využití solárního záření [6].

Z velkého počtu zde uvedených možností, jak efektivně využít solární energii, se budeme zabývat přeměnou sluneční energie v teplo v pasivních systémech, které tvoří součást budovy. Hlavní výhodou právě těchto pasivních systémů je to, že ke svému provozu nepotřebují žádná jiná zařízení.

3. Charakteristika dvojité transparentní fasády

3.1 Pasivní přeměna solární energie

Základní přírodní procesy využitě k vytvoření pasivní solární architektury jsou toky tepelné energie, související se sáláním, vedením nebo přirozeným prouděním. Teplo vytvořené sluncem způsobuje pohyb vzduchu, který lze předpovídat [7]. Základní odezvy na sluneční teplo vedly ke konstrukčním prvkům budov, výběru materiálu a umístění, které dokáží zajistit vytápění a chlazení obydlí. Budovy, jenž se v co největší míře snaží využívat sluneční energii pomocí čistě stavebních prostředků, se nazývají pasivní heliotechnické budovy [8]. Pasivní systémy nepotřebují ke svému provozu žádná jiná energeticky náročná zařízení, a proto nevznikají skoro žádné provozní náklady ani nepřispívají k znečišťování životního prostředí. Transport energie se tedy děje pouze přirozenou cestou. Každá budova využívá tepelnou energii ze svého okolí svojí urbanistickou, architektonickou a stavebně konstrukční koncepcí. Princip spočívá ve využití slunečního záření, které dopadne do interiéru okny či jiným prosklením. Tyto transparentní prvky jsou většinou do budovy zakomponovány na jižní straně z důvodu maximálního využití solární energie, nesmíme ale zapomínat na riziko tepelné zátěže během léta. Ideálním případem je realizace pasivních solárních systémů u novostaveb, jelikož snadněji docílíme harmonie mezi pasivním systémem a samotnou budovou. Starší stavby lze vhodně rekonstruovat vybudováním skleněných přístavků, prosklených verand apod.

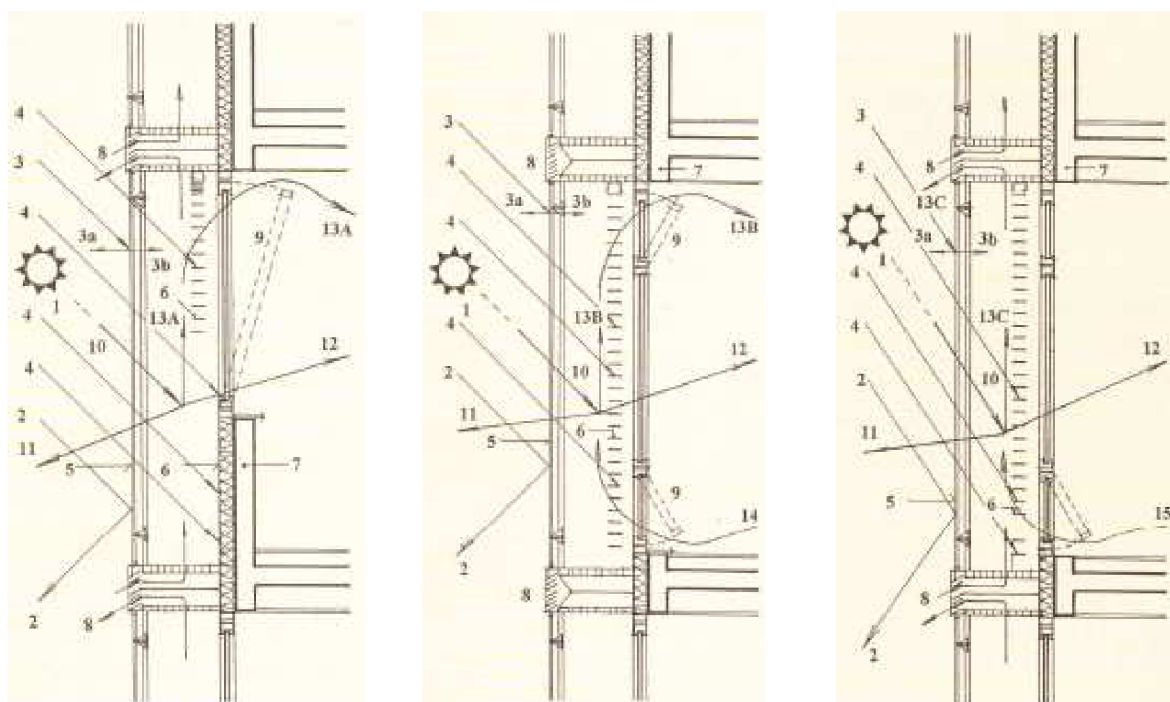


Obr. 3 Základní aspekty pro vznik solární budovy [1].

3.2 Charakteristika dvojité transparentní fasády

Hlavním prvkem, který má zásluhu na rozvoji transparentní fasádní techniky, je sklo. Díky estetickým vlastnostem se dvojité transparentní fasády staly zajímavými nejen z hlediska energetického, ale také z hlediska moderní architektury. Dvojitá transparentní fasáda má původ svého vzniku v ochraně obvodových stěn budov před nepříznivými klimatickými změnami počasí, chrání stěny před poškozením. Budova, na které jsou aplikovány transparentní fasády, je specifická co se týče přirozeného osvětlení, velké transparentní plochy zajišťují dostatek přirozeného světla, což má za následek lepší pohodu uvnitř budovy. Tyto fasády nabízejí při vhodné koncepci větrání účinnou ochranu proti poličnickému hluku, což je v dnešní době rozvoje automobilizmu a průmyslu velmi důležitý faktor. Zlepšují funkci tepelné izolace, mohou se použít k ohřevu čerstvého vzduchu. Taktéž umožní noční větrání bez rizika vloupání otevřenými okny. Tato konstrukce chrání nejen fasádu, ale i zařízení protisluneční ochrany. Dvojité transparentní fasády jsou zpravidla navrhovány jako atypické konstrukce, využívají se zejména u výškových budov, ale také u rodinných domů.

Dvojitá transparentní fasáda je vnímána jako pasivní či hybridní solární systém, z energetického hlediska využíván především k vytápění a větrání budov. Tento systém je na bázi vzduchového kolektoru, který je tvořen skleněnými deskami předsazenými před obvodovou prosklenou konstrukcí. Ve vzniklé dutině jsou ještě umístěny stínící prvky a otvory umožňující regulaci vzduchu ve vnějším plášti.



Obr. 4 Režimy dvojité transparentní fasády [1].

A – režim teplovzdušného větrání v zimním období, B – režim vytápění cirkulujícím vzduchem v přechodném období, C – režim pasivního chlazení v letním období

1– globální krátkovlnné záření, 2 – odražené krátkovlnné záření, 3 – sklem pohlcené záření, 3a – do exteriéru vyzařované dlouhovlnné záření, 3b – do interiéru vyzařované dlouhovlnné záření, 4 – propuštěné krátkovlnné záření transformované v meziprostoru na dlouhovlnné tepelné záření, 5 – kolektor, 6 – absorbér, 7 – akumulátor, 8 – distributor, 9 – regulátor, 10 – intenzita propuštěného globálního slunečního záření, 11 – tepelný tok transmisí do exteriéru, 12 – tepelný tok transmisí do jádra budovy, 13A – teplo spotřebované na ohřátí vzduchu v meziprostoru – využité na teplovzdušné větrání, 13B – teplo spotřebované na ohřátí vzduchu v meziprostoru – využité na vytápění cirkulujícím vzduchem, 13C – teplo spotřebované na ohřátí vzduchu v meziprostoru, které je odevzdané do venkovního ovzduší, 14 – přívod cirkulujícího vzduchu z jádra budovy, 15 – přívod větracího vzduchu ze severní strany – pasivní chlazení

3.3 Inteligentní budova

Rozvoj dvojitých transparentních fasád dospěl na konci minulého a začátkem tohoto století k výrazným pokrokům. Dnes již hovoříme o tzv. inteligentních budovách, které v sobě zahrnují soulad následujících hledisek:

- Urbanistické řešení
- Architektonické řešení
- Stavební řešení
- Technika prostředí
- Režim exploatace budovy
- Automatizovaný systém řízení fyzikálních a provozních procesů v budově

Zejména poslední hledisko je nepostradatelné, aby inteligentní budova byla schopna ekologického, nízkenergetického, bezpečného, spolehlivého a ekonomického provozu [1].

Z výše uvedeného vyplývá, že se prvky stavební konstrukce budov, např. dvojitá transparentní fasáda, stávají členy automatického systému řízení budov. V systému dvojitě transparentní fasády je nepostradatelným prvkem protisluneční ochrana. Její systémy můžeme rozdělit na pevné (clony) a pohyblivé (regulovatelné žaluzie, výsuvné markýzy). Pevné clony nemůžou reagovat svým natočením na případné změny slunečního svitu. Pohyblivé systémy umožňují připojení na vhodný systém automatizovaného řízení. Automatizovaný systém řízení inteligentní budovy neplní jen úlohu primární automatické regulace techniky prostředí a prvků stavební konstrukce, ale také koordinaci a optimalizaci jejich vztahu. Nejprve se do provozu a užívání uvádí stavebně-architektonické prvky, potom přirozené fyzikální jevy a tehdy, když už není jiná možnost, uvádí se do provozu systémy vyžadující příkon energie [1].

4. Rozdělení dvojitých transparentních fasád

Moderní dvojitě transparentní fasády můžeme rozdělit podle několika základních kritérií – geometrie meziprostoru, aerodynamiky meziprostoru, druhu prosklené vnější transparentní stěny a fyzikální podstaty meziprostoru.

4.1 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska geometrie meziprostoru

Meziprostor dvojitě transparentní fasády nabízí velké množství variant, už jen co se týká šířky meziprostoru. Vysoké budovy musí mít navíc meziprostor dělený na samostatné výškové sekce. Rozlišujeme čtyři základní skupiny:

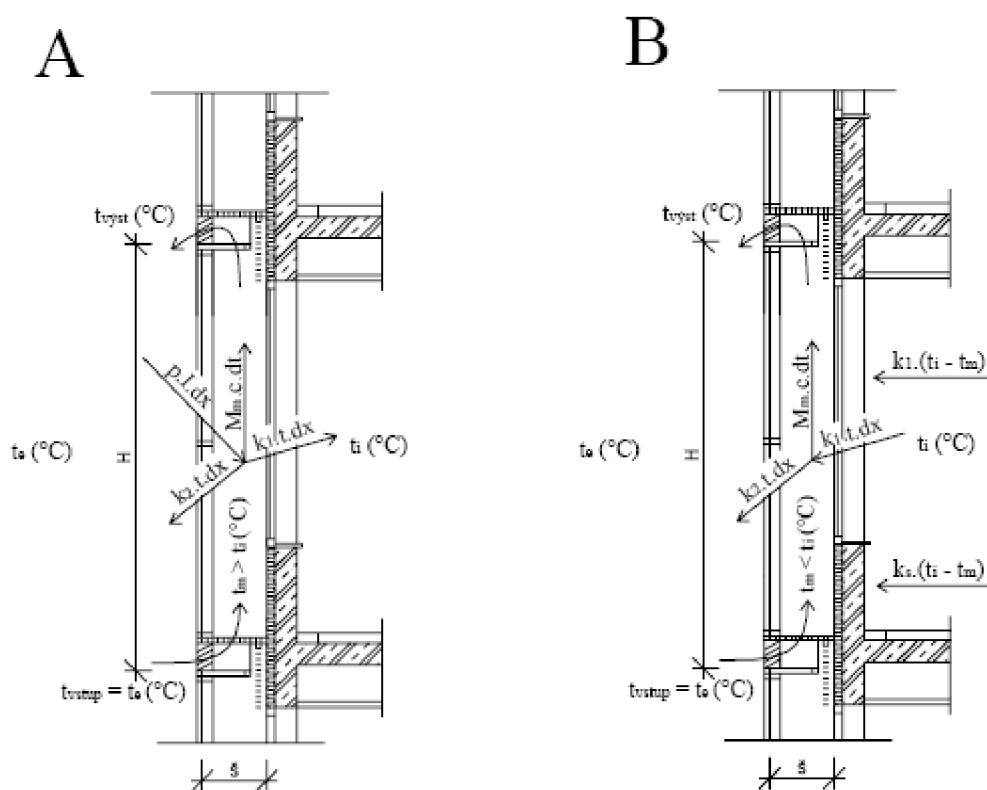
1. Dvojitě transparentní fasády se šterbinovým, po výšce budovy nesouvislým, meziprostorem šířky $100 < \check{s} < 300$ mm. Výška sekce H [m] je zpravidla totožná s výškou transparentní konstrukce okna. Meziprostor je přístupný jen při otevření okna [1] [2].
2. Dvojitě transparentní fasády s neprůchodným – deskovým meziprostorem. Šířka meziprostoru je $300 < \check{s} < 500$ mm a výška sekce H [m] je zpravidla totožná s výškou podlaží. Aplikují se hlavně u šachtových systémů [1] [2].
3. Dvojitě transparentní fasády s průchodným – chodbovým meziprostorem šířky $500 < \check{s} < 1500$ mm a výškou sekce v závislosti na šířce meziprostoru a jeho fyzikálních funkcí může představovat 1–4 podlaží (obr.5). U tohoto typu meziprostoru lze také aplikovat řešení bez vertikálních sekcí, a to do cca 6 podlaží. V těchto případech lze řešit vnější transparentní stěnu buď jako svislou nebo jako šikmou vertikálně ustupující. Šířka meziprostoru se tedy zvětšuje úměrně se zvětšováním objemu ohřátého vzduchu po výšce fasády [1] [2].
4. Dvojitě transparentní fasády s rozsáhlým – halovým meziprostorem šířky $\check{s} \gg 1500$ mm. Výška sekce představuje 2–4 podlaží. Fasáda má charakter proskleného prostoru [1].



Obr. 5 Victoria-Ensemble, Köln, Německo
Budova tvaru obráceného kosého jehlanu (6 NP) Dvojitá transparentní fasáda s průchodným – chodbovým meziprostorem s uzavíratelným okruhem. Výška sekce je totožná s výškou budovy. Aerodynamika je založena na přirozeném proudění vzduchu. Vnější transparentní stěna je s jednoduchým bezpečnostním zasklením. Vnitřní transparentní stěna je dvojnásobný tepelně izolační systém. Protisluneční ochrana je ve vnitřní zóně meziprostoru [1].

4.1.1 Správnost návrhu výšky sekce meziprostoru

Výška sekcí meziprostoru, zejména pak u výškových budov s dvojitou transparentní fasádou, závisí na optimalizaci teploty ohřátého vzduchu. Při vyšších výškách sekce, stejně jako při menším hmotnostním M_m [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$], objemovém M_V [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] průtoku vzduchu se vzduch ohřeje na větší teplotu $t_{\text{výst}}$ [K], ale energetický výkon a účinnost fasády zpravidla klesá, protože se zvětšují tepelné ztráty do okolí. Správný návrh předpokládá variabilní průtok vzduchu M_m [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$], M_V [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], měnící se s intenzitou slunečního záření I [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] a teplotou vzduchu v exteriéru t_e [$^{\circ}\text{C}$]. S nárůstem těchto okrajových podmínek má růst i průtok vzduchu v meziprostoru (obr.6) [1] [2].



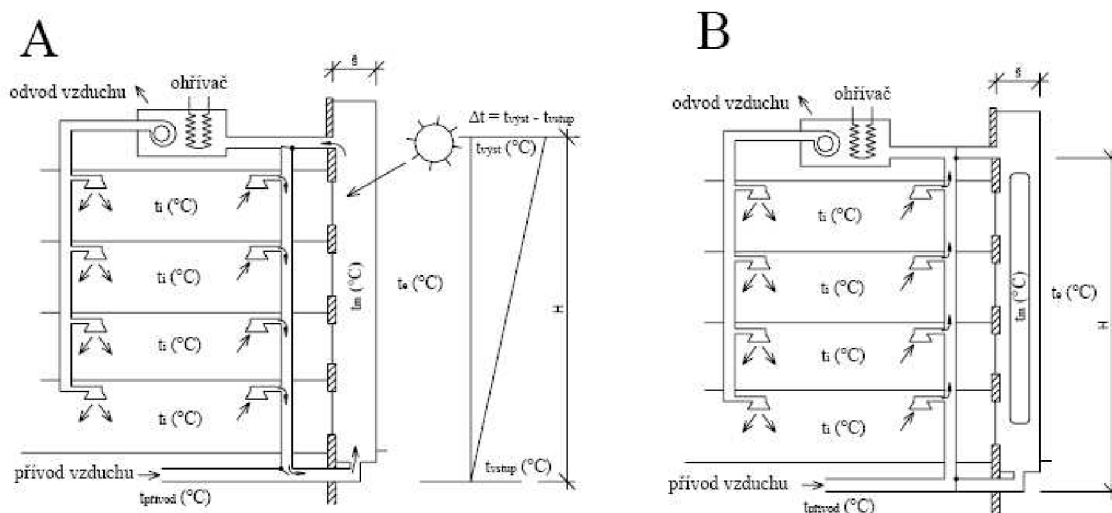
Obr. 6 Schéma dvojité transparentní fasády s šířkou meziprostoru s a výškou sekce H [m], která je rovna výšce jednoho podlaží. Pohyb vzduchu je realizován přirozenou konvekcí. Z hlediska fyzikálních podstaty meziprostoru se jedná o fasádu s otevřeným okruhem.

A–den, B–noc [1].

4.2 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska aerodynamiky meziprostoru

Dalším základním a důležitým kritériem pro koncepci moderní dvojitě transparentní fasády je pohyb vzduchu v meziprostoru fasády. Pomocí tohoto kritéria rozlišujeme následující druhy dvojitých transparentních fasád:

1. Dvojitá transparentní fasáda s pohybem vzduchu v energetickém nárazovém meziprostoru založeném na přirozené konvekci (obr.5, obr.6) Problémem je tu výpočet rozdílu teplot vzduchu $\Delta t = t_{\text{výst}} - t_{\text{vstup}} [\text{K}]$, a současně průtočné množství vzduchu $M_m [\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$, $M_v [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ [1] [2].
2. Dvojitá transparentní fasáda s pohybem vzduchu v energetickém nárazovém meziprostoru založeném na přirozeném proudění z účinků větru (obr.5). Problémem je tu výpočet rozdílu teplot vzduchu $\Delta t = t_{\text{výst}} - t_{\text{vstup}} [\text{K}]$, a současně průtokové množství vzduchu z účinku větru jako funkce celkového aerodynamického koeficientu $C_p = C_{pe} - C_{pi} [-]$, dynamického tlaku $q [\text{Pa}]$ a plochy otvorů pro přívod a odvod vzduchu $S [\text{m}^2]$ [1] [2].
3. Dvojitá transparentní fasáda s nuceným pohybem vzduchu. Problémem je tu výpočet rozdílu teplot vzduchu $\Delta t = t_{\text{výst}} - t_{\text{vstup}} [\text{K}]$ při daném hmotnostním a objemovém průtoku vzduchu $M_m [\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$, $M_v [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ (obr.7) [1] [2].
4. Dvojitá transparentní fasáda s více režimy pohybu vzduchu, v závislosti na režimu fasády jako celku. Tyto režimy jsou funkcí okrajových podmínek zatížení budovy a její dvojitě transparentní fasády nestacionárními podmínkami vnějšího prostředí (teplota; relativní vlhkost; přímé, difúzní a globální záření; rychlost a směr větru) [1] [2].

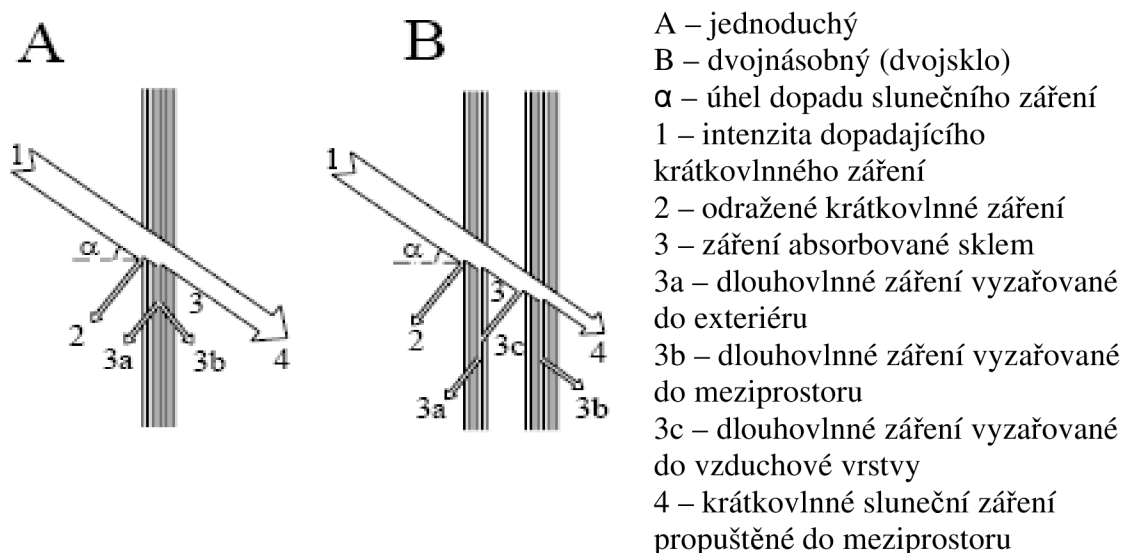


Obr. 7 Schéma budovy s dvojitou transparentní fasádou s meziprostorem šířky δ a výšky H [m], která je totožná s výškou budovy, tj. 4 podlaží. Pohyb vzduchu je nucený a z hlediska fyzikální podstaty meziprostoru se jedná o fasádu s uzavřeným okruhem v zimním období [2].

4.3 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska druhu proskleného systému pro vnější transparentní stěnu

Třetím základním kritériem pro koncepci dvojitě transparentní fasády je druh proskleného systému aplikovaného v konstrukci předsazené transparentní stěny. Literatura [1] rozlišuje tyto základní systémy:

1. Dvojitá transparentní fasáda s jednoduchým bezpečnostním proskleným systémem předsazené transparentní stěny (obr.5, obr.8A) [1] [2].
2. Dvojitá transparentní fasáda s dvojnásobným bezpečnostním proskleným systémem (obr.8B). Tento systém musí být vždy charakteru uzavřené izolační jednotky – dvojskla (z důvodů údržby fasády). Výhodou aplikace dvojnásobných prosklených systémů je možnost přidělit jim další speciální funkce (např. selektivní apod.). Tyto funkce není vhodné přiřazovat jednoduchým proskleným systémům z hlediska požadavků na zachování kvality [1] [2].
3. Dvojitá transparentní fasáda s kombinovanými konstrukcemi transparentních stěn zónově s jednoduchým i dvojnásobným proskleným systémem. Aplikace je zvlášť vhodná pro energetické klima fasády s měnící se šířkou meziprostoru. Např. aplikace dvojitě transparentní fasády s energetickým nárazovým meziprostorem průchodného chodbového typu (jednoduchý prosklený systém) a s teplotním meziprostorem halového typu charakteru proskleného prostoru (dvojnásobný prosklený systém) [1] [2].



Obr. 8 Sluneční záření dopadající na bezpečnostní prosklený systém [1].

4.4 Rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska využití fyzikální podstaty meziprostoru

Posledním a nejdůležitějším kritériem pro koncepci dvojitě transparentní fasády je využití fyzikálních funkcí meziprostoru v oblasti stavební solární techniky. Z tohoto hlediska můžeme dvojitě transparentní fasády rozdělit do čtyř skupin:

1. Dvojitá transparentní fasáda s "otevřeným" okruhem, bez přímého využití fyzikální podstaty meziprostoru pro techniku prostředí budovy s možností využití přirozeného větrání nebo teplovzdušného větrání jádra budovy z meziprostoru, založeného na přirozeném proudění vzduchu s poměrně vysokou kontrolou systému (obr.6) [1] [2].
2. Dvojitá transparentní fasáda s více "otevřenými" okruhy po výšce sekce meziprostoru, bez přímého využití jeho fyzikální podstaty pro techniku prostředí budovy s možností využití přirozeného větrání nebo teplo vzdušného větrání jádra budovy z meziprostoru, založeného na přirozeném proudění vzduchu s poměrně nízkou kontrolou systému [1] [2].
3. Dvojitá transparentní fasáda s "polootvřeným" okruhem po výšce sekce meziprostoru, bez přímého využití jeho fyzikální podstaty pro techniku prostředí budovy s možností využití přirozeného větrání nebo teplo vzdušného větrání jádra budovy z meziprostoru, založeného na přirozeném proudění vzduchu. Je charakteristická pro šachtové systémy fasád s odvodem vzduchu do uzavřeného prostoru šachty, která umožňuje určitou kontrolu systému [1] [2].
4. Dvojitá transparentní fasáda s "uzavřeným" okruhem v zimním období, s přímým využitím fyzikální podstaty meziprostoru pro techniku prostředí budovy (obr.7). Představuje vysoce kontrolovatelný systém s nuceným oběhem vzduchu v meziprostoru i v rozvodech techniky prostředí budovy s možností teplo vzdušného větrání nebo vytápění jádra budovy. V době režimu s uzavřeným okruhem není možné využívat přirozené větrání jádra budovy z meziprostoru na základě subjektivního rozhodnutí uživatele [1] [2].

5. Vytápění a větrání

Základní podmínkou pro dodržení parametrů vnitřního prostředí budov vhodných pro člověka, případně technologii, je zajištění dostatečného větrání. Tam kde přirozeným větráním nelze eliminovat tepelné ztráty či zisky větraného objektu, zajistit našimi předpisy požadované hodnoty fyzikálních, chemických i biologických parametrů prostředí, zaručit alespoň minimální hygienickou dávku vzduchu na osobu, se musí použít větrání nucené [3].

Pohodou prostředí rozumíme stav okolí, který normálnímu člověku vytváří zdravotně nezávadné podmínky pro aktivní činnost i pocit tělesné pohody. O tom, zda se zdraví člověk cítí příjemně rozhoduje celá řada faktorů. Patří sem čistota vzduchu (prašnost, chemické látky, mikrobiální kontaminace), kvalita osvětlení, hladina hluku, vliv elektrických, elektromagnetických a radiačních polí, v neposlední řadě pak mikroklimatické podmínky. Jsou to teploty vzduchu i okolních ploch prostoru, relativní vlhkost a rychlost proudění vzduchu v oblasti pobytu člověka. Ukazuje se, že tepelné podmínky mají mnohem větší vliv na subjektivní pocit pohody člověka, míru odpočinku i skutečnou produktivitu práce než nežádoucí škodliviny či obtěžující hluk. V současné době se objevuje stále více zahraničních studií, dokazující závislost produktivity práce nebo jen spokojenosti v daném prostoru na kvalitě vzduchu, vyjádřené nejen mírou větrání, ale i dodržením optimálních mikroklimatických podmínek [3].

Nelze zajistit optimální tepelně vlhkostní stav prostředí tak, aby vyhovoval všem lidem. Teplota vzduchu je totiž parametr velmi individuálně vnímaný a její vnímání je závislé na pohlaví, množství podkožního tuku, na okamžité indispozici, zdravotním stavu i náladě člověka. Vnímání teploty ovlivňuje další z mikroklimatických veličin – rychlost proudění vzduchu. Ta se může stát velmi obtěžujícím faktorem prostředí. Měla by se pohybovat v rozmezí $0,1 - 0,2 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ [3].

V nařízení vlády č. 361/2007 Sb., § 41 jsou dány i požadavky na větrání. Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště musí být:

- 50 $[\text{m}^3/\text{h}]$ na osobu pro práci převážně vsedě,
- 70 $[\text{m}^3/\text{h}]$ na osobu pro práci převážně ve stoje a v chůzi,
- 90 $[\text{m}^3/\text{h}]$ na osobu při těžké fyzické práci

Tato minimální množství venkovního větracího vzduchu musí být dále zvýšena při další zátěži větraného prostoru, např. teplem, prachy, kouřením. V místnostech, kde je povoleno kouření se zvyšuje množství větracího vzduchu o $10 \text{ [m}^3/\text{h}]$ na osobu [3].

Množství vzduchu pro větrání je dáno:

- podle počtu osob
- podle půdorysné plochy
- podle produkce škodlivin

5.1 Využití teplého vzduchu

Nejprve je třeba uvědomit si rozdíl mezi teplovzdušným větráním a teplovzdušným vytápěním:

Teplovzdušné větrání – do místnosti či celého objektu se přivádí minimálně množství čerstvého vzduchu dané doporučenou intenzitou výměny vzduchu I [m^3/h] a o stejné teplotě jako je teplota vnitřní t_i . Tepelné ztráty Q_{ztr} hradí jiný systém, nejčastěji otopná soustava s otopnými tělesy nebo podlahová otopná soustava [3].

Teplovzdušné vytápění – do místnosti či celého objektu se přivádí minimálně množství čerstvého vzduchu dané doporučenou intenzitou výměny vzduchu I [m^3/h]. Teplota přiváděného vzduchu t_p je o tolik vyšší, aby bylo zajištěno také krytí tepelných ztrát (čím menší bude hodnota potřebné energie [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$], tím bude menší potřebný teplotní rozdíl) [3].

Větrání můžeme rozdělit na:

- nucené
- přirozené

Rozdělení systému přirozeného větrání:

- infiltrací
- provětráváním
- šachtovým větráním
- aerací

Rozdělení systému nuceného větrání:

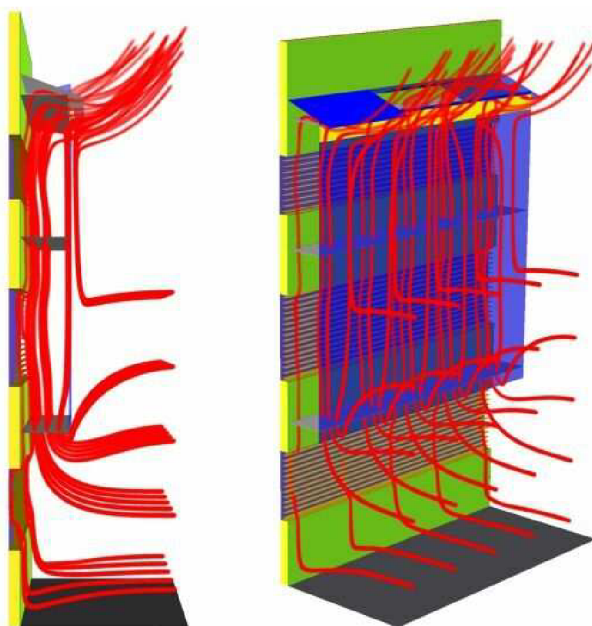
- teplovzdušné větrání s cirkulací vzduchu
 s výměníkem zpětného získávání tepla
- teplovzdušné vytápění
- klimatizace letní provoz
 zimní provoz
- split systém (dělený systém)
- čističky vzduchu

Hlavním úkolem dvojitě transparentní fasády z hlediska vytápění a větrání je ohřev čerstvého vzduchu v meziprostoru, který se dále zpracovává a rozvádí po budově za účelem snížit náklady na vytápění a větrání.

Teplovzdušné vytápění a větrání má velmi dobrý dopad na úsporu energie a hygienický komfort v budově. Větrací vzduch má teplotu přibližně stejnou jako je v místnosti, kterou větráme. Díky tomu dochází k úspoře energie, která by byla potřeba k ohřevu studeného vzduchu. Vzduch ohříváme v meziprostoru dvojitě transparentní fasády a přivádíme do místnosti přirozeným prouděním či nuceně. Teplovzdušným vytápěním dodáváme vzduch do místnosti o teplotě vyšší než je teplota v místnosti. Ne vždy se vzduch ohřeje v meziprostoru dvojitě transparentní fasády na teplotu potřebnou k vytápění v zimním období. Tento problém můžeme vyřešit odsáváním teplého vzduchu z meziprostoru a zvýšit jeho teplotu pomocí tepelného čerpadla vzduch – vzduch. Tepelné čerpadlo odebírá energii z okolního vzduchu a předává ji do topného média, jímž je opět vzduch.

5.2 Přirozené teplovzdušné vytápění a větrání

Přirozené vytápění a větrání je založeno na principu ohřevu vzduchu v meziprostoru dvojitě transparentní fasády a jeho pohybu pomocí přirozené konvence. Teplovzdušné vytápění a větrání se realizuje jen systémem otvírání oken. Tento způsob není nijak automatizován a závisí čistě na lidském subjektivním pocitu. Efektivita tohoto systému není příliš vysoká, teplý vzduch získaný z meziprostoru fasády je využíván jen v místnostech, které jsou odděleny od meziprostoru fasády oknem. Je jisté, že teplý vzduch se pomocí konvence rozšíří i do jiných místností mřížkami na dveřích, ale primární využití je právě v těchto místnostech. Celkové snížení energetických výdajů je u tohoto systému bezpochyby zaručeno.



Obr. 9 Pohyb vzduch přirozenou konvekcí v meziprostoru dvojitě transparentní fasády [8].

5.3 Nucené teplovzdušné vytápění a větrání

Nucené teplovzdušné vytápění a větrání zajišťuje přívod i odvod vzduchu z místnosti ventilátory. Teplý vzduch se odsává z meziprostoru dvojité transparentní fasády a dále se nuceně rozvádí ventilačním potrubím na konkrétní místa. Tento způsob již zcela podléhá automatizovanému řízení. Hlavní výhodou je dodávání požadovaného množství čistého vzduchu o potřebné teplotě na místa, kde se tento teplý vzduch nejlépe využije. Jelikož rychlost větru roste s výškou nad zemským povrchem, využívá se nucené větrání zejména ve výškových budovách, aby byla dosažena ideální rychlost větracího vzduchu pomocí automatizovaného řízení.



Obr. 10 Rozvod vzduchu ventilačním potrubím [11].

Pro teplovzdušné vytápění použijeme tepelné čerpadlo vzduch – vzduch, které nám teplotu již ohřátého vzduchu z meziprostoru dvojité transparentní fasády ještě zvýší. Čerstvý ohřátý vzduch se nasává z meziprostoru fasády přímo do tepelného čerpadla, a stejně jako u teplovzdušného větrání, se rozvádí pomocí ventilátorů po budově.

6. Dvojitá transparentní fasáda budovy ČEZ, a.s. v Hradci Králové

6.1 Popis budovy

Budova společnosti ČEZ, a.s. v Hradci Králové, která byla vyhlášena stavbou roku 2007 v kategorii občanské vybavenosti.



Obr. 11 Dvojitá transparentní fasáda na budově ČEZ,a.s. v Hradci Králové.

Charakter zakázky: rekonstrukce objektu

Cena: 80,9 mil. Kč

Doba plnění: 10/2005 - 06/2006

Název objednatele: Východočeská energetika, a.s., Hradec Králové

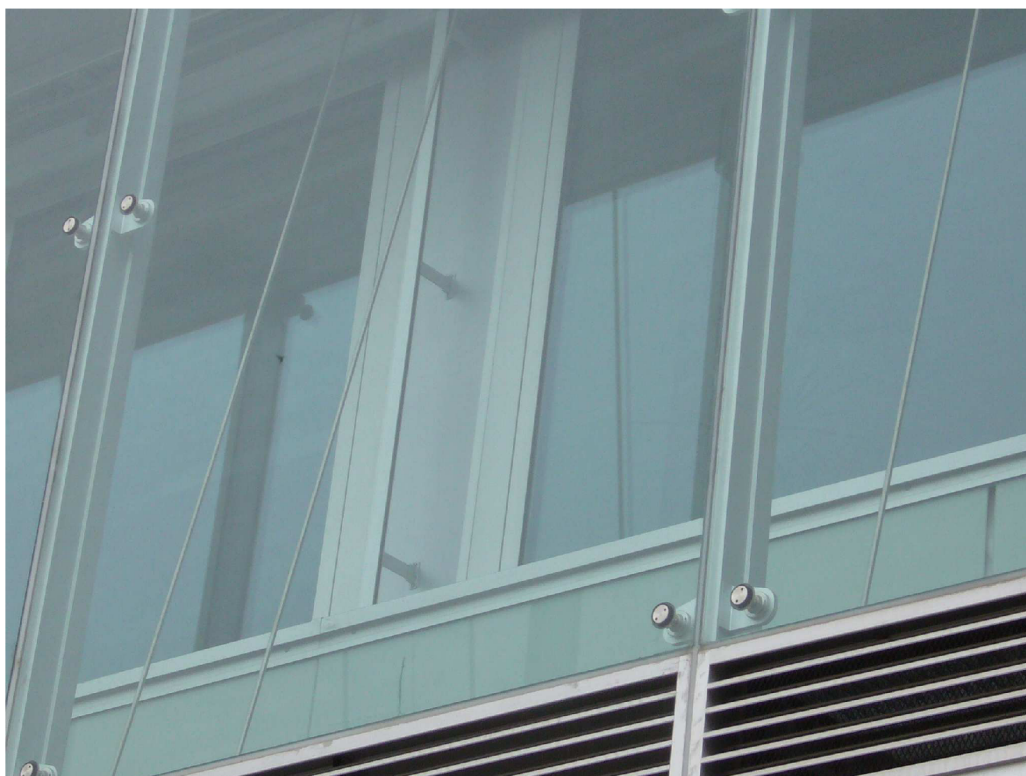
Z charakteristiky dvojitě transparentní fasády vyplývají hlavní důvody, které vedly k rekonstrukci a dostavbě budovy ČEZ. Záměrem této rekonstrukce bylo zlepšit vnitřní pohodu uvnitř budovy. V letních měsících bylo na jižní a západní straně budovy nesnesitelné horko, naopak v zimě zde proudil netěsnostmi velmi studený vzduch.

6.2 Zhodnocení budovy z hledisek rozdělení transparentních fasád

Nejdříve byla provedena studie aplikace fasády, kde byla klasifikována její technická a funkční koncepce pro modernizaci budovy. Dále bylo zpracováno základní klimatické a energetické řešení včetně orientačního odhadu energetických úspor s navazující charakteristikou přirozeného větrání objektu. Poté následovalo vytvoření modelu vnějšího klimatu a pro matematickou simulaci byla stanovena aerodynamická kvantifikace budovy ve formě aerodynamických koeficientů externího tlaku pro čtyři základní směry větru [10].

Při řešení technických podmínek pro dimenzování a konstrukční tvorbu detailů a soustavy fasády bylo třeba zohlednit požadavky na tvarovou geometrii meziprostoru, na skleněný systém a na jeho kotvení, na čistou plochu vstupních a výstupních otvorů rozvodných vzduchových kanálů a na jejich hydrodynamiku, na aerodynamiku meziprostoru, na hygienu vstupních a výstupních otvorů kanálů, na teplotní a vlhkostní režim a na konstrukční a fyzikální požadavky lamelové protisluneční ochrany [10].

Členění původní fasády zůstalo beze změn s přiznanými vodorovnými a svislými žebry. Předvěšená, bodově uchycená skleněná stěna je zavěšena na nerezové konstrukci, která je kotvena do nosných sloupů objektu. Svislé nerezové sloupky probíhají po vzdálenostech 1,80 m (obr.12). Ty jsou prostřednictvím úhelníků z ploché nerezavějící oceli zavěšeny na nerezové nosné konstrukci kotvené do nosných sloupů objektu. Terčiky a velikost předvrtaných děr umožňují dilataci skleněných tabulí [10].



Obr. 12 Nerezová konstrukce budovy ČEZ, a.s.

Podle rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska geometrie meziprostoru se jedná o typ s průchodným – chodbovým meziprostorem šířky $500 < š < 1500$ mm. Aby byl energetický výkon co nejvyšší a účinnost fasády neklesala, byla navrhována výška sekce odpovídající výšce jednoho podlaží. Sklo je vždy ukončeno mřížkou z hliníku, která slouží k přívodu a odvodu vzduch z celoročně otevřeného meziprostoru. Před okny jsou umístěny hliníkové žaluzie, které neodmyslitelně patří do systému dvojitě transparentní fasády (obr. 13).



Obr. 13 Chodbový meziprostor, hliníkové mřížky a žaluzie.

Stěna je provedena z čirého, tvrzeného, kaleného skla Planibel v tloušťce 12 mm. Tabule skla o výšce vždy přes jedno podlaží objektu 3,00 m a šířce 1,80 m jsou uchyceny pomocí šesti nerezových terčků (obr.14) [10].



Obr. 14 Nerezový terčík pro uchycení jednoduchého bezpečnostního prosklení.

Pomocí rozdělení dvojitých transparentních fasád z hlediska aerodynamiky meziprostoru můžeme říci, že pohyb vzduchu je realizován přirozenou konvekcí.



Obr. 15 Přívod vzduchu v dolní části meziprostoru [9].

Druhu proskleného systému pro vnější transparentní stěnu je zde realizován pomocí jednoduchého bezpečnostního prosklení – obr.8A.

V poslední řadě můžeme tuto dvojitou transparentní fasádu charakterizovat pomocí využití fyzikálních funkcí meziprostoru. Jedná se o fasádu s celoročně otevřeným okruhem, bez přímého využití fyzikální podstaty meziprostoru pro techniku prostředí budovy s možností využití přirozeného větrání nebo teplovzdušného vytápění jádra budovy z meziprostoru, založeného na přirozeném proudění vzduchu.

6.3 Využití dvojité transparentní fasády pro vytápění a větrání budovy ČEZ, a.s.

Na budově byla aplikována zcela pasivní dvojitá transparentní fasáda s celoročně otevřeným meziprostorem, ve kterém se ohřátý vzduch pro vytápění a větrání pohybuje přirozenou konvencí.

Fasáda byla umístěna na jižní stranu budovy (příloha 1,2,3), kde jsou umístěny kanceláře ve kterých nebyla optimální pohoda prostředí, pro maximální využití slunečního záření pro vytápění a větrání v zimním období a snížení tepelné zátěže v období letním. Z meziprostoru fasády se vzduch neodsává ani nerozvádí po budově nuceným způsobem. Dodávání teplého vzduchu do budovy je založeno čistě na přirozené konvenci. Otvíráním oken je teplý vzduch přiváděn do místností, které jsou bezprostředně odděleny od meziprostoru pouze oknem. Budova není příliš široká (příloha 1,2), takže se teplý vzduch dostane pomocí konvence mřížkami na dveřích téměř po celé budově a není třeba zavádět nucený rozvod teplého vzduchu.

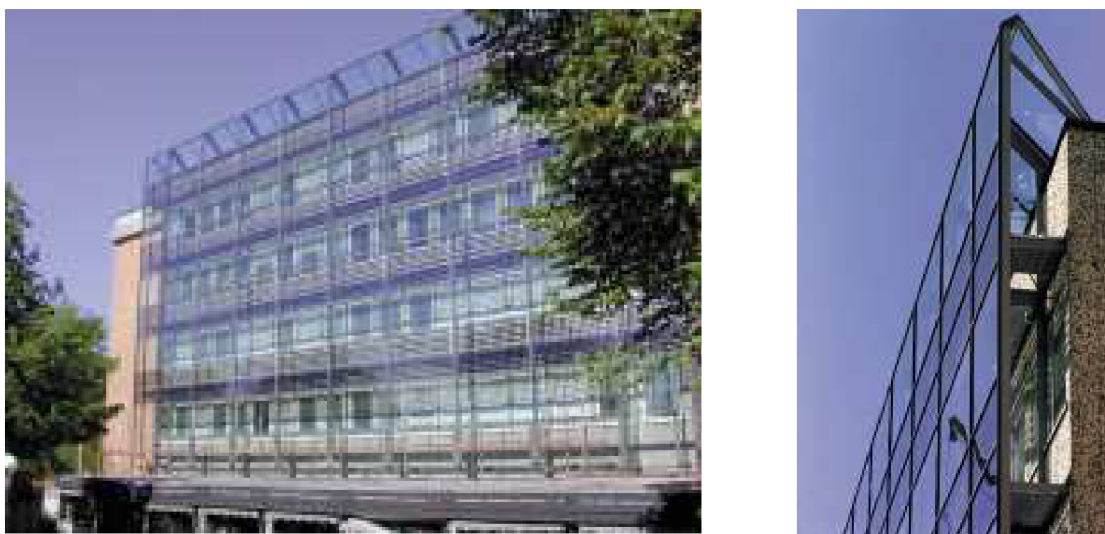
Ze vstupního větracího otvoru proudí vzduch přes ochrannou síťku (ochrana proti ptactvu a hmyzu) do přívodního rozvodného kanálu a z něho do dolní části meziprostoru (obr. 15). Při stažené protisluneční ochraně (žaluzie) je proudící vzduch usměrněný do prostoru vnější zóny meziprostoru, vertikálně ohraničené vnější transparentní stěnou a protisluneční ochranou. Z meziprostoru proudí vzduch do odvodního rozvodného vzduchového kanálu a přes ochrannou síťku (proti ptactvu a hmyzu) do výstupního větracího otvoru. Usměrnění proudícího vzduchu do vnější zóny meziprostoru má kladný vliv na kvantifikaci tepelné zátěže interiéru budovy z účinku slunečního záření. Toho lze dosáhnout pouze při akceptování správné polohy protisluneční ochrany (venkovních žaluzií) v meziprostoru [9]. Vytápět a větrat můžeme při stažené i vytažené protisluneční ochraně. U stažených žaluzií musíme dávat pozor na správné natočení, aby při otevřeném oknu byl vzduch usměrněn právě do místnosti.

Pohyb ani množství či rychlost vzduchu není automatizováno, závisí čistě na lidském řízení. Díky velké ploše dvojité transparentní fasády (příloha 1,2) je celková úspora energie, která by byla potřeba pro vytápění a větrání případně klimatizaci v letních měsících dostatečně vysoká.

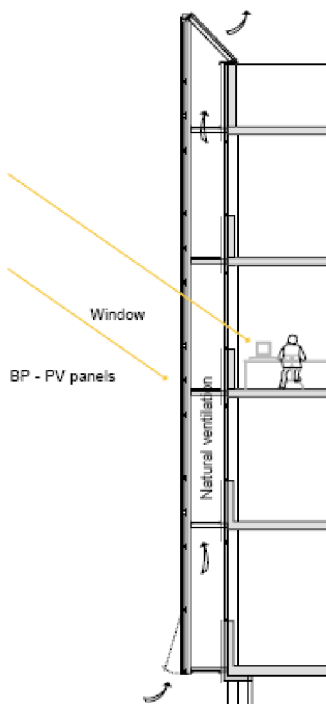
Zaměstnanci budovy ČEZ, a.s. v Hradci Králové mi potvrdili, že jsou spokojeni s realizací této dvojité transparentní fasády. Jako hlavní výhodu uvedli větrání v nepříznivých klimatických podmínkách. Okna mohou větrat i za silného větru a deště. I když letní měsíce nezačaly hrát na plný výkon, zaměstnanci pocítili menší tepelnou zátěž na jejich kanceláře a hlavně na ně samotné.

6.3.1 NTNU / SINTEF, Trondheim, Norsko

Zcela stejný způsob vytápění a větrání jako je použit na budově ČEZ, a.s., použili norští inženýři v Trondheimu na budově NTNU / SINTEF. Jediným rozdílem je, že výška sekce meziprostoru je totožná s výškou budovy. Hrozí zde nežádoucí přehřátí vzduchu v meziprostoru a s tím související větší tepelné ztráty do okolí. Pro optimální teplotu vzduchu v meziprostoru musíme navrhnout správnou výšku sekce v závislosti na variabilním průtoku vzduchu, který určuje intenzita slunečního záření.



Obr. 16 a 17 Dvojitá transparentní fasáda na budově NTNU/SINTEF v Trondheimu [12].



Obr. 18 Řez dvojitou trans. fasádou budovy NTNU/SINTEF v Trondheimu [12].

6.4 Spotřeba energie

Hlavní energetický efekt v zimním období představuje sluneční záření, procházející přes skleněné systémy vnější i vnitřní transparentní stěny dvojité fasády za předpokladu nezastíněného meziprostoru. Energetická účinnost se pohybuje mezi 25 – 30 [%] [10].

Hlavní energetický efekt z redukce, případně eliminace slunečního záření v letním období představuje průtok vzduchu meziprostorem, při kterém se ohřátým vzduchem odvádí teplo otevřeným okruhem zpět do vnějšího prostoru. Energetická účinnost dvojité fasády pro letní období se pohybuje mezi 80 – 85 [%] [10].

Na základě zkušeností z budov s aplikací dvojité transparentní fasády s chodbovým meziprostorem a s celoročně otevřeným okruhem se dají v porovnání s klasickou fasádou očekávat tyto energetické úspory: 20 – 25 [%] při potřebě tepla na topení a větrání, 35 – 45 [%] při potřebě chladu na chlazení a větrání, 30 – 35 [%] celkové energie na zabezpečení celoročního teplotního a hygienického komfortu. Tyto úspory znamenají i kratší energetickou návratnost investice, která je dle propočtů v rámci přípravy stavby 8 – 9 let [10].



Obr. 19 Celkový pohled na dvojitou transparentní fasádu.

7. Návrh dvojité hybridní fasády pro Matematicko – fyzikální fakultu UK v Praze

7.1 Popis budovy

Matematicko – fyzikální fakulta v Praze je již zastaralým objektem a z energetického hlediska již nevyhovuje dnešnímu standartu. S návrhem optimální varianty energeticky úsporného projektu přišla firma Czech RE Agency, o.p.s. na základě požadavku MFF v rámci projektu MŽP. Cílem projektu bylo do budovy zakomponovat co nejvíce obnovitelných a alternativních zdrojů energie. Hlavním prvkem návrhu je dvojitá transparentní hybridní fasáda navržená pro jižní, východní a západní stranu objektu.



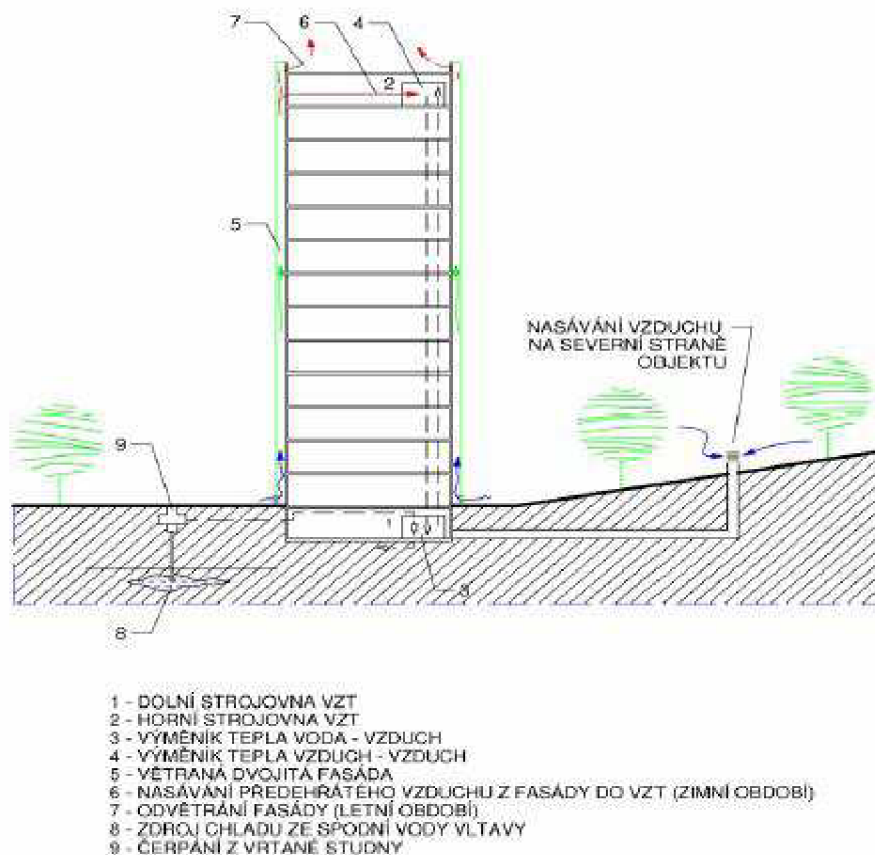
Obr. 20 Pohled na jihozápadní část objektu MFF Univerzity Karlovy [13].

Návrh optimální varianty energeticky a ekonomicky úsporného projektu rovněž vychází z nových požadavků zákona č. 406/2006 a nové metodiky a předpisů pro energetického hodnocení budov v roce 2007, která vyplývá z přijaté Evropské směrnice EPBD 2002/91/EC [13].

7.2 Využití dvojité hybridní transparentní fasády pro vytápění a větrání budovy MFF UK v Praze

Na budovu Matematicko – fyzikální fakulty je navržena dvojitá hybridní transparentní fasáda, která má za úkol maximálně využít sluneční záření pro vytápění a větrání budovy.

Hybridní fasáda je charakteristická nuceným prouděním vzduchu v meziprostoru fasády. Vytápění a větrání u této fasády můžeme realizovat třemi způsoby. Prvním způsobem je pasivní vytápění a větrání jako tomu bylo u budovy ČEZ a.s. v Hradci Králové, jednoduchým systémem otvírání oken. Opět záleží na subjektivním pocitu člověka. Druhým způsobem jak můžeme vytápět a větrat v této budově teplým vzduchem z meziprostoru fasády je nucený rozvod vzduchu po budově ventilačním potrubím. Budova je poměrně rozlehlá, vytápění a větrání pasivním systémem by zdaleka nestačilo na pokrytí požadovaného množství vzduchu stanoveného nařízením vlády č. 361/2007 Sb., § 41. Teplý vzduch je odsáván ventilátory z meziprostoru fasády a přiváděn na konkrétní místa v budově, kam by se zdaleka nedostal v požadovaném množství a kvalitě při použití pasivního rozvodu vzduchu pomocí přirozené konvence. Tento způsob je ideální pro výškové budovy, které mají charakter školských či administrativních budov, ve kterých se zdržuje poměrně velký počet lidí. Nuceným rozvodem jsme schopni plně zabezpečit požadované množství čerstvého větracího vzduchu.



Obr. 21 Schéma teplovzdušného vytápění a větrání budovy využívajícího funkce dvojité hybridní solární fasády [13].

Poslední způsob, který můžeme využít zejména pro teplovzdušné vytápění budovy v zimním období, je založen na principu odsávání teplého vzduchu z meziprostoru fasády, který dále přivádíme do tepelného čerpadla vzduch – vzduch (obr. 21). Tepelné čerpadlo nám zvýší teplotu již přehřátého vzduchu, kterým pak můžeme realizovat vytápění. Tento způsob nemá konkurenci v teplovzdušném vytápění realizovaný pomocí pasivních prvků umístěných na budově. Je ideální právě pro výškovou budovu, která by na vytápění v zimním období spotřebovala velké množství energie. Tepelné čerpadlo má sice vyšší pořizovací náklady, ale u této budovy se jistě vyplatí, a to díky rozsáhlé ploše fasády, za kterou se ohřívá velké množství vzduchu zcela zdarma.

V letních měsících se dá tato fasáda dobře využít pro zmírnění tepelné zátěže budovy otevřením okruhu ve střešním prostoru. Přehřátý vzduch tak odchází přirozenou konvencí z meziprostoru fasády a dále nezatěžuje budovu.

8. Závěr

Dvojitě transparentní fasády jsou velmi oblíbeným řešením při rekonstrukcích budov, které již nevyhovují energetickým normám a předpisům. Dvojitě transparentní fasády jsou schopny snížit spotřebu energie na vytápění a větrání až o 25 %, na chlazení budovy až o 45 % a na zabezpečení celoročního hygienického komfortu až o 35 %, to vše díky ekologicky a ekonomicky získané tepelné energii ze slunečního záření. Fasády chrání nejen samotnou budovu vůči nepříznivým klimatickým změnám, ale zlepšují i vnitřní pohodu budovy. V neposlední řadě dvojitá transparentní fasáda určuje nové trendy ve fasádní technice budov díky svému ojedinělému vzhledu. Výsledkem všech těchto kladů je velice kvalitní solární systém, který má své pevné místo v naší energetické a architektonické budoucnosti.

V práci jsou posouzeny 2 možné způsoby využití dvojitě transparentní fasády pro vytápění a větrání.

U budovy ČEZ, a.s. v Hradci Králové byl zvolen pasivní systém vytápění a větrání. Dvojitá transparentní fasáda je umístěna na straně, kde s ní bezprostředně sousedí většina kanceláří v budově. Díky systému otvírání oken je zde zaručeno dostatečné větrání přímo z meziprostoru fasády.

Výšková budova Matematicko – fyzikální fakulty UK v Praze je rozlehlejší než budova ČEZ, a.s. Vzduch jen z dvojitě transparentní fasády by nestačil na pokrytí potřebného množství větracího vzduchu, proto je zde zvolen systém nuceného větrání. Celkové náklady na realizaci budou mnohonásobně vyšší než u budovy ČEZ, a.s., ale díky automatizovanému řízení, které snižuje energetické náklady na minimum, je návratnost obou systémů zhruba srovnatelná.

Lze konstatovat, že obě fasády byly navrženy pro dané budovy správně.

9. Seznam použité literatury

- [1] BIELEK, B., BIELEK, M., PALKO, M. Dvojité transparentné fasády budov, 1.diel.1.vyd. Bratislava: Coreal, 2002. ISBN 80-968846-0-3.
- [2] BIELEK, B. Dvojitá transparentná fasáda - Vybrané problémy z projektu experimentálneho overenia fyzikálnych vlastností dvojitej fasády budovy NBS v Bratislave. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, Vydavateľstvo STU, 2003. ISBN 80-227-1864-5.
- [3] FRÝBA, Jiří. Fyzikální základy provozu technických zařízení budov. [s.l.], 2008. 105 s. Bakalářská práce.
- [4] www.aldebaran.cz
- [5] www.vermos.cz
- [6] www.i-ekis.cz
- [7] www.rccr.cz
- [8] www.tzb-info.cz
- [9] www.valc-hk.cz
- [10] www.stavitel.cz
- [11] www.klimarapid.cz
- [12] www.ntnu.no/arkitekt/BPsolar/brosj_e.pdf
- [13] www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2007/16/Sedlak.pdf

10. Přílohy

Příloha 1 – Řez příčný

Příloha 2 – Půdorys 2.N.P.

Příloha 3 – Svislý řez fasádou jih, západ