

Vzduchové solární systémy

Air Solar Systems

Recenzent
 doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek uvádí přehled vzduchových solárních kolektorů a příklady jejich konstrukce a využití.
Klíčová slova: sluneční energie, vzduchový solární kolektor, účinnost, konstrukce, tepelný výkon

The article presents a survey of air solar collectors and examples of their design and utilization.
Key words: solar energy, air solar collector, efficiency, design, thermal output

1. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA

Nízkoteplotní sluneční systémy pracují většinou s kapalnou teplotonosnou látkou v okruhu kolektorů i spotřebičů a také akumulací látkou v zásobníku tepla je kapalina, zpravidla voda. Je však možno vytvořit systémy, u nichž teplotonosnou látkou je vzduch. Zatímco v plochých kolektorech kapalných soustav je ohřev vzduchu mezi absorberem a krycím sklem a s tím spojené ztráty tepla vedlejším obtížným procesem, vzduchové kolektory využívají sluneční záření pro ohřev vzduchu cíleně. Energie slunečního záření se zachycuje ve vzduchových kolektorech, které se konstruují podobají kolektorům kapalinovým. Vzduchem protékající nebo obtékaný absorber leží v době izolované skříně s krycím zasklením na přední straně. Existují však i další konstrukční řešení, a proto rozeznáváme tyto konstrukční varianty:

Panelové ploché kolektory

- bez vzduchové mezery,
- se vzduchovou mezerou,
- jednokomorové, vícekomorové,
- otevřené, uzavřené.

Absorbční střechy a fasády

- integrované do střešního nebo obvodového pláště,
- zasklené, perforované.

Energetické fasády

- představený prosklený plášť, $d = 0,1$ až $0,2$ m (neprůchozí), $d > 0,6$ m (průlezný),
- akumulace do hmoty fasády,
- clonící prvky,
- výška na podlaží, na více pater nebo průběžná.

Vzduchové systémy nachází stále častější uplatnění v posledních dvou jmenovaných variantách. V nich tvoří nedílnou část stavební konstrukce a jejich vzhled a zakončení se přímo odráží na architektonickém ztvárnění objektu. Hlavní devizou je jednoduché a funkční řešení, kterým jsou předurčeny pro řadu aplikací, kde má jejich užití úspěch ve srovnání s tradičními kapalinovými systémy.

2. APLIKACE VZDUCHOVÝCH SYSTÉMŮ V BYTOVÉ A OBČANSKÉ VÝSTAVBĚ

Vzduchové kolektory se v našich evropských podmínkách v protikladu k USA zdaleka nedočkal takového rozšíření jako kolektory kapalinové. Hlavní příčina má fyzikální charakter. Nevýhodou vzduchu jako teplotonosné látky je jeho malá měrná tepelná kapacita c ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a malá objemová tepelná kapacita C ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$). Při použití dvouokruhových uzavřených soustav musí být pro přenos tepla na vzduch nebo na jinou látku, například na vodu, teplosměnné plochy dimenzovány v úměrné velikosti jako u vzduchotechnických jednotek, aby bylo dosaženo dobrého přestupu tepla.

Tab. 1 Fyzikální parametry vzduchu a vody

	Vzduch	Voda
Tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	0,026	0,614
Hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	1,1774	995,8
Tepelná kapacita [$\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	1005,7	4179
Kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	$15,68 \cdot 10^{-6}$	$0,86 \cdot 10^{-6}$

Vzduchové systémy se s výhodou používají pro:

- teplovzdušné vytápění a větrání budov, předehřev vzduchu (nejefektivnější),
- podpora ohřevu teplé vody a nízkoteplotního vytápění (málo vhodné – 2x transformace tepla),
- sušení vlhkých materiálů (palivové dřevo, apod.), zemědělských produktů, atd. (efektivní využití letních přebytků tepla).

Teplota výstupního vzduchu se pohybuje okolo 30 až 70 °C. Horkovzdušné pracují s teplotami vzduchu až do cca 150 °C.

3. APLIKACE VZDUCHOVÝCH SYSTÉMŮ V OSTATNÍCH OBORECH

Solární technika je zvláště vhodná pro účely sušení celé řady produktů a má využití v různých technických i průmyslových odvětvích. Je rovnocenným a čistě ekologickým způsobem, který při vhodné aplikaci plně nahradí tradiční technologie. U kombinovaných zařízení vylepší celkovou energetickou bilanci a sníží spotřebu neobnovitelné energie. Sušení sluneční energií se často uplatňuje v těchto oblastech:

- zemědělství – živočišná výroba (předehřev vzduchu), rostlinná výroba (sušení sena, obilí, tabáku),
- zahradnictví (sušení ovoce, semen, urychlování růstu),
- chemický průmysl,
- potravinářský průmysl,
- dřevozpracující průmysl (vysoušení řeziva, palivového dřeva apod.).

4. VÝHODY A NEVÝHODY VZDUCHOVÝCH KOLEKTORŮ

Výhody

- Jednodušší i levnější materiálové a konstrukční provedení z důvodu menšího tepelného a tlakového namáhání.
- Systém nepotřebuje aktivní zabezpečovací zařízení (pojistný ventil, expanzní nádobu).
- Soustavu není třeba napouštět, odvzdušňovat.
- Zanedbatelné problémy s korozi, zimní provoz zcela bez problémů zamrznutí při teplotách pod 0 °C.
- Vzduchový kolektor jako trvale provětrávaná dutina chrání střešní plášť před fyzikálním poškozením a při vestavbě do konstrukce rovněž snižuje tepelné ztráty obvodového či střešního pláště.



Obr. 1 Rozdělení vzduchových systémů – příklady
a – průmyslově vyráběný panelový plochý kolektor (teplovzdušné vytápění)
b – montáž integrované absorpční střechy skladové haly (sušení zemědělských produktů)
c – energetická fasáda administrativní budovy (předehřev větracího vzduchu, odvod letních tepelných zisků)

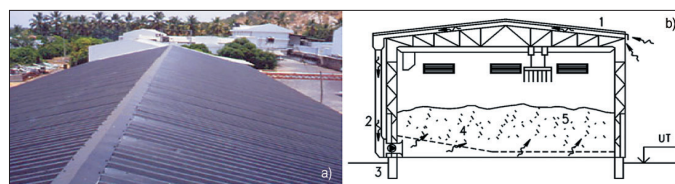


Obr. 2 Příklady instalací solárních vzduchových kolektorů v bytové a občanské výstavbě
a – malý solární vzduchový panel na rekreační chatě
b – energetická střecha jako vzduchový kolektor 150 m² na bytovém domu v Kodani, Dánsko
c – dva hybridní solární kolektory vzduch/kapalina (cirkulující kapalná náplň uvnitř kolektorů)

- ☐ Možnost využití integrovaného fotovoltaického modulu v krycím zasklení absorberu.
- ☐ Nižší hmotnost kolektoru s možností plné integrace do roviny střešního pláště, bez nutnosti doplňkové kotvicí konstrukce a prostupů krytinou pláště.
- ☐ Minimální navýšení stálého přitížení střešní konstrukce, bez nutnosti posuzování namáhání lokálním zatížením.
- ☐ Jednoduchá účinná ochrana systému proti přehřátí při nadměrné déle trvající sluneční zátěži otevřeným oběhem s přirozeným samotížným odvětráním (letní chod naprázdno).
- ☐ Konstrukční možnost systém upravit na doplňkový provoz pro využití letních přebytků tepla k solárnímu dosoušení palivového dřeva pro bivalentní zdroj tepla (krb, krbová, kachlová kamna)
- ☐ Jednodušší materiály, konstrukční řešení, nároky na výrobu a zabezpečení a výrazně nižší cena celkové investice

Nevýhody

- ☐ Pro přenosení stejného množství tepla musí mít vzduch 4x větší hmotnost a 3300x větší objem než u kapalinových systémů (směs voda/glykol)



Obr. 3 Sluneční seník VÚZT Řepy, Praha, ČR
a – celkový pohled na střechu skladovací haly z trapezových plechů, b – funkční schéma 1 – vzduchový kolektor (součást střechy), 2 – svislé vzduchotechnické potrubí, 3 – nasávací skříň ventilátoru, 4 – dřevěný podkladní rošt, 5 – uskladněné seno

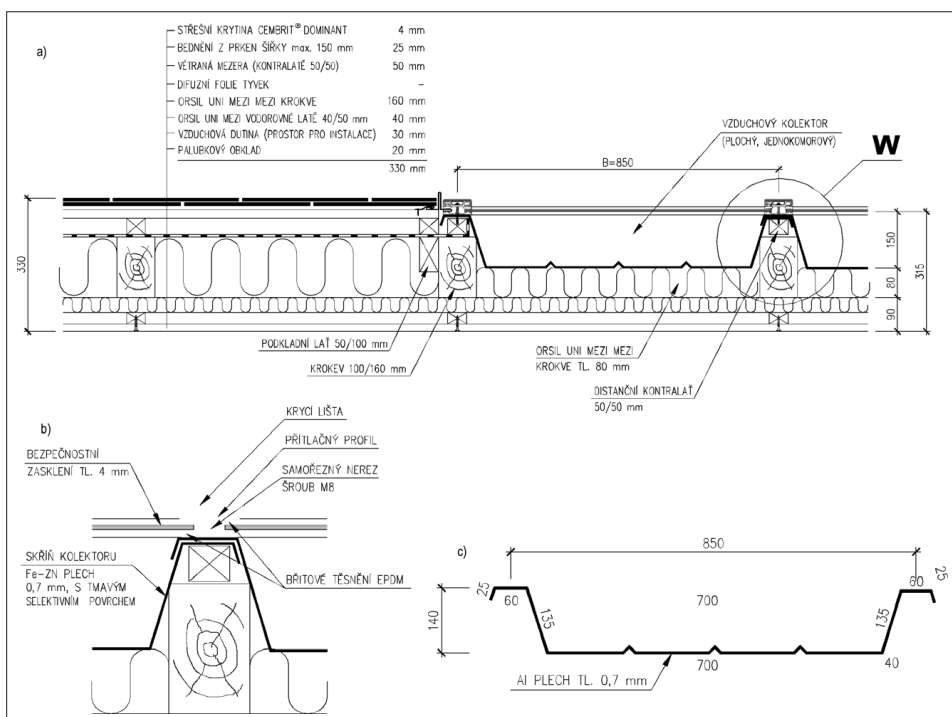


Obr. 4 Teplárna CZT Klein St. Paul
a – solární střešní kolektor, b – přívod teplého vzduchu pod sušicí rošt

- ☐ Kanály pro vzduchové systémy mají větší průřezy → vyšší nároky na více místa k instalaci (šachty, apod.)
- ☐ Nízká tepelná vodivost vzduchu oproti vodě (v poměru asi 24x) → méně vhodné pro dvouokružové uzavřené soustavy (přenos tepla ze vzduchu na jiné látky (např. vodu v žebrovaném lamelovém výměníku).
- ☐ Možnost kondenzace vodní páry v dutině absorberu (otevřené soustavy)
- ☐ Vyšší provozní náklady na údržbu a snížená účinnost kolektorů (pouze u absorberů bez vzd. mezery).

5. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VZDUCHOVÝCH KOLEKTORŮ

Převážná většina vzduchových kolektorů nabízených na trhu spadá do kategorie plochých kolektorů, které jsou dílensky vyráběné. Existuje ale



Obr. 5 Jednokomorový teplovzdušný kolektor bez vzduchové mezery
a – integrované provedení do střešního pláště, b – detail zasklívacího systému JANSEN VISS-TV, c – profil kolektorové skříňe

i řada aplikací, kde jsou kolektory prováděny přímo na stavbě z jednotlivých komponent, jsou integrovány do pláště budovy a tvoří tak v podstatě součást stavební konstrukce. Jakýkoliv typ aktivního kolektoru se skládá z typových prvků, podobných jako u tradičních kolektorů kapalinových. Jsou zde rozdíly převážně konstrukční podmíněné jejich odlišným přenosem tepelné energie do teplotnosné látky. Skládají se z kovového absorberu a z ploché skříně, opatřené na vrchní straně transparentním krytem. Díky tepelně izolované skříně mohou ploché kolektory vyvinout teplo s dobrou účinností i při teplotách 40 až 60 °C nad teplotu okolí.

Požadavky na vzduchové kolektory

Na konstrukci výkonného plochého kolektoru či energetické střechy jsou kladeny následující požadavky:

- ❑ Absorbér musí dopadající sluneční záření měnit pokud možno úplně na teplo převodem na teplotnosnou látku, vysoký součinitel absorpce α (kovové materiály – Al, Cu), nízkou emisivitu povrchu ε (selektivní pokovení absorberu), v infračervené části spektra dobrý přestup tepla z absorberu do vzduchu.
- ❑ Absorbér a všechny materiály v bezprostředním okolí musí být teplotně vysoce odolné v rozsahu -20 až 160 °C při možném běhu naprázdno v létě.
- ❑ Světelná propustnost transparentního krytu τ a současně minimalizované ztráty tepelným vyzařováním a konvekcí. Odolnost proti UV záření, počasí (kroupy, sníh) a vysokým teplotám, bez sklonu ke špinění. Zvláště vhodné jsou proto kolektory se vzduchovou mezerou, nedochází ke snižování účinnosti při provozu a jsou menší nároky na údržbu.
- ❑ Dostatečná tloušťka tepelné izolace pláště kolektoru (60 až 100 mm) odpovídající hodnota $U_i = 0,3$ až $0,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, izolace by měla být rovněž teplotně odolná, bez pojidel, apod. Vhodné jsou spíše minerální materiály.
- ❑ Těsná kolektorová skříň, chráněná proti vnikání prachu, hmyzu, apod. Atmosférický vzduch vždy obsahuje vodní páru, která při proměnlivém počasí může kondenzovat na vnitřních plochách kolektorů > odolnost proti korozi stékajícím kondenzátem
- ❑ Kolektor jako celek musí být co do velikosti, hmotnosti a osazení do konstrukce navržen tak, aby mohl být na stavbě dostupnými metodami vestavěn, případně opraven nebo dodatečně vyměněn!
- ❑ Přiměřená cena, vysoká kvalita a energetická výtěžnost za dobu životnosti zařízení. Často je výhodnější jednodušší zařízení, s větší instalovanou absorpční plochou než konstrukčně a provozně náročná soustava s přehnaně komplikovanou regulací a zcela automatickým provozem.
- ❑ Optimální využití sluneční energie v zařízeních se vzduchovými kolektory je v našich klimatických podmínkách prakticky možné celoročně (při aktivní bilanci i v zimním období). Požadavek na sklon kolektorů se volí se zřetelem na optimální celosezónní využití a nejčastěji se pohybuje v rozsahu $\alpha = 30$ až 45° , u kolektorů ve fasádě 90° .

Konstrukční formy kolektorů

Vzduchové kolektory jsou sestaveny ze stejných základních částí jako kolektory kapalinové. Z funkčního hlediska dle provozu mohou být bez nebo se vzduchovou mezerou. U kolektorů bez vzduchové mezery (obr. 6) proudí ohříváný vzduch kanálem přímo za transparentní vrstvou. Přestup tepla na straně proudícího vzduchu se zvětšuje tím, že se absorpční plocha uspořádá jako soustava vložek různého tvaru obr. 6 b. Kolektory bez vzduchové mezery však mají vždy poněkud menší účinnost než kolektory se vzduchovou mezerou. U kolektorů se vzduchovou mezerou (obr. 7) proudí ohříváný vzduch kanálem za absorpční plochou. Mezi transparentní vrstvou a absorberem je izolující mezera vyplněná klidným vzduchem.

Absorpční deska je ze speciálně pokoveného plechu a je obvykle různě tvarovaná z důvodu vyztužení a zvětšení teplosměnné plochy na straně proudícího vzduchu obr. 7 c, d, e, f. U konstrukce podle obr. 7 c, d má zvlnění (žlábkování) plechu také zvětšit absorpční plochu při šikmém dopadu slunečních paprsků. Vzduchové kolektory mají obvykle mnohem větší rozměry než kolektory kapalinové. Při šířce 1 až 2 m může být délka kolektorového pásu až 10 m.

Materiály absorberů

Jako materiály pro absorber se s ohledem na vysoké teploty při možném chodu naprázdno z hlediska odolnosti a tvarové stálosti volí téměř výhradně měď, ocel a hliník.

Povrstvení absorberů

Výkonnost absorberu podstatně závisí na povrstvení jeho horní plochy. Ta musí vykazovat nejenom vysoký stupeň absorpce, ale musí být odolná i vůči vysokým teplotám a jejich častému střídání. Vedle černých nátěrů, nanášených často nástřikem, jsou to při dnešním stavu techniky selektivní vrstvy, jimiž se dají tepelné ztráty kolektoru výrazně snížit.

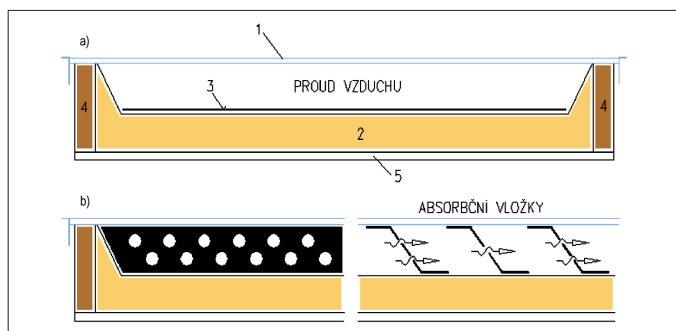
Dnes nepoužívanější povrstvení – černý chrom, nebo niklem pigmentovaný hliník, se v průmyslovém měřítku nanáší galvanicky. Jedná se přitom o velmi tenké vrstvy s jistou citlivostí vůči tukům. Pokud jsou absorber v kolektorové skříně chráněny (kolektory se vzduchovou mezerou) dosahují tyto vrstvy životnosti 20 let i více. V poslední době se zavádějí, jiné druhy vrstev. Mezi ně se počítají metody nanášení vrstev napařením – CVD (Chemical Vapour Deposition), PVD (Physical Vapour Deposition), nebo PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition). Jmenované postupy povrstvování vyžadují vysoké investiční náklady na výrobní zařízení, a proto se vyplatí jen ve velkosériové výrobě na automatizovaných linkách.

Tab. 2 Vlastnosti různých materiálů pro absorber

Materiál	Výhody	Nevýhody
Hliník	lehký, dobrá tepelná vodivost, racionální výroba, příznivá cena	ohrožen korozi, vysoká spotřeba výrobní energie
Ocel	příznivá cena, dobře zpracovatelná, menší spotřeba výrobní energie	těžká, menší tepelná vodivost, ohrožena korozi
Ušlechtilá ocel	bez nebezpečí koroze i u bazé-nové vody, velmi vysoká životnost	drahá, těžká, menší tepelná vodivost, vysoká spotřeba výrobní energie
Měď	velmi dobrá tepelná vodivost, dobře zpracovatelná, odolná korozi, vysoká životnost	drahá

Tab. 3 Různé povrstvení absorberů (selektivní). Vlastnosti a výrobní postupy dle údajů výrobců.

Výrobce	Produkt	α	ε	Povrstvení	Postup	Absorbér
TeknoTerm	SunStrip	95 ± 2	15 ± 2	Ni naoxidovaný Al	elektrochemicky	Al
MTI	Black Chrome	95 ± 2	12 ± 2	černý Cr na Ni	pásová galvanizace	Cu
Batec	Batec	95 ± 2	12 ± 2	černý Cr na Ni	pásová galvanizace	Cu
GIBO	GIBO	95 ± 2	12 ± 2	černý Cr na Ni	pásová galvanizace	Cu
INCO Alloys	Maxorb	97 ± 1,5	10,5 ± 1,3	černý Ni	jako lepená folie	Al
Energie Solaire	Solar Absorber	94 ± 2	18 ± 4	černý Cr na Ni	pásová galvanizace	nerez Fe
Thermafin	Black Crystal	≥ 95	≤ 10	Ni	pásová galvanizace	Cu
TiNOx	TiNOx	95	5	TiNOx	PVD	Cu



Obr. 6 Vzduchové kolektory bez vzduchové mezery

a – s plochou absorpční deskou, b – s absorpčními vložkami
 1 – transparentní kryt (bezpečnostní sklo), 2 – tepelná izolace (MW), 3 – absorpční deska (Al plech), 4 – nosný rám (dřevo), 5 – zadní plášť (plech, OSB, apod.)

Jsou vysoce odolné vůči degradaci teplotou, vlhkostí, stárnutí. Jsou též mechanicky velice odolné, tzn. dají se čistit, nýtovat, tvarovat, dotýkat se, aniž by se měnily jejich fyzikální vlastnosti. Z jmenovaných důvodů je jim předvídána velká budoucnost.

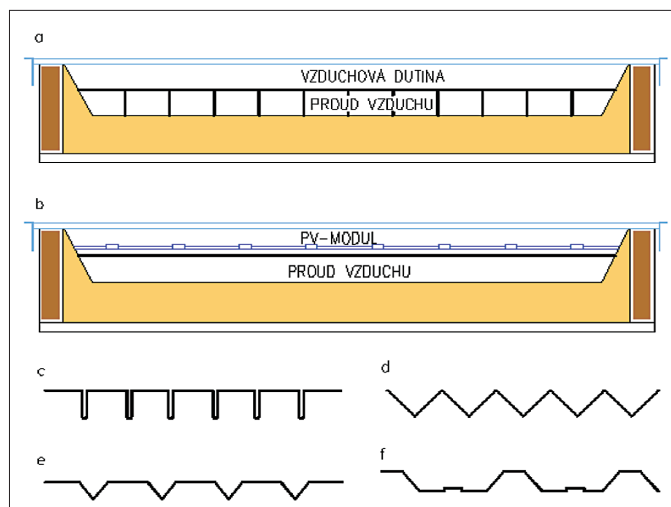
Plášť kolektoru

Plášť sjednocuje výše jmenované komponenty do jednoho celku a činí z něj stavební dílec. Musí trvale a s jistotou chránit absorber a tepelnou izolaci před vlivy počasí a vlhkostí, sněhu větru, kroupami, apod. Musí zajišťovat vzájemné spojení absorberu, izolace a krytu v jeden celek a umožnit tak jejich montáž na místě instalace. Je důležité, aby to byla konstrukce bez tepelných mostů, u integrovaných konstrukcí do pláště budovy je nutné mít na zřeteli možný vliv na tepelně-vlhkostní režim a chování. Použitelné jsou následující konstrukce a materiály:

Hliník – je nejpoužívanějším materiálem pro rámy kolektorů, převážně ve formě protlačovaných tenkostěnných profilů, které se dají dobře zpracovávat. Rozměrová variabilita a cenová dostupnost, materiál je odolný proti povětrnosti, je lehký a relativně únosný. Zatímco u rámových konstrukcí je třeba použít plech pro zakrytí zadní části, tak u hluboko tažených van to neplatí. Pro jejich výrobu je však zapotřebí náročné strojní vybavení. Variabilita rozměrůve srovnání s rámovými konstrukcemi má určitá omezení.

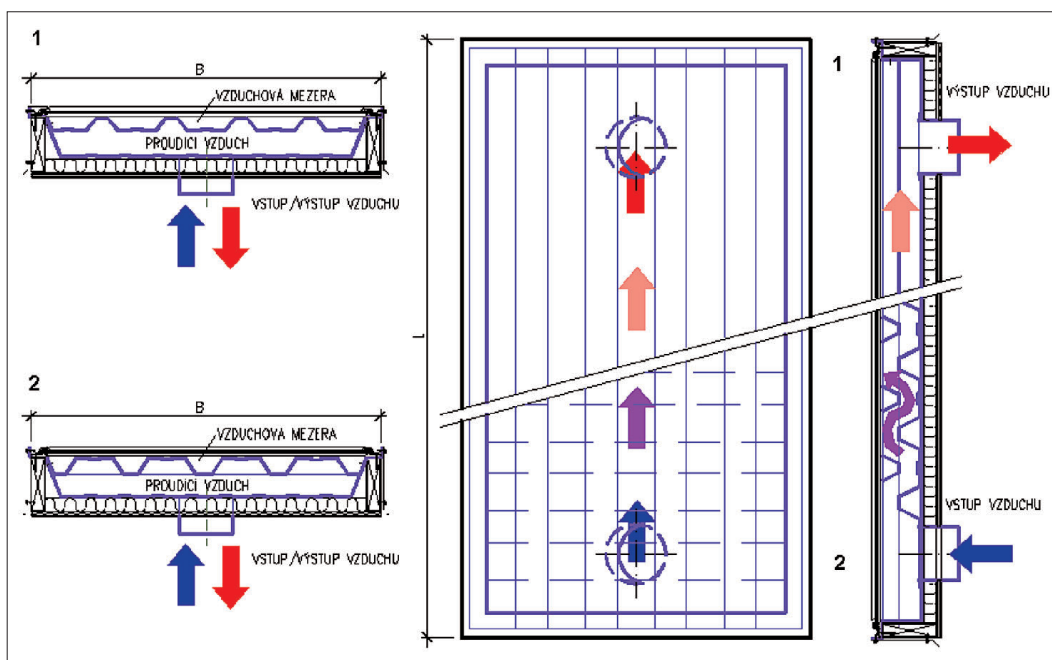
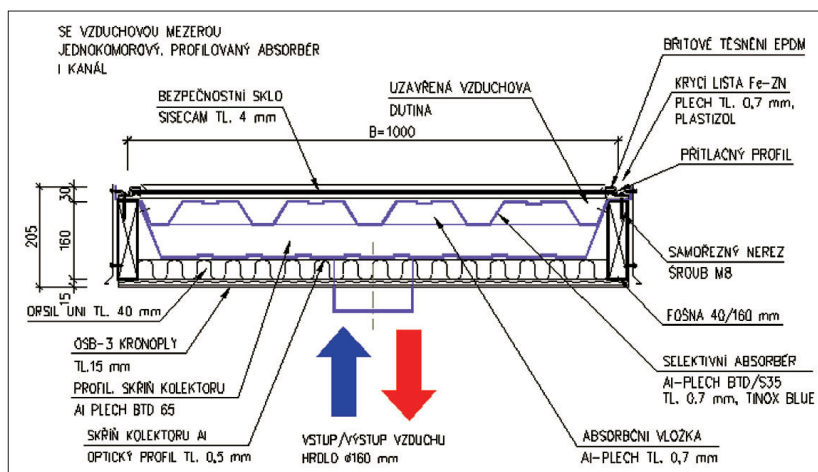
Plasty – jsou používány pouze okrajově. Např. PESL (polyesterové skelné lamináty) nebo recyklované plasty. Oproti hliníku mají plasty tu výhodu, že jsou energeticky méně náročné, ale pokud jde o životnost a ostatní fyzikální vlastnosti, jsou na tom hůře, viz. kapitola 2.4. Plasty lze použít i jako finální povlak stříkaný na pasivované Fe-Zn plechy, např. Plastizol.

Fe-Zn nebo nerezový plech – jsou vyráběny skříně z klasické řemeslné produkce, zpracovávané běžnými stroji a nástroji pro tvarování plechů. Využíva-



Obr. 7 Vzduchové kolektory se vzduchovou mezerou

a – s podélně žebrovanou absorpční deskou, b – s fotovoltaickým absorpčním modulem
 Varianty tvarování absorpčních desek (pro zvětšení teplosměnné plochy na straně vzduchu),
 c – žebrovaná, d – zvlněná (drážkovaná), e – prolamaná (žlábkovaná), f – trapezový profil



Obr. 8 Konstrukční varianty vzduchových kolektorů dle proudění vzduchu (panelová konstrukce nebo integrace do konstrukce)

a – se vzduchovou mezerou, jednokomorový, profilovaný absorber i kanál – konstrukční řešení (skladba),
 b – se vzduchovou mezerou, jednokomorový profilovaný absorber, 1 – hladký kanál, 2 – profilovaný kanál pro zvýšení turbulence proudícího vzduchu (lepší přestup tepla)

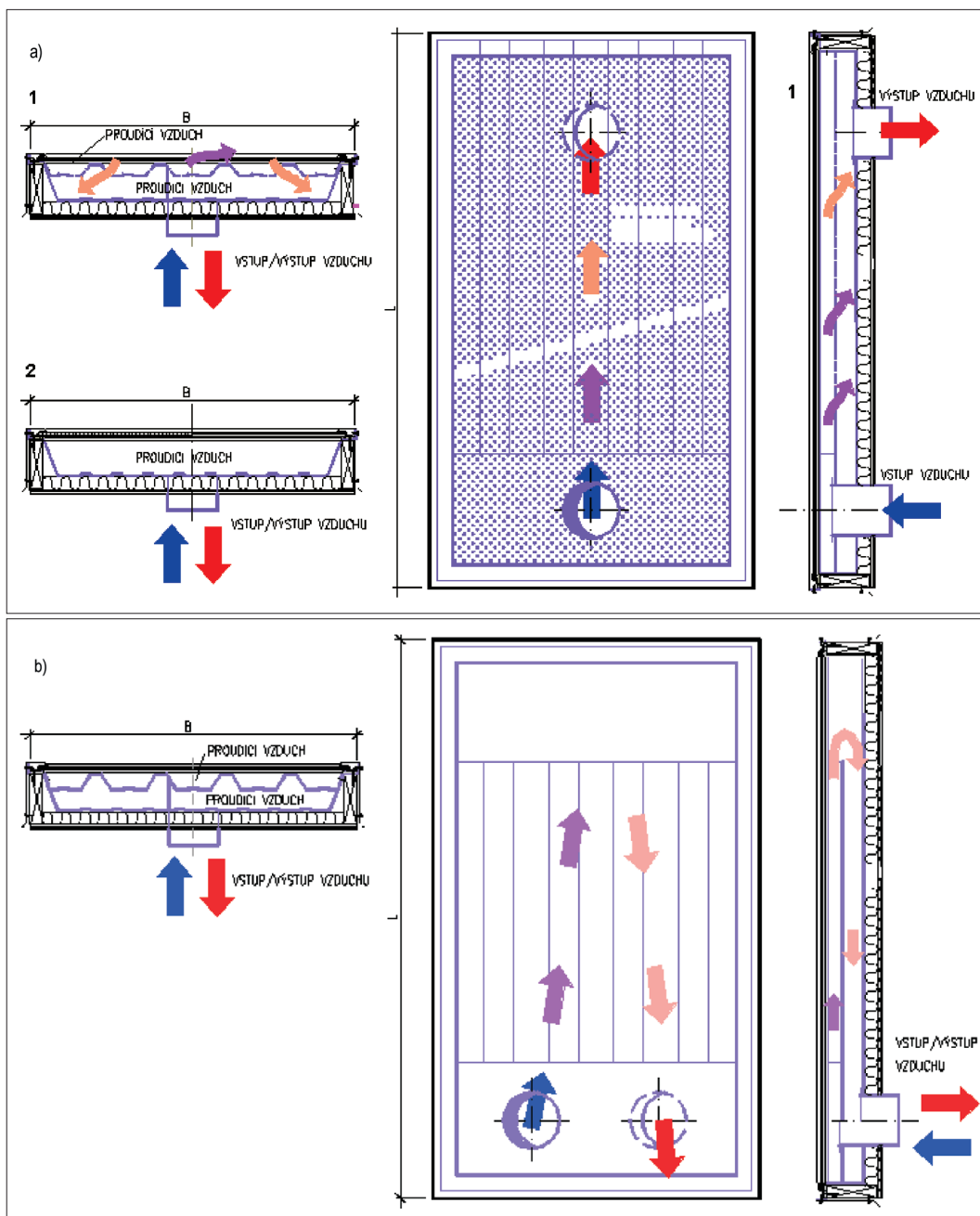
né jsou, stejně jako u hliníku trapézové plechy, hladké či optické profily ve formě panelů, pásů nebo svítků. Oceloplechové skříně jsou ve srovnání s hliníkovými a plastovými velmi těžké.

Dřevo – jako velice ekologický a recyklovatelný materiál. Na trhu se objevují skříně ze dřeva a průmyslově vyráběných desek na bázi dřeva klíženými vodovzdornými lepidly (OSB, DTD, CETRIS, stavební překližka, apod. Tyto materiály jsou zvláště vhodné pro svěpomocnou výrobu či pro montáž integrovanou do pláště stavby. Tyto výrobky by měly být opatřeny zevně krycím oplechováním pro odvod dešťové vody (konstrukční ochrana dřeva). Řešení představuje zvláště velmi zajímavou, ekologickou a cenově příznivou variantu. Z důvodu zanášení prachem, hmyzem apod. je na vstupu otevřeného okruhu osazen filtrační box s deskovými nebo kapsovými filtry, případně je vhodné navrhovat kolektory se vzduchovou vrstvou.

V kolektoru mohou nastat i situace, při nichž vlhkost vzduchu uvnitř skříně, obvykle odpovídající vlhkosti vzduchu venkovního, kondenzuje na vnitřním povrchu skleněné tabule. To vede ke snížení celkové účinnosti. Tento jev je pozorovatelný zejména ráno, kdy vodní pára kondenzuje na povrchu vlivem nočního chladu a tím sníženou povrchovou teplotu pod rosným bodem. U vzduchových kolektorů bez vzduchové mezery je jistou výhodou proudící vzduch, který osuší tyto plochy a vzniklou vlhkost váže a odvádí v otevřeném okruhu do atmosféry. Z technického hlediska, aby mohl být vzniklý kondenzát rychle odveden, je vhodné vanu kolektorového pásu ke dnu vyspádovat (příp. odvodnit). U kolektorů se vzduchovou mezerou je důležitá mikroventilace dutiny pro vyrovnání vnitřních a vnějších parciálních tlaků vodních par. Jednou z dalších možností je aplikace silikagelu a jiných podobných hygroskopických prostředků. Veškeré ostatní způsoby, jako např. hermeticky uzavřené skříně, vakuované nebo plněné inertními plyny (podobně jako moderní izolační zasklení u oken) je výrobně i technicky velice náročné a v praxi tyto konstrukce rovněž znovu a znovu ztroskotávají. Zda se tyto nové výše zmiňované konstrukce i z finančního hlediska osvědčí, ukáže další vývoj.

Konkrétní varianty vzduchových kolektorů

Na obr. 8 a 9 jsou znázorněny konkrétní konstrukční varianty solárních vzduchových kolektorů vhodných pro integraci do střešního pláště budovy.



Obr. 9 Konstrukční varianty vzduchových kolektorů dle proudění vzduchu (panelová konstrukce nebo integrace do konstrukce)

- a – bez vzduchové mezery
- 1 – dvoukomorový profilovaný perforovaný absorbér, hladký kanál
- 2 – jednodukomorový hladký absorbér i kanál, zasklení hladké nebo PV aktivní panel
- b – bez vzduchové mezery, protisměrný dvoukomorový profilovaný absorbér i kanál

Kolektorové pásy příp. jsou na místě sestaveny z jednotlivých komponentů do stavební konstrukce krovu.

Použité zdroje:

- [1] Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Nakladatelství T. Malina, Praha 1994
- [2] Valouch, O.: Ohřívání vzduchu sluneční energií. Zborník prednášok z konferencie Využití sluneční energie a technické aplikácie a podmienkách SR ČSVTS, Bratislava 1981
- [3] Čeněk, M. a kolektiv: Obnovitelné zdroje energie. Nakladatelství FCC public, Praha 2001
- [4] Späte, F., Ladener, H.: Solární zařízení. Nakladatelství Grada publishing, Praha 2003
- [5] Haller, A., Humm, O., Voss, K.: Solární energie – využití při obnově budov. Nakladatelství Grada publishing, Praha 2001
- [6] Internetové zdroje.