

Návrh nomogramov pre určenie veľkosti absorbera solárnych vzduchových kolektorov

Peter Tauš¹, Radim Rybár¹ a Jaroslav Takáč²

Designing of nomographs for determination of solar air collector's absorber size

Solar systems are able to save an important part of costs for heating, mainly in large objects. During the decision about the possibility to install a solar system to a building, the investor will be interested mainly in the estimation of the costs for the system. One of the main investments is to the absorber a basic part of the solar system.

The proper size of the absorber indicates a performance of the whole system but also a significant part of the input investment costs. Nomographs, presented in this project, that were created according the detailed calculation, will significantly speed up stating of the size of the absorber of the solar system.

Key words: Solar Air Heating, Solarwall, ventilation

Úvod

V súčasnej vysoko konkurenčnej, energeticky a finančne náročnej dobe predstavujú náklady na vykurovanie významný prvok v oblasti nákladov podnikateľských subjektov a domácností. Jednou z priorit súčasnej spoločnosti je preto hľadanie možností minimalizácie týchto nákladov spôsobmi čo najefektívnejšími, niekedy však prehnane sofistikovanými a bez dotačných programov nerealizovateľnými. Pritom však i jednoduchá technológia, či úprava môže významným spôsobom redukovať spotrebu energie a náklady na jej výrobu. K takýmto technológiám patria i niektoré solárne vzduchové systémy.

Solárne vzduchové kolektory sú jednoduchá, veľmi efektívna, cenovo prijateľná cesta slúžiaca na ohrev vonkajšieho vzduchu pre priemyselné a komerčné využitie, ktorá je založená na využití transparentných a netransparentných materiálov slúžiacich ako absorber slnečného žiarenia. Táto jednoduchá technológia spočíva v aplikácii vhodného absorbného plášt'a na južnú fasádu budovy, pričom dochádza k vytvoreniu vzduchovej medzery. Je potrebné si uvedomiť, že veľkosť kolektorovej plochy ovplyvňuje hlavne množstvo privedeného vzduchu, ktoré je závislé na type budovy a spôsobe jej využitia.

Netransparentné solárne vzduchové systémy

Netransparentné solárne vzduchové systémy predstavujú efektívnu a cenovo výhodnú cestu k vykurovaniu veľkoplošných budov. Osvedčený špeciálny kovový plášť a vzduchový systém dokáže:

- ohrievať privádzaný vzduch,
- zlepšiť kvalitu vzduchu v budove,
- zabezpečiť letné chladenie,
- eliminovať stratifikáciu teplého vzduchu v oblasti stropu,
- zlepšiť distribúciu vzduchu v budove,
- znížiť prevádzkové náklady.

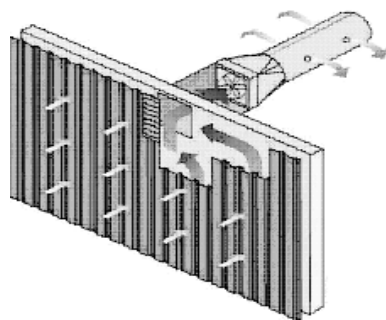
Princíp činnosti netransparentných solárnych vzduchových kolektorov

Solárne vzduchové kolektory využívajú solárnu energiu na ohriatie privádzaného čerstvého (vonkajšieho) vzduchu do budovy. Technológia je vhodná pre budovy s minimálnymi požiadavkami na zmenu ventilačného systému, hlavne v slnečných lokalitách s dlhou vykurovacou sezónou a funguje nasledovným spôsobom:

Tmavý perforovaný absorber z plechu je nainštalovaný na južnej stene budovy. Absorber je umiestnený vo vzdialenosti približne 15 cm na pôvodnom opláštení budovy, čím vznikne vzduchová medzera. Tmavá kolektorová stena sa správa ako veľký solárny kolektor, ktorý premieňa solárne žiarenie na teplo. Ventilátor je prepojený s ventilačným systémom budovy nainštalovaným v hornej časti steny. Služi na privádzanie vonkajšieho vzduchu. Na Obr. 1 je znázornený systém prechodu, ohrevu a rozvodu vonkajšieho vzduchu do budovy.

¹ Ing. Peter Tauš, doc. Ing. Radim Rybár, PhD., Centrum obnoviteľných zdrojov energie UPaCR, Fakulta BERG Technickej univerzity "v Košiciach, Park Komenského 19, 040 01 Košice,

² Ing. Jaroslav Takáč, ZSSK, Facility management, Pri bitútku 2, 040 01 Košice
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 23. 4. 2007)



Obr. 1. Systém prechodu, ohrevu a rozvodu vonkajšieho vzduchu do budovy.

Fig. 1. Scheme of the transfer, heating and distribution of outdoor air into the building.

Ohrev privádzaného vonkajšieho vzduchu solárnou energiou predstavuje technológiu, ktorá odstráni a značne zjednoduší prácu bežného vykurovacieho systému, šetrí financie a energiu.

Zimná prevádzka kolektora slúži na ohrev vonkajšieho chladného vzduchu. Ohrevom vzduchu dôjde k zníženiu vykurovacích nákladov. Dobrá kvalita vzduchu v budove je závislá na priemernej kvantitatívnej dodávke čerstvého vonkajšieho vzduchu [3]. Hlavnou a veľmi často podceňovanou príčinou vzniku chorôb je predovšetkým nízka kvalita pracovného ovzdušia. Tento negatívny stav riešia solárne vzduchové kolektory, ktoré zároveň znižujú negatívny dopad nekontrolovateľného vstupu vonkajšieho vzduchu do budovy. Práve tento vstup vonkajšieho vzduchu spôsobuje nárast vykurovacích nákladov. Solárne vzduchové kolektory riešia tento problém použitím solárnej energie k predhriatiu privádzaného čerstvého vzduchu. Schematický proces ohrevu privádzaného chladného vzduchu v zimnom období je zobrazený na Obr. 2.

Letné chladenie spočíva v preventívnom odvedení nadbytočného solárneho žiarenia z južných častí budovy (Obr. 3). Teplý vzduch medzi kolektorom a strechou budovy je odvádzaný odvetrávacím otvorom, čím vzniká podtlak umožňujúci automatické nasávanie čerstvého a chladného vzduchu zo severnej strany vhodným potrubím [5].

Aplikačné predpoklady a integrácia solárnych vzduchových kolektorov s budovou

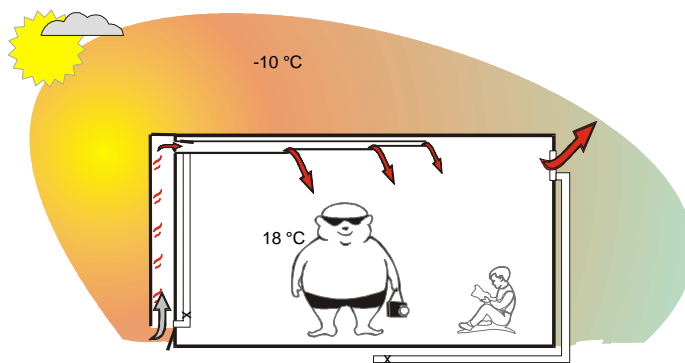
Aplikačné predpoklady

Základom aplikácie solárnych vzduchových kolektorov je vhodne južne orientovaná stena. Pre inštaláciu absorbéra je potrebná dostatočná plocha na tejto južne orientovanej stene. Stena s vysokým percentom okien a dverí je nevhodná, tak isto ako aj stena ktorá je tienená počas dňa.

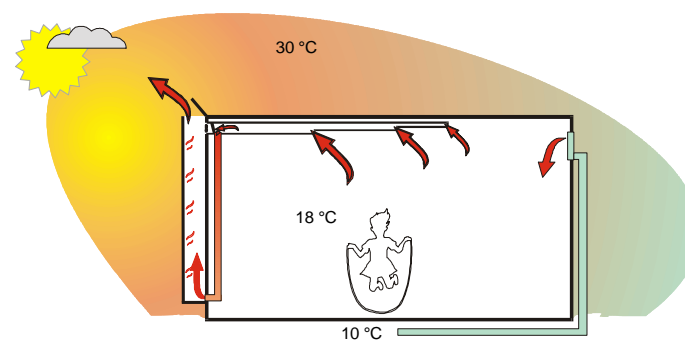
Solárny vzduchový kolektor môže pracovať pod rôznym uhlom orientácie smerom od juhu. Ideálna orientácia solárnych vzduchových kolektorov je južná, s odklonom do 20° smerom juhovýchodne alebo juhozápadne, Obr.4 A. Pri takejto orientácii dokáže vzduchový kolektor zachytiť 96 až 100 % dopadajúceho slnečného žiarenia [2].

Akceptovateľná orientácia (Obr.4 B) predstavuje odklon od juhu do 45° smerom juhovýchodne alebo juhozápadne. Takto orientovaný vzduchový kolektor dokáže zachytiť 75 - 90 % dopadajúceho slnečného žiarenia.

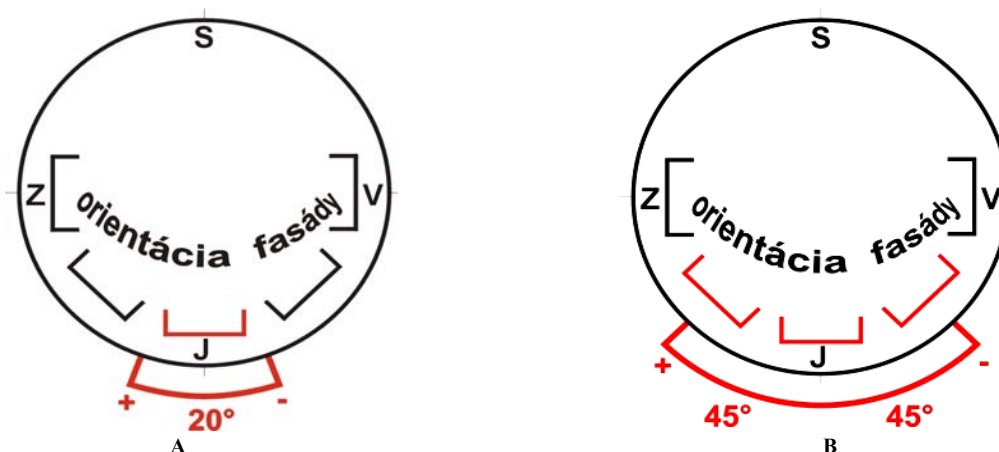
Pri plánovaní solárnych vzduchových kolektorov môžeme počítať s ročným energetickým ziskom 80 až 120 kWh.m⁻². Tento zisk zabezpečuje vysoká účinnosť – využije sa 60 až 75 % energie slnečného žiarenia. Teplota čerstvého vzduchu sa zvýši o 10 až 25 °C. Okrem toho vytvorená vrstva teplého vzduchu na fasáde znižuje tepelné straty budovy [6].



Obr. 2. Zimná prevádzka netransparentného vzduchového kolektora.
Fig. 2. Runing of air collector in winter.



Obr. 3. Letná prevádzka netransparentného vzduchového kolektora.
Fig. 3. Runing of air collector in summer.



Obr. 4. Zobrazenie ideálnej (A) a akceptovateľnej (B) orientácie solárnych vzduchových kolektorov na južnej stene fasády.
Fig. 4. Presentation of ideal (A) and acceptable (B) orientation of solar air collectors on the south oriented wall.

Predmet riešenia

Základom návrhu solárneho systému je určenie veľkosti kolektorovej plochy na základe objemu a využitia budovy. Pri uvedenom výpočte sú uvažované tri typy hál A, B a C, konštrukčne rovnakého prevedenia, ktoré sa vzájomne líšia typom prevádzky. Výpočty sú uskutočnené pre radiálne a paralelné usporiadanie prúdov vzduchu. Výsledkom výpočtu sú nomogramy pre určenie veľkosti kolektorovej plochy pre každý typ haly.

Vo výpočtoch je uvažované s parametrami typu fasády z perforovaného plechu bez odvetrávacích štrbín (Obr. 5). Konštrukčné prevedenie tohto typu fasády je výhodné najmä pre budovy, ktoré vyžadujú veľkú výmenu vzduchu, a preto sa musia intenzívne mechanicky vetrať. Sú to napríklad výrobné haly s teplovzdušným vykurovaním. Výrobné haly s vysokými fasádami bez okien sú typické práve pre priemyselné objekty, vytvárajú optimálne predpoklady pre cenovo výhodnú a jednoduchú inštaláciu.

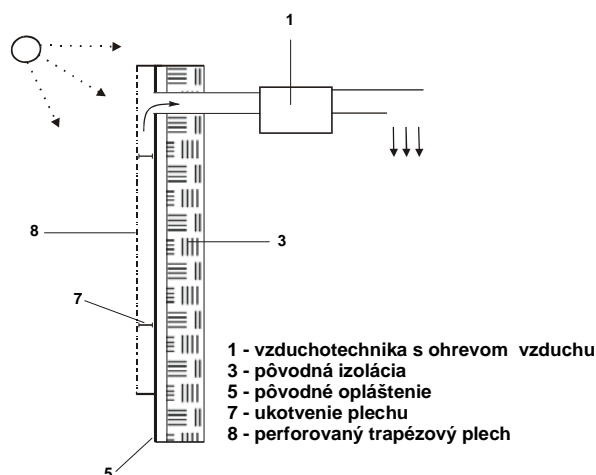
Výpočet nomogramov

Označme typy hál podľa vyššie uvedeného nasledovne:

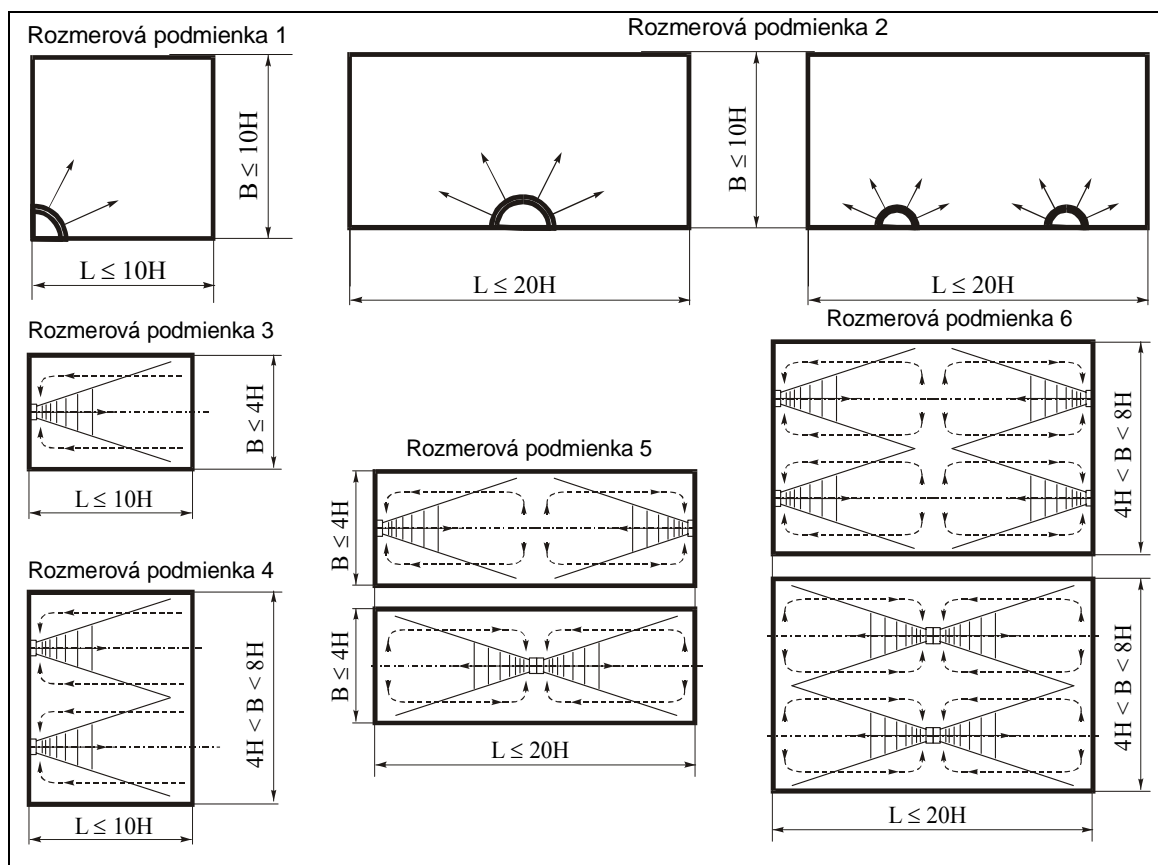
- hala A slúži pre hrubú montáž,
- hala B pre jemnú montáž,
- hala C ako dielňa pre jemnú mechaniku.

Výpočet vychádza z podmienok prúdenia vzduchu, pričom postup výpočtu sa líši v závislosti od nasledujúcich vstupných podmienok zohľadňujúcich pomery rozmerov haly podľa označenia L – celková dĺžka, B – celková šírka, H – výška [1] (Obr. 6):

- [1] Pre radiálne usporiadanie prúdov:
- o podmienka 1: $L \leq 10H$, $B \leq 10H$,
 - o podmienka 2: $L \leq 20H$, $B \leq 10H$.
- [2] Pre paralelné usporiadanie prúdov:
- o podmienka 3: $L \leq 10H$, $B < 4H$,
 - o podmienka 4: $L \leq 10H$, $4H < B < 8H$,
 - o podmienka 5: $L \leq 20H$, $B \leq 4H$,
 - o podmienka 6: $L \leq 20H$, $4H < B < 8H$.



Obr. 5. Prierez uvažovanou solárnou vzduchovou fasádou.
Fig. 5. Cross-section of the solar air facade.



Obr. 6. Vstupné podmienky pre výpočet kolektorovej plochy pri radiálnom a paralelnom usporiadaní prúdov.
Fig. 6. Input conditions for the calculation collector's area at the radial and the parallel flow zonation.

Určenie veľkosti kolektorovej plochy pre radiálne usporiadanie prúdov

1. Stanovenie celkového objemového prietoku

Výpočet veľkosti kolektorovej plochy netransparentných solárnych vzduchových kolektorov s absorberom z perforovaného plechu vychádza z celkového množstva privádzaného vzduchu potrebného pre daný typ haly V_{bldg} a objemový prietok vzduchu dutinou kolektora V_{wall} [2].

Pre sprehľadnenie príspevku sú uvedené len **výsledky** výpočtu veľkosti kolektorovej plochy pre riešené haly. Postup výpočtu je priestorových dôvodov uvedený heslovito:

- usporiadanie prúdov pre dané rozmery haly [1],
- určenie množstva vetracieho vzduchu (objemový prietok),
- určenie celkovej tepelnej straty hál A, B a C,
- stanovenie tepelnej charakteristiky haly,
- určenie výšky výustkov nad podlahou,
- stanovenie maximálnej rýchlosti spätného prúdu,
- výpočet dosahu prúdu L_R ,
- výpočet celkového objemového prietoku pre zadané hodnoty.

Pre halu A sme získali tieto východzie podmienky pre výpočet veľkosti kolektorovej plochy:

- celkový objemový prietok vzduchu $V_{bldg} = 19,811 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- objem haly $O = 72\,000 \text{ m}^3$,
- výška umiestnenia výustiek $h = 6,5 \text{ m}$,
- plocha pričného rezu výustiek $S_o = 0,25 \text{ m}^2$.

2. Určenie veľkosti kolektorovej plochy

Pre určenie veľkosti kolektorovej plochy musíme okrem celkového množstva vzduchu potrebného pre budovu V_{bldg} poznať aj objemový prietok dutinou kolektora V_{wall} . Postup výpočtu objemového prietoku vzduchu dutinou kolektora je uvedený opäť heslovito:

- výpočet účinného vztaku vyvolaného vplyvom rozdielu teplôt pri premenlivej teplote vzduchu v dutine fasády,
- stanovenie hydraulických odporov v dutine fasády,
- výpočet rýchlosti prúdenia vzduchu v dutine,
- určenie odporového súčiniteľa podľa šírky vzduchovej medzery,
- výpočet objemového prietoku vzduchu,
- výpočet veľkosti kolektorovej plochy podľa vzťahu:

$$A_c = \frac{V_{bldg}}{V_{wall}} \quad [m^2] \quad (1)$$

kde:

A_c je veľkosť plochy netransparentných solárnych vzduchových kolektorov [m^2],

V_{bldg} je množstvo vzduchu potrebné pre budovu [$m^3 \cdot s^{-1}$],

V_{wall} je objemový prietok vzduchu na 1 m^2 fasády [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Z výpočtu vyplýva, že veľkosť kolektorovej plochy závisí predovšetkým od množstva vzduchu potrebného pre daný typ haly a tiež od objemového prietoku vzduchu kolektorom. Množstvo vzduchu potrebné pre halu je dané spôsobom jej využitia v konkrétnych podmienkach prevádzky na základe požiadaviek užívateľa.

Výpočtom bolo určené množstvo energie odovzdanej netransparentným solárnym vzduchovým kolektorom o veľkosti

$A_c = 66 m^2$ montovanom na hale A vo vykurovacom období pre mesiac január.

To predstavuje hodnotu

$Q_{sol,i} = 476 kW$

Výpočet pre typ haly B a C:

Pri výpočte veľkosti kolektorovej plochy a množstva zachytenej energie sme postupovali obdobne ako v prípade haly A.

Pre halu B sme získali tieto východzie podmienky pre výpočet veľkosti kolektorovej plochy:

- celkový objemový prietok vzduchu $V_{bldg} = 9 m^3 \cdot s^{-1}$,
- objem haly $O = 72\,000 m^3$,
- výška umiestnenia výustiek $h = 6,5 m$,
- plocha priečného rezu výustiek $S_o = 0,11 m^2$.

Pre halu C sme získali tieto východzie podmienky pre výpočet veľkosti kolektorovej plochy:

- celkový objemový prietok vzduchu $V_{bldg} = 3,6 m^3 \cdot s^{-1}$,
- objem haly $O = 72\,000 m^3$,
- výška umiestnenia výustiek $h = 6,5 m$,
- plocha priečného rezu výustiek $S_o = 0,06 m^2$.

Zhrnutie energetickej bilancie haly A, B a C

Z výpočtov sme zistili, že množstvo energie odovzdanej netransparentným solárnym vzduchovým kolektorom na jednotlivých halách pre mesiac január je nasledovné:

hala A

$A_c = 66 m^2$

$Q_{sol,i} = 476 kW$

hala B

$A_c = 30 m^2$

$Q_{sol,i} = 261 kW$

hala C

$A_c = 14 m^2$

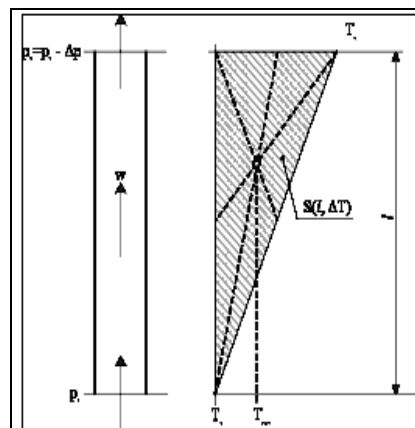
$Q_{sol,i} = 125 kW$

Výpočet veľkosti potrebnej kolektorovej plochy pre paralelné usporiadanie prúdenia v halách je obdobný.

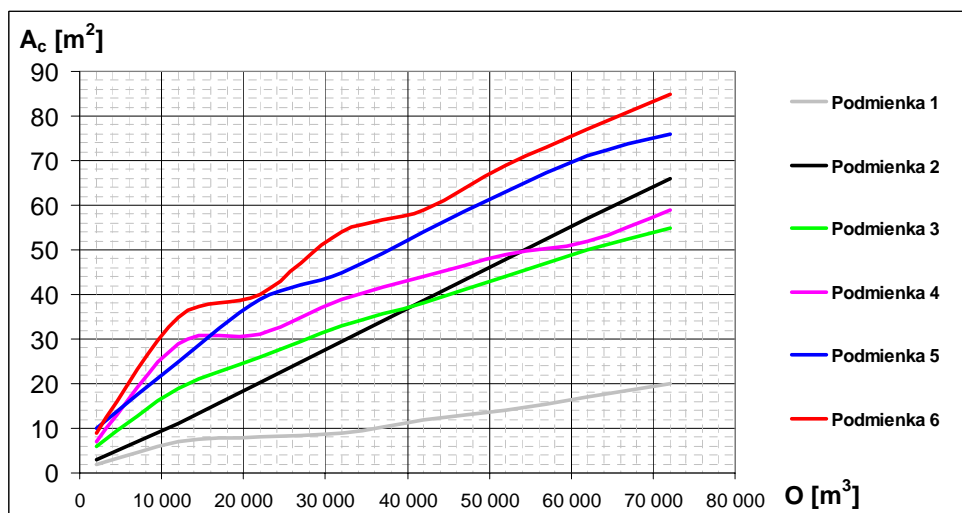
Výpočet nomogramov

Pri stanovení nomogramov je uvažované paralelné a radiálne usporiadanie prúdov pri centrálnom prívode vzduchu. Podľa postupu, uvedeného v predošlom texte, je vypočítaná veľkosť kolektorovej plochy pre zvolené radiálne a paralelné usporiadanie prúdov na základe rozmerov a požiadaviek hál A, B a C.

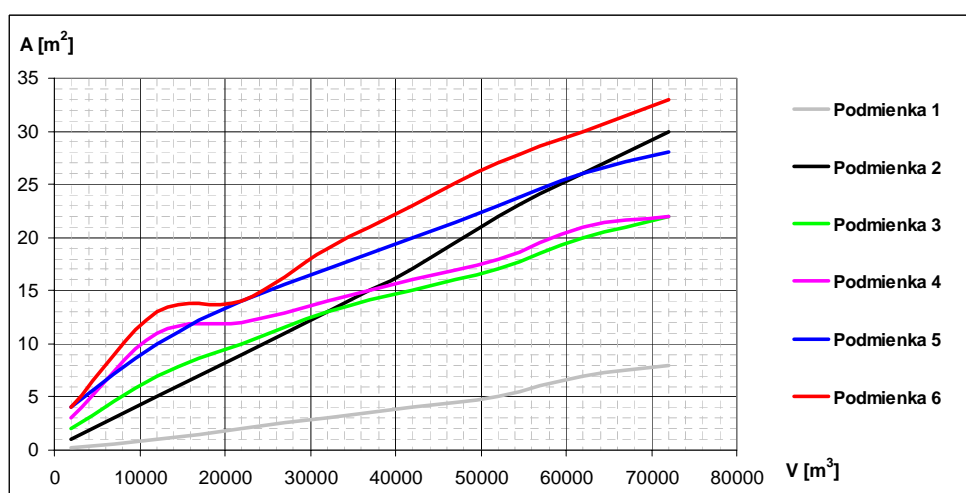
Grafické vyjadrenie výsledkov výpočtov predstavujú nasledovné nomogramy.



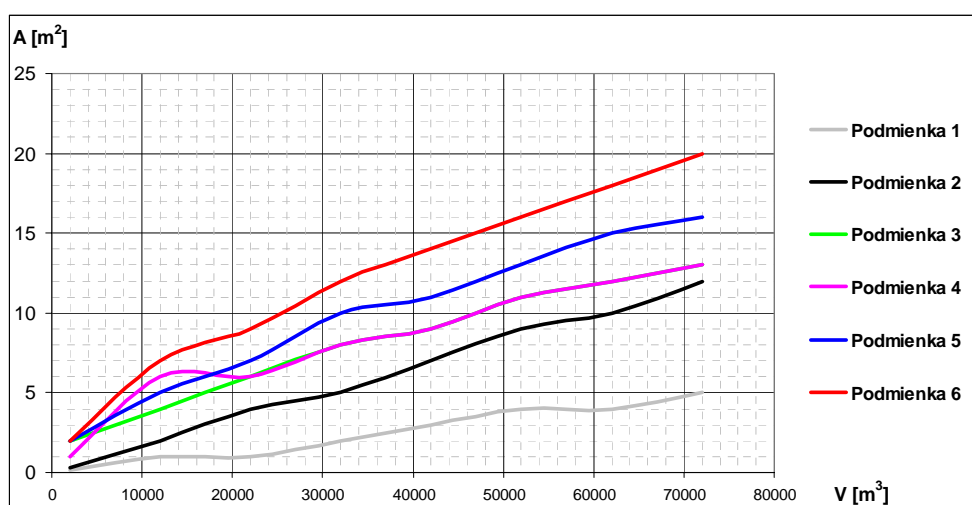
Obr. 7. Výpočet vztaku vzduchu.
Fig. 7. Calculation of the air lift force.



Obr. 8. Nomogram pre určenie veľkosti kolektorovej plochy, typ haly A - Montážna hala pre hrubú montáž.
 Fig. 8. Nomogram for the determination of surface area of the collector, type of the hall A for the rough assembly.



Obr. 9. Nomogram pre určenie veľkosti kolektorovej plochy, typ haly B - Montážna hala pre jemnú montáž.
 Fig. 9. Nomogram for the determination of surface area of the collector, type of the hall B for the rough assembly.



Obr. 10. Nomogram pre určenie veľkosti kolektorovej plochy, typ haly C - Dielňa pre jemnú mechaniku.
 Fig. 10. Nomogram for the determination of surface area of the collector, type of the hall C for the rough assembly.

Záver

Postup a výsledok výpočtov základných parametrov energetických slnečných fasád v podobe nomogramov uľahčuje prvotné rozhodovanie investora pri výbere solárnej tepelnej technológie na ohrev vzduchu v priemyselných halách. Hlavným parametrom solárnych energetických fasád určujúcim ich výkon je veľkosť kolektorovej plochy.

Každý typ prevádzky má vlastné požiadavky na množstvo privádzaného vzduchu a rýchlosť prúdenia. Z výpočtov pre veľkosť kolektorovej plochy vyplýva uvedená závislosť medzi celkovým objemom privádzaného vzduchu a plochou kolektorov.

Vypočítané nomogramy umožnia urýchliť určenie veľkosti kolektorovej plochy pre jednotlivé typy hál A, B a C daného objemu, použitia a usporiadania prúdov bez pracného počítania. Potenciálny investor a záujemca o daný typ fasády tvorenej z perforovaného plechu bez odvetrávacích štrbín tak môže okamžite určiť predpokladanú veľkosť kolektorovej plochy vhodnej na určený typ haly. Treba si však uvedomiť, že každá hala má svoje špecifiká, napríklad materiál, z ktorého je konštrukčne riešená, s čím súvisia tomu zodpovedajúce energetické straty. Taktiež požiadavky na množstvo privádzaného vzduchu, spôsob výberu usporiadania prúdov, umiestnenie a kvalita konštrukcie fasády. Pri zohľadnení týchto podmienok je preto potrebné ku každému typu haly pri detailnom výpočte pristupovať osobitne.

Energetická fasáda je dnes jednou z foriem novej fasádnej techniky budov, využívajúcej ekologicky čistý alternatívny zdroj - slnečnú energiu, ktorá stále z nevyčerateľného zdroja prichádza, je zadarmo, nikto ju nemôže vypnúť ani zvýšiť jej cenu, máme ju na povrchoch všetkých obalových konštrukcií budov, čakajúcu na toho, kto ju zachytí a využije.

Solárne systémy sú schopné ušetriť značnú časť nákladov na vykurovanie, predovšetkým vo veľkých objektoch. Pri rozhodovaní o možnosti inštalovať solárny systém na budovu bude investora v prvom rade zaujímať odhad nákladov na takýto systém. Jednu z hlavných investícií predstavuje hlavná časť solárneho systému - absorbér.

Práve veľkosť absorpčnej plochy určuje nielen výkon celého systému, ale aj podstatnú časť vstupných investičných nákladov. Nomogramy, predstavené v tomto projekte, ktoré boli zostavené na základe podrobných výpočtov, výrazne urýchlia určenie veľkosti absorpčnej plochy solárneho systému.

Literatúra - References

- [1] Cihelka, J. a kol.: Vytápění, větrání a klimatizace, *SNTL, Praha, 1985. s. 132-280.*
- [2] Cihelka, J.: Solární tepelná technika, *NTM, Praha, 1994. s. 53-72.*
- [3] Haller, A., Humm, D., Voss, K.: Solární energie, *Grada Publishing, Praha, 2001.*
- [4] Horbaj, P., Lukáč, P., Mikolaj, D.: Zásobovanie teplom. *TU SjF Košice, 2005, ISBN 80-8073-304-X.*
- [5] Ladener, H., Späte, F.: Solární ražžení, *Grada, Praha, 2003. s. 150-180.*