5 výpočet typových tepelných mostů s vyčíslením bodových činitelů prostupu tepla χ

Bodové tepelné mosty jsou doposud velmi zanedbávaným faktorem. To je dáno jednak jejich lokalizací do velmi malého bodu, který z pohledu celé stavby vypadá jako velmi zanedbatelný a dále pak poměrně složitým vyčíslováním jejich vlivu na celkové vlastnosti konstrukce či objektu.

Nejedná se však o zcela novou záležitost, již optimalizace železobetonových panelů v panelové výstavbě, která se odehrála v ČSSR v 80. letech minulého století spočívala především na řešení bodových tepelných mostů způsobených prostupem výztuže zpřažující vnější ochrannou moniérku s vnitřním nosným betonem přes tepelný izolant.

V současné době je nutné si uvědomit vliv těchto bodových tepelných mostů a jejich četnost, popřípadě vliv na nejnižší povrchovou teplotu. Setkali jsme se například s bodovým tepelným mostem, který byl osamocený – prakticky jediný v celém domě, přesto způsoboval velké problémy. V tomto místě totiž v interiéru kondenzovala vodní pára tak, že zde neustále vznikaly plísně. Konkrétně se jednalo o průchodku pro přívod plynu. V jiných případech je zase rozhodující četnost. Jistě, že malá hmoždinka procházející tepelnou izolací nezpůsobuje nijak významný tepelný most, ovšem pokud se vezme násobek 4 až 8 hmoždinek na 1 m^2 a příslušnou plochu, dostáváme se k neuvěřitelně vysokým číslům. I zde však je v určitých případech možné zanedbat vliv těchto tepelných mostů na celkovou potřebu tepla na vytápění (na rozdíl od lineárních tepelných mostů), mnohdy je více rozhodující, že se jedná o nehomogenní místo, kde vznikají lokální problémy, např. prorýsováním hmoždinky do fasády.

Samostatnou kapitolou jsou však odvětrávané fasády, kde jsou problémy větší, než jaké si připouštíme. V této publikaci je řešen pouze vliv vlastní konstrukcí kotvy, nevěnujeme se problémům, které způsobuje nekvalitně provedená práce, kdy jsou mezi jednotlivými deskami tepelné izolace velké mezery, kterými proniká další teplo. Z tohoto pohledu je možné říci, že kotvení odvětrávaných fasád zhorší tepelně izolační vlastnosti zateplení o 5 až 40 %.

5.1 Tepelné mosty hmoždinkami pro kontaktní zateplovací systémy

Vliv hmoždinek u kontaktních tepelně izolačních fasád (ETICS) je velmi značný třebaže jde u každé hmoždinky o minimální bodový tepelný most. Jejich význam je však dán především množstvím kusů v celé budově.

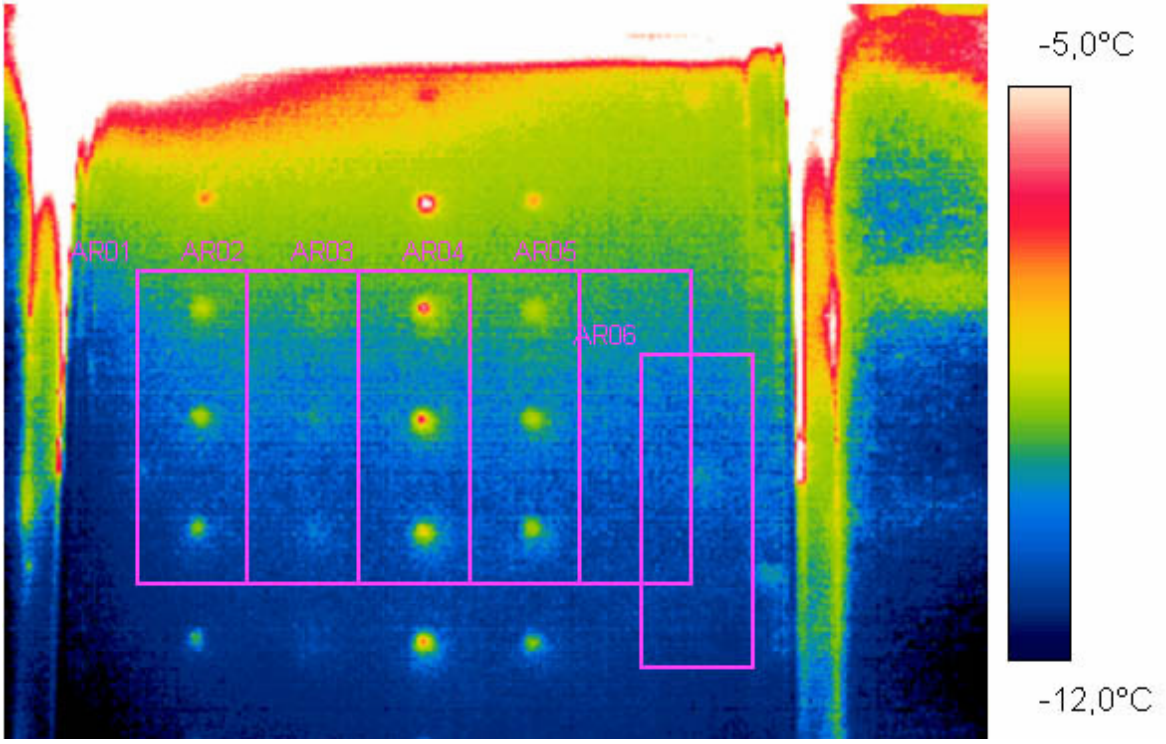
Bodový tepelný most je dán jednak materiálem, který tento most tvoří a jeho profilem, dále však i materiálem, do kterého je hmoždinka upevněna. Různé projevy různých hmoždinek na jednom obrázku je možné vidět na termogramu, který byl proveden v rámci ověřování vlastností hmoždinek in situ.

Na termogramu je patrný vzorek fasády s různými typy hmoždinek dokládající skutečnou různou tepelnou vodivost jednotlivých typů. V následující tabulce je pak vyčíslení konkrétních povrchových teplot těchto hmoždinek. Konkrétní typy zde neuvádíme, protože to není pro tento případ podstatné, jedná se pouze o ilustrační obrázek.

Tabulka min. a max. teplot v okolí různých typů hmoždinek v termogramu:

	1	2	3	4	5	6
minimální teplota	-11,4°C	-11,0°C	-11,1°C	-11,1°C	-11,1°C	-11,4°C
maximální teplota	-8,1°C	-5,4°C	-9,3°C	-9,1°C	-8,2°C	-9,4°C
rozdíl teplot	3,3°C	5,6°C	1,8°C	2,1°C	2,9°C	2,0°C

Termogram



Vliv hmoždinek jsme počítali pro 4 různé druhy konstrukce a 6 druhů hmoždinek:

Konstrukce:

1. 6 mm stěrková omítka, 80 mm EPS, 15 mm původní omítka, zdivo CP, 15 mm omítka (Tepelný tok bez hmoždinky 2,87 W.)
2. 6 mm stěrková omítka, 120 mm EPS, 15 mm původní omítka, zdivo CP, 15 mm omítka (Tepelný tok bez hmoždinky 2, 79 W.)
3. 6 mm stěrková omítka, 80 mm EPS, 6 mm lepidlo, 50 mm beton, 30 mm EPS, 150 mm železobeton (Tepelný tok bez hmoždinky 3,33 W.)
4. 6 mm stěrková omítka, 120 mm EPS, 6 mm lepidlo, 50 mm beton, 30 mm EPS, 150 mm železobeton (Tepelný tok bez hmoždinky 2,51 W.)

Hmoždinky:

A. hmoždinka s kovovým trnem
B. hmoždinka s kovovým trnem se zapuštěním do zateplovacího systému 30 mm
C. hmoždinka s plastovým trnem

D. hmoždinka s plastovým trnem se zapuštěním do zateplovacího systému 30 mm
E. hmoždinka s kovovým trnem s přerušením tepelného mostu
F. hmoždinka s kovovým trnem s přerušením tepelného mostu se zapuštěním

Jak vypadá průběh teplot v simulovaném detailu je patrné ze simulace termogramu. Povrchové teploty v exteriéru jsou pak patrné z grafu teplot. Vypočítané hodnoty jsou pak patrné z tabulky. Zde bych jen rád upozornil na to, že tepelný most je počítán ve W a nikoliv ve W/K, jak je ostatně v tabulce uvedeno.

Z výpočtů je patrné, že hmoždinky s plastovým trnem a nebo hmoždinky s koncem z plastu jsou minimálním tepelným mostem a mají minimální vliv na celkovou tepelnou ztrátu objektu. Hodnocení však bylo prováděno v ustáleném teplotním stavu, což je situace nereálná. V místě hlavy hmoždinky je obvykle více lepidla, i hlava má jistou hmotnost a proto v tomto místě má povrch fasády vyšší akumulační schopnost. To se může projevit rozdílnou kondenzací vodní páry proti okolní konstrukci, což je dokumentováno na fotografii stěny domu i na termogramu provedeném na tomto domě a v grafu průběhu teplot v místě hmoždinek.

Při výpočtu byly uvažovány tyto parametry:

Součinitel tepelné vodivosti lambda trnu: 48 $W.m^{-1}.K^{-1}$, průměr 4,2 mm

Součinitel tepelné vodivosti lambda plastu: 0,17 $W.m^{-1}.K^{-1}$

Průměr plastového dříku hmoždinky: 8 mm

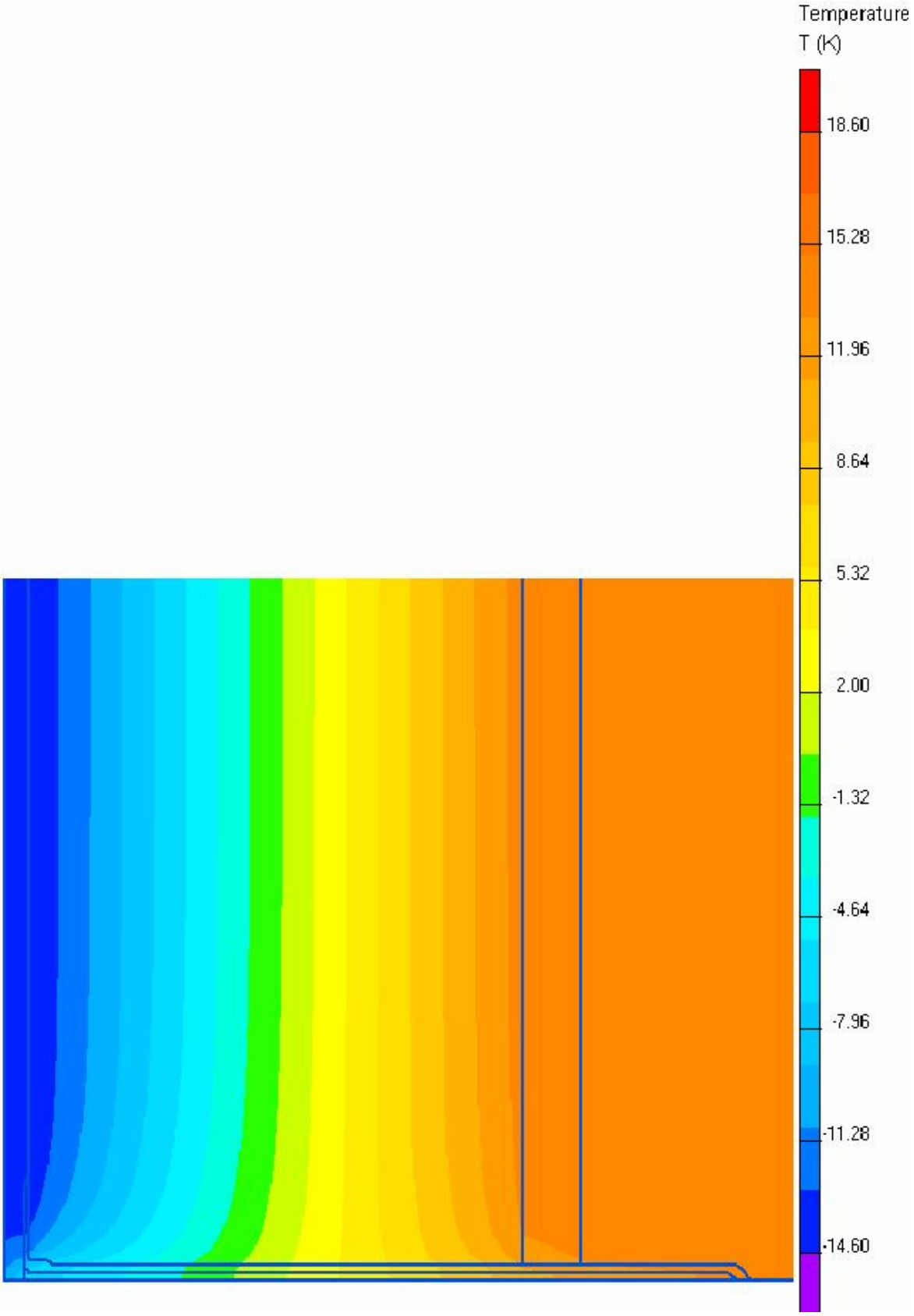
Výška plastového krytí ocel. trnu: 17,2 mm

Hloubka zapuštění hmoždinky do podkladu: ocelový trn 50 mm (resp. 52,1 mm až po špičku trnu).

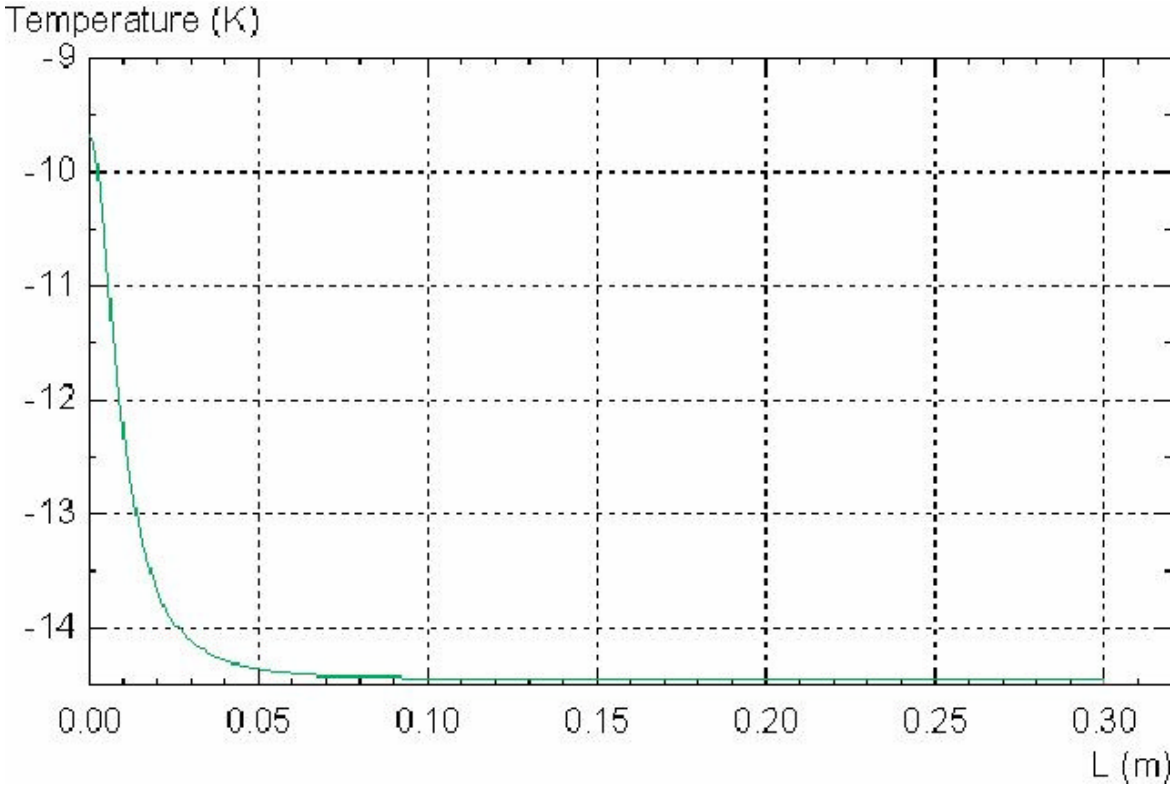
Vnitřní teplota byla stanovena na +21 °C, vnější pak na –15 °C.

Výpočty byly prováděny v programu QuickField v souřadném systému r, z jako stacionární úloha s izotropními materiály.

Ukázka simulace Termovize:



Graf povrchových teplot v exteriéru:



Vypočtené hodnoty jednotlivých hmoždinek a konstrukcí:

zdivo CP, ETICS 80 mm EPS						
	kovový trn	kovový trn + zateplení	plastový trn	plastový trn + zateplení	termostop trn	termostop trn + zateplení
	A	B	C	D	E	F
tepelný tok [W]	3,9234	3,8604	3,8433	3,8429	3,8825	3,8545
min. teplota [°C]	-14,4	-14,4	-14,4	-14,4	-14,2	-14,4
max. teplota [°C]	-9,7	-14,3	-14,3	-14,4	-13,5	-14,3
Zvýšení tepelného toku [%]	2,127	0,487	0,042	0,031	1,062	0,333
bodový tepelný most [W/36K]	0,082	0,019	0,002	0,001	0,041	0,013
rozdíl teplot	4,700	0,100	0,100	0,000	0,700	0,100

zdivo CP, ETICS 120 mm EPS						
	kovový trn	kovový trn + zateplení	plastový trn	plastový trn + zateplení	termostop trn	termostop trn + zateplení
	A	B	C	D	E	F
tepelný tok [W]	2,8686	2,8204	2,7903	2,7901	2,8386	2,8145
min. teplota [°C]	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6
max. teplota [°C]	-10,5	-14,4	-14,5	-14,6	-13,7	-14,5
Zvýšení tepelného toku [%]	2,854	1,126	0,047	0,039	1,778	0,914
bodový tepelný most [W/36K]	0,080	0,031	0,001	0,001	0,050	0,025
rozdíl teplot	4,100	0,200	0,100	0,000	0,900	0,100

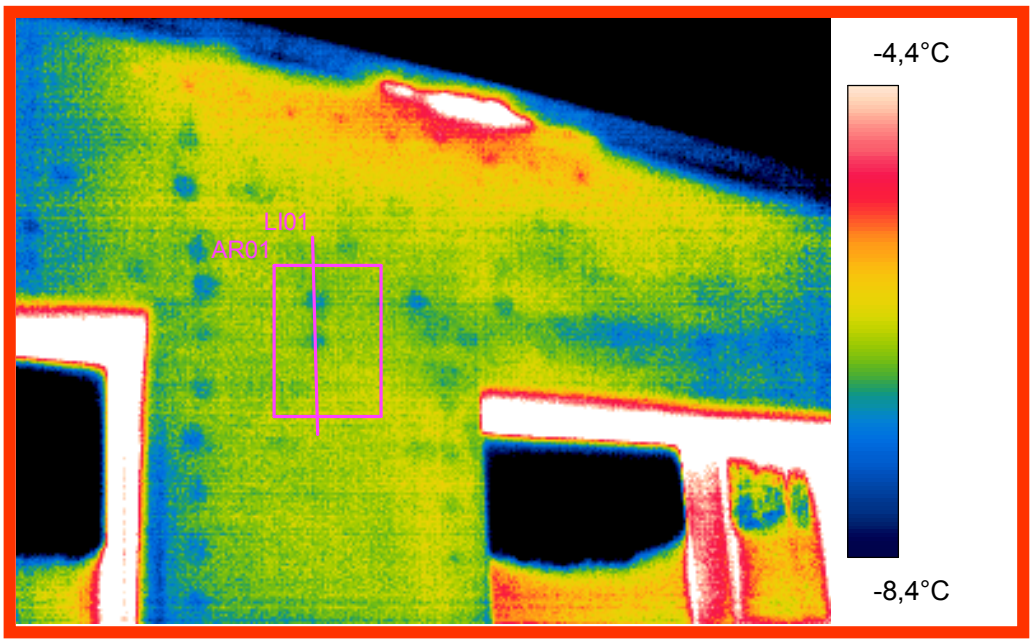
30 mm beton + 30 mm EPS + 150 mm ŽB, ETICS 80 mm EPS						
	kovový trn	kovový trn + zateplení	plastový trn	plastový trn + zateplení	termostop trn	termostop trn + zateplení
	A	B	C	D	E	F
tepelný tok [W]	3,3943	3,3475	3,3341	3,3344	3,3641	3,343
min. teplota [°C]	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5
max. teplota [°C]	-10,2	-14,4	-14,4	-14,5	-13,5	-14,4
Zvýšení tepelného toku [%]	1,824	0,420	0,018	0,027	0,918	0,285
bodový tepelný most [W/36K]	0,061	0,014	0,001	0,001	0,031	0,010
rozdíl teplot	4,300	0,100	0,100	0,000	1,000	0,100

30 mm beton + 30 mm EPS + 150 mm ŽB, ETICS 80 mm EPS 120 mm EPS						
	kovový trn	kovový trn + zateplení	plastový trn	plastový trn + zateplení	termostop trn	termostop trn + zateplení
	A	B	C	D	E	F
tepelný tok [W]	2,5753	2,5365	2,5118	2,512	2,5513	2,5317
min. teplota [°C]	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6
max. teplota [°C]	-9,8	-14,5	-14,5	-14,6	-13,6	-14,5
Zvýšení tepelného toku [%]	2,557	1,012	0,028	0,036	1,601	0,820
bodový tepelný most [W/36K]	0,064	0,025	0,001	0,001	0,040	0,021
rozdíl teplot	4,800	0,100	0,100	0,000	1,000	0,100

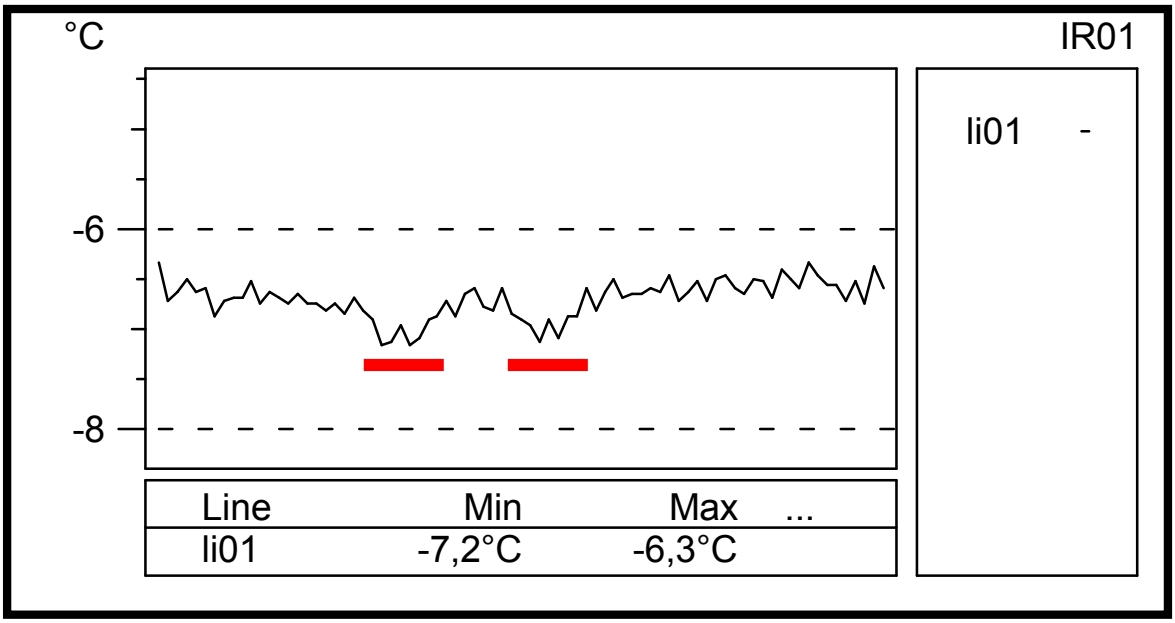
Jak již bylo řečeno výše, pro kvalitu stavby je také důležitá homogennost povrchu objektu. Na následujícím příkladu je dokumentován výrazný pokles povrchové teploty v místech hmoždinek. Tento jev není tedy dán zvýšenou tepelnou vodivostí hmoždinek (to by jejich okolí bylo teplejší), ale větší akumulační hmotou v místě hmoždinek, která je dána větší vrstvou lepidla na hlavičce hmoždinky. Z těchto důvodů se na termogramu jeví hmoždinky jako studené. Na fotografii je pak patrné, že na hmoždinkách dochází ke zvýšené kondenzaci vodních par. Tato kondenzace se pak za několik let od dostavby bude projevovat trvalými fleky na fasádě se všemi důsledky.

Fotografie stěny domu:

Termovize stěny domu:



Graf průběhu teplot s vyznačením umístění hmoždinek:



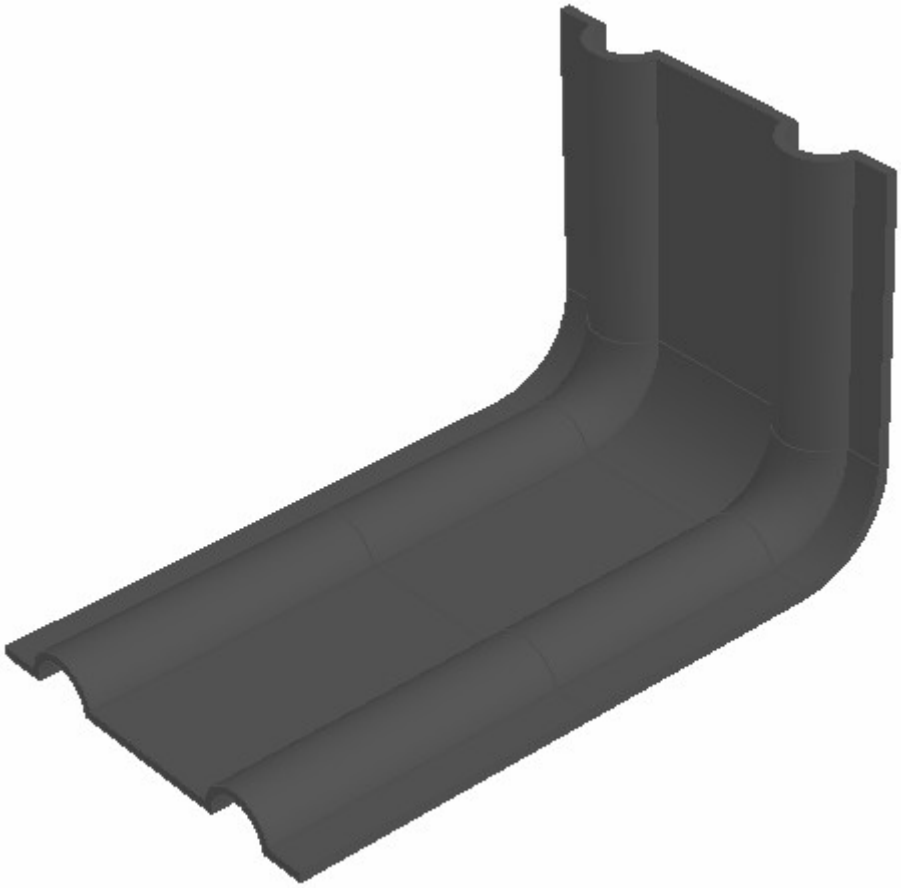
5.2 Tepelné mosty SPIDI kotvami

SPIDI kotva je kovový prvek, který se používá pro zavěšení fasády u odvětrávaných fasád, viz obr.

Z hlediska stavební fyziky jsou odvětrávané fasády chápány jako vhodný způsob zateplení s málo propustnými vnějšími povrchy, pokud odvětrávaná dutina mezi fasádou a tepelnou izolací umožňuje dostatečný odvod difundující vodní páry.

Při současných nárocích na tepelnou izolaci však každý kovový kotevní prvek tvoří nezanedbatelný tepelný most. Jeho negativní tepelný účinek závisí zejména na odizolování kotvy od podkladu, kde se dávají plastové podložky o nízké tepelné vodivosti a dále pochopitelně na tepelném odporu konstrukce, na které je kotva připevněna.

V našem modelovém příkladu, kdy jsme počítali v trojrozměrném modelu velikost tepelných toků, jsme uvažovali s dvěma variantami konstrukce stěny a to jak s podložením kotev, tak i bez něj. Při matematickém modelování úlohy jsme provedli drobná zjednodušení, zanedbali jsme kotvící šrouby do zdiva, které zde způsobují další bodový tepelný most, zejména průchodem skrz plastovou podložku, dále jsme nemodelovali drobné konstrukční zakřivení SPIDI kotvy. Ostatně rozdíly jsou patrné z obrázků. Modelový vzhled je na následujícím obr.



Ve výpočtech jsme uvažovali nejprve tepelný most vzniklý pouze kotvou a dále jsme na kotvu „nasadili" lištu, která obvykle nese vlastní fasádu. S fasádou, která může působit jako další ochlazovaná plocha, jsme již nepočítali. Tepelnou izolaci jsme uvažovali jako homogenní, tedy bez vlivu jiných tepelných mostů, např. vzniklých mezerami mezi nedokonale kladenými deskami tepelné izolace nebo mezerami mezi SPIDI kotvou a tepelnou izolací.

Výchozí hodnoty pro výpočet:

Součinitel tepelné vodivosti materiálů:

konstrukce stěny:

panel	Sendvič
Železobeton tl. 150 mm, λ = 1,74 W/ (m·K) pěnový polystyrén 50 mm, λ = 0,044 W/ (m·K) Železobeton tl. 50 mm, λ = 1,58 W/ (m·K)	omítka 10 mm, λ = 0,8 W/ (m·K) zdivo 240 mm, λ = 0,44 W/ (m·K)

plastová podložka tl. 8 mm, plocha 100 x 100 mm, λ = 0,1 W/ (m·K)

SPIDI kotva, hliníkový výlisek tl. 2,5 mm, λ = 204 W/ (m·K)

tepelná izolace Airrock tl. 80 mm, λ = 0,035 W/ (m·K)

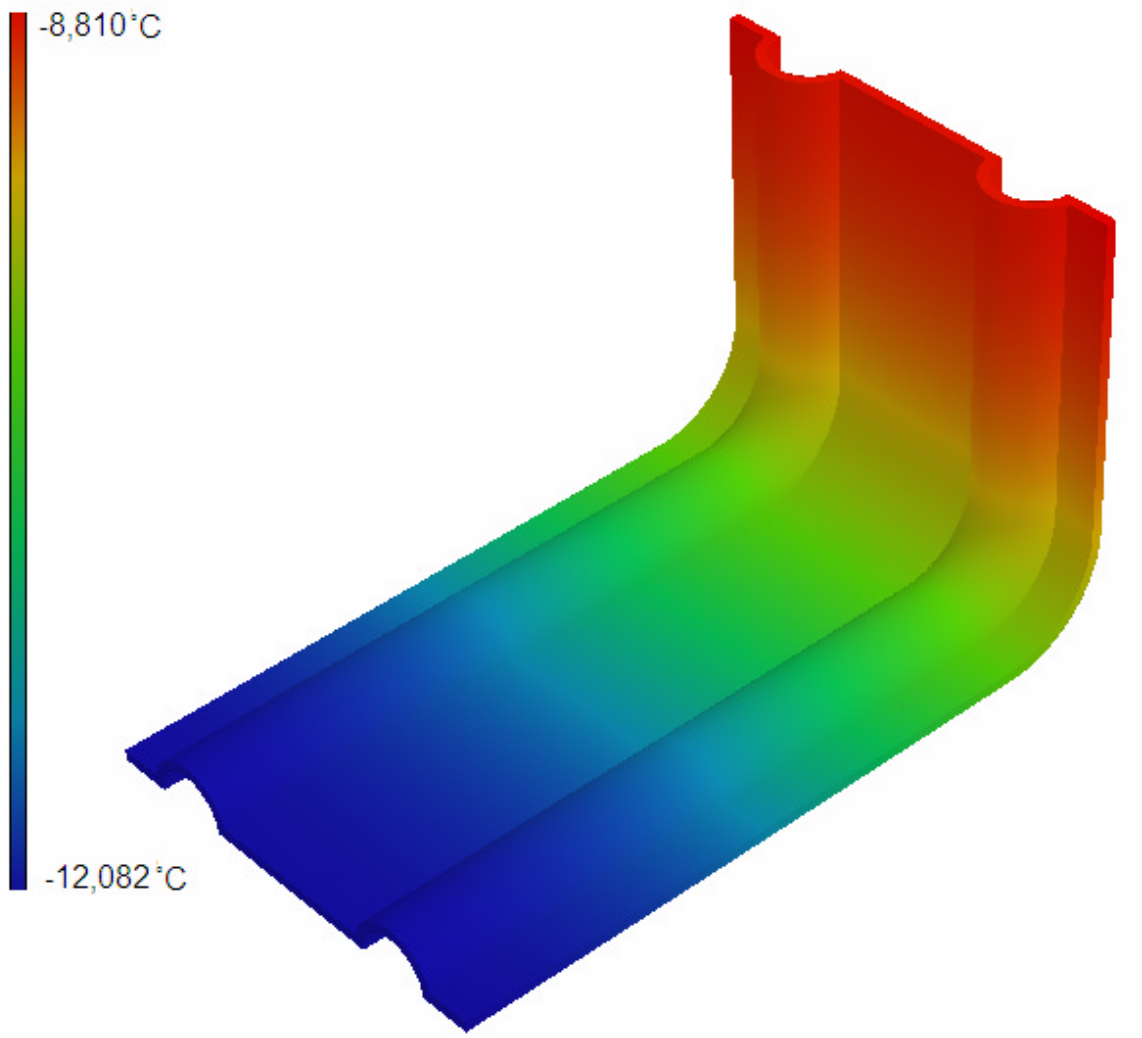
Okrajové podmínky:

Interiér: θ_{ai}= +21 °C h_i = 8 W/ (m·K)

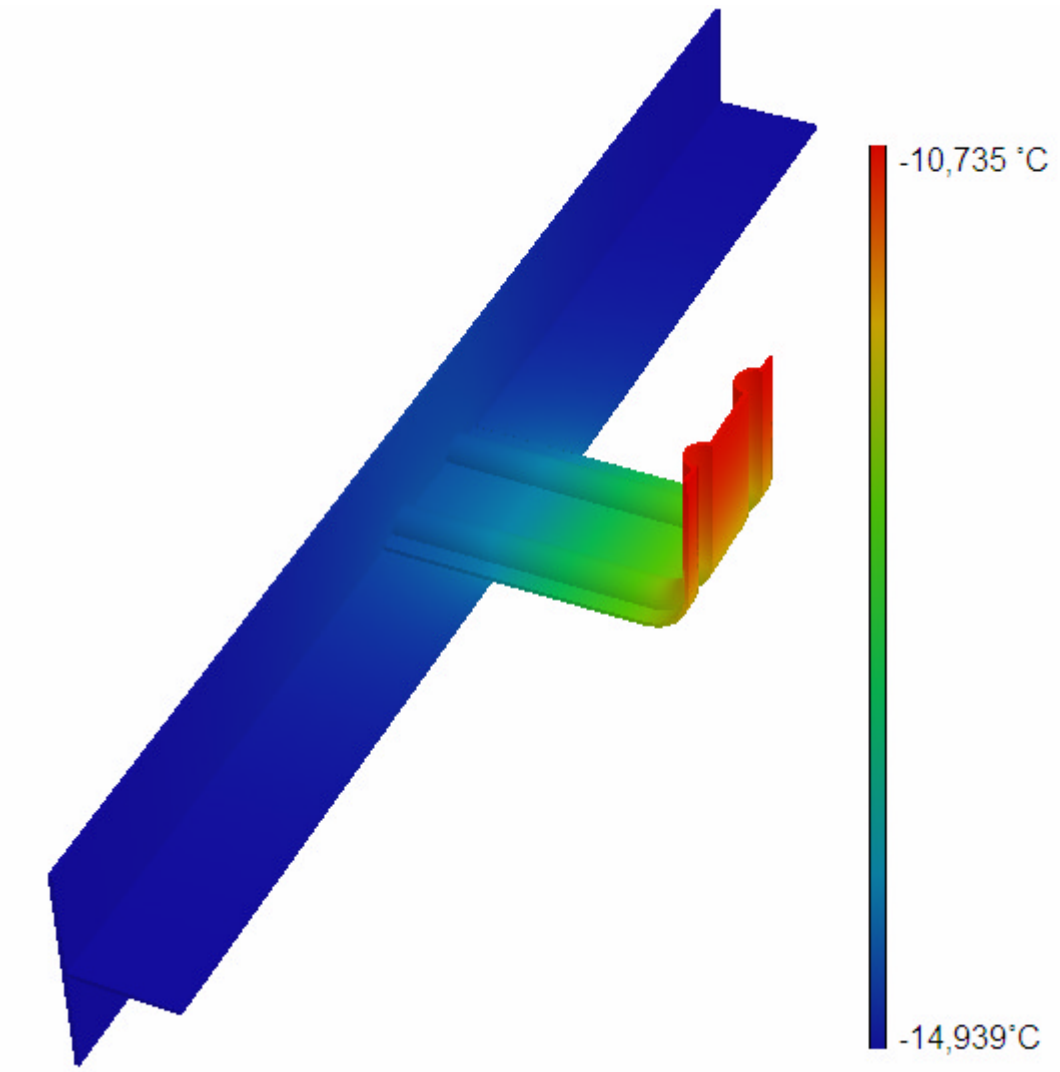
Exteriér: θ_e = -15 °C h_e = 23 W/ (m·K)

Osová vzdálenost kotev ve svislém směru 1000 mm a vodorovném 600 mm.

Na následujícím obrázku je patrný průběh teplot samotnou kotvou.



Na následujícím obrázku je patrný průběh teplot kotvou s nasazenou nosnou lištou.

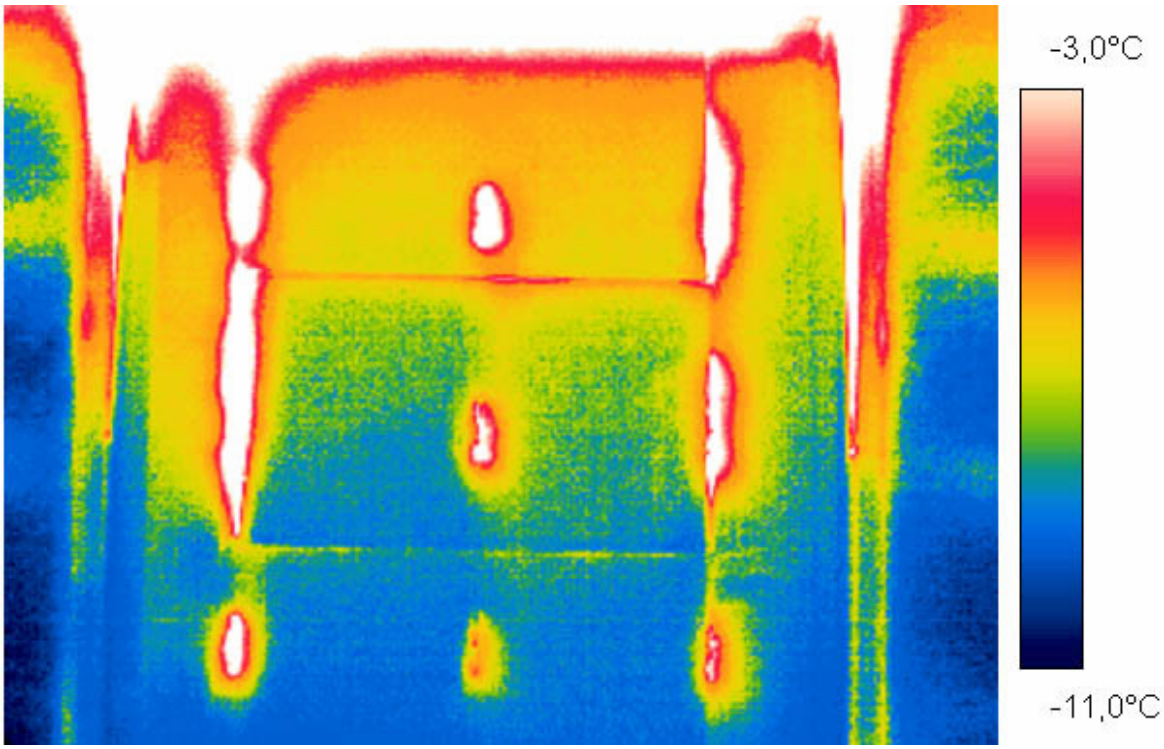


Tabulka bodových tepelných mostů Spidi kotvami

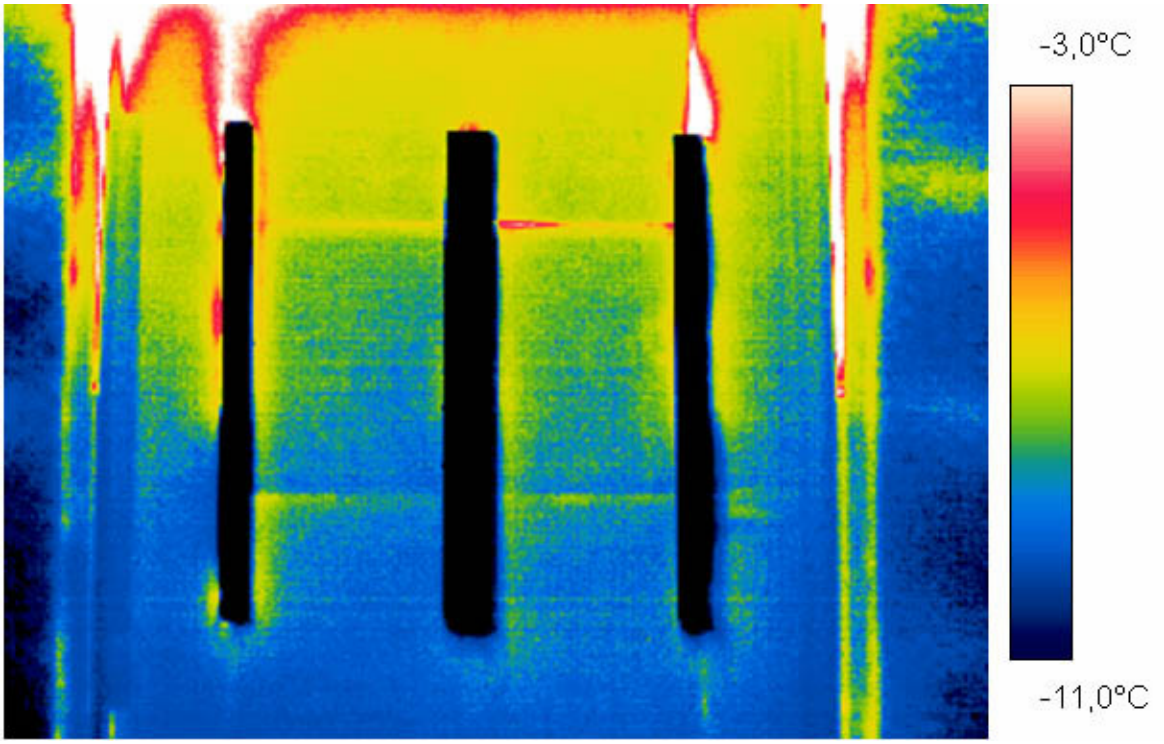
podložka: tl. 10 mm, λ=0,1W/(m.K) tep. izolace: Rockwool tl. 80 mm	panel – železobeton 150 mm, EPS 30 mm, beton 50 mm		
	tep. tok [W/m^2]	bodový most χ [W/K]	navýšení %
zeď + kotva + Rockwool tl. 80 mm	0,2975	0,0167	9,4
zeď + kotva + lišta + Rockwool tl. 80 mm	0,3014	0,0190	10,5
zeď + kotva, umístěno přímo na zdi bez podl. + Rockwool tl. 80 mm	0,3220	0,0314	16,3
zeď + kotva + lišta, přímo na zeď bez podložky + Rockwool tl. 80 mm	0,3385	0,0413	20,3
pouze zeď + Rockwool tl. 80 mm	0,2697		

podložka: tl. 10 mm, λ=0,1W/(m.K) tep. izolace: Rockwool tl. 80 mm	Therm 240 mm – omítka 10 mm, zdivo Therm 240 mm		
	tep. tok [W/m^2]	bodový most χ [W/K]	navýšení %
zeď + kotva + Rockwool tl. 80 mm	0,3676	0,0214	9,7
zeď + kotva + lišta + Rockwool tl. 80 mm	0,3718	0,0239	10,7
zeď + kotva, umístěno přímo na zdi bez podl. + Rockwool tl. 80 mm	0,4009	0,0414	17,2
zeď + kotva + lišta, přímo na zeď bez podložky + Rockwool tl. 80 mm	0,4009	0,0414	17,2
pouze zeď + Rockwool tl. 80 mm	0,3319		

Dokumentování skutečných vlivů tepelných mostů SPIDI kotvami je na následujícím obrázku, kde jsou patrné SPIDI kotvy bez nosné lišty. Z pohledu tepelných mostů je zajímavé, že nemají přesně ohraničený tvar. To je dáno tím, že i přes to, že šlo pouze o zkušební vzorek, kde byla snaha ostatní detaily provést co nejlépe, vyskytují se zde drobné spáry, které se projevují jako tepelný most.



Na následujícím obrázku je stejný temogram, pouze zde je kotevní lišta pro vnější fasádu, který je připevněn ke SPIDI kotvě.



6 použitá a související literatura

Směrnice Evropského parlamentu a Rady Evropy 2002/91/ES o energetické náročnosti budov

Směrnice 93/76/EHS z 13. září 1993

Zákon č. 183/2006 Sb. Stavební zákon, ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška 132/1998 Sb.

Vyhláška MMR č. 137/1998 Sb., o obecných technických požadavcích na výstavbu, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška MPO č. 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška MPO č. 148/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách, ve znění pozdějších předpisů

ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění

ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 1 až 4

ČSN EN ISO 10077-1 (73 0567) Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Zjednodušená metoda

ČSN EN ISO 10211-1 (73 0551) Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchová teplota – Část 1: Základní výpočtové metody

ČSN EN ISO 10211-2 (73 0551) Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Výpočet tepelných toků a povrchových teplot – Část 2: Lineární tepelné mosty

ČSN EN ISO 12567-1

ČSN EN I6943

ČSN EN ISO 13370 (73 0559) Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody

ČSN EN ISO 13788 (73 0544) Tepelně vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody

ČSN EN ISO 13789 (73 0565) Tepelné chování budov – Měrná ztráta prostupem tepla – Výpočtová metoda

ČSN EN ISO 14683 (73 0561) Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární činitel prostupu tepla – Zjednodušené postupy a orientační hodnoty

ČSN EN ISO 6946 (73 0558) Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda

ČSN EN 832 (73 0564) Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy

výpočtový program QuickField, http://www.quickfield.cz

Halahyja, M., Beťko,B., Bloudek, K., Puškáš, J., Tomašovič, P.: Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie. Alfa, Bratislava a SNTL Praha 1985

Halahyja, M., Chmúrny, I., Sternová, Z.: Stavebná tepelná technika. Tepelná ochrana budov. JAGA, Bratislava 1998

Mrlík, F.: Vlhkostné problémy stavebných materiálov a konštrukcií. Alfa, Bratislava 1985

Řehánek, J. - Janouš A. - Kučera, P. - Šafránek, J.: Tepelně technické a energetické vlastnosti budov. Grada Publishing, Praha 2002

Šála, J.: Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} pro ČSN 73 0540-2. in Tepelná ochrana budov 4/2006

Šála, J.: Zateplování budov. Grada Publishing, Praha 2000

Šubrt, R.: Tepelné izolace domů a bytů. Grada Publishing, Praha 1998

Šubrt, R.: Tepelné izolace. BEN, Praha 2005

Šubrt, R., Volf, M.: Stavební detaily-tepelné mosty. Grada Publishing, Praha 2002