

VLIV RADIACE LEDOVÉ PLOCHY NA TEPLITU PLECHOVÝCH KONSTRUKCÍ



Ing. Antonín Žák, Ph.D. | vedoucí technického rozvoje DEK a.s.
antonin.zak@dek-cz.com | 731 421 977

ÚVOD

Zimní stadiony jsou architektonicky, konstrukčně, dispozičně a technologicky ojedinělé prostory. Oproti běžným stavbám jsou tyto odlišné především přítomností ledové plochy a extrémními parametry vnitřního vzduchu (teplota a vlhkost). Větrání haly bývá buď přirozené nebo nucené s úpravou vzduchu. Na stadionech bez vnitřní úpravy vzduchu se pohybuje relativní vlhkost kolem 60 až 100%. Oproti tomu na stadionech s nuceným větráním a úpravou vzduchu je vlhkost vzduchu udržována na hodnotě obvykle okolo 70%. Značná relativní vlhkost zvyšuje riziko vzniku mlhy nad ledovou plochou, což je nepříznivé z hlediska provozování sportů na ledové ploše. Dalším závažným problémem je vznik povrchové kondenzace na okolních konstrukcích, zejména pak na spodním líci střešní konstrukce. Riziko roste se zvyšující se relativní vlhkostí vzduchu v interiéru. K ochlazování vnitřního povrchu střechy dochází především vlivem tepelného sálání (radiaci) mezi střechou a ledovou plochou, kde teplejší střecha odevzdává teplo sáláním chladnější ledové ploše, led se ohřívá a střecha ochlazuje. Teplota konstrukcí vlivem tepelného sálání pak klesá pod teplotu vzduchu v interiéru a někdy také pod teplotu rosného bodu, čímž dochází k povrchové kondenzaci. Ta způsobuje chemickou a biologickou korozi samotné nosné konstrukce. Dalším nežádoucím důsledkem je skapávání zkondenzované vody na ledovou plochu a tvorba ledových boulí, dosahujících velikosti i několik centimetrů (viz obr.1). Ty pak mohou být velmi nebezpečné pro osoby pohybující se po ledové ploše.

Z těchto důvodů je třeba zamezit nebo alespoň ve značné míře omezit vznik povrchové kondenzace. Zimní stadiony jsou z hlediska tepelné techniky specifické tím, že problémy vznikají hlavně v jarních a podzimních měsících, kdy je v exteriéru velké množství vzdušné vlhkosti.

Při návrhu zimního stadionu je tedy nutné volit takové materiály konstrukce střechy, které by eliminovaly nebo alespoň minimalizovaly vznik povrchové kondenzace. Více v literatuře [4]. Pokud nelze tento jev zcela vyloučit, musíme použít dostatečně odolné materiály.

V tomto článku se zaměříme pouze na příklad jednoduché konstrukce střechy s vazníky, nad nimiž je provedena konstrukce např. z trapézových plechů. Neuvažujeme žádné podhledy.

TEORIE ZÁŘENÍ (SÁLÁNÍ, RADIACE)

Téměř každá kniha o stavební fyzice podrobně popisuje problematiku záření, proto zde jen jednoduše shrnu základní pravidla.

Mezi všemi povrchy, jejichž teploty jsou vyšší než absolutní termodynamická nula ($T = 0 \text{ K}$, která je reálně nedosažitelná) a mezi nimiž je průteplivé prostředí (např. vzduch), dochází k přenosu tepelné energie zářením. O velikosti tepelného toku zářením mezi dvěma konstrukcemi rozhoduje nejvíce:

- emisivita (pohltivost) povrchů – pohybuje se mezi hodnotami 0 (nic nevyzáří = tepelné zrcadlo – dokonalé) až 1 (dokonalý zářič – nevhodné);
- povrchová teplota – čím je vyšší rozdíl teplot ozařujících se povrchů, tím dochází k většímu tepelnému toku mezi těmito konstrukcemi. Tento tepelný tok roste se čtvrtou mocninou teploty;
- geometrická poloha ozařujících se povrchů (v našem případě vzdálenost střešní konstrukce a ledové plochy) – velikost tepelného toku klesá s druhou mocninou vzdálenosti.

Z těchto bodů je zřejmé, že jako projektant jsem schopen ovlivnit emisivitu a geometrické uspořádání haly (výšku haly). Výška haly je omezena financemi a někdy

01 | Nerovnosti na ledové ploše





02| Měřicí deska svrchu



03| Měřicí deska ze spodní strany

i územními regulativy. Proto je asi nejdůležitější a nejovlivnitelnější veličinou emisivita povrchů konstrukcí. Emisivita je jednou z hlavních vlastností materiálu ovlivňující míru radiace. Velikost tepelného toku vyzářeného (pohlčeného) konstrukcí je přímo úměrná emisivitě (pohlitvosti). Proto teoreticky nejvhodnějšími materiály pro minimalizaci účinků radiace jsou leštěné kovy (např. hliník, zinek), mající emisivitu okolo 0,02 až 0,2 (podle stupně oxidace). Pro představu běžné stavební materiály jako beton nebo dřevo mají emisivitu kolem 0,8 – 0,95.

Hliníkové plechy by byly z hlediska radiace asi ideální, ale z cenových důvodů a z důvodů nízké únosnosti se téměř nepoužívají. Více využívaným materiálem jsou ocelové pozinkované plechy, kde se dle stupně oxidace může emisivita pohybovat kolem 0,1 až 0,6.

Veliký otazník se vznášel nad fungováním plechů s organickým povlakem (vrstva PES, PUR atd.). V prvopočátečních úvahách o tzv. „Ideálním materiálu“ pro střešní konstrukce nad zimními stadiony, byl právě tento materiál favoritem, poněvadž se předpokládalo, že povrchová úprava zajistí dlouhodobou ochranu proti korozi. Měření na zimních stadionech, prováděná v minulosti, však ukazovala pravý opak. Pro kontrolu a srovnání různých materiálů bylo provedeno experimentální měření.

MĚŘENÍ

Měření bylo provedeno v hokejové hale Rondo v Brně. Z důvodu snadné přístupnosti a zároveň

zajištění vysokého účinku radiace (malá vzdálenost mezi ozařujícími se povrchy = vysoký vliv radiace na povrchové teploty) nebylo měření prováděno v úrovni střechy, ale 1,5 m nad ledovou plochu. Zde byla osazena měřicí deska / obr. 02 a 03/, pod níž byly zavěšeny různé druhy materiálů a byly sledovány teploty, na které se tyto materiály ochladí. My se zaměříme pouze na tři typy materiálů. Prvním z nich je pozinkovaný ocelový plech (stříbrná barva), další dva vzorky byly z ocelového plechu s polyesterovou povrchovou úpravou – PES (tl. 0,025mm, barva hnědá a bílá). Poslední vzorek byl z ocelového plechu s polyuretanovou povrchovou úpravou – PUR (tl. 0,05mm, barva oranžová), dle /obr. 03/.

Pro měření teplot byly použity přenosné ústředny s kontaktními termočlánky a termovizní kamera. Obecně je známo, že termovizní kamera není vhodná pro měření materiálů s nízkou emisivitou, proto jsme neočekávali z tohoto měření zcela věrohodné výsledky.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Termovizní kamerou byly provedeny snímky dle /obr. 04/, které zobrazovaly povrchové teploty jednotlivých materiálů v závislosti na jejich emisivitě. Předem jsme předpokládali, že plechové konstrukce jsou termovizní kamerou z důvodu nízké emisivity špatně měřitelné, a proto byly zespu na plech nastříkány body se zaručenou konstantní emisivitou 0,96 (černé a bílé kruhové body na /obr. 03/, bílé obdélníky sloužily pouze pro připevnění měřicích

termočlánků). Termovizní kamera byla nastavena na hodnotu emisivity 0,96. Z /obr. 04/ je patrné, že nanesené body s danou emisivitou v případě povrchově upravených plechů splynuly s pozadím (tmavě zelená), což by naznačovalo, že povrchově upravené plechy mají emisivitu kolem 0,96. Fialová barva pozinkovaného plechu neukazuje skutečnou teplotu, protože kamera byla nastavena na emisivitu 0,96 a pozinkované plechy mají emisivitu kolem 0,1-0,28. Přibližnou teplotu pozinkovaného plechu lze odečíst pouze na nanesených bodech (v termovizním snímku žlutá oválná místa). Žluté pruhy napříč celým snímek jsou způsobeny dřevěnou konstrukcí, ke které jsou plechy připevněny. U křivky FeZn byla pro graf uměle nastavena emisivita 0,28. Pro tuto křivku tedy neplatí teplotní barevná stupnice.

Výsledky měření byly shrnuty do /tab. 01/.

Z tabulky je patrné, že odchylka měření termočlánků a termovize je u ocelových plechů s organickým povlakem do cca 1°C, což lze brát pro měření termovizní kamerou jako poměrně přijatelné. U ocelových pozinkovaných plechů velmi závisí na nastavení emisivity. V případě nastavení na hodnotu 0,28 vycházely výsledky poměrně přijatelně viz /tab. 01/. Výsledky jsou však velmi citlivé na zadané emisivitě. Pokud bychom emisivitu nastavili např. na poměrně reálnou hodnotu 0,2, tak nám povrchová teplota vyskočí až na cca 12°C. A to je již nereálná hodnota.

Výsledky potvrdily předchozí zjištění, že plechy s organickými

povlaky mají vysokou emisivitu. Vysvětlení vysoké emisivity kovových plechů s tenkými organickými povlaky lze nalézt na /obr. 05/ [3], kde je zobrazena spektrální propustnost tenkých PES filmů. Zde si můžeme všimnout, že u teplot povrchů kolem 5°C (10 μm) je propustnost velmi nízká a povrchové vrstvy z polyesteru se chovají spíše jako plast (vysoká emisivita). Nízká emisivita kovu je zde potlačena.

ZÁVĚR

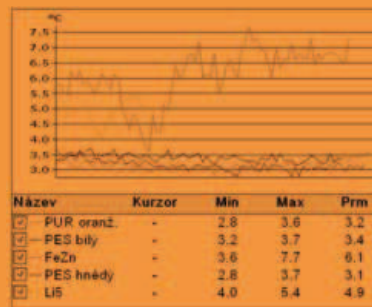
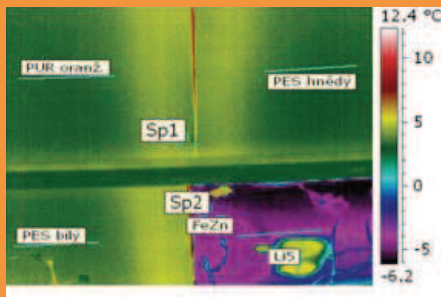
Z povrchových teplot je patrné, že chování plechů s organickým povlakem se blíží chování materiálů s vysokou emisivitou (dřevo). Z měření termovizní kamerou v daných podmínkách nelze tvrdit, že je emisivita plechů s organickým povlakem přesně 0,96. Lze však asi konstatovat, že emisivita takových plechů je velmi vysoká (0,8-0,96). Z již provedených měření vychází, že u plechů s organickým povlakem dochází daleko častěji k povrchové kondenzaci, nežli např. u pozinkovaných plechů.

Tato skutečnost byla při měření vizuálně ověřena. Po cca. 1,5 hod. po instalaci docházelo ke kondenzaci u plechů s organickým povlakem, kdežto pozinkované plechy byly po celou dobu měření suché. Dřevěné konstrukce byly také suché, a to i přesto, že byla povrchová teplota ještě nižší než teplota plechů s organickým povlakem. Důvodem je schopnost dřeva pohltit mírné množství vody.

Můžeme předpokládat, že velmi podobného chování jako povrchově upravené plechy by dosahovaly plechy opatřené vrstvou jakéhokoli nátěru. Proto je otázkou, zda-li povrchovou úpravou plechů opravdu chráníme konstrukci, když jim výrazně zvyšujeme četnost výskytu kondenzace.

Měření bylo provedeno sice jen 1,5m nad ledovou plochou, ale zjištěné výsledky lze po úpravách aplikovat obecně na veškeré plošné konstrukce střech a podhledů.

Měření bylo prováděno v rámci disertační práce autora článku.

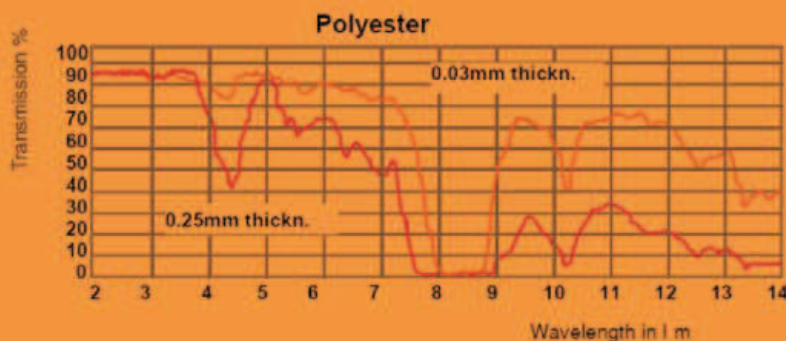


04 | Termovizní měření

Tabulka 01 | Naměřené hodnoty

Název konstrukce	Termočlásky [°C]	Termovize [°C]
Pozinkovaný ocelový plech	+6,2	+5,6 (s upravenou emisivitou 0,28)
Pozinkovaný ocelový plech na bodech s definovanou emisivitou	-	+5,0
Ocelový plech s PES povrchovou úpravou (hnědý)	+2,5	+3,1
Ocelový plech s PES povrchovou úpravou (bílý)	+2,4	+3,4
Ocelový plech s PUR povrchovou úpravou (oranžový)	+2,4	+3,2
OSB desky	+2,2	-
Teplota vzduchu	+7,5	-
Teplota ledu	-8,4	-

05 | Spektrální propustnost tenkých polyesterových povlaků



Článek je zaměřen pouze na dílčí část střechy (konstrukci nad vazníky) a posuzuje danou konstrukci pouze z hlediska povrchové kondenzace. Při návrhu bychom měli zohlednit spoustu dalších skutečností, jako např. větrání haly provedení nosné konstrukce vazníku a jiné obory jako akustika, požární bezpečnost staveb atd.

<Antonín Žák>

[1] STAVEBNÁ TEPELNÁ TECHNIKA – TEPELNÁ OCHRANA BUDOV,

prof. Ing. M. Halahyja, DrSc.,
doc. Ing. I. Chmúrny, CSc.,
doc. Ing. Z. Sternová, Csc.,
Bratislava: JAGA, 1998. 249 s.
ISBN80-88905-04-4.

[2] ČSN 73 0540-2 TEPELNÁ OCHRANA BUDOV – ČÁST 2: POŽADAVKY, Ing. Jiří Šála, CSc., Ing. Jan Tywoniak, CSc., Ing. Lubomír Keim, Csc., Praha: Český normalizační institut, 2002. 36 s.

[3] <http://www.raytek.com/Raytek/en-r0/IREducation/>

[4] DEKTIME 05/2005, Ing. Antonín Žák, Praha: Dektrade a.s., 2005. 39 s.