

TERMOPRECIPITACE A JEJÍ VLIV NA KVALITU POVRCHŮ FASÁD

VIZUÁLNÍ STAV POVRCHU JE PRVNÍ INFORMACE O KONSTRUKCI FASÁDY A MŮŽE NAPOVĚDĚT O JEJÍ TECHNICKÉ KONDICI. JE MOŽNÉ SLEDOVAT RŮZNÉ ZMĚNY POVRCHU, KTERÝMI SE PROJEVUJÍ PROBLÉMY SKRYTÉ POD NÍM. PŘÍPADNÁ VADA KONSTRUKCÍ POD POVRCHEM SE MŮŽE PROJEVIT TRHLINAMI, VÝKVĚTY SOLÍ, VÝSKYTEM PLÍSNÍ NEBO JINÝCH ORGANISMŮ, VLHKÝMI MAPAMI, ALE TAKÉ USAZENÍM PRACHU NA POVRCHU FASÁDY.



Usazeniny prachu na fasádě, třeba i opatřené kontaktním zateplovacím systémem, mohou prozradit uspořádání konstrukcí pod povrchem fasády. Majitelé domů se ptají, zda se jedná o vadu, a kdo ji způsobil. Předcházet propisování konstrukcí stavby na povrch fasády ve formě prachových usazenin lze předcházet již ve fázi projektu.

Prostor kolem nás tvoří především vzduch, který je plynným disperzním prostředím s podílem kapalných a pevných fází, organického a anorganického původu. Tato směs plynných, kapalných a pevných fází se nazývá aerosol a obklopuje nás všude. Její projevy jsou jak pozitivní, tak i negativní. V případě, že obsah prachových částí je vysoký, přináší potíže.

Náš životní prostor je také cyklicky ohříván, buď slunečními paprsky anebo umělými zdroji tepla – např. otopnými tělesy. Z toho logicky

vyplývá, že některé objekty mohou mít teplotu vyšší a některé nižší v závislosti na čase a prostoru. Protože nemá v prostoru kolem nás vše stejnou teplotu, musíme na základě termodynamické rovnováhy (nultý termodynamický zákon) počítat se vznikem teplotního gradientu, který zpravidla způsobí pohyb celého aerosolu. Tímto pohybem bývá proudění nebo termodifúze či termoferéza, při kterých se částice pohybují ve směru klesající teploty. Při proudění je rychlost pohybu největší, jelikož k němu přispívá rozdíl tlaků. Termodifúze je prostup tepla přes pórovitou hmotu (v našem případě stavební materiál konstrukce) a termoferéza závisí jen na rozdílu teplot. Na teplejším místě získávají částice aerosolu více tepla a molekuly vzduchu větší kinetickou energii. Molekuly vzduchu více narážejí na částice v aerosolu a tak je posunují do chladnějšího místa. Pokud je chladnějším místem

povrch nějakého tělesa, částice mu při nárazu na něj mohou své teplo a energii předat a pak zde dojde k jejich usazení. Tento děj se odehrává od teplotních rozdílů v řádech desetin stupně a nazývá se termoprecipitace. Na tomto principu se např. měří míra znečištění ovzduší, zkoumaný vzduch je veden na chladnější plochu, kde se usazují pevné částice, obsah prachu je pak určen hmotností usazených pevných částic vůči objemu vyšetřovaného vzduchu. Důsledkem termoprecipitace jsou třeba prachové mapy nad otopnými tělesy u stěn, ale také prokreslení spár, kotev nebo nosné konstrukce (systémových tepelných mostů) na vnitřní i vnější straně zejména obvodových stěn. Tepelný most je prvek s vyšší hustotou tepelného toku než je v jeho okolí. Je to vlivem materiálových charakteristik. Vlhkost a její kondenzace by v tomto případě vstoupila do hry při přechodu teploty těchto povrchů

přes rosný bod dané relativní vlhkosti.

Termoprecipitaci můžeme pozorovat v interiéru i v exteriéru, ale projevy se trochu liší. V interiéru dochází k rychlejšímu a většímu zašpinění linií nad spárami zdiva nebo bodů nad připevněním obkladů ze sádkartonových nebo sádrovláknitých desek. Jsou to tepelné mosty, které sice vyhovují na posouzení kritické teploty pro kondenzaci vlhkosti, ale jejich teplota povrchu v interieru je přesto nižší než teplota okolních povrchů. Zde se ulpívání prachu projevuje především v zimním období, kdy je směr tepelného toku od interiéru do exteriéru a kdy je navíc nepříznivá relativní vlhkost a prašnost interieru při vytápění.

V exteriéru se projevy různí. Obecně lze říci, že se více zašpiníují povrchy konstrukcí s vyšším tepelným odporem, tam je vnější povrchová teplota nižší. Prokreslení železobetonového skeletu pokrytého tepelněizolační vrstvou vůči výplňovému zdivu z cihel bude přesně opačné než prokreslení ocelové příhradové konstrukce vůči výplňové konstrukci z tepelněizolačního materiálu. Při tom obě obvodové stěny mohou mít požadované hodnoty součinitele prostupu tepla. Příčinou nesterjnoměrného zašpiníování bude rozdíl teplot na povrchu. Rozdíly povrchových teplot budou vznikat jak při prostupu tepla z interieru, tak hlavně při změnách venkovních teplot nastávajících především při denním teplotním cyklu. V noci venkovní teplota klesne a ochladí se povrch fasády. Dochází k vyzářování tepla z konstrukce fasády radiací. Její teplota může klesnout ještě níže než teplota okolního vzduchu. Hmotné prvky jsou si schopny dle druhého termodynamického zákona předávat energii radiací i na velké vzdálenosti, například s Měsícem. V místě skladby s vyšší hustotou tepelného toku (tj. tepelný most) dochází k oteplení fasády z vnitřního prostoru a v době nárůstu venkovní teploty k snazšímu oteplení vrstev od exteriéru. Naopak v místech, kde je z vnější strany umístěn tepelný izolant, dochází k rychlejšímu vyzářování tepla vnějších vrstev ETICS. V této části se na oteplení méně podílí teplo z interieru.



- 01 | Prokreslení spár zdiva v interiéru
- 02, 03 | Výrazné zašpinění ETICS prachem podle nosné konstrukce
- 04 | Nesterjnoměrné zašpinění ETICS termoprecipitací ovlivněné různými povrchovými teplotami



Z důvodu použití různých materiálů ve skladbách obvodové konstrukce pod omítkou dochází k odlišným tepelným tokům a nestejnoměrné změně teplot v ploše. Průběhy teplot v různých skladbách obvodových konstrukcí se mění různě rychle, stejně je tomu i u povrchové teploty. Čím déle bude trvat rozdíl teplot mezi některou částí povrchu a okolním vzduchem, tím déle bude docházet k usazování prachu na tomto povrchu. Fázový posun změny teploty lze určit z doby teplotní relaxace, z níž se vychází při výpočtech v rámci vyšetřování nestacionárního pole teplot a teplotní setrvačnosti.

Doba teplotní relaxace popisuje, jak dlouhý časový interval bude trvat vyrovnání teplot dvou bodů v jednom směru uvažované konstrukce. Ve vztahu (01) je obecná definice doby teplotní relaxace T_0 , (02) popisuje vztah pro n vrstev a (03) je konkrétní pro dvě vrstvy.

$$\frac{dt}{dT} = \frac{\Delta t}{T_0}$$

(01)

$$T_0(n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i^2}{2 \cdot a_i} + \frac{\lambda_i \cdot d_i}{a_i} \cdot \sum_{j=i+1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \right)$$

(02)

$$T_0(2) = \frac{d_1^2}{2 \cdot a_1} + \frac{d_2^2}{2 \cdot a_2} + \frac{\lambda_1 \cdot d_1 \cdot d_2}{a_1 \cdot \lambda_2}$$

(03)

T_0 – doba teplotní relaxace [s]
 d_i – tloušťka i-té vrstvy [m]
 a_i – součinitel teplotní vodivosti [m²/s] i-té vrstvy
 λ_i – součinitel tepelné vodivosti [W/mK] i-té vrstvy

Vztah pro získání součinitele teplotní vodivosti (04) vnáší do souvislosti s dobou teplotní relaxace také objemovou hmotnost a měrnou tepelnou kapacitu.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

(04)

a – součinitel teplotní relaxace [m²/s]
 ρ – objemová hmotnost [kg/m³]
 c – měrná tepelná kapacita [J/kg.K]

Z uvedených vztahů vyplývá, že je doba teplotní relaxace přímo úměrná tloušťce vrstvy, objemové

hmotnosti a měrné tepelné kapacitě materiálů. Nepřímo úměrná je součiniteli tepelné vodivosti. Podstatná je však evidentní závislost na pořadí vrstev konstrukce ve směru tepelného toku. Právě pořadí vrstev materiálů skladby konstrukce s různými tepelně-fyzikálními vlastnostmi je rozhodující pro změny teplot v konstrukcích a na jejich površích (interiérových i exteriérových) v nestacionárním teplotním poli.

Pro lepší představu můžeme porovnat dvě různé skladby konstrukcí vyskytující se často u sebe v obálce budovy s nosným železobetonovým skeletem a s výplňovým zdivem.

Doba relaxace konstrukce s nosným skeletem vychází 1098 hodin a součinitel tepelné vodivosti vyhovuje doporučeným hodnotám ČSN 73 0540 /tab. 01a/. Výplňové zdivo má dobu relaxace 107,7 hodin a součinitel tepelné vodivosti také vyhovuje požadovaným hodnotám /tab. 01b/. Z toho vyplývá, že konstrukce s nosným skeletem má lepší tepelně technické vlastnosti

Tabulka 01a | Nosný skelet

Popis	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	U [W/m ² K]	T_0 [hod]
Vnitřní omítká vapenná	0,010	1600	0,870	840	–	–
ŽB nosný skelet	0,400	2500	1,750	1020	–	–
EPS	0,150	20	0,040	1270	–	–
Konstrukce vnější omítky	0,010	1600	0,800	850	–	–
Celek	0,570	–	–	–	0,250	1098

Tabulka 01b | Výplňové zdivo

Popis	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	U [W/m ² K]	T_0 [hod]
Vnitřní omítká vapenná	0,010	1600	0,870	840	–	–
Porotherm 36.5 P+D	0,365	800	0,149	960	–	–
Konstrukce vnější omítky	0,010	1600	0,800	850	–	–
Celek	0,385	–	–	–	0,380	107,7

a přispívá vhodně k tepelné stabilitě interiéru, přesto je to právě ta konstrukce s nežádoucím zašpiněním.

V případě termoprecipitace je však důležité pozorovat a porovnávat relativně tenké vrstvy povrchů, které se nejvýrazněji podílí na výsledné povrchové teplotě. Například porovnáme-li vnějších 30 mm, dostaneme výsledky uvedené v tabulkách /02a, 02b/.

Hodnoty vycházejí samozřejmě nízké, ale rozdíl je mezi nimi šestinásobný. Déle se bude vyrovnávat teplota u skladby s porothermovými tvánicemi. Ovšem toto je při směru tepelného toku z interiéru do exteriéru, například v topné sezóně. V letním období může naopak nastat opačný směr tepelného toku. Například před východem slunce, kdy je konstrukce a okolí nejchladnější, a pak se začne opět ohřívat, ovšem od exteriéru. Výsledky jsou uvedené v tabulkách /03a, 03b/.

Zde vidíme, že je doba relaxace části konstrukce se zateplením



05, 07 | Prokreslení nosného skeletu na povrchu fasády zašpiněním
06, 08 | Termovize potvrzuje nižší teploty zašpiněných povrchů zatepleného nosného skeletu

Tabulka 02a

Popis	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	T_0 [hod]
Porotherm 36.5 P+D	0,020	800	0,149	960	–
Konstrukce vnější omítky	0,010	1600	0,800	850	–
Celek	0,030	–	–	–	0,36

Tabulka 02b

Popis	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	T_0 [hod]
EPS	0,020	20	0,040	1270	–
Konstrukce vnější omítky	0,010	1600	0,800	850	–
Celek	0,030	–	–	–	0,06

Tabulka 03a

Popis	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	T_0 [hod]
Konstrukce vnější omítky	0,010	1600	0,800	850	–
Porotherm 36.5 P+D	0,020	800	0,149	960	–
Celek	0,030	–	–	–	0,92

Tabulka 03b

Popis	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	C [J/kgK]	T_0 [hod]
Konstrukce vnější omítky	0,010	1600	0,800	850	–
EPS	0,020	20	0,040	1270	–
Celek	0,030	–	–	–	2,36

nosného skeletu naopak cca 2,5 krát delší. Ze všech uvedených kombinací vyplývá, že se konstrukce s nosným skeletem pomaleji prohřeje od tepla interiéru, ale také od tepla z exteriéru. Z rozdílných dob vyrovnání teploty vzniká časový prostor s rozdílnými teplotami povrchů a to je potenciál pro usazování prachových částic termoprecipitací.

Na fotografiích /02 – 05, 07/ můžeme pozorovat termoprecipitací odhalené odlišné tepelné toky obvodovou konstrukcí bytového domu v Praze. Jedná se o severní fasádu, kde nedochází k přímému oslunění. Zde může každý sám vidět, kde jsou plochy fasády více zatepleny a kde méně a může nám předběžně napovědět o výsledcích termovizního měření. Zašpiněné plochy jsou ty s vyšším tepelným odporem, tzn. paradoxně s lepšími tepelně technickými parametry a méně zašpiněné plochy jsou ty, kterými z domu uniká více tepla.

K fotografiím /05, 07/, jsou přiřazeny snímky termovizního měření provedeného v letním období, tzn. bez vlivu vytápění /foto 06, 08/. Termovize potvrzuje nižší teploty zašpiněných povrchů zatepleného nosného skeletu.

Při větších rozdílech povrchových teplot a pohybu teplot kolem rosného bodu, vstupuje do prostředí také zkondenzovaná vlhkost. Ke kondenzaci vzdušné

vlhkosti dochází také na chladnějších plochách jako dochází k termoprecipitaci. Kondenzát může mít následně projevy namrzání nebo i rozvoj biologické koroze. Ze stejného důvodu se tvoří námrazy i na zasklení otvorů kvalitními skly s nízkým součinitelem prostupu tepla. Čím kvalitnější skla oken, tím mohou být za srovnatelných podmínek na exteriérové straně více namrzlá. Na příkladu fasády rodinného domu v Praze Chodové můžeme vidět, že je tomu tak i u skladeb obvodových plášťů /foto 09 a 10/.

Rozdíly povrchových teplot na plochách fasády jsou jednoznačně způsobeny odlišnými materiály použitými pod vnější vrstvou obvodového pláště. I malé rozdíly v teplotách povrchu se projeví rozdílným zašpiněním. Míra zašpinění je hodně závislá na stavu ovzduší v místě stavby. Termoprecipitaci jako fyzikální jev citlivý i na malé difference teplot nemůžeme zcela eliminovat, můžeme ale snížit její míru především návrhem takové konstrukce, která zajistí stejné teploty v celé ploše povrchu fasády. K ověření může pomoci projektantovi výpočet doby teplotní relaxace. Řešením je větrání fasádní obklad fasády nebo souvislý VKZS s kotvami zakrytými zátkami z tepelného izolantu nebo skrytými pod ním.

<Viktor Kaulich>

Literatura:

- [1] Termomodifuze a její projevy na ETICS s vyšší tloušťkou izolantu; Ing. Jan Loukotka, Ing. Gerfard Enzenberger; Stavební ročenka 2009, JAGA, Bratislava
- [2] Výklad pojmů dostupný na vydavatelství.vscht.cz
- [3] tpm.fsv.cvut.cz
- [4] Akumulace sluneční energie do stavebních konstrukcí; Ing. Michal Kabrhel; www.tzb-info.cz
- [5] Výklad pojmů dostupný na cs.wikipedia.org
- [6] www.imaterialyinfo.cz
- [7] www.izolace.cz
- [8] ČSN 73 0540 – *Tepelná ochrana budov*

Fotografie:

Luboš Káně, Jiří Tokar, Luboš Halfar, Viktor Kaulich, Alexandra Michaličková



09 – 11 | Namrzlá zateplená fasáda a zateplený pozední věnec. Bez námrazy jsou nezateplené tvárnice Porotherm a chybně tmelené spáry. Tam je vyšší teplota vlivem termomodifuze z interiéru