

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering

Ing. Jan Pašek, Ph.D.

Spolehlivost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů obvodových plášťů panelových budov

Reliability and Durability of External Thermal Insulating Composite Systems Applied to Claddings of Prefabricated Panel Buildings

Summary

This dissertation is concerned with reliability and durability of External Thermal Insulating Composite Systems (ETICS) applied to external claddings of panel buildings. Primarily, it focuses on the aspect of structural design of external panel facades, structural design and characteristics of ETICS as well as the aspect of mutual interaction of these two structures in combination with the impact of external influences and effects.

At present, a comparatively extensive (yet not sufficient) process of implementation of thermal insulation of panel building facades by means of Thermal Insulating Composite Systems is under way in the Czech Republic. A considerably high proportion of these structures have been affected by deteriorations of the surface thin-coat plaster resulting in reduced reliability and durability of thermal insulating composite complex of coats, and therefore impairing the effectiveness of a large amount of invested financial resources. It has become apparent that there is a whole range of factors which have so far been neglected and which influence the occurrence and development of defects in the surface thin-coat plaster of the composite thermal insulation, the compactness of which is the basic prerequisite for the reliability and durability of the whole thermal insulation system.

The dissertation includes an analysis of external influences which have an adverse effect on the composite thermal insulation of panel buildings and which cause changes in mechanical stress of the thin-coat plaster. This analysis is based on long-term surveys and in situ monitoring, experimental laboratory researches and numerical simulations. This perspective of the problems concerning thermal insulation installed on this type of buildings is entirely new and it criticizes the approach which has so far been used and which, in the process of designing thermal insulation of panel buildings, takes into account practically only one thermal and technical aspect, and neglects the effect of non-dynamic stresses, moreover accentuated by specific characteristics of panel facades.

The final outcome of this dissertation, which extends the present knowledge of this matter, is a complex of observations defining principles of static characteristics of thin-coat plaster, or the whole thermal insulation system of coats applied to the external facade of panel buildings, the impact of individual factors causing their deterioration (and consequently affecting the reliability and durability of the whole thermal insulation) and proposed fundamentals for their elimination, thus increasing the reliability and durability of thermal insulating composite systems as well as the effectiveness of the invested resources.

Souhrn

Předložená habilitační práce se zabývá spolehlivostí a trvanlivostí vnějších kontaktních zateplovacích systémů (VKZS, postupně se zažívá pojmenování ETICS – External Thermal Insulating Composite Systems) aplikovaných na obvodové pláště panelových domů, a to z hlediska konstrukčního řešení panelových obvodových fasád, konstrukčního řešení a vlastností ETICS, i z hlediska vzájemné interakce obou těchto konstrukcí v kombinaci s působením vnějších vlivů a účinků.

V současné době probíhá poměrně rozsáhlý (i když stále ne dostatečný) proces zateplování panelových fasád objektů v České republice kontaktními zateplovacími systémy, přičemž u jejich významné části docházelo a dochází k výskytu poruch v povrchové tenkovrstvé omítce, které se negativně projevují na snížení spolehlivosti a trvanlivosti kontaktního zateplovacího souvrství, a tedy i efektivitě velkého objemu vynaložených finančních prostředků. Ukázalo se, že existuje celá řada dosud opomíjených faktorů ovlivňujících vznik a rozvoj poruch v tenkovrstvé omítce kontaktního zateplení, jejíž celistvost je základním předpokladem požadované spolehlivosti a trvanlivosti celého zateplení.

V předložené habilitační práci byla na podkladě dlouhodobě prováděných průzkumů a monitoringu in situ, experimentálních laboratorních výzkumů a numerických simulací provedena analýza vnějších vlivů působících na kontaktní zateplení panelových domů a způsobujících změny stavů mechanické napjatosti tenkovrstvé omítky. Použitý pohled na problematiku zateplování těchto typů budov je zcela nový a kritický k doposud používanému přístupu, který při návrhu zateplení panelových domů zohledňuje prakticky pouze hledisko tepelně technické a vliv zejména nesilových namáhání, navíc zvýrazňovaných specifickým chováním panelových fasád, zanedbává.

Konečným výstupem předložené práce, rozšiřující dosavadní znalosti dané problematiky, je soubor poznatků definujících principy statického chování tenkovrstvé povrchové omítky resp. celého kontaktního zateplovacího souvrství aplikovaného na obvodové fasády panelových domů, vliv jednotlivých faktorů na její poruchy (a následně na spolehlivost a trvanlivost celého zateplení) a návrh zásad pro jejich eliminaci resp. pro zvýšení spolehlivosti a trvanlivosti kontaktních zateplovacích systémů i efektivitě vynakládaných finančních prostředků.

Klíčová slova:

Vnější kontaktní zateplovací systém VZKS, prefabrikovaný panelový objekt, silová a nesilová namáhání, vady a poruchy, spolehlivost a trvanlivost systému, průzkum a monitoring in situ, laboratorní a experimentální výzkum, numerická simulace, preventivní opatření.

Keywords:

External Thermal Insulation Composite Systems ETICS, pre-cast panel building, forced and non-forced stress, defects and deteriorations, system reliability and durability, survey and in situ monitoring, laboratory and experimental research, numerical simulation, preventive measures.

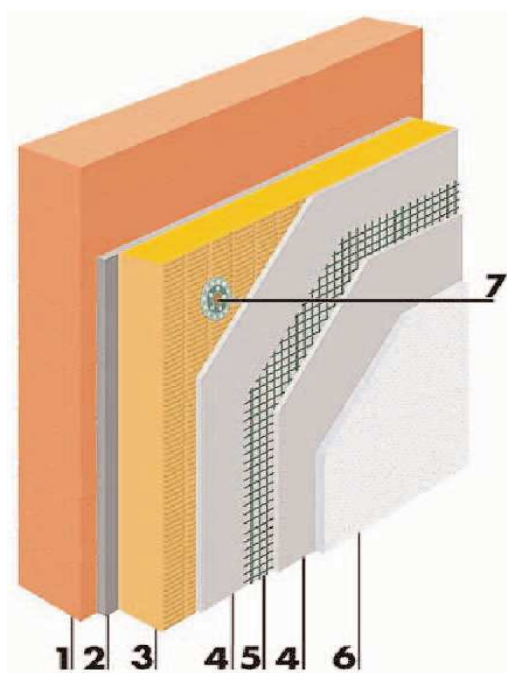
OBSAH

1. ÚVOD.....	6
2. CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU	7
3. CHARAKTERISTIKA OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ PANELOVÝCH DOMŮ JAKO PODKLADU ZATEPLENÍ.....	8
4. CHARAKTERISTIKA KONTAKTNÍCH ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ ..	9
5. POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ PROBLÉMU	9
5.1 Průzkum a monitoring in situ	9
5.1.1 Průzkum a analýza vad a poruch tenkovrstvé omítky	9
5.1.2 Monitoring dilatometrických pohybů obvodových panelových dílů.....	10
5.1.3 Monitoring a analýza dilatometrických pohybů tenkovrstvé omítky	10
5.1.4 Shrnutí výsledků terénního výzkumu a monitoringu in situ	12
5.2 Laboratorní a experimentální výzkum.....	13
5.3 Teoretická numerická analýza	14
5.3.1 Teoretický rozbor chování tenkovrstvé omítky	14
5.3.2 Teoretický rozbor interakce souvrství zateplení a obvodových dílů.....	15
5.3.3 Shrnutí výsledků numerické analýzy	20
6. ZÁVĚR.....	20
6. LITERATURA	22
7. OSOBNÍ ÚDAJE	24

1. ÚVOD

Panelová zástavba v České republice tvoří přibližně 35 % bytového fondu země [1] a zahrnuje i další objekty občanské vybavenosti (zdravotní střediska, mateřské školy, administrativní budovy apod.). Obvodové pláště těchto budov vykazují řadu poruch a vad, zateplování patří k nejčastěji používaným metodám jejich sanace. Nejběžnějším řešením je tzv. vnější kontaktní zateplovací systém, který sestává z tepelné izolace a povrchové tenkovrstvé celistvé úpravy.

Přestože cena kontaktního zateplení (obr. 1a) při stejné účinnosti je cca o 25 – 50 % nižší než spolehlivější systém nekontaktní (obr. 1b), stále se jedná o částky výrazně přesahující 1.000,- Kč za 1 m² zateplené plochy. Návratnost nákladů na kontaktní zateplení běžného obvodového pláště je odhadována na 20 – 25 let (v závislosti na způsobu predikce vývoje cen energií v budoucnu) [2]. Výskyt prvních trhlin v povrchové omítce (a to i certifikovaných systémů etablovaných firem) byl ovšem v mnoha případech zjištěn již necelý rok po dokončení zateplení, dva roky od realizace se vyskytují již případy rozsáhlého rozvinutého porušení omítky strukturou trhlin.



Obr. 1: Typická skladba kontaktního zateplovacího systému (1 – nosný podklad; 2 – lepicí tmel; 3 – tepelná izolace; 4 – výztužná stěrka; 5 – výztužná síťovina; 6 – povrchová úprava; 7 – hmoždinka); příklad moderního nekontaktního systému s vnějšími krycími vinylovými lamelami na samostatném nosném roštu (b)

Z hlediska trvanlivosti a spolehlivosti kontaktních zateplení rozhodujícím faktorem je právě celistvost povrchové úpravy. Jakmile v omítce dojde ke vzniku trhlin (obr. 2), do zateplovacího souvrství začne pronikat atmosférická vlhkost a v kombinaci se zmrazovacími cykly je během krátkého období zahájena intenzivní degradace systému. Tyto skutečnosti vedou k razantnímu

snížení spolehlivosti a zkrácení životnosti zateplení, ale mohou vést i ke ztrátě důvěry veřejnosti v tuto metodu sanace obvodových plášťů panelových domů.



Obr. 2: Dva specifické příklady poruch v tenkovrstvé omítce kontaktního zateplení obvodových plášťů panelových domů v české republice – jednotlivé osamocené trhliny (a) a síť strukturních trhlin v ploše fasády (b)

Celkové náklady na kompletní zateplení obvodových plášťů panelových domů v ČR jsou v současné době odhadovány na přibližně 200 až 300 miliard korun, přičemž do současnosti byl proinvestován jen zlomek této částky. Optimalizací kontaktních zateplovacích systémů a zvýšením jejich spolehlivosti a trvanlivosti a zavedením zjištěných poznatků do praxe lze tedy do budoucna dosáhnout významných úspor v oblasti zateplování fasád panelových domů.

2. CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU

Počátky rozvoje zateplování obvodových plášťů panelových domů v tehdejší Československu vycházely z dobové míry poznání a dostupné materiálové resp. technické základny, a samozřejmě ekonomických úvah. Chování kontaktního zateplení nebylo zkoumáno ani jako celek, ani v interakci s dilatujícím podkladem panelové fasády. Tehdy přijatý stereotyp volby systému do jisté míry přetrvává i do současnosti, a to i v legislativě. Současné předpisy stanovují požadavky pouze na vlastnosti jednotlivých složek; komplexní analýza chování kontaktního zateplovacího systému aplikovaného na panelové fasády buď není vyžadována vůbec, anebo její výsledky nejsou brány v úvahu.

I v ostatních zemích střední a východní Evropy je zateplování panelových domů provázeno podobnými problémy jako v ČR. Prakticky až na výjimku

Německa se poruchy kontaktních zateplení, považované za nutný průvodní jev těchto systémů, sanují na stejném principu, na kterém je aplikován základní systém (vysprávkování trhlin injekcemi a nový fasádní nátěr). Takové opravy mají krátkodobou životnost a poruchy se v krátké době znovu objeví.

Německo se rekonstrukcemi panelových domů zabývá velmi intenzivně, zejména ve východních spolkových zemích (bývalá NDR). Jako tepelný izolant je rozsáhle používán zejména pěnový polystyren ve velkých tloušťkách, běžně od 120 mm více, což vede k příznivějšímu rozložení napjatosti v povrchové tenkovrstvé omítce ve srovnání s izolantem malé tloušťky. Přesto se i u těchto systémů vyskytuje významný počet poruch omítky (viz obr. 3).



Obr. 3: Poruchy tenkovrstvé omítky kontaktního zateplení fasád panelových domů, Německo, Weimar – síť strukturních trhlin (a) a jednotlivé trhliny (b)

3. CHARAKTERISTIKA OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ PANELOVÝCH DOMŮ JAKO PODKLADU ZATEPLENÍ

V historii panelové výstavby v tehdejší Československu bylo realizováno několik desítek konstrukčních soustav panelových objektů a jejich krajských variant, a jim odpovídající velmi široká škála typů obvodových dílců, lišících se rozměry, materiálem i konstrukcí. Nejrozšířenější konstrukční a materiálové varianty obvodových plášťů panelových domů jsou:

- obvodové dílce z lehkých betonů (pazderobeton, expanditbeton, škvárový beton, křemelinový beton, struskopemzobeton, struskokeramzitbeton, keramzitbeton) realizované jako jednovrstvé nebo jako příložky k nosným dílcům štitových stěn;
- jednovrstvé keramické obvodové dílce;
- jednovrstvé pórobetonové obvodové dílce;
- vrstvené (sendvičové) železobetonové dílce s izolační vrstvou z polystyrénu nebo z pěnového skla.

Panelový (dílčový) systém obvodových plášťů způsobuje jejich specifické dilatometrické chování, kdy každý z dílců se chová jako samostatný dilatační úsek, jehož dilatační pohyby mají velikost úměrnou jeho rozměrům, materiálu, konstrukci, tuhosti spojení s nosnou konstrukcí objektu a změně teploty.

4. CHARAKTERISTIKA KONTAKTNÍCH ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ

Český výraz „vnější kontaktní zateplovací systém“ VKZS v současnosti odborná veřejnost nahrazuje anglickou zkratkou ETICS (External Thermal Insulating Composite System). ETICS splňuje několik funkcí současně: tepelně izolační, sanační, ochrannou a estetickou.

Nejběžnějšími tepelnými izolanty ETICS jsou pěnový polystyren, minerální vlákna a extrudovaný polystyren, povrchová úprava je řešena tenkovrstvou vyztuženou omítkou, celistvou v ploše celé fasády. Z hlediska míry interakce zateplení s obvodovým pláštěm je zásadní řešení vzájemného spojení. Standardním provedením jsou systémy připevněné kombinací lepicího tmelu a hmoždinek.

5. POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ PROBLÉMU

5.1 Průzkum a monitoring in situ

Terénní výzkum byl zaměřen na důsledky interakce systému obvodový plášť – zateplovací souvrství – vnější účinky a obsahoval tyto dílčí činnosti:

1. průzkum a analýza charakteru vad a poruch zateplení;
2. monitoring dilatometrického chování nosného podkladu zateplení;
3. monitoring a analýza chování neporušené a porušené omítky;
4. analýza vlivu použité technologie realizace na poruchy omítky.

5.1.1 Průzkum a analýza vad a poruch tenkovrstvé omítky

Tato část výzkumu in situ se věnovala vybraným panelovým domům zatepleným certifikovanými ETICS před 2 až 7 lety. Přesto u nich již došlo k rozsáhlým poruchám povrchové tenkovrstvé omítky, a to i velmi brzy po dokončení, jak uvádí příklad na obr. 4 a následující přehled:

- shluky nepravidelně uspořádaných strukturních a vlasových trhlin;
- vodorovné trhliny procházející přes meziokenní pilíře;
- síť svislých trhlin v nadpražích okenních otvorů;
- diagonální trhliny vycházející z hran okenních otvorů;
- lokální svislé trhliny v parapetních částech obvodového pláště;
- výrazné lineární vodorovné trhliny v oblasti vodorovných spár sendvičových obvodových dílců;
- výrazné svislé trhliny ve svislých spárách mezi deskami izolantů v oblasti svislých styků mezi obvodovými dílci;
- skupina technologických vad, zejména chybná řešení detailů.



Obr. 4: Zákres poruch omítky západní fasády jednoho z vybraných objektů

5.1.2 Monitoring dilatometrických pohybů obvodových panelových dílců

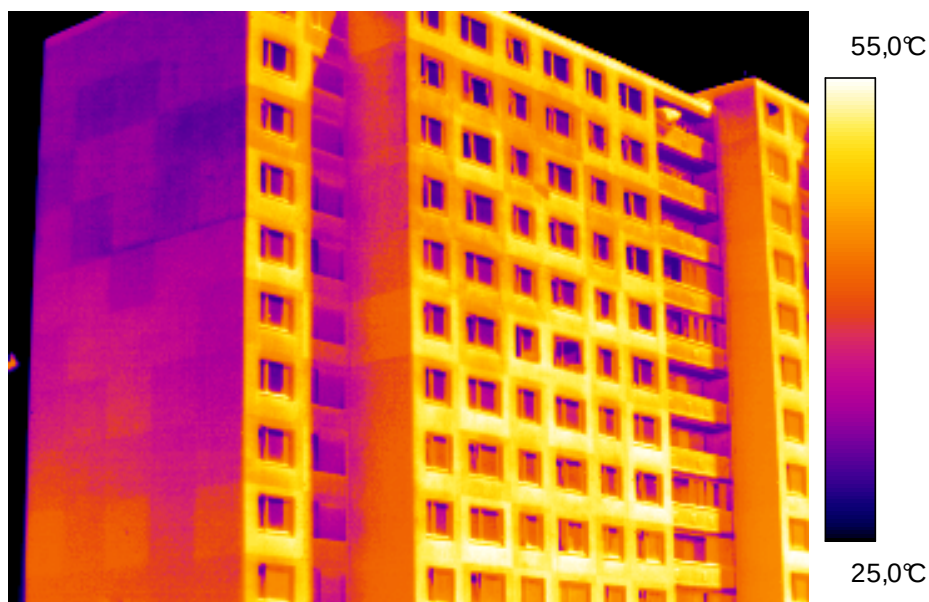
Během dlouhodobého sledování dilatačních pohybů obvodových dílců vybraných 36 panelových domů konstrukčních soustav G57, T-08 B a VVÚ-ETA byla sledována závislost velikosti přetvoření svislého styku mezi dílci na teplotě. Naměřené maximální hodnoty dilatačních pohybů dílců koncentrované ve spárách, dosahující poměrně širokého rozptylu (až $+ 0,230$ / $- 0,986$ mm pro dílce skladebné délky 3,6 m, až $+ 0,962$ / $- 1,763$ mm u sendvičových dílců délky 6,0 m, což představuje změnu o velikosti téměř 14 % původní teoretické šířky spáry 20 mm), byly následně použity pro posouzení intenzity vlivu dilatačních pohybů obvodových dílců na namáhání souvrství zateplovacích systémů za použití numerických simulací.

Velikost dilatačních pohybů dílců panelových fasád, resp. změn šířky jejich styků, vzrůstá se zvětšující se délkou dílců a zmenšující se tuhosti vazeb po průřezu dílce, tzn. že největší dilatace vykazují rozměrné dílce sendvičové. Přestože se po zateplení fasády tyto pohyby sníží vlivem utlumení špiček teplotních změn působících na dílce, budou i nadále představovat nezanedbatelný účinek pro namáhání ETICS, zejména v oblasti styků (spár mezi dílci) a jejich okolí.

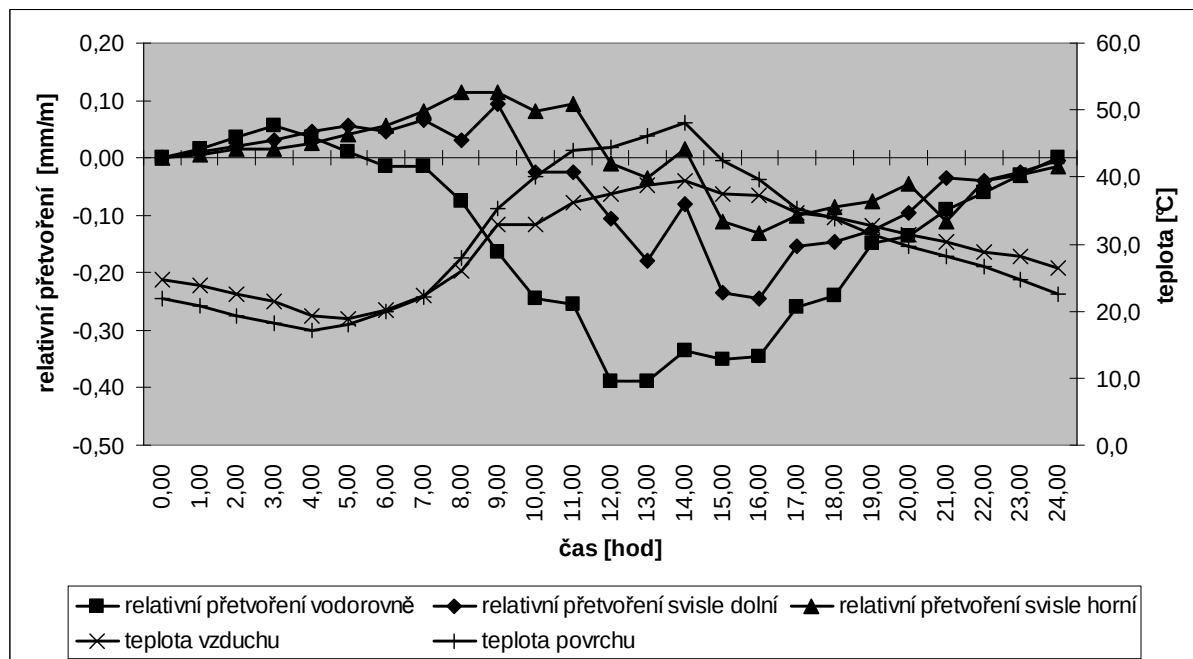
5.1.3 Monitoring a analýza dilatometrických pohybů tenkovrstvé omítky

Na povrch jihovýchodní, jihozápadní a severozápadní fasády vybraného objektu soustavy VVÚ-ETA byly na spodní (nad soklem, omítka na polystyrenu) resp. horní hranu zateplení (pod atikou, omítka na minerálních

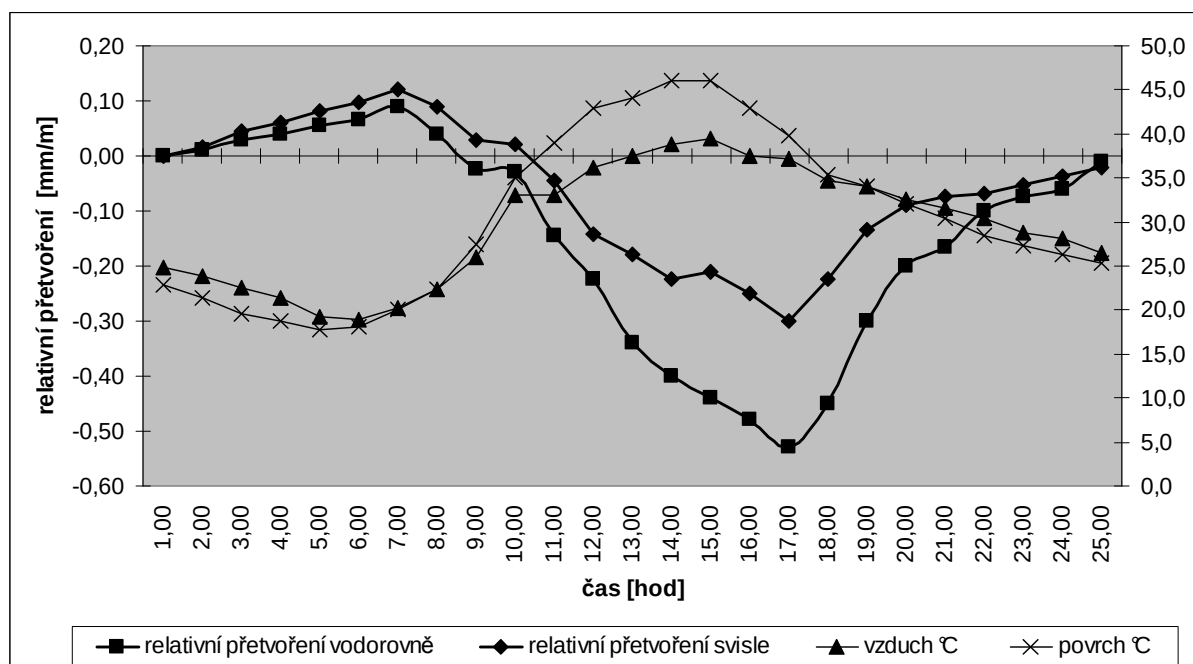
vláknech) osazeny měřící body pro monitoring dilatometrického chování a po dobu 24 hodin během letního dne s tropickými teplotami bylo sledováno poměrné přetvoření omítky neporušené (obr. 6 a 7) i porušené trhlinami (obr. 8) v závislosti na její povrchové teplotě, resp. teplotě vnějšího vzduchu, na dvou různých podkladech (tepelných izolantech) a dále i vliv barevného řešení fasády na rozložení teplotního profilu na povrchu fasády (viz obr. 5).



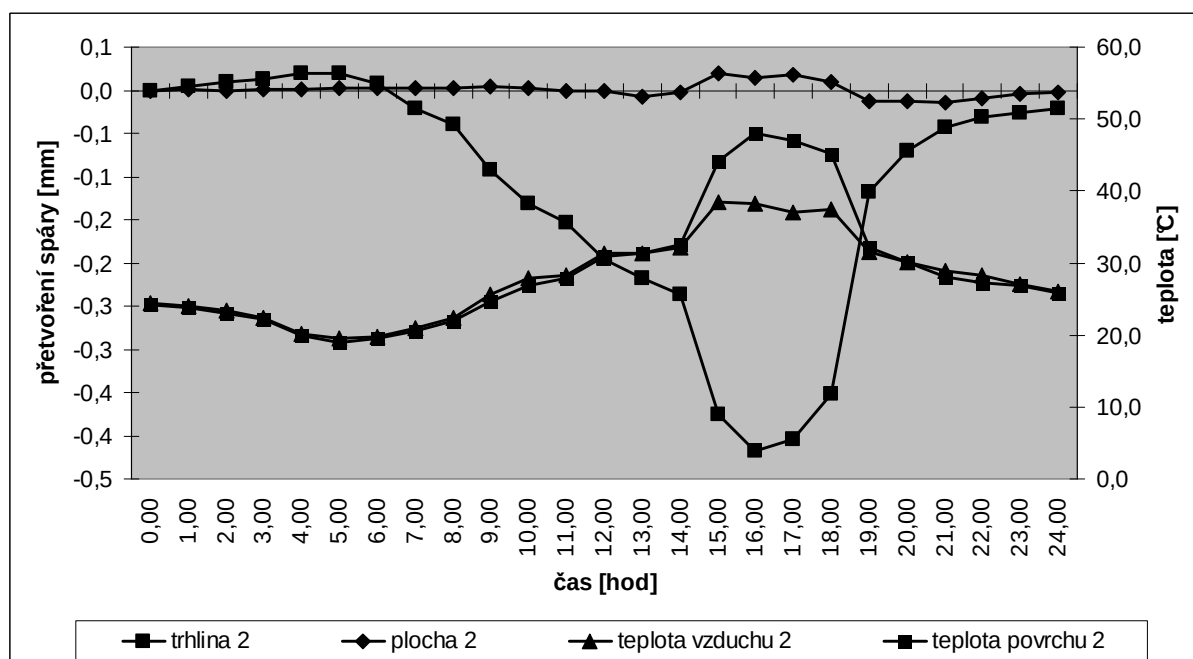
Obr. 5: Termogram části fasády zájmového objektu; barevné řešení fasády a lokální zastínění se projevují nehomogenním rozložením povrchových teplot



Obr. 6: Graf závislosti relativního přetvoření tenkovrstvé omítky na povrchové teplotě resp. na denní době; JV fasáda, uprostřed dole, podklad polystyren



Obr. 7: Graf závislosti relativního přetvoření tenkovrstvé omítky na povrchové teplotě resp. denní době; JV fasáda, uprostřed nahoře, podkl. minerální vlákna



Obr. 8: Graf dilatačních změn šířky vybrané trhliny v tenkovrstvé omítky kontaktního zateplení JZ fasády, podklad polystyren

5.1.4 Shrnutí výsledků terénního výzkumu a monitoringu in situ

Na základě provedených měření byla specifikována závislost relativních přetvoření tenkovrstvé omítky na povrchové teplotě, která jsou v některých případech fázově posunuta a průběh je rozdílný v různých místech fasády.

Důvodem je skutečnost, že volným objemovým resp. délkovým změnám omítky brání trvale konstantní rozměry fasády objektu. Omítka fasády se pak v ploše chová dynamicky a dochází ke vzájemnému „přetlačování“ jednotlivých částí úměrně napjatostním stavům uvnitř ní a jejím tuhostním charakteristikám.

Dále bylo odvozeno, že tužší polystyren působí do jisté míry jako výztuž omítky, zatímco měkčí minerální vlákna poskytují dilatomerickému chování omítky poměrně velkou volnost. Tato skutečnost se může nepříznivě projevovat v případech šokových teplotních změn omítky na minerálních vláknech, kdy reaguje velmi rychlou odezvou ve formě délkových změn, během kterých může dojít k překročení pevnosti omítky a vzniku trhlin v ní, což koresponduje s charakterem porušení omítky zjištěných in situ i v laboratoři.

Měření prokázala, že v letním období se na osluněné fasádě u sousedních ploch s rozdílnou sytostí barev vyskytují i více než 20stupňové rozdíly. Teplotní změny obecně patří mezi nejvýznamnější zatěžovací účinky celého zateplovacího souvrství, jejich nepříznivý vliv pak ještě dále zvyšuje nevhodné barevné řešení povrchu zateplených fasád (použití tmavých odstínů nebo kombinace obrazců z odstínů velmi odlišné sytosti).

5.2 Laboratorní a experimentální výzkum

Laboratorní a experimentální výzkum byl zaměřen na stanovení neznámých resp. zpřesnění známých fyzikálních parametrů materiálů pro jednotlivé komponenty zateplovacího souvrství (lepící a omítkové tmely, tepelné izolanty, výztužné sítě a omítkoviny), a na výzkum chování celého souvrství za různých okrajových podmínek, provedený na výsecích zateplení.

Vzhledem k omezenému rozsahu těchto tezí je zde uveden pouze souhrn závěrů laboratorní fáze výzkumu, která prokázala:

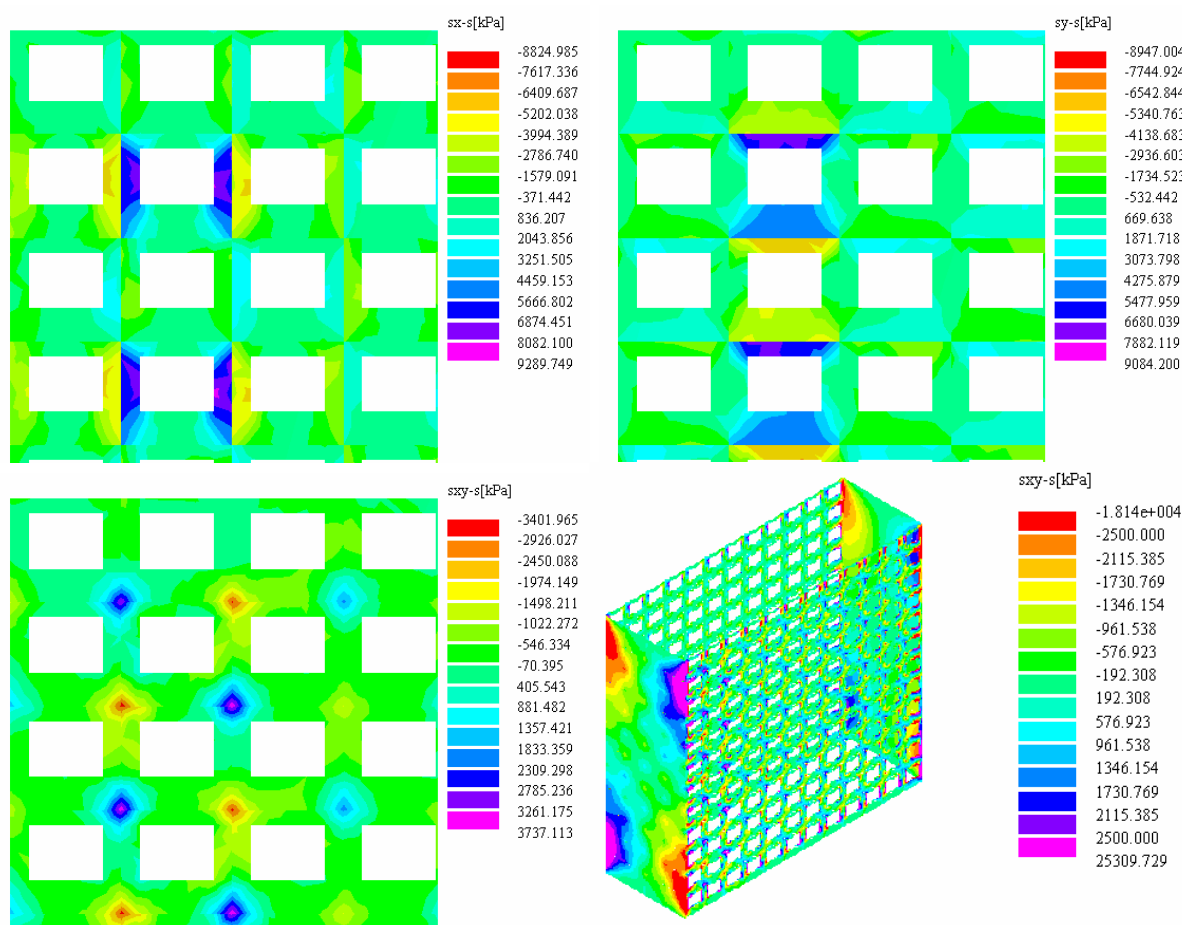
- Výrazný rozdíl (o několik řádů) součinitele difúze vodní páry (faktoru difúzního odporu) minerálních desek a polystyrenu.
- Výrazný rozdíl součinitele difúze vodní páry (faktoru difúzního odporu) tepelných izolantů a lepícího tmele resp. omítky.
- Rozdíl v nasákavosti (cca 4krát) desek z polystyrenu a z minerálních vláken.
- Výrazný rozdíl (o několik řádů) pevnosti v tahu tepelných izolantů (polystyren, minerální vlákna) a lepícího tmele resp. omítky.
- Vyšší přídržnost omítkového tmelu k podkladu tvořenému deskami z polystyrenu v porovnání s deskami z minerálních vláken.
- Vyšší pevnost ve smyku polystyrenu než minerálních vláken.
- Vyšší pevnost ve smyku kontaktní spáry lepícího tmelu a polystyrenu oproti pevnosti kontaktní spáry lepícího tmelu a minerálních vláken.
- Rozvoj a rozšiřování strukturních mikrotrhlin změnou teploty a vlhkosti (např. vlivem smáčení).
- Intenzivní difúzi vodních pár soustředěnou do oblasti trhlin.

- Charakteristické porušení omítky účinkem cyklického zatížení teplotou a vlhkostí na izolantu z podélných minerálních vláken hustší sítí trhlin oproti jednotlivým trhlinám na izolantu z polystyrenu.

5.3 Teoretická numerická analýza

Na základě poznatků získaných výzkumem in situ a experimentálními zkouškami v laboratoři byly sestaveny výpočtové modely pro účely stanovení:

- napjatostních stavů v povrchové tenkovrstvé omítkce zateplení;
- napjatosti na rozhraní dílčích komponent zateplovacího souvrství;
- dilatometrického chování povrchové tenkovrstvé omítky.



Obr. 9: Detaily rozložení normálových a smykových napětí výpočtového modelu tenkovrstvé omítky zatíženého teplotním polem stanoveným termograficky in situ (a, b, c); velikosti smykového namáhání modelu omítky zatíženého teplotním polem s omezením deformace kolmo na plochu fasád a okolo okenních otvorů (d)

5.3.1 Teoretický rozbor chování tenkovrstvé omítky

Analýza napjatosti povrchové omítky a vyhledání míst se zvýšeným rizikem vzniku poruch byla provedena na výpočtovém modelu tvořeném

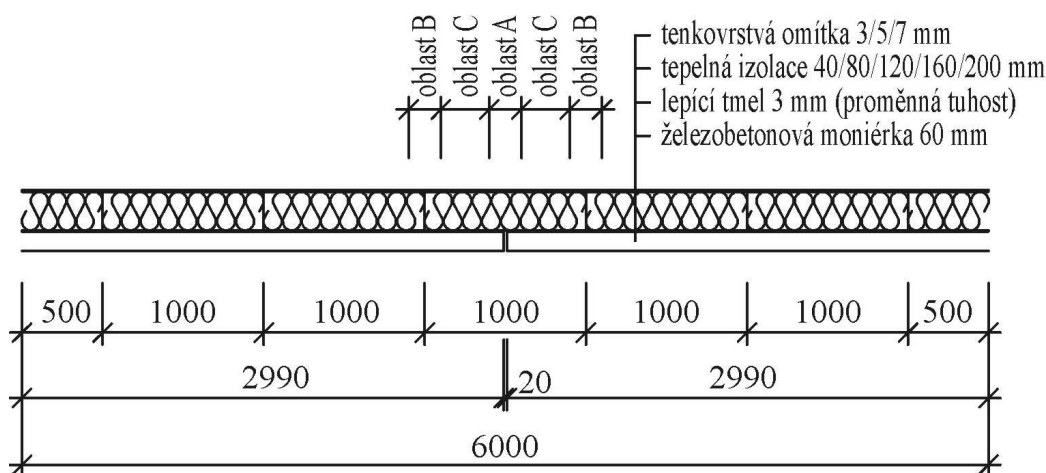
tenkovrstvou omítkou jako konstrukcí obalující hypotetický objekt systému VVÚ-ETA (viz obr. 9d). Tento model byl zatížen teplotním polem odvozeným od termografického měření provedeném in-situ (viz obr. 6).

Jako obecná riziková místa byly označeny hrany okolo okenních otvorů a nároží fasád (v místě styku prohráté osluněné a zastíněné fasády) a místa kde se stýkají různobarevné obrazce (zejména tmavé s velmi světlými). Tyto poznatky potvrzuje i samotný charakter porušení omítky v těchto místech, zjištěný in situ. U rozměrných fasád navíc existuje výrazné riziko vzniku poruch v omítce v rizikových místech i v ploše (příklady na obr. 9). Toto riziko je dále zvyšováno účinkem vlastní tíhy omítky, zvyšující hodnoty napětí zejména v místech rozhraní dílčích vrstev zateplovacího souvrství.

5.3.2 Teoretický rozbor interakce souvrství zateplení a obvodových dílců

Tato fáze numerické analýzy byla zaměřena na popis chování tenkovrstvé omítky a napjatosti ve styčné spáře mezi omítkou a tepelnou izolací v oblasti styků i v ploše sendvičových obvodových dílců se zaměřením na:

- vliv dilatačních pohybů železobetonové moniérky účinkem změny teploty zejména vnějšího prostředí;
- vliv materiálu použitého tepelného izolantu kontaktního zateplení;
- vliv tloušťky použitého tepelného izolantu kontaktního zateplení;
- vliv tloušťky povrchové tenkovrstvé omítky;
- vliv tuhosti použitých materiálů lepících a omítkových tmelů.

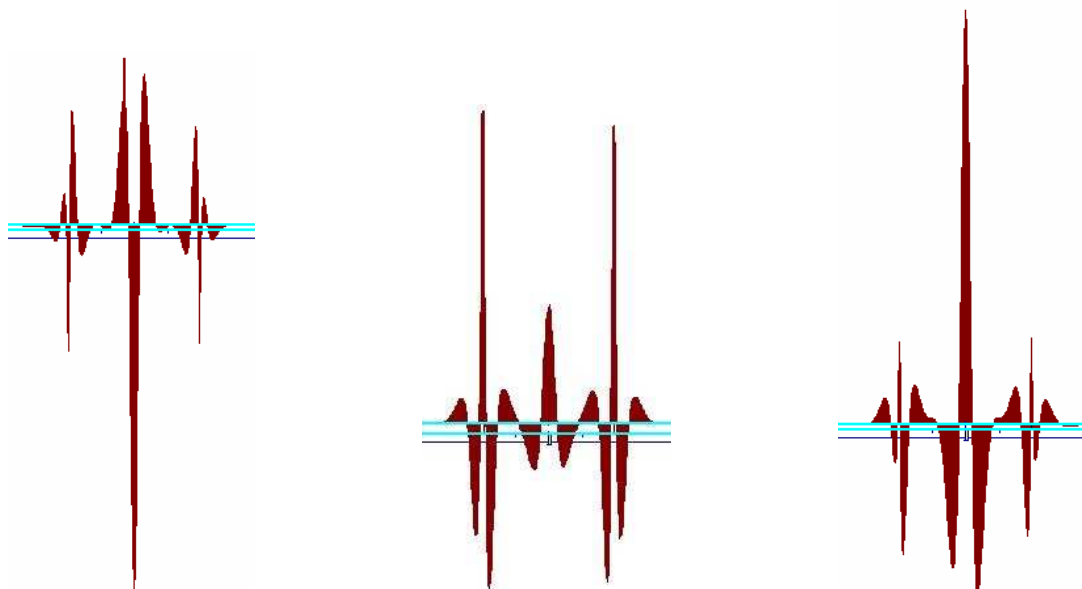


Obr. 10: Výpočtový model výseku zateplené konstrukce sendvičové fasády použitý pro podrobnou numerickou analýzu interakce zateplovacího souvrství a sendvičových obvodových dílců

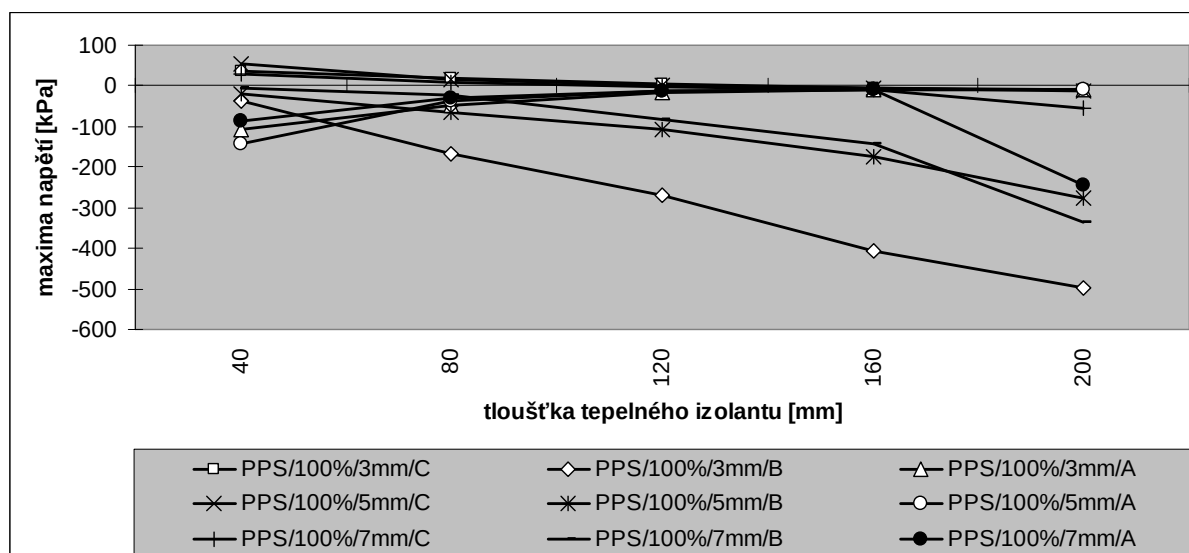
Pro kvantifikaci napjatostních stavů v tenkovrstvé omítce byl použit výpočetní model (viz obr. 10) sestávající ze dvou polovin přilehlých moniér 6-metrových sendvičových dílců, na které je aplikován ETICS s kombinacemi variabilních tloušťek a materiálu izolantu (PPS / MV) a tloušťek nosné tmelové

vrstvy omítky, zatížený teplotami ve stacionálním stavu odvozenými z tepelně izolačních vlastností zateplovacího systému. Analýza průběhů napětí i přetvoření omítky vyhodnotila 3 kritická místa, označená A, B, C.

Namáhání σ_x je příčné normálové napětí ve směru kolmém na normálové napětí v rovině konstrukce omítky. Jeho velikosti jsou velmi malé, pohybují se v řádu stovek kPa (obr. 12), ovšem ukazuje se zajímavá závislost jeho charakteru v ploše omítky na tloušťce a materiálu tepelného izolantu (obr. 11).

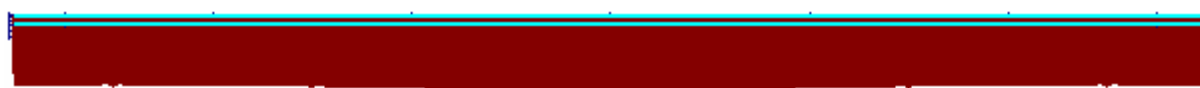


Obr. 11: Charakter průběhu napětí σ_x v tenkovrstvé omítkě na izolantu z pěnového polystyrenu tl. 40, 80 a 120 mm (a); z pěnového polystyrenu tl. 160 a 200 mm (b); z minerálních vláken (c); vše výsek modelu uprostřed, zimní období

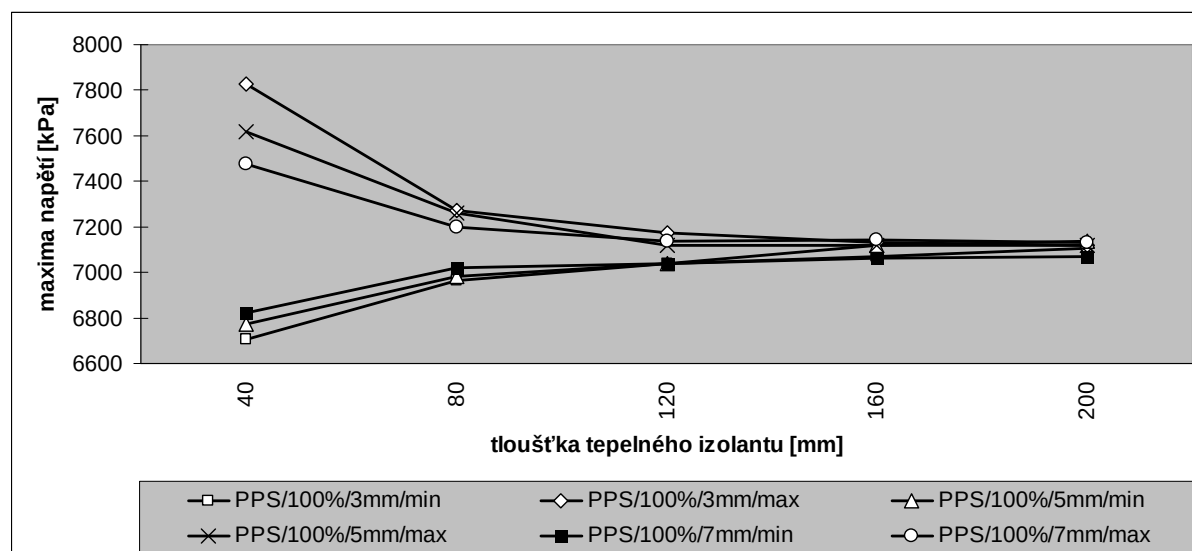


Obr. 12: Graf maximálních hodnot napětí σ_x v tenkovrstvé omítkě variabilních tlouštěk na tepelné izolaci z pěnového polystyrenu pro zimní období; popisky v legendě: materiál izolantu / tuhost lepícího a nosného omítkového tmelu / tloušťka omítkového tmelu / poloha zájmového místa (A, B, C dle obr. 10)

Namáhání σ_y jsou normálová napětí v rovině omítky, hodnoty v lokálních špičkách dosažené výpočty se pohybují se v řádu až 10 MPa, což v případě tahových namáhání třikrát až pětkrát přesahuje pevnost omítkových tmelů. V praxi jsou sice reálná namáhání nižší, než ukazuje simulace, vlivem redistribuce napětí resp. prokluzu na kontaktních plochách mezi dílčími vrstvami, ovšem stále se pohybují na hranici pevnosti v tahu základního materiálu. Cyklickým působením teplotních změn je účinek těchto namáhání dále zesilován až do okamžiku vzniku případných prvních trhlin v omítce, kdy dojde k uvolnění napětí v ploše omítky; projevuje se i vliv dilatujícího podkladu. Z vyhodnocení závislosti velikostí napětí (příklady viz obr. 13, 14) vyplývá mírně pozitivní vliv zvětšující se tloušťky tepelného izolantu i omítky, výrazněji se projevuje zmenšující se tuhost izolantu i lepících a omítkových tmelů.

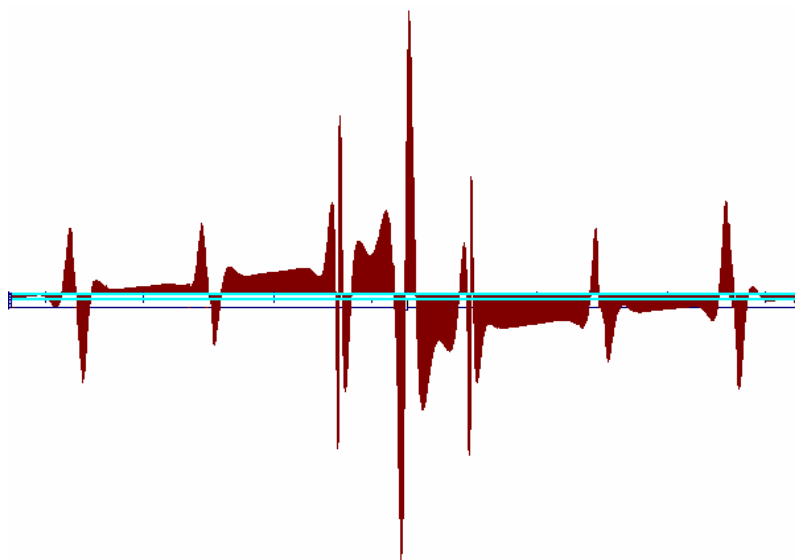


Obr. 13: Charakter průběhu napětí σ_y v tenkovrstvé omítce, zimní období

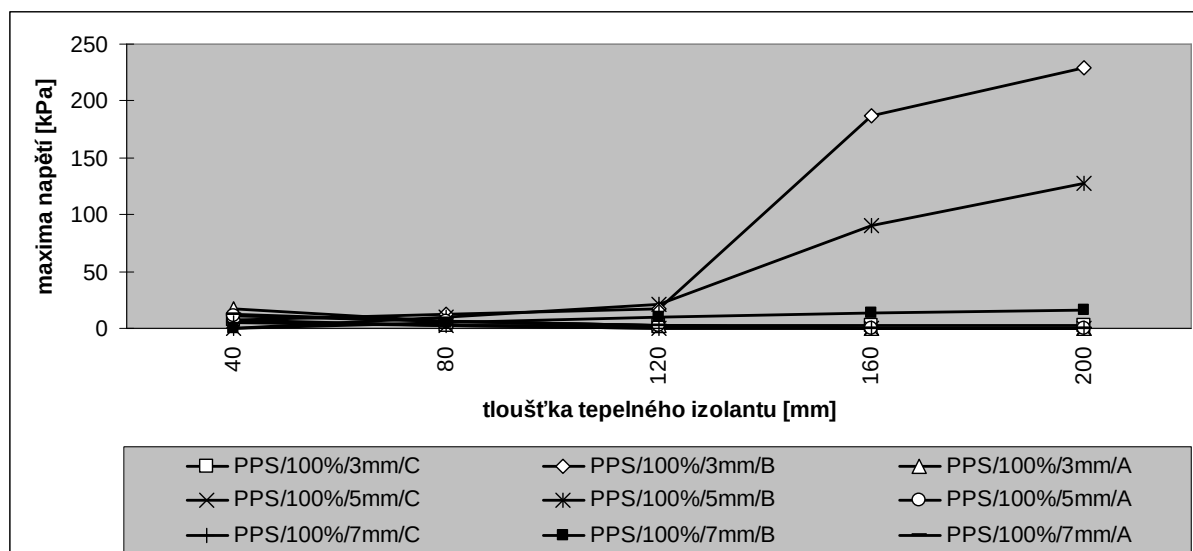


Obr. 14: Graf maximálních hodnot napětí σ_y v tenkovrstvé omítce různých tloušťek na izolaci z pěnového polystyrenu, zimní období; popisky v legendě: materiál tepelného izolantu / tuhost lepícího a nosného omítkového tmelu / tloušťka nosného omítkového tmelu / poloha sledovaného místa (v místě nejmenšího resp. největšího napětí dle obr. 13)

Smyková namáhání τ_{xy} byla ve dvourozměrném výpočetním modelu analyzována zejména z hlediska jejich rozložení a koncentrace. Bylo zjištěno, že zvyšující se tloušťka tepelného izolantu se projevuje snižováním smykových namáhání v povrchové omítce, zásadní význam na rozložení napětí mají dilatační pohyby podkladu zateplení a spáry mezi jednotlivými tepelně izolačními deskami ETICS.

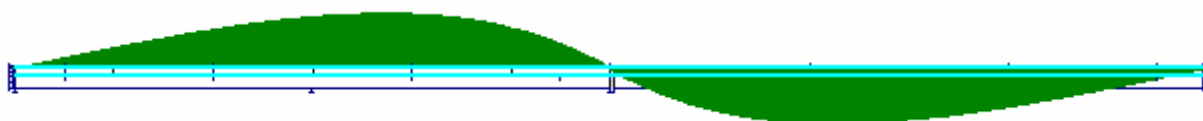


Obr. 15: Charakter průběhu napětí τ_{xy} v omítce na tepelné izolaci bez rozlišení, zimní období

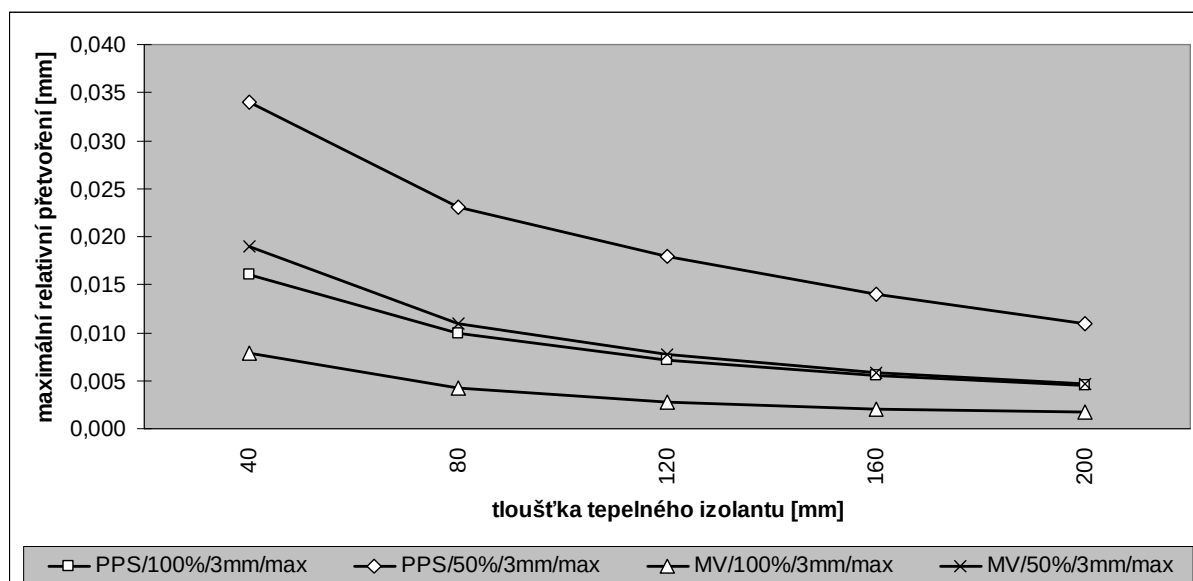


Obr. 16: Graf maximálních hodnot napětí τ_{xy} v omítce variabilních tloušťek na izolaci z pěnového polystyrenu, zimní období; popisky v legendě: materiál tepelného izolantu / tuhost lepícího a nosného omítkového tmelu / tloušťka nosného omítkového tmelu / poloha sledovaného místa (A, B, C dle obr. 10)

Charakter přetvoření omítky v její rovině Δ_y jednoznačně ukazuje na vliv dilatačního pohybu podkladu – železobetonové moniérky obvodového dílce – na celkové chování zatepleného souvrství. Pozitivně se na snižování velikosti přetvoření podílí zvětšující se tloušťka tepelného izolantu, snižující se tuhost tepelného izolantu i snižující se tuhost lepícího a omítkového tmelu.

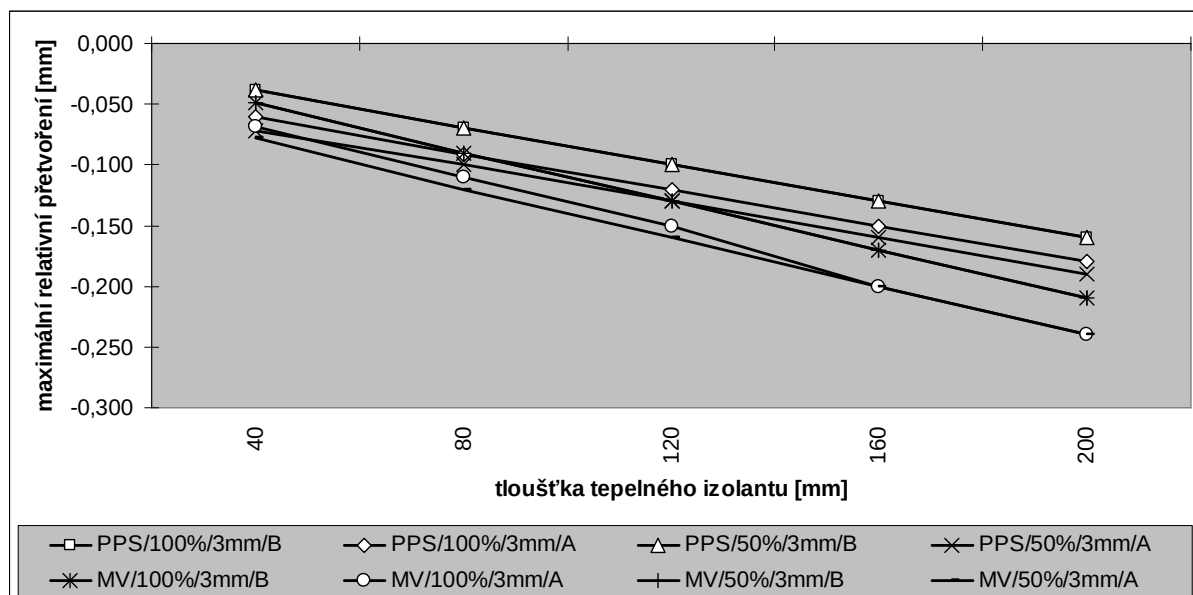


Obr. 17: Charakter průběhu deformací Δ_y v tenkovrstvé omítce, zimní období

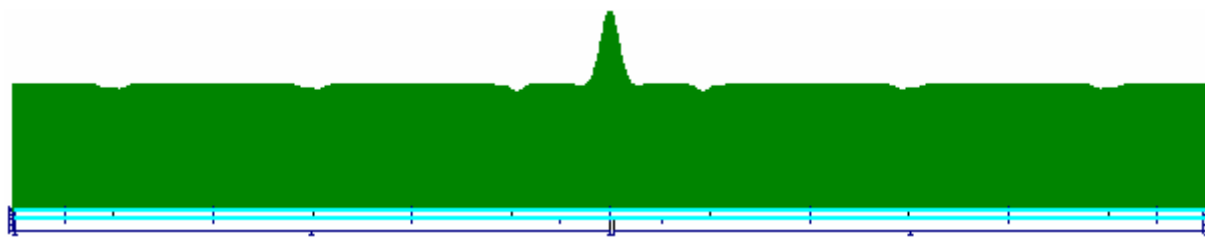


Obr. 18: Graf maximálních hodnot přetvoření Δ_y omítky tl. 3 mm na rozdílném materiálu izolace, zimní období; popisky v legendě: materiál tepelného izolantu / tuhost lepícího a nosného omítkového tmelu / tloušťka nosného omítkového tmelu / poloha sledovaného místa (v místě maximálních hodnot dle obr. 18)

Průběh příčné deformace tenkovrstvé omítky Δ_z má maximum v místě styku mezi obvodovými dílci (obr. 20), minima leží vlivem protisměrného pohybu tepelně izolačních desek vůči pohybu obvodového dílce (moniérece) ve spárách mezi nimi. Trend přetvoření je rostoucí s tloušťkou izolantu (obr. 19).



Obr. 19: Graf maximálních hodnot přetvoření Δ_z tenkovrstvé omítky tl. 3 mm na rozdílném materiálu tepelné izolace, zimní období; popisky v legendě: materiál izolantu / tuhost lepícího a nosného omítkového tmelu / tloušťka nosného omítkového tmelu / poloha sledovaného místa (v bodě A resp. B dle obr. 11)



Obr. 20: Charakter průběhu deformací Δ_z v tenkovrstvé omítce, zimní období

5.3.3 Shrnutí výsledků numerické analýzy

Charakter průběhu všech veličin výše uváděných pouze pro zimní období (záporné teploty vůči teplotě montáže), jejichž hodnoty jsou zaneseny na obrázcích a v grafech 11 až 20, je prakticky shodný s charakteristickým průběhem stejných veličin v období letním; odlišnost je ve znaménku jeho orientace resp. smyslu působení. Jedná se tedy o cyklický charakter namáhání, jehož účinek na omítku je nepříznivější než namáhání stálé hodnoty.

Komplexní numerická analýza kontaktních zateplovacích systémů prokázala reálná rizika snížení funkčních vlastností a trvanlivosti při aplikaci na obvodové plášti panelových domů vlivem vzájemné interakce v důsledku velkých rozměrů fasád a jejich dilatometrického chování. Týká se to zejména obvodové konstrukce tvořené rozměrnými sendvičovými dílci se zateplením tepelně izolačními deskami tloušťky menší než cca 80 mm.

Tepelná izolace zateplovacího systému je úměrně své tuhosti schopna částečně pohltit pohyby obvodových dílců, které se koncentrují do dilatujících styků mezi nimi, a přenášet je do povrchové omítky pouze omezeně. Ovšem desky izolace sami vytvářejí „rozdilatovaný“ podklad, který úměrně své tuhosti omítku zatěžuje vlastními dilatačními pohyby, případně ještě zintenzívněné zbytkovými pohyby obvodových dílců, což se projevuje lokálními špičkami napětí ve spárách mezi těmito deskami.

6. ZÁVĚR

Pro mechanické porušování vnější tenkovrstvé omítky kontaktních zateplovacích systémů je charakteristický časový posun mezi dokončením realizace zateplení a vznikem prvních trhlin – jedná se řádově o roky. Dosažení mezní tahové deformace a vznik tahových trhlin v povrchové úpravě nastává postupným přírůstkem trvalých deformací po každém zatěžovacím cyklu (změně teploty, popř. vlhkosti). Porušení nastává až po proběhnutí určitého počtu cyklů, jejichž počet, resp. čas, v němž dochází k cyklickým změnám teploty, závisí na fyzikálně mechanických vlastnostech zejména tepelně izolační vrstvy a tenkovrstvé omítky a rozměrech fasády. Vznik prvních vlasových trhlin v omítce umožňuje pronikání srážkové vody do tepelně izolačního souvrství, a v důsledku toho zvyšující se intenzitu a dynamiku degradačních procesů znehodnocujících funkčnost a životnost zateplení.

Proces vzniku trhlin v povrchové omítce zásadně ovlivňují cyklické dilatační pohyby obvodových dílců, zejména dílců s velkými délkami a dílců sendvičových. Charakter poruch na zateplených objektech ukazuje, že vedle účinků souvisejících s cyklickými změnami teploty je další příčinou vzniku trhlin ve vnější tenkovrstvé omítce také účinek smršťování omítkových tmelů v počátečních fázích „vytvrzování“ této tenké vrstvy. Účinek změny teploty sekundárně napomáhá rozvoji a šíření zpravidla neuspořádaných trhlin jejichž primární příčinou je účinek objemových změn od smršťování omítkových tmelů.

Analýza a monitorování poruch vyskytujících se v tenkovrstvé omítce ETICS realizovaných na panelových objektech prokázaly výrazné riziko vzniku tahových trhlin v tenkovrstvé omítce účinkem objemových změn tenkovrstvé povrchové úpravy – armovací vrstvy a omítkoviny od účinku teploty a smršťování. Intenzita tohoto účinku závisí na rozměrech (ploše) fasády a na velikosti změn teplot, jimž je omítka vystavena, jejichž hodnotu vedle orientace fasády ke světovým stranám ovlivňuje použité barevné řešení jejího povrchu. Mikrotrhliny a strukturní trhliny (v počáteční fázi) od účinků smršťování jsou následně postupně rozvíjeny a rozšiřovány (následná časová fáze) účinkem cyklických změn teploty, vlhkosti a smáčení až do velikosti vizuálně pozorovatelné. Podstatně větší rozsah narušení tenkovrstvé povrchové úpravy se vykytuje na plochách vystavených účinku deště hnaného větrem, účinku větru a větším hodnotám záporných teplot.

Smykově poddajnější podklad tvořený deskami tepelného izolantu z minerálních vláken umožňuje, aby se převážná část cyklických účinků teploty a vlhkosti realizovala přetvořením povrchové omítky provázeným vznikem trhlin a výrazně menší část mechanickým stavem napjatosti souvrství ETICS (nesilové účinky vynuceného přetvoření). Na druhou stranu poddajnější podklad neposkytuje omítce dostatečné vyztužení při šokových změnách teploty ani dostatečně tuhý podklad pro její velkou hmotnost u vysokých objektů, navíc desky z minerálních vláken nepříznivě ovlivňují rychlost procesu vysychání omítkových tmelů ve fázi jejich tvrdnutí těsně po aplikaci.

Smykově tužší podklad armovací vrstvy a omítkoviny tvořený polystyrénovými deskami v porovnání se smykovou tuhostí desek z minerálních vláken a vysoké hodnoty pevnosti v tahu tenkovrstvé povrchové úpravy zpravidla omezují vznik a následný rozvoj technologických mikrotrhlin způsobených objemovými změnami od smršťování, ale při obvykle velké vzájemné soudržnosti mezi omítkou a polystyrenem dochází k vytvoření velmi tuhého celku, který na cyklické změny teploty reaguje lokálním uvolňováním napjatosti vznikem ojedinělých trhlin.

Na základě výše uvedených poznatků byla v práci formulována sada opatření jako prevence vzniku trhlin povrchové tenkovrstvé omítky kontaktních zateplení panelových fasád a zvýšení jejich spolehlivosti a trvanlivosti.

6. LITERATURA

- [1] Český statistický úřad, informace o bytovém fondu. www.czso.cz.
- [2] Svaz českých a moravských bytových družstev, informace o nákladech na zateplení a jeho návratnosti. www.scmbd.cz.
- [3] ETAG 004 Řídící pokyny pro evropské technické schválení vnějších tepelně izolačních kontaktních (kompozitních) systémů s omítkou. EOTA, 2000.
- [4] ETAG 014 Řídící pokyny pro evropské technické schválení plastových hmoždinek pro připevnění vnějších tepelně izolačních kontaktních (kompozitních) systémů s omítkou. EOTA, 2000.
- [5] ČSN EN 13499 (72 7101) Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví – Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) z pěnového polystyrenu – specifikace. ČNI Praha, 2004.
- [6] ČSN EN 13500 (72 7102) Tepelně izolační výrobky pro stavebnictví – Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) z minerální vlny – specifikace. ČNI Praha, 2004.
- [7] ČSN 73 2901 Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS). ČNI Praha, 2005.
- [8] ČSN 73 12011 Navrhování betonových konstrukcí panelových budov. Úřad pro normalizaci a měření, Praha, 1987.
- [9] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb. Společná ustanovení. ČNI Praha, 2005.
- [10] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov včetně průběžných změn. ČNI Praha, 2005.
- [11] ČSN EN 13187 (73 0560) Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov – Infračervená metoda. ČSNI Praha, 1999.
- [12] Kritéria CZB 2001: Kvalitativní třídy CZB vnějších kontaktních zateplovacích systémů (VKZS) – vymezení, požadavky. Cech pro zateplování budov – Česká republika, 2000.
- [13] Celostátní typový podklad, konstrukční soustava T-06 B. STÚ Praha, červenec 1965.
- [14] Kolektiv: Katalogový přehled stavebních soustav bytových a občanských objektů, Praha, STÚ, 1980.
- [15] Kolektiv: Třicet let hromadné bytové výstavby v ČSR. ČSSI, Praha, 1987.
- [16] Kolektiv: Průzkum a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů. FSv ČVUT, Kloknerův ústav ČVUT a STÚ – K, a.s., srpen 1999.
- [17] Kolektiv: Sanace a rekonstrukce nosných konstrukcí panelových domů. FSv ČVUT, srpen 1999.
- [18] Bielek M, Rojík V.: Konštrukcie pozemných stavieb IV, teória konštrukčnej tvorby budov. Bratislava, ALFA, 1987.
- [19] Loukotka J.: Vady a poruchy ETICS. Nesprávné upevnění izolačních desek a z něj vyplývající závady. Stavebnictví a interiér. 2006, č. 1.

- [20] Neumann M., Reuschel M.: Baukostensenkung durch gesicherte Schadensbeurteilung an haufwerksporingen Leicht-betonelementen der industriell errichteten Wohnbauten der ehemaligen DDR. Fraunhofer IRB Verlag, 1997, 319 s.
- [21] Pašek J.: Konstrukčně statické fenomény zateplování fasád panelových domů. In: Poruchy a rekonštrukcie obvodových plášťov a striech. Košice: Technical University of Košice, 2005, s. 113-118.
- [22] Pašek J.: The Analysis of the Interaction of the Additional Outside Contact Padding Warm Systems with Prefabricated Sandwich Panel Claddings 6,0 m in Length. In: Environmental Compatible Structures and Structural Materials. Prague: CTU, Faculty of Civil Engineering, 2004, s. 97-102.
- [23] Pašek J.: Vliv vlastností obvodových plášťů panelových budov a zateplovacích systémů na jejich namáhání. In: Funkční způsobilost a optimalizace staveb. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, 2002, s. 35-37.
- [24] Pašek J.: Zajištění statické bezpečnosti sendvičových obvodových dílců. In: Teoretická analýza reziduální statické bezpečnosti panelových budov. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, 2002, s. 28-33.
- [25] Pašek J.: Rekonstrukce a demolice panelových domů na území bývalé NDR. In: 26. Mezinárodní vědecká konference ústavů a kateder pozemních staveb stavebních fakult České a Slovenské republiky. Brno: VUT, Fakulta stavební, 2002, s. 11-21.
- [26] Pašek J.: Metody demolice panelových domů v Německu. In: Materiály pro stavbu. 2002, roč. 8, č. 6-7, s. 30-32.
- [27] Rojík V.: Nosné konstrukce panelových budov. Praha, SNTL, 1988.
- [28] Rojík V. a kol.: Panelové objekty. Praha, SNTL, 1974.
- [29] Witzany J., Pašek J., Čejka T., Zigler R.: Dilatometrické deformace sendvičových dílců a tenkovrstvých omítek KZS. In: Sanace 2006. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2006, s. 225-230.
- [30] Witzany J., Pašek J., Čejka T., Zigler R.: Analýza napjatosti kontaktních zateplovacích systémů sendvičových obvodových plášťů panelových domů. In: Poruchy a rekonštrukcie obvodových plášťov a striech. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, 2003, s. 221-226.
- [31] Witzany J., Pašek J., Čejka T., Zigler R.: Konstrukce pozemních staveb 70 - Prefabrikované konstrukční systémy a části staveb, 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 268 s.
- [32] Witzany J., Čejka T., Pašek J.: Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů. In: Stavební obzor. 2002, roč. 11, č. 5, s. 145-150. ISSN 1210-4027.
- [33] Witzany J., Čejka T., Pašek J.: Rekonstrukce, vady a poruchy panelových budov. Stavební informace. 2001, roč. 8, č. 7, 49 stran.
- [34] Žižková N.: Povrchové úpravy zateplovacích systémů. Tepelná ochrana budov. 2005, roč. 14, č. 1.

7. OSOBNÍ ÚDAJE

Ing. Jan Pašek, Ph.D.

Vzdělání:

1990 – 1996	Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7 magisterský studijní obor Pozemní stavby, Ing. (1996)
1996 – 2000	Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7 doktorský program Pozemní stavby, Ph.D. (2000) téma disertace: Analýza interakce primárně nosných konstrukcí a silikátových příček

Odborná činnost:

1995 – 2000	OSVČ, samostatný projektant a stavební dozor fa PRISVich, Davle
03/2000 – dosud	odborný asistent Katedra konstrukcí pozemních staveb, FSv ČVUT
01/2005 – dosud	zástupce vedoucího katedry Katedra konstrukcí pozemních staveb, FSv ČVUT
od roku 2005	autorizovaný inženýr ČKAIT 0009280 obor Pozemní stavby
od roku 2006	komise pro oblast technické diagnostiky – termografie, Akreditované certifikační místo při DT Ostrava

Vědecká a výzkumná činnost:

Od roku 1996 spolupráce na řešení nebo řešitel následujících výzkumných úkolů a rozvojových programů:

- 4 granty GAČR
- 2 výzkumné úkoly MPO ČR
- 2 výzkumné záměry MŠMT
- 1 mezinárodní program (5. rámcový program)
- 2 rozvojové a transformační programy MŠMT

Výuka – přednášky v předmětech:

Konstrukce pozemních staveb 2, 2-E, 2-K
Building Structures 2
Konstrukce pozemních staveb 70
Building Structures 70
Konstrukce pozemních staveb – G
Základy pozemního a inženýrského stavitelství