



ZIMNÍ STADIONY A DALŠÍ PROSTORY S LEDOVOU PLOCHOU JSOU CHARAKTERISTICKÉ TÍM, ŽE SPODNÍ POVRCH JEJICH STŘECHY NEBO PODHLEDU JE OCHLAZOVÁN OD LEDOVÉ PLOCHY SÁLÁNÍM (TEPELNÝM ZÁŘENÍM). TO MŮŽE MÍT PŘI NEVHODNÉM NÁVRHU ZA NÁSLEDEK KONDENZACI VODNÍ PÁRY NA OCHLAZOVANÝCH POVRŠÍCH, SKAPÁVÁNÍ VODY NA LEDOVOU PLOCHU A TVORBU NEBEZPEČNÝCH NEROVNOSTÍ NA LEDOVÉ PLOŠE. NADMĚRNÉ MNOŽSTVÍ VODNÍ PÁRY VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ MŮŽE NAVÍC ZPŮSOBOVAT TVORBU MLHY NAD LEDOVOU PLOCHOU, COŽ STEJNĚ JAKO NEROVNÝ LED ZNEMOŽŇUJE PLNOHODNOTNÉ VYUŽÍVÁNÍ LEDOVÉ PLOCHY PRO SPORTOVNÍ ÚČELY.

PORUCHY STŘECH NAD LEDOVOU PLOCHOU

U neklimatizovaných zimních stadionů lze vzniku popsaných negativních jevů zabránit volbou vhodné geometrie stavby, volbou vhodných povrchů stavebních konstrukcí z hlediska jejich emisivity a zajištěním vhodné míry přirozeného větrání.

Základní zásady správného návrhu střechy neklimatizovaného a nevytápěného zimního stadionu, formulované Ing. Antonínem Žákem na základě vlastního výzkumu a zkušeností, ATELIER DEK již publikoval [9]. Zde je pro úplnost znovu shrnujeme v samostatném barevném sloupku.

Pokud má být zimní stadion klimatizovaný nebo vytápěný, může si projektant dovolit větší variabilitu geometrie stavby a povrchů konstrukcí. Pro splnění požadavků z hlediska akustiky, požární ochrany apod. lze použít i materiály a povrchové úpravy, které by u neklimatizovaných a nevytápěných zimních stadionů z tepelnotechnického hlediska použít nešlo. Předpokladem pro správnou funkci stavby je ale dodržení všech podmínek, na které byly vzduchotechnika nebo vytápění dimenzované. Jedním z těchto předpokladů je dostatečně těsná obálka budovy.

S halou, která se potýkala s typickými problémy staveb s ledovou plochou, přestože v ní byla funkční vzduchotechnika, jsme se v naší praxi již také setkali. Jednalo se o zajímavé drama stavební fyziky a konstrukce obálky budovy.

Stavba má půdorysné rozměry 73,0 × 56,0 m a výšku 15,0 m (v hřebeni). Nosnou část haly tvoří železobetonové sloupy. Obvodové stěny jsou z keramických tvarovek nebo prefabrikovaných železobetonových panelů. Z vnější strany je kontaktní zateplovací systém.

Střecha je sedlová, dvouplášťová, o sklonu 10%. Nosnou konstrukci střechy tvoří dřevěné lepené příhradové vazníky o rozponu 42,0 m v osových vzdálenostech 8,0 m. Vazníky jsou opatřeny ocelovými táhly. Skladba střechy od interiéru je: hoblovaná dřevěná prkna s mezerami

REKAPITULACE ZÁSAD NAVRHOVÁNÍ STŘECH ZIMNÍCH STADIONŮ Z ČÍSLA 05/2005

(Ing. Antonín Žák)

- Navrhovat vnitřní povrchy střešních plášťů s nízkou emisivitou (pohltivostí). Nejvhodnější stavební materiál je hliník bez povrchové úpravy s $\varepsilon = 0,05$.
 - Haly by měly být co nejvíce rozlehlé a co nejvyšší. S výškou povrchu střechy nad ledovou plochou se snižuje vliv radiace a tedy ochlazování spodního povrchu střechy.
 - Co nejvíce omezit počet zavěšených těles pod podhledem (akustické podhledy, osvětlovací technika), zejména nad středem ledové plochy.
 - Tvar zastřešení nehraje příliš velkou roli. Proto je možné volit rozmanitá řešení střech. Je nutné však zajistit minimální výšku střechy v ose ledové plochy. Minimální vzdálenosti, které je vhodné dodržet, jsou uvedeny v DEKTIME 05/2005.
 - Ve vzdálenosti cca 20 m od osy ledové plochy již není nutné navrhovat výšku střechy s ohledem na ochlazování (je však nutno zajistit konstrukční a hygienická minima).
 - Pokud je možné provádět úpravu vzduchu v interiéru, je vhodné
- vlhkost vzduchu redukovat v závislosti na vzdálenosti střechy nad ledovou plochou a na typu materiálu spodního líce střešní konstrukce.
 - Pokud se navrhuje vzduchotechnická zařízení, je vhodné vyústky směřovat i nad ledovou plochu tak, aby napomáhaly pohybu vlhkosti nasyceného vzduchu nad ledovou plochou.
 - Volit konstrukce podhledů co nejvíce odolné z hlediska občasné kondenzace vodní páry a případně řešit i odvod kondenzátu.
 - Při ověřování vzniku povrchové kondenzace výpočtovými postupy standardně používanými ve stavební fyzice je nutné v závislosti na vzdálenosti střechy nad ledovou plochou a na typu materiálu spodního líce střešní konstrukce korigovat vypočítanou povrchovou teplotu o cca 2 °C až 6 °C (dle použitého materiálu podhledu)
 - Při navrhování zavěšených podhledů je nutné dodržovat všechna pravidla zmíněná výše a je nutné také prověřit možný vznik povrchové kondenzace na podhledu.
 - Při návrhu střešního pláště je vhodné navrhovat vrstvu zabraňující pronikání vlhkosti

z obou stran tepelné izolace (při obráceném vlhkostním toku funguje hydroizolace – krytina – jako parotěsnicí vrstva). Z hlediska trvale příznivého tepelně vlhkostního režimu jsou nejvíce výhodné jednoplášťové střechy s parotěsnicí vrstvou a hlavní hydroizolací podobné materiálové báze (podobných difúzních vlastností).

- Tloušťku tepelné izolace u zimních stadionů větraných přirozeným způsobem volit v rozmezí cca 50–80 mm.
- Je nutné docílit toho, aby vzduch z exteriéru mohl proudit zespodu kolem střešní konstrukce. Proto není vhodné navrhovat příčné orientované plnostěnné nosníky umístěné těsně pod střešním pláštěm.

01 | Interiér haly s tribunou a ochozem

20 mm, vzduchová vrstva, trapézový plech, fólie lehkého typu, tepelná izolace z minerální vlny, opět fólie lehkého typu, větraná vzduchová vrstva a krytina z trapézového plechu.

Samotný prostor haly sousedí ze 3 stran s exteriérem a z jedné strany jsou přidružené prostory. Na jedné z delších stran se nachází tribuna pro cca 800 sedících diváků. U zbývajících stěn se ve výšce cca 4,0 m nachází ochoz pro stojící diváky /foto 01/.

O vnitřní klima „se stará“
vzduchotechnické zařízení





- 02| Podhled s odváděcím (v hřebeni) a přiváděcím (po stranách) potrubím vzduchotechniky, osvětlení je zavěšeno na ocelových táhlech.
- 03| Styk obvodové stěny a střechy
- 04| Rosená skla mantinelů
- 05–06| Mlha nad hrací plochou
- 07| Stalagmit na ledové ploše
- 08| Stalagmity v pravidelném rastru
- 09| Blower-door test se třemi ventilátory a výkonem 30 000 m³/h

s odvlhčovací jednotkou, kontrolující teploty a relativní vlhkosti vzduchu v interiéru a exteriéru. Dle definovaných požadavků zařízení odvlhčuje interiérový vzduch. V hřebeni haly je odváděcí potrubí a po stranách jsou potrubí přiváděcí /foto 02/. V hale probíhá provoz od srpna do dubna. V ostatních měsících není hrací plocha haly zaledněna.

CHARAKTERISTIKA PROBLÉMŮ

Od přelomu léta a podzimu 2007 se začaly v interiéru projevovat tepelně-vlhkostní problémy. Ve dnech, kdy byla obdobná teplota vzduchu v interiéru i exteriéru, se nad ledem tvořila mlha /foto 05 a 06/ a docházelo k rosení skel mantinelů /foto 04/. Nejzávažnějším problémem byla tvorba ledových stalagmitů na hrací ploše /foto 07/. Jejich vznik byl způsoben odkapáváním kondenzátu z dolního povrchu podhledu z dřevěných hoblovaných prken. Stalagmity se na ledové ploše objevovaly často v pravidelném rastru /foto 08/ odpovídajícím v jednom směru vzdálenosti nosných trámů dřevěného podhledu a ve druhém směru vzdálenosti mezi prkny.

Tepelně-vlhkostní problémy se neprojevily od počátku, ale až cca 3 roky od spuštění provozu haly. Dle sdělení provozovatele haly došlo v roce 2007 k výpadku vzduchotechniky. Při opravě se zjistilo, že celé zařízení pracovalo s daleko větším výkonem, než jaký byl zapotřebí dle výpočtů. Výkon byl takřka dvojnásobný. Aby se zamezilo dalšímu poruše, bylo zařízení nastaveno dle původních výpočtů. V té době se začaly objevovat uvedené tepelně-vlhkostní problémy.

DIAGNOSTIKA

Graf /01/ znázorňuje parametry vzduchu v období mezi 6. až 10. zářím 2007, tedy v době, kdy byla tvorba mlhy, rosení skel mantinelů a růst stalagmitů na ledové ploše největší. Průměrné teploty a relativní vlhkosti vzduchu za uvedené období jsou uvedeny v tabulce /01/.

Vzduchotechnice se nedařilo snižovat relativní vlhkost pod hodnotu 81,8 %, při které docházelo



k problémům s kondenzací. Vstupními parametry návrhu klimatizace jsou mj. objem prostoru a požadovaná výměna vzduchu. Při návrhu se předpokládá, že výměna vzduchu mezi interiérem a exteriérem probíhá pouze konstrukcemi a spárami, které jsou k tomu určené. Ověřili jsme výpočtem, že vzduchotechnika v hale je navržena správně tak, aby zajistila vyhovující parametry – teplotu a relativní vlhkost. Rozpor mezi nastavením vzduchotechniky a skutečným nevyhovujícím stavem prostředí haly vyvolává domněnku, že se do interiéru někdy dostává velké množství nepředpokládané vlhkosti. Jedna nebo více částí obalových konstrukcí haly jsou pravděpodobně nevzduchotěsné.

Potvrdit tuto domněnku jsme se rozhodli měřením vzduchotěsnosti halové části. K tomuto účelu jsme použili blower-door test. Z důvodu velkého objemu haly jsme museli nasadit nejtěžší kalibr, a to blower-door test se třemi ventilátory s výkonem až 30 000 m³/h /foto 09/. Objem haly je rovněž cca 30 000 m³/h.

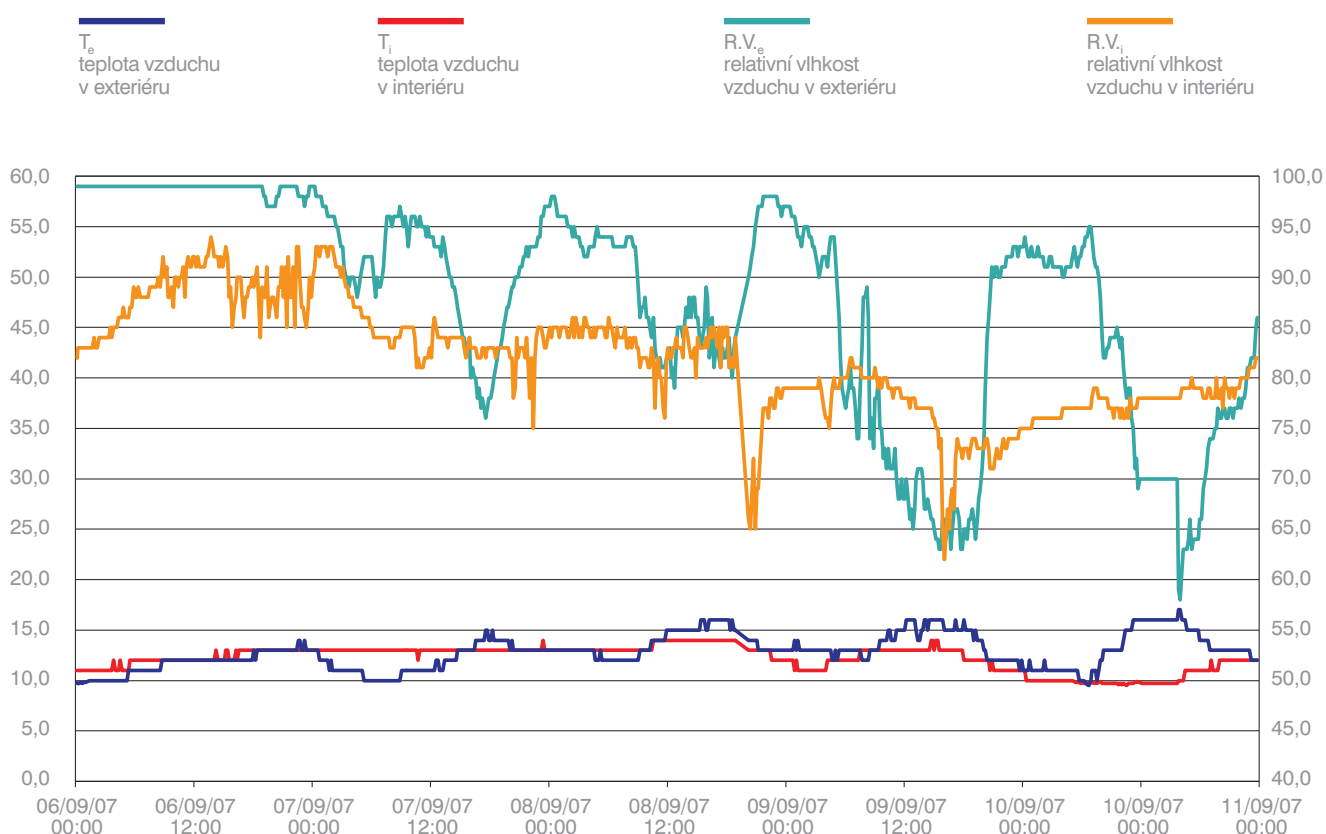
To znamená, že pokud by byla hala dostatečně vzduchotěsná, byla by šance se dostat na násobnost výměny vzduchu cca kolem 1 h⁻¹. Měření se uskutečnilo na začátku prosince 2007. Teplota vzduchu v exteriéru byla 4 °C a teplota vzduchu v hale 9 °C. Ventilátory byly instalovány do revizních vstupních dveří na střechu. Bohužel se ukázalo, že hala je natolik netěsná, že se nepodařilo docílit požadovaného tlakového rozdílu mezi interiérem a exteriérem. Nejvyšší dosažený tlakový rozdíl byl 15 Pa. Tato hodnota a rozdíl teploty vzduchu mezi interiérem a exteriérem 5 °C ale již dostačují k tomu, aby se pro hledání netěsností dala použít termovizní kamera. Pro tento účel byly v interiéru při přirozeném tlakovém rozdílu nasnímány prakticky všechny vnitřní povrchy střechy a stěn. Jednalo se takřka o 100 termovizních snímků. Následně byl v interiéru udržován po dobu několika hodin podtlak 10 Pa až 15 Pa a opět byly nasnímány termovizní kamerou všechny vnitřní povrchy. Při podtlaku dochází k nasávání studenějšího vzduchu

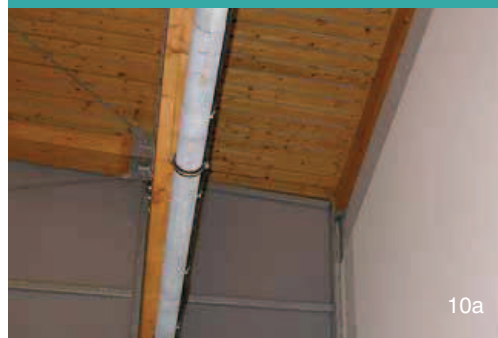


Tabulka 01 | Průměrné teploty a relativní vlhkosti vzduchu za sledované období

Parametr	Průměrná hodnota
T _e [°C]	12,8
R.V. _e [%]	87,8
T _i [°C]	12,2
R.V. _i [%]	81,8

Graf 01 | Průběhy teplot a relativních vlhkostí vzduchu v exteriéru a v hale v období od 6. do 10. září 2007

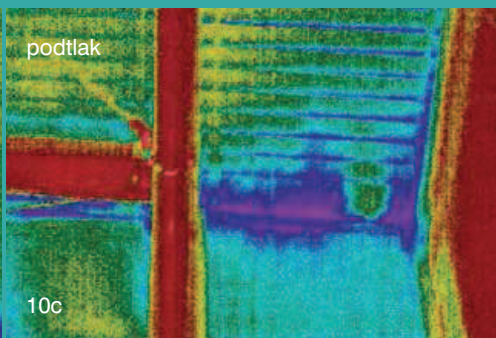




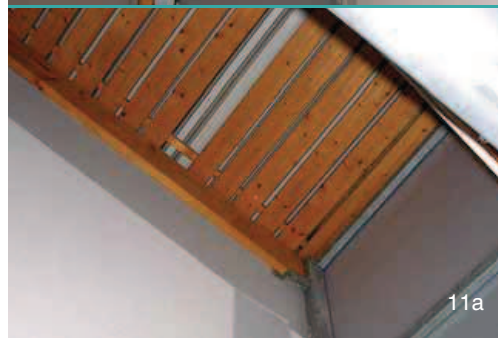
10a



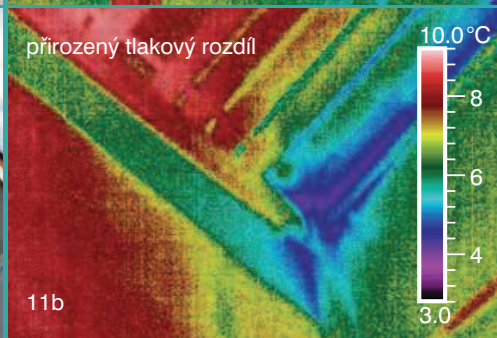
10b



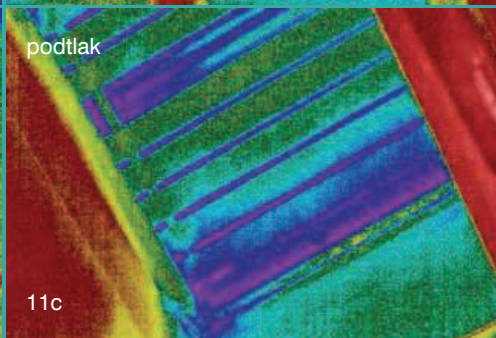
10c



11a



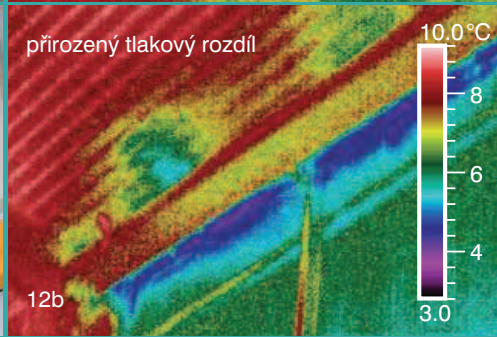
11b



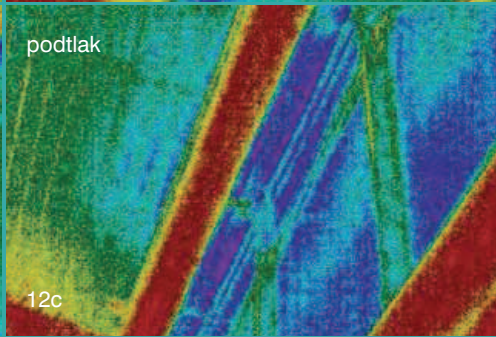
11c



12a



12b



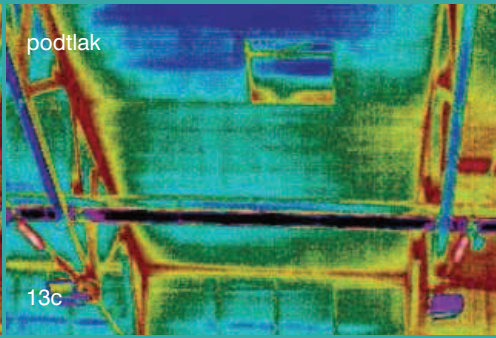
12c



13a



13b



13c

- 10| Styk boční a štitové stěny se střechou, při podtlaku je patrné výrazné ochlazení celého detailu.
- 11| Styk boční a štitové stěny se střechou, nižší povrchové teploty jsou patrné již při přirozeném tlakovém rozdílu a při podtlaku došlo ještě k jejich snížení.
- 12| Styk boční stěny se střechou, již při přirozeném tlakovém rozdílu jsou patrné 2 lokální netěsnosti, při podtlaku došlo k celkovému ochlazení detailu.
- 13| Snížení povrchové teploty v ploše střechy v oblasti u světlíku.

z exteriéru přes netěsnosti do interiéru. V okolí netěsností dojde k ochlazení konstrukcí a netěsnosti se projeví poklesem povrchových teplot. Z porovnání snímků při přirozeném takovém rozdílu a při podtlaku /foto 10 až 13/ se podařilo lokalizovat několik netěsností v ploše střechy a především netěsnosti ve styku obvodových stěn se střechou. Poměrně nevzduchotěsná byla většina vstupních dveří.

Nedostatečná vzduchotěsnost je obvykle způsobena absencí vzduchotěsnicích vrstev nebo chybně provedených spojů mezi materiály zajišťujícími vzduchotěsnicí funkci. Z lokalizace netěsností termovizní kamerou nebylo možné stanovit přesnou příčinu, a proto bylo rozhodnuto o provedení sond v místě styku střechy se stěnou a sond do střešního pláště.

SONDY

Sondy byly provedeny v polovině června 2008, tedy v době, kdy se hala nevyužívá.

A) SONDA S1 – STYK STŘECHY S BOČNÍ STĚNOU.

Sonda byla realizována z exteriéru v přesahu střechy přes hoblovaná prkna podhledu /foto 14 a 15/. Místo sondy odpovídá v interiéru přibližně místu na /foto 12/. Mezera mezi trapézovým plechem a hoblovanými prkny podhledu byla vyplněna pouze přířezy minerální vlny. Toto provedení je vyhovující z hlediska prostupu tepla, ale nelze jej považovat za vzduchotěsné. V přesazích střechy lokálně chyběla tepelná izolace.

B) SONDA S2 – STYK STŘECHY SE ŠTÍTOVOU STĚNOU.

Sonda byla opět realizována z exteriéru. Vlny trapézového plechu byly u štítové stěny vyplněny pouze přířezy minerální vlny /foto 16 a 17/.

C) SONDA S3 – PŘESAHA STŘECHY U ŠTÍTU.

Pro napojení spodní fólie lehkého typu na navazující konstrukce byla použita lepicí páska. Obdobně byla použita lepicí páska také pro slepení přesahů fólie v ploše. Jak to bývá



- 14 | Odstraněná hoblovaná prkna
- 15 | Výplň přířezy minerální vlny
- 16 | Vlna trapézového plechu vyplněná přířez minerální vlny
- 17 | Pohled směrem do interiéru
- 18 | Chybně provedené napojení spodní fólie na navazující konstrukce
- 19 | Chybějící lepicí páska v napojení spodní fólie na navazující konstrukce
- 20 | Neslepený přesah horní fólie



u spojů fólie v těchto konstrukcích obvyklé, nepodařilo se je slepit dokonale /foto 18/. U napojení fólie na navazující konstrukce páska dokonce lokálně chyběla /foto 19/.

D) SONDA S4 – V PLOŠE STŘECHY BLÍZKO SVĚTLÍKU.

Spoje horní fólie lehkého typu byly řešeny jen přesahem bez použití lepicí pásky /foto 20/. U napojení na navazující konstrukce opět lokálně lepicí páska chyběla (především u konstrukce světlíku).

SHRNUTÍ POZNATKŮ Z PRŮZKUMU

Skutečná skladba střechy zjištěná sondami je uvedena v tabulce /02/. Materiálové složení odpovídá projektové dokumentaci. Provedení jednotlivých vrstev a jejich napojení na související konstrukce může ukazovat na pravděpodobné příčiny popsanych poruch.

Součinitel prostupu tepla skladby střechy 0,38 W/(m²·K) splňuje požadovanou hodnotu 0,54 W/(m²·K) dle ČSN 73 0540-2 [1]. Ve skladbě vypočtově nedochází ke kondenzaci. Výpočet povrchové teploty na spodním líci podhledu byl proveden dle bilance rovnováhy tepelných toků na vnitřním povrchu zahrnující tepelný tok sáláním i vedením. Výsledky výpočtu ukázaly, že největší riziko povrchové kondenzace hrozí v srpnu a září.

ANALÝZA PROBLÉMŮ

Díky nekontrolovatelnému proudění vzduchu mezi interiérem a exteriérem se v části roku hala chová jako neklimatizovaná. V podstatě pro ni platí pravidla formulovaná v článku Ing. Antonína Žáka [9]. Pojďme pro zajímavost naši halu s těmito pravidly zkonfrontovat.

A) „Navrhovat vnitřní povrchy střešních plášťů s nízkou emisivitou (pohltivostí).“

Dřevo patří k materiálům s velice vysokou emisivitou přesahující hodnotu 0,9. Hoblováním lze emisivitu snížit, ale pouze o malou hodnotu. Vysoká emisivita podhledu se pravděpodobně spolupodílí na uvedených nežádoucích jevech. Nižší povrchovou teplotu části podhledu nad ledem oproti části podhledu nad tribunou dokládá také /foto 21/.

B) „Haly by měly být co nejvíce rozlehlé a co nejvyšší. Tvar zastřešení nehraje příliš velkou roli. Proto je možné volit rozmanitá řešení střech. Je nutné zajistit minimální výšku střechy v ose ledové plochy.“

S výškou povrchu střechy nad ledovou plochou se snižuje vliv radiace a tedy ochlazování spodního povrchu střechy. Dle ČSN 73 0540-2 [1], [2] se doporučuje pro vyloučení dlouhodobě se vyskytujícího efektu tvorby stalagmitů v přechodných

období roku nejmenší vzdálenost střechy od středu ledové plochy:

$$r = 20 * \sqrt{\epsilon_{st}} = 20 * \sqrt{0,9} = 19 \text{ m}$$

a pro vyloučení i krátkodobě se vyskytujícího stejného efektu v zimním období se doporučuje tuto vzdálenost zvýšit na:

$$r = 30,3 * \sqrt{\epsilon_{st}} = 30,3 * \sqrt{0,9} = 28,75 \text{ m}$$

Výška haly v hřebeni 15m nedosahuje ani jedné z uvedených hodnot. Tento fakt se opět spolupodílí na vzniku nežádoucích jevů.

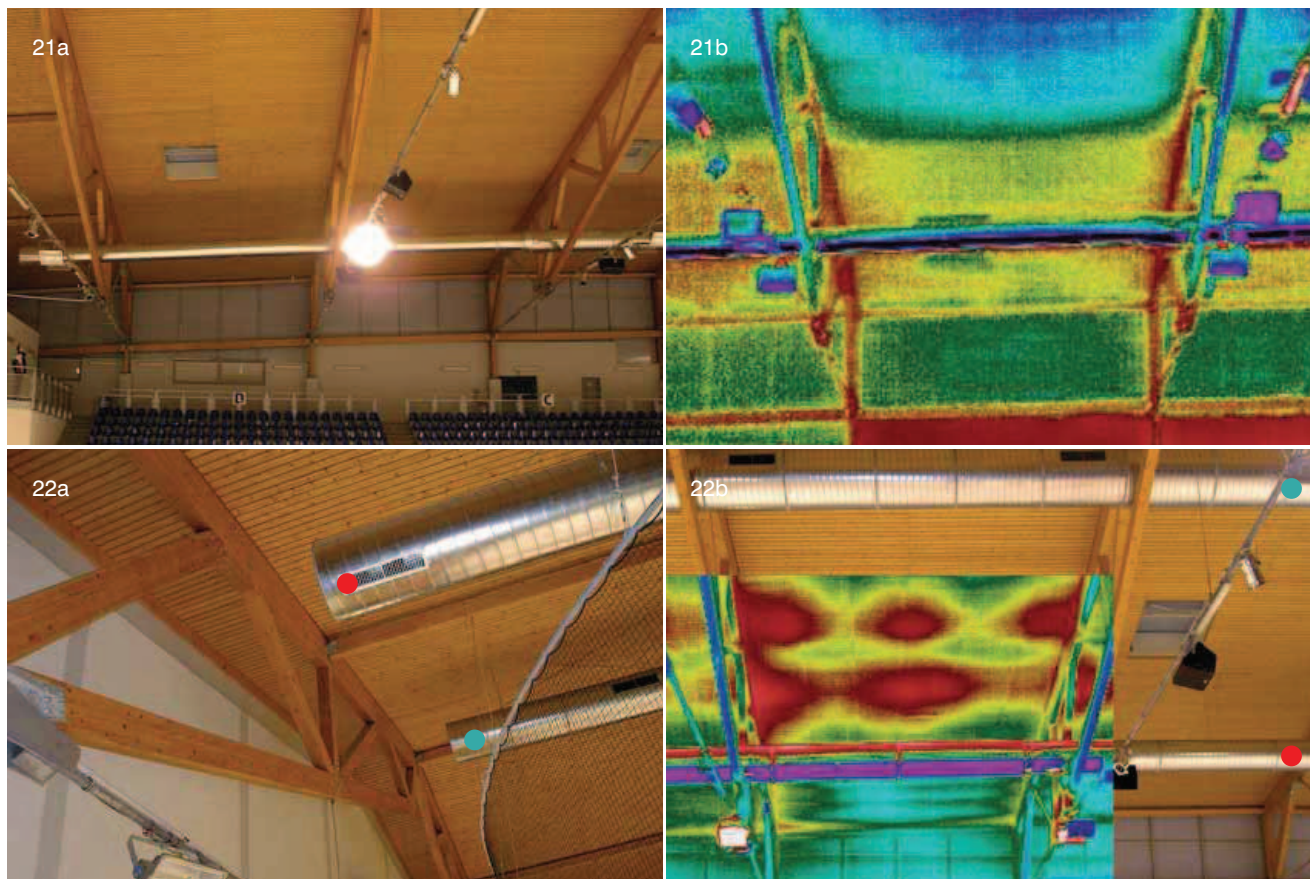
C) „U vzduchotechnických zařízení je vhodné vyústky nesměrovat pouze na podhled, ale také nad ledovou plochu tak, aby napomáhaly pohybu vlhkosti nasyceného vzduchu nad ledovou plochou.“

Vyústky směřují jak na podhled, tak také na ledovou plochu /foto 22/. Pokud by uvedené opatření nebylo realizováno, lze předpokládat, že by nežádoucí jevy byly rozsáhlejší. Pravděpodobně by docházelo k povrchové kondenzaci i v dalších měsících než jen v srpnu a září.

D) „Při návrhu střešního pláště je vhodné navrhovat vrstvu zabraňující pronikání vlhkosti z obou stran tepelné izolace (při obráceném vlhkostním toku funguje hydroizolace – krytina– jako parozábrana). Z hlediska trvale příznivého tepelně-vlhkostního režimu jsou nejvíce výhodné jednoplášťové

Tabulka 02| Skladba střechy (od interiéru)

Vrstva	Stav vrstvy	Tloušťka [mm]
Hoblovaná dřevěná prkna s mezerami 20 mm	-	18
Vzduchová vrstva	-	100
Trapézový plech 160/250	bez zjevných poruch	1,25
PE fólie lehkého typu vyztužená mřížkou	v přesazích pouze přeložena, lokálně nesoudržné v napojení na oplechování	0,25
Tepelná izolace z minerální vlny	suchá	160
Plastová fólie lehkého typu s hliníkovou fólií vyztužená mřížkou	slepená v přesazích lepicí páskou, ale spoje lokálně nesoudržné, lokálně nesoudržné v napojení na navazující konstrukce	0,25
Vzduchová vrstva	-	40
Trapézový plech 79/250	Lokální koroze krytiny v místech s porušenou povrchovou úpravou	0,88



21 | Nižší povrchová teplota části podhledu nad ledem než části podhledu nad tribunou
22 | Nasměrování výústků jak na podhled, tak také nad ledovou plochu

střechy s parozábranou a hlavní hydroizolací na podobné materiálové bázi (s podobnými difuzními vlastnostmi).“

Střecha haly je dvouplášťová. Parotěsnost mají pravděpodobně zajišťovat dvě vrstvy z fólie lehkého typu (vyztužené PE fólie) u obou povrchů tepelné izolace. Použití těchto typů fólií i pro vzduchotěsní vrstvy skládaných konstrukcí je však problematické (viz např. [11]). To se potvrdilo i zde. Ani jednu z fólií se nepodařilo provést zcela těsně.

KONCEPCE ŘEŠENÍ

Pro zamezení vzniku nežádoucích tepelně-vlhkostních jevů je třeba provést nápravná opatření. Možnou variantou je výměna vzduchotechnické jednotky za výkonnější nebo doplnění o další. Z ekonomického hlediska však toto řešení nemusí být přijatelné, protože bude třeba upravovat vzduch po celou dobu provozu haly. Navíc cyklické zatěžování střešního pláště, především tepelné izolace, vlhkostí může snížit mechanicko-fyzikální

vlastnosti a významně zkrátit trvanlivost konstrukcí.

Jako nejlepší řešení se jeví komplexní oprava střechy včetně napojení střechy na obvodové stěny. Současně lze také doporučit úpravu podhledu.

<Viktor Zwiener>

Foto:
Tomáš Kafka
Michal Škuta
Pavel Šuster
Viktor Zwiener

Literatura:

- [1] ČSN 73 0540-2:1994 Tepelná ochrana budov – Část 2: Funkční požadavky
- [2] ČSN 73 0540-2:2007 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- [3] ČSN 73 0540-3:1994 Tepelná ochrana budov – Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování
- [4] ČSN 73 0540-3:2005 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin

- [5] ČSN 73 0540-4:1994 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody pro navrhování a ověřování
- [6] ČSN 73 0540-4:2005 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody
- [7] ČSN EN 13187:1999 (73 0560) Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidlostí v pláštích budov – Infračervená metoda
- [8] ČSN EN 13829:2001 (73 0577) Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda
- [9] Žák A.: Navrhování střech nevytápěných a neklimatizovaných zimních stadionů, Dektime, 05/2005, str. 27-35
- [10] Laník R., Bohuslávka P.: Zajímavé momenty z návrhu a realizace střech zimního stadionu, Dektime Speciál semináře/2007, str. 4-13
- [11] Žemla P.: Parotěsní vrstva z fólie lehkého typu prováděná zdola, Dektime Speciál 1/2008, str. 22-29