

Kovové kazetové stěny a tepelná ochrana budov

Zbyněk Svoboda, Stavební fakulta ČVUT Praha

Klíčová slova:



Lektoroval:

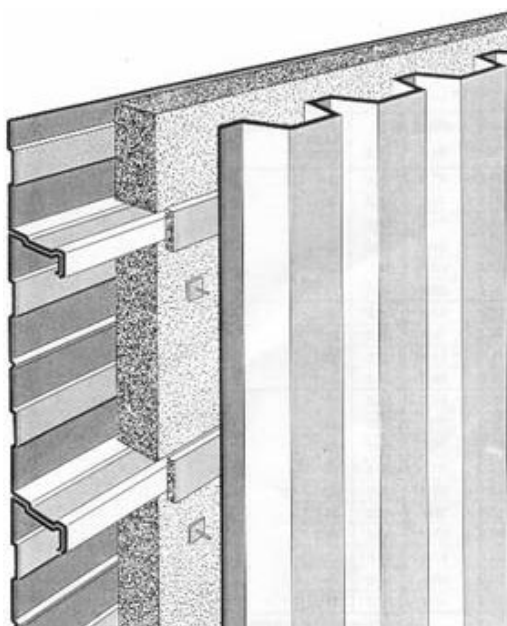


Kovové kazetové stěny s tepelně izolační výplní z minerálních vláken a vnějším pláštěm z trapézových plechů se používají v České republice stále častěji, a to nejen u průmyslových objektů. Vzhledem k jejich specifickému charakteru je ovšem třeba věnovat zvýšenou pozornost správnému stanovení jejich tepelně technických vlastností.

Kovové kazetové stěny

Požadavky, které klade ČSN 730540 „Tepelná ochrana budov“ na obalové stavební konstrukce, jsou již mezi projektanty poměrně dobře známy – a to od požadavků na součinitel prostupu tepla, přes požadavek na vnitřní povrchovou teplotu až k požadavkům na šíření vodní páry a její kondenzaci. Přetrvávajícím problémem bohužel zůstává správné určení tepelně technických vlastností konkrétní stavební konstrukce či detailu. Často se totiž výpočet provádí chybně bez zohlednění vlivu tepelných mostů či se dokonce neprovádí vůbec a hodnoty se přebírají z více či méně pochybných zdrojů.

Mezi typické konstrukce, u kterých se lze jednou setkat s chybami při tepelně technických výpočtech, patří kovové kazetové stěny s tepelnou izolací (obr. 1). Jedná se o konstrukce, které



Obr. 1 Schéma kovové kazetové stěny (převzato z podkladů Thyssen Bausysteme GmbH)

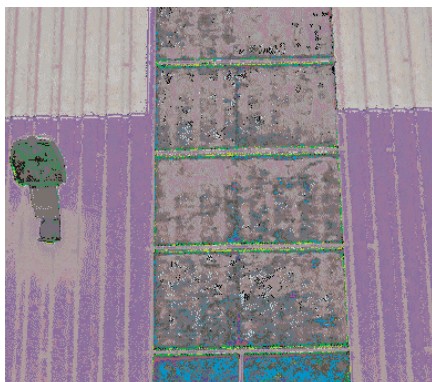
jsou obvykle tvořeny kovovými kazetami z plechu tloušťky kolem 1 mm, do nichž jsou zatlačeny rohože z minerálních vláken různých tloušťek (typicky od 50 do 160 mm). Kazety mají bočnice provedené tak, aby na sebe sousední kazety navazovaly a aby bylo možné na bočnice připevnit vnější plášť – typicky trapézový plech. Mezi bočnicí a vnějším trapézovým plechem se může provést tepelně izolační vložka v tloušťkách zhruba od 5 do 15 mm z různých materiálů (polystyren, tuhá minerální vlákna, Promatect atd.), nebo může tento spoj zůstat bez přerušení tepelného mostu. Vzduchová vrstva mezi tepelnou izolací v kazetě a trapézovým plechem se provádí jako větraná.

Součinitel prostupu tepla

Určit součinitel prostupu tepla takto provedené stavební konstrukce není bohužel zcela triviální. Rozhodně není možné vzít skladbu v typickém místě (tedy mimo spojení bočnic kazet) a vypočítat ručně součinitel prostupu tepla z dobře známého vztahu. Při použití tohoto jednoduchého postupu lze totiž sice dojít velmi rychle k výsledku, ale jeho vypovídací hodnota je naneštěstí mizivá, protože takto zjištěný součinitel prostupu tepla je téměř vždy výrazně nižší než skutečný součinitel prostupu tepla kovové kazetové stěny. Jednoduchým postupem zjištěné výsledky nejsou tudíž nikdy na straně bezpečnosti a před jejich použitím nezbyváá než důrazně varovat.

Tepelně izolační vlastnosti kovových kazetových stěn závisí totiž ve velké míře na provedení výrazných tepelných mostů v místě vzájemného spojení kovových kazet (obr. 2). Zanedbat jejich vliv ve výpočtu je hrubou chybou. Producenti kazetových stěn jsou si samozřejmě tohoto problému vědomi a nabízejí proto i různé možnosti, jak tyto tepelné mosty omezit či částečně přerušit. Zcela je odstranit není ovšem možné z montážních důvodů – do bočnic se upevňují vnější trapézové plechy, a tak zde alespoň minimální bodové propojení mezi interiérem a exteriérem existuje vždy.

Korektní hodnoty tepelného odporu a součinitele prostupu tepla kazetových stěn je samozřejmě možné získat z hodnověrných podkladů od výrobce. Optimálně se jedná o hodnoty stanovené měřením v laboratořích na vzorku kazetové stěny. V takovém případě jsou pak ve výsledné hodnotě tepelného odporu zahrnuty všechny te-



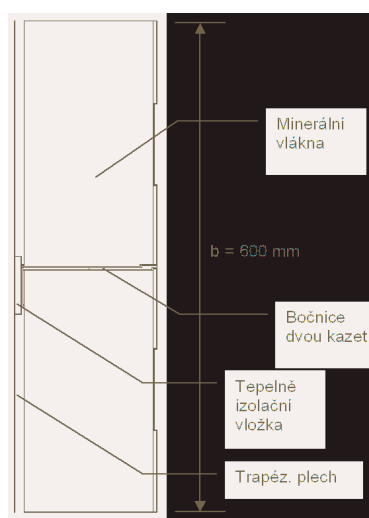
Obr. 2 Pohled na část kazetové stěny bez namontovaného vnějšího trapézového plechu (foto Bilfinger+Berger stavební Praha s.r.o.)

plné mosty včetně případných bodových spojů.

Výpočet součinitele prostupu tepla

Nežřídká se ovšem stane, že je nutné vyprojektovat stěnu, která se od standardní – a tedy výrobcem pečlivě vyhodnocené a zdokumentované – kazetové stěny v některých ohledech liší. V takovém případě nezbyvá než stanovit součinitel prostupu tepla výpočtem.

S dostatečnou přesností postačuje obvykle výpočet vycházející z numerického řešení dvourozměrného teplotního pole v charakteristickém výseku konstrukce. Jen výjimečně je nutné provést hodnocení třírozměrného teplotního pole. Na obr. 3 je vidět typické schéma charakteristického výseku kazetové stěny připravené pro výpočet. Schéma platí pro typickou šířku kazety 600 mm.



Obr. 3 Schéma charakteristického výseku kazetové stěny

Namodelovaný charakteristický výsek kazetové stěny je poté nutné zadat do vhodného programu pro řešení dvourozměrných teplotních polí (zde byl použit program Area 2002). Výsledkem výpočtu je pak většinou nejen rozložení teplotních polí v detailu (obr. 4), ale i tepelná propustnost charakteristickým výsekem. Z této veličiny lze již snadno stanovit součinitel prostupu tepla s pomocí vztahu

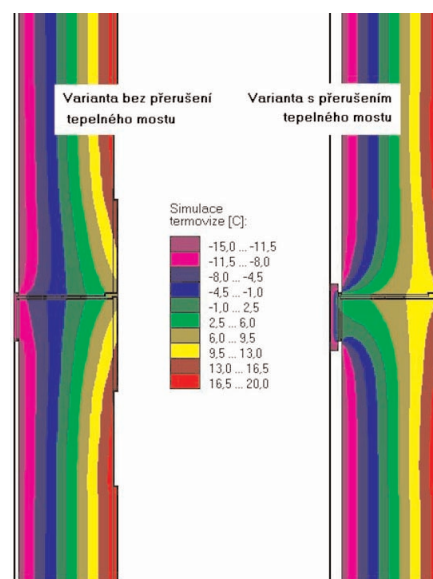
$$U = k \frac{L}{b},$$

kde L je tepelná propustnost hodnoceným výsekem konstrukce ve $W/(m.K)$ a b je šířka hodnoceného výseku konstrukce v m (obr. 3).

Tepelný odpor lze pak případně snadno dopočítat ze vztahu

$$R = \frac{1}{U} - R_{si} - R_{se},$$

kde R_{si} a R_{se} jsou tepelné odpory při přestupu na vnitřní a vnější straně konstrukce v $m^2.K/W$ použité při výpočtu.



Obr. 4 Rozložení teplotních polí v kazetové stěně s tepelnou izolací tl. 100 mm

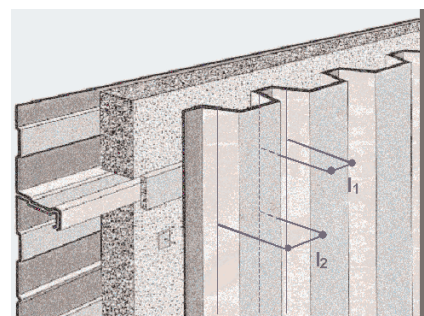
U kazetových stěn s vnějším trapézovým plechem je vždy na straně bezpečnosti hodnotit charakteristický výsek v místě připojení trapézového plechu na bočnici kazety (obr. 3). Z takového výpočtu vyjdou spolehlivě bezpečné hodnoty tepelného odporu a součinitele prostupu tepla. Samozřejmě je nutné uvažovat ve vzduchové vrstvě mezi tepelnou izolací a trapézovým plechem teplotu vzduchu

shodnou s venkovní teplotou. Tepelný odpor při přestupu na venkovní straně konstrukce je ve výpočtu nutné uvažovat $0,04 m^2.K/W$, na vnitřní straně konstrukce $0,13 m^2.K/W$ a na površích uvnitř větrané vzduchové vrstvy rovněž $0,13 m^2.K/W$ (podle ČSN EN ISO 6946).

Přesnější výsledky lze získat tak, že se provede výpočet součinitele prostupu tepla dvakrát – jednou pro charakteristický výsek v místě připojení trapézových plechů na bočnice kazet a podruhé v místě mimo toto připojení (tj. trapézový plech není v kontaktu s kazetou). Výsledný součinitel prostupu tepla lze pak stanovit ze vztahu

$$U = \frac{U_1 \cdot l_1 + U_2 \cdot l_2}{l_1 + l_2},$$

kde U_1 je součinitel prostupu tepla charakteristického výseku v místě připojení trapézových plechů na kazety ve $W/(m^2.K)$, l_1 je šířka vlny trapézového plechu v místě připojení na kazety v m, U_2 je součinitel prostupu tepla charakteristického výseku mimo připojení trapézových plechů na kazety ve $W/(m^2.K)$ a l_2 je šířka vlny trapézového plechu mimo připojení na kazety v m. Význam rozměrů objasňuje obr. 5.



Obr. 5 Schéma šířek vln trapézového plechu

Praktický vliv tepelných mostů

Podívejme se nyní na praktické důsledky existence tepelných mostů v kazetových stěnách. V tab. 1 jsou přehledně uvedeny výsledky výpočtu tepelného odporu a součinitele prostupu tepla vybraných kazetových stěn. Tloušťka plechu stěn kazet byla uvažována 1 mm, šířka kazet pak typických 600 mm. Tepelná izolace byla předpokládána z minerálních vláken o tepelné vodivosti 0,04

W/(m.K). Pro variantu s přerušením tepelného mostu byla uvažována tepelně izolační vložka mezi trapézovým plechem a bočnicí kazet o tepelné vodivosti 0,05 W/(m.K) a rozměru 8 x 70 mm. Výpočet byl proveden postupem uvedeným v závěru předchozí kapitoly za předpokladu, že šířky vln trapézového plechu v místě upevnění na bočnice kazet a mimo ně jsou stejné.

V tab. 1 jsou pro srovnání uvedeny nejen vypočtené součinitele prostupu tepla, ale i hodnoty převzaté z podkladů firmy Thyssen pro shodné provedení kazetových stěn. Firemní tabulkové hodnoty (získané zřejmě měřeními) a vypočtené hodnoty jsou v dosti dobré shodě.

Z výsledků je zřetelně vidět výrazný vliv tepelných mostů. Součinitel prostupu tepla neklesne pod hranici nejtypičtějšího požadavku ČSN 730540-2 pro lehkou stěnu – tedy pod limit 0,3 W/(m².K) – ani u nejvíce tepelně izolované kazetové stěny s tloušťkou tepelné izolace 160 mm, a to ani v případě, že bude provedeno přerušení tepelného mostu s pomocí izolační vložky. Použití těchto konstrukcí pro obvodové stěny objektů vytápěných na vnitřní teplotu kolem 20 °C je tedy značně problematické.

Velmi zajímavé je vyjádření vlivu tepelných mostů s pomocí procentuálního nárůstu součinitele prostupu tepla oproti hodnotě stanovené bez vlivu tepelných mostů. Zvláště u stěn s větší tloušťkou tepelné izolace lze očekávat zhoršení součinitele prostupu tepla o více než 100%. Projektant, který by tedy například u kazetové stěny s tloušťkou tepelné izolace 160 mm předpokládal součinitel prostupu tepla kolem 0,24 W/(m².K), by se dopustil zcela zásadní a hrubé chyby. Tak nízký součinitel prostupu tepla by mohla mít daná stěna jen zcela teoreticky – tzn. pouze v tom případě, že by se

tepelné mosty ve stěně vůbec nevyskytovaly. Ve skutečnosti by však měla taková stěna součinitel prostupu tepla více než dvojnásobný.

Další zhoršení tepelně technických vlastností kazetové stěny by nastalo, pokud by nebyly jednotlivé kazety zcela dokonale vyplněny rohožemi či deskami z minerálních vláken. Objevit lze bohužel i realizace, u nichž je kolem bočnic ponechán prostor o šířce v řádu centimetrů zcela bez tepelné izolace. Efekt takto výrazného rozšíření tepelného mostu pak snadno překoná nejčernější očekávání a výsledný součinitel prostupu tepla se pohybuje kolem podstatně vyšších hodnot, než jaké jsou uvedeny v tab. 1.

Vliv netěsných spojů

Velmi nepříznivě se na tepelně izolačních vlastnostech kazetových stěn mohou projevit i jakékoli netěsnosti ve styku bočnic sousedících kazet. Standardně se sice tento styk má provádět jako těsněný s pomocí pásek (obvykle z polyetylenové pěny), ale nezřídka lze objevit nedokonalé utěsnění tohoto spoje, například kvůli použití příliš tenké těsnicí pásky, která nedoléhá dokonale k oběma bočnicím.

Místa ve stavebních konstrukcích, kterými může více či méně přímo pronikat vzduch z exteriéru do interiéru či obráceně, se někdy označují v zahraniční literatuře jako konvektivní tepelné mosty. Je pro ně charakteristický kombinovaný způsob šíření tepla, které uniká přes tyto typy tepelných mostů jednak klasicky vedením (kondukcí) a jednak – pro neprůsvitné stavební konstrukce poněkud atypicky – prouděním (konvekcí). Druhý způsob šíření tepla je podstatně nebezpečnější, protože přímo pronikající vzduch je schopen přenášet podstatně větší množství tepla. Důsledkem je pak vždy výrazné zvýšení tepelné ztráty přes

takto netěsnou konstrukci. Ostatní efekty závisí především na tom, zda je netěsná konstrukce na návětrné či na závětrné straně stavby. Na návětrné straně dochází k infiltraci vnějšího chladného vzduchu přes konstrukci do interiéru a ke snížení vnitřních povrchových teplot kolem konvektivního mostu. Na závětrné straně pak dochází k odsávání vnitřního teplého vzduchu přes konstrukci do exteriéru a ke zvýšení vnitřních povrchových teplot. V obou případech je teplotní pole v konstrukci deformováno vlivem konvekce.

O konvektivních tepelných mostech a o šíření tepla v nich se hovoří u nás i v zahraničí intenzivněji teprve v několika posledních letech, a to především v souvislosti s moderními nízkoenergetickými objekty. Typickou obvodovou konstrukcí těchto staveb je totiž lehká stěna či střecha s masivní tepelnou izolací z prodyšného materiálu typu minerálních vláken. Tyto konstrukce mají velmi nízký součinitel prostupu tepla a šíření tepla vedením je u nich velice minimalizováno. O to citlivější jsou pak na jakékoli netěsnosti, skrze které by mohla probíhat výměna vzduchu mezi interiérem a exteriérem. Měření a výpočtové simulace ukazují, že tepelná ztráta konvekcí přes netěsnou konstrukci s nízkým součinitelem prostupu tepla může snadno překonat tepelnou ztrátu kondukcí – a to až o jeden řád.

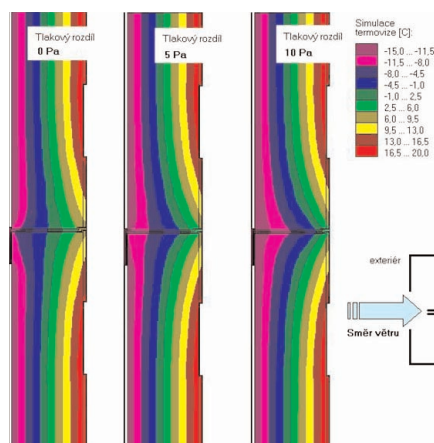
Diskutované kazetové stěny sice, jak již bylo ukázáno, mezi konstrukce s nízkým součinitelem prostupu tepla rozhodně nepatří, přesto však i u nich může mít netěsný spoj mezi kazetami značně nepříjemné důsledky. Na obr. 6 jsou pro ilustraci ukázána teplotní pole ve výseku kazetové stěny s tepelnou izolací tloušťky 100 mm pro různé působící tlakové gradienty. Zřetelně je vidět, jak chladný vnější vzduch pronikající do konstrukce snižuje teploty kolem netěsného spoje sousedících kazet. Tento efekt je zcela zřetelný i při minimálním tlakovém rozdílu mezi interiérem a exteriérem 5 Pa.

Podívejme se ještě na součinitel prostupu tepla kazetové stěny s netěsnými spoji tak, jak byl stanoven pro různé tlakové gradienty výpočtem programem Wind2D.

Výsledky uvedené v tab. 2 dostatečně názorně potvrzují vpravdě fatální vliv netěsností ve spojkách kazetové stěny na její výsledné tepelně izolační vlastnosti. Za

Tab. 1 Součinitel prostupu tepla typických kazetových stěn

Varianta	Tloušťka tepelné izolace	Tep. odpor s vlivem tep. R (m ² .K/W)	Součinitel prostupu tepla U (W/(m ² .K))			Vliv tep. mostů na součinitel prostupu
			Bez vlivu mostů	Podle podkladů Thyssen	S vlivem mostů	
Bez přerušení tep. mostu	50 mm	0,62	0,70	1,07	1,27	+81 %
	100 mm	0,93	0,37	0,81	0,91	+146 %
	160 mm	1,26	0,24	0,71	0,70	+192 %
S přerušením tep. mostu	50 mm	0,84	0,70	0,96	0,99	+41 %
	100 mm	1,22	0,37	0,69	0,72	+95 %
	160 mm	1,58	0,24	0,58	0,57	+138 %



Obr. 6 Rozložení teplotních polí u netěsné kazetové stěny bez přerušení tepelného mostu

další komentář stojí ještě skutečnost, že při vyšších tlakových gradientech nehraje řešení tepelného mostu v napojení trapézového plechu na kazety podstatnou roli. Výsledný součinitel prostupu tepla je při zde uvažovaném tlakovém rozdílu 10 Pa téměř stejný pro netěsnou kazetovou stěnu bez i s přerušením tepelného mostu.

Na okraj výše uvedeného patří snad již jen poznámka, že tlakové gradienty mezi interiérem a exteriérem do 10 Pa se u reálných staveb vyskytují zcela běžně po většinu dne. Nejedná se tedy o žádné extrémy nastávající pouze při napadení objektu mimořádnými větrnými pohromami.

Vnitřní povrchové teploty

Správné určení vnitřních povrchových teplot na kazetových stěnách vyžaduje – podobně jako výpočet součinitele prostupu tepla – rovněž numerické řešení

třírozměrných nebo dvourozměrných teplotních polí. Druhá uvedená možnost je obvykle vzhledem k požadované přesnosti postačující. Výpočet je ovšem nutné provést pro charakteristický výsek kazetové stěny v místě napojení trapézových plechů na bočnice kazet.

Důrazně je třeba opět varovat před výpočtem nezohledňujícím tepelné mosty. Při jeho použití vycházejí výrazně optimističtější výsledky, než jaké mohou odpovídat realitě. Snadno se pak může stát, že bude podceněno riziko kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu kazetové stěny, které je obvykle značně aktuální u vlhkých provozů.

Kondenzace a námraza na vnějším povrchu

Závěrem se zmíníme ještě o jednom netypickém problému, který může projektanty či uživatele objektu s pláštěm z kazetových stěn dosti překvapit. Jedná se o kondenzaci vodní páry a námrazu na vnějším povrchu stěny.

Ačkoliv se na první pohled může zdát, že takový jev překračuje obecně známé meze stavební fyziky, není tomu tak. Ve skutečnosti se kondenzace vodní páry a námrazy celkem běžně vyskytují za určitých klimatických podmínek na všech vnějších kovových pláštích dvouplášťových střech. Mohou se však objevit i na vnějším povrchu svislých dvouplášťových konstrukcí, pokud mají kovový vnější plášť a pokud není kolem objektu okolní zástavba či vzrostlá zeleň. Příčinou těchto kondenzací (a při nízkých teplotách i námraz) je nejčastěji výměna tepla sáláním mezi konstrukcí a jasnou noční

oblohou. Tato tepelná výměna probíhá samozřejmě s nejmenšími problémy u vodorovných střešních konstrukcí. U svislých stěn je možná pouze tehdy, pokud nic nebrání vizuálnímu kontaktu stěny s oblohou. Ideální podmínky pro přenos tepla sáláním ze stěn směrem k obloze proto nastávají u prvních nově postavených hal v dříve zemědělsky využívaných lokalitách (obr. 7).

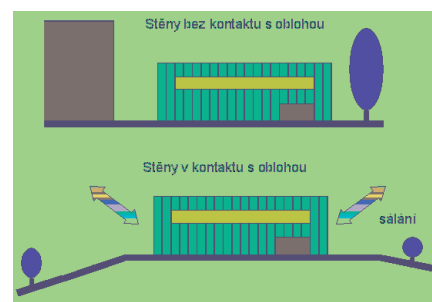
Podívejme se trochu hlouběji na příčiny námraz a kondenzací na vnějším povrchu kazetových stěn. Za jasných nocí může podle publikovaných měření dosáhnout tepelný tok z konstrukce do atmosféry hodnot od 40 do 80 W/m² [1]. Jedná se o poměrně velké množství tepla, které chladná atmosféra „odsává“ z konstrukce a způsobuje tak snížení její vnější povrchové teploty. Pokud konstrukce není dotována teplem (například z interiéru), může pak snadno dojít k poklesu její vnější povrchové teploty pod teplotu rosného bodu okolního vnějšího vzduchu. Důsledkem je poté kondenzace vodní páry na vnějším povrchu konstrukce (či námraza při teplotách pod 0 °C). Jedná se tedy o stejný přírodní jev, jako je rosa či jinovatka na automobilech, otevřených autobusových zastávkách, kovovém dopravním značení atd.

Výskyt kondenzátu či námrazy (rosy, jinovatky) je pochopitelně podmíněn tím, aby byla relativní vlhkost vnějšího vzduchu poměrně vysoká – pak stačí „podchlazení“ konstrukce jen o několik stupňů oproti teplotě vnějšího vzduchu, aby byla teplota vnějšího povrchu konstrukce nižší než teplota rosného bodu vzduchu v exteriéru.

U jednoplášťových konstrukcí se tento jev objevuje jen zřídka, protože k jejich vnějšímu povrchu může daleko lépe pronikat teplo z interiéru a vyrovnávat tak vliv výměny tepla sáláním s oblohou. U dobře navržených vnějších plášťů

Tab. 2 Součinitel prostupu tepla netěsné kazetové stěny

Tloušťka tepelné izolace	Tepelný most	Tlakový rozdíl	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² ·K)]	Vliv konvekce
50 mm	Nepřerušen	0 Pa	1,27	–
		1 Pa	1,73	+36 %
		5 Pa	2,67	+110 %
		10 Pa	3,99	+214 %
50 mm	Přerušen	0 Pa	0,99	–
		1 Pa	1,29	+30 %
		5 Pa	2,36	+138 %
		10 Pa	3,82	+286 %
100 mm	Nepřerušen	0 Pa	0,91	–
		1 Pa	1,27	+39 %
		5 Pa	1,95	+114 %
		10 Pa	2,92	+221 %



Obr. 7 Podmínky pro výměnu tepla sáláním mezi stěnou a oblohou

dvouplášťových konstrukcí by však měl být přísun tepla z interiéru minimální – vnější plášť by se měl vlastně v ideálním případě chovat jako samostatná konstrukce bez kontaktu s interiérem. Nepříznivý vliv „odsávání“ tepla atmosférou tedy není u dobře provedených dvouplášťových konstrukcí kompenzován přísunem tepla z interiéru a dobře fungující vnější plášť dvouplášťové konstrukce se proto může za určitých podmínek kondenzátem a námrazou pokrývat (pokud má přímý kontakt s atmosférou).

Podívejme se nyní pro ilustraci například na chování kovové kazetové stěny s tepelnou izolací tloušťky 120 mm za jasné zimní noci. Tepelné mosty v upevnění trapézového plechu na kazety jsou přerušeny tenkou plastovou distanční páskou tl. 5 mm. Uvažovaná kazetová stěna tvoří obvodový plášť u typické skladové haly s vnitřní teplotou 10 °C. V exteriéru uvažujeme běžnou zimní noční teplotu -5 °C a relativní vlhkost 85%. Teplota rosného bodu je za těchto podmínek -6,87 °C.

Je zřejmé, že konstrukce, která má na jedné straně interiér s teplotou vzduchu 10 °C a na druhé straně exteriér s teplotou vzduchu -5 °C, nemůže mít bez nějakého dalšího externího zásahu v žádném místě svého vnějšího povrchu teplotu nižší než -5 °C. Na místech tepelných mostů musí mít navíc hodnocená konstrukce vnější povrchovou teplotu ještě podstatně vyšší. Námraza na vnějším povrchu se tedy evidentně nemůže bez vnějšího impulsu objevit.

Zmiňovaný vnější impuls však za určitých podmínek existuje a je jím právě sálání do atmosféry. Pokud se bude jednat například o průměrnou hodnotu tepelného toku sáláním 60 W/m², bude na vnějším povrch konstrukce působit místo vnější teploty -5 °C ve skutečnosti teplota zhruba -7,6 °C. Tuto hodnotu lze stanovit ze vztahu pro tzv. ekvivalentní sluneční teplotu

$$\Theta_{es} = \Theta_e + \frac{\alpha \cdot I}{h_s} - \frac{q_s}{h_e},$$

kde Θ_e je teplota vnějšího vzduchu ve °C, Θ je pohltivost slunečního záření vnějšího povrchu, I je intenzita slunečního záření ve W/m² (v noci samozřejmě nulová), h_e je součinitel přestupu tepla na vnější straně ve W/(m².K) a q_s je hustota tepelného toku sáláním do atmosféry ve W/m².

Pokud vypočteme dvourozměrné teplotní pole v charakteristickém výseku obvodového pláště pro vnitřní teplotu 10 °C a vnější teplotu zahrnující vliv sálání do atmosféry -7,6 °C, dostaneme výsledky zobrazené na obr. 8.

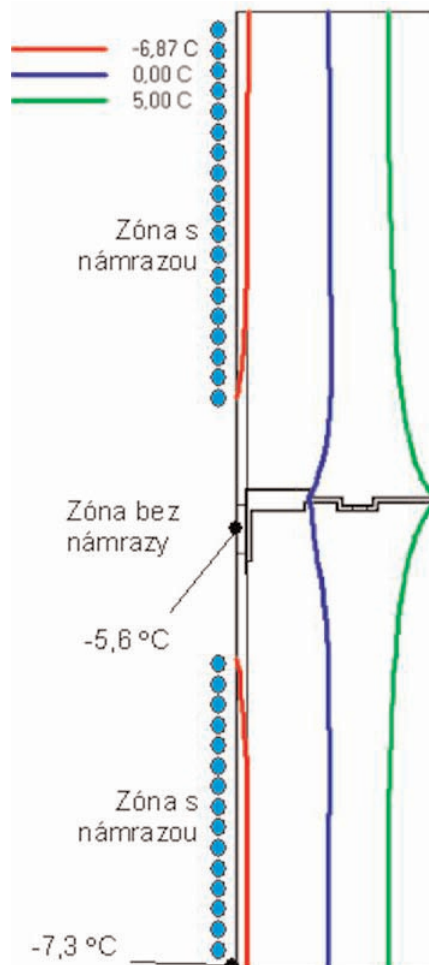
Z ilustračních výsledků je zřejmé, že v místech tepelných mostů je vnější povrchová teplota vyšší o téměř 2 °C než mimo tato místa. Zóny, kde je teplota vnějšího povrchu nižší, než je teplota rosného bodu pro vnější vzduch, jsou mimo tepelné mosty. Námraza lze tudíž očekávat mimo místa tepelných mostů, a to i při uvažovaných nijak extrémních podmínkách. Tepelné mosty se – jak je vidět – u problému námrazy na vnějším povrchu projevují mírně paradoxně jako faktor, který výskyt tohoto jevu snižuje. Samozřejmě ovšem za nepříjemnou cenu zvýšeného úniku tepla.

Při případných diskusích o námraze na vnějším povrchu kazetových stěn je třeba vždy připomenout, že se prakticky pokaždé jedná o jev zcela přirozený a v žádném případě neukazující na pochybení projektanta či dodavatele. Jen velmi výjimečně může být totiž příčina kondenzací a námrazy na vnějším povrchu jiná než výměna tepla sáláním proti obloze. S námrazou je proto třeba buď počítat a smířit se s jejím občasným výskytem, nebo je nutné odstínit stěny objektu tak, aby neměly přímý vizuální kontakt s oblohou.

Tento příspěvek byl podpořen výzkumným záměrem č. 1 MSM 210000001.

Literatura

- [1] CHYSKÝ, HEMZAL a kol.: Větrání a klimatizace, Bolit Brno 1993
- [2] SVOBODA, Z.: Software pro stavební fyziku, Svoboda Software, Kladno 1991-2003.
- [3] Thyssen Bausysteme GmbH: Firemní materiály



Obr. 8 Izotermy v charakteristickém výseku kazetové stěny během chladné zimní noci