

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

*Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 442*

ISSN 1213-418X

**Libor Matějka**

**PROGRESIVNÍ KONSTRUKČNÍ DETAILS  
OBVODOVÝCH PLÁŠTŮ  
S VYUŽITÍM DRUHOTNÝCH SUROVIN**

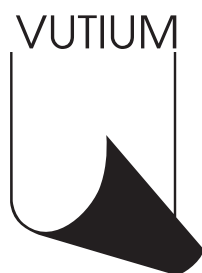
Vysoké učení technické v Brně  
Fakulta stavební  
Ústav pozemního stavitelství

**Ing. Libor Matějka, CSc., Ph.D, MBA**

**PROGRESIVNÍ KONSTRUKČNÍ DETAILS OBVODOVÝCH  
PLÁŠŤŮ S VYUŽITÍM DRUHOTNÝCH SUROVIN**

PROGRESSIVE STRUCTURAL DETAILS OF CLADDINGS  
USING SECONDARY RAW MATERIALS

Teze habilitační práce



BRNO 2013

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

konstrukční detail, osazovací rám, izolační blok, podklad pro prahovou spojku dveří, zatěžovací rám, zatěžovací stolice, pasivní dům

## **KEY WORDS**

structural detail, window sub-frame, insulating block, support structure for door sill joint, load frame, testing stand, passive house

## **MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE**

Originál práce je uložen v archivu PVO FAST VUT v Brně

© Libor, Matějka, 2013

ISBN 978-80-214-4679-3

ISSN 1213-418X

# OBSAH

ÚVOD .....	6
1 ZVOLENÉ METODY .....	7
1.1 Monitoring .....	7
1.2 Analýza .....	9
1.3 Predikce.....	11
2 MATERIÁLOVÁ BÁZE .....	11
2.1 Kompozitní polymer (polymer – částice) .....	11
2.2 Kompozitní polymer A (keramzit – perlit – PP).....	12
2.3 Kompozitní pojivový polymer B (perlit – polypropylen) .....	13
2.4 Kompozitní pojivový polymer C (perlit – polypropylen s dispergátorem) .....	14
2.5 Kompozitní polymer D (dřevěné piliny – recyklovaný PE) .....	14
2.6 Recyklovaný polymer E (recyklovaný PP – nadouvadlo Expancel) .....	15
2.7 Termopolymerkompozit F (PP – skleněné částice) .....	16
3 TECHNOLOGICKÁ BÁZE .....	18
3.1 Lisovací forma s řízenou termoregulací a chlazením .....	18
3.2 Zatěžovací stolice.....	18
3.3 Zatěžovací rám .....	19
4 PROGRESIVNÍ KONSTRUKČNÍ DETAILS .....	22
4.1 Osazovací okenní rám .....	22
4.2 Izolační blok v soklové oblasti obvodového pláště .....	27
4.3 Podkladní konstrukce pod prahovou spojkou dveří .....	28
4.4 Plochá střecha .....	30
5 EXPERIMENT A PREDIKCE .....	31
6 ZÁVĚR.....	36
7 POUŽITÁ LITERATURA.....	38
8 SEZNAM HLAVNÍ BIBLIOGRAFIE AUTORA.....	39
9 ABSTRACT .....	42

## PŘEDSTAVENÍ AUTORA

### Jméno a příjmení:

Libor Matějka

### Datum a místo narození:

12. 10. 1960 v Havlíčkově Brodě

### Bydliště:

Preslova 66, 602 00 Brno

### Adresa do zaměstnání:

Ústav pozemního stavitelství, Fakulta stavební VUT v Brně

Veveří 331/95, 602 00 Brno, ČR

Telefon: 541 147 416, fax 541 240 996, mobil: 603 424 648

E-mail: matejka.l@fce.vutbr.cz



### Vzdělání, pedagogické a vědecké hodnosti:

- 2007 MBA – Nottingham Trent University – BIBS a.s., studium MBA Senior Exekutive,
- 2006 znalec – pro základní obor stavebnictví
- 2005 Aut. inž. – ČKAIT, autorizovaný inženýr pro obor pozemní stavby,
- 2005 Ph. D – VUT v Brně, Ústav soudního inženýrství, Postgraduální doktorské studium, obor 39-47-9 Soudní inženýrství – obhajoba doktorské disertační práce,
- 1997 CSc. – VUT v Brně FAST, Ústav pozemního stavitelství, Externí aspirantské studium, obor 36-01-9 Teorie a konstrukce pozemních staveb obhajoba kandidátské disertační práce,
- 1983 Ing. – VUT FAST, Pozemní stavby, Inženýrské studium,
- 1979 maturita – Gymnázium v Havlíčkově Brodě, přírodovědecké zaměření.

### Zaměstnání, pracovní zařazení a funkce:

- 2005 – 2012 Fakulta stavební VUT v Brně, Ústav pozemního stavitelství, odborný asistent, člen akad. senátu FAST, člen akad. senátu VUT, člen RVŠ, člen ekonomické komise děkana
- 1990 – 2005 Fakulta stavební VUT v Brně, Ústav pozemního stavitelství, odborný asistent, tajemník ústavu pro vědu a výzkum, zástupce vedoucího ústavu pro vědu a výzkum, vedoucí stavební laboratoře
- 1987 – 1990 VUT FAST Brno, Katedra pozemního stavitelství, externí asistent
- 1983 – 1990 Průmyslové stavby Brno, mistr, vedoucí střediska

### Další odborná praxe:

- 2005 – Autorizace v oboru pozemní stavby, ČKAIT 1004525,
- 2006 – Znalec pro základní obor stavebnictví – odvětví stavby obytné, stavby průmyslové, stavby zemědělské a stavební odvětví různá se specializací na vady a poruchy

staveb a obor ekonomika – odvětví ceny a odhady se specializací na oceňování nemovitostí – jmenován Ministrem spravedlnosti České republiky

### **Odborné a výzkumné zaměření:**

- VG č. 222 Aplikace metodiky MAP (monitoring, analýza predikce) na izolačním bloku z odpadního HDPE a jeho kompozitů v patě zdiva v průběhu jeho exploatace – řešitel;
- VG č. 197 Systém pro dlouhodobý monitoring deformačních vlastností materiálů z recyklovaných polymerů při působení konstantního tlaku – spoluřešitel,
- VG č. 229 Zpřesněná analýza konstrukčních detailů pasivních a nízkoenergetických domů – spoluřešitel,
- MSM 0021630511 Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí – garant DT,
- VVZ MSM 00216 305 11 Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí – Výzkum a vývoj konstrukčních systémů v pozemních stavbách – garant DT.

### **Znalecká činnost:**

vady a poruchy staveb, konstrukční detaily, oceňování – více než 180 znaleckých posudků a expertíz.

### **Publikační a tvůrčí činnost:**

3 monografie, více než 70 článků v časopisech a na konferencích, 4 příručky, 6 významných děl. Udělení: 13 užitných vzorů v ČR a v zahraničí, 7 národních patentů v ČR, 4 evropské patenty, 12 národních patentů v zahraničí, 13 produktů (prototyp, ověřená technologie), 3 průmyslové vzory. V roce 2008 a 2010 vyhodnocen v soutěži TOP 10 – rektorem VUT v Brně.

### **Pedagogická činnost:**

#### ***Bakalářské a magisterské studium***

- přednášky: Pozemní stavitelství, Konstrukční detail, Povrchové úpravy a kompletační konstrukce, Stavby pro extrémní klimatické podmínky,
- zavedení nových předmětů – 6x,
- člen komise pro obhajobu bakalářských prací – 9x,
- člen komise pro obhajobu diplomových prací – 41x,
- vedení obhájených bakalářských prací – 57x
- vedení obhájených diplomových prací – 256x
- garantování předmětů – 8x

#### ***Doktorské studium:***

- přednášky: Stavby v extrémních klimatických podmínkách
- zavedení DSP Pozemní stavby – podíl
- člen komisi pro státní doktorské zkoušky nebo obhajoby disertačních prací – 22x
- školitel 4 doktorandů v období 2004–2012, kteří obhájili disertační práci. Další čtyři jsou po úspěšném absolvování státní doktorské zkoušky, před dokončením práce, ostatní ve stadiu rozpracovanosti.

## ÚVOD

Současným požadavkem a trendem obvodových plášťů obytných budov je snižovat jejich energetickou náročnost. Další aktuální oblastí vývoje ve stavebnictví je exploatace druhotných surovin pro stavení materiály a výrobky. Obě výše uvedená témata v sobě zahrnují požadavky na kvalitní konstrukční detaily, příp. eliminaci jejich vad. Cílem předložené práce je spojit hlavní myšlenky uvedených témat a vytvořit progresivní konstrukční detaily obvodových plášťů, zejména pasivních budov. **Metoda MAP** navržená autorem je vyjádřením snahy o komplexní přístup k vyšetřování stavební konstrukce. Metoda je rozdělena do třech fází: **Monitoring – Analýza – Predikce**. V rámci technologické báze **byl vyvinut termopolymerkompozit, který je základem pro izolační blok, osazovací okenní rám, podkladní konstrukce prahové spojky a ukončení plochých střech**. Výrobky byly ověřeny matematickým modelováním z hlediska tepelné techniky a statiky. Pro výrobu polymerkopozitů a jejich testování **byla navržena a vyrobena lisovací forma, zatěžovací stolice a zatěžovací rám. Na materiálové i technologické produkty byly uplatněny užité a průmyslové vzory, patenty jak v ČR, tak i v Evropské unii**. Exploatace druhotných surovin pro stavební materiály a výrobky se snahou snížení jejich energetické náročnosti a se současnou eliminací vad konstrukčních detailů jsou základem pro vývoj progresivních konstrukčních detailů. **Pojmem progresivní konstrukční detail reprezentuje významné zkvalitnění známého stávajícího řešení s využitím odpadních surovin a zároveň zvýšení tepelné ochrany opláštění budovy**. Nevyhnutelná je znalost působení destruktivních faktorů a účinků na stavební hmoty a konstrukce. Důležitá je rovněž přesná formulace příčin a důsledků vad a poruch stavebních objektů.

Vady a poruchy ovlivňující spolehlivost systémů stavebních hmot a konstrukcí jsou četné a mají rozličnou povahu. Ve stavebnictví je tedy nutné analyzovat jejich specifické účinky na konstrukční detaily a hmoty v různých částech konstrukcí. Spolehlivost a životnost staveb jsou hlavními požadavky, které v sobě zahrnují komplexní pojetí kvalitních staveb. Důvodem pro výzkum a vývoj stavebních hmot a z nich vytvořených konstrukčních subsystémů a systémů je zejména technickoekonomická náročnost stavebních objektů. Technická náročnost nízkoenergetických a pasivních objektů vyvolává nutnost i kvalitativně vyššího poznání při návrhu zejména konstrukčních detailů stavebních objektů. Nezbytné je exaktní posouzení a vyhodnocení vlastností progresivních konstrukčních detailů a jejich materiálových charakteristik z nových progresivních materiálů, v daném případě polymerkompozitů.

U těchto nově vyvinutých materiálů nejsou známy pevnostní ani teplotní charakteristiky, nasákavost, mrazuvzdornost aj. Nejsou známy ustálené metody pro zkoušení částicových polymerkompozitů v tlaku s vyhodnocením creepových vlastností. Existují snahy o vypracování výpočtových metod předurčování životnosti konstrukcí, avšak s ohledem na značnou složitost heterogenní soustavy (kompozitní částicové hmoty) jsou obvykle zaměřeny na jednotlivé materiály a konkrétní, specifikované vlivy. Výsledky v tomto směru mohou podpořit dlouhodobá experimentální měření při zpracování značného množství modelovaných nebo změřených parametrů a uplatnění teoretických i praktických znalostí. Při vývoji progresivních konstrukčních detailů je nutné hledat závislosti a faktory ovlivňující spolehlivost systémů stavebních materiálů a konstrukcí.

# 1 ZVOLENÉ METODY

Konstrukční detaily jsou vytvářeny systémem spolupůsobících prvků. Snahou a cílem vědců, techniků a celé společnosti je předpovědět spolehlivost určitého systému v daném místě a čase; předvídat všechny možné případy, které mohou nastat (predikce). Stavební objekt je nutné považovat za systém, který zaujímá velmi široký soubor řešení se všemi konkrétními aspekty a vzájemnými interakcemi jednotlivých částí. Při zpracování zvolené problematiky a pro splnění cíle habilitační práce byla aplikována zejména: teoretická analýza, monitoring, predikce, indukce a dedukce, konfrontace teoretických poznatků a praktických zkušeností, syntéza poznatků, vztahů a zákonitostí, modelování konstrukčních detailů, metoda MAP, experiment.

V podkapitolách materiálové báze je přiblížena syntéza vývoje kompozitního materiálu, který vyústil až do výroby testovacích vzorků – termopolymerkompozitu. V podkapitolách technologické báze je zřejmý proces vývoje četných specifických zařízení pro výrobu a zkoušení kompozitů. V závěrečných kapitolách práce, v kapitole Progresivní konstrukční detaily jsou použity exaktní i praktické metody pro ověření jejich teoretických vlastností a projevů s využitím metody MAP. Dále jsou formou syntézy zpracovány faktory ovlivňující vady specifikovaných konstrukčních detailů. Je aplikována konfrontace a dedukce teoretických poznatků a praktických zkušeností při návrhu progresivních konstrukčních detailů. Syntéza, indukce a dedukce poznatků včetně metody MAP je využita především při experimentu dlouhodobého měření deformačních vlastností izolačního bloku na zatěžovacím rámu. Metoda MAP, navržená autorem je vyjádřením snahy o komplexní přístup k vyšetřování stavební konstrukce. Metoda je rozdělena do třech fází: Monitoring – časté nebo souvislé, obvykle dlouhodobé pozorování či měření stavu konstrukce nebo zatížení; Analýza – rozbor, metoda zkoumání složitějších skutečností rozkladem na jednodušší, na základě detailního poznání podrobností. Predikce – předvídání, předpověď, např. vývoje určité konstrukce, odhad budoucnosti v dané oblasti, na základě analýzy a zkušenosti.

## 1.1 MONITORING

### **Monitoring deformačních vlastností**

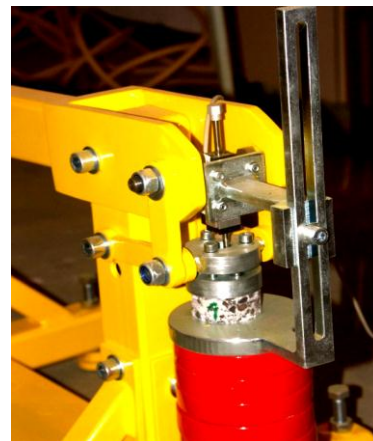
V souvislosti s možností využití recyklovaných polymerů vzniká potřeba dlouhodobě monitorovat jejich vlastnosti. V případě použití recyklovaných polymerů v podobě izolačního bloku přerušující tepelný most v patě zdiva (mezi základem a stěnou) je nutné se detailněji zabývat monitoringem deformačních vlastností při působení konstantního tlaku. Jedná se o polymery a jejich specifický způsob zatížení, pro který nejsou v normách a zkušebních předpisech pro zkoušení polymerů uvedeny žádné krátkodobé ani dlouhodobé zkoušky. Ověřování metodiky je uskutečňováno s využitím zatěžovací stoličky, zatěžovacího rámu a zatěžovacího zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou.

### ***Monitoring na zatěžovací stoličce s konstantním přitlakem***

Hlavním myšlenkou metodiky bylo vytvoření univerzálního systému – zatěžovací stoličky pro dlouhodobý monitoring deformačních vlastností materiálů z recyklovaných polymerů při působení konstantního tlaku, tj. bez úbytku působícího zatížení, který by byl prostorově úsporný s možností variabilního zatěžování.

Metodika pro dlouhodobý monitoring deformačních vlastností využívá zejména ocelovou zatěžovací stoličku Obr. 1.

**Obr. 1**      **Zatěžovací stolička pro dlouhodobé sledování deformačních vlastností s konstantním přitlakem**





Ta je založena na principu páky násobením zatížení v libovolném poměru (minimální přenosový poměr je 1:50). Rozměr zatěžovací stolice je zvolen tak, aby bylo možné zkoušet vzorky až do rozměru 100x100 mm za předpokladu max. tlakového napětí 15 MPa. Součástí systému je měřicí soustava skládající se z čidel snímačů dráhy, teploty a vlhkosti. Měřená data jsou kontinuálně zaznamenávána měřicí ústřednou. Na základě výsledků a získaných informací jsou vytvořeny creepové křivky, z nichž je predikováno chování zkoušených polymerů.

### ***Monitoring na zatěžovacím rámu s konstantním přitlakem a na zatěžovacím zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou***

Pro monitoring kvazireálné konstrukce je vytvořen simulační model části nosné zdi nad základem Obr. 2.



**Obr. 2** Zatěžovací rám s konstantním přitlakem s vysokotlakými vaky

Nad roznášecí desku (ve skutečnosti na mezi základem a nosnou stěnou) je pod patu zdiva vložen tepelně izolační blok z recyklovaného HDPE (nebo z panenského HDPE, kompozitu, pěnoskla apod.), který je zatěžován keramickými bloky s konstantním přitlakem vysokotlakých zvedacích vaků. Základem pro dlouhodobé sledování vlastností uvedeného izolačního bloku je ocelový rám. Do rámu je mezi základem a vyzděnou nosnou stěnou (cca 2 x 1,5m) umístěn izolační blok. Ocelový rám vytváří opěrnou konstrukci k zajištění konstantního tlaku na zdivo a izolační blok. Stálý tlak nahrazující skutečné zatížení obvodové stěny vytváří soustava vysokotlakých zvedacích vaků (sada 2ks vysokotlakých zvedacích vaků ZV54, tlaková láhev, redukční ventil, dvojitá pojistka s ovládacím ventilem, 2ks hadice s bezpečnostní spojkou). Trvale je měřena deformace izolačního bloku vhodně umístěnými čidly měřícími dráhu společně s teplotou a vlhkostí a na základě výsledků a získaných informací bude predikován vývoj izolačního bloku v čase.



### ***Zatěžovací zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou***

Pro dílčí zkoušky bylo vyvinuto zatěžovací zařízení Obr. 3 s trvale působící hydraulickou soustavou pro dlouhodobé sledování deformačních vlastností dílčích vzorků stavebních materiálů (tvaru desky max 400 mm x 400 mm) s působením konstantního přitlaku, tj. bez úbytku působícího zatížení, které by bylo prostorově úsporné s možností variabilního zatěžování.

**Obr. 3** Zatěžovací zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou

Hlavní myšlenkou metodiky je ověření vlastností vybraných konstrukčních detailů nízkoenergetických a pasivních domů, dlouhodobé sledování (monitoring) spolupůsobení polymerových hmot (zejména z HDPE), spojovacích prostředků (lepidel, malt, tmelů) a nosných stěn při konstantním zatížení. Na uvedenou metodiku navazuje analýza aplikovaného izolačního bloku po reálném zatížení a predikce jeho chování.

## 1.2 ANALÝZA

Analýza je proces faktického nebo myšlenkového rozčlenění celku (jevu, objektu) na část. Je to rozbor vlastností, vztahů, faktů postupující od celku k částem. Analýza a hodnocení vad a poruch je procedurou, která je základem tvůrčí činnosti a tvoří podklady pro rozhodovací proces. Z toho vyplývá, že pracovní postupy musí respektovat určité požadavky, které zaručují správné a kvalifikované rozhodování. V řadě případů jsou posuzované problémy komplexní nebo mají mnoho nejistot a neurčitostí, což způsobuje, že je třeba použít vícekritériální metody hodnocení.

Vzhledem ke složitosti a rozmanitosti stavebních objektů, vzniku vad a poruch na jedné straně a kvality, vypovídací schopnosti a homogenity dostupných datových souborů na straně druhé, je obtížné vypracovat obecné pokyny pro jejich stanovení. Vždy je třeba nejprve provést odbornou analýzu:

- účelu, pro který má být zpracován,
- vstupních dat,
- požadavků a předpokladů určité metodiky.

Systematická analýza uvedená v habilitační práci je modifikací používanou ve znalecké činnosti. Je zpracována formou algoritmů (v oblasti tepelné a hydroizolační ochrany) s následnou eliminací vad vybraných konstrukčních detailů s aplikací druhotných surovin. Formou vývojového diagramu je znázorněn základní postup při analýze vad a poruch konstrukčních detailů.

Systematická analýza se může ve svých jednotlivých etapách vhodně přizpůsobit a to rozšířit nebo omezit. Podle vývojového diagramu je možno provést systematickou analýzu vad a poruch stavebních konstrukcí. Při zjištění nedostatků v určité části stavebního objektu nebo konstrukce je možno s analýzou pokračovat v dalších algoritmech. Navržená analýza a jí odpovídající algoritmy je zaměřena na funkční vady nebo poruchy obvodových plášťů z hlediska tepelné ochrany budov a hydrotechnické ochrany.

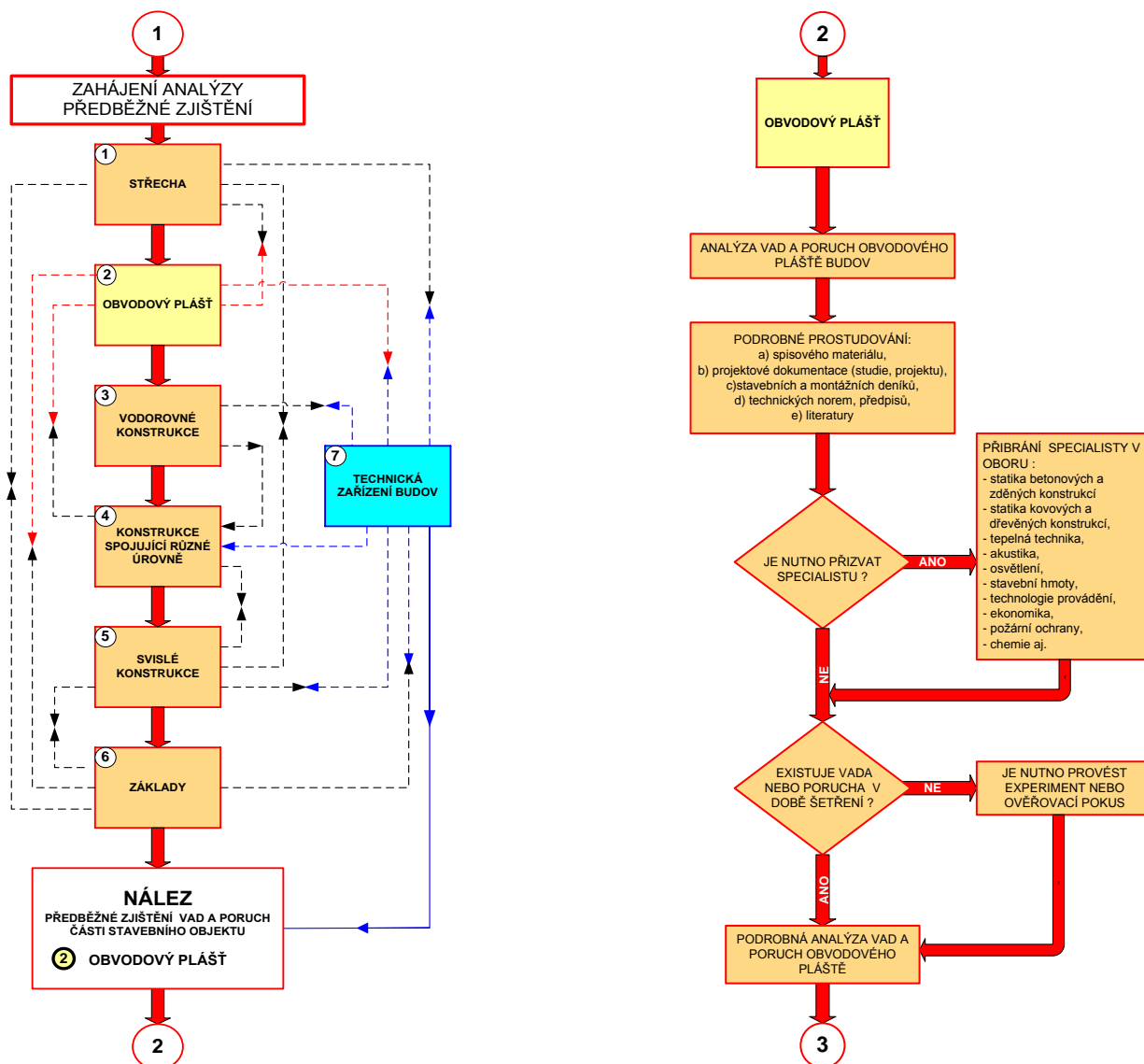
Pro předběžné zjištění vad stavebních konstrukcí byl vypracován algoritmus systematické analýzy Obr. 4. Na uvedeném příkladu byly identifikovány vady na obvodovém plášti budovy při předběžném zjištění. Na následujících algoritmech je uvedena analýza vad obvodového pláště při podrobném šetření. V daném případě byl identifikován tepelný most, vyskytující se v obvodovém plášti (např. ve styku základu s obvodovou stěnou, v kotevních prvcích oken). Eliminace uvedených vad je předmětem výsledků habilitační práce. Na následujících algoritmech je dokumentován příklad analýzy vad a poruch konstrukčních detailů obvodového pláště – funkční vada tepelně technické ochrany.

### **Hlavní zásady při aplikaci analýzy**

Každá jednotlivá vada a porucha nebo soubor souvisejících vad a poruch se vyhodnotí podle těchto hledisek:

- a) stanovení jejich příčiny,
- b) snížení užitné hodnoty a
- c) stanovení míry ohrožení objektu nebo jeho konstrukčních detailů.

Vady a poruchy se vyhodnotí a zdokumentují za podpory fotografií, popisem, nákresem, doloží se výpočtem, výsledky měření apod. Provede se posouzení a porovnání s platnými normami, předpisy, vyhláškami, zákony a úrovní aktuálního poznání problému.



Obr. 4 Systematická analýza vad a poruch stavebních konstrukcí – předběžné zjištění (vlevo), podrobném šetření (vpravo)

### Vyhodnocení analýzy a návrh opatření

Při technickém shrnutí a zhodnocení analýzy se postupuje podle následujících bodů:

- komplexní zhodnocení zkoumaného problému, stavu objektu (konstrukce, konstrukčního detailu) na základě zjištěných vad a poruch, souborných výsledků experimentálního měření konstrukcí, hmot a ostatních podkladů,
- charakteristické parametry hmot, konstrukcí a objektu,
- v případě požadavku jsou ve zprávě uvedena i technická doporučení a opatření,
- doporučení k případnému dalšímu sledování objektu, jeho průzkumu a k experimentálním pracím,
- doporučení technických opatření a prováděcích postupů, nutných pro BOZP,
- vyjádření se ke stavu posuzovaného objektu po stránce tepelně technických, akustických a světelně technických vlastností,
- posouzení objektu z hlediska požární bezpečnosti objektu s ohledem na stávající stav.

Experimentální vyšetření konstrukcí, konstrukčních detailů a prvků se provede pomocí analytických metod zjišťování fyzického stavu a je ukončeno stručným vyhodnocením.

## 1.3 PREDIKCE

Predikce (z lat. prae-, před, a dicere, říkat) znamená předpověď či prognózu, tvrzení o tom, co se stane nebo nestane v budoucnosti. Pojem predikce se obvykle užívá pro odhady, opřené o vědeckou hypotézu nebo teorii. Predikce se potvrzuje nebo vyvrací zkušeností, která ovšem často přichází až v okamžiku, kdy už nemá velkou cenu. Schopnost velmi spolehlivé predikce založila autoritu některých věd, zejména tak zvaných exaktních věd, kde se predikce mohou opírat o předpoklad jediné nutné a dostačující příčiny, čili o předpoklad kauzality, resp. monokauzality. Na možnosti predikce jsou založeny aplikace vědy. Jednou z možností v procesu predikce pro výběr nejpravděpodobnější varianty je aplikace vícekritériálního rozhodování.

Modely vícekritériálního rozhodování zobrazují rozhodovací problémy, v nichž se důsledky rozhodnutí posuzují podle více kritérií. Zohlednění více kritérií při hodnocení vnáší do řešení problémů obtíže, které vyplývají z obecné protichůdnosti kritérií. Kdyby totiž všechna kritéria ukazovala na stejné řešení, stačilo by pro volbu nejvhodnějšího rozhodnutí jediné z nich. Účelem modelů v těchto situacích je uspořádání množiny variant.

Modely vícekritériálního hodnocení variant v případech predikčního rozhodování jsou zadány pomocí konečného seznamu variant a jejich ohodnocení podle jednotlivých kritérií. Aktuální je tedy aplikace metody vícekritériální analýzy variant. Jedná se o případy volby nejvýhodnější z konečného počtu variant, přičemž jednotlivé varianty jsou hodnoceny podle několika kritérií.

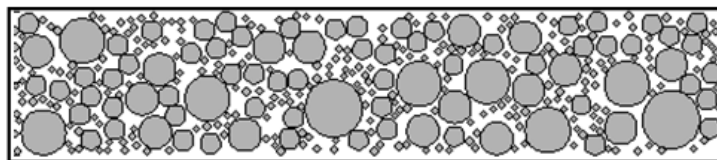
Rozhodnutím v teorii vícekritériální analýzy variant se rozumí vybrat jednu nebo více variant z množiny přípustných variant a doporučit je jako výsledek predikce. Mělo by se při výběru variant postupovat maximálně objektivně, k čemuž slouží aparát různých postupů a metod analýzy variant. Oddělení osoby zadavatele predikce od zpracovatele má svoje výhody. Výhodou bývá skutečnost, že zpracovatel – analytik by neměl být zainteresován na výsledku rozhodnutí, a proto postupuje maximálně objektivně. Výsledkem proto může být objektivní závěr z predikovaných možných variant. Experimentální predikce je uvedena v kap.5.

## 2 MATERIÁLOVÁ BÁZE

### 2.1 KOMPOZITNÍ POLYMER (POLYMER – ČÁSTICE)

Technické řešení se týká kompozitního materiálu, který je tvořen ze dvou základních složek – polymerové matrice a plniva Obr. 5.

Princip technického řešení je znázorněn na následujících obrázcích. Matrici nově navrhovaného kompozitu tvoří polymer (polyetylen PE, vysokohustotní polyetylen – HDPE, ultra vysokohustotní polyetylen – UHDPE, polypropylen – PP, polyethyltereftalát PET aj.). Matrice je z čistého "panenského" materiálu nebo z jejich recyklátů.



**Obr. 5 Kompozitní polymer s plnivem 90% objemu**

Plnivem jsou anorganické případně organické přírodní nebo umělé materiály, např. vypálené expandované jíly nebo slínovce na povrchu slinuté, sklo, kovy, plasty aj. Plnivo má kulovitý, vejčitý nebo jinak sférický tvar s jednou nebo více nejvýhodněji uzavřenými dutinami. Plnivo je s výhodou z anorganických materiálů, ale může jít i o organické materiály jako jsou např. duté kuličky z plastu, který má vyšší bod tavení než je bod tavení matrice. Plnivo tvoří jedna nebo více frakcí o velikosti od 1 do 16 mm. Velikost frakcí je vhodně volena podle tloušťky výrobku.

Uvedené útvary by na dané rozměrové škále vyplňovaly hustě prostor a současně na rozměrové škále odpovídající mezičásticovým dutinám by byl prostor vyplněn termoplastickým plněným materiálem.

Cílem bylo vytvoření materiálů, které mají nízkou tepelnou vodivost (a při tom dostatečný creepový modul při namáhání v tlaku takový, že bude možné z výsledného materiálu vyrábět konstrukční díly, pro eliminaci tepelných mostů v patě zdiva.

Matrice byla zvolena na bázi recyklovaného polypropylenu (PP) nebo polyethylenu (PE) s cílem dosáhnout dlouhodobé únosnosti na úrovni 2 až 5 MPa. Výroba následujících vzorků byla provedena ve spolupráci s Polymer institute Brno.

## 2.2 KOMPOZITNÍ POLYMER A (KERAMZIT – PERLIT – PP)

Matrici může tvořit recyklovaný PE, PP, HDPE s anorganickým plnivem ve formě vypálených expandovaných jíílů, které jsou na povrchu slinuté. Plnivo tvořící nosnou strukturu je ve vzorku rozmístěno tak, aby se zrna vzájemně dotýkala a současně byl prostor vzorku hustě vyplněn. Prostor mezi zrny plniva je vyplněn matricí. Výchozí směs byla vytvořena z následujících surovin, uvedených v Tab. 1.

Tab. 1 Suroviny pro směs kompozitu A

Položka	Popis suroviny	Objem [ml]	Hmotnost [g]
1	Keramzit 4÷8 mm	200 ml	70,7 g
2	Keramzit 0÷4 mm	100 ml	61,2 g
3	Perlit	300 ml	38,0 g
4	Polypropylen (PP) Basel HF500N	600 ml	288 g

Vypálený expandovaný jííl – „Liapor“ o dvou frakcích: 0 – 4 mm a 4 – 8 mm. Frakce 0 – 4 mm resp. 4 – 8 mm má součinitel tepelné vodivosti  $0,11 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , resp.  $0,10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Plnivo obsahuje i třetí frakci, kterou je Perlit se součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda = 0,05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

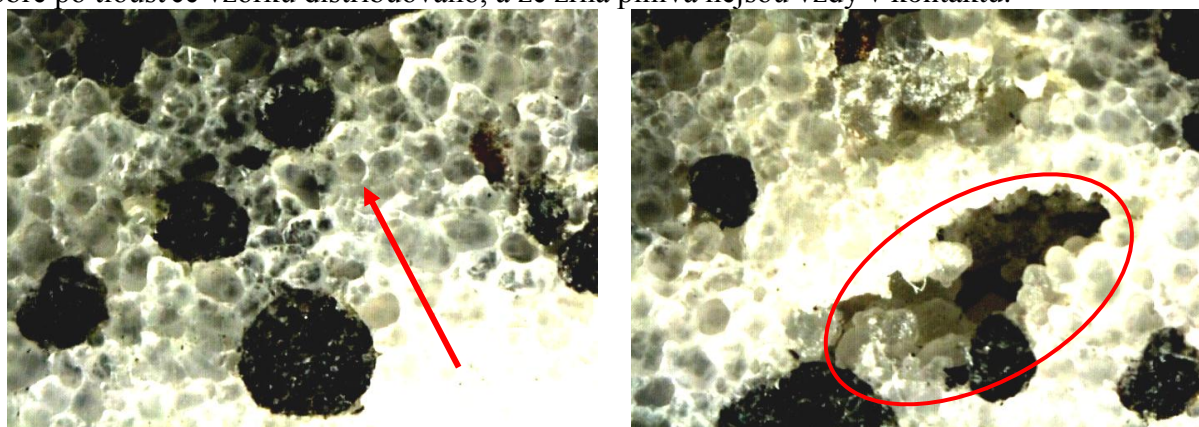
Z matrice a plniva byla vytvořena sesypáním směs, ve složení: 600 ml (288 g) matrice, 100 ml (61,2 g) Liaporu frakce 0 – 4, 200 ml (70,7 g) Liaporu frakce 4 – 8 a 300 ml (38 g) perlitu. Při vytvoření směsi byla použita pojící suspenze, aby nedocházelo k oddělování složek během mísení.

Byly vylisovány dvě desky, první o hmotnosti 232 g, druhá o hmotnosti 280 g. Obě měly tloušťku 20 mm.



Obr. 6 Desky z kompozitního plastu typu A

Po vylisování byly vzorky Obr. 6 kompozitního plastu rozříznuty a bylo zjištěno, že plnivo není dobře po tloušťce vzorku distribuováno, a že zrna plniva nejsou vždy v kontaktu.



a)

b)

**Obr. 7** Mikroskopický snímek kompozitního plastu (zvětšeno 40x), distribuce PP a Keramzitu – polypropylen je nedostatečně roztavený, v polypropylenu se vyskytují kaverny

Struktura je výrazně nehomogenní, distribuce plniva je nerovnoměrná, polypropylén ve vnitřních částech není úplně protaven Obr. 7 a desky vykazují nevyhovující tepelnou vodivost.

### 2.3 KOMPOZITNÍ POJIVOVÝ POLYMER B (PERLIT – POLYPROPYLEN)

V dalším kroku proto byla připravena a otestována možnost výroby pojivového kompozitu perlitu – PP tak, aby bylo dosaženo materiálu s požadovanou malou tepelnou vodivostí.

Byly vyrobeny dva materiály B1 a B2:

**Tab. 2** Suroviny pro směs pojivového kompozitu B1

Položka	Popis suroviny	Objem [ml]	Hmotnost [g]
1	Perlit	250 ml	28,5 g
2	Polypropylen (PP) Basel HF500N	250 ml (50 ml z toho použito na zasypání horní vrstvy ve formě 50 + 200)	130 g

**Tab. 3** Suroviny pro směs pojivového kompozitu B2

Položka	Popis suroviny	Objem [ml]	Hmotnost [g]
1	Perlit	250 ml	28,5 g
2	Polypropylen (PP) Basel HF500N	250 ml (50 ml použito na zasypání dna a 50 ml na horní vrstvy ve formě 50 + 150 + 50)	130 g

Byly takto vylisovány dvě desky, první o hmotnosti 158 g a tloušťce 13,6 mm, druhá o hmotnosti 201 g a tloušťce 16,6 mm.

Struktura je částečně nehomogenní, polypropylén ve vnitřních částech opět není úplně protaven a desky vykazují příliš velkou tepelnou vodivost.

## 2.4 KOMPOZITNÍ POJIVOVÝ POLYMER C (PERLIT – POLYPROPYLEN S DISPERGÁTOREM)

Z předchozí výroby kompozitních polymerů se ukázalo, že kritickým požadavkem je nutnost snížit obsah PP v kompozitu a zároveň dosáhnout co nejlepší homogenizace systému ze složek, které se vzájemně odsazují. Pro experiment bylo použito 40 % suspenze PP ve vodném roztoku, která by smočila a povrchově upravila Perlit tak, aby se na jeho povrchu PP částice alespoň částečně povrchově rozložily a při tavení vytvořily tenkou spojitou síť s výslednou malou tepelnou vodivostí. Byl použit následující materiál, uvedený v Tab. 4.

Tab. 4 Suroviny pro směs pojivového kompozitu C

Položka	Popis suroviny	Objem [ml]	Hmotnost [g]
1	Perlit	250 ml	28,5 g
2	Polypropylen (PP) Basel HF500N	200 ml	130 g
3	PERMANOL AP5 Dispergátor (dodavatel firma Clariant)	40% suspenze PP	



Byla vylisována deska Obr. 8, o hmotnosti asi 160 g a tloušťce cca 15 mm. Vyrobene desky měly následující mechanické a tepelně technické vlastnosti:

- pevnost v tlaku byla 25 MPa,
- součinitel tepelné vodivosti byl  $0,145 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,
- desky vykazovaly nasákavost do 3%.

Kompozitní plast lze využít ve stavebnictví, např. pro podkladové konstrukce pod prahové spojky dveří, tepelně izolační bloky apod.

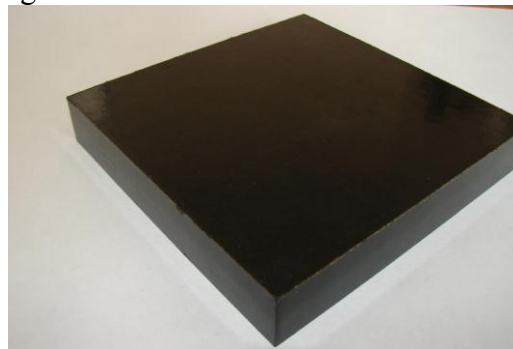
Obr. 8 Deska z kompozitního plastu typu C

## 2.5 KOMPOZITNÍ POLYMER D (DŘEVĚNÉ PILINY – RECYKLOVANÝ PE)

Pro ověření vlastností byl dále experimentálně vytvořen kompozit na bázi recyklovaného PE a dřevěných pilin jako vláknitého plniva. Kompozit z recyklovaného PE a s dřevěných pilin byl připraven na kompaundačním zařízení BUSS MDK 46, Obr. 9, podle následující receptury:

- 20% – dřevěné piliny 2B (Bělkovice)
- 80% – recyklovaný PE
- teplota: 170 – 175°C
- výkon: 8 kg / h

Bylo vyrobeno cca 5 kg tohoto materiálu ve formě granulátu.



Obr. 9 Kompaundační zařízení Buss MDK46, deska z kompozitního plastu D (dřevěné piliny – recyklovaný PE)

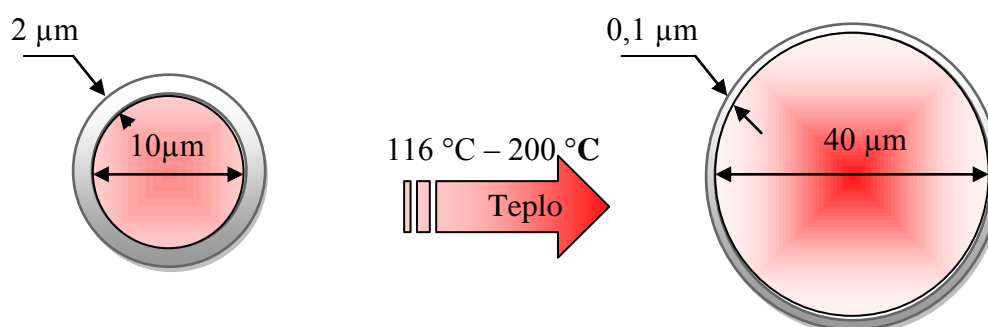
Z granulátu bylo vylisováno celkem 5 ks desek o tloušťce cca 15 mm. Lisování probíhalo v uzavřené pozitivní formě za podmínek obvyklých pro PE.

Vzorek ve formě čtvercové desky Obr. 9 má hladký a kompaktní povrch. Vylisované desky vykazovaly standardní kvalitu pro kompozity s dřevěnými pilinami.

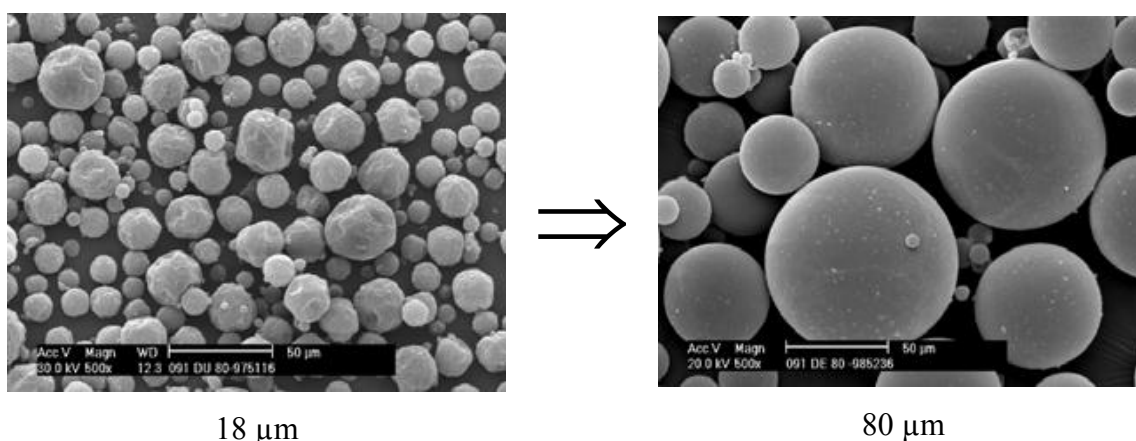
## 2.6 RECYKLOVANÝ POLYMER E (RECYKLOVANÝ PP – NADOUVADLO EXPANCEL)

Pro zlepšení tepelně technických vlastností byl do recyklovaného plastu aplikován Expancel, který je tvořen dutými plastovými kulovými částicemi – mikrokuličkami. Plášť mikrokuliček tvoří těsný kopolymer monomeru (např. metylmetacrylat), který obsahuje uvnitř plyn (isobutan nebo isopentan). Když se plyn uvnitř skořápky zahřívá, zvyšuje se jeho tlak a termoplastový obal se uhlodíky změkčuje, což má za následek značné zvýšení objemu mikrokuličky. Materiál je vhodný pro expanzi v rozsahu 80 – 210°C. V porovnání s jejich původní velikostí, např. z 20 μm velkých částic sféra expanduje na 80 μm. Expandovaná mikrokulička má objem cca 4 krát větší. Uvedená změna významně ovlivňuje objemovou hmotnost od 1100 kg/m<sup>3</sup> u kuliček neexpandovaných až po 15 kg/m<sup>3</sup> u kuliček expandovaných. Velikosti částic mikrokuliček se pohybuje v rozmezí od 6 do 40 μm v jejich neexpandované formě. Lze použít jak neexpandované tak i předem expandované mikrokuličky. Pro výrobu prototypu kompozitního plastu byly použity mikrokuličky expandované.

Na následujících obrázcích Obr. 10 a Obr. 11 je znázorněn princip zvětšování objemu mikrosférických tvarů.



Obr. 10 Expanze plastových dutých mikrokuliček vlivem teploty 4x



Obr. 11 Snímky z elektronového mikroskopu zobrazující změny v rozměrech mikrokuliček z 18 μm na 80 μm



Na laboratorním extruderu Brabender byla vyrobena folie o tloušťce 1,5 mm, šířce 100 mm bez přídavku a s přídavkem koncentrátu fyzikálního nadouvadla Expancell 930 MB120 (od firmy Akzo – Nobel).

Vzhledem k tomu, že výroba kompozitů s využitím polymerů je velmi závislá zejména na fyzikálních okrajových podmínkách, bylo nutno vyvinout speciální dělenou formu s řízenou termoregulací a s chlazením (kap. 3.1).

## 2.7 TERMOPOLYMERKOMPOZIT F (PP – SKLENĚNÉ ČÁSTICE)

V rámci výzkumu MSM 0021630511 a FAST-S-11-40/1292 byl vyvinut nový pokročilý materiál – tepelně izolační materiál – termopolymerkompozit. V souvislosti s novým materiálem a jeho vývojem byl udělen evropský patent a národní užité vzory. Při vývoji inovativního materiálu se vycházelo z požadavku snižování spotřeby přírodních zdrojů a prodlužování životního cyklu materiálů.

### Složení tepelně izolačního materiálu pro výrobu termopolymerkompozitu

V první fázi výroby zkušebního tělesa Obr. 12 se nepodařilo rovnoměrně distribuovat matici (vrstva plastu byla 2 – 3 mm) a proto byla vyvinuta speciální lisovací forma, umožňující odtok přebytečného polymeru tak, aby částice zaujímaly pokud možno maximální objem.



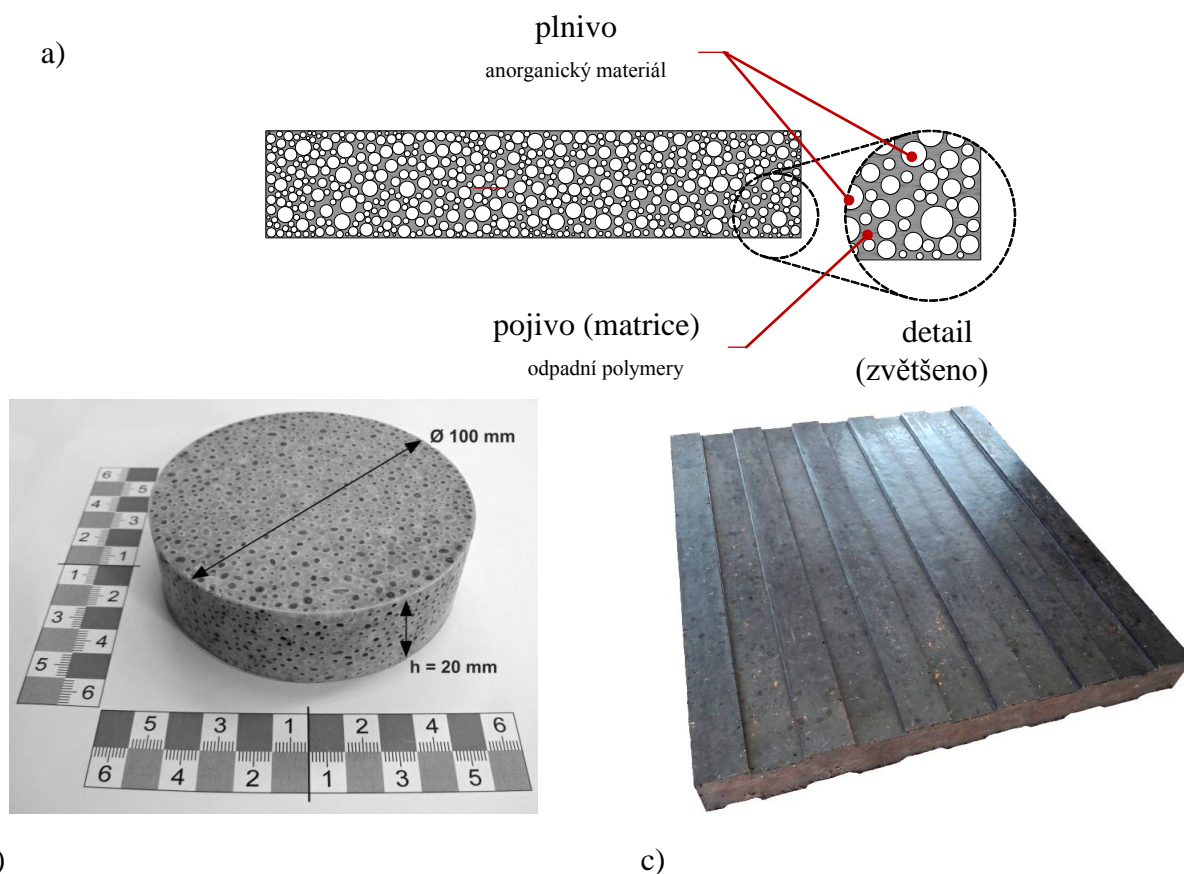
Obr. 12 Prvotní funkční vzorek termopolymerkompozitu s nerovnoměrnou distribucí matrice a částic



Obr. 13 Povrch termopolymerkompozitu s nedokonalou distribucí a porušením skleněných částic – zvětšeno 3x

Ve vyvinutém materiálu, který má charakter částicového kompozitu (Obr. 14), jsou kombinovány pojivo (odpadní polymery) a plnivo (anorganický materiál) s nízkým součinitelem tepelné vodivosti.

Jako pojivo jsou použity odpadní polymery (PP, PE, LDPE, HDPE). Pro příznivější tepelné technické vlastnosti, nízký součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/mK], je primárně využíván lineární polymer – polypropylen (PP).



**Obr. 14** Termopolymerkompozit – (a) složení částic, (b) příklad vyrobeného vzorku, (c) prototyp desky s vystřídáním horním a dolním drážkováním

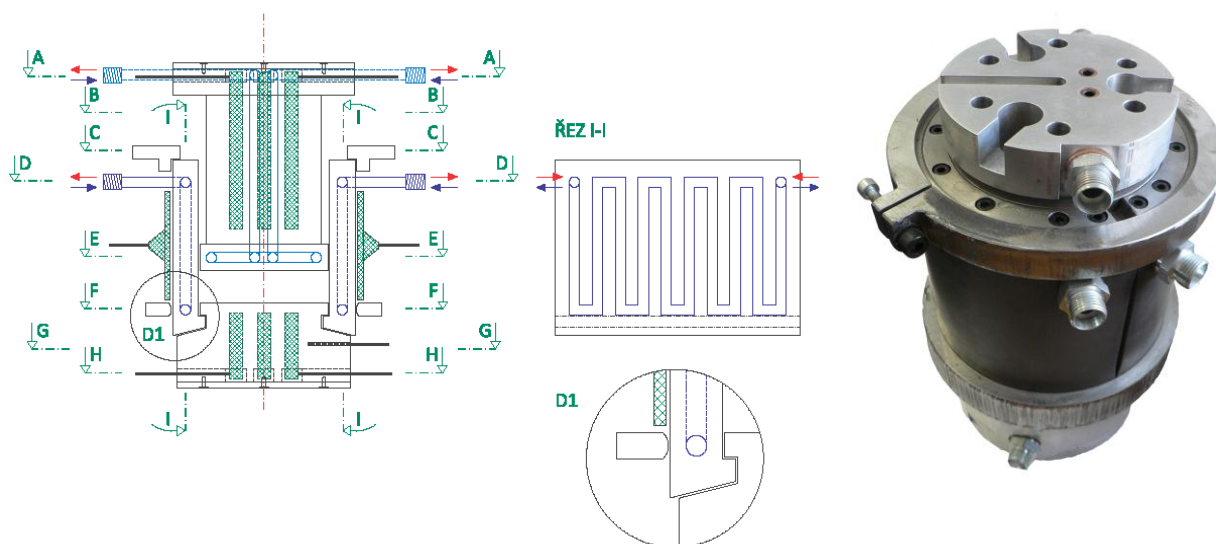
Jako plnivo jsou použity anorganické materiály, s nízkou objemovou hmotností a nízkým součinitelem tepelné vodivosti a materiály, které splňují podmínku recyklovatelnosti. Příkladem je expandované sklo, např. pod prodejním označením LIAVER. (součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,06 - 0,07$  W/mK) ve frakcích 1 – 2 mm, 2 – 4 mm, 4 – 8 mm a 8 – 16 mm.

Granule expandovaného skla mají porézní strukturu s uzavřeným povrchem, obecně sférický tvar a jsou současně nehořlavé, odolné vůči kyselinám, zásadám a organickým rozpouštědlům, biologicky nezávadné a rozměrově stabilní do vysokých teplot. Kombinace a procentuální zastoupení pojiva a plniva ve výsledném termopolymerkompozitu vychází z požadavku nízkého součinitele tepelné vodivosti, což lze dosáhnout pomocí velmi vysokého, tedy maximálně možného, objemu plniva při současném minimálním objemu pojiva. Při použití směsi složené ze tří složek – PP: LIAVER frakce 4 – 8 mm: LIAVER frakce 2 – 4 mm v hmotnostním poměru 3 : 1,3 : 1 je součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,093$  W/mK. Aplikace nového pokročilého materiálu termopolymerkompozitu je zejména v místech, kde je nutné kombinovat požadavky tepelné techniky (eliminace tepelných mostů) s mechanickou odolností. Cílem použití tohoto materiálu je snížení tepelné ztráty, se kterou souvisí úspora energie a snižování spotřeby přírodních zdrojů. Použití tepelně izolačního bloku vyrobeného z desek termopolymerkompozitu v místě založení obvodového pláště na základovém pasu, v tzv. patě zdiva vytváří progresivní konstrukční detail s eliminací tepelného mostu a s hydroizolační funkcí.

### 3 TECHNOLOGICKÁ BÁZE

#### 3.1 LISOVACÍ FORMA S ŘÍZENOU TERMOREGULACÍ A CHLAZENÍM

Temperovaná lisovací forma se skládá ze tří základních částí: z podstavy, válce a pístu formy Obr. 15. Válec je dělený na dvě části pro snadnější vyjmutí vylisku. Podstava a píst formy jsou uzavřeny krycími víky, která chrání topná tělesa a umožňují tak zatlačení pístu do válce. Forma je navržena s možností lisování vložené kompozitní hmoty a jejího současného zahřívání.



Obr. 15 Svislý řez formou, rozvinutý řez I – I ochlazeným pláštěm válce, detail D1 – spojovací rozebíratelný zámek dolní podstavy a válce (vlevo), prototyp lisovací temperované formy vpravo

Další výzkum se týkal zdokonalení zejména tepelně technických vlastností materiálu včetně návrhu způsobu výroby tepelně izolačních desek. Rovněž probíhají dlouhodobé laboratorní zkoušky materiálu na zatěžovací stolici pro dlouhodobé sledování materiálů s konstantním přtlakem. Pro zjištění mechanických vlastností kompozitního polypropylenu byla vyvinuta zatěžovací stolice. Pro ověření technologie měření byly vyrobeny její prototypy. Podrobná identifikace zatěžovací stolice a její funkce je uvedena v následující kapitole.

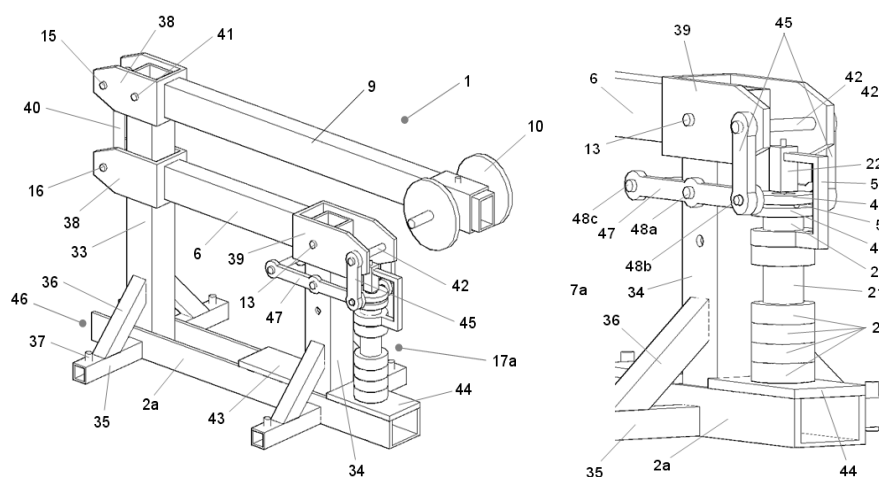
#### 3.2 ZATĚŽOVACÍ STOLICE

Zatěžovací stolice Obr. 16 je založena na principu páky násobením zatížení, které působí na zatěžovacím rameni, v libovolném poměru. Zatěžovací stolice byla navržena, jako součást systému pro dlouhodobý monitoring deformačních vlastností materiálů z recyklovaných polymerů při působení konstantního tlaku. Je chráněna Osvědčením o zápisu užitečného a průmyslového vzoru, patentem v ČR a evropským patentem.

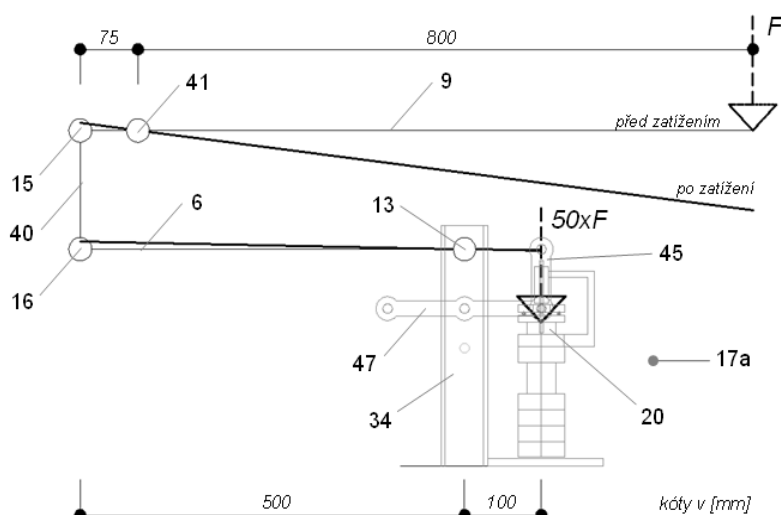


Obr. 16 Stolice s jednonásobnou pákou a možností volby způsobu zatěžování tah/tlak

Na Obr. 17 je zobrazen axonometrický pohled na zatěžovací stolici s jednonásobnou pákou a možností volby způsobu zatěžování tah/tlak. Koncepce zatěžovací stolice umožňuje zjednodušené uspořádání měřící sestavy se zkušební vzorkem, způsob přenosu působícího zatížení, zachycení horizontální síly, která vzniká z důvodu pohybu zatěžovacího ramene po kružnicovém oblouku a možností volby způsobu zatěžování tah/tlak bez dalších přípravků.



**Obr. 17** Axonometrický pohled na zatěžovací stoličci s jednonásobnou pákou a možností volby způsobu zatěžování tah/tlak, detail uspořádání měřicí sestavy, měřený vzorek z kompozitního plastu



**Obr. 18** Schematické znázornění systému přepákování s jednonásobnou pákou a možností volby způsobu zatěžování tah/tlak

Na Obr. 18 je schematicky znázorněn systém přepákování, ve kterém je možné použít při zvolené velikosti zatěžovací stoličce maximální pákový poměr 1:50, tzn., že při umístění závaží  $F$  o velikosti 100 kg na konci zatěžovacího ramene 9 působí na vzorek 20 zatížení o velikosti  $50 \times 100$ , tj. 500 kg. V případě změny rozměru ramen 6 a 9 lze pákový poměr zvýšit. Obecně lze říci, že při dlouhodobých zkouškách je vlivem deformačních změn u stávajících

zkušebních zařízení problematické, v některých případech i nemožné udržet po celou dobu zkoušky konstantní hodnotu působícího zatížení resp. přítlaku (např. olej s písty, předstlačená pružina). Hlavní výhodou navrženého systému je vyvození a udržení konstantního přítlaku, resp. tahu, na zatěžovaný prvek, odpovídající zvolenému systému přepákování a hmotnosti zatěžovacího břemene, a to po celou dobu zatěžování. Další výhodou jsou malé rozměry a hmotnost zkušebního zařízení včetně možné variability zatěžování.

Pro ověření deformačních vlastností tepelně izolačních desek v reálných podmínkách bylo nutné vytvořit zjednodušený model a zařízení pro simulaci zatížení zdívmem – zatěžovací rám.

### 3.3 ZATĚŽOVACÍ RÁM

Pro simulaci dlouhodobého zatížení nosným zdívmem tepelně izolačních desek z vysokohustotního recyklovaného polyetyleny (Obr. 19) byl navržen a postaven zatěžovací rám s konstantním přítlakem Obr. 20. Cílem experimentu bylo zjistit deformaci desek, tvořící izolační souvrství.



a)



b)

**Obr. 19** Desky z recyklovaného HDPE a) souvrství izolačního bloku z desek, b) detail spojení desek na pero a drážku

Zatěžovací rám je tvořen dolní a horní přítlačnou ocelovou deskou (440×2000×10 mm) spojenou 2 x čtyřmi nosníky I 120 typu HEB. Mezi uvedenými konstrukcemi bylo na spodní desku uloženo souvrství tří desek, spojených vzájemně na pero a drážku – izolační blok (Obr. 19).

Na horní desku D3 souvrství izolačního bloku byla nanášena malta plnoplošně a rovnoměrně (Obr. 20 vlevo). Na izolační blok bylo vyžděno do malty šest vrstev broušeného, příčně děrovaného zdiva Heluz (247×440×249) na maltu Heluz.



**Obr. 20** Souvrství desek D1 – D3 z recyklovaného HDPE spojených na pero a drážku, celkový pohled na zatěžovací rám se zařízením pro monitoring izolačního bloku

Na zeď byly uloženy dva vysokotlaké pneumatické vaky Rubena ZV 54, v nichž je udržován stálý tlak 0,8 MPa. Vaky jsou umístěny mezi zdivem a mezi horní přítlačnou ocelovou deskou 440×2000×10 mm zpevněnou čtyřmi nosníky I 120 typu HEB. Soustava vysokotlakých zvedacích vaků ZV 54 nahrazuje skutečné zatížení nosné stěny. Horní a dolní přítlačné desky jsou pomocí příčných převážek tvaru U (5 dolních a 5 horních) spojeny deseti závitovými tyčemi dlouhými 2600 mm průměru 30 mm a maticemi M 30 (Obr. 21). Deformace izolačního bloku (zejména stlačení) je měřena dlouhodobě sedmi čidly měřícími dráhu (FWA 025 TR) Obr. 22. Záznam stlačení, teploty vzduchu a relativní vlhkosti (čidlem FHAD 462) jsou průběžně zaznamenávány měřicí ústřednou Dataloger univerzální – ALMEMO 2890–9.

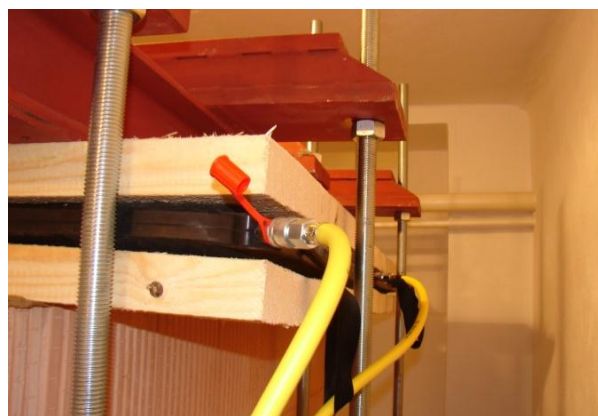


**Obr. 21** Horní část zatěžovacího rámu s vysokotlakými vaky ZV 54 a) uzavřená a otevřené převázky, b) podélné nosníky „I“ na zvedacích vacích a sololitu, vaky jsou spojeny hadicemi s vysokotlakou nádobou

Deformace izolačního bloku (zejména stlačení) je měřena dlouhodobě sedmi čidly měřícími dráhu (FWA 025 TR). Záznam stlačení, teploty vzduchu a relativní vlhkosti (čidlem FHAD 462) jsou průběžně zaznamenávány měřicí ústřednou Dataloger univerzální – ALMEMO 2890–9.



**Obr. 22** Snímač dráhy – č. 2, typ FWA 025 TR, osazen na horním líci desky D3 izolačního bloku – detail (vlevo), monitoring deformace v příčném směru – monitorovací body č. M5, M6, M7 (vpravo)



**Obr. 23** Sevření zvedacích vaků mezi podložky z dřevěných desek a) celkový pohled b) detail s napojením vaků na hadice

Všechny desky jsou opatřeny monitorovacími body. Deska D1 monitorovacím snímačem č. M7, deska D2 monitorovacím snímačem M6 a deska D3 monitorovacím snímačem M5. Vysokotlaké zvedací vaky ZV 54 (870 × 870 × 25 mm) byly spojeny s tlakovou lahví a oba byly rovnoměrně napuštěny stlačeným vzduchem na 0,4 MPa, s cílem dosáhnout pracovní tlak 0,8 MPa. Výrobce vysokotlakých vaků tohoto typu uvádí, že zvednou 2 × 54 tun. Při zatěžování

zděné konstrukce došlo k neplánovanému vychýlení vaků a horní části zatěžovacího rámu. Konstrukce zdiva s izolačním blokem byla zatížena v první fázi tlakem ve vaku 0,5 MPa a následně až tlakem 0,8 MPa. Po 24 hodinách tlak ve vaku klesl na 0,75 MPa a byl doplněn na tlak pracovní 0,8 MPa. V počátečních fázích zatěžování konstrukce byly zaznamenány monitorované hodnoty a jejich změny každou sekundu (po dobu cca 2 hodin). Následně byl interval záznamu upraven na 3 min. Monitorované hodnoty jsou dosud zaznamenávány ústřednou AHLBORN ALMEMO 2890–9. Průběžně jsou monitorovány parametry vlhkosti, teploty a měřicí body snímačů dráhy (deformace). V současné době je prováděn dlouhodobý monitoring sledovaných parametrů, zejména deformace s průběžným vyhodnocováním na modelu části kvazireálné konstrukce v měřítku 1:1.

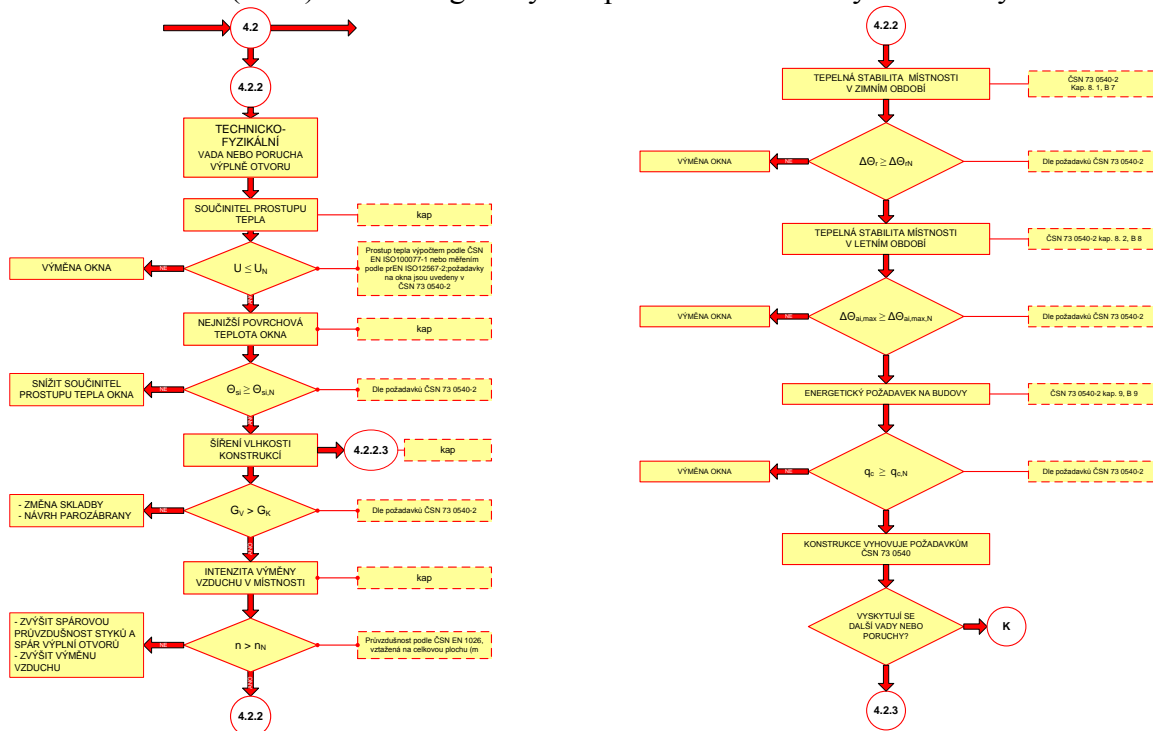
## 4 PROGRESIVNÍ KONSTRUKČNÍ DETAILS

### 4.1 OSAZOVACÍ OKENNÍ RÁM

S vývojem nových systémů a subsystémů pasivních domů, a udržitelného rozvoje, souvisí bezprostředně i řešení a návrh jejich konstrukčních detailů. U pasivních a nízkoenergetických domů je například takovým detailem styk výplní otvoru a obvodového pláště. Možností jak zkvalitnit spojení výplní otvorů s nosnou částí jednoplášťové dvouvrstvé obvodové stěny tvořené vrstvou nosnou a tepelně izolační, je osazovací rám. Osazovací rám je navržen z recyklovaného vysokohustotního polyethylenu. Použitím tohoto výrobku v pasivních a nízkoenergetických domech se zkvalitní uvedený kritický konstrukční detail.

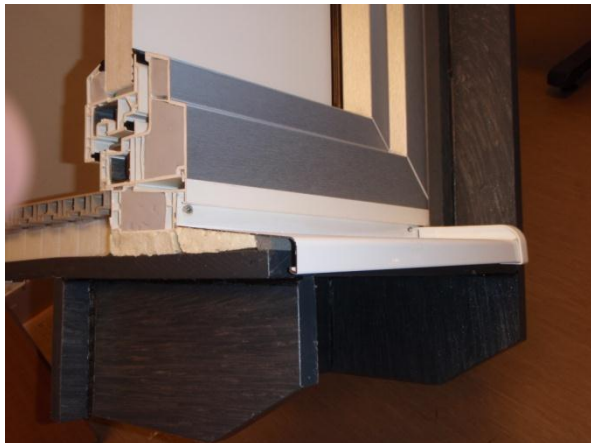
#### Kvalitativní analýza

Pro kvalitativní analýzu a eliminaci vad výplní otvorů z hlediska technicko fyzikálního, resp. tepelně technického byly vytvořeny algoritmy Obr. 24 jako podpora pro vývoj progresivních konstrukčních detailů (PKD) nízkoenergetických a pasivních domů s využitím recyklátu.



Obr. 24 Systematická analýza vad otvorových výplní při podrobném šetření

a)

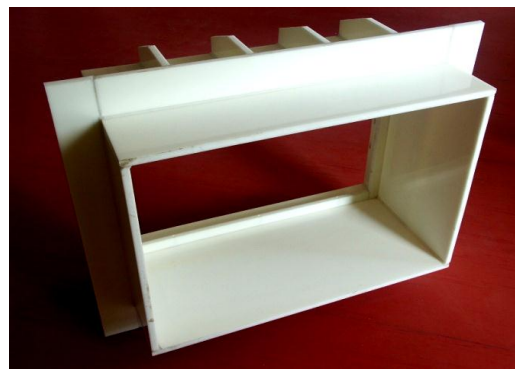
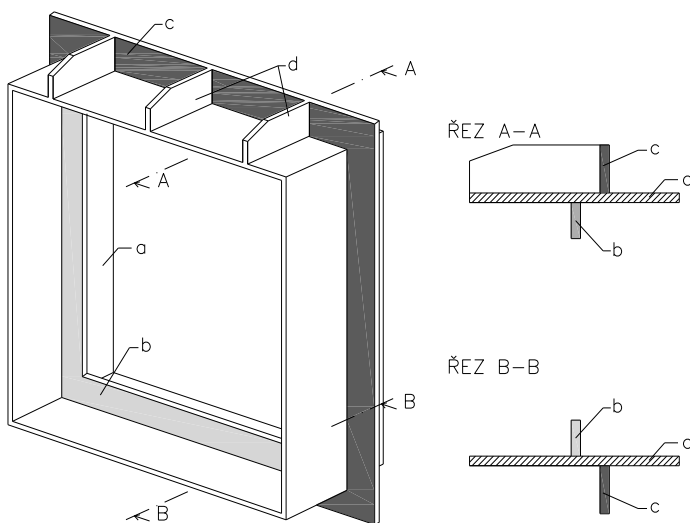


b)



**Obr. 25 Model prototypu I osazovacího rámu – a) detail u parapetu b) detail v nadpraží**

Jako recyklovaný plast pro výrobu osazovacího rámu je použit HDPE – regranulát. Vlastnosti recyklovaného HDPE – regranulátu byly prověřeny řadou testů, které byly provedeny v procesu návrhu osazovacího rámu ve spolupráci s Polymer Institut Brno. Na základě výsledků testů a experimentálně zjištěných mechanických charakteristik byl navržen a modelován výrobek osazovacího rámu obr. 25.



**Obr. 26 Osazovací rám z recyklovaného plastu – axonometrický pohled z exteriéru, a – obvodový rám, b – vnitřní dosedací rám, c – vnější kotvicí rám, d – ztužující výztuhy, model prototypu II osazovacího rámu – vpravo nahoře – pohled z exteriéru vpravo dole – pohled z interiéru**

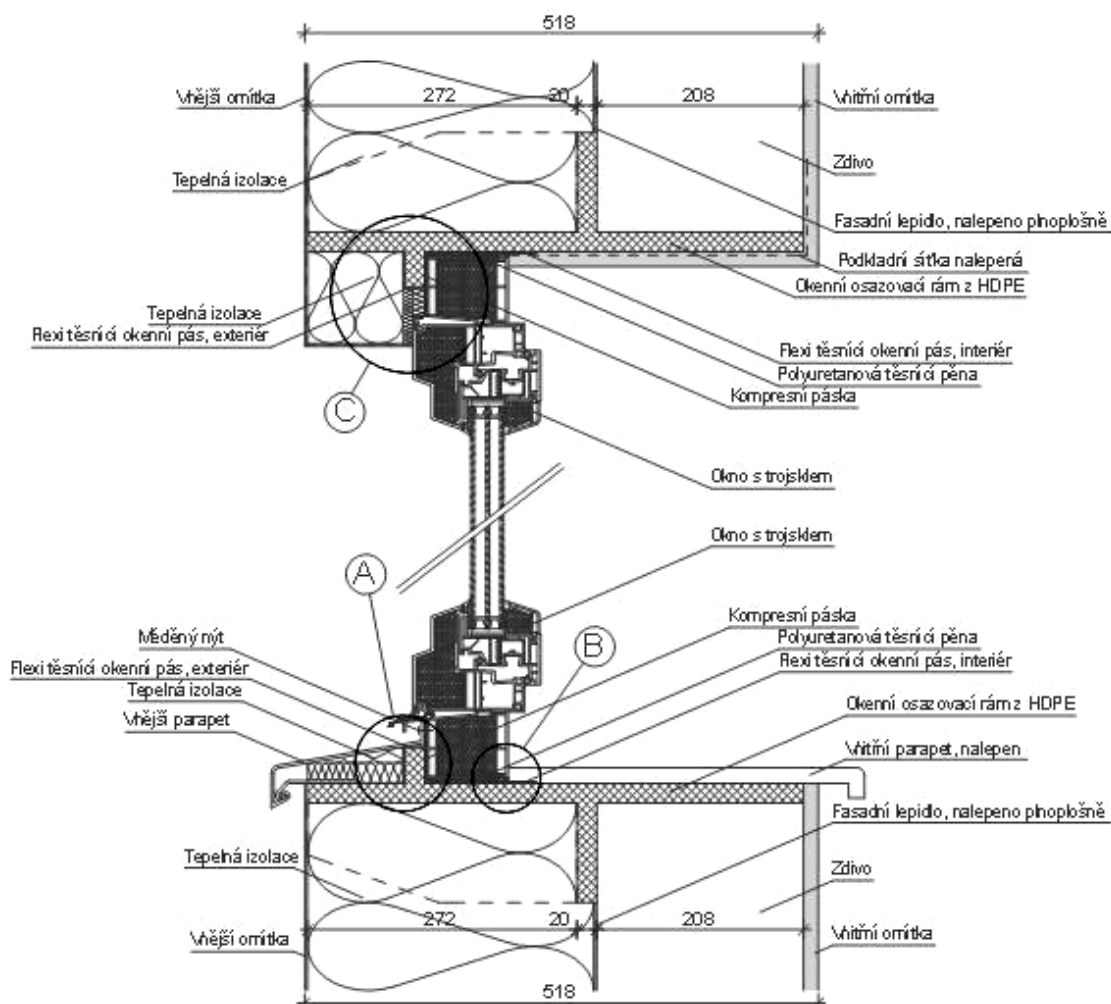
Výrobek je tvořen spojovanými deskami konstantních tlouštěk, které tvoří parapet, ostění a nadpraží otvoru (Obr. 26 – a). Uvnitř rámu jsou osazeny desky kolmo, které obíhají dokola rámu a vytváří vnitřní dosedací rám (Obr. 26 – b), který je rovněž určen jako dosedací plocha výplně otvoru, tj. rámu okna. Současně tento rám vytváří čistý a přesný styk, který zabraňuje vzniku netěsností a s ním spojených problémů vzduchotěsnosti a vodonepropustnosti. Zároveň styk umožňuje polohování výplně otvorů vzhledem k poloze tepelné izolace bez výrazných změn tepelně technických parametrů. Na vnější straně obvodového rámu (Obr. 26 – a), jsou osazeny



desky kolmo, které obíhají dokola rámu a vytváří vnější ztužující rám (Obr. 26 – c). Tento rám slouží pro přesné vymezení polohy výrobku ve skladbě obvodového pláště a zároveň slouží pro ukončení vzduchotěsné vrstvy obálky budovy. Oba tyto rámy, tj. vnitřní i vnější (Obr. 26 – b, c) současně příznivě přispívají ke zvýšení stability a tuhosti celého výrobku. Osazovací rám je ke zlepšení statického chování doplněn na nadpraží ztužujícími výztuhami tvaru obdélníku, trojúhelníku, nebo lichoběžníku (Obr. 26 – d). Osazovací rám je univerzální a je možno jej použít, na základě statického posouzení, pro libovolnou skladbu konstrukce, nebo velikost otvoru, případně jejich kombinaci. Předpokládaný maximální rozměr otvoru je 2500 x 2500 mm. S výhodnějším umístěním ztužujících výztuh byl vyroben model prototypu II osazovacího rámu (Obr. 26).

Rám z recyklovaného plastu pro pasivní domy si současně zachovává výhodu klasických osazovacích rámu, tj.:

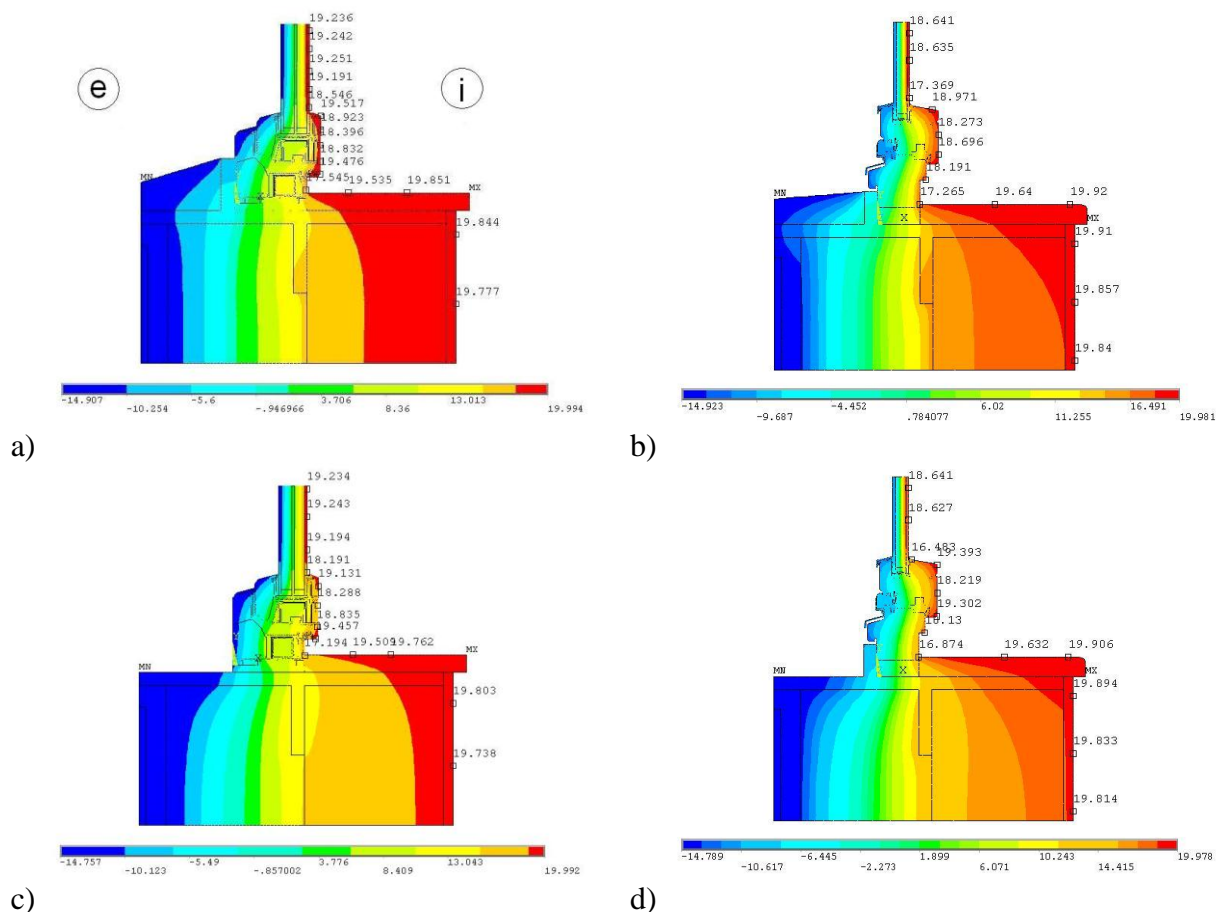
- možnost osazení výplně otvoru po vyhotovení omítek,
- snadnou montáž výplně otvoru z interiéru budovy tzn., není potřeba lešení,
- zlepšení tepelně-technických vlastností rámu výplně otvoru v souvislosti s vytvořením zalomeného ostění doplněného o tepelnou izolaci.



**Obr. 27 Osazení okna s využitím osazovacího rámu z HDPE pro pasivní domy**

Je důležité dbát na správné provedení konstrukčních detailů při osazení okenního rámu do konstrukce Obr. 27. Správné provedení progresivního konstrukčního detailu s použitím osazovacího rámu vede k eliminaci vad a poruch.

Ilustrativní výsledky, na kterých je možné vzájemně porovnat průběhy teplot v konstrukci, včetně uvedení povrchových teplot ve zvolených bodech interiéru, jsou znázorněny na Obr. 28.



**Obr. 28** Výsledky matematické modelace teplotního pole ve výpočtovém systému ANSYS: a) vytvoření zalomeného ostění tepelnou izolací – plastové okno, b) vytvoření zalomeného ostění tepelnou izolací – dřevěné okno, c) prosté ukotvení bez dosedací plochy osazovacího rámu – plastové okno, d) vytvoření osazovacího rámu bez tepelné izolace – dřevěné okno

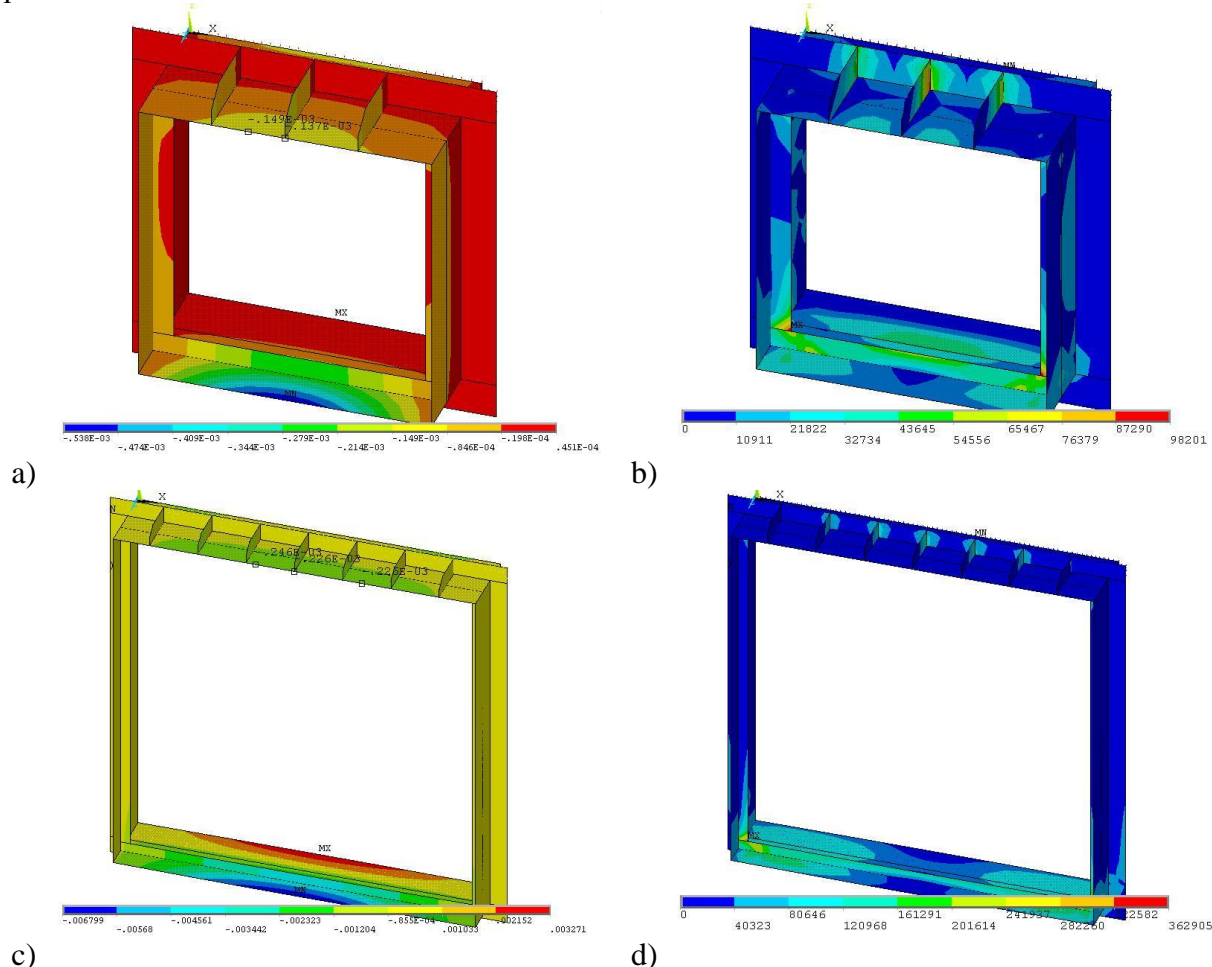
Výsledky matematické modelace teplotního pole jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5). Z uvedených hodnot je zřejmé, že došlo ke zlepšení (výraznému u dřevěného okna) průběhu teplot v konstrukci, zejména v problematickém místě styku obvodové stěny a výplně otvoru. U dřevěného okna v zalomeném ostění vytvořené tepelnou izolací přispívá ke zvýšení nejnižší vnitřní povrchové teploty přibližně o 1,10°C v místě styku okna s parapetní deskou a o 0,19°C na povrchu rámu výplně otvoru. Výsledkem této úpravy ostění je, že rám nepůsobí v detailu jako tepelný most, ale naopak přispívá k celkovému zlepšení tepelně technického chování detailu.

**Tab. 5** Nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu

Varianta kotvení okna	Nejnižší povrchová teplota	
	styk	na rámu
plastové okno – zalomené ostění s tepelnou izolací	17,871	17,664
plastové okno – zalomené ostění bez tepelné izolace	17,645	17,544
plastové okno – bez plochy osazovacího rámu	17,487	17,487
dřevěné okno – zalomené ostění s tepelnou izolací	17,265	15,738
dřevěné okno – zalomené ostění bez tepelné izolace	16,874	15,559

Na základě vyhodnocení analyzovaných alternativ byly vybrány nejvhodnější varianty z hlediska statického, ale i ekonomického. Z těchto variant byl zhotoven nový model osazovacího rámu pro výplně otvorů, který byl podroben podrobnému matematickému modelování pro šířky od 500 mm do 2500 mm a výšky od 500 mm do 2500 mm. Jako modul byla zvolena vzdálenost 250

mm. Na Obr. 29 jsou znázorněny dílčí výsledky, pole svislých posunutí a maximálních hlavních napětí na osazovacím rámu 1000 x 1000 mm a 2500 x 2500 mm.



**Obr. 29** Výsledky matematické modelace statického působení ve výpočtovém systému ANSYS: a) svislý posun rámu 1000 × 1000 mm, b) maximální hlavní napětí na rámu 1000 × 1000 mm, c) svislý posun rámu 2500 × 2500 mm, d) maximální hlavní napětí na rámu 2500 × 2500 mm

**Tab. 6** Výsledky variant maximální příčné (ve směru osy X) a svislé (ve směru osy Y) posuny, maximální hlavní napětí a hmotnosti rámu pro vybrané rozměry

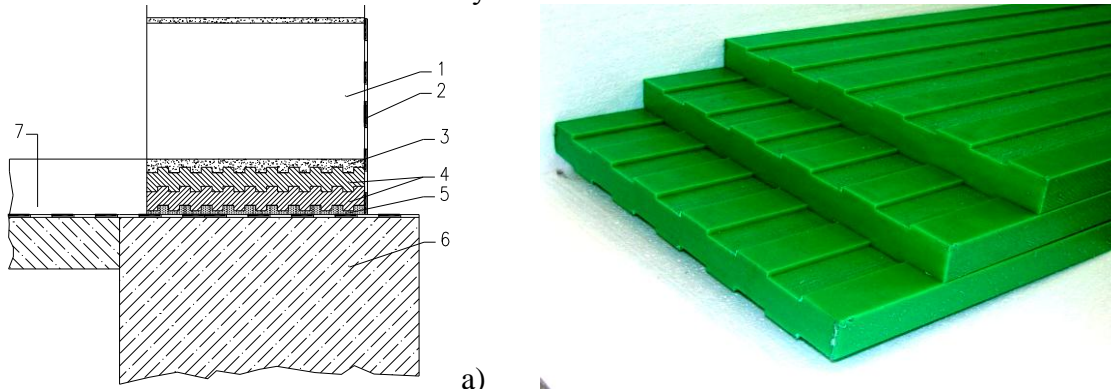
Rozměr rámu [mm]	Průhyb [mm]		Napětí [Pa]	Hmotnost rámu [kg]
	ve směru x	ve směru y		
500 × 500	-0,025	-0,098	83 483	20,63
750 × 750	-0,055	-0,025	90 752	31,17
1000 × 1000	-0,114	-0,141	98 201	53,64
1250 × 1250	-0,222	-0,178	140 628	67,30
1500 × 1500	-0,368	-0,190	182 015	79,75
1750 × 1750	-0,548	-0,190	229 445	93,40
2000 × 2000	-0,532	-0,219	222 005	132,62
2250 × 2250	-0,710	-0,217	332 310	148,18
2500 × 2500	-0,903	-0,219	300 201	163,75

Z uvedených matematických modelací je patrné, že osazovací rám je z hlediska tepelné techniky velice vhodný a materiálové charakteristiky recyklovaného materiálu postačují k bezpečnému přenesení zatížení do nosné konstrukce Tab. 6. V současné době je vyroben prototyp I a II rámu. Dále budou provedeny experimentální zkoušky v měřítku 1:1. Posléze budou zkoušeny dílčí detaily, např. styk rámu s oknem. Osazovací rám je zapsán na Úřadu průmyslového

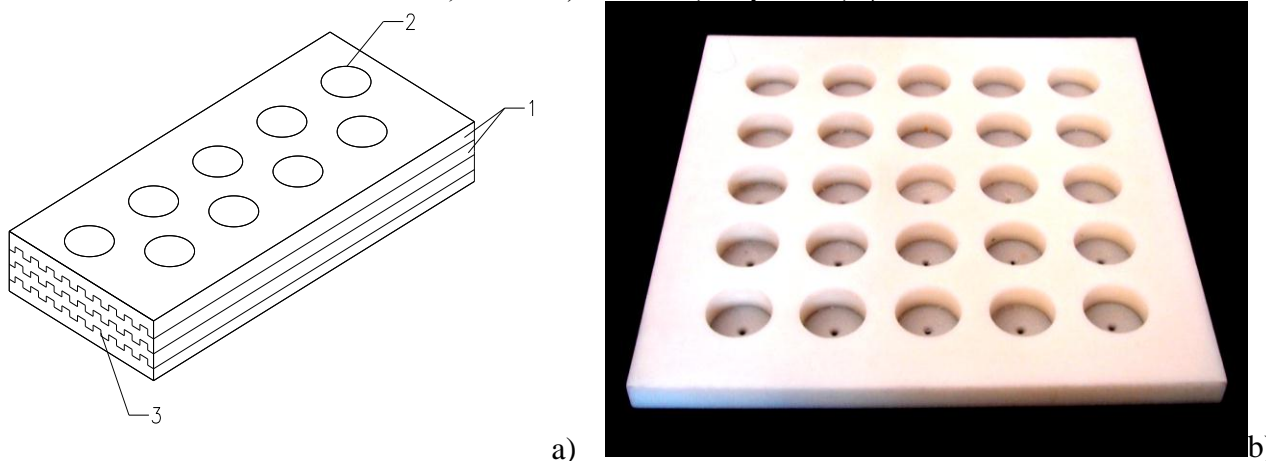
vlastnictví jako užitný vzor a patent v ČR, užitný vzor v SRN, dále u Europäisches Patentamt München, jako patent evropský a v dalších evropských státech validovaný jako zahraniční národní patent.

#### 4.2 IZOLAČNÍ BLOK V SOKLOVÉ OBLASTI OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ

Tepelné mosty vznikají převážně v místech napojení jednotlivých konstrukcí. K optimalizaci tepelných ztrát a tedy i k energetické hospodárnosti objektu přispívají progresivní konstrukční detaily. K nim náleží i pata zdiva nad základem v místě napojení podlahové konstrukce (Obr. 30). Izolační blok tvoří souvrství desek uložených mezi základem a stěnou na maltu.



**Obr. 30** Lokalizace termobloku: a) 1 – zdivo, 2 – hydroizolace, 3 – malta nebo beton, 4 – desky termoizolačního bloku, 5 – malta, 6 – základ, 7 – podlaha, b) izolační blok z HDPE bez otvorů

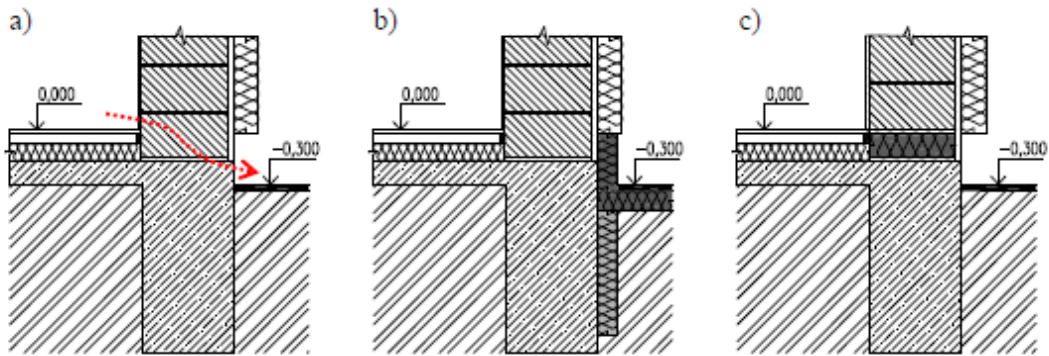


**Obr. 31** Tepelně izolační blok a) 1 – souvrství desek z polymerkompozitu, 2 – otvory pro zvýšení tepelného odporu desek, 3 – spojení desek pomocí drážek, b) prototyp izolačního bloku s otvory

Ke snížení součinitele prostupu tepla by mohla přispět i konstrukční úprava desek, které mají v části své tloušťky vytvořené otvory, které jsou zároveň v deskách nad sebou vzájemně vystřídány Obr. 31. V současné době probíhá dlouhodobý monitoring mechanických vlastností takto vytvořeného izolačního bloku ze souvrství desek na zatěžovacím zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou.

Polymerkompozit převyšuje svými parametry i požadavky na srovnatelné, tradičně používané materiály. Aplikací dochází ke zvýšení kvalitativních vlastností a trvanlivosti stavebně konstrukčního řešení. Jsou vyvíjeny další konstrukční detaily, s uplatněním daného kompozitu vzhledem k jeho pozitivním technickým vlastnostem.

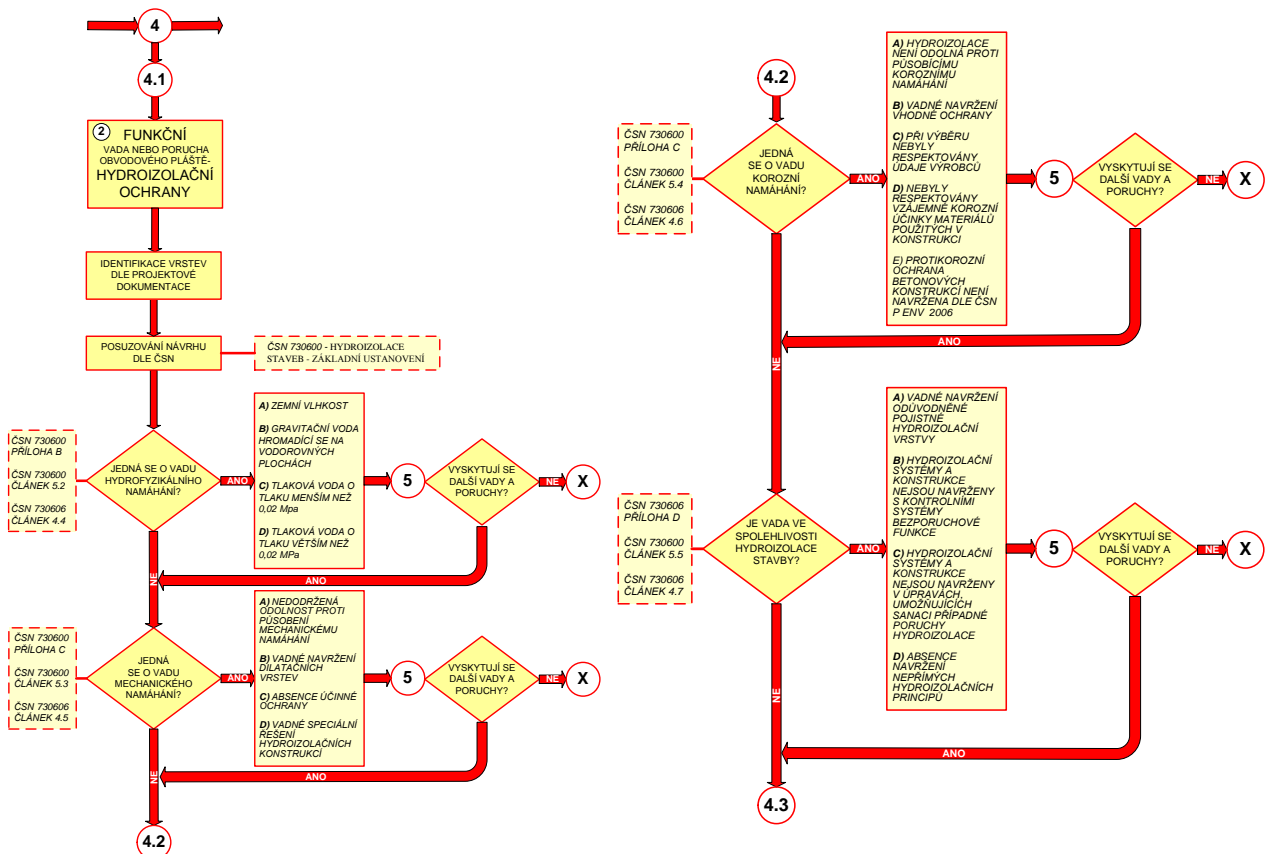
Výsledky vyplývající z provedené analýzy a komparace jsou předpokladem pro využití recyklovaného materiálu (např. plastů a skla) ve stavebnictví za účelem ušetření energie a ochrany životního prostředí při vzájemném ekonomickém zhodnocení.



Obr. 32 Konstrukční detail v patě zdiva: a) s tepelným mostem, b) s ETICS, c) s termopolymerkompozitem

### 4.3 PODKLADNÍ KONSTRUKCE POD PRAHOVOU SPOJKU DVEŘÍ

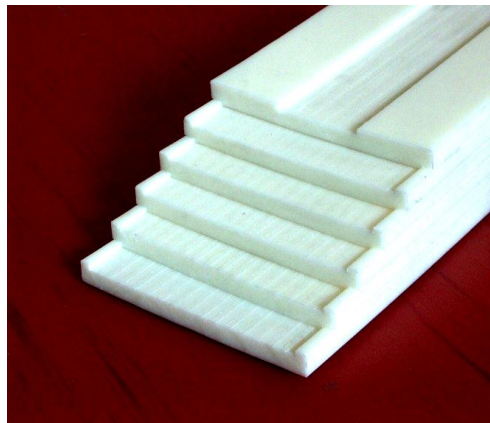
Řešení se týká podkladní konstrukce pod prahovou spojkou rámu vchodových dveří. Byla vyvinuta pro přerušení tepelného mostu a pro vytvoření souvislé hydroizolační ochrany v místě prahové spojky dveří – analýza Obr. 33. Podkladní konstrukce pro prahovou spojkou dveří je chráněna Osvědčením o zápisu užitého vzoru v ČR zároveň byl udělen patent v ČR a v EU.



Obr. 33 Systematická analýza funkční vady nebo poruchy – hydroizolační ochrany obvodového pláště při podrobném šetření, uzel 4.1 – 4.2 – 4.3 – část

Řešení nabízí progresivní konstrukční detail – podkladní konstrukci pro prahovou spojku dveří, která je v místě rámu vchodových dveří vložena do konstrukce podlahy. Skládá se minimálně ze dvou desek z termopolymerkompozitu. Konstrukce desek roznáší dynamické zatížení způsobené provozem do podkladních vrstev. Spojením desek dojde k pevnému a vodě nepropustnému zakončení izolace. V daném případě se jedná o funkční vadu hydrofyzikální ochrany konstrukčního detailu. Pro analýzu tepelně technické funkční vady – tepelného mostu a hydroizolace je možno aplikovat vytvořené algoritmy.

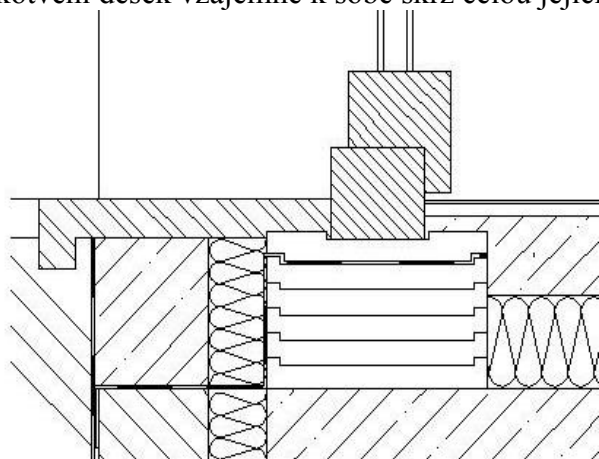
Na základě analýzy byla identifikována vada konstrukčního detailu jak hydroizolační, tak tepelné ochrany. Velkou skupinu tvoří zamezení vzniku tepelných mostů a kvalita zpracování detailu v rámci ukončení jednotlivých hydroizolačních prvků. Jedním z problémů je řešení zmíněného detailu u prahu dveří. Limitní je přiměřená tloušťka z důvodu bezbariérovosti a správná funkčnost výplně otvoru. Desky jsou tvarově řešeny tak, aby do sebe zapadaly, popřípadě na sebe plošně dosedaly a usnadnily technologický postup Obr. 34. Desky se dají snadno upravovat řezáním, čímž se vytvoří přesně požadované rozměry.



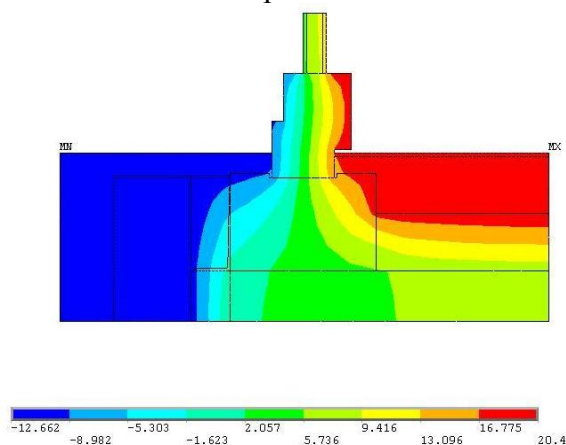
**Obr. 34** Prototyp – varianta C podkladní konstrukce pro prahovou spojku dveří (pro názornost s odsazovanými deskami)

Konstrukce desek roznáší dynamické zatížení způsobené provozem do podkladních vrstev. Desky jsou nenasákové a difúzně uzavřené.

Problém s ukončením hydroizolace řeší tento systém zatažením hydroizolace pod horní desku a překrytím poslední desky. Společným spojením desek dojde k pevnému a vodě nepropustnému zakončení izolace. Pomocí náběhových desek je možno plynule přejít ze svislé hydroizolace na vodorovnou a naopak. Desky je možno lepit, svařovat nebo šroubovat vzájemně. Další možností je ukotvení desek vzájemně k sobě skrz celou jejich vytvořenou tloušťku do podkladní konstrukce.



a)



b)

**Obr. 35** Konstrukční detail prahové podkladové konstrukce a) s fóliovou hydroizolací, b) teplotní pole

Progresivní konstrukční detail zejména pro fóliové hydroizolace z důvodu kolmých spojovacích výlisků je ukázán na Obr. 35. Fóliová hydroizolace se zatáhne na předposlední a pod poslední horní desku. Sevřením mezi dvě desky vznikne spoj odolný proti pronikání vlhkosti do konstrukce. Konstrukční detail na Obr. 35a ukazuje řez dveřním otvorem. Vrchní poslední deska je s tzv. osazovací drážkou pro ukotvení a stabilizaci dveřní spojky popřípadě rámu dveří na pevném místě. Průběh teplot konstrukčního detailu znázorňuje Obr. 35b. Vložené desky účinně zabraňují vzniku tepelného mostu při dostatečné únosnosti. Uvedenou skladbu desek je možné použít například u návaznosti na předložené konstrukce (balkóny, terasy, aj.).

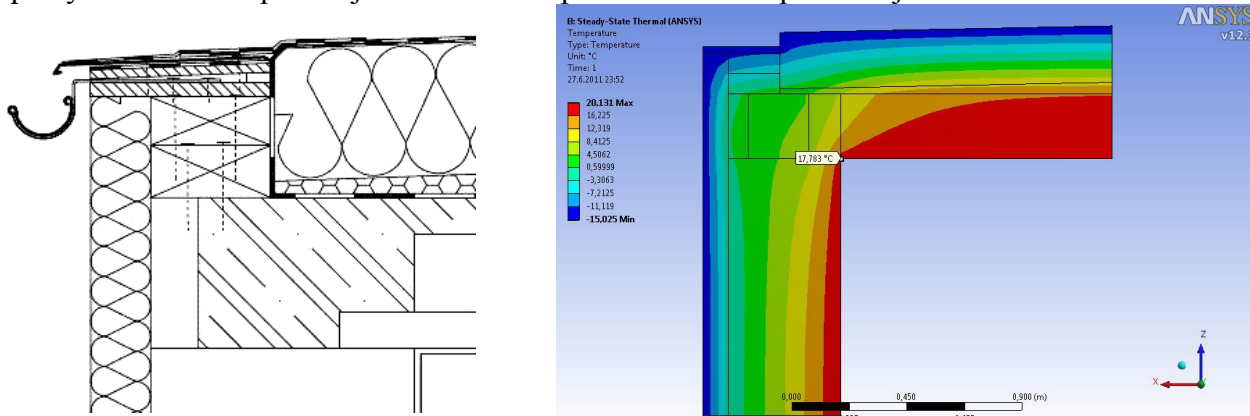
## 4.4 PLOCHÁ STŘECHA

Pro domy s nízkou energetickou náročností je konstrukční detail styku střešního a obvodového pláště bez převislých konstrukcí problematickým místem stavebního objektu. Problematickou pasáží je kotvení klempířských prvků. Jedná se tedy o komplikovaný technický detail, v kterém je nutné řešit protichůdné požadavky na statickou únosnost konstrukce a zároveň minimalizaci tepelného mostu při přechodu obvodového pláště na střešní.

Varianty V1 – V3 konstrukčních řešení byly hodnoceny a komparovány vzhledem k tepelně technickým parametrům a kritériem byly vhodné tepelně technické veličiny – lineární činitel prostupu tepla a vnitřní povrchová teplota.

**Varianta V1 – s použitím dřevěných fošen dřevoštěpkových, příp. cementotřískových desek a tuhé tepelné izolace XPS**

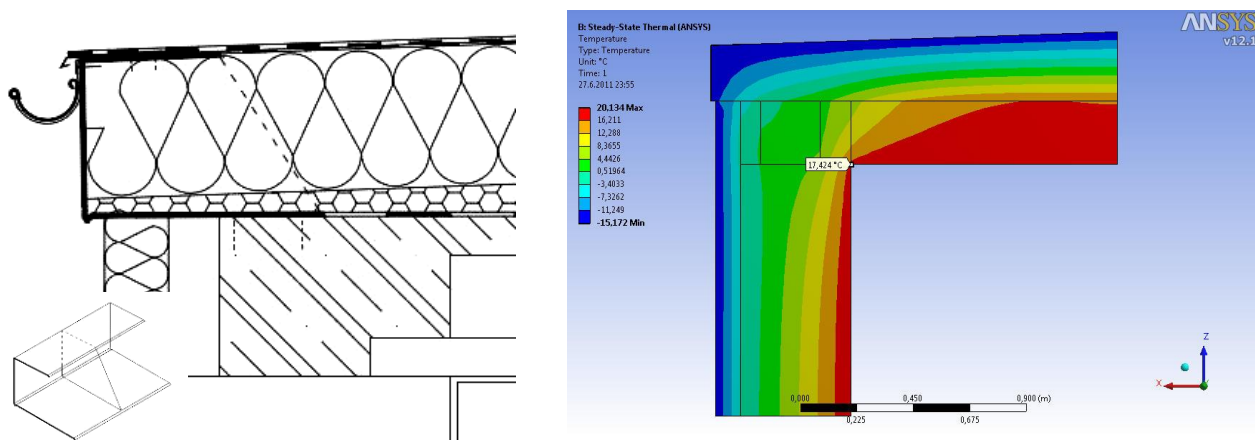
Varianta V1 (Obr. 36) je tradičním řešením tohoto konstrukčního detailu. Podklad pro kotvení klempířských prvků tvoří zpravidla 2 vrstvy fošen. Všechny dřevěné prvky jsou výrazným tepelným mostem a způsobují necelistvost tepelně izolačního pláště objektu.



Obr. 36 Schéma konstrukčního řešení pomocí dřevěných prvků, teplotní pole detailu s dřevěnými prvky (varianta V1)

**Varianta V2 – s použitím ohýbaného plechu tvaru U**

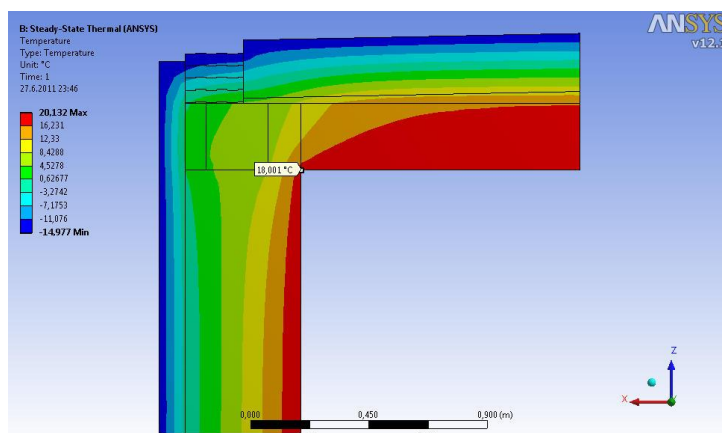
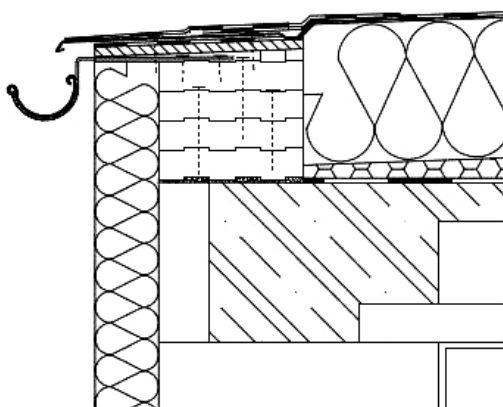
V této konstrukční variantě V2 (Obr. 37) je využit pozinkovaný plech tvaru U o min. tloušťce 1,25 mm. Jeho ztužení je zajištěno pravidelnými plechovými výztuhami. Uvedené řešení není příliš vhodné vzhledem k údržbě, kde je i pro samotný nátěr nutné demontovat část střešní konstrukce. Klempířský prvek o značné tloušťce s jeho výztužnými žebry působí jako tepelný most ve střešním plášti.



Obr. 37 Schéma konstrukčního řešení pomocí klempířského prvku U-tvaru a znázornění ohýbaného prvku s žebrovou výztuží, teplotní pole detailu s užitím plechového U profilu (varianta V2)

### Varianta V3 – inovativní řešení s využitím kompozitního materiálu

Následující řešení V3 (Obr. 38) představuje progresivní přístup s užitím tepelně izolačních bloků z recyklovaného kompozitního materiálu na bázi polymeru a skla. Jednotlivé bloky jsou na sebe vrstveny systémem pero – drážka. Kompozitní materiál zaručuje dostatečnou tuhost a pevnost podkladu pro kotvení klempířských prvků zároveň s kvalitními tepelně izolačními vlastnostmi (tepelná vodivost  $\lambda = 0,09 \text{ W/mK}$ ).



Obr. 38 Schéma konstrukčního řešení užitím tepelně izolačních bloků z kompozitního materiálu, teplotní pole detailu se zabudovaným blokem z termopolymerkompozitu (varianta V3)

Tab. 7 Komparace hodnot lineárního činitele prostupu tepla a vnitřní povrchové teploty

Typ konstrukčního řešení	Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$ [W/mK]	Vnitřní povrchová teplota $\theta_{si}$ [°C]
Var. V1 s využitím dřevěných prvků (fošny, desky)	0,0294	17,783
Var. V2 s využitím plechového prvku U-tvaru	0,0674	17,424
Var. V3 s využitím kompozitního materiálu	0,0104	18,001

Nejnižší hodnoty lineárního činitele prostupu tepla a nejvyšší minimální hodnoty vnitřní povrchové teploty bylo dosaženo ve variantě V3. Ve variantě V1 se projeví absence úseku tepelné izolace v místě dřevěných prvků až skoro trojnásobně vyšší hodnotou lineárního činitele prostupu tepla. Model varianty V2 s použitím ohýbaného plechu tvaru U se ztužujícími žebry prokázal, že tyto klempířské prvky také tvoří značné tepelné mosty a v tomto případě dosahuje lineární činitel prostupu tepla nejvyšší hodnoty. Výsledky analýzy jsou uvedeny v Tab. 7 a prokazují možnost úspěšné aplikace recyklovaného materiálu z odpadních surovin, který zajistí optimální tepelné technické vlastnosti celého progresivního konstrukčního detailu.

Kompozitní materiál na bázi recyklovaných surovin splňuje podle ověřených výsledků všechny požadavky na použití v daném konstrukčním detailu se srovnatelnými parametry již tradičně používaných materiálů. Užitím izolačních desek z moderního materiálu dojde ke zkvalitnění vlastností a trvanlivosti konstrukčního detailu.

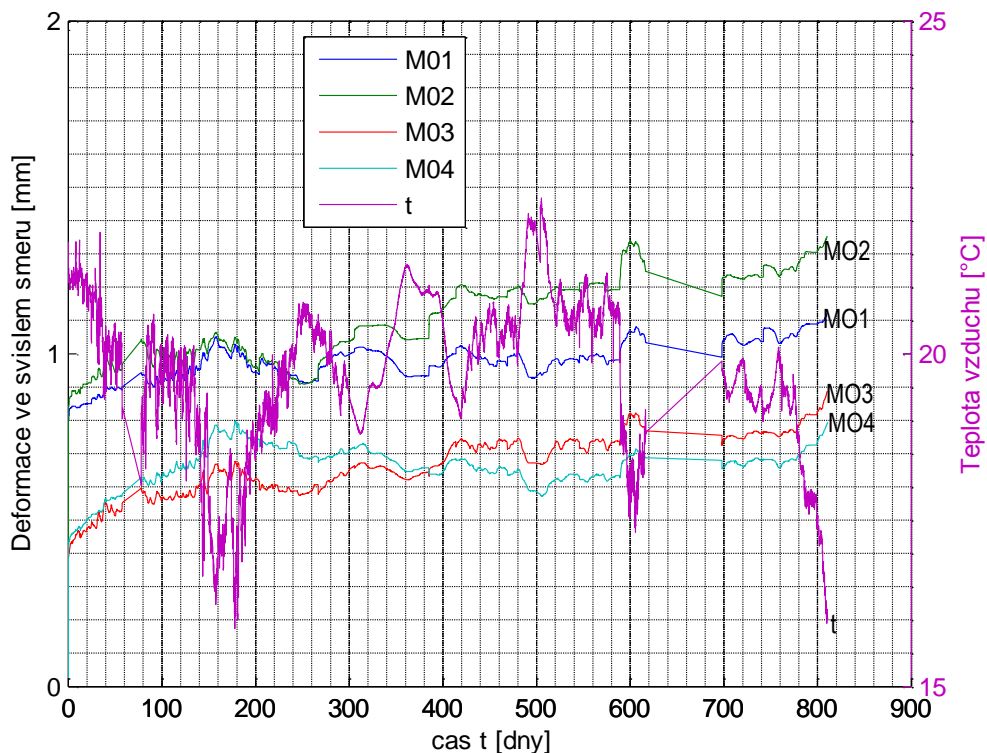
## 5 EXPERIMENT A PREDIKCE

Nedestruktivní dlouhodobé experimentální zkoušky jsou podkladem pro výpočty dle reologických modelů. Na Obr. 39 jsou znázorněny hodnoty svislých deformací izolačního bloku naměřené v intervalu 15 min 4 indukčními snímači dráhy a jedním teplotním čidlem po dobu 800 dní. Cílem bylo predikovat chování materiálu v budoucnosti a ověřit zvolenou metodiku.

Simulace dlouhodobého napětí a ověření dlouhodobého chování izolačního bloku se provádí pomocí zatěžovacího rámu v měřítku 1:1, tj. testováním na reálném zdivu. Šířka desek izolačního bloku je 440 mm, výška je 120 mm ( $3 \times 40 \text{ mm}$ ) a délka je 2000 mm. Izolační blok a zdivo je

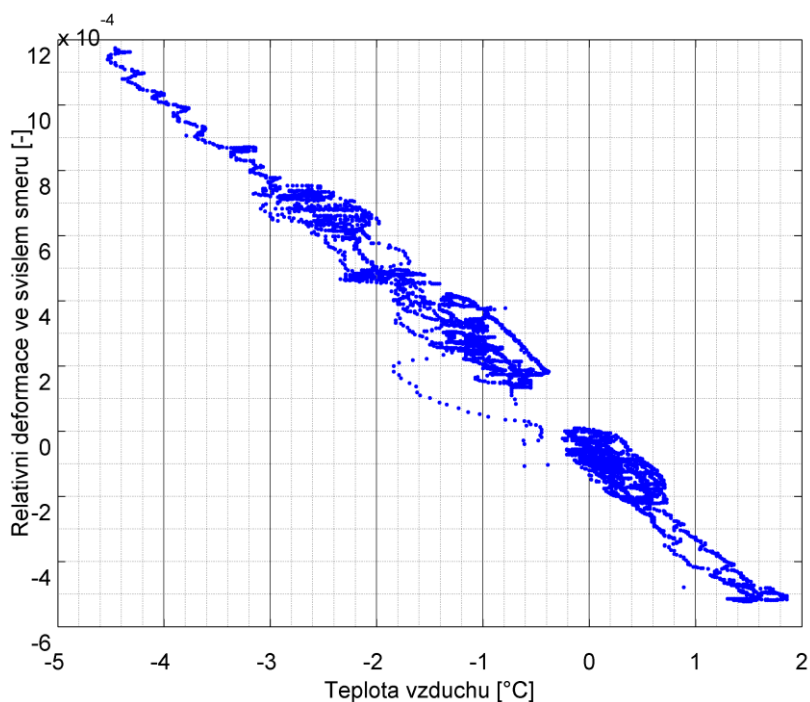


zatíženo přtlakem intenzity 1,2 MPa pomocí řízeného systému vysokotlakých pneumatických vaků. Vertikální a horizontální deformace izolačního bloku v důsledku zatížení, je neustále dlouhodobě měřeno na vybraných úsecích pomocí odporových snímačů vzdálenosti.



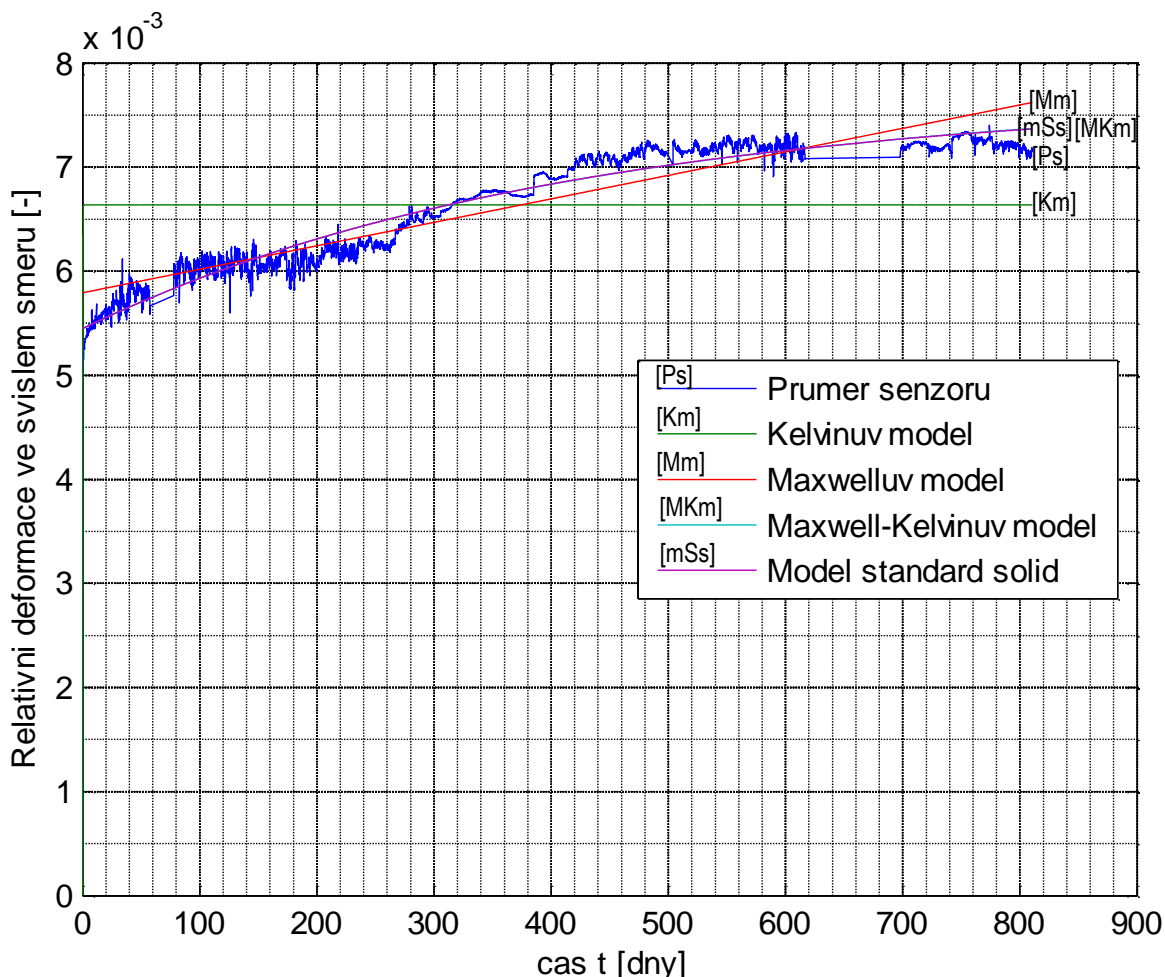
**Obr. 39** Absolutní deformace ve vertikálním směru měřená jednotlivými senzory se znázorněním negativní závislosti deformace na teplotě

Jak je patrné z Obr. 40, který ukazuje závislost vertikální deformace na teplotě, v posledním úseku naměřených dat, kdy se již stabilizovaly dynamické deformace, teplota má podstatný vliv na měřenou deformaci.



**Obr. 40** Závislost relativní vertikální deformace na teplotě

V poslední části naměřených dat jsou dokonce změny způsobené teplotními výkyvy významnější než změny způsobované pokračujícím stlačováním. Cílem experimentálních zkoušek je zjistit dlouhodobé stlačení izolace bloku, aby bylo možné ověřit numericky vypočtené údaje s experimentálními daty a získat křivku tečení pomocí měření v měřítku 1:1. Experimentální údaje slouží rovněž k porovnání obecných reologických modelů viskoelastických materiálů (Maxwellův model, Kelvinův model, Maxwell – Kelvinův model a model Standard solid) [1] a pro výběr nejvhodnějšího reologického modelu pro modelování dlouhodobého chování recyklovaných polymerů, zde z recyklovaného HDPE.



**Obr. 41** Souhrnné výsledky dlouhodobého měření

Dlouhodobé měření je vyjádřeno v grafu na Obr. 41, kde je znázorněna průměrná relativní vertikální deformace ze všech měřících čidel s kompenzací vlivu teploty (modrá čára). Na obrázku jsou rovněž výsledky získané pomocí obecných reologických modelů viskoelastických materiálů. Graf znázorňuje časový interval 800 dní. Pomocí naměřených dat je nalezen poměr deformace a aplikovaného napětí, což je vyjádřeno následujícím vztahem:

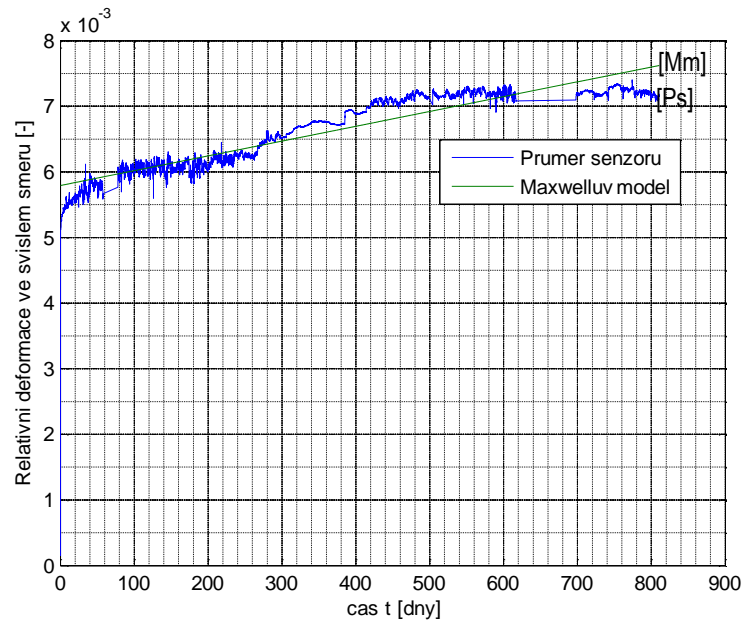
$$D(t) = \varepsilon(t)/\sigma_0 \tag{1}$$

Pro výběr optimálního modelu bylo vytvořeno porovnání naměřených hodnot s průběhem křivek dle jednotlivých modelů na následujících grafech.

Maxwell model:  $D(t) = 1/E_0 + t/\tau E_0$

(2)

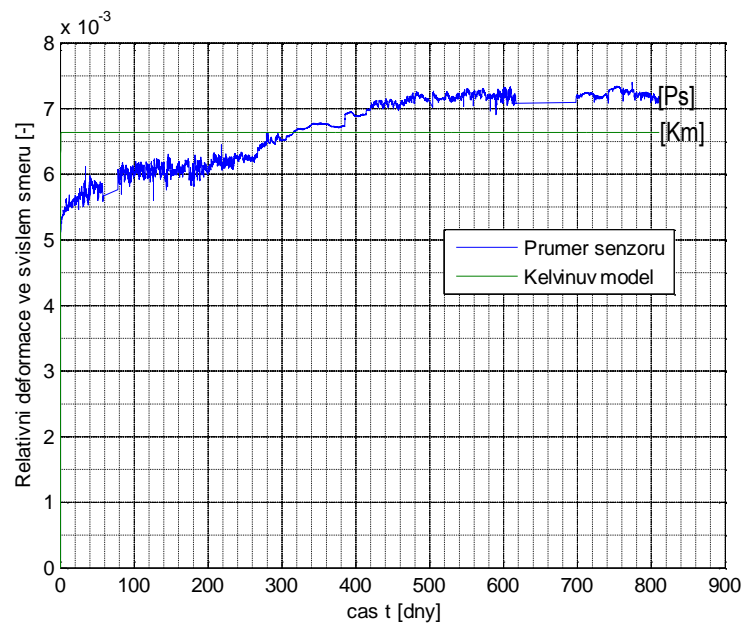
$E_0 = 206,79; \tau = 2566,4$



**Obr. 42** Srovnání naměřených, teplotně kompenzovaných dat s výstupem Maxwellova modelu  
Kelvin model:  $D(t) = 1/E_0[1-\exp(t-\tau)]$

(3)

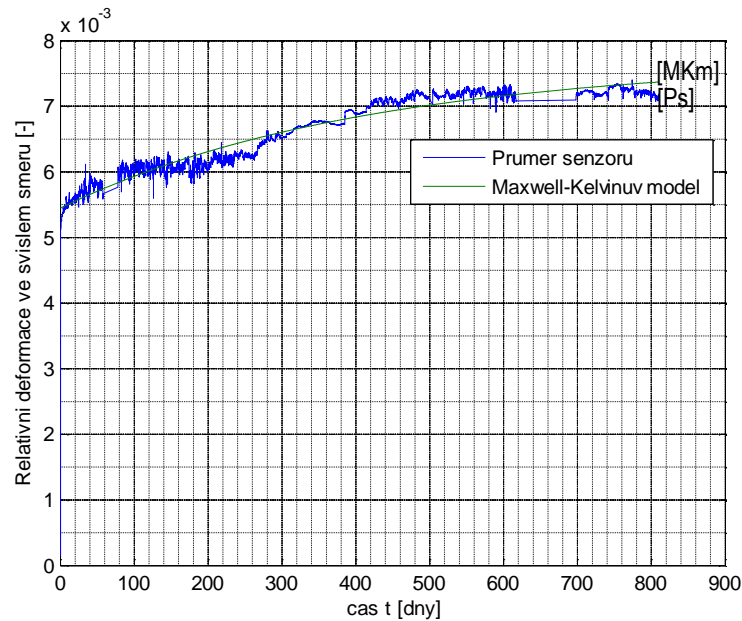
$E_0 = 180,39; \tau = 0.13080$



**Obr. 43** Srovnání naměřených, teplotně kompenzovaných dat s výstupem Kelvinova modelu

Maxwell-Kelvin model:  $D(t) = 1/E_0 + 1/\tau_1 E_0 + (1/E_2)[1 - \exp(-t/\tau_2)]$  (4)

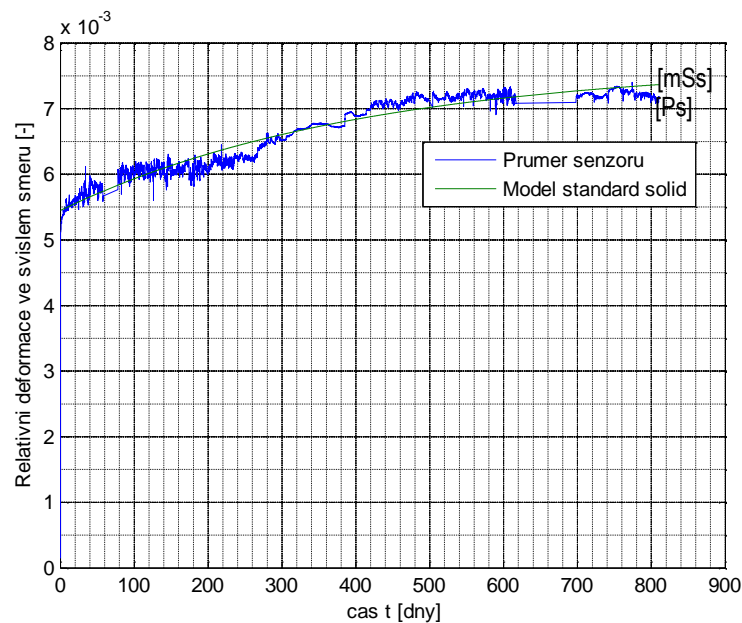
$E_0 = 219,87; E_2 = 562,72; \tau_1 = 63899,1; \tau_2 = 395,67$



**Obr. 44 Srovnání naměřených, teplotně kompenzovaných dat s výstupem Maxwell –Kelvinova modelu**  
Standard solid model:  $D(t) = 1/E_0 + (1/E_2)[1 - \exp(-t/\tau_2)]$

(5)

$E_0 = 219,87; E_2 = 538,28; \tau_2 = 408,38$

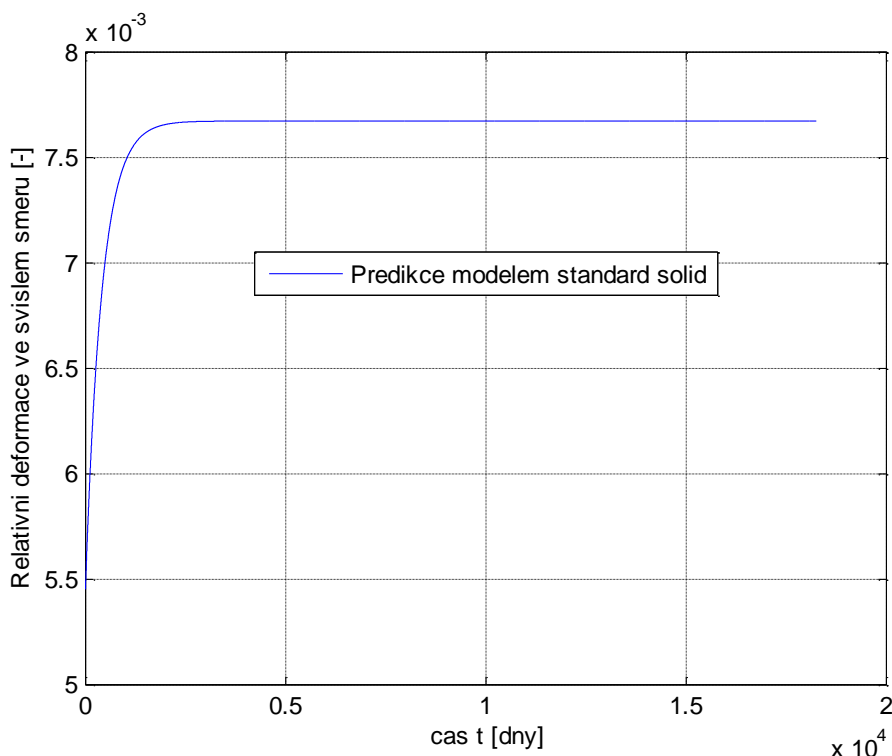


**Obr. 45 Srovnání naměřených, teplotně kompenzovaných dat s výstupem modelu Standard solid**

Odpadní polymery obecně mohou hrát důležitou roli při výběru stavebních materiálů v budoucnosti. Odolnost proti povětrnostnímu stárnutí, požární odolnost a tepelně technické a mechanické vlastnosti lze zlepšit. Vzhledem k povaze polymerů je třeba vyzkoušet, ověřit, a předvídat jejich dlouhodobé chování. Toho lze dosáhnout pomocí experimentálního testování a modelování na základě obecných reologických modelů pro viskoelastické materiály.

Na základě porovnaných výsledků optimalizace různých reologických modelů viskoelastických materiálů pro izolační blok z HDPE Obr. 45 lze konstatovat, že reologický model Standard solid

představuje nej přesnější popis chování izolačního bloku v rámci dlouhodobého zatížení tlakem. Vhodnost tohoto modelu je potvrzena porovnáním hodnot kritéria, kterým byla metoda nejmenšího součtu čtverců.



**Obr. 46** Predikce poměrné deformace s využitím modelu Standard solid pro období 50 roků

V rámci modelování dlouhodobého chování izolačního bloku pro období 50. let je možno predikovat, že od počátku zatížení bude maximální stlačení činit 0,7673 % z původní tloušťky desek, tedy v absolutní hodnotě pro dané souvrství činí deformace 0,9207 mm. K největšímu stlačení dochází bezprostředně po zatížení v období 30 dnů.

## 6 ZÁVĚR

**Progresivní konstrukční detaily jsou nejenom teoretickým, ale i praktickým interdisciplinárním subsystémem, který v sobě zahrnuje princip synergie snižování energetické náročnosti, kvality konstrukčních detailů a využití druhotných surovin.**

V habilitační práci jsou uvedeny hlavní vývojové a výzkumné cíle, které jsou na sobě přímo závislé. Pro výzkum materiálové báze bylo nutno vyvinout bázi technologickou pro výrobu zkušebních vzorků a prototypů a pro jejich objektivní zkoušky a posouzení. **Jak báze materiálová, tak i technologická byly základem pro vývoj progresivních konstrukčních detailů.**

Pro komplexní přístup **výzkumu a vývoje konstrukčních prvků pro eliminaci identifikovaných vad** a k vyšetřování stavební konstrukce – progresivního konstrukčního detailu byla autorem navržena a použita metoda MAP (Monitoring, Analýza, Predikce). **Materiálová báze**

Pro eliminaci vad obvodového pláště a pro progresivní konstrukční detaily bylo nutno vyvinout materiál s požadovanými mechanickými a tepelně technickými vlastnostmi. Byly vyvinuty v rámci materiálové báze nové **kompozitní polymery a tepelně izolační kompozitní polymer** (termopolymerkompozit) s využitím recyklovaného polymeru a plniva. Výchozím materiálem pro výrobu desek byl zejména recyklovaný polymer a sklo. Postupným dílčím cílem bylo zkvalitnění mechanických a tepelně izolačních vlastností polymerů z regranulátu.

## Technologická báze

Pro zkvalitnění užitných vlastností a pro ověření výroby vzorků modifikovaných kompozitů byl vyvinut a vyroben v rámci technologické báze speciální **lisovací nástroj s řízenou termoregulací a s chlazením**. Následně byla na prototypu ověřena technologie výroby zkušebních vzorků na předemném lisovacím nástroji. Pro ověření mechanických vlastností polymerních plastů byla vyvinuta **zatěžovací stolice s konstantním přtlakem** pro menší zkušební tělesa. **Zatěžovací rám** byl vyvinut jako prototyp pro ověření vlastností izolačního bloku při simulovaném zatížení zdívkou obvodového pláště. Dále bylo sestrojeno **zatěžovací zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou**. Výše uvedená zařízení a polymerkompozity byly nezbytnými prostředky pro naplnění stěžejních výsledků práce při vývoji produktů pro progresivní konstrukční detaily. Byly použity alternativní metody pro zkoušení polymerkompozitů v tlaku, vzhledem k tomu, že tato problematika není normativně řešena.

## Progresivní konstrukční detaily

Termopolymerkompozit z druhotných surovin, se stal novým materiálem, který je základem produktů, z nichž jsou navrženy progresivní konstrukční detaily. Jedná se o následující prototypy, které jsou aplikovány v příslušných konstrukčních detailech:

- **osazovací rám okna**, z desek z recyklovaného polymeru, který eliminuje vady v osazení oken pro energeticky pasivní a nízkoenergetické domy,
- **izolační blok** pro přerušování tepelných mostů:
  - mezi základem a stěnou v úrovni podlahy nebo,
  - pod stěnou uvnitř dispozice v podlaží na terénu, případně
  - jako tepelná izolace mezi obvodovým zdívkou a atikou,
- **podklad pod prahovou spojkou dveří**, pro vchodové dveře; svým uspořádáním umožňuje vhodné spojení s hydroizolací, vytváří vhodnou tepelnou izolaci, která může být dynamicky namáhána,
- **ukončení ploché střechy**, polymerkompozit je možno s výhodou použít jako tepelný izolant, tak i materiál, který je dostatečně pevný pro kotvení doplňkových konstrukcí.

Na vynálezy, jako výsledky výše uvedené produkty vynálezecké činnosti, které jsou zároveň průmyslově využitelné, byly uděleny užité vzory, patenty, jak v ČR, tak i v EU. **V souvislosti s vývojem produktů umožňujících návrh inovovaných progresivních konstrukčních detailů bylo podáno celkem více než 30 vynálezů.**

## Experiment a predikce

Simulace dlouhodobého napětí a ověření dlouhodobého chování izolačního bloku byla provedena pomocí zatěžovacího rámu na reálném zdivu. Dlouhodobě jsou monitorovány deformační vlastnosti materiálů z recyklovaných polymerů při působení konstantního tlaku. Cílem experimentálních zkoušek bylo zjistit dlouhodobé stlačení (po 800 dnech) izolačního bloku, aby bylo možné ověřit numericky vypočtené údaje s experimentálními daty a získat křivku tečení pomocí měření na kvazireálném modelu. Experimentální údaje slouží rovněž ke komparaci obecných reologických modelů viskoelastických materiálů (Maxwellův model, Kelvinův model, Maxwell – Kelvinův model a model Standard solid). Na základě porovnaných výsledků optimalizace různých reologických modelů viskoelastických materiálů lze konstatovat, že reologický **model Standard solid představuje nejpřesnější popis chování izolačního bloku z HDPE** v rámci dlouhodobého zatížení tlakem. V rámci modelování dlouhodobého chování izolačního bloku pro období 50. let je možno predikovat, že od počátku zatížení bude maximální stlačení činit max 1 % z původní tloušťky desek. K největšímu stlačení dochází bezprostředně po zatížení v období prvních 30 dnů. **Experiment prokázal možnost použití recyklovaného polymeru jako izolačního bloku při reálném zatížení např. obvodovou stěnou budovy.**

Mnohé z uvedených námětů a poznatků byly ověřeny nebo realizovány v praxi. Z vlastních zkušeností získaných při realizaci staveb, při zpracování projektů a při aplikaci speciálních zkušebních metod, vyplynuly nové informace a jejich možné využití v praxi.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

Uvedeny jsou jen vybrané publikace

- [1 ] BARBERO, Ever J. Finite element analysis of composite materials. Boca Raton: CRC Press, 2007, 360 s. ISBN 14-200-5433-3.
- [2 ] BARBERO, Ever J. Introduction to composite materials design. 2nd ed. Boca Raton: Taylor, 2011, 520 p. ISBN 978-142-0079-159.
- [3 ] BOWER, Allan. Applied Mechanics of Solids: IUPAC recommendations, 2008. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2010, 544 s. ISBN 978-1-4398-0247-2.
- [4 ] DROCHYTKA, Rostislav. Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí MSM 0021630511. Brno, 2005 – 2011. FAST VUT v Brně.
- [5 ] DROCHYTKA, Rostislav. Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich vyšší trvanlivosti ve stavebních konstrukcích VVZ MSM 261100008: DT 8 Výzkum a vývoj konstrukčních systémů v pozemních stavbách – Výzkumné zprávy 1999 – 2004. Brno, 1999 – 2004. FAST VUT v Brně.
- [6 ] GARGALLO, Ligia, DEODATO, Radic. Physicochemical behavior and supramolecular organization of polymers: an introduction. 1st ed. New York: Springer, 2009, 242 s. ISBN 978-140-2093-715.
- [7 ] HÁJEK, Petr, a kol. Building Structures and Sustainable development – 3rd Stage, Report for Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic. CTU in Prague 2002.
- [8 ] CHYBÍK, Josef. Průzkum subjektivního hodnocení mikroklimatu pasivního domu. In Pasivní domy 2008. 1. Vydání. Brno: Centrum pasivního domu, 2008. 1 s. 44-49. ISBN 978-80254-284.
- [9 ] MANTIA, Francesco La. Handbook of plastics recycling. 2nd ed. Shawbury, Shrewsbury: Rapra Technology Limited, 2002, 442 s. ISBN 978-185-9573-259.
- [10 ] MATĚJKA, Libor, ŠINOGL, Jiří, PĚNČÍK, Jan. Der Blendrahmen. Nr. EP 07017836, München: Europäisches Patentamt München, EU, 18. 2. 2009.
- [11 ] MATĚJKA, Libor.; MATĚJKA, Libor. Využití recyklovaného materiálu HDPE v konstrukci paty zdiva pro kritéria vyhodnocování tepelných mostů. In Zborník z konference s medzinárodnou účasťou Poruchy a obnova obalových konštrukcií budov. Košice, Slovensko, Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta. 2011. p. 1 - 6. ISBN 978-80-553-0651-3.
- [12 ] MATĚJKA, Libor; MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Konstrukční detail ukončení ploché střechy z hlediska tepelných mostů. Časopis Stavebnictví. 2012, VI, 03/2012, s. 25-27. ISSN: 1802-2030.
- [13 ] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Dämblockelement zur Unterbrechung von Wärmebrücken im Fussbereich des Mauerwerks. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor., ŠINOGL, Jiří., PĚNČÍK, Jan. EU. Patentový spis EP 1918471. 2009-08-05; (EU patent)
- [14 ] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Material deformation testing stand for the long-term monitoring of deformation characteristics under constant pressure. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; ŽÍTT, Petr. EU. EP 2078948. 2009-12-30; (EU patent)
- [15 ] VUT v Brně, FAST. Zatěžovací stolice pro dlouhodobé sledování deformačních vlastností s konstantním přitlakem. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; ŽÍTT, Petr. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 301364. 2009-12-17
- [16 ] VUT v Brně. Tepelně izolační kompozitní plast. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 302 851. 2011-12-14
- [17 ] VUT v Brně. Zatěžovací zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 20501. 2010-02-08

- [18] WEISS, Reinhard. Vergleichende Untersuchung verschiedener Strategien zur Optimierung der Raumlufffeuchte. In *Pasivní domy 2008*. 1. Auflage. Brno: Centrum pasivního domu, 2008. 5 s. 270-276. ISBN 978-80254-284.
- [19] WINEMAN, Alan S, RAJAGOPAL, Kumbakoman Ramamani. Mechanical response of polymers: an introduction. New York: Cambridge University Press, 2000, 328 s. ISBN 05-216-4409-7.

## 8 SEZNAM HLAVNÍ BIBLIOGRAFIE AUTORA

### Publikace

- [1] PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor; MATĚJKA, Lukáš. Thermal and static analysis of an insulation block from recycled polymer HDPE for solution of thermal bridges in wall-footing detail. *Key Engineering Materials: Advances in Fracture and Damage Mechanics XI*. 2013, 525-526, s. 473-476. ISSN 1013-9826.
- [2] POSPÍŠIL, Tomáš; PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor; KALUŽOVÁ, Alena; DOSTÁLOVÁ, Darina. Solution of thermal bridge under the opening in the cladding by means of support structure for a doors threshold made of thermal insulation composite materiál. *Key Engineering Materials: 2013*. ISSN 1013-9826
- [3] MATĚJKA, L.; MOJŽÍŠOVÁ, A., K vadám a poruchám - vymezení definic a pojmů, *Soudní inženýrství*, s. 30 – 33, ISSN 1211-443X, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2010.
- [4] PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor. FEA analysis and monitoring of long-term behavior of an insulation block from recycled polymer HDPE. *Advanced Materials Research: Key Engineering Materials and Computer Science*. 2011, 320, s. 363-368. ISSN 1022-6680.
- [5] MATĚJKA, L.; MATĚJKA, L., Tepelnoizolačné kompozitné materiály na báze druhotných surovín, článok v *Stavebné materiály – špeciál*, ISSN 1336-7617, JAGA GROUP, s. r. o., Bratislava, 2011.
- [6] MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Design details of low-energy and passive houses using composites from waste raw materials. *Journal of Civil Engineering and Architecture, USA*. 2011, 5, 5, s. 440-453. ISSN 1934-7359.
- [7] MATĚJKA, Libor; MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Konstrukční detail ukončení ploché střechy z hlediska tepelných mostů. *Časopis Stavebnictví*. 2012, VI, 03/2012, s. 25-27. ISSN: 1802-2030.
- [8] PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor; KALUŽOVÁ, Alena; MATĚJKA, Libor; DOSTÁLOVÁ, Darina; POSPÍŠIL, Tomáš. Development of thermal insulation composite material from recycled polymer and recycled glass. *Advanced Materials Research: Emerging Materials and Mechanics Applications*. 2012, 487, s. 701-705. ISSN 1022-6680.
- [9] MATĚJKA, Libor; MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; KALUŽOVÁ, Alena; POSPÍŠIL, Tomáš; DOSTÁLOVÁ, Darina. Use of thermal insulation composite material based on secondary raw materials for elimination of thermal bridge in the structure of flat roof parapet. *Applied Mechanics and Materials : Advanced Building Materials and Sustainable Architecture*. 2012, 174-177, s. 1455-1458. ISSN 1660-9336.
- [10] KALUŽOVÁ, Alena; PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor; MATĚJKA, Libor; POSPÍŠIL, Tomáš; DOSTÁLOVÁ, Darina. Production of thermal insulation composite material based on polymers. *Advanced Materials Research : Advanced Engineering Materials II*. 2012, 535-537, s. 239-242. ISSN 1022-6680.
- [11] MATĚJKA, Libor. The Defect of Structural of a Building. In *RADUJKOVIČ, Mladen, MLINARIČ, Vjeran. Organization, technology and management in construction*. Zagreb : Katalogizacija u publikaciji Nacionalna i sveučilišna knjižnica, 2006. s. 36. ISBN 953 – 96245 – 6 – 8.



- [12] PĚNČÍK, Jan, MATĚJKA, Libor. Insulating block for elimination of thermal bridge. In Proceeding of the 5th International Conference on Construction in the 21th Century CITC-V. Istanbul, Turkey. vyd. CITC-V: Miami, Florida, USA, 2009. s. 107 (1655-1662). ISBN 1-884342-02-7.
- [13] MATĚJKA, Libor, PĚNČÍK, Jan. Polymer window subframe for passive houses. In Proceeding of the 5th International Conference on Construction in the 21th Century CITC-V. Istanbul, Turkey. vyd. CITC-V : Miami, Florida, USA, 2009. s. 107 (1663-1671). ISBN 1-884342-02-7.
- [14] PĚNČÍK, Jan., MATĚJKA, Libor. Design and Analysis of Insulation Blocks for Masonry Structures. In Proceeding of 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing. Madeira, Portugal. vyd. CITC-V: Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom, 2009. s. 106 (1-13). ISBN 978-1-905088-32-4.
- [15] MATĚJKA, Libor, PĚNČÍK, Jan. Design and Analysis of Window Sub-Frames from Recycled Polymers. In Proceeding of 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing. Funchal. Madeira, Portugal. vyd. CITC-V: Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom, 2009. p. 110. ISBN 978-1-905088-32-4.
- [16] MATĚJKA, Libor, PĚNČÍK, Jan. Using of recycled polymers for solution of critical details in low-energy and passive houses. In Proceeding of the 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of energy, water and environment systems. Dubrovnik, Croatia. vyd. Zagreb, Croatia : Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, 2009. s. 394 (1–14). ISBN 978-953-6313-97-6.
- [17] PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor. Insulation block for elimination of thermal bridge. In Conference on Construction in the 21th Century CITC-V. Istanbul, Turkey : CITC-V, Miami, Florida, USA, 2009. s. 107. ISBN: 1-884342-02-7.
- [18] PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor. Numerical modeling of behavior of an insulation block from recycled polymers. In Advances and Trends in Structural Engineering, Mechanics and Computation. (SEMCS 2010, Cape Town, South Africa) Leiden, Netherlands: CRC Press/Balkema, 2010. s. 1297-1300. ISBN 978-0-415-58472-2.
- [19] PĚNČÍK, Jan; MATĚJKA, Libor. Examples of using of recycled polymers (HDPE, PP) for solution of construction details. In Central Europe towards Sustainable Building from Theory to Practice - CESB 10. Praha, Česká republika: Grada Publishing a.s., 2010. s. 433-436. ISBN: 978-80-247-3634-1.
- [20] MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Analysis of long-term behavior of an insulation block from recycled HDPE by compress loading. In Engineering mechanics 2011. Svatka, Česká republika: Institute of Thermomechanics AV ČR, 2011. s. 383-386. ISBN: 978-80-87012-33-8.
- [21] MATĚJKA, Libor, PĚNČÍK, Jan, ŠINOGL, Jiří. Osazovací rám okna pasivního domu z druhotných surovin. In MELCHER, Jindřich, KARMAZÍNOVÁ, Marcela. Experiment 2007. 1. vyd. Brno: Cerm, s.r.o., 2007. s. 307 – 314. ISBN 978 – 80 – 7204 – 543 – 3.
- Zahraniční patent
- [22] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Der Blendrahmen. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. European Patent Office – EPO. EP 1918500. 2009-02-1.
- [23] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Dämblockelement zur Unterbrechung von Wärmebrücken im Fussbereich des Mauerwerks. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. European Patent Office – EPO. EP 1918471. 2009-08-05.
- [24] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Material deformation testing stand for the long-term monitoring of deformation characteristics under constant pressure. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; ŽÍTT, Petr. European Patent Office – EPO. EP 2078948. 2009-12-30.

- [25] VUT v Brně, FAST, ÚPST. MATĚJKA, Libor; SMOLKA, Radim; Support structures for a doors threshold. European Patent Office – EPO. EP 2 159 364. 2012-02-29.
- [26] Validace EU patentu EP 1918500 v zemích EU (tj. národní zahraniční patenty): VUT v Brně, FAST, ÚPST. Der Blendrahmen. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Validováno v AT, CH, DE, DK, FR, GB, LI, NL, PL, SE, SI a SK.
- [27] Validace EU patentu EP 1918471 v zemích EU (tj. národní zahraniční patenty): VUT v Brně, FAST, ÚPST. Dämblockelement zur Unterbrechung von Wärmebrücken im Fussbereich des Mauerwerks. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Validováno v AT, CH, DE, DK, FR, GB, LI, NL, PL, SE, SI a SK.
- [28] Validace EU patentu EP 2078948 v zemích EU (tj. národní zahraniční patenty): VUT v Brně, FAST, ÚPST. Material deformation testing stand for the long-term monitoring of deformation characteristics under constant pressure. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Validováno v AT, BE, CH, DE, DK, FR, GB, IE, LT, NL, PL, SE, SI a SK.
- Patent v ČR
- [29] VUT v Brně, FAST. Zatěžovací stolice pro dlouhodobé sledování deformačních vlastností s konstantním přitlakem. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; ŽÍTT, Petr. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 301364. 2009-12-17.
- [30] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Izolační blok pro přerušení tepelného mostu v patě zdiva. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 301069. 2009-10-29.
- [31] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Osazovací rám. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 300586. 2009-06-24.
- [32] VUT v Brně. Tepelně izolační kompozitní plast. Původce vynálezu: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 302 851. 2011-02-11.
- [33] VUT v Brně. Způsob výroby izolačních desek pro izolační blok z kompozitního materiálu a lisovací forma k jeho výrobě. Původce: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; KUČERA, Jaroslav. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 302658. 2011-08-17.
- [34] VUT v Brně. Rám se zatěžovacími vysokotlakými vaky. Původce: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. P 302 970. 2011-12-16.
- Autorské osvědčení – užžitný vzor
- [35] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Osazovací rám. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 17687. 2007-07-30.
- [36] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Der Blendrahmen. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Deutsches Patent- und Markenamt. UV (Gebrauchsmusters) 20 2007 008 352.1. 2007-10-31.
- [37] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Izolační blok pro přerušení tepelného mostu v patě zdiva. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 18118. 2007-12-14.
- [38] VUT v Brně, FAST, ÚPST. Dämblockelement zur Unterbrechung von Wärmebrücken im Fussbereich des Mauerwerks. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; ŠINOGL, Jiří; PĚNČÍK, Jan. Deutsches Patent- und Markenamt. UV (Gebrauchsmusters) 20 2007 012 811.8. 2008-03-06.
- [39] VUT v Brně. Podkladní konstrukce pro prahovou spojku dveří. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; Smolka Radim. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 19112. 2008-11-24.

- [40] VUT v Brně. Zatěžovací stolice pro dlouhodobé sledování deformačních vlastností s konstantním přítlakem. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; ŽÍTT, Petr. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 19216. 2009-01-05.
- [41] VUT v Brně. Kompozitní plast. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 19489. 2009-04-06.
- [42] VUT v Brně. Kombinovaný nástroj pro ohřev, lisování a chlazení. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 20207. 2009-11-09.
- [43] VUT v Brně. Tepelně izolační kompozitní plast. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 20388. 2009-12-28.
- [44] VUT v Brně. Zatěžovací zařízení s trvale působící hydraulickou soustavou. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 20501. 2010-02-08.
- [45] VUT v Brně. Rám se zatěžovacími vysokotlakými vaky. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 20527. 2010-02-15.
- [46] VUT v Brně. Lisovací forma k výrobě kompozitních izolačních desek pro izolační blok. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; KUČERA, Jaroslav. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 21554. 2010-12-20.
- [47] VUT v Brně. Koextruzní penetrační linka pro výrobu vysoce plněných kompozitních desek. Původce autorského osvědčení: MATĚJKA, Libor; PĚNČÍK, Jan; KUČERA, Jaroslav. Úřad průmyslového vlastnictví, Česká republika. UV 22361. 2011-06-13.

## 9 ABSTRACT

Present demand and the trend of claddings of residential buildings is to reduce their energy intensity. Another current area of development in the construction industry is the exploitation of secondary raw materials for building materials and products. Both above mentioned topics incorporate requirements for quality structural details, or elimination of their defects. The aim of the presented thesis is to combine the main ideas of these topics, and create progressive structural details of claddings, particularly in passive buildings. MAP method proposed by the author expresses the pursuit of a comprehensive approach to the investigation of the building structure. The method is divided into three phases: Monitoring - Analysis - Prediction. Within the technology base a thermal polymer composite was developed, which is the basis for the insulating block, window sub-frame, substructure of door sill joint and termination of flat roofs. The products were verified by mathematical modelling in terms of thermal technology and static. Mould, loading bench and loading frame were designed and produced for the production of polymer composites and their testing. The material and technological products were protected by application of utility models and industrial designs, patents both in the Czech Republic and the European Union.