

Dvouplášťové ploché střechy – 3. část

Ke spolupráci na této závěrečné části seriálu o dvouplášťových plochých střechách, jejich funkci, návrhu a rekonstrukcích jsem přizval Dr. Ing. Zbyňka Svobodu, který ji doplnil o modelové tepelně-technické posouzení větrané dvouplášťové ploché střechy pomocí výpočetních programů TEPLO a MEZERA.

Rekonstrukce nevětrané dvouplášťové střechy

V praxi se můžeme zejména u starších objektů setkat i s původní nevětranou dvouplášťovou střechou. Konstrukce těchto střech může mít různý charakter, takže je velmi obtížné stanovit zásady pro jejich rekonstrukci. V této souvislosti je nutno upozornit na to, že v těchto starších objektech bylo velmi často lokální vytápění (kamny), které dnes postupně nahrazuje ústřední vytápění, a původní dřevěná okna se dnes postupně mění za nová, relativně těsná okna. Přirozená výměna vzduchu, která v těchto budovách v minulosti zajišťovala i snižování jeho vlhkosti, zpravidla dobře fungovala díky infiltraci vzduchu původními relativně netěsnými okny a komínovému efektu připojených lokálních topidel. Ačkoli v řadě těchto starších objektů proto mohla původní nevětraná dvouplášťová střecha vydržet s nezbytnými opravami a údržbou vodotěsné izolace po řadu let, může dojít v důsledku uvedených stavebních úprav, změn ve vytápění a ve způsobu užívání objektu i bez zásahu do konstrukce střechy k jejím závadám – např. z titulu difuze vodní páry a poddimenzované tepelné izolace.

Pro návrh rekonstrukce takových střech je možné alternativně využít zásad pro převod větrané dvouplášťové střechy na střechu nevětranou (uvedených v předchozí části tohoto seriálu) s výrazným předimenzováním dodatečné tepelné izolace.

Přeměna jednoplášťové ploché střechy na větranou dvouplášťovou střechu

Občas se můžeme setkat s tím, že se z různých důvodů navrhne a následně vytvoří z původní jednoplášťové střechy investičně náročnou rekonstrukci větraná (nebo někdy dokonce i nevětraná) dvouplášťová střecha. Nutným předpokladem k tomu, aby tato rekonstrukce byla úspěšná a dlouhodobě spolehlivá, je i zde naprosto profesionální návrh a pečlivá realizace. Zdánlivě se jedná o zcela jednoduchou záležitost: nad stávající nefunkční jednoplášťovou plochou střechou se provede například nová nosná konstrukce

s dřevěným bedněním a s novou vodotěsnou izolací. Toto řešení nejenže zasahuje do architektonického vzhledu budovy, ale může být zdrojem problémů v blízké či vzdálené budoucnosti.

K úvaze o rekonstrukci stávající jednoplášťové ploché střechy na větranou dvouplášťovou střechu totiž vždy vedou poruchy původní střechy. Znamená to respektovat skutečnost, že do stávajícího střešního pláště zateká, a že je tedy v souvrství tohoto střešního pláště vždy určité množství zateklé vody. Tepelná izolace stávajících jednoplášťových střech je z dnešního pohledu vždy poddimenzovaná. Další skutečností proto může být i záporná bilance vlhkosti – tedy že se ve střešním plášti může hromadit difundující vlhkost, která se nestačí během roku odpařit.

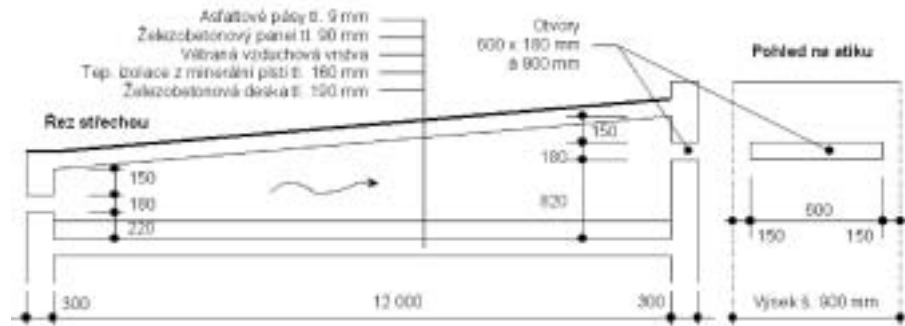
Zásady přeměny jednoplášťové střechy na střechu dvouplášťovou:

- Z výše uvedených důvodů by měla být dle mého názoru vždy provedena **větraná dvouplášťová střecha** (viz 1. část článku). Musí být zajištěno, aby se mohla ze stávajícího souvrství střešního pláště postupně odvětrat zateklá nebo zkondenzovaná vlhkost, která by mohla u nevětrané dvouplášťové střechy časem znehodnotit nejen novou tepelnou izolaci, ale mohla by být zdrojem dalších problémů.
- Nezbytnou podmínkou pro přeměnu jednoplášťové střechy na střechu dvouplášťovou je možnost přitížení nosné konstrukce stávajícího střešního pláště (včetně navazující svislé nosné konstrukce objektu) konstrukcí nového dodatečného horního pláště.
- Je nutné si uvědomit, že povrch stávající jednoplášťové ploché střechy tvoří vodotěsná izolace (původní souvrství asfaltových lepenek s nátěry spolu se souvrstvím asfaltových natavitelných pásů) v tloušťce řádově několika centimetrů, s různě velkým množstvím zateklé nebo zkondenzované vody. Tato hydroizolační vrstva má navíc velmi vysoký difuzní odpor. Jak již bylo uvedeno v zásadách pro správný návrh větrané dvouplášťové střechy, nesmí být tepelná izolace položená na spodním plášti v žádném případě zakryta vodotěsnou izolací s velkým difuzním odporem. Pokud se na tuto

zásadu nedbá, dochází na spodním líci této sekundární parozábrany ke kondenzaci difundující vodní páry. Z tohoto pohledu se zdá být vhodným řešením buď perforace stávající vodotěsné izolace až na podklad (aby umožnila vysychání a difuzi vlhkosti), nebo její úplné odstranění. K určité perforaci vodotěsné izolace obvykle stejně dochází při osazování a kotvení nosné konstrukce nového horního pláště dvouplášťové střechy. Z hlediska tepelně-technického výpočtu je možné uvažovat při ponechání této stávající, ale perforované původní vodotěsné izolace s hodnotou její ekvivalentní difuzní tloušťky $r_d = \max 0,27$ m. Tato hodnota je dle profesora Mrlíka při podílu plochy otvorů nad 1 % nezávislá na druhu materiálu (z této hodnoty lze zpětně vypočítat faktor difuzního odporu perforované vodotěsné izolace).

- Provedením nového horního pláště dvouplášťové střechy bude úplně odstraněn pozitivní vliv slunečního záření na vysychání střešního pláště, protože stávající povrch původní jednoplášťové střechy bude zakryt novým horním pláštěm. Tento nedostatek však bude při správném návrhu větrané dvouplášťové střechy vyvážen perforováním stávající vodotěsné izolace (nebo jejím odstraněním) a odvětrávanou vzduchovou vrstvou.
- Pokud je ve stávajícím střešním plášti provedena parozábrana pod tepelnou izolací, je prakticky znemožněno vysychání provlhlého souvrství původní jednoplášťové ploché střechy do interiéru. I v tomto případě však na odstraňování vlhkosti pozitivně působí odvětrávaná vzduchová vrstva spolu s perforací stávající vodotěsné izolace. Zde je však nutné upozornit na to, že pokud dojde při provádění nosné konstrukce vrchního pláště dvouplášťové střechy k porušení stávající parozábrany, měla by být vždy opravena.
- Téměř vždy je nutné doplnit tepelnou izolaci stávajícího střešního pláště (tj. položit novou dodatečnou tepelnou izolaci na upravený horní povrch stávající jednoplášťové ploché střechy, která bude tvořit spodní plášť nové větrané dvouplášťové střechy), a to ze dvou důvodů:
 - stávající střešní plášť zpravidla nikdy nevyhoví z hlediska požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U_n , který stanovuje platná norma ČSN 73 0540-2;
 - touto dodatečnou tepelnou izolací se příznivě změní v původním souvrství střešního pláště bilance vlhkosti.
- Výška větrané vzduchové vrstvy by neměla být menší než 250 mm.
- Zpravidla bude nutné tepelně doizolovat původní atikové zdivo – bude-li využita původní atika.

- Pokud bude zjištěna sondami vyšší vlhkost ve stávajícím souvrství střešního pláště (což bývá při závadách původní střechy téměř vždy), nemělo by tvořit nosnou konstrukci horního pláště nově vytvořené dvouplášťové střechy dřevěné bednění.
- Téměř vždy dojde ke změně architektonického vzhledu budovy, protože větraná dvouplášťová střecha má větší stavební výšku než původní střecha.



Obr. 1 Schéma větrané dvouplášťové střechy

Z výše uvedených důvodů musí být přeměna jednovlášťové střechy na střechu dvouplášťovou řešena vždy alespoň zjednodušenou projektovou dokumentací s nezbytnými tepelně-technickými výpočty.

Tepelně-technické výpočty větrané dvouplášťové střechy

K ověření funkce stávající nebo navrhované větrané dvouplášťové střechy je nutné provést nezbytné tepelně-technické výpočty. K tomu jsou dnes dostupné výpočetní programy na PC. Obvykle je nutné provést dva samostatné výpočty: – tepelně-technický výpočet spodního pláště; – výpočet, který prověří funkci větrané vzduchové vrstvy. Samostatné posouzení horního pláště není zpravidla nutné provádět, protože zohlednění

jeho tepelně-technických vlastností – posouzení jeho vnitřní povrchové teploty – je součástí výpočtu větrané vzduchové vrstvy. Tepelně-technický výpočet horního pláště by byl nutný jedině tehdy, pokud by difundující vlhkost mohla ohrozit jeho konstrukci. Samostatně je však nutné posoudit svislou obvodovou stěnu větrané vzduchové vrstvy, protože výše zmíněné tepelně-technické výpočty ji z hlediska jejího tepelného odporu a kondenzace vlhkosti neprověřují.

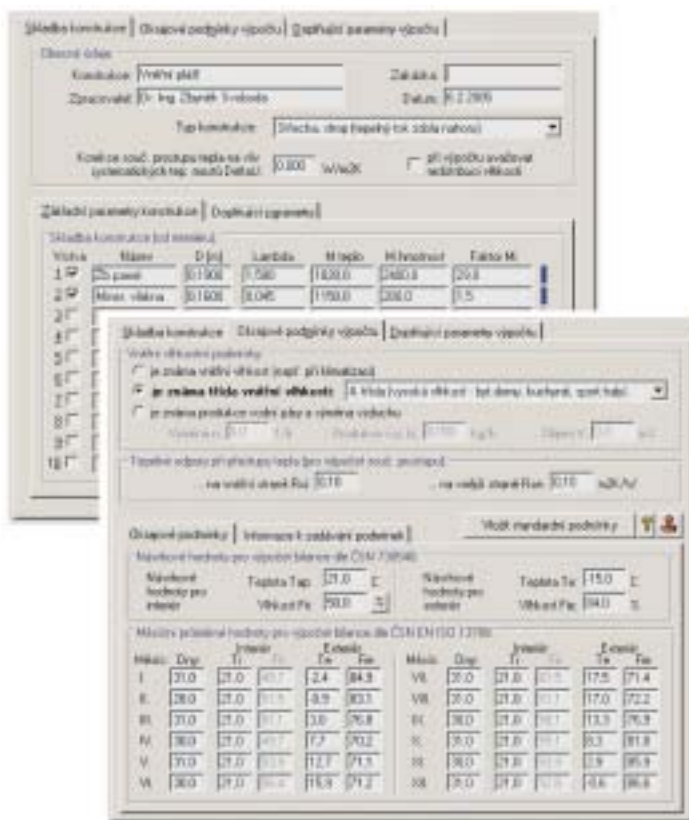
Do tepelně-technického výpočtu **spodního pláště** (který se počítá jako první) se dosazuje jako vnější teplota exteriéru $\theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ (nebo $-18 \text{ }^\circ\text{C}$, dle teplotní oblasti) a jedinou atypickou hodnotou je hodnota odporu při přestupu tepla na vnější straně spodního pláště dvou-

plášťové větrané střechy $R_{se} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ (namísto standardní hodnoty $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$).

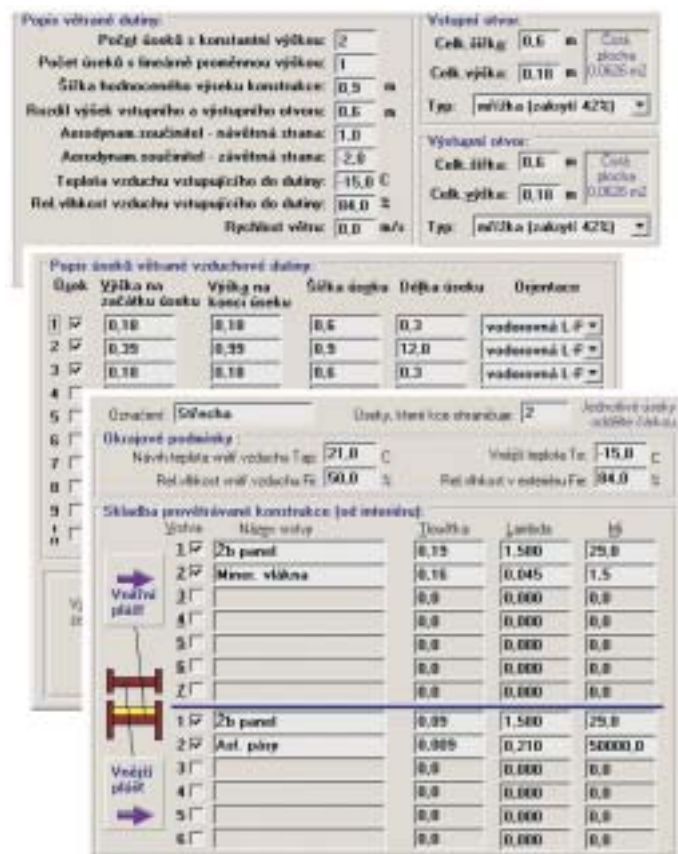
Do tepelně-technického výpočtu **horního pláště** – pokud se provádí – se dosazují z výsledků výpočtu větrané vzduchové vrstvy hodnoty vnitřní teploty θ_i a vnitřní relativní vlhkosti φ zjištěné u odváděcího otvoru vzduchové vrstvy. Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně horního pláště dvouplášťové větrané střechy má hodnotu $R_{si} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ a na vnější straně potom $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Modelové tepelně-technické posouzení větrané dvouplášťové ploché střechy

Při kompletním tepelně-technickém posouzení větraných dvouplášťových plochých střeš je nutné



Obr. 2 Vstupní data pro posouzení spodního pláště střechy



Obr. 3 Vstupní data pro posouzení větrané vzduchové vrstvy a horního pláště střechy



provést jak posouzení spodního (vnitřního) pláště z hlediska požadavků platné ČSN 730540-2 na vnitřní povrchovou teplotu, na součinitel prostupu tepla a na difuzi vodní páry, tak posouzení větrané vzduchové vrstvy z hlediska požadavků na maximální relativní vlhkost a na vnitřní povrchovou teplotu horního (vnějšího) pláště.

Zatímco posouzení spodního pláště se provádí v projekční praxi zcela běžně, s posouzením větrané vzduchové vrstvy a horního pláště tomu tak není. U střeš s masivní nosnou konstrukcí nad běžnými provozy to nemusí nutně vést k rizikovému návrhu, ale zásadní chybou je toto opomenutí u střeš s lehkými spodními plášti (neblaze proslulé tepelněizolační podhledy) a u střeš budov s vlhkým interním mikroklimatem.

Výpočtové ověření větraných dvouplášťových plochých střeš je sice možné provádět i ručně, ale jedná se přeci jen o náročnější výpočet, který může snadno znamenat i celý den práce. Podstatně vhodnější je proto využít pro hodnocení dvouplášťových konstrukcí specializované programy.

Podívejme se na modelové použití rozšířených programů TEPLO a MEZERA při tepelně-technickém ověření návrhu dvouplášťové střešy uvedené na obr. 1. Hodnocená střešní konstrukce je umístěna nad prostorem s návrhovou teplotou vnitřního vzduchu 21 °C a relativní vlhkostí 50 % (jedná se tedy o běžný provoz bytové či občanské výstavby). Budova se nachází v Praze – návrhová venkovní teplota je tedy –15 °C a relativní vlhkost 84 %. Vzhledem k tomu, že jde o ilustrativní příklad metodiky výpočtu, jsou parametry materiálů uvažovány jen hodnotami typickými pro určitou kategorii stavebních výrobků – tedy pouze orientačně, bez zohlednění vlastností konkrétních výrobků.

V prvním kroku posouzení je třeba **ověřit kvalitu návrhu spodního pláště**. Vstupní data, která je nutné zadat do programu TEPLO, ukazuje přehledně obr. 2. Z výsledků výpočtu vyplývá, že:

- součinitel prostupu tepla střešní konstrukce je $U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ – konstrukce tedy splňuje

požadavek ČSN 730540-2, protože vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla je nižší než požadovaných 0,30 W/m²K;

- nejnižší vnitřní povrchová teplota v ploše konstrukce je $\theta_{si, \min} = 18,7 \text{ °C}$ – konstrukce splňuje i v tomto případě požadavek ČSN 730540-2, protože vypočtená hodnota vnitřní povrchové teploty je vyšší než požadovaných 13,6 °C pro předpoklad nepřerušovaného vytápění (zde je ovšem nutné upozornit, že toto hodnocení platí pouze pro základní plochu konstrukce mimo tepelné mosty – v místech tepelných mostů je nutné ověřit splnění požadavku na vnitřní povrchovou teplotu s pomocí výpočtu dvourozměrného teplotního pole);
- ve spodním plášti **nedochází ke kondenzaci vodní páry** – konstrukce tedy splňuje i poslední požadavek ČSN 730540-2 na spodní plášť.

V druhém kroku výpočtu je nutné **ověřit větranou vzduchovou vrstvu a horní plášť střešní konstrukce**. Pro toto posouzení je nutné použít program MEZERA a zadat vstupní data uvedená na obr. 3. Z výsledků výpočtu v tomto případě vyplývá, že:

- relativní vlhkost vzduchu proudícího ve větrané vzduchové vrstvě φ_w se pohybuje **od 74 do 84 %** – konstrukce tedy splňuje i v tomto případě požadavek ČSN 730540-2, neboť vypočtená relativní vlhkost je nižší než požadovaných 90 % (všimněme si, že výpočet je nutné provést pro předpoklad bezvětří, tj. s nulovou rychlostí větru, protože i pro tyto podmínky má být požadavek ČSN 730540-2 splněn);
- vnitřní povrchová teplota horního pláště θ_{se} se pohybuje **od –13,75 do –15,00 °C**, což znamená, že i poslední požadavek ČSN 730540-2 je splněn, protože vypočtené hodnoty vnitřní povrchové teploty horního pláště střešy jsou ve všech případech vyšší než požadované hodnoty, které se pohybují od –14,61 do –15,20 °C (stanovení požadavku na vnitřní povrchovou teplotu horního pláště je poněkud obtížnější – program MEZERA nicméně tyto hodnoty určuje automaticky současně s výpočtem).

Z výsledků posouzení tedy celkově vyplývá, že modelová větraná dvouplášťová plochá střeš splňuje všechny požadavky ČSN 730540-2 jak na spodní plášť, tak na větranou vzduchovou vrstvu a horní plášť. Uvedený závěr platí samozřejmě mimo místa tepelných mostů, která nebyla v tomto modelovém výpočtu vůbec hodnocena. Pro detailní ověření návrhu střešy by bylo ještě nutné vyhodnotit **rozložení teplot v detailu atiky** s pomocí numerického řešení dvourozměrného teplotního pole. Z výsledků tohoto výpočtu by pak bylo možné ověřit, zda detail atiky splňuje požadavek ČSN 730540-2 na vnitřní povrchovou teplotu (a případně i požadavek na lineární činitel prostupu tepla, který bude nově zaveden v revizi ČSN 730540-2, právě chystané do tisku). Některé výpočtové programy by ukázaly dokonce i oblast kondenzace vodní páry v hodnoceném detailu, z čehož by se dalo usuzovat na případné riziko poškození citlivých materiálů vlhkostí.

Výpočtové hodnocení tepelných mostů je ovšem již náročnější výpočet, který je většinou doménou specialistů na stavební fyziku. V rámci tohoto stručného informativního příkladu proto nebyl uveden – to ale rozhodně neznamená, že by se jednalo o analýzu, nad kterou lze s klidným svědomím mávnout rukou a vůbec ji neprovádět. To spíše naopak.

A ještě poslední poznámka na závěr pro pozorné čtenáře seriálu článků ing. Chaloupky: V modelové dvouplášťové střešy na obr. 1 není dodržena doporučená minimální hodnota tepelného odporu horního pláště 0,2 m².K/W, jak se lze snadno přesvědčit rychlým výpočtem. V tomto konkrétním případě však nejde o kritickou závalu v návrhu střešy, protože horní plášť je poměrně masivní a má přijatelnou tepelnou setrvačnost. Jeho reakce na výměnu tepla sáláním s oblohou během jasných chladnějších nocí proto nebude tak rychlá jako u lehkých horních plášťů. Teplo naakumulované v masivnějším horním plášti bude zpomalovat jeho chladnutí a kondenzát, který se na lehkých horních plášťích s nedostatečným tepelným odporem vytvoří velmi rychle, se v tomto případě buď díky zpoždění nevytvoří

vůbec, nebo jen v minimální míře. Nicméně malé zvýšení tepelného odporu horního pláště by i v tomto případě vedlo k bezpečnější funkci střechy.

Závěr

Ani tento seriál o dvouplášťových plochých střeších nemůže postihnout celou šíři uvedené problematiky, zejména ne u stávajících střeš. Každá střecha je jiná a správná funkce větrané dvouplášťové ploché střechy je oproti jiným typům střeš významně více závislá i na umístění objektu v terénu. V posledních letech dochází také u stávajících objektů nejen ke změnám v jejich využití, ale i k zateplování jejich obvodových pláštů (včetně výměny oken) a ke změnám v systému vytápění. Tím se mohou oproti minulosti významně změnit původní tepelně-technické parametry interiéru a zateplením obvodového pláště se dokonce může i zamezit provětrávání vzduchové vrstvy původní větrané dvouplášťové střechy. Před zateplením obvodového pláště budovy by se proto měla vždy v předstihu provést oprava nebo rekonstrukce (či přeměna) větrané dvouplášťové ploché střechy – a tu by měl vždy navrhnout zkušený projektant.

KAREL CHALOUPKA, ZBYNĚK SVOBODA

foto archiv autorů

*Ing. Karel Chaloupka (*1945)*

je absolventem SvF ČVUT. Přes 20 let se zabýval projektováním průmyslových a občanských staveb, je autorem řady stavebních projektů složitých staveb z oblasti automobilového a leteckého průmyslu. V současnosti je technickým poradcem ve firmě STAV-INVEST střešní systémy, s. r. o., kde se zabývá problematikou plochých střeš.

*Dr. Ing. Zbyněk Svoboda (*1966)*

je odborným asistentem na Stavební fakultě ČVUT. Specializuje se na problematiku tepelné ochrany budov a numerického modelování tepelně-vlhkostních jevů v budovách. Je autorem řady programů pro stavebněfyzikální výpočty.

Seriál najdete též na: www.strechaspecial.cz.

Literatura a podklady:

- 1) Chaloupka, K.: Větrané dvouplášťové střechy (část 1 až 3), STAVITEL, č. 4, 5, 7, 1999.
- 2) Chaloupka, K.: Přeměna větrané dvouplášťové střechy na střechu jednoplášťovou, STŘECHY-FASÁDY-IZOLACE, č. 1, 2004.
- 3) Chaloupka, K.: Přeměna větrané dvouplášťové střechy na střechu jednoplášťovou, In: Sborník přednášek kongresu STŘECHY 2003 – PLOCHÉ STŘECHY.
- 4) Svoboda, Z.: Tepelně-technické hodnocení dvouplášťových střeš se zatepleným horním pláštěm, In: Sborník přednášek kongresu STŘECHY 2003 – PLOCHÉ STŘECHY.
- 5) Šála, J.: Zateplování budov, GRADA 2000.
- 6) Šála, J. – Chaloupka K.: Ploché střechy a pěnový polystyren, IZOLAČNÍ PRAXE 3.
- 7) Fajkoš, A.– Novotný, M. – Straka, B.: STŘECHY I, GRADA 2000.
- 8) Kolektiv autorů: ATLAS STŘECH – JAGA 2003.
- 9) ČSN 73 1901 Navrhování střeš – Základní ustanovení, ČNI 1999.
- 10) ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, ČNI 2002.
- 11) ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda, ČNI 1998.
- 12) Svoboda, Z.: Aplikační programy pro stavební fyziku (TEPLO a MEZERA), Svoboda Software, Kladno 2003–4.