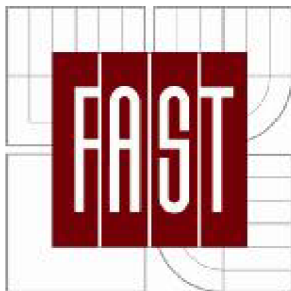


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A  
ŘÍZENÍ STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MECHANIZATION AND  
CONSTRUCTION MANAGEMENT

## VLIV VENKOVNÍ TEPLoty NA VLASTNOSTI VÝZTUŽNÉ VRSTVY PŘI REALIZACI ETICS

THE INFLUENCE OF THE OUTDOOR TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF THE  
REINFORCED LAYER IN THE IMPLEMENTATION OF ETICS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DISSERTATION

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ING. MICHAL NOVOTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MGR. PETR LÍZAL, CSC.

BRNO 2013

***Klíčová slova:***

ETICS, zateplovací systém, tepelná izolace, stěrkový materiál, tah, tlak, úspora energie, vytápění, teplota, realizace, polystyren, minerální vlna, tepelné ztráty, tepelný most.

***Keywords:***

ETICS, insulation system, insulation, screed materials, tension, pressure, energy saving, heating, temperature, realization, polystyrene, mineral wool, heat losses, heat bridge.

### ***Abstrakt:***

Trendem dnešního stavebnictví jsou rostoucí požadavky na kvalitu a komfort budovaných staveb a prostor v nich. Tento trend způsobuje změny v přístupu k navrhování objektů a k budování nových staveb. Jedním z hlavních směrů je velká pozornost věnovaná rekonstrukcím budov a jejich technickým úpravám tak, aby splňovaly právě stále rostoucí požadavky norem a zákonů. Jedním z nejméně sledovaných parametrů jsou tepelně-technické vlastnosti objektů - tj. lepší kvalita znamená úsporu nákladů na vytápění. S tím se pojí jeden velký trend moderního stavebnictví a to zateplování budov, převážně systémy ETICS.

Disertační práce se zaměřuje na základní (vyztuženou) vrstvu systémů ETICS a zkoumá vliv nízkých teplot, působících na hmoty při realizaci systému, na vlastnosti této vrstvy. Tato vrstva je totiž jedním z nejdůležitějších prvků systému, který víceméně určuje kvalitu a životnost celého systému. V úvodní části se zabývá současným stavem problematiky a obecně zateplovacími systémy, jejich základními druhy a výhodami a nevýhodami těchto systémů. V hlavní části práce je řešeno zaměření práce, její cíle a metodické postupy při zkoušení hmot za pomoci laboratorních testů a jsou zde zmíněny výstupy pokusů v podobě výsledků. V závěrečné části se řeší vyhodnocení získaných dat, a výsledky a výstup pro stavební praxi. Samotné téma práce bylo také řešeno ve specifickém výzkumu. Součástí práce jsou také číselné a grafické přílohy se záznamy a výpočty z pokusů.

### ***Abstract:***

The trend in today's civil engineering are growing demands for quality and comfort constructed buildings and spaces in them. This trend causes a change in the approach to designing buildings and building new buildings. One of the main directions great importance is attached dedicated reconstruction of buildings and their technical adjustments to meet the ever increasing demands being norms and laws. One of the most monitored parameters are thermal-technical characteristics of objects - i.e. better quality means saving on heating costs. In this connection there is a big trend of the modern construction industry and building insulation, mainly ETICS systems. Dissertation focuses on the basic (reinforced) layer of the ETICS and examines the effect of low temperatures, acting on the matter in the implementation of the system, the properties of this layer. This coating is one of the key elements of the system, which more or less determines the quality and durability of the system. The first part deals with the current state of the problem and generally insulation systems, basic types and the advantages and disadvantages of these systems. In the main part of the work is solution focused work, its objectives and methodology for testing materials using laboratory tests and are mentioned outputs of experiments in terms of results. The final section addresses the evaluation of the data and results and output for construction practice. The theme of work was also addressed in the specific research. The works are also numerical and graphical attachments to records of experiments and calculations.

***Bibliografická citace VŠKP***

NOVOTNÝ, Michal. *Vliv venkovní teploty na vlastnosti výztužné vrstvy při realizaci ETICS*. Brno, 2013. 153 s., 68 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb. Vedoucí práce Mgr. Petr Lízal, CSc..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne: .....16. 8. 2013.....



.....

podpis autora  
Michal Novotný

### *Poděkování*

Rád bych poděkoval svému školiteli Mgr. Petru Lízalovi za cenné rady a vedení při zpracování této disertační práce. Rád bych také poděkoval svým rodičům a rodině za podporu při studiu, za trpělivost a ochotu pomoci mi při zpracování disertační práce. Také bych rád poděkoval své přítelkyni Martině, že se mi byla oporou při dokončování této práce a podporovala mne v mém snažení. V neposlední řadě bych rád poděkoval kolegům z fakulty, kteří mi pomohli a umožnili práci v laboratoři, jmenovitě především Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D., doc. Ing. Pavlu Schmidovi, Ph.D., Ing. Martinu Mohaplovi, Ph.D., Ing. Janě Kosíkové a Ing. Lukáši Kopeckému.

# Obsah

1.	Úvod	9
2.	Současný stav řešené problematiky	10
2.1	ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, VLIVY A ŠKODLIVINY	10
2.2	ENERGETICKÁ BILANCE, PASIVNÍ A NÍZKOENERGETICKÝ DŮM	13
2.3	OBVODOVÉ KONSTRUKCE, MOŽNOSTI ZLEPŠENÍ JEJICH TEPELNĚ - TECHNICKÝCH PARAMETRŮ	18
2.4	ZATEPLOVACÍ SYSTÉM ETICS, ZÁKLADNÍ DRUHY SYSTÉMŮ A JEJICH VLASTNOSTI	21
3.	Technologické a kvalitativní zásady při provádění ETICS	28
3.1	STANDARDNÍ SKLADBA VNĚJŠÍHO KONTAKTNÍHO ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU	28
3.2	SMĚRNÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP	34
3.2.1	<i>Vysvětlení některých pojmů</i>	34
3.2.2	<i>Návrh a dokumentace zateplovacího systému ETICS</i>	35
3.2.3	<i>Návrh kotvení hmoždinkami</i>	37
3.3	ZÁKLADNÍ PODMÍNKY REALIZACE	38
3.3.1	<i>Klimatické podmínky při provádění ETICS:</i>	38
3.4	TECHNOLOGICKÉ OPERACE PŘI PROVÁDĚNÍ ETICS	39
3.4.1	<i>Příprava podkladu</i>	39
3.4.2	<i>Zásady pro lepení tepelně izolačních desek</i>	40
3.4.3	<i>Zásady pro kotvení hmoždinkami</i>	41
3.4.4	<i>Provedení základní vrstvy</i>	42
3.4.5	<i>Provedení konečné povrchové úpravy - provedení omítek</i>	44
3.5	VEDENÍ STAVEBNÍHO DENÍKU A KONTROLA PRACÍ A KVALITY	45
4.	Téma a cíl disertační práce	46
4.1	TÉMA DISERTAČNÍ PRÁCE	46
4.2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	47
5.	Řešení vytčených cílů práce	48
5.1	HMOTY, JEJICH KVALITA, VLASTNOSTI A POUŽITÍ	48
5.2	VLIV KLIMATU NA KVALITU PROVÁDĚNÍ ETICS A DŮSLEDKY CHYB PŘI PROVÁDĚNÍ	55
5.3	OBECNÝ ÚVOD K TESTOVÁNÍ VZORKŮ	63
5.4	ZKOUŠKY VZORKŮ - PRINCIPY A METODY	63
5.4.1	<i>Měření velikosti zrn pomocí laserové difrakce</i>	63
5.4.2	<i>Určení kaše normální hustoty pro zhotovení základní vrstvy</i>	65
5.4.3	<i>Stanovení počátku a konce tuhnutí hmoty - zkouška Vicatovým přístrojem</i>	68
5.4.4	<i>Zkoušky nasákavosti materiálu</i>	72
5.4.5	<i>Ultrazvuková impulzová zkouška - měření a výpočet dynamického modulu pružnosti materiálu</i>	77
5.4.6	<i>Zkoušky tahem za ohybu</i>	82
5.4.7	<i>Zkoušky tlakem</i>	85
5.4.8	<i>Zkouška zmrazováním</i>	87
5.4.9	<i>Přídržnost výztužné hmoty k izolantu - zkouška základní vrstvy</i>	90

5.4.10	<i>Stanovení odolnosti proti rázu</i>	94
5.4.11	<i>Výroba zkušebních těles 40 x 40 x 160 mm - podmínky a parametry</i>	97
6.	Vyhodnocení zkoušek	100
6.1	MĚŘENÍ VELIKOSTI ZRN POMOCÍ LASEROVÉ DIFRAKCE	100
6.2	KAŠE NORMÁLNÍ HUSTOTY PRO PROVEDENÍ ZÁKLADNÍ VRSTVY	102
6.3	URČENÍ POČÁTKU A KONCE TUHNUTÍ	103
6.4	NASÁKAVOST MATERIÁLU	103
6.5	ULTRAZVUKOVÉ MĚŘENÍ - DYNAMICKÝ MODUL PRUŽNOSTI V TLAKU NEBO TAHU $E_{cu}$ ; PEVNOSTI V TLAKU $F_{BE}$	106
6.6	ZKOUŠKA TAHEM ZA OHYBU	110
6.7	ZKOUŠKY TLAKEM	112
6.8	ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI ZMRAZOVÁNÍ - ZMRAZOVACÍ ZKOUŠKY	116
6.9	PŘÍDRŽNOST VÝZTUŽNÉ HMOTY K IZOLANTU	119
6.10	STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI RÁZU	125
7.	Závěry pro společenskou praxi	127
7.1	ZÁVĚRY A VLASTNÍ PŘÍNOS PRÁCE	128
7.1.1	<i>Závěry jednotlivých zkoušek</i>	129
7.1.2	<i>Přínos do stavební praxe</i>	133
8.	Výpis literatury	137
9.	Seznam obrázků	146
10.	Seznam tabulek	149
11.	Seznam použitých značek a symbolů	151
12.	Přílohy	153



# 1. ÚVOD

Pasivní či nízkoenergetický dům, zateplování, globální oteplování planety, znečištění ovzduší, emise skleníkových plynů, obnovitelné zdroje energie či fosilní paliva – tyto a další odborné termíny vedou v posledních letech k rozsáhlým diskuzím o nakládání se životním prostředím a ekologií na naší planetě. Současný styl života ve vyspělých zemích především severní části Ameriky, Evropy a dalších průmyslově vyspělých zemích sebou nesou velké nároky na spotřebu energií. Z velké části je to spotřeba energií vznikajících zpracováním a využitím nerostných surovin a fosilních paliv. Tyto zásoby surovin a zdrojů nejsou nevyčerpatelné. Vědci celého světa se nemohou shodnout na časových odhadech, kdy suroviny dojdou, nebo kdy nebude možné se k těmto surovinám běžnými způsoby dostat. V současnosti jsou však již uzavřeny mezinárodní dohody a společenství, které se zdroji surovin a energiemi zabývají a hledají schůdné, ekonomické a praktické způsoby, jak zpracovávat obnovitelné zdroje naší planety. Tomuto trendu se také stále více snaží přizpůsobit i stavitelství, především ve sféře výstavby obytných staveb, ať už rodinných nebo bytových domů.

Cílem současných projektantů a architektů je budování především nízkoenergetických a tzv. pasivních domů. Tyto snahy jsou nejvíce limitovány ekonomickou situací investorů. Zmíněné stavby, především ty pasivní, jsou sice ekologicky šetrné, potřebují minimální nebo žádné vnější energetické zdroje (uhlí, plyn, elektřina apod.), ovšem většinou jsou soukromé osoby odrazeny velkými částkami, které člověk musí na vybudování takového díla vynaložit. Se současnými metodami výstavby však je možné těmto trendům přizpůsobit i stávající stavby, to znamená při rekonstrukci vytvořit výsledné dílo takových parametrů, aby splňovalo požadavky a normy kladené na nízkoenergetický nebo pasivní objekt. Z velké části je toto dosahováno vnějším zateplením objektů, ať už větranými fasádami, nebo kontaktními nevětranými systémy ETICS. Kontaktní zateplovací pláště ETICS – název je odvozen z anglického external thermal insulation composite systém neboli česky také vnější kontaktní zateplovací systém - jsou také zaměřením této disertační práce. Kvalita plášťů ETICS nespočívá jen v jejich správném tepelně technickém a konstrukčním návrhu, ale i v technologické oblasti, tj. v jejich správné realizaci, která bývá často ovlivněna i klimatickými podmínkami v době jejich provádění.

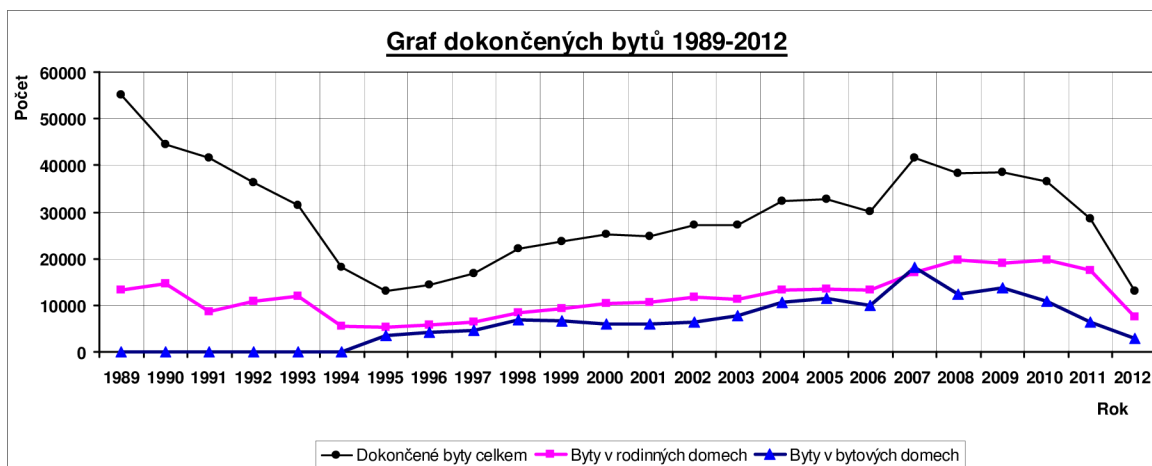
## 2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 2.1 Životní prostředí, vlivy a škodliviny

Snahy o udržení kvalitního životního prostředí i z ekologického hlediska se staly jedním ze základních zájmů hospodářsky vyspělých států. Také u nás je tomu věnována odpovídající pozornost, mimo jiné i v oblasti stavebnictví. Český statistický úřad (ČSÚ) [1] uvádí, že od roku 1989 do konce roku 2012 bylo u nás nově postaveno 713 935 bytů, z toho 565 142 bytů bylo realizováno v rodinných domech a zbývajících 148 793 v bytových domech. (viz obr. 1).

Od roku 2009 musí nové stavby podle Vyhlášky 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby [2] splňovat veškeré požadavky norem na kvalitu stavby – což se týká bezpečnosti stavby, jejích technických parametrů včetně tepelně technických, životnosti stavby a dalších. Tyto požadavky proto zahrnují i posouzení projektu stavby s ohledem na energetickou náročnost výstavby. Nové stavby již mají limity, které musí splnit a tato skutečnost je prokazována tepelně technickými výpočty, které se musí v dokumentaci dokládat tzv. „Energetickým štítkem obálky budovy a Průkazem energetické náročnosti budovy“.

Tento štítek obálky a průkaz budovy pak zařazuje stavbu dle tepelně technických parametrů obvodového pláště do jedné ze skupin podle spotřeby energie na vytápění a provoz objektu nebo podle součinitele prostupu tepla obvodovým pláštěm. Těchto skupin je u štítku obálky budovy celkem 7 s označením A až G a podle nich se třídí stavby do jednotlivých kategorií dle hodnoty „Průměrný součinitel prostupu tepla budovy  $U_{em}$  v jednotkách  $(W/(m^2K))$ “. U energetického průkazu budovy je počet tříd shodný, ale dělení se provádí na základě vypočtené měrné spotřeby energie na provoz budovy v  $kWh/(m^2rok)$ . Toto dělení a vzhled štítků můžeme vidět dále - na obr. 2. To znamená, že v zákonech jsou již nastaveny jisté požadavky, které respektují snahy o snížení škodlivých vlivů stavebnictví a staveb na životní prostředí.



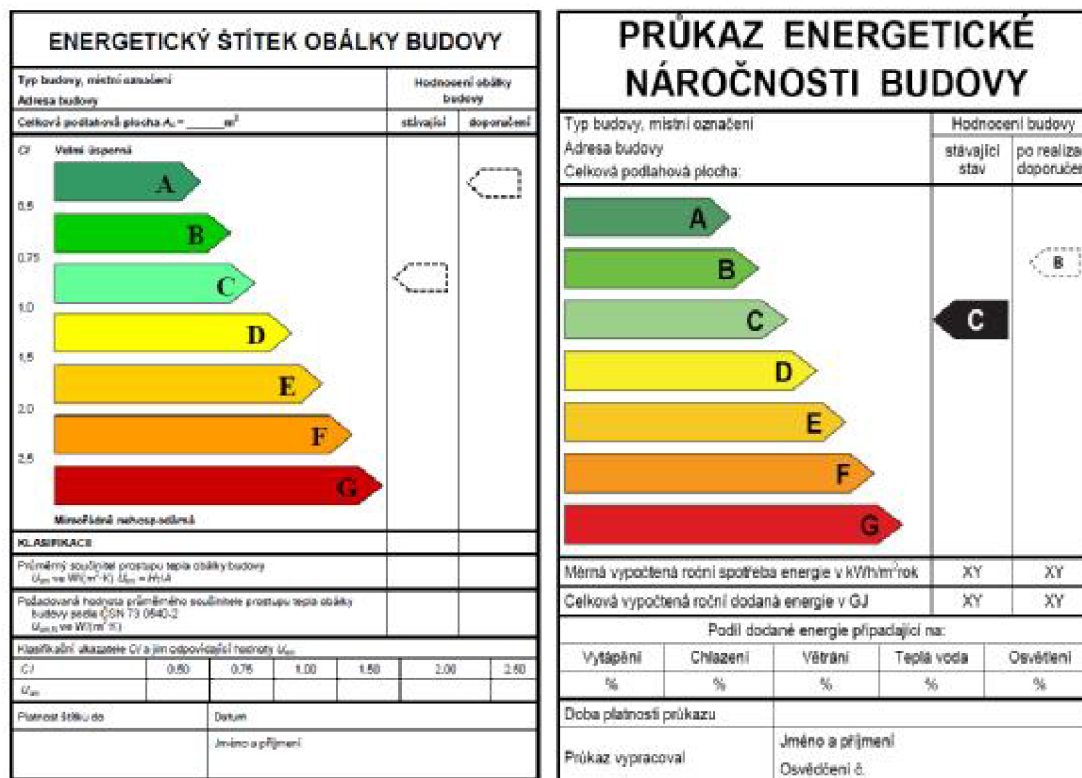
Rok dokončení	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Dokončené byty celkem	55 073	44 594	41 719	36 397	31 509	18 162	12 998	14 482	16 757	22 183	23 734	25 207
Dokončené byty v rodinných domech	13 204	14 639	8 571	10 741	11 952	5 511	5 410	5 664	6 509	8 336	9 238	10 466
Dokončené byty v bytových domech	-	-	-	-	-	-	3 583	4 143	4 568	6 827	6 598	5 926

Rok dokončení	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2 010	2 011	2 012
Dokončené byty celkem	24 758	27 291	27 127	32 268	32 863	30 190	41 649	38 380	38 473	36 442	28 630	13 049
Dokončené byty v rodinných domech	10 693	11 716	11 397	13 302	13 472	13 230	16 988	19 611	19 124	19 760	17 385	7 514
Dokončené byty v bytových domech	5 912	6 393	7 720	10 722	11 526	10 070	18 171	12 497	13 766	10 912	6 487	2 972

Obr. 1 Graf a tabulka dokončených bytů - 1989 až 1. pol. 2012 [1]

Jedním z hlavních a dlouhodobých vlivů na životní prostředí je energetická spotřeba stavebního objektu při jeho užívání, tj. při větrání, vytápění, přípravě teplé vody, výrobě a dodávce elektrické energie a plynu. Ve velké většině případů tato energie pochází z elektráren, tepláren, případně z vlastních zdrojů energie, které fungují na principu spalování fosilních surovin nebo v tom lepším případě z jaderných elektráren. Nejběžnějšími topnými surovinami jsou v současné době zemní plyn, topné oleje, v omezené míře stále uhlí a dřevo, lisované dřevěné odpady – peletky, brikety apod., v závislosti na zvoleném způsobu vytápění. Primárním dopadem těchto způsobů vytápění, tj. spalování, je vznik zplodin, ve kterých se do ovzduší a dál do životního prostředí, vody a půdy dostávají látky, jako jsou například oxid siřičitý  $SO_2$ , oxidy dusíku  $NO_x$ , těkavé organické sloučeniny VOC a amoniak  $NH_3$  [4]. Tyto látky pak mají negativní dopad na životní prostředí, jsou původci vzniku různých nemocí, odumírání lesů, kontaminaci půdy a další neblahých dopadů průmyslové činnosti a stylu života naší společnosti na prostředí, ve kterém žijeme. Z toho vyplývá, že celé evropské společenství musí omezit dopad průmyslu a stavebnictví na spotřebu zdrojů, musí zamezit ničení životního prostředí a hledat lepší a ekologičtější zdroje energie.

Je tedy zřejmé, že se naše stavebnictví zapojuje do celosvětové snahy o snižování energetické spotřeby, a to nejen u nových staveb, ale i revitalizací budov dříve postavených.



Obr. 2 A) Energetický štítek obálky budovy dle ČSN 730540-2 - vlevo [3];  
 B) Průkaz energet. náročnosti dle vyhl. 148/2007 Sb. - vpravo [2]

Klasifikační třídy	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy $U_{em}$ [ $W/(m^2K)$ ]	Slovní vyjádření klasifikační třídy
A	$U_{em} \leq 0,5 U_{em,N}$	Velmi úsporná
B	$0,5 U_{em,N} \leq U_{em} \leq 0,75 U_{em,N}$	Úsporná
C	$0,75 U_{em,N} \leq U_{em} \leq U_{em,N}$	Vyhovující
D	$U_{em,N} \leq U_{em} \leq 1,5 U_{em,N}$	Nevyhovující
E	$1,5 U_{em,N} \leq U_{em} \leq 2 U_{em,N}$	Nehospodárná
F	$2 U_{em,N} \leq U_{em} \leq 2,5 U_{em,N}$	Velmi nehospodárná
G	$U_{em} \geq 2,5 U_{em,N}$	Mimořádně nehospodárná

Poznámka:  $U_{em,N}$  - požadovaná normová hodnota průměrného součinitele prostupu tepla dle ČSN 730540

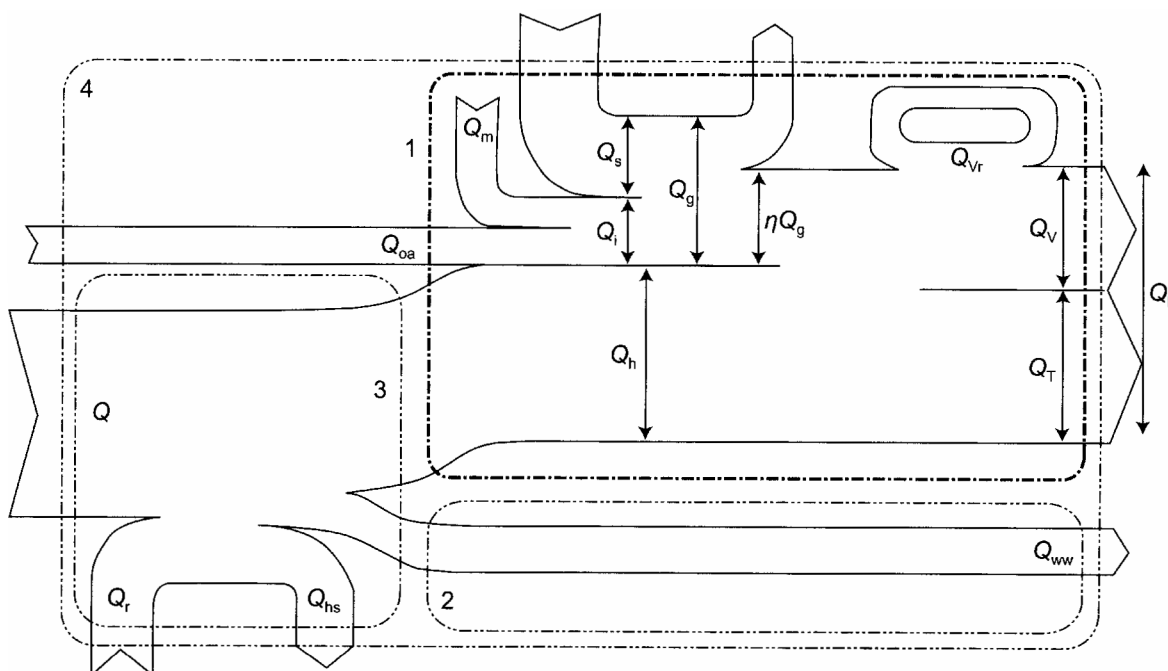
Klasifikační třídy	Měrná spotřeba energie za rok v [ $kWh/(m^2rok)$ ]	Slovní vyjádření klasifikační třídy
A	< 51	Mimořádně úsporná
B	51 - 97	Úsporná
C	98 - 142	Vyhovující
D	143 - 191	Nevyhovující
E	192 - 240	Nehospodárná
F	241 - 286	Velmi nehospodárná
G	> 286	Mimořádně nehospodárná

Poznámka: Hodnoty měrné spotřeby energie uvedeny pouze pro rodinný dům

Tab. 1 Tabulky hodnot k obr. 2 - nahoře ad. A, dole ad. B [2; 3]

## 2.2 Energetická bilance, pasivní a nízkoenergetický dům

Podle v současnosti platných norem lze každou stavbu zařadit do kategorie určené spotřebou stavby. Z čeho se ale skládá u budov spotřeba energie? Na tuto otázku odpovídá protokol s názvem „Energetická bilance“. Její výpočet je dostatečně rozveden v literatuře, proto zde připomínám pouze schéma vstupů a výstupů, znázorněné v následujícím obrázku:



Obr. 3 Jednoduché schéma výpočtu energetické bilance objektu [6]

Energetická bilance se stanovuje většinou na rok, po měsíčních úsecích, kdy se hodnotí jednotlivé aspekty. Tuto spotřebu energie, ať už na topení, přípravu TUV nebo jiné účely je nutné pokrýt. To znamená mít zdroj energie, tedy vytápění vlastními zdroji, ať už klasickými nebo obnovitelnými, nebo dálkové dodávky energie. V uvedeném schématu [6] vidíme tepelné zisky a ztráty běžného domu. Z hlediska popisu ve schématu najdeme:

- ztrátu prostupem tepla mezi vnitřním a vnějším prostředím přes obvodový plášť budovy  $Q_T$ ,
- ztrátu výměnou vzduchu  $Q_V$ ,
- dodávanou energii na ohřev teplé užitkové vody (TUV)  $Q_{ww}$ ,
- tepelné ztráty technických systémů budovy díky různým druhům úniku tepla a nevhodné regulaci systémů  $Q_{hs}$ ,

- tepelné zisky ze zpětně využitého tepla z větracího vzduchu  $Q_{Vr}$ , získaná tepelná energie z provozu a prostředí budovy - tepelné zisky od osob, pobývajících v budově  $Q_m$ , z provozu spotřebičů v budově  $Q_{OA}$  a ze zisků ze slunečního záření - pasivních solárních zisků  $Q_s$ ,
- zpětně získané teplo - tepelné zisky, vyplývající z provozu a probíhajících procesů např. ve výrobních podnicích  $Q_r$ .

Dále jsou na obrázku graficky znázorněny a očíslovány oblasti 1 až 4. Oblast 1 znázorňuje budovu jako takovou, oblast 2 zahrnuje přípravu TUV, oblast 3 udává vloženou energii včetně recyklované energie z procesů a ztrát vlivem technického provedení systémů a jako oblast 4 je označený celek budovy se zahrnutím všech vlivů a vstupů.

Písmenem  $Q$  je označeno dostatečné množství energie z vnějšího (dálkové vytápění - např. bytové domy sídliště) nebo vnitřního (vlastní kotel, tepelné čerpadlo, příp. jiné druhy vytápění instalované přímo v objektu) zdroje budovy, které ve spojení s ostatními prvky pokryje tepelné ztráty a jiné požadavky budovy na její provoz. Je to minimální hodnota dodávané energie, kterou je pro normální provoz budovy dodat.  $Q_i$  je hodnotou, která sumarizuje zisky tepelné energie od zařízení a osob v budově.  $Q_g$  je sumou všech vnitřních tepelných zisků, tj. tepelná energie získaná od osob, provozu zařízení a solárními zisky přes konstrukce a výplně otvorů. Veškerou tuto energii však není možné zužítkovat, proto je udána hodnota  $\eta Q_g$ , která redukuje tepelnou energii  $Q_g$  pomocí součinitelů na hodnotu odpovídající využitelnému množství energie z vnitřních tepelných zisků.  $Q_h$  je naopak tepelnou energií, kterou je nutné do budovy dodat pomocí otopné soustavy, aby bylo možné pokrýt tepelné ztráty.  $Q_L$  je sumou tepelných ztrát budovy - skládá se z části z tepelných ztrát prostupem tepla obálku domu z interiéru do exteriéru a z části tepelných ztrát, způsobených nutným větráním budovy - minimální množství výměny vzduchu určují hygienické normy.

Toto základní bilanční schéma lze zpracovávat výpočtově jak pro krátké časové úseky - týdny, měsíce, ale také pro roky a delší časové úseky. Principiálně je výpočet totožný, pouze posuzované úseky a vstupní hodnoty a jejich množství se mění v závislosti na posuzovaném časovém úseku. Je také nutné upozornit, že toto schéma odpovídá především zimnímu období provozu budovy. V letních měsících se schéma liší, protože je rozdílný provoz budovy, jiné množství zisků ze slunečního záření a provozu budovy a jsou rozdílné vnější vlivy. Pro letní období by také bylo nutné doplnit schéma o chlazení budovy při vysokých letních teplotách.

Ze schématu je také vidět, že jednou z největších částí tepelných ztrát objektu je ztráta prostupem tepla  $Q_T$ . Velikost těchto ztrát je dána tepelnými technickými vlastnostmi pláště budovy - tzv. obálkou budovy. Čím je po technické stránce obálka budovy vyspělejší, kvalitněji provedená a lépe

navržená, tím jsou tepelné ztráty budovy prostupem nižší a sníží se tak množství energie vstupující do systému z vnějšího zdroje. Na tuto obálku, jak již bylo zmíněno, jsou kladeny náročné technické požadavky jednak Českými technickými normami, jednak platnou legislativou - např. stavebním zákonem nebo vyhláškou o technických požadavcích na stavby. Jedním z těchto technických požadavků na obálky budovy, je tepelný odpor konstrukce  $R_N$ , udávaný v normách do roku 2001, od změn tepelně technické normy v roce 2002 byla tato hodnota nahrazena hodnotou součinitele prostupu tepla  $U_N$ , což je ve své podstatě převrácená hodnota tepelného odporu konstrukce doplněná o součinitele přestupu tepla na vnějším a vnitřním povrchu konstrukce. Z tabulky č. 2 lze vidět, jakým vývojem od 70. let prošly hodnoty tepelného odporu a součinitele prostupu tepla v tepelně technické normě ČSN 730540.

Norma s uvedením roku vydání	Druh konstrukce	Hodnoty veličin			
		Ozn.	Požadovaná	Doporučená	Přípustná
Platná legislativa do 50. let <sup>1</sup>	Vnější stěna	$R_N$	0,50	-	-
ČSN 730540 z roku 1962 <sup>2</sup>	Obvodová stěnová konstrukce do $-15^\circ\text{C}$ <sup>12</sup>	$R_N$	0,60	-	-
	Obvodová stěnová kce při méně než $-15^\circ\text{C}$ <sup>12</sup>	$R_N$	0,65	-	-
	Plochá střešní konstrukce do $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	1,10	-	-
	Plochá střešní konstrukce při méně než $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	1,20	-	-
	Stropní kce nad otevřenými průjezdy do $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	2,00	-	-
	Stropní kce nad otevřenými průjezdy při méně než $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	2,15	-	-
ČSN 730540 z roku 1964 <sup>3</sup>	Obvodová stěnová konstrukce do $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	0,60	-	-
	Obvodová stěnová kce při méně než $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	0,65	-	-
	Plochá střešní konstrukce do $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	1,10	-	-
	Plochá střešní konstrukce při méně než $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	1,20	-	-
	Stropní kce nad otevřenými průjezdy do $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	2,10	-	-
	Stropní kce nad otevřenými průjezdy při méně než $-15^\circ\text{C}$	$R_N$	2,30	-	-
ČSN 730540 z roku 1977 <sup>4</sup>	Obvodová stěnová kce při $t = -15^\circ\text{C}$	$R_N$	0,95	-	0,55 <sup>13</sup>
	Obvodová stěnová kce při $t = -18^\circ\text{C}$	$R_N$	1,00	-	0,61 <sup>13</sup>

	Obvodová stěnová kce při $t = -21^{\circ}\text{C}$	$R_N$	1,10	-	0,67 <sup>13</sup>
	Plochá střešní konstrukce při $t = -15^{\circ}\text{C}$	$R_N$	1,80	-	0,91 <sup>14</sup>
	Plochá střešní konstrukce při $t = -18^{\circ}\text{C}$	$R_N$	1,95	-	1,00 <sup>14</sup>
	Plochá střešní konstrukce při $t = -21^{\circ}\text{C}$	$R_N$	2,15	-	1,10 <sup>14</sup>
	Stropní kce nad otevřenými průjezdy a volně stojících pilířích při $t = -15^{\circ}\text{C}$	$R_N$	1,80	-	-
	Stropní kce nad otevřenými průjezdy a volně stojících pilířích při $t = -18^{\circ}\text{C}$	$R_N$	1,95	-	-
	Stropní kce nad otevřenými průjezdy a volně stojících pilířích při $t = -21^{\circ}\text{C}$	$R_N$	2,15	-	-
ČSN 730540, původně z roku 1977 - Z4 z roku 1992 <sup>5</sup>	Vnější stěna	$R_N$	2,00	-	-
	Střešní konstrukce	$R_N$	3,00	-	-
ČSN 730540-2 z roku 1994 <sup>6</sup>	Vnější stěna	$R_N$	2,00	2,90	1,25 <sup>7</sup>
	Plochá střecha	$R_N$	3,00	4,35	1,90
ČSN 730540-2 z roku 1997, Z1 <sup>6</sup>	Vnější stěna	$R_N$	2,00	2,90	1,25 <sup>7</sup>
	Plochá střecha	$R_N$	3,00	4,35	1,90
ČSN 730540-2 z roku 2002 <sup>8</sup>	Stěna vnější lehká	$U_N$	0,30	0,20	-
	Stěna vnější těžká	$U_N$	0,38	0,25	-
	Plochá střecha - lehká kce	$U_N$	0,24	0,16	-
	Plochá střecha - těžká kce	$U_N$	0,30	0,20	-
ČSN 730540-2 z roku 2005, Z1 <sup>9</sup>	Stěna vnější lehká	$U_N$	0,30	0,20	-
	Stěna vnější těžká	$U_N$	0,38	0,25	-
	Střecha plochá bez rozlišení	$U_N$	0,24	0,16	-
ČSN 730540-2 z roku 2007	Stěna vnější lehká	$U_N$	0,30	0,20	-
	Stěna vnější těžká	$U_N$	0,38	0,25	-
	Střecha plochá bez rozlišení	$U_N$	0,24	0,16	-
ČSN 730540-2 z roku 2011 <sup>10</sup>	Stěna vnější lehká	$U_N$	0,30 (0,38)	0,20	-
	Stěna vnější těžká	$U_N$		0,25	-
	Plochá střecha	$U_N$	0,24	0,16	0,15-0,10 <sup>11</sup>
	Pasivní domy	$U_N$	-	0,18 až 0,12	-

Poznámky:

1 - Tepelný odpor zdíva odvozený od klasické zděné konstrukce tl. 450mm

2 - Stanoven požadovaný tepelný odpor jako vyšší z hodnot jednak z hlediska tepelné izolace a z hlediska tepelné akumulace s ohledem na typ vytápění. Obsaženo také hodnocení kondenzace vodních par

3 - Norma stanovuje již požadavky na min. hodnotu tep. odporu vnějších a vnitřních konstrukcí a min. vnitřní povrchovou teplotu k zamezení kondenzace na povrchu stav. Konstrukcí

4 - Výsledkem prohlubující se energetické krize je soubor norem "Tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov" se zvýšenými požadavky na tepelný odpor konstrukcí

5 - Dochází pouze k navýšení požadavků oproti předchozímu znění normy



6 - U norem z roku 1994 a 1997 jsou v tabulce uvedeny hodnoty tepelného odporu konstrukce $R_N$ v $[m_2KW^{-1}]$ a tepelný odpor hotové kce musí splňovat podmínku $R \geq R_N$ . Tato podmínka je obecná a platí pro všechny normy s hodnotami $R_N$ .
7 - Přípustná hodnota tepel. odporu kce pro rekonstrukce
8 - U norem s datem vydání po listopadu 2002 se udává u konstrukcí hodnota součinitele prostupu tepla $U_N$ $[W/(m^2K)]$ , což je po zjednodušení převrácená hodnota tepelného odporu, tj. $1/R$
9 - Nedošlo ke změnám hodnot pro stěny, pouze zavedeny hodnoty pro lehký mont. obvod. plášť
10 - Pro zdivo jednovrstvé se do 31.12.2012 připouští hodnota v závorce. Taktéž byly do požadavků zahrnuty rozdíly u výplní otvorů ve vytápěných nebo temperovaných místnostech a šikmé výplně otvorů.
11 - Hodnota platná pro střechy pasivních domů do $45^\circ$
12 - Hodnota udává návrhovou teplotu exteriéru dle místa výpočtu, stejný postup platí i u norem z let 1964 a 1977
13 - Použití: a) nejvýše u jedné vnější stěnové kce místnosti do 31.12.1983 b) pro tradiční cihelné zdivo do 31.12.1985. V případě, kdy platí oba body současně, je možné tepelné odpory snížit na 91,5% tab. hodnot
14 - Hodnota zde uvedená platí u střešních kčů do 31. 12. 1983

Tab. 2 Vývoj tepelně technických požadavků kladených na obvodové konstrukce od roku 1964 do současnosti, ČSN 730540 z různých let [3, 7, 17 až 21]

Z pohledu norem zabývajících se tepelnou technikou a předpisy pro vnitřní prostředí vyplývají definice standardního, nízkoenergetického a pasivního domu takto - def. z [7]:

**Obytná budova** - standardní dům - obecně každá budova, která nesplňuje požadavky pro zařazení do kategorií nízkoenergetický dům, pasivní dům nebo nulové dům.

**Nízkoenergetický dům** - tyto objekty jsou charakterizovány nízkou spotřebou energie na vytápění, která je dosažena především optimalizací stavebního řešení obálky budovy. Z pohledu norem ČSN 730540 se takovouto budovou rozumí objekt, jehož průměrný součinitel prostupu tepla nepřekračuje doporučenou hodnotu dle tab. 5 v ČSN 730540-2 z října 2011 a současně měrná spotřeba tepla a vytápění stanovaná dle příslušných norem nepřekračuje  $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Pro nové budovy je tabulkou 5 hodnota průměrného součinitele prostupu tepla uvedena výpočtem s limitní hodnotou  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pro budovy s převažující návrhovou teplotou mimo interval  $18^\circ\text{C}$  až  $22^\circ\text{C}$  se hodnocení neprovádí.

**Pasivní dům** - budova s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění nepřekračující v případě rodinných domů  $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  a v ostatních případech nepřekračující  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , splňující současně soubor dalších požadavků a podmínek hodnocení dle kap. A.5.3 ČSN 730540-2 z října 2011. Povinně hodnocenou hodnotou je zde celková průvzdušnost obálky budovy, kdy celková intenzita výměny vzduchu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu 50 Pa nesmí překročit hodnotu  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ .

## **2.3 Obvodové konstrukce, možnosti zlepšení jejich tepelně - technických parametrů**

Jak je zřejmé z předchozí části, je nutné vzhledem k vzrůstajícím požadavkům norem na tepelně technické parametry konstrukcí navrhovat a realizovat objekty tak, aby vyhovovaly současným předpisům. Z energetické bilance vyplývá, že největšími ztrátami objektu po tepelné stránce jsou ztráty tepla způsobené větráním objektu, které můžeme omezit volbou vhodné vzduchotechniky s rekuperací nebo vhodnými okny a dále ztráty tepla způsobené jeho prostupem vnějšími konstrukcemi objektu, tj. obálkou budovy. Zde jsou ztráty způsobené průnikem tepla přes konstrukce stěn, střechy, podlahy a výplně otvorů. To však dnes již lze u nových staveb eliminovat, neboť máme k dispozici velmi rozmanitý sortiment materiálů, ze kterých můžeme tyto konstrukce provést tak, aby splňovaly technické, bezpečnostní a hygienické požadavky.

U starších objektů je třeba problém řešit jejich dodatečným zateplením. Mezi základní důvody takového řešení patří:

- zlepšení tepelně technických vlastností obvodové konstrukce - méně tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí,
- snížením prostupů tepla dochází běžně ke snížení spotřeby energie na vytápění až o 30 % (někdy i více, na základě provedených úprav a opatření),
- správným návrhem zateplovacího pláště lze dosáhnout snížení nákladů na vytápěcí jednotku zmenšením potřebné energie pro otopnou soustavu, v návaznosti je také možné řešit obnovitelné zdroje energie a menší výkony otopných jednotek,
- pokud návrh budovy také respektuje možnosti tepelných zisků konstrukcemi za slunečního záření, je možné uvažovat pozdější zahájení a dřívejší ukončení otopné sezóny,
- odstranění nevhodných hygienických podmínek v objektu - plísně, hniloba, houby apod.,
- zlepšení podmínek tepelné pohody v objektu zvýšením a stabilizací vnitřní povrchové teploty,
- zvýšení tepelné setrvačnosti stavebních konstrukcí obálky objektu a následné zpomalení chladnutí objektu při přestávce ve vytápění např. v noci,

- zamezení poškozování vnějšího pláště budovy klimatickými podmínkami a dalšími vnějšími vlivy (nepočítá se záměrné poškození),
- snížení vlivu teplotních rozdílů působících na vnější konstrukce budovy (je nutné však uvažovat s působením těchto vlivů na zateplení),
- vlivem těchto faktorů se také prodlužuje životnost samotné stavby,
- výrazně se může zlepšit nebo změnit architektonický vzhled budovy.

Mezi nejběžněji používané způsoby zateplení při revitalizaci stávajících budov můžeme jmenovat:

a) provedení nové sendvičové konstrukce - tj. že ke stávajícím konstrukcím se přistaví nová předstěna z různých i tepelně izolačních materiálů, jako např. Ytong Multipor apod., nebo se prostor mezi nimi případně vyplní zvukovou nebo tepelnou izolací dle požadavků projektanta na výsledné vlastnosti stěny. Tato varianta je možná jak z interiéru, tak z exteriéru budovy,

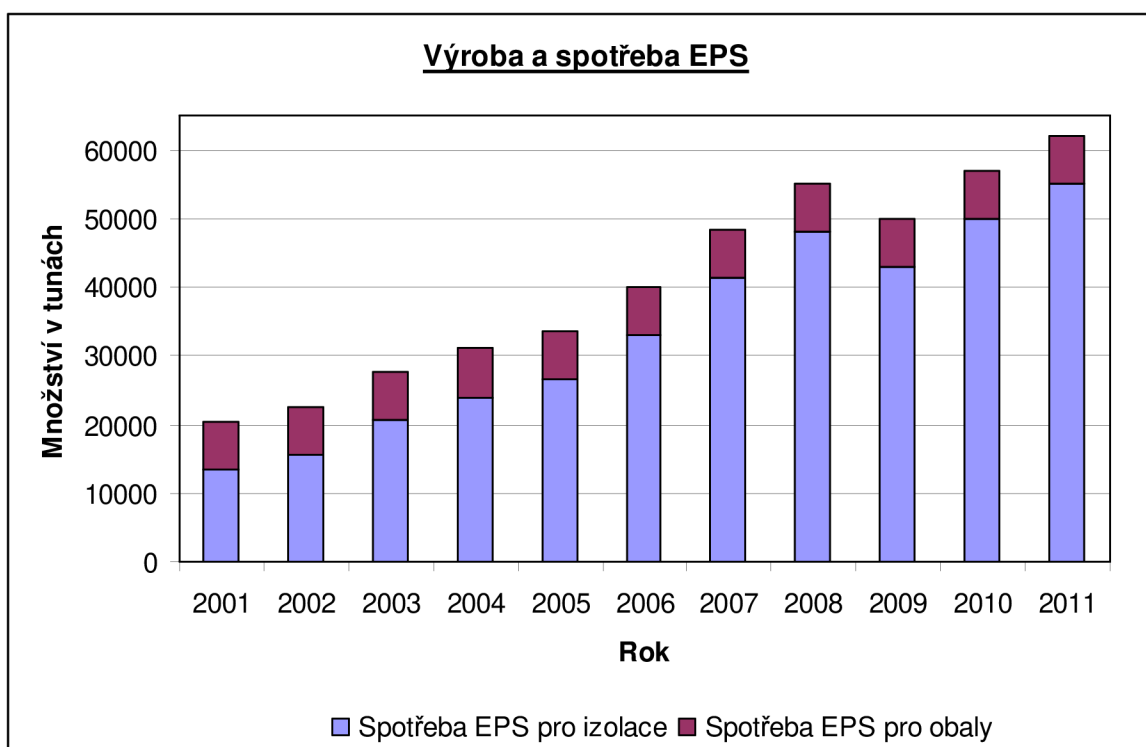
b) provětrávaný zateplovací systém - tj. na vnější obvod konstrukce se přikotví tepelná izolace, překryje se parozábranou, která propouští vlhkost pouze ze směru od interiéru ven, ne dovnitř. Nad tímto souvrstvím se vytvoří větraná vzduchová mezera a následuje nosný rošt pro zavěšení pláště budovy z různých materiálů,

c) vnější nebo vnitřní kontaktní zateplovací plášť - principiálně funguje stejně jako větraný plášť, ale neobsahuje větranou ani nevětranou vzduchovou mezera - dle českého názvu je jeho zkratka VKZS. Skladba a běžná provedení budou uvedeny dále. Provedení je možné buď z interiérové, nebo exteriérové strany konstrukce,

d) tepelně izolační omítky - tj. nanesení další vrstvy nebo vrstev omítky, která je svým složením a přísadami tepelně izolační a má lepší tepelné technické vlastnosti než omítka původní. Zde je problémem především velká tloušťka potřebných vrstev.

Další moje práce bude zaměřena na způsob zateplení vnějším kontaktním pláštěm, dnes označovaným zkratkou ETICS, což je u nás jedna z nejpoužívanějších metod. V současné době bohužel nemá statistický úřad k dispozici přesné údaje, které by uváděly, kolik zateplených budov u nás již existuje, nebo kolik m<sup>2</sup> obvodového pláště je již touto metodou ošetřeno. O nárůstu rozsahu tohoto způsobu zateplování může alespoň z části informovat graf výroby a spotřeby polystyrénových desek – viz obr. 4.

Na základě grafu můžeme usuzovat na stoupající tendenci v zateplování v ČR v souvislosti se zvětšující se spotřebou EPS. Tuto tendenci má dle mého názoru i minerální vata, ovšem bližší údaje mi nebyly výrobci poskytnuty. Jak je vidět, spotřeba izolantu během poslední deseti let vrostla z přibližně 1500 tun za rok až na 5500 tun ročně, což znamená nárůst spotřeby o více než 300%. Tato spotřeba samozřejmě jde ruku v ruce se stoupajícími požadavky na kvalitu staveb a na jejich tepelně technické parametry. Trend zateplování a úpravy fasád na lepší hodnoty součinitele tepla je markantní především u bytových domů, ale rodinné domy a jiné objekty nezůstávají pozadu. Co se týká minerální vaty, tak ta je používána především na objekty s požární výškou nad 22,5 m, kde požární předpisy neumožňují využití polystyrenu. Zde si myslím, že navýšení výroby není tak markantní, protože do celkového součtu velmi přispívají rodinné domy a zde díky snahám investorů „ušetřit“ nachází uplatnění spíše levnější izolant EPS.



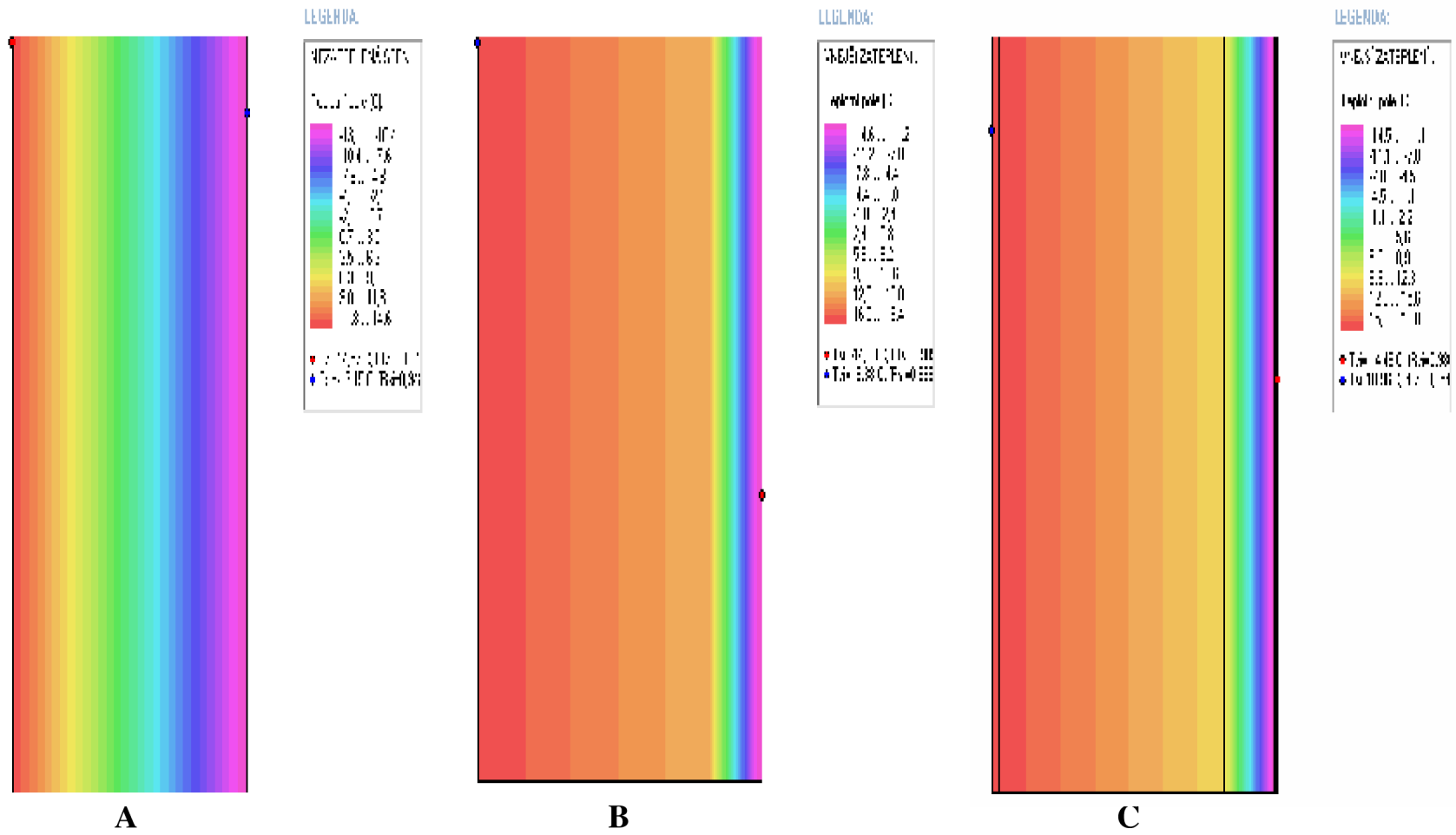
Obr. 4 Statistický ukazatel výroby a odhadované spotřeby EPS na stavební izolace [22]

## 2.4 Zateplovací systém ETICS, základní druhy systémů a jejich vlastnosti

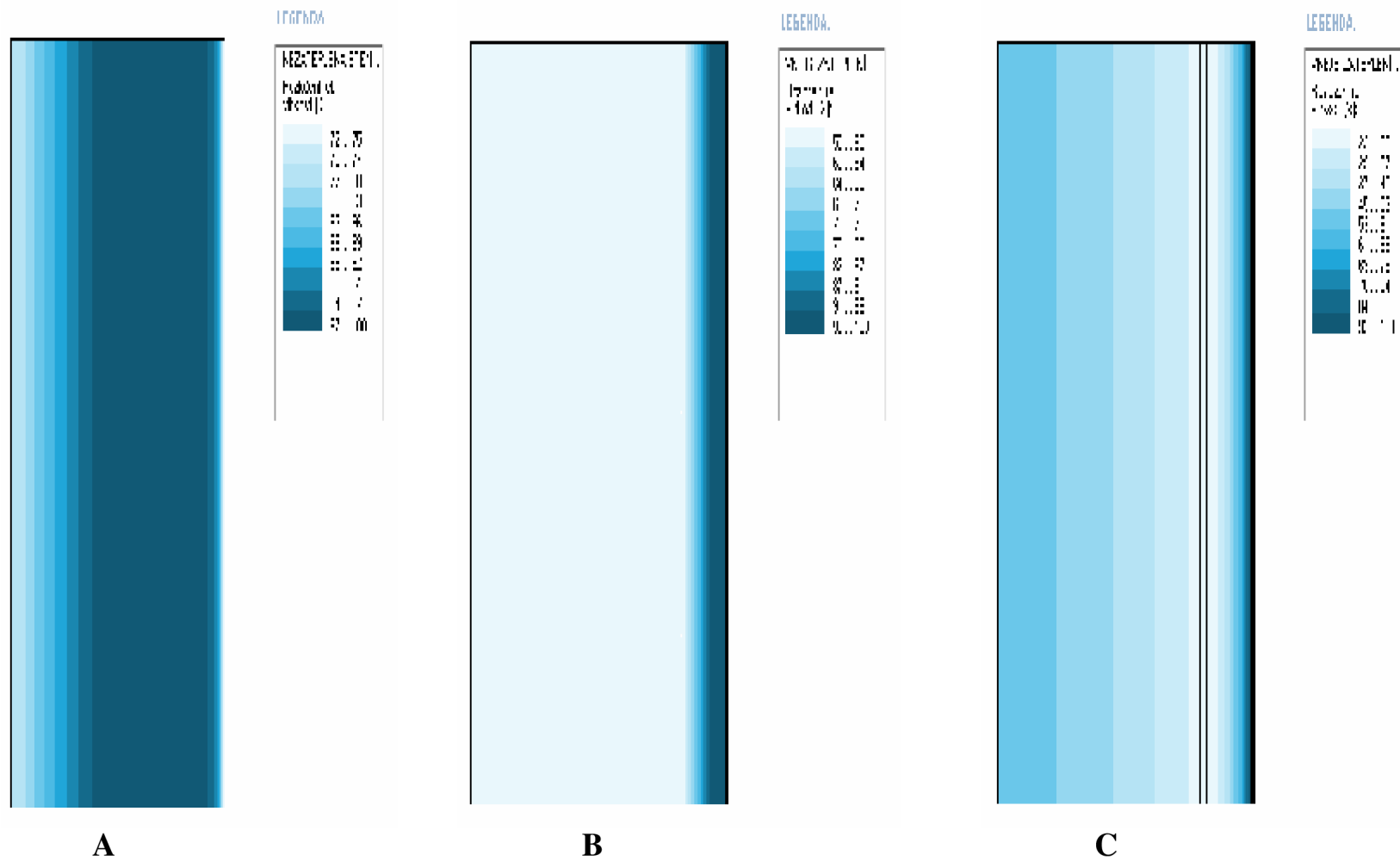
Naše norma ČSN 732901 uvádí, že systém ETICS (název vnější tepelně izolační kompozitní systém vyplývá právě z označení ETICS - External Thermal Insulation Composite System) je přímo na stavbě uplatňovaná sestava z průmyslově zhotovených výrobků, dodávaných výrobcem ETICS, obsahující nejméně následující části, jež byly výrobcem systému speciálně vybrány pro jím určené použití ETICS:

- v systému specifikovanou lepicí hmotu a v systému specifikované mechanické kotvící prvky,
- v systému specifikovaný tepelně izolační materiál,
- v systému specifikovanou základní vrstvu z jedné nebo více vrstev, kde je kombinována stěrková hmota s výztužnou sítovinou, tj. nejméně jedna vrstva tak obsahuje vloženou výztuž,
- v systému specifikovanou výztuž,
- v systému specifikovanou konečnou povrchovou úpravu, která může zahrnovat dekorativní vrstvu.“

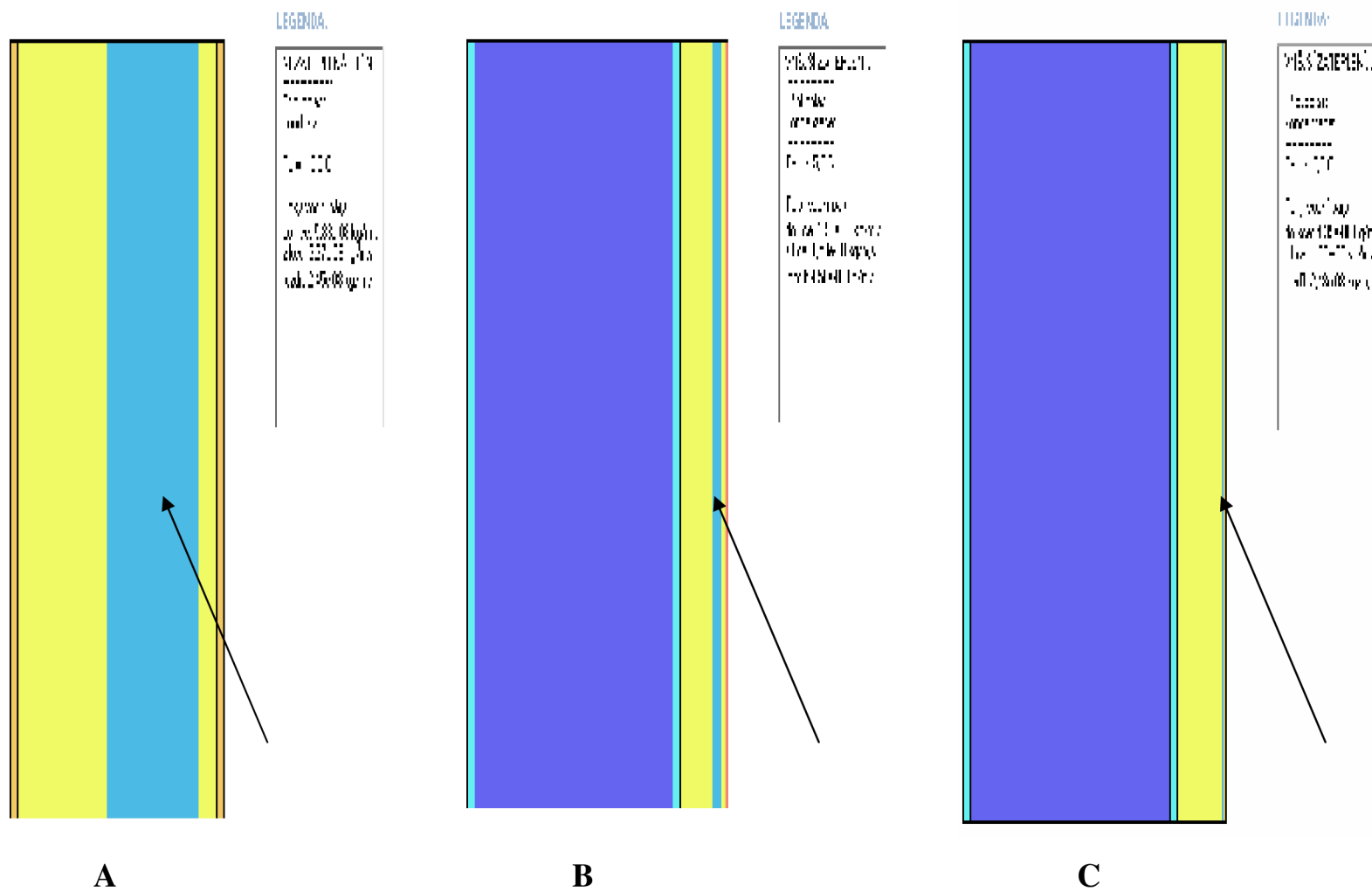
Takto je normou definován systém ETICS. Pokud bychom si to názorně předvedli na zobrazení skladby a s přidáním dalších možných vrstev, mohli bychom mluvit o skladbě mnoha vrstev do uceleného systému - viz obr. 8. Zde vidíme pohled na skladbu běžného zateplovacího systému na obvodovém zdivu objektu, kde tepelným izolantem je fasádní pěnový neboli expandovaný polystyren EPS různých pevností, nejběžnější jsou EPS 70 F a EPS 100 F (z anglického Expanded PolyStyrene). Na spodní části stavby, které přichází do styku s vlhkostí, zeminou nebo bývají více namáhány, se používá více odolný, uzavřený extrudovaný polystyren XPS (z anglického Extruded PolyStyrene).



Obr. 5 Grafické schéma průběhu teplot v jednotlivých typech konstrukcí s ohledem na provedení zateplení - popis viz. text kapitoly [58]



Obr. 6 Grafické schéma průběhu vlhkostních zón v jednotlivých typech konstrukcí s ohledem na provedení zateplení - popis viz. text kapitoly [58]



Obr. 7 Grafické schéma umístění a velikosti kondenzační zóny v jednotlivých konstrukcích s ohledem na provedení zateplení - popis viz. text kapitoly [58]



Když se budeme věnovat jednotlivým variantám na obrázcích, zjistíme, že na každém ze tří schémat z obr. 5, 6 a 7 jsou graficky znázorněny výstupy z programu Area 2010 [58] v tomto pořadí:

A) Klasická zděná cihelná zeď tl. 450 mm (tj. zděná cihlová zeď tl. 440mm) včetně běžných vrstev omítky - před zateplením

B) Zeď bodu A opatřená vnějším kontaktním zateplením z fasádního EPS tl. 100 mm, což je nejběžněji používaná tloušťka izolantu

C) Zeď bodu A opatřená vnějším kontaktním zateplením z fasádních desek z minerálních vláken tl. 100 mm.

První ze schémat na obr. 5 znázorňuje zmíněné konstrukce z hlediska průběhu teplot v konstrukci. Druhé schéma, na obr.6, znázorňuje zmíněné konstrukce z hlediska rozložení vlhkostních zón ve skladbě konstrukce. Třetí schéma, na obr. 7, znázorňuje velikost a pozici kondenzační zóny v dané skladbě.

Jak vidíme, u zateplených konstrukcí je vnitřní povrch dle skladby v relativně podobných podmínkách, je však patrné, že zdivo vlastní zdi je podle typu sendvičové konstrukce vystaveno odlišným působením, viz výhody a nevýhody vnějšího a vnitřního zateplení v následujících bodech. Totéž platí o kondenzačních zónách a vlhkosti v materiálech sendvičové skladby stěny.

Mezi **výhody** vnějšího kontaktního zateplovacího systému lze zahrnout:

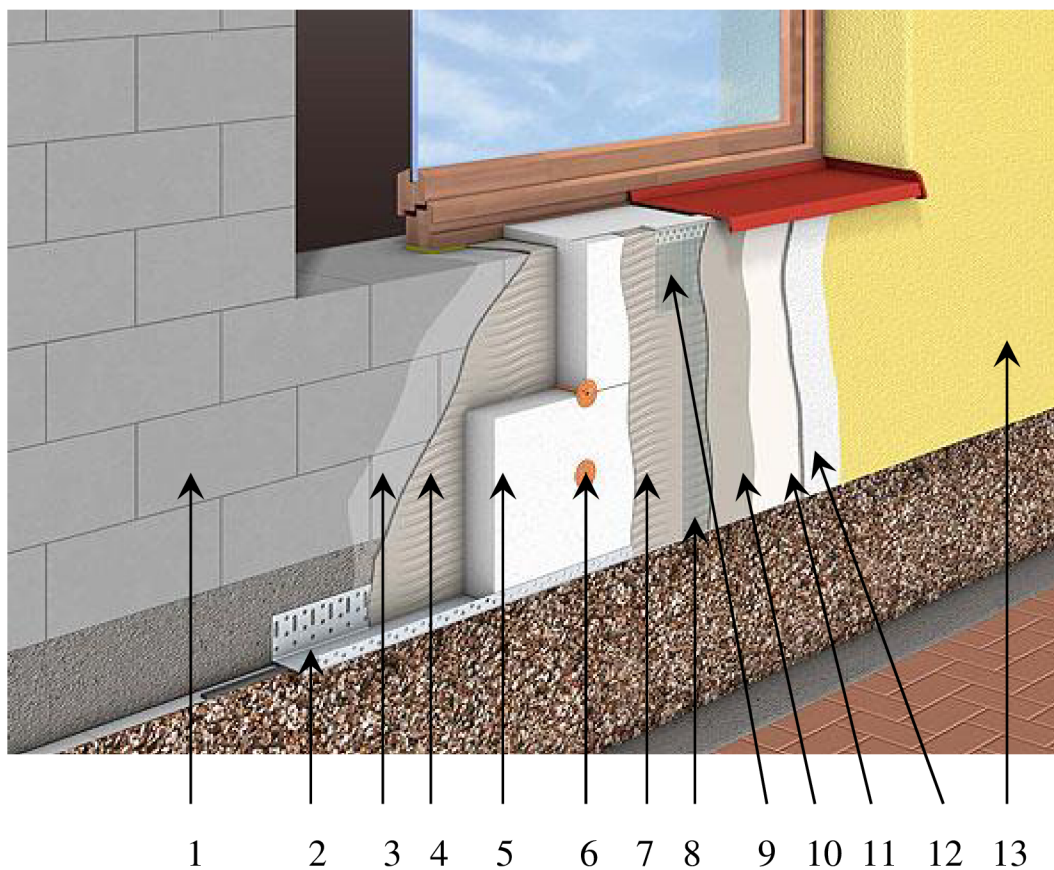
- nezmenšuje vnitřní užitnou plochu objektu,
- nevystavuje vnitřní konstrukci nízkým teplotám v zimním období, konstrukce v případě správného návrhu zůstávají kompletně prohřáté - kladný vliv na teplotní stabilitu budovy,
- konstrukce zůstávají ve vytápěném prostoru, je možné s nimi počítat v rámci absorpce a zpětného vydávání tepla,
- zateplení je celistvé na celou výšku fasády, eliminují se tepelné mosty v místě stropů a podlah, v případě kvalitního návrhu a realizace se eliminují i ostatní běžné velké tepelné mosty,
- konstrukce stěny je chráněná proti vlivům klimatických podmínek - vliv na životnost nosné konstrukce.

**Nevýhodou** jsou:

- provádění zateplovacího systému je „mokrý“ proces, je zde tudíž patrný vliv klimatických podmínek, především srážek a teplot, nelze jej provádět celoročně a za každého počasí,

- nutnost perfektní přípravy podkladu - rovinnost, soudržnost, vlhkost, chemické vlivy, to vše musí být zkontrolováno a musí odpovídat požadavkům, pokud ne, musí být zjištěny příčiny a provedena náprava,
- nevhodnost pro mokré provozy v interiéru - vnikání vlhkosti do stěn a následná kondenzace - toto lze ovlivnit kvalitním návrhem a volbou materiálu,
- nutnost brát ohled na požadavky požárních předpisů - od jistých výšek předepsány nehořlavé materiály, nelze provádět nepřipustné kombinace,
- nutnost lešení na celou výšku fasády kvůli provedení zateplovacího pláště,
- nutnost ohledání, posouzení a případných úprav klempířských prvků, nutnost výměny parapetů oken, případně úpravy rámu,
- nutnost brát v ohled sání větru na ploše fasády - návrh kotvicích prostředků systému,
- nutnost správné volby barevnosti fasády s ohledem na okolní zástavbu a s ohledem na vliv záření a barvy fasády na teplotní změny v plášti.

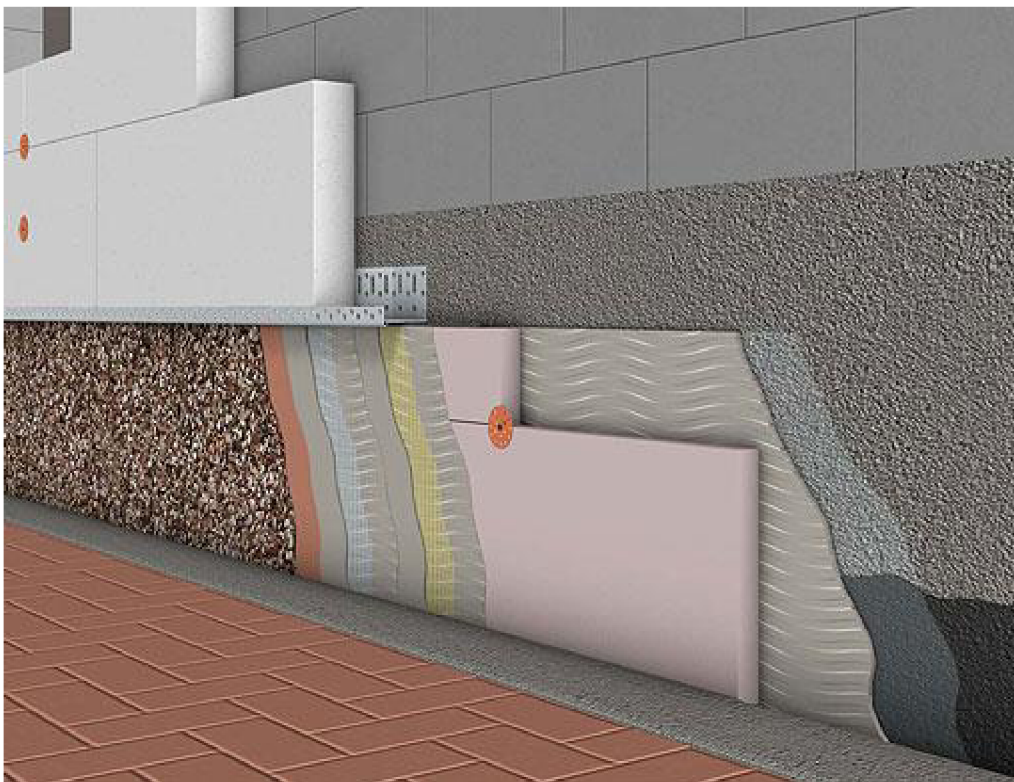
U tohoto typu zateplení je také výhodou, že nosná konstrukce stěny je ve vytápěné oblasti a přelom plusových a minusových teplot v izolantu. Při správném návrhu také dochází k eliminaci kondenzace vodní páry, proto je možné tuto variantu aplikovat jak u novostaveb, tak při rekonstrukcích stávajících objektů. Tato varianta zateplení je vhodnější než vnitřní zateplení.



Obr. 8 Běžná skladba zateplovacího systému s izolantem z polystyrenu, popis objasněn v textu, obrázek ze stránek fy. Stomix [24]



Obr. 9 Běžná skladba zateplovacího systému s izolantem z minerální vlny, popis totožný s obr. 5, obrázek ze stránek fy. Stomix [24]



Obr. 10 Skladba zateplení v místě soklu budovy - použitou izolací je tvrzený extrudovaný polystyren, snímek za stránek fy. Stomix [24]

### 3. TECHNOLOGICKÉ A KVALITATIVNÍ ZÁSADY PŘI PROVÁDĚNÍ ETICS

Tyto zásady vyplývají z konstrukčního řešení a používaných materiálů pláště ETICS. Jeho základní skladba (zřejmá z obr. 8) je podrobněji popsána v následující části, a to v návaznosti na technologii jeho zhotovení.

#### 3.1 Standardní skladba vnějšího kontaktního zateplovacího systému

Norma ČSN 732901 [23] definuje základní konstrukce a materiály systému podle technologických operací do jednotlivých částí takto:

- příprava podkladu,
- lepení desek tepelné izolace,
- mechanické kotvení hmoždinkami,
- provádění základní vrstvy,
- provádění konečné povrchové úpravy.

Půjdeme-li dle očíslovaných vrstev v obr. 8, můžeme složení a jednotlivé vrstvy vnějšího zateplení definovat takto:

#### 1) Nosná konstrukce - podklad

„Vrstva nebo souvrství při povrchu nové nebo stávající stěny nebo podhledu. Stěna i podhled mohou být povrchově upraveny minerálními nebo organickými omítkami, nebo nátěrovými hmotami“ [23]. Obecně je podkladem myšleno zdivo obvodových konstrukcí. Zde jsou důležitými informacemi rovinnost tohoto podkladu - do 10 mm/m je možné desky u rodinných domů pouze lepit, při rovinnosti < 20 mm/m je nutné desky lepit a mechanicky kotvit, při větších nerovnostech je nutné provést srovnávací vrstvu. Podklad musí být dostatečně únosný, nepoškozený, nesmí být vlhký, nesmí obsahovat výkvěty a musí být známo, z jakého je materiálu. Tento údaj má totiž značný vliv na výpočty zatížení sáním větru a na mechanické kotvení systému.

#### 2) Zakládací lišta

„Pomocný prvek ETICS pro osazení první řady desek tepelné izolace při zahájení lepení“ [23]. Lišta může být z různých materiálů, může být také nahrazena alternativními způsoby založení první řady desek. Umisťuje se především nad sokl budovy, případně nad převislou konstrukci, kde se uplatní také její tvar s okapním nosem. Do zdiva se kotví převážně zatlukacími hmoždinkami, v případě nerovnosti se podkládá podložkami. Musí být v rovině v obou směrech, aby bylo možné co nejkvalitněji systém založit.

#### 3) Penetrační nátěr podkladu před lepením izolace

„Materiál pro úpravu povrchu před nanášením následné vrstvy“ [23]. Tento nátěr se provádí v případě, že podklad je velmi savý, aby se jeho povrch uzavřel, aby nevytáhoval veškerou vlhkost nutnou pro správné reakce v lepidle do sebe. Také se provádí v případech, kdy je podklad opatřen omítkou, která není dostatečně soudržná na povrchu, aby se zajistilo její „zmonolitnění“ a lepší soudržnosti jako vrstvy. Ve většině případů je to bezbarvý nátěr, buď již naředitelný k použití, nebo ředitelný, pro nátěry štětcem nebo válečkem.

#### 4) Lepící tmel - vrstva pro nalepení izolantu

Norma tuto vrstvu nspecifikuje, pouze udává přídržnost lepící hmoty k podkladu. Je to „pevnost v tahu kolmo k rovině lepící hmoty mezi lepící hmotou a podkladem“. Obecně se jedná o lepící tmel, dodávaný buď jako suchá hmota, která se míchá v daném poměru s vodou nebo jako již předchystaná hmota, kterou stačí promísit. Velká část těchto hmot je založena na cementovém pojivu, ale jsou i hmoty disperzní. Vrstva jako taková se provádí v tloušťce do maximálně 20 mm na vyrovnání nerovností.

Existují dva nejpoužívanější způsoby provedení této vrstvy, buď tzv. plnoplošné lepení, kdy lepicí hmota pokrývá celou spodní plochu izolačních desek nebo tzv. lepení „na buchtý“, kdy se hmota nanáší po obvodu desky v celé vrstvě a do středu v tzv. buchtách - pokrytí desky v tomto případě musí být minimálně 40%, aby byly zajištěny technické vlastnosti vrstvy. Hlavními požadavky na tuto vrstvu je právě přídržnost, možnosti zpracování při daných klimatických podmínkách a trvanlivost a životnost v systému. Přídržnost jako taková se musí stanovit i s ohledem na použitý izolant a stav podkladu.

### 5) Vrstva tepelného izolantu

Jde o nejdůležitější vrstvu systému, co se týká tepelně technických vlastností a třetí nejdůležitější vrstva v rámci celého systému. Jako jediná ze systému musí být vypočtena a velice důkladně navržena, protože ovlivňuje pozdější vlastnosti a chování celého systému. Může být provedena z mnoha různých tepelných izolantů. V tabulce 3 můžeme vidět hodnoty součinitele prostupu tepla pro dnes běžně dostupné typy izolací.

<b>Tepelná vodivost izolačních hmot dle [10]</b>	
<b>Hmota</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m<sup>2</sup>K)]</b>
Minerální vlna	0,035-0,04
Skleněná vlna	0,035-0,04
Lisovaná minerální vlákna	0,06
Pěnové sklo	0,038-0,048
Expandovaný polystyren	0,036-0,045
Extrudovaný polystyren	0,028-0,032
Expandovaný polystyren šedý s přídavkem grafitu [22]	0,032
Polyuretan	0,024-0,028
Výrobky na bázi dřeva	0,085

Tab. 3 Tabulka uvažovaných hodnot součinitele prostupu tepla u běžně užívaných tepelných izolací

### 6) Mechanické kotvení systému – hmoždinky

„V systému specifikované mechanické kotvící prvky, upevňující tepelně izolační materiál k podkladu“ [23]. Jedná se o mechanický způsob stabilizace tepelně izolační vrstvy na konstrukci, kotvení přebírá hlavní síly od vlastní tíhy systému a od zatížení sáním větru. Kotvy se musí navrhovat výpočetně s ohledem na tvar budovy, její výšku, okolní zástavbu a pozici na fasádě. Tyto faktory ovlivňují působící zatížení od větru, dále se musí uvažovat celkové zatížení vlastní tíhou systému, požární bezpečnost systému a další okolnosti. Z výpočtu pak získáváme montážní schéma a počty kotevních prvků na 1m<sup>2</sup> fasády dle plochy a umístění. Tyto výpočty a požadavky určuje v tomto případě řídicí pokyn pro evropské technické schválení ETAG 004 a ETAG 014. Rozdílné počty kotev jsou také v ploše a v blízkosti nároží, atik a rohů.

Dalším faktorem, který ovlivňuje typ mechanického kotvení je materiál podkladu. Do každého materiálu je nutné použít jiný typ hmoždinky a volit rozdílnou hloubku zakotvení v materiálu. Z hlediska požární bezpečnosti je nutné v jistých případech použít hmoždinky s kovovým trnem místo hmoždinek s trnem z plastu. Dalším posuzovaným faktorem je bodový prostup tepla přes tělo hmoždinky. Dříve se tomuto jevu nepřikládala větší význam, v dnešní době je však jasné, že dle množství hmoždinek na fasádě je nutné tento vliv do výpočtů zahrnout nebo jej odstranit. Především na základě práce Ing. Jiřího Šály, CSc. a Ing. Milana Machatky, CSc. můžeme uvést, že do určitého počtu hmoždinek lze vliv tohoto tepelného mostu zanedbat. Počty hmoždinek takto opomíjených můžeme vidět v tabulce 4.

Součinitel prostupu tepla U konstrukce s ETICS [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ]	Zanedbatelný počet hmoždinek na $\text{m}^2$ plochy ETICS s bodovým činitelem prostupu tepla X [ $\text{mWK}^{-1}$ ]						
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,08	8	4	2	1	1	0	0
0,10	10	5	2	1	1	0	0
0,12	12	6	3	2	1	1	0
0,15	15	7	3	2	1	1	0
0,20	20	10	5	3	2	1	1
0,25	25	12	6	4	3	2	1
0,30	30	15	7	5	3	2	1
0,38	38	19	9	6	4	3	2

Tab. 4 Tabulky možného množství zanedbaných hmoždinek a jejich vlivů na tepelné mosty u daných konstrukcí - vliv bodového činitele prostupu tepla hmoždinkou [38]

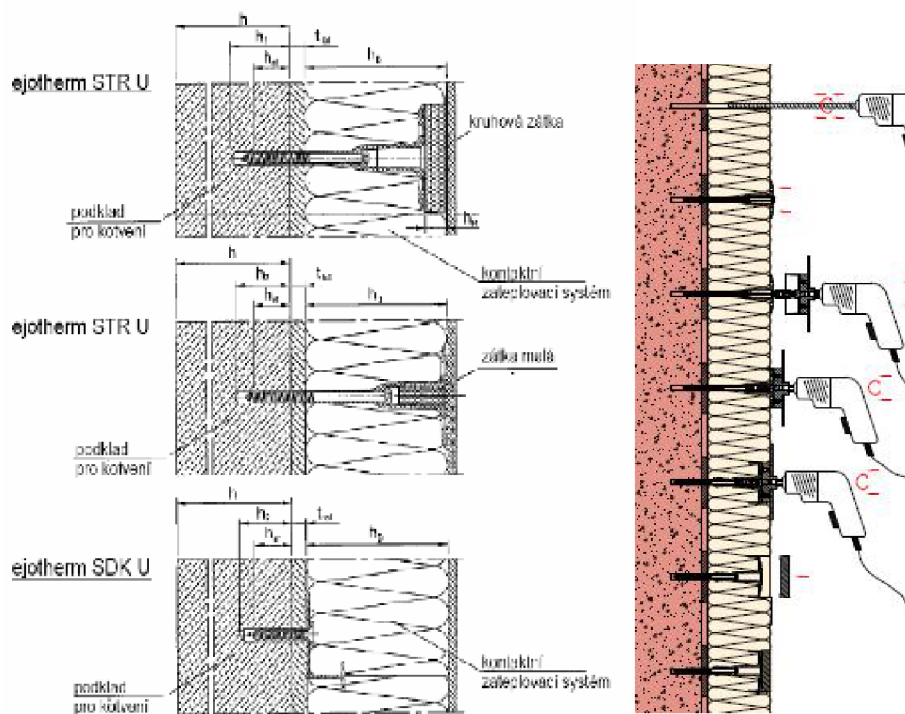
Na základě těchto informací je třeba přizpůsobit návrh kotvení tak, aby neohrozil tepelně technické parametry celistvého systému ETICS. Druhou možností je, pokud to podmínky a požární předpisy dovolí, použití speciálních typů hmoždinek. Tady lze zmínit hmoždinky STR-U firmy EJOT, které mají za pomoci zátky tento tepelný bodový most přerušit. Princip použití hmoždinky je vidět na obr. 11. Je také možné např. použít speciální profily, které izolant vynášejí, aniž by prostupovaly celou jeho tloušťkou až na povrch.

#### 7, 8 a 10) Základní vrstva

Ve složení první vrstva stěrkové hmoty 7, vrstva výztužné síťoviny 8 a druhá vrstva stěrkové hmoty 10, v systému „vlhký do vlhkého“, tj. vše musí být provedeno do začátku tuhnutí hmoty. V [23] je definována jako: „Stěrková hmota pro ETICS - v systému specifikovaný materiál, který tvoří s výztuží základní vrstvu ETICS. Podle druhu pojiva může být buď disperzní, kde převažujícím pojivem jsou syntetické polymery dispergované ve vodě,

nebo může být minerální, kde převažujícím pojivem je cement nebo může být jiná“. Nebo jako v [45]: „V systému specifikovaná vrstva, uplatňovaná přímo na tepelně izolační materiál. Obsahuje výztuž. Základní vrstva určuje většinu mechanických vlastností ETICS“. V poznámce se dále uvádí, že v některých případech může být stěrková hmota totožná s lepící hmotou. Tato varianta je možná u více výrobců materiálu na trhu, mají univerzální stěrkové hmoty, určené jak pro lepení, tak pro vytváření základní vrstvy. Výztužná síťovina samotná v normě definována přímo není, ale výrobci ve většině případů uvádí toto: „Výztužná síťovina je sklotextilní síťovina se zvýšenou odolností proti účinkům alkálií. Tkanina je vyrobena ze skelných vláken a je lubrikována látkami na bázi polymerových disperzí pro zvýšení alkalické odolnosti.“ Co se týká vlastních technických údajů síťoviny, můžeme vycházet například z technických údajů výrobců. Jednou z nejpoužívanějších síťovin je např. síťovina Vertex nebo síťoviny fy. Baumit. Pokud budeme vycházet z technických listů, jejími hlavními parametry jsou velikost ok, která se běžně pohybuje mezi 3x3 až 6x6 mm dle typu a použití síťoviny, hmotnost materiálu, která se u běžných síťovin pohybuje okolo 150 g/m<sup>2</sup>, a zatížení na mezi pevnosti, která se obvykle pohybuje okolo 2000 N/50 mm.

Základní vrstva jako taková je velice důležitou součástí systému. Jsou na ni kladeny přísné požadavky a je vlastně prvkem, který výrazně určuje životnost systému. Má dvě zásadní funkce - první z nich je ochrana tepelného izolantu před vnějšími vlivy - poškozením, klimatem a dalšími, druhou funkcí je vytvoření podkladu pro finální povrchovou úpravu systému.



Obr. 11 Použití zátek pro hmoždinky STR U pro eliminaci tepelného mostu u hmoždinek a princip jejich montáže [30]



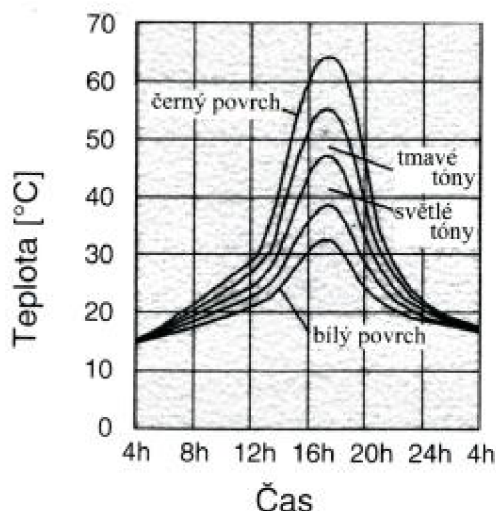
## 11) Penetrační vrstva pod omítkou vrstvu

Definici lze převzít z penetrační vrstvy pod lepidlo systému, která zní: „Materiál pro úpravu povrchu před nanášením následné vrstvy“ [23]. Na rozdíl od penetrační původního povrchu zde existuje rozdíl. Tento nátěr se stejně jako penetrace pod lepidlo provádí v případě, že podklad je velmi savý pro jeho uzavření a zlepšení jeho vlastností. Podkladní vrstvou této penetrace bývá základní vrstva, tj. stěrkový tmel včetně síťoviny. Penetrace zde slouží jako spojovací můstek, a pro lepší adhezi následné finální povrchové vrstvy k podkladu. Druhou zásadní rolí této penetrace bývá barevnost. Velká většina finálních nátěrů je tenkovrstvá - v rámci moderních omítek se pohybuje v tloušťkách okolo 2-3 mm. V takových případech u strukturovaných omítek lze zahlédnout v rýhách a záměrně tvořených „škrábancích“ podklad omítky. Proto je úkolem této penetrace také vytvořit probarvenou vrstvu, která zamezí prohlédnutí většinou šedé základné vrstvy. Ve většině případů je tato vrstva penetrace barevný nátěr, kdy odstín by měl odpovídat co nejvíce finální barvě svrchní omítky. Nátěr bývá buď již naředěný k použití, nebo různě ředitelný - dle chemického složení vlastní hmoty. Nátěr bývá nejčastěji aplikován štětcem nebo válečkem, v některých případech nástřikem.

## 12) Finální povrchová úprava

Zpravidla jí bývá strukturovaná omítka, ale je možné použít i obklad. V normě ČSN 732901 [23] je omítka definována jako „Konečná povrchová úprava pro ETICS - omítka nebo omítka s nátěrem“. V ČSN EN 13499 [45] je naopak finální vrstva definována jako „v systému specifikované minerální, organické a/nebo anorganické materiály, které tvoří vnější vrstvu ETICS. Konečná povrchová úprava kombinovaná se základní vrstvou poskytuje ochranu proti vlivům povětrnosti a dodává systému také strukturu a barevnost“. Strukturování samotné omítky, kterým se vytváří vzhled povrchu, je pak definováno takto: „Strukturování omítky - vytváření konečného vzhledu omítky tvarováním jeho povrchu.“ Nejběžněji se používají omítky rýhované, točené nebo hladké. Obklad zde definován není.

Jak bylo zmíněno, důležitým návrhovým parametrem omítky je také barevnost. Barva povrchu má vliv na povrchovou teplotu systému a jeho prohřívání. U velmi tmavých povrchů není problémem, aby fasáda na povrchu dosáhla teploty 60°C. Proto je nutné při barevném návrhu brát do úvahy i odrazivost a tónování povrchu k eliminaci přílišného teplotního namáhání povrchu. Toto namáhání povrchu by jinak mohlo vést k snížení životnosti systému a vzniku trhlin v omítce a následně degradaci systému.



Obr. 12 Grafické znázornění vlivu barvy povrchové úpravy na teplotu na povrchu systému [16]

### 13) Ochranný nebo uzavírací nátěr, barevný nátěr

Tato vrstva se dělí podle funkce nátěru. Nejběžnější funkcí je pouze barevný nátěr. Ten je používán nejčastěji na starší fasády, kdy barevnost povrchové úpravy není již původní nebo má-li majitel představu o jiném barevném vzhledu budovy než je použitý odstín vlastní omítkové vrstvy. Používají se různé typy hmot podle charakteru pojiva, např. minerální, organické nebo smíšené, dle rozpouštědla pojiva rozpouštědlové, vodně disperzní, směsné nebo ve formě suché směsi.

## 3.2 Směrný technologický postup

Tento předpis je citován a upraven z technologického předpisu firmy Baumit [106]. Tento předpis je jeden z nejpropracovanějších, které lze najít v informacích firem o systémech ETICS. Znění předpisu je velmi zjednodušeno s ohledem na řešené problémy a témata řešená v disertační práci.

### 3.2.1 Vysvětlení některých pojmů

**Dokumentace ETICS** - dokumentace ETICS dodávaná výrobcem - (např. Technologický předpis ETICS, technické a bezpečnostní listy jednotlivých výrobků, prohlášení o shodě, certifikáty).

**Kontrolní a zkušební plán** - plán kontrolních, zkušebních a převíracích činností ověřující podklad pro ETICS, samotný ETICS a jeho provádění.

**Soudržnost podkladu** - pevnost v kolmém tahu vrstvy nebo souvrství při povrchu nové nebo stávající stěny.

*Tepelně izolační vrstva* - část ETICS vytvořená z tepelně izolačního materiálu (polystyren, minerální vlna).

*Základní vrstva* - vrstva zajišťující vyztužení a rovinnost ETICS před prováděním konečné povrchové úpravy. Je složena z výztužné vrstvy, nebo z výztužné vrstvy a vyrovnávací vrstvy.

*Výztužná vrstva* - část základní vrstvy ETICS, která zabezpečuje přenos zatížení z povrchové úpravy a eliminuje deformace vznikající v důsledku objemových změn a mechanického namáhání způsobeného vnějšími silami. Skládá se z výztužné malty, do které je vtažena výztužná síťka.

### **3.2.2 Návrh a dokumentace zateplovacího systému ETICS**

#### *Definice kontaktního zateplovacího systému*

Vnější tepelně izolační kompozitní systémy jsou neprovětrávané systémy, v nichž jsou použity jako tepelně izolační materiál polystyrénové fasádní desky, fasádní desky z minerálních vláken nebo jiné vhodné fasádní desky. Tepelná izolace je k podkladu připevňována lepením a/nebo hmoždinkami a následně je na ní vytvořena výztužná vrstva s povrchovou úpravou. Použitím vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů se snižují hodnoty součinitele prostupu tepla obvodového pláště, čímž se zvyšuje tepelný odpor této konstrukce.

Základní skladba vnějšího tepelně izolačního kompozitního systému (ETICS) - tato již byla definována - viz. kap. 3.1.

Pokud není v tomto předpisu výslovně uvedeno jinak, platí současně i ustanovení platných technických norem a předpisů. Jedná se především o tyto předpisy:

- ČSN 732901- Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů.
- ČSN EN 13499 - Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) z pěnového polystyrenu - Specifikace.
- ČSN EN 13 500 - Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) z minerální vlny - Specifikace.

S ohledem na zákon 22/1997 Sb. nejsou možná libovolná řešení, které oprávněná osoba navrhne. Tato řešení musí být schválena příslušnými úřady a certifikovány.

### ***Projektová dokumentace***

Pro návrh a realizaci vnějšího tepelně izolačního kompozitního systému je nutné zpracovat projektovou dokumentaci, která musí být pro každý konkrétní objekt zpracována v konkrétní skladbě včetně názvů jednotlivých výrobků. Dokumentace musí obsahovat i původní obvodový plášť.

Požadavky tepelné ochrany budov v souvislosti se systémem ETICS jsou závazně zakotveny v aktuálním znění následujících předpisů - Stavební zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, a jeho vyhláškách, zejména vyhlášce č. 137/1998 Sb., o obecně technických požadavcích na výstavbu a vyhlášce č. 499/2006, o dokumentaci staveb - tato legislativa je od 1. 1. 2013 změněna, platí zákon 350/2013, kterým se mění zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, a některé související zákony, dále vyhláška 268/2009 o technických požadavcích na stavby a v neposlední řadě vyhláška 62/2013, kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb.

Dále je také nutné se řídit zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, resp. novele 406/2006 Sb., a jeho prováděcí vyhlášce č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti staveb.

Stanovení potřebné tloušťky tepelné izolace, včetně posouzení vlivu zvýšení difúzního odporu konstrukce, se provádí podle normy ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov - Požadavky.

### ***Statické posouzení***

ETICS mohou být navrhovány a zhotovovány za určitých podmínek jako systémy lepené s doplňkovým kotvením či systémy čistě lepené. Ve většině případů se však jedná o systémy kotvené s doplňkovým lepením. Statické posouzení provedení ETICS řeší jak únosnost podkladu, tak způsob ukotvení kontaktního zateplovacího systému. Musí být specifikován druh, počet a poloha hmoždinek. U pokladu je potřeba jednoznačně určit, zda je možné jej zanechat v původním stavu nebo odstranit či lokálně vyspravit.

### ***Požárně technické řešení***

Obsahuje návrh a použití ETICS z hlediska požární odolnosti. Při provádění zateplovacích systémů je nutno dodržovat požadavky požárních norem, mimo jiné ČSN 730810 Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení a ČSN 730834 Požární bezpečnost staveb - Změny staveb.

Podle normy ČSN 730810 je u novostavby možno zateplovat konstrukci s třídou reakce na oheň B, přičemž tepelný izolant má třídu reakce na oheň minimálně E (např. samozhášivý fasádní polystyren, fenolická pěna) do požární výšky objektu 12 m. U novostaveb s požární výškou objektů nepřesahující 30 m je možno do 12 m požární výšky použít izolant třídy

reakce na oheň minimálně E za předpokladu, že konstrukce má třídu reakce na oheň B. V oblasti soklu je ve většině případů nutno vložit pás izolantu s třídou reakce na oheň A1 nebo A2 minimální výšky 0,5m (minerální vlna). Ve vyšších nadzemních podlažích je nutno také použít tepelný izolant s třídou reakcí na oheň A1 nebo A2. Při provádění ETICS u novostaveb s požární výškou nad 30 m je nutno použít na celý objekt izolant s třídou reakce na oheň A1 nebo A2 - tj. min. vatu.

### **3.2.3 Návrh kotvení hmoždinkami**

Zateplovací systémy mohou být navrhovány a zhotovovány jako systémy čistě lepené, systémy lepené s doplňkovým kotvením a systémy kotvené s doplňkovým lepením.

#### ***A) ETICS bez kotvení hmoždinkami - systémy výhradně lepené***

Kotvení hmoždinkami není nutné u novostaveb s max. 2 nadzemními podlažními, provedených z nového zdiva z pálených cihel. Výška objektu nesmí přesáhnout 8 m. Veškeré zatížení a stabilitu ETICS zajišťuje plně lepení.

#### ***B) ETICS lepené s doplňkovým kotvením***

Zateplovací systém s fasádním polystyrenem (minimální plocha lepení 40%) a s minerální vlnou s kolmými vlákny (lepeny celoplošně) lze považovat za systémy lepené s doplňkovým kotvením do výšky objektu 25 m. V tomto systému veškeré zatížení přenáší lepidlo. Stabilitu zajišťují hmoždinky do doby, než lepidlo zatvrdne, popř. při požáru.

#### ***C) ETICS kotvené s doplňkovým lepením***

V systémech kotvených s doplňkovým lepením veškeré síly způsobené zatížením větrem dle normy ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem musí být schopny přenést mechanické upevňovací prostředky – hmoždinky.

Druh hmoždinek, jejich počet, poloha vůči základní (výztužné) vrstvě a rozmístění v ploše tepelně izolačních desek a v místě jejich styků, a /nebo v celé ploše ETICS je určen v projektové dokumentaci. Vždy musí být proveden statický výpočet, zohledňující zatížení konkrétního objektu větrem, únosnost hmoždinek v podkladu a izolantu.

Rozmístění a počet hmoždinek udává upevňovací schéma hmoždinek, které vychází jednak z deklarace odolnosti hmoždinek proti vytržení z materiálu, do něhož se kotví podle ETAG 014 nebo případně ze zkoušek přímo na stavbě postupem dle ETAG 014, příloha D.

### 3.3 Základní podmínky realizace

#### 3.3.1 Klimatické podmínky při provádění ETICS:

Teplota vzduchu po dobu provádění technologických operací ETICS a dále po dobu stanovenou v dokumentaci ETICS **nesmí být nižší než + 5 °C a vyšší než + 30 °C**, pokud dokumentace ETICS nestanoví jinak. Při zpracování silikátových výrobků by měla být teplota v rozmezí **+ 8 °C až + 25 °C**.

**Obdobně povrchová teplota podkladu a všech součástí ETICS nesmí být nižší než + 5 °C (resp. + 8 °C při zpracování silikátových výrobků).**

Ochrana před deštěm musí být zajištěna po dobu technologických operací provádění ETICS a po dobu zrání jeho součástí.

Před přímým slunečním zářením musí být po dobu svého zrání chráněna základní vrstva, penetrační nátěr, omítka a popř. její nátěr.

Vzhledem k vyšší pohltivosti tepla šedých fasádních polystyrénových desek doporučujeme zakrytí lešení fasádními sítěmi.

Při aplikaci ETICS na konkrétní objekt je dále nutno dodržovat následující obecná doporučení:

Specifikace ETICS včetně určení jeho přesné skladby, tloušťky desek tepelné izolace, počtu, polohy vůči výztuži a rozmístění hmoždinek v případě jejich potřeby, určení příslušenství ETICS a řešení detailů vyplývá z projektové dokumentace a/nebo stavební dokumentace.

Tvar objektu, návrh a provedení detailů musí svým tvarem, tuhostí a kombinací jednotlivých materiálů ochránit stavební dílo a vnitřní prostředí před klimatickými vlivy jako jsou adekvátní kolísání teplot, větrem hnaná srážková voda, přiměřené množství tekoucí srážkové vody po fasádě apod. Požadavek na vodotěsnost či nepropustnost při hydrostatickém tlaku či dlouhodobém smáčení není adekvátní.

Používat výhradně materiály a výrobky dodávané certifikovanou firmou a tím zaručit, že materiály a výrobky splňují vlastnosti uvedené v certifikátech ETICS a veškeré platné předpisy. Do jednotlivých výrobků není přípustné přidávat jakékoliv jiné materiály, chemické přísady (např. proti zamrznutí) či je mezi sebou mísit, pokud dokumentace ETICS nestanoví jinak.

Veškerá napojení ETICS na přilehlé konstrukce nebo prostupující prvky musí být v jednotlivých operacích provedena tak, aby nedocházelo ke vzniku škodlivých trhlin a/nebo pronikání vody do systému. Uvedený požadavek se zajišťuje použitím těsnících pásek, připojovacích a ukončovacích profilů, dilatačních profilů a tmelů.

Montáž ETICS smí provádět pouze firmy, které jsou nositelem platného osvědčení o zaškolení svých pracovníků pro provádění konkrétního ETICS.

### **3.4 Technologické operace při provádění ETICS**

Rozhodující technologické operace při provádění ETICS jsou:

- příprava podkladu,
- lepení desek tepelné izolace,
- kotvení hmoždinkami,
- provedení základní vrstvy, případně poté penetrace,
- provedení konečné povrchové úpravy.

Zde podrobněji zmíníme pouze provedení základní vrstvy včetně penetrací, ostatní části budou zjednodušeny.

#### **3.4.1 Příprava podkladu**

Vnější tepelně izolační kompozitní systémy je možné použít na všech obvyklých stavebních minerálních podkladech (příp. dřevěných, dřevocementových atp.). Podklad musí být vždy suchý, dostatečně vyzrálý, pevný, zbavený nečistot a volně oddělitelných částic, zbavený zbytků odbedňovacích a odformovacích prostředků, výkvětů, puchýřů a odlupujících se míst, biotického napadení a aktivních trhlin v ploše. Staré zvětralé omítky je třeba oklepat, vyduté části odstranit a vyspravit. Následně je vhodné fasádu umýt a opláchnout tlakovou vodou. Podklad nesmí být povrchově upraven minerálními a organickými omítkami, nebo nátěrovými hmotami (nátěry, nástřiky). Podklad nesmí vykazovat výrazně zvýšenou ustálenou vlhkost (neplatí pro sanační tepelně izolační systém), ani nesmí být trvale zvlhčován. U novostaveb je možné systém lepit přímo na nosné neomítnuté zdivo.

Doporučuje se průměrná soudržnost podkladu nejméně 200 kPa s tím, že nejmenší jednotlivá přípustná hodnota musí být alespoň 80 kPa.

Maximální hodnota odchylky rovinnosti závidí na způsobu spojení ETICS s podkladem:

- desky tepelné izolace pouze lepeny - 10 mm/m,
- desky tepelné izolace celoplošně lepeny a dodatečně kotveny - 10 mm/m,
- desky tepelné izolace obecně - max. do 20 mm/m,
- desky tepelné izolace lepeny formou obvodového pásku a tří terčů, dodatečně kotveny - 10 mm/m,
- desky tepelné izolace lepené formou obvodového pásku a tří terčů, dodatečně kotveny - 20 mm/m.

### 3.4.2 Zásady pro lepení tepelně izolačních desek

Druh lepicí hmoty, druh a tloušťka desek tepelné izolace jsou určeny ve stavební dokumentaci. Příprava lepicí hmoty a práce s ní je určena dokumentací výrobce a dokumentací ETICS. Do lepicí hmoty nesmí být přidávány žádné přísady.

Lepení první řady desek se provádí:

- do zakládacího soklového profilu
- pomocí dřevěné zakládací (hoblované) latě

Desky tepelné izolace musí při lepení dolehnout k přednímu líci soklového profilu, nesmí ho přesahovat ani nesmí být zapuštěny. Na navazující části konstrukce, prostupující prvky připevňované k podkladu a oplechování se doporučuje bezprostředně před lepením desek aplikovat určené těsnící pásy.

Pokud tepelně izolační systém přiléhá až k terénu, nebo zasahuje pod úroveň terénu, je nutno použít jako tepelný izolant extrudovaný polystyren s oboustranně dodatečně zdrsňeným povrchem nebo desky s oboustranně profilovaným povrchem do výšky 300 až 500 mm nad terénem. Hmoždinky je nutné umístit mimo oblast odstříkující vody (např. > 300 mm nad upravený terén).

Desky tepelné izolace se lepí přitlačením na podklad ve směru zdola nahoru, na vazbu, bez křížových spár. Výjimkou je lepení desek u terénu pod zakládacím soklovým profilem, kde se desky lepí obvykle ve směru shora dolů. Tepelně izolační desky se lepí pomocí obvodového rámečku silného 20 až 30 mm a 3 vnitřních terčů tak, aby po přiložení a přitlačení desky k podkladu vznikl lepený spoj na minimálně 40 - 60 % lepené plochy desky (dle varianty povrchové úpravy). Desky minerální vlny s kolmými vlákny vyžadují vždy celoplošné lepení. Desky se lepí vždy těsně na sraz. Lepicí hmota nesmí při jejím nanášení zůstat na bočních plochách desek tepelné izolace, ani na ně být při jejich osazování vytlačena. Pokud k tomu dojde, musí být z těchto míst neprodleně odstraněna.

Pokud vzniknou spáry mezi deskami tepelné izolace s šířkou větší než 2 mm, musí se vyplnit tepelně izolačním materiálem. Spáry mezi deskami EPS-F šířky do 4 mm je možné vyplnit pěnovou hmotou (PUR pěnou). Vyplnění spár musí být provedeno tak, aby byla dodržena rovinnost vrstvy tepelně izolačního materiálu a spáry byly vyplněny v celé tloušťce desek.

Na nárožích musí být desky tepelné izolace lepeny po řadách na vazbu. U výplní otvorů se desky tepelné izolace musí umísťovat tak, aby křížení jejich spár bylo nejméně 100 mm od rohů těchto otvorů. U otvorů se doporučuje osazení desek s takovým přesahem, aby čelně překryl následně lepené přířezy desek tepelné izolace na ostění výplní otvorů.



Požadovaná rovinnost izolačních desek se zajišťuje broušením po zatvrdnutí lepicí hmoty, obvykle za 1 až 2 dny. Je-li přestávka mezi osazením polystyrénových desek a provedením základní vrstvy delší než 14 dní, musí být vnější povrch desek přebroušen za účelem odstranění degradované povrchové vrstvy.

Doporučuje se, aby hodnota odchylky rovinnosti na délku jednoho metru nepřevyšovala hodnotu odpovídající velikosti maximálního zrna omítky zvýšenou o 0,5 mm. V případě, že požadované rovinnosti nebylo dosaženo, je nutno aplikovat vyrovnávací vrstvu.

### 3.4.3 Zásady pro kotvení hmoždinkami

Mechanické kotvení fasádními hmoždinkami zajišťuje především spolehlivost stability systému dokonalým spojením s nosným podkladem, převzetí sil způsobených sáním větru a zachycení vlastní hmotnosti tepelně izolačního systému. Fasádní hmoždinky jsou plastové nebo kovové kotvy určené pro kotvení tepelné izolace v ETICS.

Druhy mechanického upevňování tepelně izolačních desek:

- hmoždinky osazené přímo na tepelně izolační desky dle určeného rastru,
- hmoždinky osazené přes výztužnou vrstvu (stěrková hmota se sklotextilní sítovinou),
- speciální kotvy umístěné pod fasádními tepelně izolačními deskami.

Hmoždinky se osazují nejdříve 24 hodin po lepení desek tepelné izolace a zpravidla před provedením základní vrstvy, neurčuje-li stavební dokumentace jinak. Hmoždinky se obvykle umísťují jak v místě styků rohů desek tepelné izolace, tak v ploše těchto desek. Je nutné hmoždinky umísťovat v místech, kde byla deska připevněna k podkladu lepidlem k omezení deformací desek.

Hmoždinky musí být kotveny až do **nosné** konstrukce obvodového pláště. Vrt pro osazení hmoždinky musí být prováděn kolmo k podkladu. Průměr vrtáku musí odpovídat průměru dříku kotvy. Tloušťka stavebního dílu kotevního materiálu musí u zděné konstrukce být alespoň o 20 mm, u betonu alespoň o 30 mm větší, než kotevní hloubka, aby nedošlo k provrtání. Hloubka provedeného vrtu musí být o 10 mm delší, než je předepsaná kotevní délka použité hmoždinky. Nejmenší vzdálenost osazení hmoždinky od krajů stěny, podhledu, nebo dilatační spáry je 100 mm, neurčuje-li stavební dokumentace jinak.

Hmoždinky smí být vystaveny působení UV záření maximálně po dobu 6 týdnů tj. po dobu, po kterou nebudou hmoždinky kryty dalšími vrstvami

systemu. Špatně osazená, deformovaná nebo jinak poškozená hmoždinka se musí nahradit poblíž novou hmoždinkou, špatně osazená hmoždinka se pokud možno odstraní a celý zbylý otvor v deskách tepelné izolace se vyplní používaným tepelně izolačním materiálem. Případný zbylý otvor v základní vrstvě se vyplní stěrkovou hmotou. Špatně osazenou hmoždinkou se rozumí například hmoždinka nepevně zakotvená nebo vyčnívající nad vnější líc vrstvy tepelně izolačního materiálu bez možnosti jejího osazení do požadované polohy, apod. Montáž hmoždinek lze provádět pouze při teplotách nad 0 °C. Hmoždinky se nesmí osazovat do zmrzlé konstrukce.

#### **3.4.4 Provedení základní vrstvy**

***!! Správné provedení základní vrstvy má zásadní vliv na rozhodující dlouhodobé vlastnosti vnějšího souvrství. Kvalitní provedení této vrstvy významně spolurozhoduje o životnosti systému. !!***

Před zahájením provádění základní vrstvy se zajistí ochrana před znečištěním přilehlých konstrukcí, prostupujících a osazených prvků včetně jejich upevnění a oplechování.

Při přímém slunečním záření, dešti nebo silném větru se doporučuje fasádu chránit vhodným způsobem.

#### ***Vyztužení exponovaných míst, dilatace***

Před vlastním prováděním výztužné vrstvy je nutné na tepelně izolační desky připevnit všechny určené profily - např. ukončovací, nárožní a dilatační profily a zesilující profily se síťovinou, parapetní připojovací profily, okapničky ETICS se síťovinou a dilatační profily.

U rohů výplní otvorů se musí mimo vlastní vrstvu výztužné síťoviny vždy provést diagonální zesilující vyztužení, a to pruhem sklotextilní síťoviny o rozměrech nejméně 300x200 mm. Následně se osadí výztužné rohové profily, případně parapetní připojovací profil.

Při navázání profilů se síťovinou se musí vlastní tělo profilu zkrátit tak, aby se integrované síťoviny z obou navazujících profilů vzájemně dostatečně překrývaly. Profily je třeba zkracovat speciálními nůžkami pro zkracování lišt (typ "ostří - plocha"). Předem se tím případným deformacím profilu, které mají za následek netěsnosti a neestetický vzhled napojení kompozitního tepelně izolačního systému na výplně otvorů.

V rámci ETICS se musí projevit i dilatace podkladní nosné obvodové konstrukce. Do předem nanesené stěrkové hmoty se osadí dilatační profil vhodný pro oblast nároží nebo pro průběžné plochy.

Provádění základní vrstvy se děje pouze na suché a čisté desky tepelné izolace a zahajuje se obvykle po 1 až 3 dnech od ukončení lepení desek,

po případném dokončení kotvení hmoždinkami a celkovém přebroušením v případě polystyrénových fasádních desek. Zároveň musí být provedena do 14 dní po ukončení lepení desek. Pokud tato lhůta nebude dodržena, musí být přijata zvláštní opatření vedoucí k ochraně desek tepelné izolace proti negativnímu působení venkovního prostředí.

Na styku dvou systémů ETICS, lišící se mezi sebou jen v tepelně izolačním materiálu bez přiznané spáry, se musí provést zesilující vyztužení do vzdálenosti nejméně 150 mm na každou stranu od styku.

Základní vrstva se skládá, jak již bylo zmíněno dříve, z těchto částí:

- vyrovnávací vrstvy
- výztužné (armovací) vrstvy - tzv. základní vrstvy.

Vyrovnávací vrstva - zajišťuje potřebnou rovinnost tepelně izolačních systémů před nanášením povrchových úprav. V případě potřeby se provádí nanášením stěrkové hmoty v tloušťce min. 2 mm, zpravidla neobsahuje výztuž - provádí se především u systémů z minerálních či jiných vláknenných izolací, kdy povrch nelze srovnat broušením.

Výztužná vrstva - vždy obsahuje v celé ploše tepelně izolačního systému výztuž – sklotextilní síťovinu.

Druh stěrkové hmoty a sklotextilní síťoviny pro základní vrstvu jsou určeny ve stavební dokumentaci. Přípravu stěrkové hmoty a práce s ní určuje příslušný technický list výrobku. Do stěrkové hmoty nesmí být přidávány žádné přísady. Základní vrstva se provádí v celkové tloušťce 2 - 6 mm, optimálně 3 - 4 mm.

Lepicí hmota se vždy nanáší metodou „mokrý do mokrého“, shora dolů, nerezovým hladítkem s velikostí zubů 10 x 10 mm. Do takto připravené stěrkové hmoty se provede ručně vyztužení základní vrstvy pomocí celoplošného uložení sklotextilní síťoviny. Stěrková hmota, která prostoupila pásy sklotextilní síťoviny, se následně po případném doplnění jejího množství vyrovná a uhladí pomocí nerezového hladítka pohybem shora dolů. V odůvodněných případech lze vodorovné ukládání sklotextilní síťoviny považovat za rovnocenné svislému. Vzájemných přesahů pásů musí být nejméně 100 mm. Sklotextilní síťovina jako výztuž základní vrstvy musí být uložena bez záhybů a z obou stran musí být kryta stěrkovou vrstvou nejméně 1 mm, v místech přesahů síťoviny nejméně 0,5 mm. Pokud původně nanášená stěrková hmota s uloženou sklotextilní síťovinou nemá požadovanou tloušťku základní vrstvy, zajistí se požadovaná tloušťka této vrstvy nanášením stěrkové hmoty na vyrovnanou, neztuhlou a nevyschlou původně nanášenou stěrkovou hmotu se sklotextilní síťovinou. Pokud to celková tloušťka základní vrstvy umožňuje, ukládá se sklotextilní síťovina vždy ve vnější třetině tloušťky základní vrstvy.

Požadavek na rovinnost základní vrstvy je určen především druhem omítky - jak již bylo zmíněno, určuje se dle velikosti zrn omítky, tj. doporučuje se, aby hodnota odchylky rovinnosti na délku jednoho metru nepřevyšovala hodnotu odpovídající velikosti maximálního zrna omítky zvýšenou o 0,5 mm. V případě, že požadované rovinnosti nebylo dosaženo, je nutno aplikovat vyrovnávací vrstvu po 2-3 dnech.

Případné nátěry a penetrace se na základní vrstvu provádí až po jejím vyžrání a vyschnutí – nejdříve však až po uplynutí doby uvedené v technickém listu příslušné stěrkové hmoty. Běžně je tato doba cca 7 dní. U speciálních „zrychlených“ směsí lze tuto dobu zkrátit na 2-3 dny, za předpokladu dodržení následujících podmínek - vztahuje se na teplotu  $\geq +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tloušťku stěrky 2 - 3 mm, relativní vlhkost vzduchu  $\leq 70\%$ , přičemž rozhodující je dosažení jednotného suchého povrchu bez vlhkých (tmavších) míst). Při větší tloušťce základní vrstvy a/nebo při méně příznivých klimatických podmínkách se tato doba tvrdnutí a vysychání stěrkové vrstvy přiměřeně prodlužuje.

### **3.4.5 Provedení konečné povrchové úpravy - provedení omítek**

Druh, struktura a barevný tón konečné povrchové úpravy, tvořené omítkou nebo omítkou s nátěrem je určen stavební dokumentací. Při přímém slunečním záření, dešti nebo silném větru se doporučuje fasádu chránit vhodným způsobem. Přípravu omítky, popř. nátěrové hmoty a práci s nimi určuje dokumentace ETICS. Do výrobků nesmí být přidávány žádné přísady.

Před nanášením omítky se provede penetrace základním nátěrem (není-li v dokumentaci ETICS uvedeno jinak). Nutná technologická přestávka před nanášením omítky na základní nátěr je min. 24 hodin. Při nepříznivých klimatických podmínkách (vysoká vlhkost vzduchu, mlha) se může čas potřebný pro zaschnutí penetračního nátěru prodloužit. V případě aplikace tenkovrstvých probarvených omítek na nedostatečně zaschlý penetrační nátěr hrozí nebezpečí tvorby skvrn na konečné povrchové úpravě.

Přípustná teplota vzduchu a materiálu podkladu se musí během zpracování a schnutí základních nátěrů, tenkovrstvých omítek nebo fasádních barev pohybovat v rozmezí  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pokud dokumentace nestanoví jinak. Nanášení fasádních omítek a barev je možné provádět pouze v rozmezí teplot  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zvýšená vlhkost vzduchu a nižší teploty vzduchu (např. pozdní podzim) mohou podstatně ovlivnit dobu zrání omítky a způsobit nerovnoměrnost výsledného odstínu.

Pohledově ucelené plochy je nutné provádět v jednom pracovním záběru (mokrě do mokrého). Přerušování práce se připouští na hranici stejnobarevné plochy, na nároží a na jiných vodorovných a svislých hranách. Napojení dvou barevných odstínů nebo ukončení se provádí pomocí papírové lepicí pásky.

Vzhledem ke složení a přirozené chemické reakci při zrání jsou silikátové omítky a barvy citlivé na dodržení správných podmínek zpracování. Rozdílná savost podkladu, teplota a vlhkost vzduchu, jakož i rychlost v větru mohou vést k rozdílné rychlosti zrání a tím i k odchylce v barevnosti oproti standardu. Při použití silikátových omítek na tepelně izolačních systémech se doporučuje používat ochranné fasádní sítě.

Nejnižší požadovaná světelná odrazivost (HBW) pro použitelné barevné tóny konečné povrchové úpravy je určena dokumentací ETICS. Pro povrchové úpravy vnější tepelně izolační kompozitní systémů doporučujeme používat přednostně omítky a barvy s hodnotou světelného odrazu (HBW) vyšší než 25. Pro užití omítek a barev s hodnotou světelného odrazu (HBW) nižší než 25 na tepelně izolačních kompozitních systémech je nutno si vyžádat písemný souhlas od výrobce směsi na konkrétní stavbu a konkrétní objekt - hrozí totiž zvýšené namáhání vlivem objemových změn zvýšením povrchových teplot systému.

### **3.5 Vedení stavebního deníku a kontrola prací a kvality**

Do denních záznamů ve stavebním deníku se o realizaci kompozitního tepelně izolačního systému (ETICS) zaznamenávají věci dle vyhlášky o dokumentaci staveb, vybereme z nich jen ty nejdůležitější - zmíněné parametry jsou důležité z hlediska kvality systému, při jejich nedodržení dochází k vadám a poruchám systému:

- shoda součástí a příslušenství ETICS se specifikacemi výrobce a se stavební dokumentací,
- klimatické podmínky (teplota vzduchu a významné meteorologické jevy, např. vítr, déšť) - nejdůležitější je teplota ovzduší, podkladu a všech součástí ETICS - v celém průběhu realizace a zrání ETICS musí být v rozmezí +5 °C až +30 °C, není-li určeno dokumentací ETICS jinak nebo není-li použito speciálních hmot, jejichž vlastnosti umožňují použití v jiných podmínkách,
- důsledné dodržování určených řešení konstrukčních detailů,
- evidence schválené stavební dokumentace včetně všech jejích změn a doplňků,
- identifikace plochy, na které jsou práce prováděny,
- počátek a konec provádění,
- složení pracovní čety,
- použité strojní zařízení,

- specifikace změn v průběhu realizace ETICS (oproti odsouhlasené stavební dokumentaci),
- provedení dohodnutých a předepsaných zkoušek,
- přerušení prací a zahájení technologických přestávek,
- dílčí přejímky,
- zakrývání prací a kontroly zakrývaných prací,
- ztížené pracovní podmínky,
- zvláštní události a skutečnosti, které mohou mít nepříznivý vliv na průběh prací při realizaci ETICS,
- požadavek na odstranění vad,
- návrh řešení odstranění vad,
- zajištění bezpečnosti práce a ochrany při provádění prací včetně požárních opatření.

## 4. TÉMA A CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

### 4.1 Téma disertační práce

Na základě analýzy současného stavu problematiky a průzkumu realizace zateplovacích plášťů ETICS na stavbách lze konstatovat, že přibližně 25 % prací probíhá v jiných než ideálních klimatických podmínkách, a to převážně v rozporu s danými technickými předpisy (vzorový technologický předpis a tab. 13). Toto nedodržování technologických pravidel stavebními firmami je obvykle dáno jejich zájmem o získání zakázky, dodržení dohodnutých časových lhůt a o minimalizaci vlastních finančních nákladů na realizaci pláště. Tak se práce realizují i za nevyhovujících teplotních podmínek - jednak za vysokých teplot (nad 30 °C, přičemž na přímo osluněné fasádě lze naměřit i hodnoty překračující 50 °C) nebo za nízkých teplot blízko nebo pod 0 °C. Navíc v zimním počasí teplota může kolísat i během 24 hodin, např. v noci můžeme naměřit -5 °C a přes den +5 °C a více (viz. grafy průběhu teplot v přílohách práce). Například 22. 3. 2013 až 23. 3. 2013 - přes noc se teplota dostala až k -7 °C a přes den byla 2 °C nad nulou, což je podstatný rozdíl. Na základě těchto údajů a zjištění lze vyvodit otázku, nakolik takovéto stavy ovlivňují výslednou kvalitu zateplovacího systému.

Z konstrukčního složení systému ETICS je zřejmé, že jeho nejchoulostivější částí na působení povětrnostních vlivů během provádění je krycí, tzv. základní vrstva (její definice je uvedena v kap. 3). Tato vrstva se skládá z maltovinové stěrky, která je kvůli mechanickému namáhání vyztužena sklotextilní sít'ovinou. Její celková tloušťka se pohybuje v rozmezí 2 až 6 mm, přičemž nejběžněji lze nalézt výslednou tloušťku 4 mm.

Tato vrstva chrání tepelnou izolaci systému pláště a má zaručovat požadované mechanické vlastnosti systému ETICS, zejména pevnost a stálost povrchu, trvanlivost, eliminaci deformací vznikajících v důsledku objemových změn a mechanického namáhání způsobeného vnějšími silami. Musí také vytvářet spolehlivý, kvalitní a únosný podklad pro konečnou povrchovou úpravu systému ETICS.

Tato práce tak byla zaměřena na to, zda a jak ovlivňují venkovní teploty vlastnosti základní vrstvy při jejím provádění.

## **4.2 Cíle disertační práce**

Problematikou, specifikovanou v předcházející části, se doposud (dle mých informací) podrobněji nikdo nezabýval. Nezmiňují se o tom ve svých technologických předpisech ani renomované firmy, které se na provádění pláště ETICS zaměřují. Tato záležitost by však měla být nedílnou součástí dokumentů týkajících se kontroly kvality systému a měla by být zahrnuta v tzv. „Kontrolním a zkušebním plánu“.

Pochybnosti a úvahy o kvalitě zateplovacích pláště realizovaných za zmíněných nevhodných podmínek vznikly konkrétními kontrolami při provádění prací na stavbách.

Z toho také vyplynul cíl této práce:

- ověřit kvalitu základní vrstvy srovnáním hodnot při jejím provádění v deklarováných a extrémních klimatických podmínkách,
- vyhodnotit získané poznatky a zpracovat závěry a doporučení pro stavební praxi, investory a stavební dozory.

Řešení bude vyžadovat stanovení specifikace teplotních mezí, výběr reprezentantů hmot pro základní vrstvu, provedení zkušebních vzorků, jejich zrání ve stanovených teplotních režimech, zkoušky dosažených technických parametrů a závěrečné vyhodnocení.

## 5. ŘEŠENÍ VYTČENÝCH CÍLŮ PRÁCE

Dosavadním studiem stavu současné problematiky a analýzou stavební praxe při realizaci pláště ETICS jsem odvodil úkoly, které je třeba dále zkoumat a ověřit. Z technologického hlediska jde o následující části:

- Jaké technické, technologické a kvalitativní nároky jsou kladeny na vybrané reprezentanty průmyslově vyráběných hmot pro zhotovení plášťů systému ETICS.
- Jaké jsou reálné klimatické podmínky při realizaci plášťů a zejména jejich základní (vyztužené) vrstvy a jak jsou stavební praxí respektované.
- Jak tyto podmínky ovlivňují kvalitu zejména základní vrstvy ETICS.
- Které vybrané vzorky potřebných hmot budou zkoušeny a vyhodnocovány.
- Jakým zkouškám budou vzorky podrobeny a jaké je potřebné přístrojové vybavení.

### 5.1 Hmoty, jejich kvalita, vlastnosti a použití

K odbornému posouzení kvality a vlastností kontaktních plášťů ETICS (jako sestavy vybraných složek) jsou v následujících tabulkách uvedeny souhrny požadavků kladených na jeho jednotlivé složky. Přitom lepicí a také stěrková hmota (stěrka) musí při všech variantách sestavy vyhovovat požadavkům deklarovaným jejich výrobcem.

Následující tabulky tedy udávají požadované technické a kvalitativní údaje pro fasádní desky z extrudovaného polystyrenu, pro kotvící hmoždinky, základní (výztužnou) vrstvu, lepicí vrstvu a pro vnější souvrství. Dále uvádí základní podmínky a postupy pro provádění příslušných zkoušek.



Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek
Přídržnost lepicí hmoty k - podkladu	ETAG 004	min. 250 kPa
podkladu - po uložení ve vodě a sušení po dobu 2 h		min. 80 kPa
podkladu - po uložení ve vodě a sušení po dobu 7 dní		min. 250 kPa
Přídržnost lepicí hmoty k - tepelně izolačnímu materiálu	ETAG 004	min. 80 kPa, nebo porušení v tepelně izolačním materiálu
tepelně izolačnímu materiálu - po uložení ve vodě a sušení po dobu 2h		min. 30 kPa, nebo porušení v tepelně izolačním materiálu
tepelně izolačnímu materiálu - po uložení ve vodě a sušení po dobu 7 dní		min. 80 kPa, nebo porušení v tepelně izolačním materiálu

Tab. 5 Požadavky na charakteristiky lepicí hmoty [69]

Požadavky na charakteristiky desek z pěnového polystyrenu (EPS) jako jedné z možných složek tepelně izolační vrstvy jsou uvedeny v následující tabulce. Souběžně se přitom požaduje shoda s ČSN EN 13163 včetně příloh. Některé ostatní požadavky, jejichž plnění desky EPS mají zajišťovat spolu s ostatními součástmi ETICS, jsou uvedeny v tabulkách, které se týkají povrchové vrstvy systému a systému ETICS jako celku.

Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek <sup>1*</sup>
Délka	ČSN EN 822 (72 7041)	max. 1000 mm EPS-EN 13163-L2
Šířka	ČSN EN 822 (72 7041)	max. 500 mm tolerance $\pm 1$ mm
Tloušťka	ČSN EN 823 (72 7042)	min. 20 mm <sup>2*</sup> EPS-EN 13163-T2
Pravouhlost	ČSN EN 824 (72 7043)	EPS-EN 13163-S2
Rovinnost	ČSN EN 825 (72 7044)	odchylka od rovinnosti max. 3 mm
Objemová hmotnost	ČSN EN 1602 (72 7046)	min. 14 kg/m <sup>3</sup> max. 20 kg/m <sup>3</sup>
Rozměrová stabilita za konstantních laboratorních podmínek - metoda B1 pro délku a šířku s přesností $\pm 0,05$ mm (celková doba zkoušky 42 dní)	ČSN EN 1603 (72 7047)	dovolená relativní změna délky a šířky $\pm 0,15\%$
Rozměrová stabilita při určených podmínkách teploty a relativní vlhkosti vzduchu	ČSN EN 1604 (72 7048)	EPS-EN 13163-DS(70,-)1 EPS-EN 13163-DS (70,90)1

Pevnost v tahu kolmo k rovině desky	ČSN EN 1607 (72 7051)	EPS-EN 13163-TR 100
Pevnost ve smyku	ČSN EN 12090 (72 7059)	min. 0,02 N/mm <sup>2</sup>
Modul pružnosti ve smyku	ČSN EN 12090 (72 7059)	min. 1,0 N/mm <sup>2</sup>
Faktor difúzního odporu	ČSN EN 12086 (72 7055)	min. 20 max.40
Reakce na oheň	ČSN EN 135501-1 (73 0860)	třída reakce na oheň E <sup>3*</sup>
Povrch desky	-	homogenní, bez povlaku
Obsah cizího regranulátu	-	bez cizího regranulátu
<p>Poznámka 1*:V případech, kde je to možné, je požadavek nebo jeho část vyjádřen pomocí symbolů a označení požadované třídy nebo úrovně uváděných v ČSN EN 13163. Úroveň je určená hodnota, která je horní nebo dolní mezní hodnotou požadavku. Třída je omezená dvěma úrovněmi těchto charakteristik.</p> <p>Poznámka 2*: Požadavek na tepelný odpor <i>R</i> ETICS je podle ETAG 004 min.1 m<sup>2</sup> K/W. Tloušťka tepelně izolačního materiálu spolu s ostatními součástmi ETICS musí tento požadavek zajišťovat. Výjimkou může být ETICS pro vedlejší části stěny případně vodorovné části konstrukce, kde z technických důvodů není možné uplatnit odpovídající tloušťku tepelně izolačního materiálu pro dosažení požadovaného minimálního tepelného odporu <i>R</i> (např. ETICS na ostění výplň otvorů).</p> <p>Poznámka 3*: Minimální požadavek</p>		

Tab. 6 Požadavky na charakteristiky desek EPS jako součásti ETICS [69]

Požadavky na charakteristiky desek a lamel z minerální vlny (MW) jsou uvedeny v tabulce následující. Souběžně se přitom požaduje shoda s ČSN EN 13162 včetně příloh. Některé ostatní požadavky, jejichž plnění desky a lamely MW mají zajišťovat spolu s ostatními součástmi ETICS, jsou uvedeny v tabulkách, které se týkají povrchové vrstvy systému a systému ETICS jako celku.

Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek <sup>1</sup>
Délka	ČSN EN 822 (72 7041)	max.1200 mm tolerance ± 2 %
Šířka	ČSN EN 822 (72 7041)	max. 625 mm tolerance ± 1,5 %
Tloušťka	ČSN EN 823 (72 7042)	min. 20 mm <sup>2</sup> MW-EN 13162-T5
Pravoúhlost - deska	ČSN EN 824 (72 7043)	odchylka max. 5 mm/m
- lamela		odchylka max. 2 mm/m
Rovinnost	ČSN EN 825 (72 7044)	max. 5 mm
Objemová hmotnost	ČSN EN 1602 (72 7046)	min.70 kg/m <sup>3</sup> max.175 kg/m <sup>3</sup>

Rozměrová stabilita za určené teploty	ČSN EN 1604 (72 7048) ČSN EN 13162 (72 7201)	relativní změna délky a šířky, relativní zmenšení tloušťky max. 1%
Rozměrová stabilita za určených teplotních a vlhkostních podmínek	ČSN EN 1604 (72 7048) ČSN EN 13162 (72 7201)	relativní změna délky a šířky, relativní zmenšení tloušťky max. 1%
Pevnost v tahu kolmo k rovině desky (lamely) - deska	ČSN EN 1607 (72 7051)	MW-EN 13162-TR10
- lamela		MW-EN 13162-TR80
Pevnost ve smyku	ČSN EN 12090 (72 7059)	min. 0,02 N/mm <sup>2</sup>
Modul pružnosti ve smyku	ČSN EN 12090 (72 7059)	min. 1,0 N/mm <sup>2</sup>
Dlouhodobá nasákavost při částečném ponoření	ČSN EN 12087 (72 7056) ČSN EN 13162 (72 7201)	max. 3,0 kg/m <sup>2</sup>
Reakce na oheň	ČSN EN 13501-1 (73 0860)	třída reakce na oheň A1
<p>Poznámka 1: V případech, kde je to možné, je požadavek nebo jeho část vyjádřen pomocí symbolů a označení požadované třídy nebo úrovně uváděných v ČSN EN 13162. Úroveň je určená hodnota, která je horní nebo dolní mezní hodnotou požadavku. Třída je rozmezí dvou úrovní těžce charakteristiky.</p> <p>Poznámka 2: Požadavek na tepelný odpor <i>R</i> ETICS je podle ETAG 004 min. 1 m<sup>2</sup>K/W. Tloušťka tepelně izolačního materiálu spolu s ostatními součástmi ETICS musí tento požadavek zajišťovat. Výjimkou může být ETICS pro vedlejší části stěny případně vodorovné části konstrukce, kde z technických důvodů není možné uplatnit odpovídající tloušťku tepelně izolačního materiálu pro dosažení požadovaného minimálního tepelného odporu <i>R</i> (např. ETICS na ostění výplní otvorů).</p>		

Tab. 7 Požadavky na charakteristiky desek a lamel z minerální vlny (MW)  
[69]

Hmoždinky zajišťující stabilitu ETICS na podkladu musí splňovat technické požadavky podle Nařízení vlády č. 190/2002 Sb. v platném znění pro označování CB a další požadavky na charakteristiky uvedené v tabulce 4. Přitom se také požaduje shoda s evropským technickým schválením (ETA) vypracovaným na základě Řídících pokynů - ETAG 014.

Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek
Průměr talíře hmoždinky pro - desky EPS, MW	-	min. 60 mm
Průměr přídatného talíře pro - lamely MW		min. 140 mm
Spolehlivost montáže hmoždinek s kategorií užití A, B, C <sup>1</sup>	Zkušební předpis 1 <sup>2</sup>	Hmoždinka po zkušebním osazení je vyrovnána s povrchem montážního bloku z pěnového polystyrenu, popřípadě je do bloku zapuštěna do hloubky podle technické dokumentace pro zkoušenou hmoždinku - dřík hmoždinky nevykazuje po zkušebním osazení viditelné trhliny a/nebo porušení celistvosti - při zatížení zkušebně osazené hmoždinky tahovou silou 600 N nepřekračují axiální posuvy vztahené k povrchu tělesa pro ukotvení hmoždinky 1 mm
Poznámka 1: Kategorie užití hmoždinek podle ETAG 014 Poznámka 2: TP-CZB-05-Příloha A		

Tab. 8 Požadavky na charakteristiky hmoždinek [69]

Požadavky na charakteristiky základní vrstvy, jejíž součástí je kromě skleněné síťoviny šterková hmota, jsou uvedeny v tabulce 9 a 10. Požadavky na charakteristiky omítkového systému (vnějšího souvrství) a celého ETICS, kde šterková hmota vytváří nezbytnou specifikovanou součást, jsou zahrnuty v tabulkách 11 a 12.

Požadavky na charakteristiky skleněné síťoviny jsou uvedeny přímo v následující tabulce. Některé ostatní požadavky, jejichž plnění skleněná síťovina má zajišťovat spolu s ostatními součástmi ETICS, jsou uvedeny v tabulkách 10, 11 a 12.

Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek
Světlý rozměr oka síťoviny - ve směru osnovy	-	min. 3 mm
- ve směru útku		min. 3 mm
Pevnost v tahu ve směru osnovy a útku ve stavu - po dodání jednotlivá hodnota	ETAG 004	min. 36 N/mm
Pevnost v tahu ve směru osnovy a útku ve stavu - po dodání střední hodnota		min. 40 N/mm

Tab. 9 Požadavky na charakteristiky sklovlákněné síťoviny [69]

V další z tabulek najdeme požadované hodnoty pro charakteristiky základní vrstvy jako celku. Jako u ostatních hmot platí, že vrstvy musí splňovat také požadavky kladené na systém jako celek.

Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek
Nasákavost po 24 h	ETAG 004	max. 0,5 kg/m <sup>2</sup>
Šíře trhlin při protažení 2 %	ETAG 004	max. 0,2 mm

Tab. 10 Požadavky na charakteristiky základní vrstvy [69]

Požadavky, jejichž plnění konečná povrchová úprava má zajišťovat spolu s ostatními částmi ETICS, jsou uvedeny v níže umístěné tabulce. V této tabulce jsou také současně požadavky na charakteristiky omítkového systému.

Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek
Nasákavost po 24 h	ETAG 004	max. 0,5 kg/m <sup>2</sup>
Index šíření plamene po povrchu ETICS	ČSN 73 0863	0 mm/min
Ekvivalentní difuzní tloušťka	ETAG 004	max. 0,5 m

Tab. 11 Požadavky na charakteristiky omítkového systému [69]

Požadavky kladené na celý systém ETICS jako celek, jsou v poslední tabulce této části práce.

Charakteristika	Zkušební předpis	Požadavek
Reakce na oheň	ČSN EN 13501-1 (73 0860)	třída reakce na oheň B <sup>1</sup>
- pro ETICS z pěnového polystyrenu		třída reakce na oheň A1 nebo A2
- pro ETICS z minerální vlny		
Poznámka 1: Minimální požadavek		

Tab. 12 Požadavky na třídu reakce na oheň systému ETICS [69]

Předmětem zkoušek je ověření požadovaných parametrů při provádění základní vrstvy ETICS v mimořádných klimatických podmínkách. K tomu byl proveden výběr hmot, které se u nás nejběžněji používají při realizaci základních vrstev vnější zateplovacích systémů. U nich bude ověřena funkčnost a kvalita základní vrstvy, bude-li realizována za venkovních teplot v okolí 0 °C a -10 °C a také při střídání záporných a kladných teplot v průběhu dne v době jejich zrání.

Výběr hmot a jejich technologické charakteristiky jsou uvedeny v tabulce č. 13 na str. 54.



Z hlediska stavební praxe obecně platí, že ideálním intervalem pro práci s cementem a hmotami na jeho bázi - tj. materiály, které pro správné reakce potřebují tzv. „mokrý proces“, je teplotní interval od +5°C do +30°C. Speciální hmoty, hodnocené ve srovnání se standardními v pokusech, které budou zmíněny v této práci, jsou určeny až do -7°C (za dodržení podmínek daných výrobcem). Pro laboratorní zkoušky byli zvoleni tyto reprezentanti:

Firma Weber-Terranova - hmoty Weber Therm Klasik, Weber Therm Technik, Weber Tevamin tmel Z (nyní dodávaný pod názvem Weber elastik Z) a Weber Therm Mínus 7.

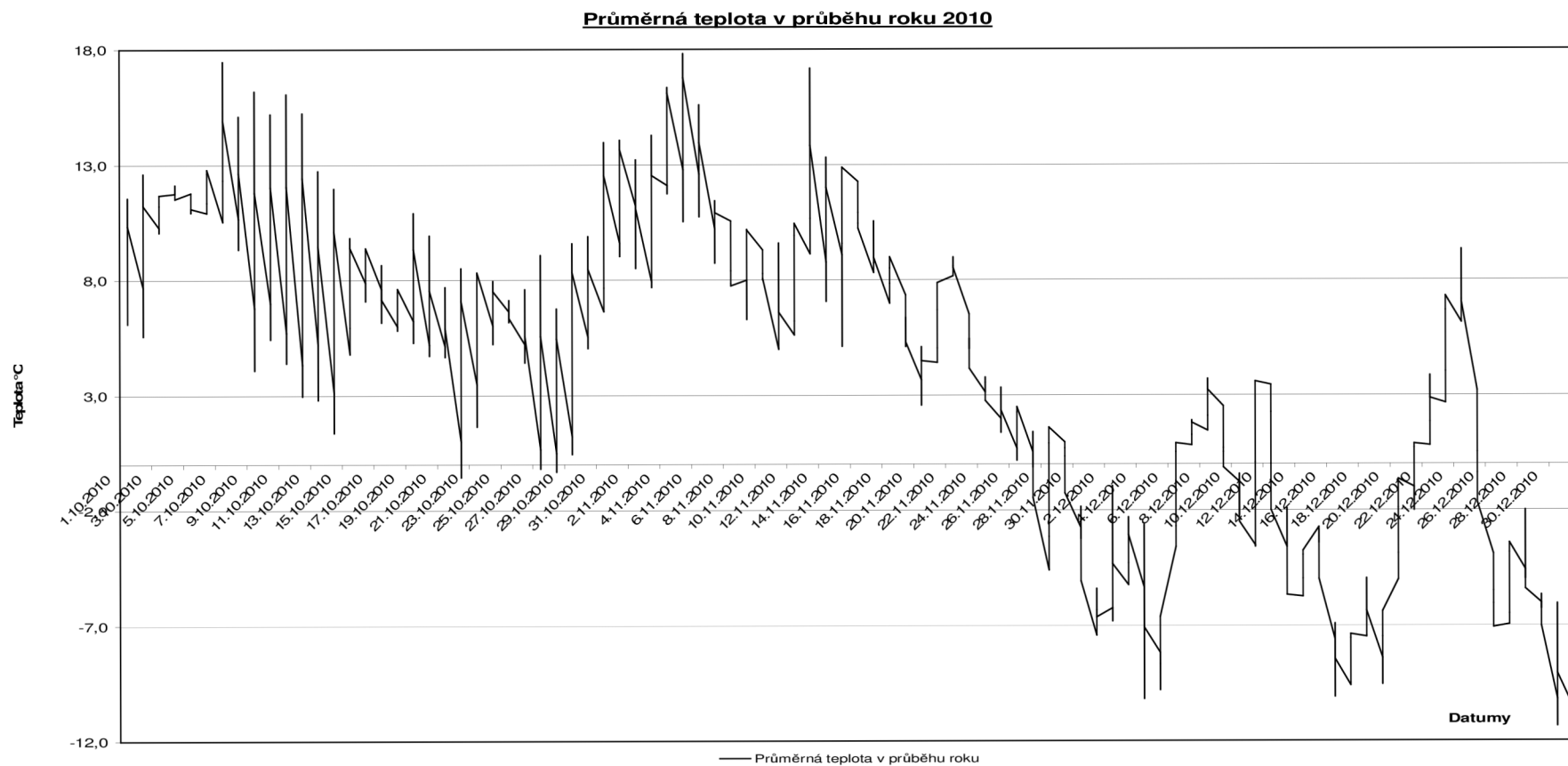
Firma Stomix - hmota Alfafix S1P.

Firma Baumit - hmoty Baumit Klebepachtel Speed, Baumit Procontact a Baumit Duocontact.

## **5.2 Vliv klimatu na kvalitu provádění ETICS a důsledky chyb při provádění**

V této kapitole odkazuji na dlouhé trvání stavební sezony, kterou se velká většina firem snaží natáhnout „na co nejdéle“, aby získali zakázky a finance. Je však zřejmé, že s příchodem podzimních měsíců může dojít ke značným komplikacím pracovních procesů na zateplení, především vlivem nevyhovujících teplot. Příkladem může být právě rok 2012 a 2013. Zima roku 2012 byla vcelku mírná, tudíž stavební sezona bez problémů probíhala i v měsíci listopadu. Naopak však v roce 2013 bylo pro stavební činnosti velmi nepříznivé jarní období. Vždyť ještě začátkem dubna teploty kolísaly až na „mrazové“ hodnoty a leckde místo deště přišel sníh. Firmy však ve většině případů na tyto ohledy dopředu nereagují. Proto je nutné použití speciálních hmot, především pro právě zmiňované nestandardní klimatické podmínky. V grafech na obrázcích 13, 14, 15 a 16 můžeme vidět průběhy průměrných teplot v jednotlivých měsících za rok 2011, 2012 a 2013. Je zřejmé kolísání teplot právě v přechodných obdobích jaro/podzim, kdy klimatickým podmínkám při provádění systémů ETICS musí být věnována náležitá pozornost.

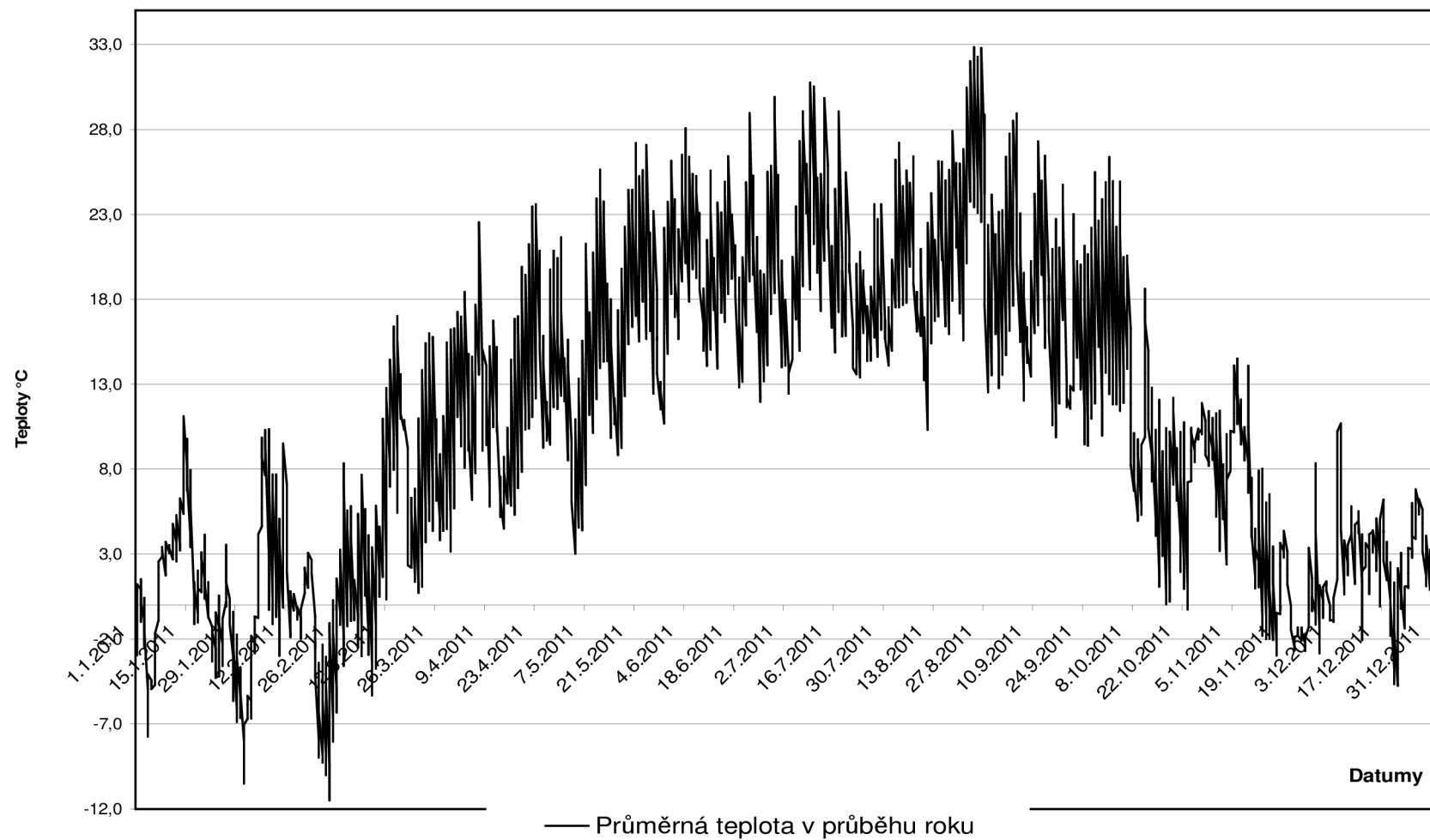
Kompletní tabulky s naměřenými hodnotami teploty vzduchu a jeho vlhkosti včetně grafů za uvedené období jsou v přílohové části práce, pod označením P32 a P36 za rok 2010, P33 a P37 za rok 2011, P34 a P38 za rok 2012 a nakonec P35 a P39 za polovinu roku 2013. Přílohová část samotná začíná na straně 153.



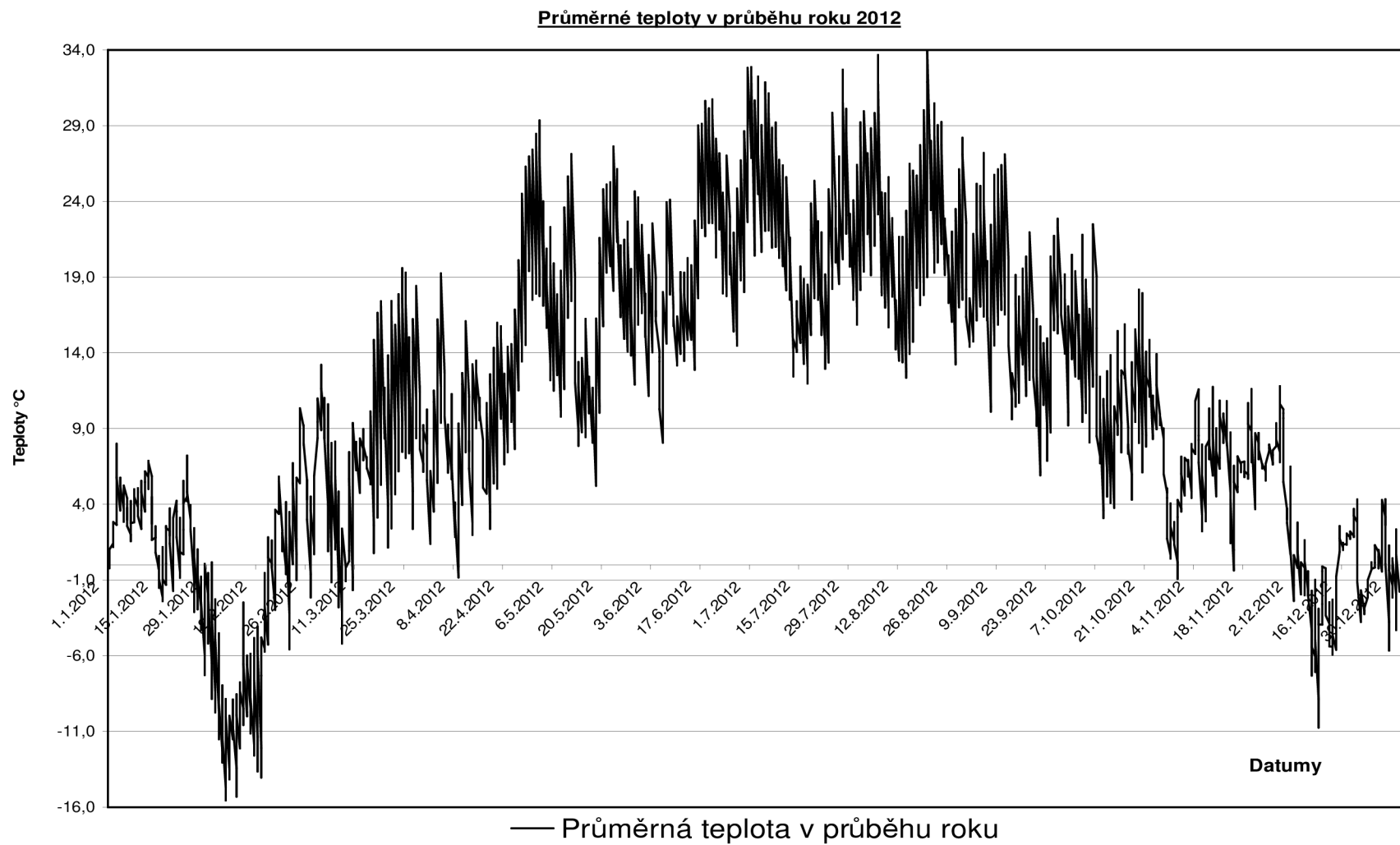
Obr. 13 Graf průběhu teplot za období 1. 10. 2010 až 31. 12. 2010 [42]



**Průměrná teplota v průběhu roku 2011**

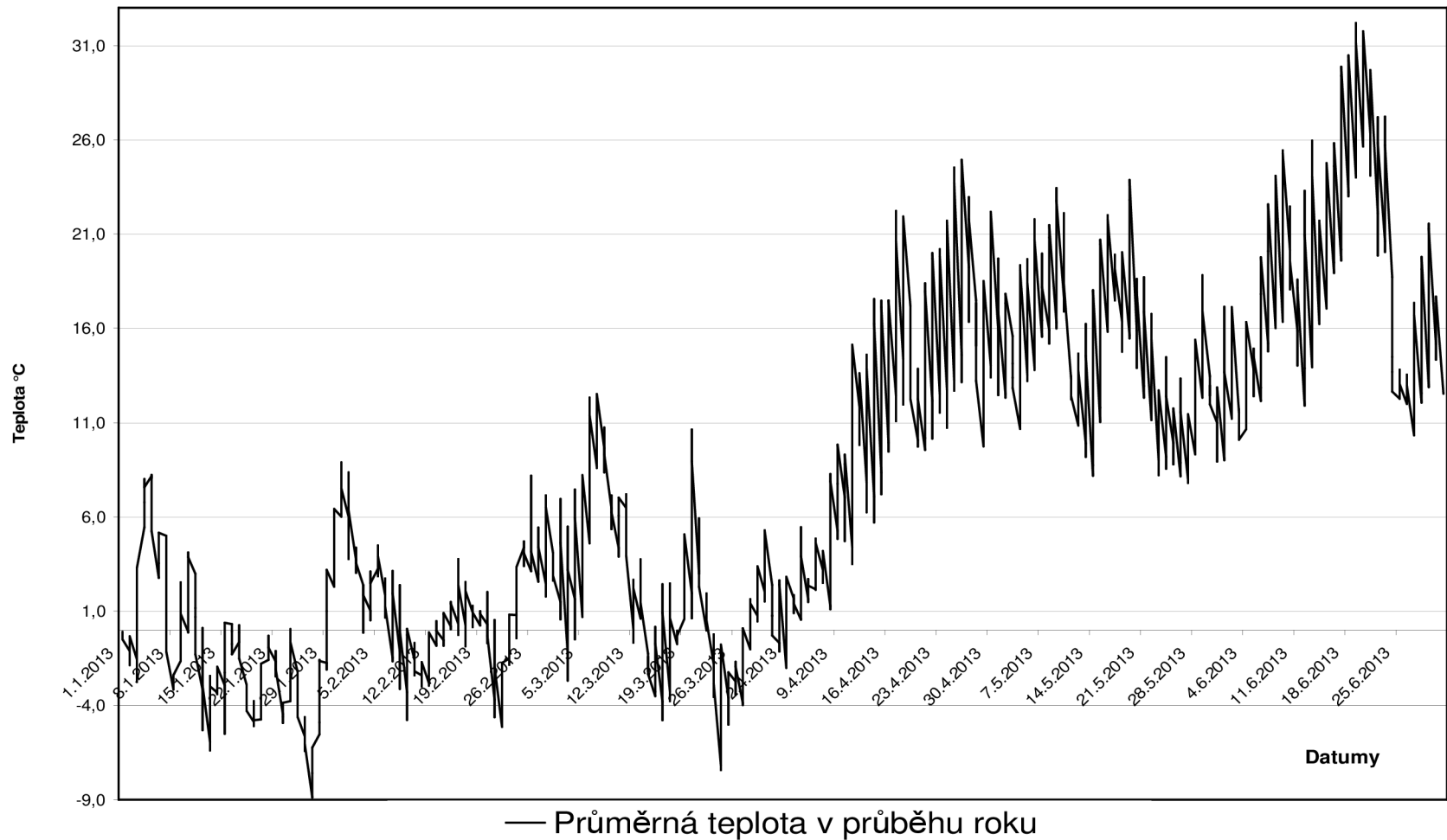


Obr. 14 Graf průběhu teplot za období 1. 1. 2011 až 31. 12. 2011 [42]



Obr. 15 Graf průběhu teplot za období 1. 1. 2012 až 31. 12. 2012 [42]

**Průměrná teplota v průběhu roku 2013**



Obr. 16 Graf průběhu teplot za období 1. 1. 2013 až 30. 6. 2013 [42]

V následující podkapitole se budeme věnovat chybám ETICS. Chyby se samozřejmě mohou vyskytovat již v návrhu, v projektové dokumentaci, nejen při realizaci systému. Ovšem zaměříme se pouze na chyby vyskytující se ve spojitosti se základní vrstvou systému a souvisejícími vrstvami ETICS. To znamená "pominutí" chyb projektu, návrhu a fází realizace systému až po provedení tepelně izolační vrstvy.

### ***Chyby při provádění stěrkových vrstev s výztužnou síťovinou a finálních vrstev***

Uvádíme v podkapitole obě dvě vrstvy, protože jsou na sobě závislé a jejich vady se navzájem ovlivňují.

#### ***Chyby základní vrstvy***

Je nezbytné provádět napřed vrstvu armovací stěrky a do ní odshora ukládat síťovinu tak, aby v místě stykování byly přesahy min. 10 cm. Poté nanést druhou vrstvu stěrkové hmoty a tak síťovinu umístit do horní třetiny tloušťky základní vrstvy. Na zvláště exponovaných místech je třeba provést zdvojování síťoviny nebo ztužení a v rozích otvorů provést diagonální vyztužení pomocí pásů síťoviny. Síťovina musí být vždy vtlačena do stěrky a překryta druhou vrstvou. Je nepřípustné nanášet stěrku na položenou síťovinu, protože potom nedojde ke kontaktu stěrky s izolantem pod síťovinou. Styky s klempířskými výrobky je nutné oddělit trvale pružným tmelem. Pro napojení základní a omítkové vrstvy na rámy výplní otvorů je doporučeno použít přechodových profilů - při jejich nepoužití vzniká spoj velice náročný na těsnost napojení vůči vodě.

#### ***Provádění povrchových úprav***

Při provádění povrchových úprav není často dosaženo požadované barevnosti. Někdy vznikají skvrny a nerovnoměrné struktury. Při nedostatečně srovnaném podkladu nebo při nepřetmelování talířových hmoždinek jsou patrné nerovnosti a to hlavně při aplikaci tenkovrstvých omítek. Velmi často bývá patrna kresba desek. Často je patrné napojení u větších ploch nebo rozdílné barevné odstíny. Vzhledem ke zmíněnému ovlivňování se omítkové vrstvy a základní vrstvy je nutné také zmínit vznik trhlin, který může být způsoben jednak nekvalitním provedením základní vrstvy, takže omítka nemá pod sebou soudržný podklad nebo použitím nesprávné penetrace, jehož následkem je snížení přídržnosti finální povrchové úpravy systému. Díky tomuto efektu také často dochází k odskočení či opadu omítky.



Obr. 17 Nesprávně provedená základní vrstva - viditelné struktura sítoviny, která není zapuštěná zcela do stěrkové vrstvy [102]



Obr. 18 Vliv nesprávně provedeného vyztužení okolí rohu otvoru v základní vrstvě - vznik diagonální trhlin, které snižuje životnost systému [102]



Obr. 19 Vliv nekvalitní penetrace, nesprávně provedené základní vrstvy a dle stop zasolení i nevhodného druhu použité omítky - vznik trhliny až do základní vrstvy a podstatné snížení životnosti a funkce systému [102]



Obr. 20 Viditelná nízká soudržnost omítky s podkladem - na obrázku viditelné „boule“, ve kterých již došlo k oddělení omítky od podkladu a nedošlo k opadu [102]

### 5.3 Obecný úvod k testování vzorků

V rámci disertační práce je nutné testovat vzorky hmot na vliv především nízkých teplot na kvalitu provedené základní vrstvy. Z hlediska vytyčených cílů je tedy nutné zjistit rozdíly a změny parametrů na systému realizovaném při standardních podmínkách a na systému realizovaném v extrémních podmínkách. Z hlediska provádění na stavbách je pro nás více rozhodující teplota blízká 0 °C. Tato teplota totiž nastává v pozdních podzimních měsících především v nočních hodinách a firmy při snaze prodloužit co nejvíce stavební sezonu tento fakt záměrně opomíjejí. Při testování vzorků jsem se tedy zaměřil právě na testování při nízkých teplotách, tj. v okolí 0 °C a pod ní.

Sady vzorků vždy byly rozděleny do dvou, případně tří sérií, kdy jedna série byla umístěna v interiéru laboratoře, tj. v optimálních teplotních podmínkách +22 °C ±1 °C. Druhá série, vytvářena především jako ověřovací sada, byla umístěna ve standardním pultovém mrazáku, kde byla vystavena teplotám -10 °C ±1 °C. Tato teplota byla záměrně zvolena, odpovídá regulačním schopnostem mrazáku a toto nastavení bylo možné trvale udržet.

Veškeré vzorky byly následně vystaveny sérii destruktivních i nedestruktivních testů, jejichž výsledky a závěry najdeme v kapitole Vyhodnocení zkoušek.

### 5.4 Zkoušky vzorků - principy a metody

#### 5.4.1 Měření velikosti zrn pomocí laserové difrakce

Osobně jsem tuto techniku měření neprováděl, naše laboratoř nemá k dispozici příslušné zařízení, proto jsem oslovil Ing. Janu Kosíkovou z ústavu Technologie stavebních hmot a dílců a na základě spolupráce jsem získal výsledky z měření složení „zrnitosti“ hmot, naměřené právě laserovou difrakcí. Samotnou zkoušku jsem volil z důvodu, že reakce v hmotách jsou ovlivněny nejen teplotou, ale také velikostí částic - z běžné teorie cementových hmot vyplývá, že pokud je povrch částic - tj. plocha, která může reagovat s vodou, "větší", reakce bývají ovlivněny a probíhají "lépe". To pro nás znamená, že pokud bude hmota jemněji mletá, bude mít větší smáčený povrch a bude reagovat "lépe". Proto byla provedena zkouška laserovou difrakcí, aby bylo možné zrnitostní křivky a tím jemnost mletí porovnat.

#### *Podstata zkoušky*

Laserová difrakce je jednou z nejpoužívanějších metod pro analýzu velikosti částic menších než 2000µm. Její technika je založena na principu měření rozptylu světla laserového paprsku při průchodu mediem nesoucím částice. Toto funguje díky tomu, že částice, které prochází před laserovým paprskem, jeho světlo rozptýlí v úhlu, který přímo souvisí s jejich velikostí. Úhel odrazu paprsku je tak nepřímě úměrný velikosti částic ve vzorku - platí že čím menší je velikost částic, tím větší je úhel odrazu laseru. Také intenzita

laserového paprsku je měřena, a platí, že se zvětšujícím se objemem částic intenzita paprsku klesá. Měřením intenzity a úhlu dopadu laserového paprsku tak tedy lze zjistit velikost a množství částic.

### ***Zkušební zařízení a pomůcky***

Pro zkoušku je zapotřebí přístroj pro laserovou difrakci Masterseizer 2000 od společnosti Malvern, včetně příslušenství, tj. kádinky, destilované vody a samotná suché směsi vzorku, u kterého chceme zjistit velikost a množství částic.

### ***Příprava a provedení zkoušky***

Typický přístroj k měření velikosti částic laserovou difrakcí má světelný zdroj (laser), průtokovou optickou celou (v podstatě se jedná o průtokovou kyvetu specifické geometrie se dvěma přesně paralelními okny, spojenou s rezervoárem vzorku, popř. s kádinkou) a fotodetektor, který transformuje optický signál (intenzitu světla v závislosti na úhlu rozptylu) na elektrický signál (z jednotlivých segmentů fotodetektoru), který je pak dále transferován do počítače a použit k vygenerování dat. Geometrie fotodetektoru může být rozhodující pro měření tvaru částic (na základě odchylky interferenčního obrazu od kruhové symetrie). Vzdálenost mezi laserem, optickou celou a fotodetektorem, jakož i poloha a rozlišení fotodetektoru (dáno velikostí a uspořádáním jednotlivých polovodičových segmentů) určí rozsah měření, kterého lze docílit (v typickém případě od 0.1  $\mu\text{m}$  do  $> 1$  mm, ale nové přístroje umožňují měření také v nano-oblasti). [65]

Obsah nádoby se vzorkem je během měření promícháván a ultrazvukován. Během měření je suspenze neustále pumpována přes optickou celou (s rychlostí toku zvolenou podle hustoty částic tak, aby nedocházelo k usazování částic uvnitř přístroje). Příprava vzorku musí být vždy přizpůsobena charakteru částic (typ a velikost), ale obecně lze říci, že požadavky na přípravu vzorku jsou u laserové difrakce méně náročné než u sedimentace a jiných metod.

Standardní metoda k vyhodnocování dat získaných laserovou difrakcí je prováděna výpočetní technikou a výstupními údaji je množství jednotlivých velikostních frakcí ve vzorku.

### ***Vyhodnocení zkoušky***

Na základě měření se výpočetní technikou stanoví množství zrn dané frakce a vyhotoví se graf nebo tabulka celkové zrnitostní křivky vzorku. Porovnáním jednotlivých hmot a křivek můžeme zjistit velikost zrn a jemnost mletí, což ovlivňuje hydrataci a také vývin hydratačního tepla. Výsledné hodnocení a průběh zrnitostních křivek je součástí kapitoly 6, části 6.1 na straně 100.





Obr. 21 Sestava přístroje Malvern Masterseizer 2000 včetně pomůcek pro měření velikosti částic laserovou difrakcí - laboratoře Ústavu technologie stavebních hmot a dílců [104]

#### **5.4.2 Určení kaše normální hustoty pro zhotovení základní vrstvy**

Protože jednotlivé zkušební hmoty od různých výrobců měly určeny různé množství záměsové vody, rozhodl jsem se v 1. fázi testování pro vytvoření dvojích sad vzorků - první sada byla vytvořena z hmoty namíchané s množstvím vody dle výrobce a druhá sada byla namíchaná dle zkoušek Vicatovým přístrojem, kdy bylo určeno množství vody pro „kaši normální hustoty“ [40].

##### ***Podstata zkoušky***

Jak jsem již podotknul, výrobci udávají různá množství vody pro vytvoření vhodné konzistence stěrkového materiálu, proto bylo nutné pro vytvoření porovnatelných podmínek zajistit stejnou hustotu směsi - proto bylo nutné u jednotlivých hmot určit množství vody pro „kaši normální hustoty“. Principiálně zkoušky spočívá ve spouštění hustoměrného válečku Vicatova přístroje do namíchané směsi se známým množstvím vody a dle stupnice se odečítá hodnota vnoření válce do hmoty.

*Cementová kaše má normální hustotu, jestliže se váleček Vicatova přístroje po spuštění do prstence naplněného cementovou kaší zastaví ve vzdálenosti  $6 \pm 2$  mm nad podložkou, dle uvedené normy [40].*

Pro testování byly vytvořeny vzorky - namíchané směsi - s různým vodním součinitelem, naplněné do prstence o průměru 75mm a výšce 40mm - viz. obrázek 22.

### *Zkušební zařízení a pomůcky*

Abychom mohli zkoušky provést, potřebujeme několik přípravků, zařízení a pomůcek. Jsou to:

- Vicatův přístroj - viz. obr. 22, opatřený hustoměrným válečkem o průměru 10 mm, s účinnou délkou 50 mm a hmotností včetně pohyblivé části 300 g, s prstenci tvaru komolého kužele z plastu, do něhož se ukládá cementová kaše, o vnitřním průměru  $75 \pm 10$  mm a výšce  $40 \pm 0,2$  mm - viz. obr. 22, včetně skleněné podložky pod prstence s průměrem o 10 mm větším než největší průměr prstence, tloušťky 4 - 5 mm (min. 2,5 mm),
- míchačka pro míchání směsi minimálně se dvěma rychlostmi otáček metly včetně příslušné nádoby podle ČSN EN 196-1.



Obr. 22 Vicatův přístroj s hustoměrným válečkem [103]

### Vyhodnocení zkoušek

Výsledkem zkoušky je určené množství záměsové vody pro vytvoření směsi „normální konzistence“, tj. stejné hustoty. Tuto tabulku najdeme níže pod číslem 14. Z této tabulky je patrné množství vody potřebné na 100 g hmoty, aby vznikla kaše standardní hustoty.

Druh hmoty	Poměr mísení dle výrobce		Poměr dle zkoušky Vicatovým přístrojem		Poznámka	% rozdíl množství vody ve směsi
	Suchá směs [g]	Množství vody [g]	Suchá směs [g]	Množství vody [g]		
Weber.therm technik	100	25	100	10,4	dle výrobce 25 kg / 6,3 l vody	0
Weber.tevamin tmel Z	100	23	100	14,2	dle výrobce 25 kg / 5,5 l vody	137
Weber.therm minus 7	100	24	100	15,4	dle výrobce 25 kg / 6,0 l vody	148
Weber.therm klasik	100	25	100	17,3	dle výrobce 25 kg / 6,5 l vody	166
Baumit Duocontact	100	23	100	12,2	dle výrobce 25 kg / 5,5 l vody	117
Baumit ProContact	100	23	100	12,5	dle výrobce 25 kg / 5,5 l vody	120
Baumit Klebepachtel Speed	100	24	100	14,25	dle výrobce 25 kg / 6,0 l vody	137
Stomix S1P	100	25	100	14,95	dle výrobce 25 kg / 6,25 l vody	144

Poznámka: Jako 100% a výchozí hodnota je určena hmota s nejnižším obsahem vody pro kaši normální hustoty.

Tab. 14 Tabulka množství vody potřebného na 100 g hmoty, aby vznikla kaše standardní hustoty - výsledky ze zkoušek Vicatovým přístrojem - zároveň je uveden % rozdíl množství vody stanovené výrobcem a stanovené zkouškou

### **5.4.3 Stanovení počátku a konce tuhnutí hmoty - zkouška Vicatovým přístrojem**

#### ***Podstata zkoušky***

Principiálně zkouška probíhá jako zkouška Vicatovým přístrojem pro zjištění kaše normální hustoty - tato zkouška byla prováděna za standardní teploty v laboratoři - 22 °C. Na přístroji se však oproti zkouškám kaše vymění hustoměrný váleček za úzkou jehlu s délkou min. 45mm a průměrem 1,13 mm ± 0,05 mm s celkovou hmotností pohyblivé části 300 ± 1 g. Touto jehlou se pak měří jak počátek, tak konec doby tuhnutí. V případě ručního Vicatova přístroje se potom za pomoci vzorové podkladní destičky určí nula pro nastavení stupnice. U automatického přístroje se musí použít vzorová destička pro srovnání vniku jehly do vzorku. Na základě měřených velikostí vpichů do vzorku se pak určuje počátek a konec tuhnutí.

#### ***Zkušební zařízení a pomůcky***

Abychom mohli zkoušky provést, potřebujeme sestavu přístrojů a pomůcek jako pro zkoušku kaše normální hustoty, která je popsána v kap. 5.4.1. Sestava se liší pouze náhradou hustoměrného válečku vpichovací jehlou, viz. obr. 24. Pro tyto zkoušky také byl standardní ruční přístroj nahrazen automatickým Vicatovým přístrojem typu ARV 2, který je vidět na obrázku 23.

#### ***Příprava a provedení zkoušky***

##### ***A) Standardní postup pro cementové hmoty***

Pro provedení zkoušky se pro každý vzorek naváží vždy 500 g suché směsi s přesností na 1 g. Pozor, hmota se nesmí chystat přímo do nádoby míchačky, protože směs se do této nádoby vsypává. Zvolené množství vody dané technickým listem hmoty a určené výrobcem bylo odváženo za pomoci odměrného válce a vaha a bylo umístěno do nádoby míchačky.

Míchání směsi se provádí totožným způsobem jako při přípravě hmoty pro kaši standardní hustoty. Po namíchání naplníme prstenec směsí. Jakmile máme prstenec naplněn, umístíme jej středem prstence pod jehlu automatického Vicatova přístroje - toto bylo provedeno pro všech osm druhů hmot. Přístroj zapneme - po zapnutí proběhne jeden cyklus rotace a posunu vzorku a bude spuštěna jehla do vzorku. Záznamové zařízení na vrcholku přístroje vpichem na milimetrový papír označí hloubku průniku jehly do vzorku. Na stejném vzorku proběhne opakování vpichu po 10 minutách. V průběhu cyklu vzorek na podstavci přístroje rotuje a zároveň se otáčí kolem své osy, aby vpichy směřovaly do různých míst vzorku. Je nutné si zaznamenat přesný čas vyrobení hmoty a její vložení do přístroje. Od tohoto okamžiku se počítají doby počátku a konce tuhnutí.

Do samotného přístroje lze zároveň umístit 8 prstenců, čili lze zkoušet 8 druhů hmot, v mém případě byly hmoty rozděleny na dvě poloviny, aby do přístroje bylo možné umístit srovnávací vzorek pouze s podkladní skleněnou destičkou. Na základě označených hloubek vpichů do jednotlivých hmot pak určuje počátek a konec tuhnutí. Tyto časy jsou určeny od tzv. nulového času, což je první vpich na plnou hloubku vzorku, který je proveden ihned po umístění vzorku do přístroje. Od tohoto okamžiku se měří hodnoty vpichů a za počátek tuhnutí se považuje moment, kdy se jehla zastaví  $6 \pm 3$  mm ode dna vzorku, tj. od podkladní destičky. Tento moment se určí v minutách od počátku zkoušky s přesností na 5 minut. Protože je nutné určit i moment konce tuhnutí, ve zkoušce se pokračuje. V případě ručního Vicatova přístroje se pouze vymění jehla za jehlu osazenou nástavcem s průměrem min. 5 mm, který umožňuje pozorovat velice malé hodnoty vpichu. U automatického přístroje se pouze pokračuje ve zkoušení, hodnota hloubky vpichu je zaznamenávána, takže ji lze určit odečtem z grafu. Pro určení momentu konce tuhnutí je důležitá opět hodnota vpichu. Konec tuhnutí hmoty nastává v momentu, kdy jehla poprvé vnikne do vzorku jen do hloubky 0,5 mm

#### ***B) Upravená metodika pro základní vrstvu tl. 4mm***

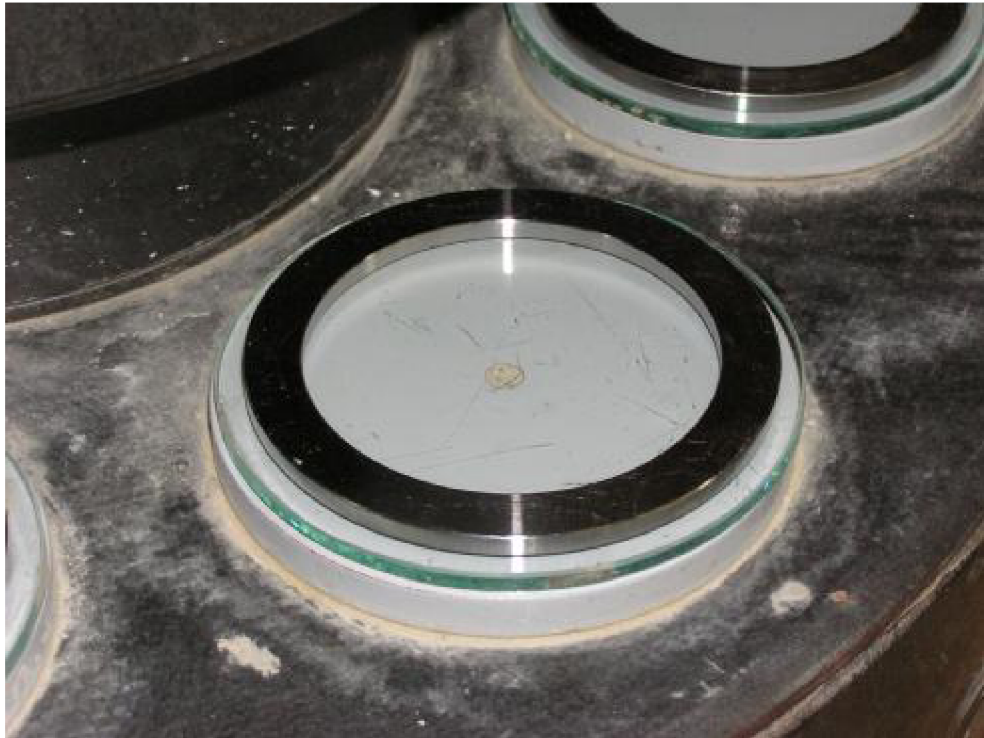
Postup přípravy směsi pro zkoušku je totožný se standardní zkouškou pomocí prstenců. Metodika však byla upravena na základě výsledků právě u zkoušek tuhnutí pomocí Vicatova přístroje a prstenců 40 mm vysokých. Výsledky ze standardních prstenců ve srovnání s výsledky z prstenců náhradních jsou uvedeny v přílohách. Na srovnání v grafech, které jsou v přílohách je patrné, že stěrkové hmoty pro základní vrstvu ETICS sice je možné zkoušet metodikou určenou pro cementové hmoty, ale dostáváme pak zkreslené výsledky. Hmoty totiž vykazují jinou rychlost tuhnutí, pokud jsou provedeny v tenké vrstvě. Proto byly na místo prstenců se standardní výškou 40 mm zvoleny kroužky výšky shodné s výškou základní vrstvy a to 4 mm - viz. obr. 24. Na takto upravených vzorcích byly hledány doby tuhnutí a to jak ve standardní, tak v nepříznivé teplotě. U této metodiky bylo také pozměněno vnímání začátku a konce tuhnutí. Pro pokusy byl jako začátek tuhnutí uvažován moment, kdy se jehla zastavila 0,5 mm nade dnem prstence, a konec tuhnutí v momentu, kdy jehla nepronikla pod povrch vzorku.



Obr. 23 Automatický Vicatův přístroj typu ARV-2 při přípravě na testování, (na záznamových válcích nahoře prozatím chybí milimetrový papír pro záznam hloubky vpichu jehly) [103]



Obr. 24 Fotografie ručního Vicatova přístroje s osazenou jehlou pro zkoušení a hledání počátku a konce tuhnutí [103]



Obr. 25 Ocelové kroužky - prstence - které nahrazují standardní prstenec pro zkoušky tuhnutí Vicatovým přístrojem [103]

### ***Vyhodnocení zkoušek***

Výsledkem, vyplývajícím ze zkoušek, je čas od namíchání směsi s vodou po začátek a konec tuhnutí. Doba začátku tuhnutí je limitní dobou pro zpracování směsi, konec tuhnutí je důležitý pro správné určení technologické pauzy před prováděním následujících prací. Vyhodnocení výsledků je uvedeno v tabulce 13 na str. 54, která uvádí souhrn vlastností hmot a je zde uvedena i doba zpracovatelnosti - doba počátku tuhnutí a doba vytvrzování - tj. doba konce tuhnutí hmoty. Grafické srovnání dob tuhnutí je pak v přílohách - pod označením P1 najdeme tabulku, kde jsou zaznamenány měření při zkouškách Vicatovým přístrojem, P2 je pak graf, srovnávající testované hmoty dle hloubky vniknutí jehly v závislosti na čase, na přílohách P3 až P6 je pak grafické srovnání testu vicatovým přístrojem na vzorku tl. 4mm jednak v ideální teplotě, jednak při teplotě  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Přílohy samotné začínají na straně 153.

## 5.4.4 Zkoušky nasákavosti materiálu

### *Podstata zkoušky*

Hlavním záměrem zkoušky je zjistit maximální nasákavost materiálu, vyjádřenou v objemových procentech. Dalším krokem je porovnání rozdílů v nasákavostech u materiálu, provedeném v ideálních podmínkách a u materiálu, vystaveném nepříznivým klimatickým podmínkám. Výsledků je dosaženo namáčením vzorků a také jejich kompletním vysoušením, pro dosažení hodnot jednak zcela vysušených vzorků, vzorků přirozeně nasycených a plně nasycených vodou.

### *Zkušební zařízení a pomůcky*

Zkušební zařízení pro tuto zkoušku je velice jednoduché - potřebujeme toto:

- formy na provedení vzorků o rozměrech 40x40x160mm - trámečky, ocelové, demontovatelné, viz. foto 30,
- vaničku nebo jinou nádobu, kterou lze doplňovat vodou, vhodnou pro zkoušku a která je dostatečně velká, aby pojmul všechny vzorky a vodní hladina byla stabilně min. 1cm nad nejhořejším povrchem vzorků,
- sušicí zařízení HS 400 A, s regulací teploty, ve kterém je možné stabilně udržovat teplotu  $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do úplného vysušení vzorků,
- laboratorní váhy Radwag WLC 6/12/C1/K s přesností měření na min. 0,1g,
- zkušební vzorky - trámce 40x40x160 mm z příslušných hmot.

### *Výroba vzorků*

Zkušebními vzorky jsou hranolky 40x40x160 mm (nebo jejich zlomky v případě dalších testů, upravené na kostky 40x40x40 mm), v sériích po 6 kusech od jednotlivých druhů materiálů, vždy tři vzorky z interiéru a tři z exteriéru. Ve mnou zpracovávaném pokusu byly trámečky 40x40x160 mm vyrobené jednak z kaše standardní hustoty, jednak z kaše dle složení, které doporučuje výrobce. Zkouška byla provedena na celých trémčích, na kterých následně probíhaly destrukční zkoušky v tahu za ohybu a zkoušky v tlaku na zlomcích trámečků.

Příprava malty probíhala stejně jako v případě zkoušek Vicatovým přístrojem, po její přípravě byly naplněny formy na trámečky a bylo provedeno hutnění na střešacím stolku. Poté byl povrch zarovnan a vzorky byly uloženy do prostředí, které příslušelo dané sadě vzorků.



Takto byly zkušební vzorky skladovány jednak ve standardních podmínkách, tj.  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a  $(50 \pm 5) \%$  relativní vlhkosti pro vzorky z interiéru - laboratoře, jednak v exteriéru, kde byla vlhkost a teplota prostředí závislá na počasí – vzorky nebyly vystaveny dešti - byly uloženy pod přístřeškem plně vystavené působení teplot. Průběh teplot a vlhkost vzduchu na základě údajů z meteorologické stanice [42] je uveden v přílohách P32 až P39, přitom přílohy začínají od strany 153. Po zhotovení těles byly zkušební vzorky ponechány 24 hodin ve formách v daném prostředí, byly následně odformovány a ponechány dalších 28 dnů v prostředí, ve kterém měly být uloženy.



Obr. 26 Fotografie vzorků ve formách přinesených z exteriéru k odformování, viditelné označení hmoty vzorku II a E jako exteriér, viditelné částečné zavlhnutí vzorků na okrajích [103]

### ***Příprava a provedení zkoušky***

Zkouška se prováděla částečně podle platných norem pro zkoušení tepelně-izolačních materiálů, betonů a maltových hmot a částečně dle úvahy autora.

Jedná se o normy ČSN EN 12087, ČSN 64 5421, ČSN EN 12808 – 5. Zkušebními vzorky jsou hranolky 40x40x160 mm v sériích po 6 kusech od jednotlivých druhů materiálů, vždy tři vzorky z interiéru a tři z exteriéru.

Po uplynutí technologické pauzy pro uložení vzorků byly tělesa hromadně zkoušeny dle časového harmonogramu zkoušek nasákavosti. Samotné zkoušení je popsáno dále, ale je nutné provést kondicionování - sestává se z 3 zatěžovacích cyklů zahrnujících vždy 24 h expozice v pitné vodě při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a následně 24 h sušení při  $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Poté následoval vlastní test nasákavosti.

Vzorky se ponořily do nádoby s pitnou vodou tak, aby nejvyšší povrch vzorku, který zkoušíme, byl min. 10 mm pod hladinou vody a min. 10 mm nade dnem. Jakmile přestaly vystupovat bublinky vzduchu z materiálu, byl zahájen test. Test spočíval v měření hmotnosti nasáklého vzorku v daných časových intervalech. Vzorky byly váženy s přesností na 0,1 g. Zkušební vzorky se měly vážit v časových intervalech po 1, 2, 4, 6 a 24 hodinách a následně po intervalu 24h do ustálení hmotnosti. Toto bylo oproti předpisu upraveno, u stěrkových hmot se dala očekávat jistá odolnost proti nasákavosti, proto byly intervaly stanoveny nejdříve po 24 hodinách, a poté vždy po dalších 24 hodinách až do ustálení hmotnosti. U různých hmot byly celkové intervaly různé, nebyly však zaznamenávány, což lze zpětně hodnotit jako mínus, na základě této hodnoty by se dala možná klasifikovat odolnost proti pronikání vody do hmoty. Měření hmotnosti bylo ukončeno, jakmile byl zjištěn u všech vzorků setrvalý stav. Posléze bylo provedeno vysušování, aby bylo možné zjistit hmotnost vzorku při nulovém obsahu vody. Tato zkouška probíhá stejným způsobem jako zkouška pro plně nasycené stav, s rozdílem tím, že měříme úbytek hmotnosti při sušení v sušičce až do dosažení rovnovážného stavu. Toto probíhalo za pomoci sušícího zařízení HS 400 A. Vzorky byly umístěny do sušícího zařízení, uzavřeny a stroj byl uveden do chodu. Sušení probíhalo za teploty  $50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  po dobu do ustálení hmotnosti vzorků. Opět byly voleny intervaly vážení hmot, při startu procesu byly intervaly delší - 48 hodin dle možností v laboratoři, následně se zkrátily na 24 hodin, kdy byly vybrané vzorky váženy a kontrolovány kvůli ustálení hmotnosti. Jakmile bylo ustálené hmotnosti dosaženo, bylo sušení ukončeno a hmotnosti všech vzorků zaznamenány a byl proveden výpočet vůči přirozeně nasycenému stavu.

### ***Vyhodnocení zkoušek***

Vyhodnocení zkoušek bylo provedeno na základě zjištěných hodnot hmotností vzorků. Výsledky nasákavosti byly dosaženy výpočtem dle vzorce:

$$w_{28} = \frac{m_{28} + V_1 * \rho_w - m_0 - m_1}{V_0 * \rho_w} * 100 \quad \text{v objemových \%}$$

- kde
- $m_0$  - počáteční hmotnost zkušební vzorku, v kilogramech,
  - $m_1$  - hmotnost prázdné ponořené klece, v kilogramech - v našem případě nulová hodnota, klec nebyla použita,
  - $m_{28}$  - hmotnost zkušební vzorku s ponořenou klecí po 28 dnech ponoření (nebo po daném intervalu), v kilogramech, v našem případě po dosažení rovnovážného stavu,
  - $V_0$  - počáteční objem zkušební vzorku, v  $\text{m}^3$ ,
  - $V_1$  - objem zkušební vzorku po 28 dnech ponoření, v  $\text{m}^3$ ,
  - $\rho_w$  - hustota vody, uvažuje se  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

Výsledky v objemových procentech se zaokrouhlily na 0,1 %.

Následovala třetí fáze zkoušek nasákavosti a to technologická pauza v délce dalších 28 dní, kdy byly vzorky uloženy do podmínek dle jejich provedení, vzorky byly váženy a byla sledována hmotnost - tj. opět se hledal „ustálený“ stav hmotnosti v přirozeném stavu nasycenosti. „Ustálený“ proto, že vzorky umístěné v exteriéru vykazovaly jisté odchylky díky vlivu změn vlhkosti vzduchu v exteriéru.

Hodnoty hmotností vzorků v jednotlivých fázích byly zaznamenány, jsou uvedeny v tabulkách v přílohouvé části a byly z nich provedeny výpočty vlhkosti materiálu, které jsou vyjádřeny v procentech. Jedná se o přílohy P7 a P8, kde jsou uvedeny data z měření a výpočty hodnot, tabulky s hodnocením výsledků jsou součástí kapitoly 6.4, která se nachází na stránce 103.



Obr. 27 Vzorky uložené ve vodní lázni pro dosažení plného nasycení - plně ponořené pod vodní hladinou [103]



Obr. 28 Sušící zařízení HS 400A v laboratoři [103]



Obr. 29 Umístění vzorků v útrokách zařízení HS 400A [103]

### 5.4.5 Ultrazvuková impulzová zkouška - měření a výpočet dynamického modulu pružnosti materiálu

Nedestruktivní metody zkoušení (NDT=Non Destructive Testing) jsou metody nevyžadující porušení zkoušené hmoty, a když již, tak jen takové, které nemůže ohrozit, byť i v nejmenší míře, únosnost nebo použitelnost stavebního prvku. Z těchto hledisek se dělí NDT na metody tzv. *čisté*, které nezpůsobí vůbec žádné porušení a na *ostatní* metody, které způsobují jen nepatrné místní porušení hmoty (stopa po vtisku tvrdoměrné, brusné či vrtné metody apod.). [34]

Elektroakustické metody (často nazývané elektrodynamické nebo dynamické) patří spolu s prozařovacími metodami (např. rentgenografickými a radiometrickými) mezi tzv. „čisté“ NDT metody. Jejich nespornou výhodou je, že na úplně stejném zkušební místě lze měření opakovat v libovolných počtech a tím získávat spolehlivější hodnoty měřených veličin, popřípadě sledovat změnu jejich hodnot v závislosti na čase (změny vlivem stárnutí, degradace hmoty, nárůstu pevnosti aj.), technologii (vliv přísad), prostředí (teplota, vlhkost, agresivita) a jiných vlivech.

Z možných metod provedení takové zkoušky byla pro testování zvolena nejdostupnější a nejjednodušší metoda a to ultrazvuková impulzová metoda.

#### *Podstata zkoušky*

**Ultrazvuková impulzová metoda (I)** (dle ČSN 73 1371) - princip spočívá v opakovaném vysílání mechanických tlumených vln - impulzů - do zkoušeného materiálu, vyvozených v magnetostrikčním nebo piezoelektrickém budiči o ultrazvukové frekvenci. Ultrazvukový kmitočet je dán neměnnou, tzv. jmenovitou hodnotou podle konstrukce budiče (např. rezonanční frekvencí jádra). Běžně užívané budiče ve stavebnictví mají frekvence od 20 kHz do 150 kHz, výjimečně do 500 kHz. Vzniklé vlnění (dilatační napěťové vlny), které prošlo materiálem měřeného prvku po dráze  $L$  je sejmuto piezoelektrickým snímačem a časoměrným zařízením je změřena doba průchodu  $T$ . Vyhodnocenou veličinou je rychlost šíření UZ impulzu:

$$v = \frac{L}{T} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad [34]$$

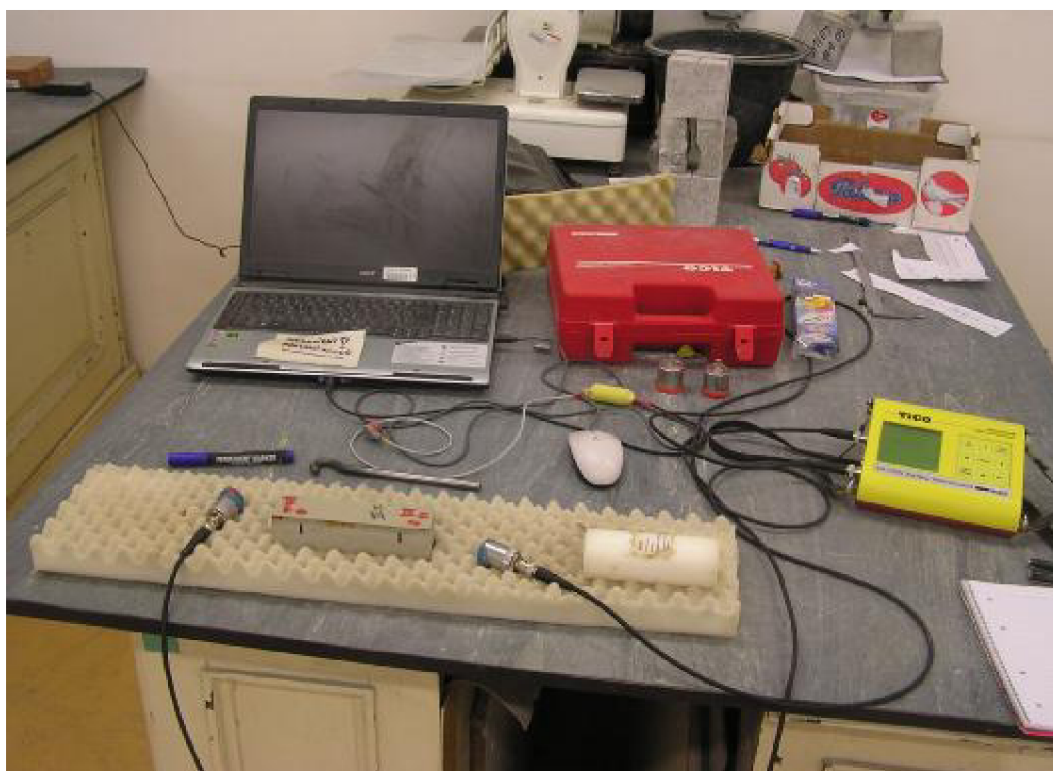
kteřá slouží jako výchozí hodnota pro další hodnocení (např. stejnoměrnosti, homogenity) materiálu. Z rychlosti lze rovněž přímým výpočtem stanovit dynamickou hodnotu modulu pružnosti, popř. nepřímo z kalibračních vztahů i jiné mechanické, popřípadě fyzikální parametry zkoušeného materiálu. Tento princip byl použit právě pro hodnocení zhotovených vzorků stěrkových hmot a výpočty dynamického modulu pružnosti hmot.

Naměřená hodnota času  $T_L$  (čas průchodu impulzů tělesem včetně průchodu vazebným prostředkem) je ovlivněna UZ aparaturou, zejména konstrukcí obvodů přístroje, ultrazvukových sond, tvaru UZ signálu a použitím akustického vazebního prostředku. V našem případě se jednalo o přístroj TICO firmy Proceq testing instruments a vazebním prostředkem byla standardní plastelína.

### *Zkušební zařízení a pomůcky*

Na tuto zkoušku je nutné si připravit a mít k dispozici:

- ultrazvukový přístroj TICO firmy Proceq testing instruments včetně zvolených sond, se sondami 150 kHz, sestava na obr. 30,
- vazebný prostředek pro vytvoření přechodu sonda-materiál vzorku - v mém případě klasická plastelína v tenké vrstvě,
- zkušební vzorky, v podobě trámečků 40x40x160mm (měření probíhalo před destrukčními zkouškami, souběžně s testy nasákavosti),
- podložka, eliminující možný přenos vlnění do podkladu - molitan,
- etalon pro korekce měření, pro kalibraci přístroje a zjišťování mrtvého času - plastový válec s deklarovanou dobou průchodu impulzu 56,5  $\mu$ s.



Obr. 30 Připravená měřicí sestava přístroje Tico, sond, etalonu a vzorku [103]

### ***Příprava a provedení zkoušky***

Příprava ke zkoušce spočívá v kontrole vybavení, nabití přístroje Tico, zajištění vazebných prostředků a vzorků a jejich přípravě do stavu, v jakém požadujeme měření. V mém případě bylo měření prováděno ve stavu zcela vysušeném, přirozeně nasyceném a na plně nasáknutých vzorcích.

### ***Měření doby průchodu signálů a výpočet hodnot dynamického modulu pružnosti***

U digitálních UZ přístrojů je obvykle hodnota doby šíření UZ zobrazována pro kratší měřicí základny na 0,1  $\mu\text{s}$  (výjimečně 0,01  $\mu\text{s}$ ), pro delší základny (pro měřený čas přes 100  $\mu\text{s}$ ) pak na 1  $\mu\text{s}$ . Vyhovuje to ustanovení ČSN 731371, měřený čas má být zjištěn s přesností na  $\pm 1\%$ .

Naměřená hodnota času  $T_L$  (čas průchodu impulzů tělesem) je ovlivněna UZ aparaturou, zejména konstrukcí obvodů přístroje, ultrazvukových sond, tvaru UZ signálu a použitím akustického vazebního prostředku.



Obr. 31 Měření rychlosti a času průchodu impulzu etalonem - stav těsně po měření, v průběhu jsou sondy tlačeny k prvku rukama technika - principiálně stejně probíhá měření vzorků [103]

Skutečná doba šíření UZ ve zkoušeném materiálu  $t$ , se proto upravuje korekcí z měření na kalibračním vzorku se zahrnutím vlivu vazebního prostředku. Kalibrační vzorek (často nazývaný etalon - v našem případě válec z plastového materiálu s přesně danou dobou průchodu impulzu vzorkem 56,5  $\mu\text{s}$ ) je dodáván buď výrobcem přístroje nebo odborným ústavem pro UZ zkoušení. Bývá konstruován pro nejběžněji měřené časy na prvcích, tj. 60 až 120  $\mu\text{s}$ . Je na něm vyznačena nominální doba  $t_E$ , obvykle na 0,1  $\mu\text{s}$ .

Naměří-li se UZ přístrojem na kalibračním vzorku UZ sondami s příslušným (použitým) vazebním prostředkem a stejným přtlakem na sondy doba průchodu  $t_{ME}$ , která je rozdílná od udaného času  $t_E$  pro daný etalon, je ztrátový čas, tzv. „mrtvý čas“, korekčním časem pro úpravu průchodu impulzu vzorkem. Tento mrtvý čas se spočte jako korekční čas  $T_{kor} = T_{ME} - T_E$ . Správná doba průchodu

signálu od budiče k snímači je čas  $T$ , který se spočte jako  $T = T_L \pm T_{kor}$ . Tento čas, opravený o mrtvý čas, je potom údaj, který se používá ve výpočtech. Při mém měření byla kalibrace prováděna po měření 1 sady vzorků, a protože rozdíl časů byl nulový, nebyl tedy uvažován „mrtvý čas“.

Zkušební místa (poloha sond) mají být volena tak, aby nedošlo k ovlivnění měřeného času vlivem okraje zkušebního tělesa, nehomogenitou betonu nebo přítomností poruch nebo trhlin v oblasti zkušebních míst. To pochopitelně neplatí, je-li úkolem měření ohraničit oblast části betonové konstrukce, která je poškozená trhlinami, hnízdy ap., tj. vlastně máme-li určit její nehomogenitu. V mém případě byly voleny protilehlé konce vzorku a místa přesně naproti sobě jak při příčném, tak podélném měření.

Při provádění měření je třeba uvážit vliv vlhkosti materiálu vzorku; podle zkoušek TZÚS, každé procento zvýšení hmotnostní vlhkosti způsobí nárůst rychlosti UZ v betonu o 100 až 120 m.s<sup>-1</sup>, což je rozpoznatelné při hodnocení vzorků suchých, přirozeně vlhkých a plně nasycených. Při měření na vzorcích a v konstrukci je potřebné používat *stejnou aparaturu* s pokud možno stejnými UZ sondami. Je rovněž vhodné, aby přístroj *obsluhoval též pracovník*, jinak je nutno provést statistické porovnání shodnosti (nebo nejistoty) měření obou pracovníků a vzít ji pak do úvahy při vyhodnocování výsledků UZ.

Výslednými hodnotami, které u každého ze vzorku zaznamenáváme je rychlost průchodu impulzu vzorkem a čas průchodu.

### ***Vyhodnocení zkoušek***

Impulzová rychlost při průchodu impulzu materiálem se vypočte ze vztahu:

$$v_L = \frac{L}{t_L \pm t_{kor}} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad [34]$$

Výsledná impulzová rychlost se uvádí s přesností na 10 m.s<sup>-1</sup> a je-li to potřebné, přepočítává se podle rozměrnosti prostředí, obvykle na prostředí trojrozměrné:

$$\begin{aligned} v_{L3} &= k_3 \\ v_{L3} &= \frac{k_3}{k_2} \cdot v_{L2} \end{aligned} \quad \text{kde } k_1 = 1 \text{ pro } v_{L1} \quad [34]$$

Hodnoty  $k_3$ ,  $k_2$  a  $k_3 / k_2$  jsou uvedeny pro Poissonovy součinitele  $v_{cu}$  (uveden v literatuře) včetně výpočtu v textu ČSN 731371. Vzorce jsou stanoveny takto:

$$k_2 = \sqrt{\frac{1}{1 - v_{cu}^2}} \quad [35]$$



$$k_3 = \sqrt{\frac{1 - v_{cu}}{(1 + v_{cu}) * (1 - 2v_{cu})}} \quad [35]$$

$$v_{cu} = \frac{1}{2} * \left( \frac{v_{L3}^2}{v_T^2 * k^2} - 2 \right) \quad [60]$$

kde  $v_{L3}$  - impulzová rychlost podélného UZ vlnění, uvedená v  $m.s^{-1}$ ;  
 $v_T$  - impulzová rychlost příčného UZ vlnění, uvedená v  $m.s^{-1}$ ;  
 $k$  - součinitel jednorozměrného prostředí s hodnotou  $k = 1$ .

Pro mé měření výpočtem a úvahou byly voleny v hodnotách, které je možné nalézt vypočtené v části příloh ( $k_2$  a  $k_3$  byly voleny výpočtem dle starší normy), kde jsou vloženy protokoly z měření včetně příslušných výpočtů.

Stanovení vlastností tmelu - dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu  $E_{cu}$ ; pevnosti v tlaku  $f_{be}$

Určí se na základě změřeného času průchodu impulzu vzorkem a ze zjištěných fyzikálních údajů o vzorku pomocí uvedených fyzikálních vztahů:

a) dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu  $E_{cu}$

$$E_{cu} = \rho * v_L^2 * \frac{1}{k^2} \quad (\text{MPa}) \quad [35]$$

kde  $\rho$  – objemová hmotnost betonu, uvedená v  $[kg.m^{-3}]$   
 $v_L$  - impulzová rychlost podélného nebo příčného UZ vlnění, uvedená v  $km.s^{-1}$ ;  
 $k$  - součinitel rozměrnosti prostředí (hodnoty  $k_1, k_2, k_3$ ).

b) pevnost tmelu v tlaku s nezajištěnou přesností  $f_{be}$

$$f_{be} = (9,9 * v_{L3}^2 - 56 * v_{L3} + 87,8) \quad (\text{MPa}) \quad [35]$$

kde  $v_{L3}$  - impulzová rychlost UZ podélných vln v trojrozměrném prostředí v  $kms^{-1}$ .

V mém případě byla prováděna měření v několika fázích procesu v souběhu se zkouškami nasákavosti materiálu - viz. kapitola 5.4.4 - měření tak bylo prováděno jak na úplně vysušených vzorcích, tak na vzorcích přirozeně nasáklých i na vzorcích zcela nasycených vlhkostí. Výsledky měření jsou uvedeny v přílohové části, v tabulkách s hodnotami - hodnoty pro hmoty zcela vysušené jsou na stranách P9 a P10, údaje pro hmoty přirozeně vlhké na stranách P11 a P12 a pro vzorky plně nasycené jsou hodnoty na stranách P13 a P14. Z daných údajů můžeme vyvodit závěry, které jsou uvedeny v kapitole 6.5 na stránce 106.

#### **5.4.6 Zkoušky tahem za ohybu**

##### *Podstata zkoušky*

Zkoušky tahem za ohybu - jedná se o zkoušky, kterými se na vzorcích určí pevnost materiálu v tahu za ohybu. Rozdílné hodnoty zkoušek pro hmoty ve standardních a extrémních podmínkách by měly vypovídat o snížení technických parametrů hmot. Podstatou zkoušek je, že pro pevnost v tahu za ohybu se vzorek zatěžuje třibodovým zatížením do porušení trámečky a měříme výslednou sílu při porušení, ze které pomocí výpočtových metod následně zjistíme pevnost materiálu v tahu za ohybu.

##### *Zkušební zařízení a pomůcky*

Zařízení a pomůcky budou podobné, jako později pro zkoušku tlakem.

Mezi základní pomůcky patří:

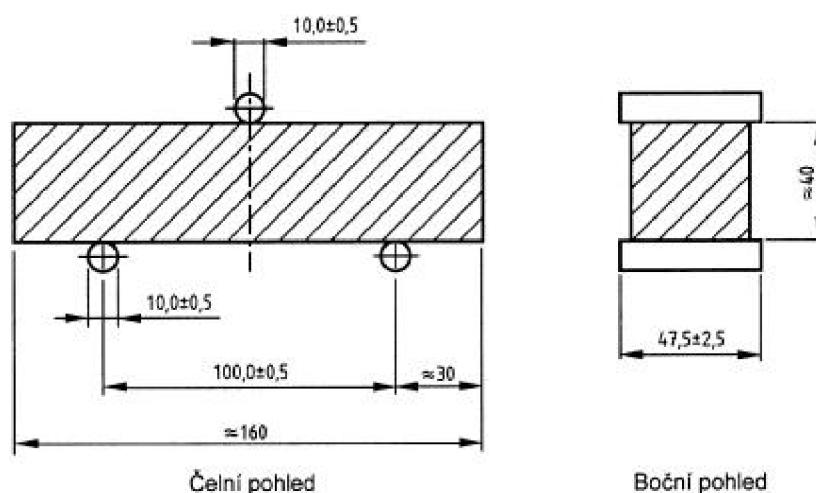
- posuvné měřítko pro měření rozměrů,
- třibodové opěrné zařízení pro vyvinutí správného zatížení na vzorek, viz. obrázky 32 a 33, které může být v různých podobách,
- zkušební zařízení - lis - který má dostatečný pracovní rozsah a umožňuje zatěžování vzorku s nárůstem zatížení  $50 \pm 1$  N/s do maxima 10 kN - Zwick 1445 - obr. 33,
- zkušební vzorky - trámečky 40x40x160mm.

##### *Příprava a provedení zkoušky*

Zkouška samotná probíhá ihned po doběhnutí doby uložení vzorku, tj. po pauze 28 dní, která je vyhrazena pro vyložení cementová pojiva. Vzorek tedy byl odebrán z prostředí uložení a odzkoušen. Zlomky poté byly vráceny do stejného prostředí, a následně upraveny pro zkoušky tlakem.

Zkoušky byly prováděny v lisu, který je vybaven dostatečným rozsahem zatěžovacích sil, přesnou stupnicí a potřebným přípravkem pro zatěžování vzorku. Tato sestava zařízení je na obr. 33. Norma [36] udává požadavky

na přístroj takto: „Zkušební stroj pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu musí umožňovat zatěžování do 10 kN s přesností  $\pm 1\%$  vynaloženého zatížení v horních 4/5 měřicího rozsahu při nárůstu zatížení  $50 \pm 1$  N/s“. Stroj samotný musí být vybaven přípravkem, který umožňuje zkoušení prvku tahem za ohybu. Tento přípravek se sestává z dvou válcových podpor o průměru  $10 \pm 0,5$  mm vzdálených  $100 \pm 0,5$  mm od sebe a třetího, zatěžovacího válce stejného průměru umístěného uprostřed mezi podporami. Délka válců musí být mezi 45 a 50mm, aby byly širší než zkoušený vzorek. Zatěžování vzorku musí být prováděno plynule, bez skoků zatížení – v opačném případě by vznikaly nepřesnosti při zjišťování působící síly.



Obr. 32 Schéma rozložení opěr nebo čelistí lisu pro zkoušky tahem za ohybu [36]

Jakmile provedeme zkoušku tahem za ohybu, získáme po zlomení tělesa maximální sílu vynaloženou na zlomení vzorku v N nebo kN dle pracovního rozsahu a stupnice použitého zařízení.

Dle norem [34, 36, 37, 39] se pak spočte výsledná pevnost v tahu za ohybu obecně při zavedení modulu průřezu a ohybového momentu pro čtvercový průřez jako:

$$R_f = \frac{M}{W} = \frac{F_f \cdot \frac{l}{4}}{b \cdot \frac{h^2}{6}} = \frac{1,5 * F_f * l}{b^3} \quad (\text{MPa})$$

kde  $R_f$  je pevnost v tahu za ohybu v MPa,  $b$  je strana čtvercového průřezu vzorku v mm,  $F_f$  je zatížení v N potřebné na zlomení trámečku a  $l$  je vzdálenost mezi podporami v mm,  $M$  je ohybový moment a  $W$  je modul průřezu.

Pokud by vzorek nebyl přímo čtvercového průřezu, lze vzorec uvést do tvaru:

$$R_f = 1,5 \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (\text{MPa}) \quad [36]$$

kde b a d vyjadřují rozměry prvku, přičemž b je šířka.

Pevnost v tahu za ohybu se posléze vyjadřuje průměrnou aritmetickou hodnotou za tři jednotlivých výsledků zkoušek na jedné sadě (každá sada obsahuje 2 x 3 trámečky), kdy výsledek se zaokrouhluje s přesností na 0,1 MPa. Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v tabulce v přílohách. Také jsou vyhodnoceny v kapitole se závěry. Na základě výsledků pak můžeme odvodit jistý vliv teplot při realizaci vzorků na výsledné hodnoty. Hodnoty získané při testování jsou uvedeny v příloze P15. Vyhodnocení výsledků je pak provedeno v kapitole 6.6 na straně 111.



Obr. 33 Zkušební lis Zwick 1445 určený přímo pro zkoušky cementových a maltových hmot s přímým působením tlakové síly na běžný přípravek pro tah za ohybu, včetně PC pro záznam dat [103]

## 5.4.7 Zkoušky tlakem

### *Podstata zkoušky*

Tlaková zkouška má stejnou podstatu jako zkouška tahem za ohybu, ovšem zatěžování zde probíhá plošně a zjišťuje se opět síla při porušení vzorku - u této varianty byla zjišťována tlaková pevnost, a to na vzorcích uložených v laboratoři, tak také na vzorcích, které byly podrobeny zmrazovacím cyklům. Přepočtem síly na plochu zjistíme pevnost materiálu v tlaku. V případě, že se nepožaduje zkouška tahu za ohybu, lze vzorky pro zkoušky tlakem připravit z trámečků libovolným způsobem tak, aby nedošlo k jejich poškození.

### *Zkušební zařízení a pomůcky*

Zařízení a pomůcky jsou velice podobné zkoušce v tahu za ohybu:

- posuvné měřítko,
- čelistové opěrné zařízení pro vyvinutí správného zatížení na vzorek, viz. obrázek 35 - toto zařízení je nutné, pokud se zkoušejí přímo zlomky trámů bez úpravy vzorků,
- zkušební zařízení - lis - který má dostatečný pracovní rozsah a umožňuje zatěžování vzorku s nárůstem zatížení  $2400 \pm 200$  N/s - EDT 1600 - viz. obr. 34, 35,
- zkušební vzorky - poloviny trámečků 40x40x160mm, nebo jako v našem případě, přesným řezáním z polovin trámečků upravené krychle 40x40x40 mm.

### *Příprava a provedení zkoušky*

Příprava zkoušky je totožná se zkouškou tahem za ohybu. Mění se ale metodiky zkoušky a namáhání vzorku. V mém případě také byla tato zkouška prováděna na 4 verzích zkušebních těles - tělesa ze směsi provedené dle Vicatových zkoušek nezmrazovaná a zmrazovaná a tělesa ze směsi dle výrobce nezmrazovaná a zmrazovaná, přičemž zmrazované vzorky vznikly úpravou zlomků trámů na podobu krychle 40x40x40 mm a byly podrobeny zmrazovacím cyklům - tato zkouška je popsána dále v kapitole 5.4.8.

Vlastní postup destrukční zkoušky pak je takový, že zkoušený vzorek se uloží do přípravku pro zkoušku tlakem - podle EN 196-1 jsou přípravkem destičky z tvrzené oceli 40 x 40 mm s tloušťkou minimálně 10 mm. Jejich vzájemná poloha musí být během zkoušky stálá, výslednice zatížení musí procházet středem zkušebního tělesa. Výjimka nastává v případě, že je vzorek upraven řezáním či jiným vhodným způsobem do tvaru krychle o hranách 40 mm - viz. druhá možnost úpravy těles. Vzorek se následně vystředí mezi bočními stranami v rozmezí  $\pm 0,5$  mm na destičkách zkušebního stroje a délkově se orientuje tak,

aby koncové strany trámečků přesahovaly o cca 10 mm destičky, případně pomocné destičky. Následně se spustí lis a dojde k zatěžování přípravku s vloženým trámečkem. Rychlost zatěžování musí být plynulá, a neměla by přesáhnout  $2400 \pm 200$  N/s až do porušení vzorku. Výsledná síla v N se zaznamená a použije pro výpočet tlakové pevnosti. Výsledky z měření a testů jsou opět uvedeny v tabulce v sekci příloh pod označením P16.



Obr. 34 Zkouška tlakem - lis EDT 1600 s odečtem na číselníku, s vloženým vzorkem, který byl upraven na tvar kostky o hraně 40mm [103]



Obr. 35 Zkouška v tlaku - vlevo na krychli o hraně 40mm, vpravo na zlomku trámce v přípravku - viditelné poškození vzorku po dokončení zkoušky [103]

Samotný výpočet pevnosti v tlaku je následující:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (\text{MPa}) \quad [39]$$

kde  $F_c$  je síla při porušení vzorku v N,  $A$  je plocha tlačných destiček v  $\text{mm}^2$ , v našem případě 40 x 40 mm. Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr šesti hodnot (v našem případě tří, protože polovina zlomků trámců byla podrobena zmrazovacím zkouškám) pevnosti v tlaku, které jsou stanoveny na zlomcích původně 3 ks zkušebních těles.

Výsledek zkoušky, zaokrouhlený na 0,1 N/ $\text{mm}^2$ , tj. v MPa, by bylo vhodné srovnávat s požadavky norem pro dané hmoty, bohužel norma nezahrnuje pevnost v tlaku pro danou vrstvu. Je ale možné si o kvalitě hmot udělat představu a hodnotit je na základě srovnání vzorků z interieru a z exterieuru, se vzorky vystavenými zmrazování. Vyhodnocení zkoušky pak najdeme v kapitole 6.7 na straně 113.

#### **5.4.8 Zkouška zmrazováním**

##### ***Podstata zkoušky***

Jak již bylo v textu zmíněno, polovina vzorků, které vznikly rozlomením trámců při zkouškách tahem za ohybu, byly upraveny na krychle o hraně 40 mm řezáním a byly použity pro zkoušky zmrazováním. Po dokončení zmrazovacích testů byly všechny vzorky podrobeny zkouškám v tlaku. Podstatu těchto zkoušek zachycuje hlavně ČSN 722452 [51] v návaznosti na již neplatnou ČSN 722440.

V těchto normách můžeme najít definice, jak lze popsat odolnost prvku zmrazování. Když budeme interpretovat znění norem, mohli bychom definici napsat takto - „Odolnost při namáhání střídavým zmrazováním a rozmrazováním je schopnost výrobku odolávat opakovanému zvlhnutí s následným zmrazením, hodnocená nasákavostí a změnou vlastností při zkoušce tlakem, včetně hodnocení případných poškození a úbytku hmoty“.

##### ***Zkušební zařízení a pomůcky***

Co se týká provedení zkoušky, není principiálně těžké. Je ovšem nutné mít jistá speciální zařízení, aby bylo možné simulovat zmrazovací cykly. Mezi zásadní pomůcky, potřebné pro tuto zkoušku patří:

- automatické zařízení KD-20 pro zkoušky mrazuvzdornosti s automaticky řízeným prostředím a možností záznamu zmrazovacích cyklů (k dispozici bylo díky laboratoři Ústavu stavebního zkušebnictví - 1. fáze testů),

- pomocné rámy pro uchycení vzorků, pokud jsou na tepelné izolaci
- toto nutné nebylo, jednalo se o kostky hmoty, tudíž nebylo riziko vyplavání,
- vzorky pro testy - krychle hmot o hraně 40mm, nebo stěrková vrstva na tepelném izolantu v pomocném rámu,
- laboratorní váhy s přesností měření na 0,1g a rozsahem dle hmotnosti těles,
- fotoaparát k případné dokumentaci poškození povrchů těles.

### ***Příprava a provedení zkoušky***

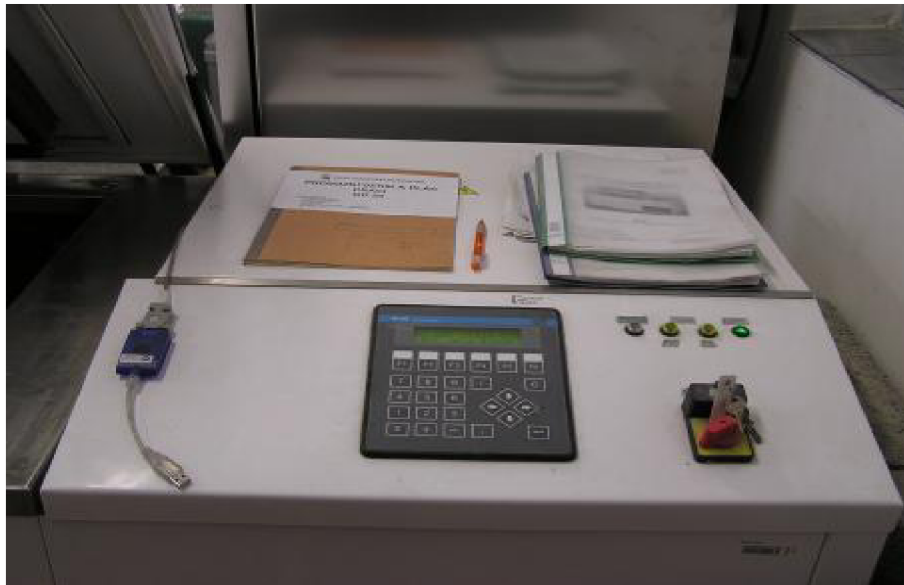
Pro provedení zkoušky byly připraveny již zmiňované vzorky - upravené zlomky trámců ze zkoušek tahem za ohybu a to krychle o hraně 40mm. Tyto vzorky byly uloženy týden v podmínkách, které byly dané pro příslušné vzorky, tj. vzorky z exteriéru v exteriéru a vzorky interiérové v laboratoři. Norma říká, že vzorky mají být uloženy nejméně po dobu 6 h v prostředí o teplotě  $23 \pm 5$  °C nebo v případě sporu v prostředí o teplotě  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti vzduchu  $50 \pm 5$  % po dobu stanovenou v příslušné normě výrobku, nejméně však po dobu 6 hodin. Tyto parametry byly upraveny právě s ohledem na zjišťování vlastností materiálu ovlivněného nízkými teplotami při výrobě vzorku. Pro zkoušky byly použity typově dvě sady vzorků - 3 exteriérové a 3 interiérové ve dvou provedeních a to v provedené za směsi dle Vicata a ze směsi dle výrobce pro každou zkoušenou hmotu.

Prvním krokem v postupu zkoušení byla kontrola nepoškozenosti vzorků - tj. zda povrch vzorků nevykazuje stopy odlupování, otluků a opadu, které by následně měly vliv při vážení. Vzorky také byly těsně před umístěním do zmrazovacího zařízení KD 20 zváženy, aby byl znám jejich hmotnostní stav před započítáním zkoušky. Protože rozmrazovací cykly v zařízení probíhají pod vodou, byly vzorky před zmrazováním umístěny do nádoby s vodou, aby do KD 20 vstupovaly nasycené. Po umístění dovnitř zařízení pak KD automaticky začalo v cyklování zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů v předem nastaveném programu. Protože byly testovány hmoty na bázi cementu, byla tato zkouška provedena jako součást zkoušení betonových konstrukcí, kdy délka zmrazovacích cyklů byla vždy 2 h chlazení na teplotu  $-20 \pm 2$  °C, 4hodiny na dané teplotě - doposud v suchém cyklu, a následně 2h rozmrazování v  $20 \pm 2$  °C teplé vodě. Těchto cyklů bylo plánováno 100, ovšem díky nutnosti určitého stupně naplnění přístroje to bylo pouze 75 cyklů, po kterých musely být betonové trámce odebrány a samotné krychle vzorků nesplňovaly podmínky naplnění zařízení - tudíž nebylo v testu možné pokračovat. V rámci zkoušek byla kontrolována a zaznamenávána hmotnost krychlí a kontrolován vizuálně a poklepem stav povrchu vzorků.



### ***Vyhodnocení zkoušek***

Výsledky jsou opět v části příloh, kde je možné hmotnosti a zjištěná poškození vyčíst z protokolů označených jako P23. Tato měření byla prováděna po 15, 25, 40, 65 a 75 cyklech. Úbytek hmotnosti a případná fyzická poškození vzorků by nám pak měl osvětlit odolnost hmot proti střídání teplot. Výsledky a vyhodnocení najdeme v kapitole 6.8 na straně 116.



Obr. 36 Ovládací panel přístroje KD v laboratoři - slouží pro sledování průběhu a nastavení cyklů zmrazování - kabel umožňuje připojení PC pro záznam cyklů, v mém případě nebyl k dispozici [103]



Obr. 37 Pohled na způsob plnění mrazícího zařízení - je vidět linii naplnění, kterou bylo nutné dodržet kvůli ohřívání ve vodním uložení [103]

## 5.4.9 Přídržnost výztužné hmoty k izolantu - zkouška základní vrstvy

### *Podstata zkoušky*

Podstatou zkoušky je zjišťování síly, kterou je potřeba vynaložit, aby došlo k odtržení lepicí hmoty nebo základní (výztužné) vrstvy od tepelného izolantu. Na základě známé odtrhové plochy a síly pak lze spočítat hodnotu přídržnosti stěrkové hmoty k podkladu, ať je jím zdivo nebo izolant. Zkouška samotná byla provedena na vzorcích s izolantem EPS a minerální vatou, přičemž vzorky byly ve variantách uložení ve standardním prostředí a v prostředí s teplotou pod bodem mrazu, tj.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dle nastavení běžného mrazícího pultu.

### *Zkušební zařízení a pomůcky*

- odtrhové terče o průměru  $(50 \pm 0,1)$  mm a tloušťce nejméně 20 mm z nerezové oceli - odchylka od rovinnosti plochy určené k přilepení může být maximálně 1 mm na 50 mm délky,
- jádrové vrtací zařízení s diamantovou korunkou s vnitřním průměrem korunky 50 mm, umožňující vrtání zkušebních těles s vytvrzenou lepicí hmotou, základní (výztužnou) vrstvou - jádrová vrtačka typu END 1550P německé firmy EIBENSTOCK - obr. 38,
- lepidlo bez obsahu rozpouštědel - dvousložkové lepidlo pro lepení zkušebních terčů X 60 firmy HBM AG,
- zařízení umožňující řezání zkušebních těles po odpovídajícím uložení bez vibrací a bočních pohybů - zde bylo řezání provedeno ručně v izolantu ruční pilou,
- šablona s vyvrtaným otvorem o průměru  $(60 \pm 1)$  mm - např. tuhá dřevěná deska tl. 10 mm,
- měřicí zařízení s odpovídajícím rozsahem měření, nastavitelné na rychlost posuvu  $(10 \pm 1)$  mm/min a umožňující měřit sílu s přesností na 1 % - v našem případě ruční odtrhový přístroj DYNA ESTRICH fy. Proceq, viz. obr. 40,
- vzorky - izolant s provedenou stěrkovou vrstvou dle daných podmínek, viz. dále.



Obr. 38 Připravená sestava jádrové vrtačky s nasazenou korunkou pro jádrový vrt na vzorku pro odtrhovou zkoušku [103]



Obr. 39 Detail uchycení odtrhového terče v přístroji Dyna [103]



Obr. 40 Odtrhový přístroj fy. Proceq Dyna Estrich, připravený ke zkoušce [103]

### ***Příprava a provedení zkoušky***

#### ***Příprava vzorků***

Na tento typ zkoušky nelze použít trámčové vzorky, svým tvarem a provedením neodpovídají provedení základní vrstvy na fasádě. Proto bylo nutné vytvořit vzorky nové. Pro provedení tohoto testu a následně testu zmrazování a nárazem byly zvoleny vzorky o velikosti 15x15 cm, v provedení standardním na stavbách a to v konfiguraci 4mm stěrky s vloženou sklotextilní síťovinou v horní třetině vzorků.

Metodika výroby vzorku byla totožná s prováděním základní vrstvy v praxi. Za použití přípravku byla na izolant (EPS a minerální vatu) rozprostřena první vrstva stěrky v tl. 2,5 mm, následně byla lehce vložena síťovina a byla překryta druhou vrstvou stěrky, tato již byla při aplikaci vtlačována silněji, aby se dokonale spojila se spodní vrstvou a kompletně obalila síťovinu. Horní vrstva posléze byla kovovou stěrkou „uhlazena“, aby vznikl co nejhladší povrch a vzorky byly na 28 dní umístěny do prostředí příslušného sadě - vždy jedna sada na EPS a jedna sada na vatě, obě po třech vzorcích byly umístěny do mrazicího boxu a další dvě totožné sady byly umístěny v ideální teplotě v laboratoři. Po 28 dnech byly zkoušeny.

Volba uložení vycházela ze zkušebního předpisu [67], kde se udává, že vzorky by měly být uloženy nejméně 28 dní v případě lepicí nebo výztužné

hmoty, nebo po dobu danou zadavatelem zkoušky při teplotě  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 + 10) \%$ . Takto byly uloženy srovnávací vzorky interiérové, „exteriérové“ vzorky byly uloženy při  $-10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  - tyto vzorky měly prokázat, jak se zhoršily vlastnosti stěrkové hmoty při realizaci v nízkých teplotách. Teplota byla zvolena s ohledem na dostupný mrazicí box, který je schopen tuto hodnotu spolehlivě udržet.

### ***Provedení zkoušky***

Zkouška samotná se provádí při teplotě  $23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  v laboratoři, bez cyklování. Byla zvolena metodika zkoušení pro izolant s pevností v tahu kolmo k rovině  $> 100 \text{ kPa}$  na základě dostupných měřících zařízení - odtrhoměru Dyna. Tato volba se však ve výsledném hodnocení ukázala lichou, protože umožňovala sice odzkoušení vzorku na přídržnosti, ovšem naměřené údaje jsou velice nízké a nelze provést jejich porovnání pro zjištění % rozdílů v hodnotě přídržnosti.

### ***Metodika zkoušky - pro tepelný izolant s pevností v tahu kolmo k rovině desky $> 100 \text{ kPa}$ (určené dle ČSN EN 1607)***

Pro tepelný izolant s pevností v tahu  $> 100 \text{ kPa}$  se na upravené desce o rozměrech  $150 \times 150 \text{ mm}$  provede jádrový odvrt tak, že vzniklá spára mezi kruhem a ostatní plochou výztužné vrstvy zasahuje  $\pm 5 \text{ mm}$  hluboko do tepelného izolantu, aby bylo zajištěno, že hmota se může odtrhnout jednak na styku s podkladem, jednak přímo v izolantu. Při vrtání musí být zamezeno vibracím a bočním pohybům korunky vrtacího zařízení. V případě více odvrtů na jedné ploše vzorku musí být dodržena vzdálenost mezi středy jednotlivých kruhů zkoušených hmot vzniklých vrtáním minimálně  $100 \text{ mm}$ . V mém případě toto nebylo nutné, na každém vzorku byl prováděn jeden odvrt. V každé sadě vždy jsou totiž 3 vzorky.

Na očištěné odtrhové terče se v rovnoměrné tenké vrstvě nanese lepidlo po celé ploše určené k nalepení a terč se pod lehkým tlakem přilepí na připravený odvrtaný kruh výztužné vrstvy. Střed odtrhového terče musí být po přilepení nad středem kruhu vzniklého vrtáním. Lepidlo nesmí zatéct do spáry kolem kruhu. Pro dosažení rovnoměrného roznesení tahové síly bez ohybového momentu při samotném odtrhování terče se použije šablona. Šablona se umístí na horní straně zkušební tělesa. Odtrhový terč přilepený na zkušebním tělese se potom prostřednictvím přípravku upne do měřícího zařízení.

Těleso upevněné do měřícího zařízení se zatěžuje tahovou silou do porušení. Tahová síla se přenáší odtrhovým terčem. V druhé variantě zkoušek, která je plánovaná, se přenos síly děje pomocí tuhé desky. Postupné zvětšování síly je dáno rychlostí posuvu  $10 \pm 1 \text{ mm/min}$ . V mém případě toto bylo nahrazeno ručním posunem při otáčení stavěcím šroubem. Zkušební

těleso se zatěžuje až do jeho porušení. Tahová síla při porušení se zaznamená a zaznamená se typ porušení vzorku.

### ***Vyhodnocení zkoušky***

K porušení zkušebního tělesa může dojít:

- adhezním porušením mezi lepidlem a základní (výztužnou) vrstvou,
- kohezním porušením v základní (výztužné) vrstvě,
- adhezním porušením mezi základní (výztužnou) vrstvou a tepelným izolantem,
- kohezním porušením v tepelném izolantu.

Jako výsledek zkoušky se uvádí jednak typ porušení vzorku a pro porovnání s požadovanou úrovní se uvádějí jednotlivé vypočtené přídržnosti (v kPa, zaokrouhlené vždy na 0,1 kPa). Přídržnost se vypočte ze vztahu:

$$\beta = F/A \quad (\text{kPa}) \quad [67]$$

kde  $\beta$  je přídržnost, v kPa,  $F$  je tahová síla při porušení, v kN a  $A$  je plocha tuhé desky nebo odtrhového terče, v  $\text{m}^2$ .

Samotné vyhodnocení této zkoušky nalezneme v kapitole 6.9, která je na straně 119. Protokoly s výsledky zkoušek pak v přílohách označených P17 a P18.

## **5.4.10 Stanovení odolnosti proti rázu**

### ***Podstata zkoušky***

Podstatou zkoušky je zjišťování poškození, která vzniknou v důsledku dopadu ocelové koule s danou hmotností z předepsané výšky na lící povrch ETICS - tak je stanovena odolnost rázu a hodnotí se viditelné poškození. Samozřejmě, že v našem provedení byl zjišťován rozdíl mezi standardně provedenou hmotou a hmotou v nestandardních teplotách - destrukce povrchu nebo vtisky koule se měřily a hodnoty byly srovnávány.

### ***Zkušební zařízení a pomůcky***

- ocelové koule o hmotnosti  $500 \pm 5$  g a  $1000 \pm 10$  g,
- ocelová roura s vnitřním průměrem o 2 mm větším než je průměr ocelové koule s hmotností  $500 \pm 5$  g, umožňující pád koule z výšky  $406 \pm 1$  mm a  $610 \pm 1$  mm,

- ocelová roura s vnitřním průměrem větším než 62,5 mm, umožňující pád koule s hmotností  $1000 \pm 10$  g z výšky  $1020 \pm 1$  mm,
- tuhá a rovná podkladová deska (např. překližka o tloušťce 20 mm) s půdorysnými rozměry převyšujícími půdorysné rozměry zkušebního tělesa nejméně o 50 mm,
- posuvné nebo jiné přesné měřidlo pro měření vtisků těles,
- vzorky základní vrstvy vyrobené dle popisu v metodě odtrhových zkoušek - 2x3 sady o rozměrech 150x150 mm.

### ***Příprava a provedení zkoušky***

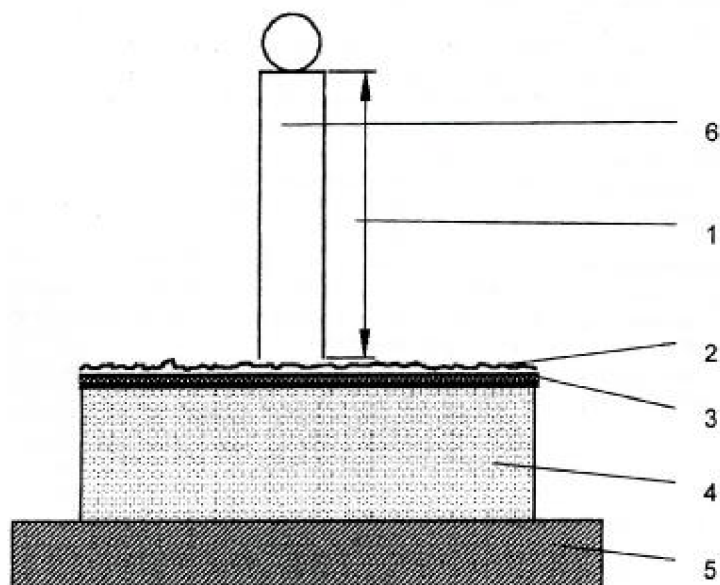
Krycí šterková hmota s vyztužením - tj. základní vrstva se nanese podle předpisu výrobce na určenou plochu desky izolantu o tloušťce 50 mm a půdorysných rozměrech 150x150 mm. Takto zhotovené zkušební těleso se uloží na 28 dní při teplotě  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti  $50 \pm 10\%$  a následně se vystaví 3 cyklům určených těmito podmínkami:

- 24 hodin ponoření ve vodě o teplotě  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,
- 24 hodin sušení při teplotě  $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Před vlastní zkouškou, po cyklování, se zkušební tělesa uloží nejméně 24 hodin při teplotě  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti  $50 \pm 10\%$ . Toto se týká poloviny vzorků, druhá polovina byla uložena v mrazícím boxu při teplotě  $-10 \pm 2^{\circ}\text{C}$  s vlhkostí  $50 \pm 10\%$ .

Zkouška se provádí při teplotě  $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Podle požadavku na práci při rázu se na zkušební těleso nechají dopadat ocelové koule za podmínek:

- práce při rázu 2 J - pád koule  $500 \pm 5$  g, z výšky  $406 \pm 1$  mm,
- práce při rázu 3 J - pád koule  $500 \pm 5$  g, pád z výšky  $610 \pm 1$  mm,
- práce při rázu 10 J - pád koule  $1000 \pm 10$  g, pád z výšky  $1020 \pm 1$  mm.



Obr. 41 Schéma zkoušky rázem - 1 - výška pádu koule, 2 - povrchová úprava, 3 - výztužná vrstva, 4 - tepelný izolant, 5 - tuhá podkladová deska, 6 - kovová roura se zářkami pro předepsaný pád koule [67]

Postup při zkoušce je zřejmý z obr. 41. Při zkoušce musí být dodržena vzdálenost 50 mm mezi jednotlivými zkušebními místy na zkušebním tělese a také vzdálenost 50 mm od okraje zkušebního tělesa. Zkouška se provádí v mém případě na dvou zkušebních místech na každém vzorku - pro zhodnocení odolnosti rázu je toto plně dostačující při rozměrech jednotlivých vzorků 150x150 mm.

### ***Vyhodnocení zkoušky***

Jako poškození se hodnotí výsledky:

- viditelná síť vyztužení,
- viditelné odchlípnutí horní vrstvy základní (výztužné) vrstvy,
- proražení základní (výztužné) vrstvy.

Jako výsledek zkoušky se uvádí, zda bylo při jednotlivých zkouškách zjištěno poškození. Jednotlivé výsledky zkoušek se porovnávají s požadovanou úrovní. Budou také porovnávány výsledky poškození mezi vzorky provedenými ve standardních teplotách a v nízkých teplotách.

Protokoly s výsledky zkoušek jsou umístěny v přílohách P19 až P22 a vyhodnocení zkoušky je popsáno v kapitole 6.10 na straně 124.



#### 5.4.11 Výroba zkušebních těles 40 x 40 x 160 mm - podmínky a parametry

##### 1. fáze zkoušek

Výroba zkušebních těles probíhala v období mezi 18. 10. 2010 až 26. 11. 2010 za teplot, které je možné vyčíst v grafech na obrázcích č. 42, 43 a 44. Jak již bylo zmíněno, vzorky byly rozděleny podle složení směsi na dvě sady - jedna vyrobená ze směsi dle výrobce, druhá ze směsi určené zkouškou Vicatem. Dále byly obě sady děleny podle umístění na dva druhy vzorků a to jeden druh uložený v interiéru s označením I a druhý druh s označením E, který byl uložen v exteriéru. V laboratoři se teplota pohybovala v rozmezí  $22 \pm 2$  °C, v exteriéru dle podmínek a počasí. Z hlediska technických možností a provedení a díky množství forem byla celková výroba rozdělena do několika etap - 1 sada vzorků byla vyrobena 18. 10. 2010, 2. sada vzorků 8. 11. 2010, 3. sada 10. 11. 2010, 4. sada 18. 11. 2010, 5. sada 22. 11. 2010, 6. sada 26. 11. 2010. Termíny byly voleny s ohledem na možné počasí, na dostupnost laboratoře a na dostupnosti forem na vzorky po předchozích sadách. Následující grafy na obr. 42 až 44, ukazující teploty v exteriéru jsou pro 1 měsíc následující po datu výroby. Pro další uložení v exteriérech mezi zkouškami je možné teploty vyčíst z tabulek a grafů v přílohách.

Z obr. 42, který znázorňuje teploty mezi 18.10 až 18. 11. 2010 je patrné, že v tomto období se teploty pohybovaly v hodnotách, které jsou pro realizaci vrstev ještě relativně příhodné. Je však vidět, že v některých dnech se teploty dostávají pod hladinu  $+5$  °C, což je pro standardní hmoty limitní hranice, avšak přímo ve dnech následujících po výrobě vzorků - řekněme v následujících třech dnech se teploty pohybovaly mezi  $5$  až  $10$  °C, což znamená, že tyto hmoty nebyly nízkými teplotami ovlivněny. Proto byly další realizace vzorků odsunuty na pozdější datum.

Z obr. 43 můžeme vyčíst teploty v průběhu 1 měsíce pro další sadu vzorků, která byla realizována 8. 11. 2010 - zde se teploty pohybovaly opět na hranici teploty  $+5$  °C, ale jak můžeme vidět, v pozdější části intervalu již působily na tělesa teploty až  $-10$  °C, což již ovlivňuje procesy probíhající v materiálu. Tento graf také platí i pro následující sadu vzorků, které byly vyrobeny 10. 11. 2010.

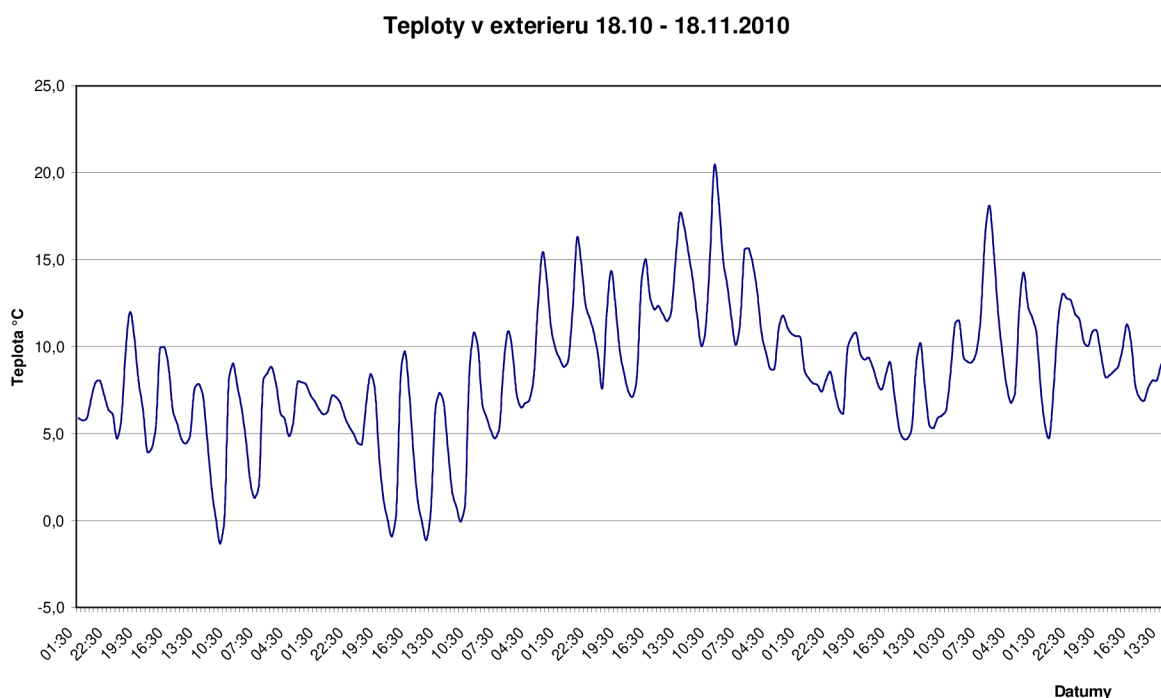
Na dalším obrázku, č. 44, je pak graf průběhu teplot pro sady vzorků vyrobené 18, 22 a 26. 11. 2010. Jak je vidět, na tyto sady již působily teploty nižší než na předchozí sady - nejvyššími teplotami jsou tu teploty kolem  $8$  °C, zatímco běžně byla teploty kolem  $0$  °C a níže - tj. tyto sady vzorků již byly plně nízkými teplotami ovlivněny.

V pohledu na průběh realizace vzorků 1. fáze zkoušek je patrné, že využití vnějších podmínek v exteriéru sice přineslo vliv na hmoty totožný s vlivem

na stavbě, ale vzhledem k výzkumu jsou tyto podmínky nejednotné a velice těžce posuzovatelné a definovatelné. Proto jsem se rozhodl provést také druhou fázi zkoušení materiálů doplňujícími testy - odtrhové zkoušky, zkoušky rázem a tahové zkoušky.

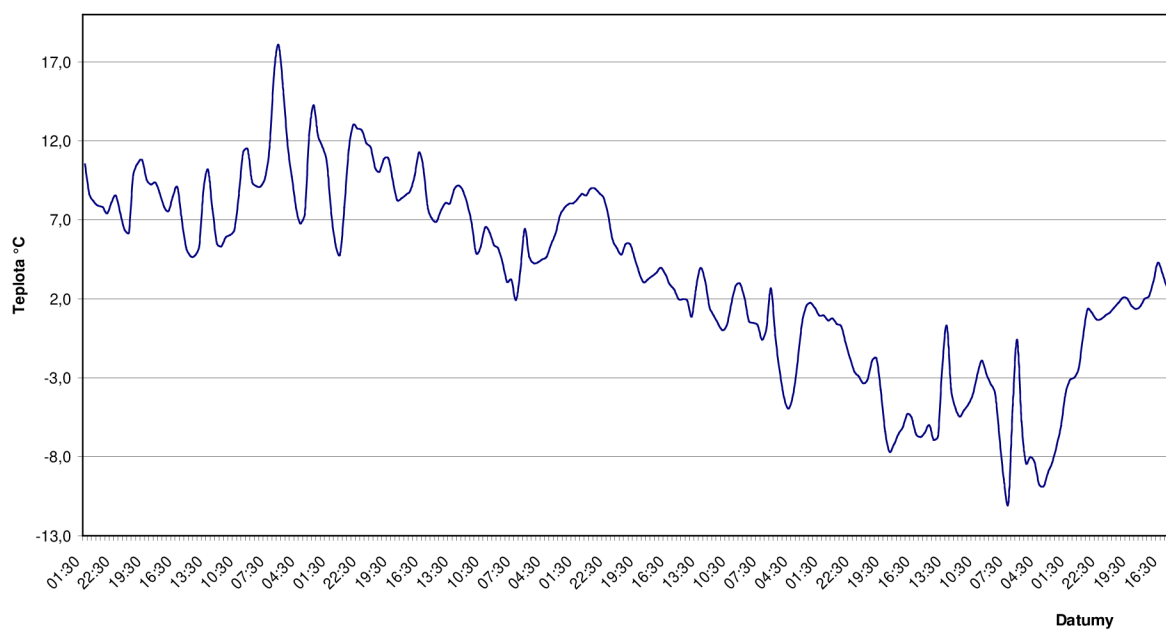
## 2. fáze výroby vzorků

Zde byly pro výrobu těles voleny odlišné podmínky. Byla zcela zachována část vzorků, prováděná v laboratoři při stálé teplotě  $22 \pm 2$  °C. Pro simulaci teplot v exteriéru již ale nebylo použito umístění vzorků v exteriéru, ale mrazící pult značky Email, který je opatřen standardní regulací teplot a umožňuje nastavení prostředí uvnitř boxu. Z hlediska nastavení regulátoru byla zvolena teplota  $-10 \pm 1$  °C, která byla stabilně udržitelná po celou dobu testování. Vzorky pro odtrhové zkoušky a zkoušky rázem byly rozděleny do 4 sad - dvě sady byly provedeny na standardním fasádním EPS 70F a dvě sady na minerální vatě Rockwool TF Profi. Z toho vždy jedna sada byla umístěna v ideálních podmínkách laboratoře, kde byla teplota  $22 \pm 2$  °C. Druhá sada byla vždy umístěna do mrazícího pultu při teplotě  $-10 \pm 1$  °C. Takto byly simulovány nevhodné klimatické podmínky při provádění stěrkových vrstev na stavbách.



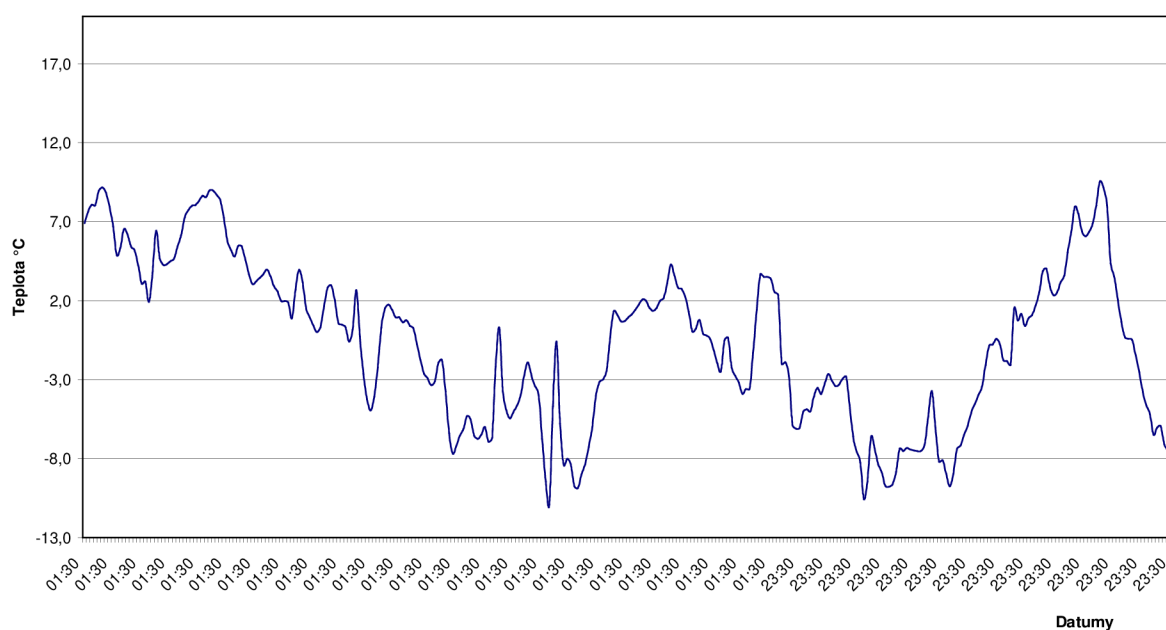
Obr. 42 Teploty v období 18. 10 až 18. 11. 2010 [42]

**Teploty v exteriery 8.11 - 8.12.2010**



**Obr. 43 Teploty v období 8. 11 až 8. 12. 2010 [42]**

**Teploty v exteriery 18. 11 - 26. 12. 2010**



**Obr. 44 Graf teplot pro sady vyrobené 18., 22. a 26. 11. 2010 [42]**

## 6. VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

### 6.1 Měření velikosti zrn pomocí laserové difrakce

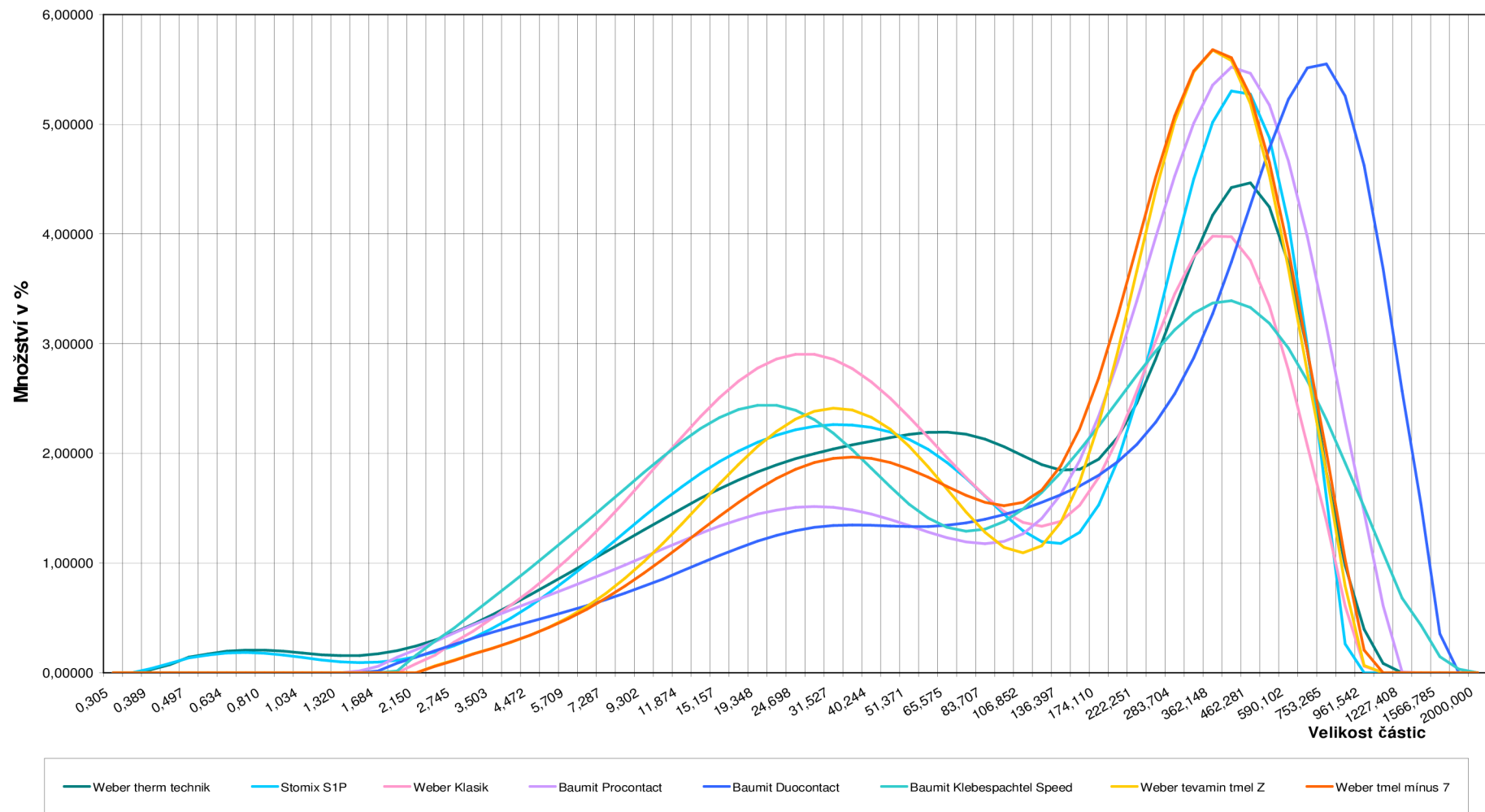
V rámci zkoušek měření velikosti částic laserovou difrakcí ve spolupráci s Ing. Kosíkovou jsme získali výsledky, které ukazují, jak jemně je hmota mletá. Tento faktor pak, jak je uvedeno v kapitole o výrobě a reakcích cementových směsí, může ovlivňovat rychlost hydratačních procesů směsí. Můžeme obecně říci, že by mělo platit, že čím jemněji je hmota mletá, tj. čím menší má zrna, tím větší má smáčený povrch a tudíž reakce mohou probíhat rychleji na větším povrchu zrn. Na základě těchto údajů by se dalo usuzovat, že jemněji mleté hmoty budou tuhnout a tvrdnout rychleji a budou vyvíjet více hydratačního tepla - tyto faktory by je předurčovaly pro použití za nižších teplot, kdy by nám zvýšená hladina hydratačního tepla pomáhala eliminovat negativní vlivy nízké teploty při realizaci. Na základě této úvahy bylo provedeno měření velikosti částic v jednotlivých hmotách, které byly dostupné. Výsledky dosažené měřením laserovou difrakcí přístrojem Mastersizer 2000 jsou uvedeny jednak v grafu číslo 45 a také v přílohách na straně P40, kde jsou uvedeny naměřené hodnoty.

Na obr. č. 45 je možné vidět jednotný graf všech křivek zrnitosti jednotlivých materiálů - na grafu je vidět velká podobnost zrnitostních křivek všech materiálů. Některé směsi však v jistých ohledech „vybočují z řady“. Můžeme to například říci o hmotách Weber Therm Klasik a Weber Therm Mínus 7, které mají jemnější mletí v porovnání s ostatními hmotami. Naopak o hmotě Baumit Duocontact lze říci, že je lehce hruběji mletá než ostatní. Tyto rozdíly jsou v celkovém množství malé, ovšem mohou hrát roli právě v hodnotách výsledných parametrů materiálu. Na prokázání zásadnosti tohoto vlivu by bylo nutné provést důkladnější měření a testy například v klimatické komoře, kde by při srovnání jemnosti mletí při různých stupních prostředí mohly lépe a hlouběji objasnit chování hmot při realizaci za rozdílných teplot, ať nízkých či extrémně vysokých. Na základě dostupných výsledků je možné říci, že vliv jemnosti mletí může přispívat k vhodnosti hmoty do nízkých teplot.

Z grafu je také možné vyzorovat, že 2 z uvedených hmot obsahují i menší částice než 1,6  $\mu\text{m}$ . Zároveň je také možné pozorovat, že žádná z použitých hmot neobsahuje částice větší jako 2 mm. To pro praxi znamená, že je teoretické možné vytvořit vrstvu o tloušťce 2 mm (tato hodnota je udána jako limitní i v ČSN 732901). Tato tloušťka vrstvy však v praxi nevyhovuje požadavkům na tloušťku krytí výztužné síťoviny a ve většině případů není možné ji na stavbě provést. Proto se pro praxi většinou používá minimální tloušťka vrstvy 3 mm, přičemž tloušťka dle normy ČSN 732901 se udává hodnotou standardně 2 až 6 mm. Na stavbách většinou převažuje tloušťka prováděné vrstvy okolo 4 mm, což je optimální i vzhledem k velikosti částic, tak i vzhledem ke krytí síťoviny.

C

**Výsledky měření vzorků laser. difrakcí**



Obr. 45 Graf zrnitosti jednotlivých hmot v jednotném provedení - srovnání výsledků z měření velikosti částic laserovou difrakcí

## 6.2 Kaše normální hustoty pro provedení základní vrstvy

Zkouška proběhla na všech cementových suchých směsích od data do data a její průběh je zaznamenán na dokumentech v příloze. Na základě zkoušek byly zjištěny potřebná množství vody pro výrobu kaše standardní hustoty. Následně se vyráběla zkušební tělesa ve dvou variantách - ve variantě první ze směsi dané dle výrobce, ve variantě druhé ve směsi dle Vicatovy zkoušky - ta měla přinést možnost porovnávat směsi mezi sebou bez ovlivnění rozdílným vodním součinitelem. Výsledku určit kaši normální hustoty bylo dosaženo, ovšem hmoty samotné v tomto provedení by nebyly vhodné pro základní vrstvy systému ETICS díky své horší zpracovatelnosti - takto vyrobená směs je hutná, nebylo by možné s ní jednoduše pracovat. Pro výrobu vzorků však vhodná byla a sloužila pro posouzení vlivu obsahu vody na vlastnosti hmoty.

Ve výsledku byla ze zkoušek Vicatovým přístrojem vytvořena tato tabulka:

Druh hmoty	Poměr mísení dle výrobce		Poměr dle zkoušky Vicatovým přístrojem		Poznámka
	Suchá směs [g]	Množství vody [g]	Suchá směs [g]	Množství vody [g]	
Weber.therm technik	100	25	100	10,4	dle výrobce 25 kg / 6,3 l vody
Weber.tevamin tmel Z	100	23	100	14,2	dle výrobce 25 kg / 5,5 l vody
Weber.therm mínus 7	100	24	100	15,4	dle výrobce 25 kg / 6,0 l vody
Weber.therm klasik	100	25	100	17,3	dle výrobce 25 kg / 6,5 l vody
Baumit Duocontact	100	23	100	12,2	dle výrobce 25 kg / 5,5 l vody
Baumit ProContact	100	23	100	12,5	dle výrobce 25 kg / 5,5 l vody
Baumit Klebepachtel Speed	100	24	100	14,25	dle výrobce 25 kg / 6,0 l vody
Stomix SIP	100	25	100	14,95	dle výrobce 25 kg / 6,25 l vody

Tab. 15 Tabulka množství vody na směs normální konzistence

Je patrné, že množství vody pro vytvoření kaše normální hustoty se liší - zapříčiněno je to různým obsahem plastifikačních látek a přísad v materiálech - jejich množství a typ však mnou nelze doložit - z údajů výrobců tyto hodnoty vyčíst nelze, protože jsou součástí výrobního tajemství, stejně jako mrazuvzdorné látky a přísady.

### 6.3 Určení počátku a konce tuhnutí

Touto zkouškou byla zjišťována jednak doba, po kterou je hmotu možné zpracovávat, tj. doba do počátku tuhnutí, když již manipulace s hmotou znamená porušení chemických dějů ve hmotě a snížení hodnot jejích technických vlastností. Druhým zjišťovaným údajem byla doba konce tuhnutí, kdy již je možné říci, že hmota začíná nabývat vlastností, které jsou výrobcem deklarovány. Výsledky této zkoušky jsou zahrnuty v popisech vlastností hmot v tabulce č. 13 na str. 54 a záznamy z průběhu zkoušky včetně grafů srovnání jednotlivých hmot najdeme v přílohách pod označením P1. V přílohách je také vložen graf P2, ve kterém je zaznačen průběh zkoušek s ohledem na čas při běžné teplotě a standardním postupu zkoušky. Jak můžeme pozorovat, nejrychlejší nástup reakcí má hmota Weber therm -7, která je primárně určena pro nízké teploty, čili musí mít vyšší vývin hydratačního tepla, čemuž právě nasvědčuje křivka počátku tuhnutí. Nejpomalejší jsou hmoty standardní a to Baumit Procontact a Duocontact.

V přílohách P3 až P6 pak můžeme porovnat křivku náběhu tuhnutí pro vzorky o tl. 4 mm, při ideální teplotě a při teplotě  $-10^{\circ}\text{C}$ . Pokud tyto křivky srovnáme, je možné říci, že nejnižší rozdíl vykazuje hmota Baumit Klebepachtel Speed, u které se doba počátku tuhnutí prodlouží "pouze" o dalších 120 minut na celkových 270 minut od namíchání směsi. To vypadá jako dobrá zpráva z hlediska zpracovatelnosti, ovšem tak tomu není, naopak to otevírá větší okno pro chyby. Pokud budeme chtít jmenovat "nejhorší" hmotu, musíme zmínit hmotu Stomix S1P, u které se doba počátku tuhnutí zpozdila o dalších 450 minut. Druhou nejlepší hmotou je pak Weber therm mínus 7, kdy se doba prodloužila o 150 minut. Ostatní hmoty se pohybují průměrně mezi 200 až 300 minutami. Co se týče konce tuhnutí, to u většiny hmot umístěných v mrazicím pultu nebylo zjištěno protože záznam měření se prováděl pouze 24 hodin, viz. tab. 13 na str. 54.

### 6.4 Nasákavost materiálu

Souběžně s prací na zkouškách ultrazvukem probíhaly testy nasákavosti materiálu - obě tyto zkoušky byly rozděleny na tři fáze - zkoušky na přirozeně nasáknutých vzorcích, zkoušky na plně nasáknutých vzorcích a zkoušky na plně vysušených hmotách. Záznamy, hodnoty a příslušné tabulky s výpočty z průběhu zkoušek jsou uvedeny v přílohách pod označením P7 a P8.

První měření na přirozeně nasáknutých hmotách bylo prováděno 17. 12. 2010. Při tomto měření bylo zjištěno, že mezi hmotami vyrobenými dle výrobce a hmotami vyrobenými dle zkoušek Vicatem je v průměru rozdíl v hodnotách nasákavosti mezi vzorky z interiéru a exteriéru cca 0,2-0,5 % v absolutní hodnotě. Pokud se podíváme na tabulku č. 16, zjistíme, že barevně označená pole jsou rozdíly mezi hmotami z exteriéru a interiéru, kdy hmota

umístěna v exteriéru vykazovala menší nasákavost než hmota umístěna v interiéru. Jak je vidět z tabulky, v případě přirozeně nasycených hmot provedených dle výrobce tyto vlastnosti vykazují hmoty s přísadami pro nižší prováděcí teploty. Největší rozdíl v % objemu vlhkosti vykazuje hmota Weber therm -7, což je hmota určená do podmínek teplot s hodnotou až -7 °C. Při provedení hmot ze směsi dle Vicatovy zkoušky s menším vodním součinitelem vykazují stejné vlastnosti hmoty 6-8. Což značí, že z tohoto úhlu pohledu ve zkouškách nejlépe vychází hmoty speciální - tj. dle technických listů hmoty Weber Tevamin tmel Z (již nový název - dnes Weber.therm elastik Z), Weber.therm mínus 7. Ze standardních hmot se sem dá přiřadit ještě hmota Weber technik. Ostatní hmoty vycházející s těmito výsledky jsou standardní, což jen svědčí buď o málo nepříznivých podmínkách při tunutí a tvrdnutí nebo o vysoké kvalitě směsí.

V momentě, kdy přejdeme k hodnocení výsledků směsí plně nasycených (hodnocení bylo provedeno 3. - 4. 1. 2011), docházíme k zajímavým hodnotám. Zde vykazují exteriérové vzorky vesměs až na pár výjimek nižší nasákavost, než hmoty uložené v interiéru ve vhodné teplotě. Tento jev jsem při provádění testů nečekal. Jeho vysvětlením může být v exteriéru vyšší možnost vypařování vodních par díky pohybu vzduchu a vyššímu faktoru vysušování vzorků a tím k mírně rychlostně odlišným tuhoucím a tvrdnoucím procesům - na tuto otázku na základě dostupných výsledků neznám přesnější odpověď. Co však výsledky potvrzují, je fakt, že speciální hmoty opět prokázaly své vlastnosti a opět vzorky z exteriéru vykazují nižší nasákavosti. Z hlediska trvanlivosti a odolnosti systému je věc, kterou lze jednoznačně hodnotit kladně - vždyť o trvanlivost, odolnost a kvalitu systému nám jde především. Průměrná hodnota rozdílů v nasákavosti vzorku zde je 1,1 % pro hmoty dle parametrů výrobce a 0,7 % pro hmoty vyrobené ze směsi dle Vicata. Vše ve prospěch hmot vyrobených a umístěných v exteriéru.

Pokud bychom hodnotili množství přijaté vlhkosti, můžeme říci, že „nejhorších“ hodnot v těchto testech dosáhly hmoty standardní, ale nejvyšší hodnotu nasákavosti v objemových % pro plně nasycený stav najdeme u hmot speciálních. Tato hodnota je však oproti ostatním hmotám jen nepatrně vyšší. Speciální hmoty tento fakt (např. Weber.therm mínus -7) kompenzují až o 10% nižším objemem vlhkosti ve vzorku při přirozeném nasycení oproti některým standardním hmotám, což znamená jejich velkou výhodu oproti standardním tmelům při provedení v nestandardních podmínkách.

Třetí měření a vážení vzorků, teď už plně vysušených následovalo 12. 1. 2011, kdy byly zjištěny potřebné hodnoty pro výpočty objemů vlhkosti. Suché vzorky byly následně umístěny do prostředí dle výroby, tj. laboratoř a exteriér, aby nabyly přirozené vlhkosti pro další zkoušky.



Hmota	Průměrná hodnota rozdílu v % mezi suchými a přirozeně nasycenými hmotami				Průměrná hodnota rozdílu v % mezi suchými a plně nasycenými hmotami				Průměrná hodnota rozdílu v % mezi přiroz. nasyc. a plně nasyc. hmotami			
	Směs dle výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicata, umístěná v interiéru	Směs dle Vicata, umístěná v exteriéru	Směs dle výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicata, umístěná v interiéru	Směs dle Vicata, umístěná v exteriéru	Směs dle výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicata, umístěná v interiéru	Směs dle Vicata, umístěná v exteriéru
Baumit Procontact	11,8	11,7	7,7	10,9	18,6	15,6	10,3	9,6	6,6	3,8	2,6	-1,3
Baumit Duocontact	10,3	14,7	8,1	10,3	20,1	19,2	10,3	9,3	9,7	4,3	2,2	-1,0
Weber Klasik	16,3	17,6	13,4	14,1	27,4	27,4	21,9	20,9	10,9	9,6	8,4	6,8
Baumit Klebespachtel Speed	15,7	19,2	13,1	14,6	18,8	18,1	13,1	15,0	3,1	-1,0	0,0	0,4
Stomix S1P	16,4	21,2	12,3	14,6	25,1	25,8	15,0	14,6	8,6	4,5	2,8	0,0
Weber therm minus 7	9,0	5,1	10,1	7,8	28,4	26,9	17,5	17,5	19,2	21,7	7,3	9,6
Weber therm technik	4,6	3,1	9,5	7,5	23,3	22,5	11,6	8,8	18,5	19,3	2,0	1,3
Weber tevamin tmel Z	7,5	6,1	9,2	6,3	24,8	22,6	15,0	13,3	17,2	16,3	5,8	7,0
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>11,5</b>	<b>12,3</b>	<b>10,4</b>	<b>10,8</b>	<b>23,3</b>	<b>22,3</b>	<b>14,3</b>	<b>13,6</b>	<b>11,7</b>	<b>9,8</b>	<b>3,9</b>	<b>2,9</b>
Hmota	Přirozeně nasycené hmoty		Plně nasycené hmoty		% rozdíl mezi přiroz. a plně nasyc. stavem							
	Rozdíl v % vlhkosti dle výr.	Rozdíl v % vlhkosti dle zk. Vicatem	Rozdíl v % vlhkosti dle výr.	Rozdíl v % vlhkosti dle zk. Vicatem	Rozdíl v % vlhkosti dle výr.	Rozdíl v % vlhkosti dle zk. Vicatem						
Baumit Procontact	-0,2	3,2	-3,0	-0,7	-2,8	-3,9						
Baumit Duocontact	4,4	2,2	-1,0	-1,0	-5,4	-3,2						
Weber Klasik	1,3	0,7	0,0	-1,0	-1,3	-1,7						
Baumit Klebespachtel Speed	3,5	1,5	-0,7	1,9	-4,2	0,4						
Stomix S1P	4,8	2,3	0,7	-0,4	-4,1	-2,7						
Weber therm minus 7	-3,9	-2,3	-1,6	0,0	2,3	2,3						
Weber therm technik	-1,5	-2,0	-0,7	-2,7	0,8	-0,7						
Weber tevamin tmel Z	-1,4	-2,9	-2,2	-1,7	-0,8	1,1						
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>-1,1</b>	<b>-0,7</b>	<b>-1,9</b>	<b>-1,0</b>						

Tab. 16 Tabulka vlhkosti materiálu - v % objemu - nahoře a tabulka hodnot rozdílu nasákavosti materiálu v % - dole

## 6.5 Ultrazvukové měření - dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu $E_{cu}$ ; pevnosti v tlaku $f_{be}$

Z postupu zkoušek je patrné, že výsledkem měření ultrazvukem je rychlost průchodu impulzu materiálem. Tyto rychlosti a výpočty jednotlivých hodnot jsou zaznamenány v přílohách. Měření probíhalo v souvislosti s testy nasákavosti. Termíny měření tedy odpovídají termínům uvedeným u testů nasákavosti - tedy 17. 12. 2010 pro přirozeně nasycené hmoty, 3. - 4. 1. 2011 pro plně nasycené hmoty a 12. 1. 2011 pro vysušené hmoty. Z hodnot v příloze mělo být možné odvodit vztah pro závislost rychlosti průchodu impulzu materiálem na pevnosti v tlaku materiálu. Tato teorie se však ukázala sporná. Prvním z důvodů je především druh vzorků - trámce 40x40x160 mm. Tento typ vzorku je dosti odlišný od tenké stěrkové vrstvy, prováděné na stavbách. Dalším důvodem je „nejednoznačnost“ měření - velice viditelné je to při srovnání skutečné pevnosti v tlaku a spočtených hodnot na základě měření rychlosti průchodu ultrazvukového impulzu.

Hodnoty spočtené a hodnoty naměřené se značně liší, v průměru ze všech kombinací až o 100 %, přičemž limitní rozdíl činil až 218 %, což podstatným způsobem omezuje možnosti stanovení výpočtového vztahu. Je možné, že při zaměření se na užší profil zkoušených hmot a při více vyrobených vzorcích hmot by bylo teoreticky možné tento vztah nalézt a posléze použít na stavbách jako nedestruktivní metodu zkoušení pevnosti v tlaku na hotové základní vrstvě ETICS. Druhým hlavním úkolem tohoto měření bylo určení dynamického modulu pružnosti materiálu v tahu nebo tlaku na základě měření ultrazvukovými impulzy. Toto měření probíhalo ve třech fázích - a to na vzorcích přirozeně vlhkých, plně nasycených vodou a plně vysušených. Měření probíhalo v souběhu se zkouškami nasákavosti. Jak uvádí literatura, je rychlost průchodu impulzu materiálem dána také jeho vlhkostí - tento parametr se nám při měření potvrdil, rychlosti průchodu impulzů se liší dle stavu vzorku - tj. běžně vlhký, nasycený nebo vysušený. Hlavním záměrem bylo stanovení vlivu nízkých teplot na materiál při realizaci. Tento parametr nám měly ukázat hodnoty spočtených dynamických modulů u jednotlivých variant provedení vzorků. Výsledné hodnoty a výpočty pro jednotlivé varianty můžeme vidět v přílohách P9 až P14 - P9 a P10 pro plně vysušené vzorky, P11 a P12 pro přirozeně vlhké vzorky a nakonec P13 a P14 pro plně nasycené vzorky.

Při vyhodnocování těchto testů se zaměříme pouze na hodnoty dynamického modulu pružnosti hmot v tlaku nebo tahu. Hodnotu spočtené pevnosti v tlaku  $f_{be}$  pomíjíme z již uvedených důvodů - vysoká nepřesnost hodnot. V následujících tabulkách č. 17, 18, 19 a tab. 21 na str. 114 vidíme hlavní výsledky měření a výpočtů.

Poř.č.	Hmota	Dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu $E_{bu}$ [MPa]			
		Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru
1	Baumit Procontact	3545,7	3590,3	8073,2	7152,7
2	Baumit Duocontact	3511,9	4026,9	7345,2	7635,1
3	Weber Klasik	5555,1	6670,2	8966,8	9854,2
4	Baumit Klebepachtel Speed	5591,6	6048,6	10254,6	10585,9
5	Stomix S1P	6291,9	6744,2	10653,0	10546,9
6	Weber therm minus 7	2945,2	2743,1	7831,1	6449,4
7	Weber therm technik	1427,6	1556,2	10366,5	13714,4
8	Weber tevamin tmel Z	4313,7	3822,3	9774,1	7982,9
Poř.č.	Hmota	Pevnost v tlaku $f_{be}$ s nezaručenou přesností [MPa]			
1	Baumit Procontact	13,9	13,4	8,6	8,6
2	Baumit Duocontact	13,6	12,3	8,6	8,7
3	Weber Klasik	8,7	8,6	10,7	10,5
4	Baumit Klebepachtel Speed	9,2	9,2	10,5	10,3
5	Stomix S1P	8,7	8,8	10,9	10,8
6	Weber therm minus 7	13,3	18,0	9,1	8,7
7	Weber therm technik	22,0	22,2	10,1	9,8
8	Weber tevamin tmel Z	10,1	11,7	11,0	8,9

Tab. 17 Tabulka výsledků pro dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo tahu  $E_{bu}$  [MPa] a pevnost v tlaku s nezaručenou pevností  $f_{be}$  [MPa] pro přirozeně vlhké hmoty

Poř.č.	Hmota	Dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu $E_{bu}$ [MPa]			
		Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru
1	Baumit Procontact	3736,0	3933,0	8121,6	7585,0
2	Baumit Duocontact	3867,5	4271,6	7862,9	7520,8
3	Weber Klasik	7805,1	8051,9	12377,5	11457,3
4	Baumit Klebepachtel Speed	6509,0	6054,7	12143,8	10664,3
5	Stomix S1P	7818,5	7423,4	11743,3	11490,1

6	Weber therm minus 7	4270,7	4152,7	9224,6	7164,8
7	Weber therm technik	1517,7	1372,2	12203,8	10342,5
8	Weber tevamin tmel Z	5683,0	4986,3	11545,8	9415,1
Poř. č.	Hmota	Pevnost v tlaku $f_{be}$ s nezaručenou přesností [MPa]			
1	Baumit Procontact	14,4	14,1	8,6	8,6
2	Baumit Duocontact	14,1	12,9	8,6	8,6
3	Weber Klasik	8,6	8,6	11,2	11,2
4	Baumit Klebespachtel Speed	9,3	9,3	10,4	10,6
5	Stomix S1P	8,6	8,7	10,6	11,1
6	Weber therm minus 7	12,7	14,1	8,9	8,7
7	Weber therm technik	25,1	26,7	9,7	9,0
8	Weber tevamin tmel Z	9,9	10,8	10,9	9,2

Tab. 18 Tabulka výsledků pro dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo tahu  $E_{bu}$  [MPa] a pevnost v tlaku s nezaručenou pevností  $f_{be}$  [MPa] pro plně nasycené hmoty

Z prvních dvou tabulek je vidět, které hmoty - barevně označeny - vykazují hodnoty dynamického modulu pružnosti nižší v exteriéru než v interiéru. Tyto hodnoty můžeme brát však jen s rezervou, protože u plně a přirozeně nasycených hmot nám do výpočtů a měření vstupuje jako proměnná hodnota vlhkosti materiálu. Tato hodnota je u různých hmot různá a ovlivňuje čas průchodu impulzu materiálem.

Obecně je možné konstatovat, že vyšší vlhkost materiálu umožní průchod impulzu o kratším čase - na základě měření TZÚS se každé navýšení objemové vlhkosti o 1% projeví nárůstem rychlosti impulzu v materiálu 100 až 120 ms<sup>-1</sup>. To znamená, že není možné jednoduše hodnotit vzorky přirozeně a plně nasycené, pokud neprovádíme měření při stejné hladině vlhkosti materiálu v objemových %. Takové měření prováděno nebylo - což při zpětném pohledu bylo vhodné, kdyby bylo možné zajistit stejné nasycení hmot - a je tudíž nutné hodnocení provést na plně vysušených vzorcích, kdy by hodnoty vlhkosti v materiálu měly být sobě navzájem nejbližší, nebo nulové za ideálních podmínek. Z tabulky č. 17 vidíme, že některé hmoty byly ovlivněny - barevně jsou opět vyznačeny hmoty, které u vzorků z exteriéru vykazovaly nižší hodnotu dynamického modulu pružnosti v tlaku nebo tahu. Některé z hmot jsou ovlivněny pouze v jednom druhu směsi - u takových hmot nelze s jistotou díky malému množství vzorků přesvědčivě odvodit, že příčinou je vliv nízkých teplot při realizaci nebo samotné složení směsi o rozdílných vodních součinitelích.

Poř.č.	Hmota	Dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo tahu $E_{bu}$ [MPa]			
		Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru
1	Baumit Procontact	3422,5	3621,6	7362,7	6522,8
2	Baumit Duocontact	3556,2	3613,9	6464,4	6915,6
3	Weber Klasik	5247,1	4668,1	7830,8	8095,0
4	Baumit Klebespachtel Speed	4843,6	4693,3	8919,6	8091,6
5	Stomix S1P	5726,6	5719,5	9311,5	8910,2
6	Weber therm minus 7	2795,4	2422,6	6165,6	3609,7
7	Weber therm technik	1442,6	1177,8	9919,0	8088,5
8	Weber tevamin tmel Z	4261,6	3233,0	11018,2	7324,3
Poř.č.	Hmota	Pevnost v tlaku $f_{be}$ s nezaručenou přesností [MPa]			
1	Baumit Procontact	13,5	13,2	8,6	8,7
2	Baumit Duocontact	14,0	12,6	8,7	8,6
3	Weber Klasik	9,0	9,1	9,4	9,6
4	Baumit Klebespachtel Speed	9,5	9,3	9,3	9,6
5	Stomix S1P	8,8	8,9	9,5	9,4
6	Weber therm minus 7	15,4	18,4	8,6	10,4
7	Weber therm technik	22,0	26,7	9,2	8,6
8	Weber tevamin tmel Z	10,9	13,0	9,9	8,7

Tab. 19 Tabulka výsledků pro dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo tahu  $E_{bu}$  [MPa] a pevnost v tlaku s nezaručenou pevností  $f_{be}$  [MPa] pro plně vysušené hmoty

Z hlediska vyhodnocení hodnot se jeví jako kvalitnější hmoty, které vykazují vyšší hodnoty dynamického modulu pružnosti. Abychom však mohli toto tvrzení potvrdit, je nutné k tomuto hodnocení přiřadit i hodnocení hmot z hlediska tahu za ohybu - hmoty s vyšším modulem pružnosti by měly vykazovat vyšší odolnost v tahu za ohybu.

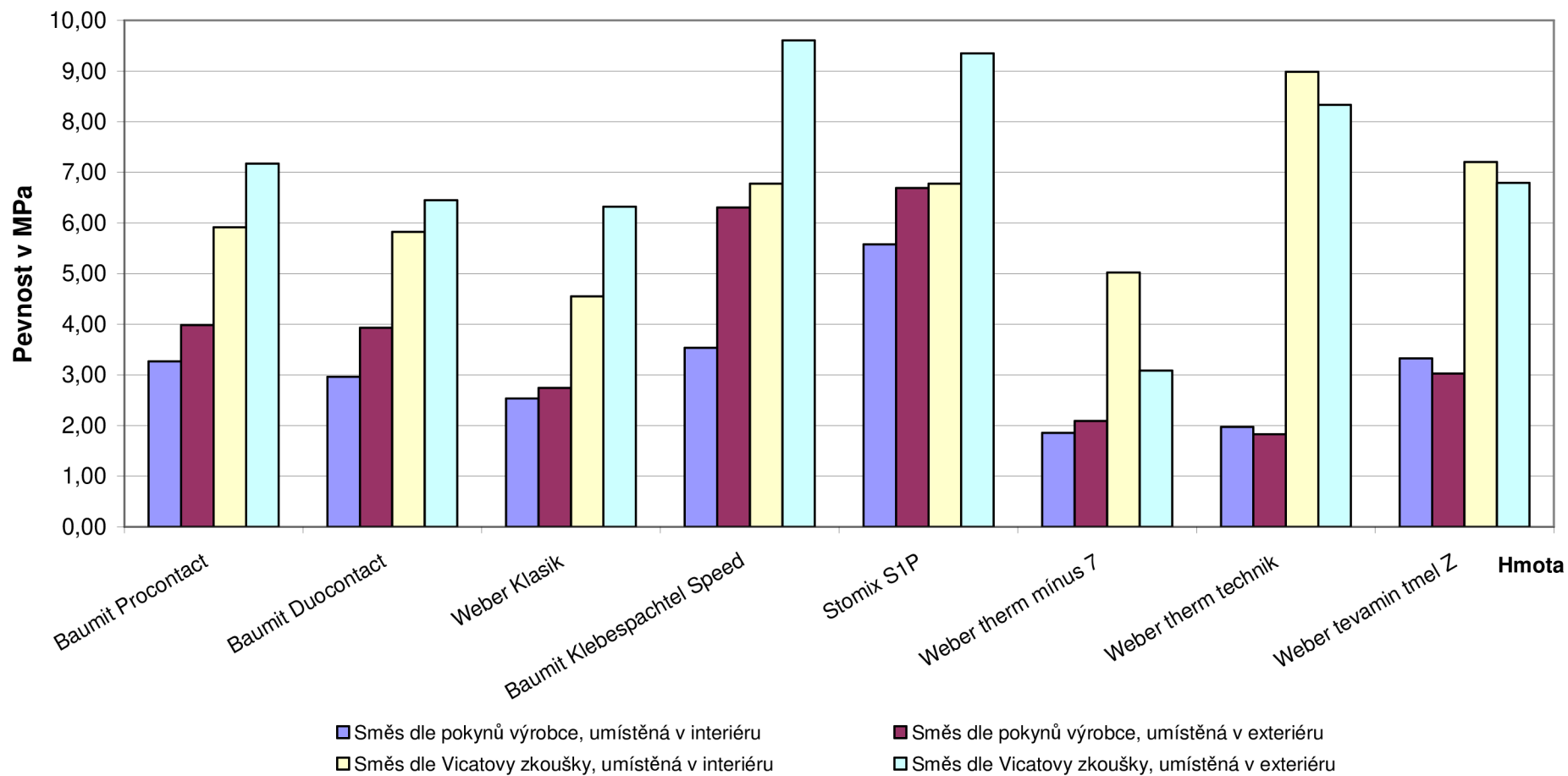
Pokud obě tabulky srovnáme, dostáváme tyto výsledky: hmoty Weber therm minus 7, Weber therm technik a Weber tevamin tmel Z vykázaly v odolnosti tahu za ohybu nižší hodnotu při umístění v exteriéru než v interiéru, což znamená, že na ně má vliv nízká teplota. V případě posledních dvou zmiňovaných hmot toto platí u obou provedení, jak u provedení dle Vicata, tak u provedení dle výrobce. U ostatních to platí vždy jen pro jednu variantu. Pokud tyto výsledky dáme dohromady s údaji ze zkoušek ultrazvukem, zjistíme, že i při těchto zkouškách zmíněné hmoty vykazovaly tendenci mít horší výsledky u vzorků umístěných v exteriéru. Při těchto ultrazvukových zkouškách vykazovaly tyto výsledky všechny zmíněné hmoty.

Pokud tyto výsledky vezmeme v úvahu, můžeme říci, že ultrazvukové zkoušky nám mohou napovědět, které hmoty mohou být ovlivněny nízkou teplotou, ovšem nejsou směrodatné. Proto je nutné je doplnit standardními zkouškami, aby se předpoklady potvrdily. Jednoznačný vliv nízké teploty na realizovanou hmotu můžeme na základě výsledků předpokládat u hmot Weber therm technik a Weber tevamin tmel Z, které při obou zmiňovaných testech vždy vykázaly horší údaje u varianty umístěné v exteriéru. U ostatních hmot, které by na základě údajů z ultrazvukových zkoušek bylo možné označit za horší, se toto zkouškou v tahu za ohybu nepotvrdilo. Je však možné, že při testování velkého množství vzorků za stejných podmínek vlhkosti v různých variantách by bylo možné definovat vztah mezi ultrazvukovým a klasickým zkoušením hmot, ovšem v mém případě na tuto variantu nebylo zkoušeno dostatečně mnoho vzorků.

## **6.6 Zkouška tahem za ohybu**

Provedení této zkoušky následovalo po dokončení třetí fáze zkoušek ultrazvukem a dokončení zkoušek nasákavosti. Vysušené hmoty byly ponechány v daných prostředích od 12. 1. 2011 do 26. 1. 2011, aby se dosáhlo přirozeného stavu nasycení vodními parami, a poté bylo započato se zkouškami tahem za ohybu. Dle zmiňovaného postupu v části s metodami zkoušek byly testy provedeny a zjištěné hodnoty zaznamenány a dopočteny hodnoty pevnosti v tahu za ohybu  $R_f$  v MPa. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 20 a grafu na obr. 46, kde jsou opět barevně vyznačeny ty výsledky, u kterých vzorek umístěný v exteriéru vykazuje nižší hodnotu než vzorek z interiéru. U těchto vzorků je možné předpokládat vliv nízkých teplot při realizaci - viz. předchozí část o zkouškách ultrazvukem.

**Graf pevnosti materiálu v tahu za ohybu**



Obr. 46 Graf pevnosti v tahu za ohybu - srovnání jednotlivých variant vzorků - viditelné překvapivé výsledky u některých hmot dle Vicata

Hmota	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	% rozdíl vzorků v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru	% rozdíl vzorků v exteriéru
Baumit Procontact	3,27	3,98	21,9	5,92	7,18	21,3
Baumit Duocontact	2,97	3,93	32,6	5,82	6,45	10,8
Weber Klasik	2,53	2,74	8,2	4,55	6,32	38,9
Baumit Klebepachtel Speed	3,54	6,31	78,3	6,78	9,61	41,8
Stomix S1P	5,58	6,69	19,9	6,78	9,35	38,0
Weber therm minus 7	1,85	2,09	13,0	5,02	3,09	-38,5
Weber therm technik	1,97	1,83	-7,3	8,98	8,33	-7,3
Weber tevamin tmel Z	3,33	3,03	-9,0	7,21	6,79	-5,8

Tab. 20 Výsledky testů v tahu za ohybu na přirozeně nasycených vzorcích - hodnoty uvedeny v (MPa) a rozdíly v %

Jak je vidět z tabulky 20 a grafu v obr. 46, výsledky předpoklady z ultrazvukového měření nekopírují, vykazují spíše pro vzorky umístěné v exteriéru tendence vyšších výsledků pevnosti v tahu za ohybu, což nepodporuje teorii o horších vlastnostech standardních hmot při realizaci za nízkých teplot. Vykazují tendenci růst, což je dle mého zapříčiněno změnami teplot od minusových do plusových a lepším vysycháním. Pokud hodnoty zprůměrujeme, dostáváme hodnotu nárůstu pevnosti pro hmoty dle výrobce 19,7%, pro hmoty dle Vicata, kde je obsaženo méně vody, potřebné pro reakce cementu, 12,4%. Z tabulky je také patrné, že jednou z mála hmot, která vykazuje zhoršení vlastností, je i hmota Weber therm minus -7, která je přímo určená do nízkých teplot. Jak jsem již zmínil, přímo u této hmoty se domnívám, že je to způsobeno právě nízkým množstvím obsažené vody, tudíž slabšími reakcemi a tím i nižším vývinem tak potřebného hydratačního tepla.

## 6.7 Zkoušky tlakem

Zkoušky tlakem byly provedeny dle popisu zkoušky uvedené v příslušné části kapitoly 5 ve dvou variantách - první byla provedena na přirozeně vlhkých vzorcích - zbytcích trámů ze zkoušek tahem za ohybu v přípravku pro tuto zkoušku, které nebyly nijak upravovány ani s nimi nebyly prováděny jiné testy. Druhá varianta byla, co se týká průběhu destrukční části zkoušky totožná, ale probíhala na krychlích o hraně 40 mm, které byly vyrobeny z druhé poloviny celého množství zloмокů trámů. Tyto krychle byly ještě před zkouškou tlakem podrobeny zkoušce zmrazovacími cykly, aby bylo možné hodnotit odolnost hmot střídání teplot. Výsledky první části zkoušek pevnosti v tlaku, které byly prováděny ihned po zkouškách tahem za ohybu (od 2. 2. 2011), můžeme vidět v tabulce č. 21.

V tabulce si můžete všimnout velké rozdílnosti výsledků získaných výpočtem z měření průchodu ultrazvukového impulsu materiálem a výsledků získaných na



lisovacích zařízeních. Původním plánem bylo tyto výsledky porovnat, stanovit mezi nimi procentuální odchylku a tak umožnit měřením ultrazvukem hodnotit pevnost materiálu bez destrukčních zkoušek. Tento záměr však na základě získaných výsledků není možné uskutečnit, výsledky se liší o velké hodnoty a není tudíž možné za zachování dostatečné přesnosti takovýto vztah určit. Na základě získaných hodnot lze říci, že tento vztah možná existuje a bylo by možné ho definovat, ale bylo by nutné provést množství zkoušek na daleko větším souboru vzorků a typů hmot, než jsem měl k dispozici já. Mnou zkoušené hmoty tak nebylo možné takto definovat a vztah uvedený normami pro cementové hmoty mnou zkoušeným hmotám neodpovídá. Opět je také barevně označeno, které hmoty vykazovaly při zkouškách vyšší hodnoty u vzorků umístěných v laboratoři než u vzorků z exteriéru. Poněkud zarážející je tento výsledek u hmoty Weber mínus -7, která svým určením až do teplot při - 7 °C překvapila takto rozdílnými hodnotami. To je však pouze hodnocení rozdílu exteriér-interiér. Co se však týká výše hodnot, je při hodnocení pevnosti v tlaku vysoká hodnota spíše přítěží - z hlediska použití těchto materiálů je výhodou spíše pružnost a schopnost odolávat změnám teplot a tím spojeným teplotním změnám rozměrů bez porušení vrstvy. Z tohoto hlediska jsou výhodou hmoty s nižší pevností v tlaku a vyšší hodnotou modulu pružnosti. Pokud budeme hmoty hodnotit takto, tak nevyhovujícím patří hmoty standardní, které sice vykazují vysoké hodnoty pevnosti v tlaku, ale tím spíše budou méně dobře reagovat na podmínky vyžadující lepší vlastnosti, co se týká pružnosti materiálu.

Druhá fáze zkoušek tlakem byla provedena po zmrazovacích testech. Zmrazovací testy byly prováděny na krychlích o hraně 40 mm v období mezi 24. 2. 2011 a 22. 3. 2011, do kdy bylo v zmrazovacím zařízení provedeno 75 kompletních zmrazovacích cyklů. Pokud se podíváme na výsledky testů pevnosti v tlaku na zmrazovaných vzorcích, dostáváme údaje, které vidíme také v tabulce č. 21.

Shodné údaje v obou případech vykazují hmoty Baumit Duocontact ve směsi dle Vicata, Weber klasik v provedení směsi dle výrobce, Baumit Klebepachtel Speed v provedení dle Vicata, Weber therm mínus 7 v obou provedeních, Weber therm technik v obou provedeních a Weber tevamin tmel Z také v obou provedeních. Z těchto uvedených hmot, které vykazovaly nižší hodnoty při provedení v exteriéru bych jako „horší“ zmínil Baumit Klebepachtel Speed v provedení dle Vicata a Weber tevamin tmel Z v obou provedeních. Tyto hmoty vykazují totiž velmi vysoké pevnosti v tlaku, tudíž se dá usuzovat, že jejich pružnost a schopnost odolávat cyklickým namáháním změnami teploty bude nižší, což z hlediska životnosti systémů ETICS hraje značnou roli.

Poř.č.	Hmota	Pevnost v tlaku spočtená $f_{be s}$ nezaručenou přesností [MPa] - přirozeně nasycené hmoty				Vzorky přirozeně vlhké, nezmrazované - pevnost v tlaku [MPa]				Přirozeně nasycené hmoty			
		Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru	% rozdíl pevností v tlaku - dle výrobce, interiéru*	% rozdíl pevností v tlaku - dle výrobce, exteriéru*	% rozdíl pevností v tlaku - dle Vicata, interiéru*	% rozdíl pevností v tlaku - dle Vicata, exteriéru*
1	Baumit Procontact	13,88	13,44	8,63	8,62	8,04	8,04	18,88	18,56	42,1	40,2	118,8	115,4
2	Baumit Duocontact	13,62	12,25	8,64	8,66	7,63	8,44	16,71	15,85	44,0	31,1	93,4	83,1
3	Weber Klasik	8,71	8,62	10,68	10,52	17,13	16,67	21,25	25,73	96,5	93,4	99,0	144,7
4	Baumit Klebespachtel Speed	9,19	9,24	10,52	10,35	18,38	15,79	29,88	24,27	99,9	70,9	183,9	134,5
5	Stomix S1P	8,69	8,81	10,87	10,77	19,08	19,90	28,38	31,23	119,7	125,9	161,1	190,0
6	Weber therm minus 7	13,27	18,05	9,10	8,68	6,90	4,90	25,58	18,35	48,0	72,9	181,2	111,6
7	Weber therm technik	21,98	22,18	10,10	9,84	3,58	3,00	27,42	23,88	83,7	86,5	171,5	142,7
8	Weber tevamin tmel Z	10,12	11,74	10,99	8,87	10,27	9,67	30,63	22,33	1,5	17,6	178,7	151,7
Poř.č.	Hmota	Pevnost v tlaku $f_{be s}$ nezaručenou přesností [MPa] - nasycené, zmrazované vzorky				Vzorky nasycené, zmrazované - pevnost v tlaku [MPa]				Plně nasycené hmoty, zmrazované			
1	Baumit Procontact	14,40	14,12	8,61	8,62	8,27	10,88	15,98	17,25	42,6	23,0	85,6	100,2
2	Baumit Duocontact	14,11	12,88	8,61	8,62	6,27	6,81	15,50	14,13	55,6	47,1	80,1	63,8
3	Weber Klasik	8,62	8,61	11,21	11,19	22,13	20,60	29,52	29,10	156,6	139,2	163,3	160,1
4	Baumit Klebespachtel Speed	9,35	9,25	10,41	10,60	16,79	17,83	32,13	29,44	79,6	92,8	208,5	177,6
5	Stomix S1P	8,64	8,67	10,63	11,07	24,40	23,44	33,90	31,33	182,3	170,3	218,7	183,0
6	Weber therm minus 7	12,74	14,06	8,94	8,70	7,92	6,35	22,17	15,58	37,9	54,8	147,9	79,2
7	Weber therm technik	25,07	26,72	9,73	8,96	2,19	2,15	13,00	11,33	91,3	92,0	33,6	26,5
8	Weber tevamin tmel Z	9,89	10,80	10,85	9,19	13,21	12,83	28,85	25,13	33,6	18,8	165,9	173,3

Poznámka: \* - hodnoty jsou uvedeny v absolutní hodnotě

Tab. 21 Tabulka výsledků zkoušek v tlaku - tabulka obsahuje údaje jak z měření ultrazvukem, kdy byla pevnost v tlaku spočtena, tak údaje z destrukčních zkoušek na nezmrazovaných i zmrazovaných vzorcích - obsahuje také procentuální srovnání hodnot z ultrazvuku a hodnot naměřených při destrukčních zkouškách

Poř.č.	Hmota	Vzorky přirozeně vlhké, nezmrazované - pevnost v tlaku [MPa]				Přirozeně vlhké hmoty	
		Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru	% rozdíl pevností v tlaku dle výrobce	% rozdíl pevností v tlaku - dle Vicata
1	Baunit Procontact	8,04	8,04	18,88	18,56	0,0	-1,7
2	Baunit Duocontact	7,63	8,44	16,71	15,85	10,7	-5,1
3	Weber Klasik	17,13	16,67	21,25	25,73	-2,7	21,1
4	Baunit Klebepachtel Speed	18,38	15,79	29,88	24,27	-14,1	-18,8
5	Stomix SIP	19,08	19,90	28,38	31,23	4,3	10,1
6	Weber therm minus 7	6,90	4,90	25,58	18,35	-29,0	-28,3
7	Weber therm technik	3,58	3,00	27,42	23,88	-16,3	-12,9
8	Weber tevamin tmel Z	10,27	9,67	30,63	22,33	-5,9	-27,1
Poř.č.	Hmota	Vzorky nasycené, zmrazované - pevnost v tlaku [MPa]				Plně nasycené hmoty, zmrazované	
		Směs dle pokynů výrobce, umístěná v interiéru	Směs dle pokynů výrobce, umístěná v exteriéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v interiéru	Směs dle Vicatovy zkoušky, umístěná v exteriéru	% rozdíl pevností v tlaku - dle výrobce, interiér*	% rozdíl pevností v tlaku - dle výrobce, exteriér*
1	Baunit Procontact	8,27	10,88	15,98	17,25	31,5	8,0
2	Baunit Duocontact	6,27	6,81	15,50	14,13	8,6	-8,9
3	Weber Klasik	22,13	20,60	29,52	29,10	-6,9	-1,4
4	Baunit Klebepachtel Speed	16,79	17,83	32,13	29,44	6,2	-8,4
5	Stomix SIP	24,40	23,44	33,90	31,33	-3,9	-7,6
6	Weber therm minus 7	7,92	6,35	22,17	15,58	-19,7	-29,7
7	Weber therm technik	2,19	2,15	13,00	11,33	-1,9	-12,8
8	Weber tevamin tmel Z	13,21	12,83	28,85	25,13	-2,8	-12,9

Poznámka: \* - hodnoty jsou uvedeny v absolutní hodnotě

Tab. 22 Pevnosti v tlaku laboratorně zjištěné, určené na vzorcích přirozeně vlhkých a jednak nezmrazovaných a jednak zmrazovaných

## 6.8 Zkoušky odolnosti proti zmrazování - zmrazovací zkoušky

Tato zkouška byla provedena na krychlích o hraně 40 mm, jak bylo zmíněno v délce 75 cyklů v termínu od 24. 2. 2011 do 22. 3. 2011. Při této zkoušce byly zjišťovány povrchové vady vzorků vlivem působení cyklů zmrazování a zahřívání - přičemž zmrazování bylo prováděno suchou cestou a zahřívání vodou - vodní lázní o příslušných teplotách. Dalším parametrem, velice důležitým, bylo sledování úbytku hmoty. U některých hmot však díky počtu cyklů a způsobu zkoušení došlo spíše k nárůstu hmotnosti - to je způsobeno vlhkostí a schopností materiálu vlhkost vázat a vydávat - proto u některých hmot i po 75 cyklech docházelo k nárůstu hmoty. Z výsledků je patrné, že zvolený počet 75 cyklů nebyl optimální - důvodem volby byl nutný způsob plnění přístroje a jeho další využití pro výzkumné záměry laboratoře. Cyklů mělo být minimálně 100, lépe však 150 až 200. V tabulce 23 jsou zachyceny hmotnosti vzorků po 75 zmrazovacích cyklech. Opět jsou barevně naznačeny výsledky, které jsou „nevhodné“, to znamená hmoty, které po 75 cyklech vykazují přírůstek hmoty.

Překvapivé výsledky vykazovala opět „zimní hmota“ Weber minus 7 - díky počtu cyklů však není možné považovat tyto výsledky za směrodatné. Vliv na hodnoty taktéž může mít způsob zatížení zmrazovacími cykly, které v tomto zařízení působí na veškerý povrch vzorků - v reálné situaci působí pouze na vnější povrch základní vrstvy.

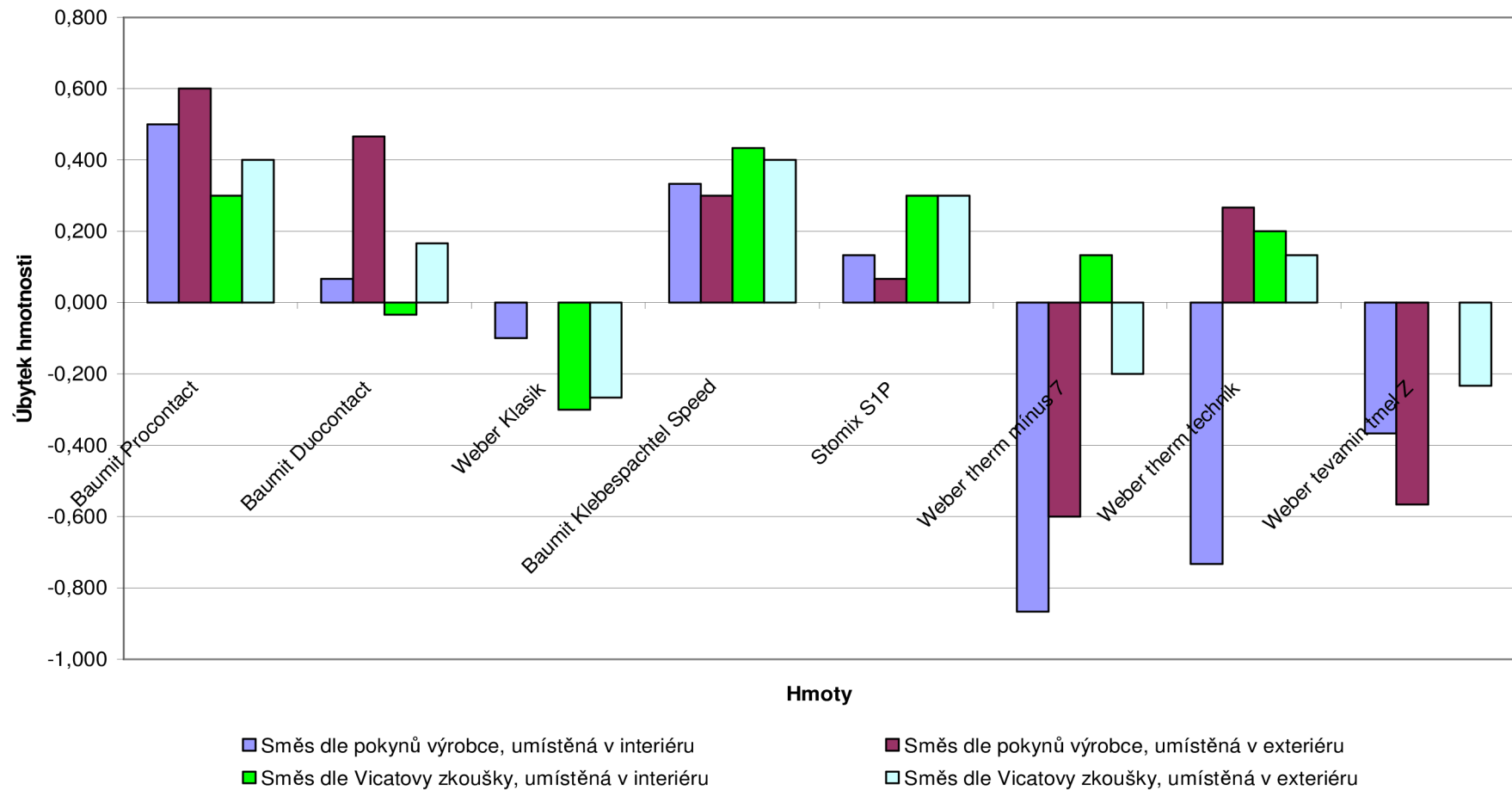


Obr. 47 Viditelné poškození povrchu opadem za zmrazovacích cyklů, na dvou vzorcích hmoty Weber.therm Technik - ostatní vzorky nebyly povrchově poškozeny [103]

P.č.	Hmota	Úbytek hmotnosti po 75 cyklech zmrazování v [g]			
		Směs dle pokynů výrobce, interiér	Směs dle pokynů výrobce, exteriér	Směs dle Vicatovy zkoušky, interiér	Směs dle Vicatovy zkoušky, exteriér
1	Baumit Procontact	0,500	0,600	0,300	0,400
2	Baumit Duocontact	0,067	0,467	-0,033	0,167
3	Weber Klasik	-0,100	0,000	-0,300	-0,267
4	Baumit Klebepachtel Speed	0,333	0,300	0,433	0,400
5	Stomix S1P	0,133	0,067	0,300	0,300
6	Weber therm minus 7	-0,867	-0,600	0,133	-0,200
7	Weber therm technik	-0,733	0,267	0,200	0,133
8	Weber tevamin tmel Z	-0,367	-0,567	0,000	-0,233

Tab. 23 Tabulka naměřených hmotností vzorků po 75 cyklech - hmotnost je průměrná v gramech rozdílu pro sadu tří vzorků, přesnější údaje jsou obsaženy v přílohách

**Graf průměrného úbytku hmotnosti po 75 cyklech**



Obr. 48 Graf průměrného úbytku hmotnosti vzorků hmot při zkouškách zmrazování - viditelný vliv kolísání hodnoty nasycení vzorku

## 6.9 Přídržnost výztužné hmoty k izolantu

Na základě zkoušek přídržnosti byly získány výsledky uvedené v tabulkách 24 a 25, kterou jsou rozděleny jednak na vzorky provedené na fasádním EPS a jednak na fasádní minerální vatě. Zde jsem při testech narazil na problém - předpokladem bylo, že odtrhový přístroj bude schopen měřit přídržnost hmot. Tento sice síly schopen měřit je, ovšem ve vyšších hodnotách než se vyskytovaly u přídržnosti především minerální vaty. Z tohoto důvodu bohužel u vzorků na minerální vatě nebylo možné změřit hodnotu přídržnosti. Tento jev by bylo možné eliminovat zavedením alternativního postupu zkoušení dle předpisu [68], kdy by vzorky byly upraveny ne na kruhový terč průměru 50mm, ale čtvercovou desku o hraně min. 150mm. Tuto zkoušku však v době psaní této práce nebylo možné provést z časových a technických důvodů. K jejímu provedení nebyl dostupný přípravek pro uchycení vzorků do odtrhových zařízení a nebyly upraveny podstavce pro odtrhový přístroj.

Na výsledcích je možné pozorovat chování hmoty, co se týká přídržnosti - je totiž možné hodnotit způsob odtrhu od vzorku. U hmot provedených a umístěných v interiéru můžeme vidět, že část vzorku by ještě splnila požadavek norem a to, že destrukce vzorku nastane odtrhem v izolantu. Již zde je však pozorovatelná obecně nižší přídržnost hmot na izolantu z minerální vaty, než u polystyrenu. Osobně bych tento jev přisoudil struktuře materiálu a jeho povrchu, kde polystyren je více kompaktní a soudržný jako materiál, na rozdíl od minerální vaty. Pokud přejdeme k hodnocení vzorků umístěných v mrazicím pultu pod vlivem nízkých teplot, došlo ke zhoršení přídržnosti obecně - u vzorků z minerální vaty bohužel nelze procentuálně vyjádřit toto zhoršení, ovšem dle popisu destrukce vzorků je vidět, že zde dochází daleko více k destrukci oddělením od podkladu, případně k odpadu vzorku již při jádrovém odvrtu. Normy přitom požadují minimálně odtrh v izolantu, což je splněno pouze u 6 vzorků z 24 hodnocených. U ostatních vzorků došlo k nežádoucímu porušení a vzhledem ke vzorkům z interiéru také většinou ke zhoršení. Toto obecně vypovídá o velkém vlivu teploty při provádění na kvalitu vrstvy. Můžeme také formulovat výsledky na základě údajů zjištěných z odtrhových zkoušek na vzorcích provedených na polystyrenu. U těchto vzorků si sice projevila také „nevhodnost“ přístroje - jeho malá citlivost na nízké hodnoty - ovšem bylo možné změřit hodnoty přídržnosti a porovnat zjištěné výsledky s požadavky předpisů. Dle tabulek s požadavky je nutné aby přídržnost hmoty k podkladu byla min. 85 kPa nebo aby došlo k porušení vzorku v izolantu.

Jak můžeme vidět z výsledkových tabulek, které jsou v přílohouvé části pod označením P17 a P18, u vzorků z interiéru až na dvě z hmot všechny vzorky splnily podmínku na odtrh v izolantu. U hmot Weber klasik a Stomix S1P došlo k odtrhu na podkladu, což znamená nesplnění požadavků předpisů. Hodnota přídržnosti je však velice blízká požadované hodnotě, je tedy možné, že při provedení alternativní metody odtrhu by bylo dosaženo požadavků norem. Tato skutečnost by měla být ověřena. Pokud budeme hodnotit vzorky umístěné v mrazicím pultu při teplotě -10 °C, tak zde byly nižší „naměřené hodnoty“ přídržnosti - průměrný rozdíl pak činí dle výpočtu cca 40%, což již

je nezanedbatelná hodnota. Také lze pozorovat toto snížení přídržnosti na způsobu destrukce vzorku, ve větší míře se zde totiž vyskytuje odtrh vzorku v hmotě nebo od podkladu, což je nevhodné - takto by na skutečné stavbě došlo k oddělení základní vrstvy včetně povrchové úpravy a destrukci povrchu - výsledkem je boulení fasády, trhliny a opad - viz. kapitola o chybách provádění ETICS.

Poř. č.	Hmota - vzorky na EPS	Hmoty umístěné v laboratoři			Hmoty umístěné v mrazicím pultu		
		Ozn. vz.	Způsob odtržení od podkladu	Přídržnost $\beta$ [kPa]	Ozn. vz.	Způsob odtržení od podkladu	Přídržnost $\beta$ [kPa]
1	Weber.therm technik	1ia	odtrh v izolantu	0,00	1ma	odtrh v izolantu	50,00
		1ib	odtrh v izolantu	50,00	1mb	odtrh v izolantu	50,00
		1ic	odtrh v izolantu	75,00	1mc	odtrh v izolantu	50,00
2	Weber tevamin tmel Z	2ia	odtrh v izolantu	80,00	2ma	odtrh - 1/2 v izolantu, 1/2 od podkladu	75,00
		2ib	odtrh v izolantu	80,00	2mb	odtrh v izolantu	75,00
		2ic	odtrh v izolantu	75,00	2mc	odtrh v izolantu	75,00
3	Weber therm minus 7	3ia	odtrh v izolantu	75,00	3ma	odtrh v izolantu	50,00
		3ib	odtrh v izolantu	60,00	3mb	odtrh v izolantu	50,00
		3ic	odtrh v izolantu	75,00	3mc	odtrh ve hmotě	40,00
4	Weber Klasik	4ia	odtrh u povrchu, hladký	75,00	4ma	odtrh od podkladu	0,00
		4ib	odtrh u povrchu, hladký	60,00	4mb	odtrh od podkladu	20,00
		4ic	odtrh u povrchu, hladký	50,00	4mc	odtrh od podkladu	0,00
5	Baumit Duocontact	5ia	odtrh v izolantu	80,00	5ma	odtrh od podkladu v rozsahu 75%	50,00
		5ib	odtrh v izolantu	90,00	5mb	odtrh od podkladu	0,00
		5ic	odtrh v izolantu	80,00	5mc	odtrh od podkladu	20,00
6	Baumit Procontact	6ia	odtrh v izolantu	90,00	6ma	odtrh od podkladu	0,00
		6ib	odtrh v izolantu	75,00	6mb	odtrh ve hmotě	0,00
		6ic	odtrh v izolantu	90,00	6mc	odtrh ve hmotě	0,00
7	Baumit Klebepachtel Speed	7ia	odtrh v izolantu	75,00	7ma	1/2 odtrh od podkladu, 1/2 v izolantu	75,00
		7ib	odtrh v izolantu	75,00	7mb	1/2 odtrh od podkladu, 1/2 v izolantu	75,00
		7ic	odtrh v izolantu	75,00	7mc	odtrh v izolantu	80,00
8	Stomix S1P	8ia	odtrh u povrchu, hladký	50,00	8ma	odtrh od podkladu	70,00
		8ib	odtrh u povrchu, hladký	50,00	8mb	odtrh od podkladu	50,00
		8ic	odtrh u povrchu, hladký	0,00	8mc	odtrh od podkladu	50,00

Tab. 24 Tabulka výsledků odtrhových zkoušek u vzorků na fasádním EPS



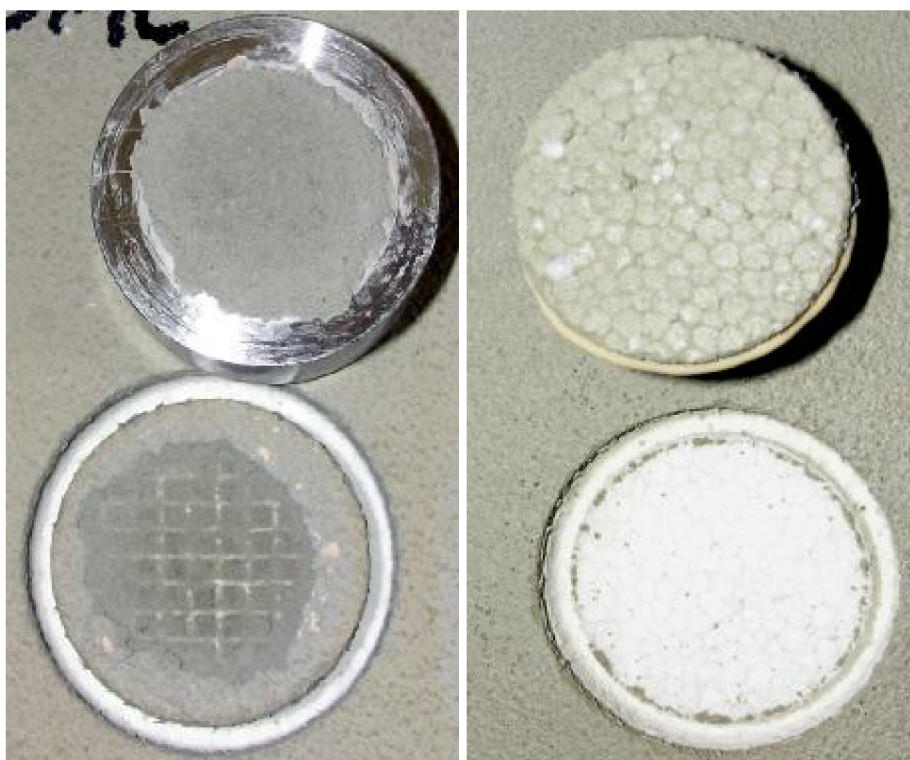
Poř. č.	Hmota - vzorky na miner. vatě	Hmoty umístěné v laboratoři			Hmoty umístěné v mrazicím pultu		
		Ozn. vzorku	Způsob odtržení od podkladu	Přidrženost $\beta$ [kPa] *	Ozn. vzorku	Způsob odtržení od podkladu	Přidrženost $\beta$ [kPa] *
1	Weber.therm technik	1ia	odtrh od podkladu	0,00	1ma	odtrh v izolantu	0,00
		1ib	odtrh od podkladu	0,00	1mb	odtrh v izolantu	0,00
		1ic	odtrh v izolantu	0,00	1mc	odtrh v izolantu	0,00
2	Weber tevamin tmel Z	2ia	odtrh od podkladu	0,00	2ma	odtrh v izolantu	0,00
		2ib	odtrh v izolantu	0,00	2mb	3/4 odtrh od podkladu, 1/4 v izolantu	0,00
		2ic	odtrh od podkladu	0,00	2mc	9/10 odtrh od podkladu, 1/10 v izolantu	0,00
3	Weber therm minus 7	3ia	odtrh v izolantu	0,00	3ma	15% odtrh v podkl., 85% v izol.	0,00
		3ib	odtrh v izolantu	0,00	3mb	30% odtrh od podkl., 70% v izol.	0,00
		3ic	odtrh od podkladu	0,00	3mc	25% odtrh od podkl., 75% v izol.	0,00
4	Weber Klasik	4ia	odtrh od podkladu	0,00	4ma	odtrh v izolantu	0,00
		4ib	1/2 odtrh v izolantu, 1/2 od podkladu	0,00	4mb	1/2 odtrh v izolantu, 1/2 od podkladu	0,00
		4ic	odtrh od podkladu	0,00	4mc	odtrh od podkladu	0,00
5	Baumit Duocontact	5ia	odtrh od podkladu	0,00	5ma	odtrh v izolantu	0,00
		5ib	odtrh v izolantu	0,00	5mb	odtrh od podkladu	0,00
		5ic	1/2 odtrh v izolantu, 1/2 od podkladu	0,00	5mc	1/3 odtrh v izolantu, 2/3 od podkladu	0,00
6	Baumit Procontact	6ia	1/2 odtrh v izolantu, 1/2 od podkladu	0,00	6ma	1/4 odtrh v izolantu, 3/4 od podkladu	0,00
		6ib	odtrh od podkladu	0,00	6mb	odtrh od podkladu	0,00
		6ic	1/3 odtrh v izolantu, 2/3 od podkladu	0,00	6mc	odtrh od podkladu	0,00
7	Baumit Klebepachtel Speed	7ia	odtrh od podkladu	0,00	7ma	odtrh od podkladu při odvrtu	0,00
		7ib	1/2 odtrh v izolantu, 1/2 od podkladu	0,00	7mb	30% odtrh od podkl., 70% v izol.	0,00
		7ic	odtrh v izolantu	0,00	7mc	30% odtrh od podkl., 70% v izol.	0,00
8	Stomix SIP	8ia	1/2 odtrh v izolantu, 1/2 od podkladu	0,00	8ma	30% odtrh od podkl., 70% v izol.	0,00
		8ib	odtrh od podkladu	0,00	8mb	1/4 odtrh v izolantu při odvrtu	0,00
		8ic	odtrh od podkladu	0,00	8mc	odtrh od podkladu	0,00

\* Díky měřicímu rozsahu použitého přístroje Dyna Estrich nebylo možné měřit za dané metody hodnotu přidrženosti.

Tab. 25 Tabulka výsledků odtrhové zkoušky vzorků na min. vatě



Obr. 49 Fotografie odtrhového terče, který se odtrhnul již při odvrtu před zkouškou [103]



Obr. 50 Zkušební terče po odtrhové zkoušce - vlevo poškození vzorku v základní vrstvě, vpravo odtržení vzorku od podkladu [103]

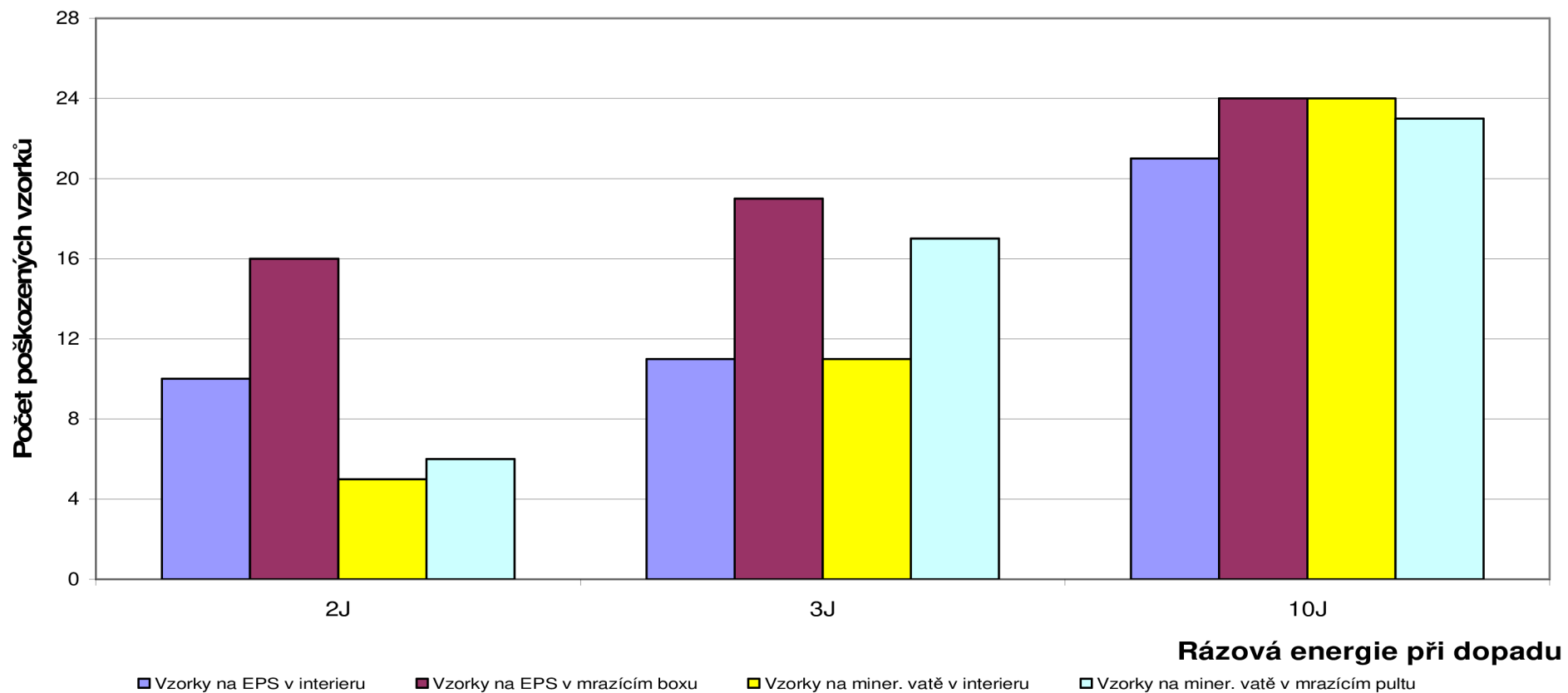


Obr. 51 Odrhové terče po provedení odtrhových zkoušek - vlevo vyhovující vzorek na minerální vatě, vpravo vyhovující vzorek na EPS - oba vzorky odtrženy ve vrstvě izolantu [103]



Obr. 52 Vzorky po provedení zkoušky odolnosti proti rázu - vlevo vzorek s poškozením „popraskáním“, vpravo vzorek s poškozením „destrukce, viditelná síť, opad“ [103]

**Graf počtu poškozených vzorků při zkoušce rázem**



Obr. 53 Graf počtu poškozených těles při rázových zkouškách v závislosti na velikosti rázu

## 6.10 Stanovení odolnosti proti rázu

Hodnoty pro vyhodnocení zkoušek odolnosti proti rázu jsou uvedeny v tabulce 26 a v tabulkách P19 až P22 v části příloh, kde je i slovní hodnocení poškození vzorků při dopadu koulí s rázem 2, 3 a 10 J. Poškození je uvedeno v různých stupních, od hodnocení 0, kdy dopadající koule zanechala pouhý slabý otisk bez viditelného poškození až po kompletní destrukci povrchu a proražení celé základní vrstvy systému. Součástí zkoušky oproti předpisu [69] bylo také měření velikosti vtisku koule, aby bylo možné srovnat účinek dopadu na vzorek, protože slovní hodnocení a poškození nelze srovnávat procentuálně. Výsledky provedených zkoušek jsou uvedeny ve zmíněných přílohách.

Pokud se podíváme na tabulku 24, vidíme diametrální rozdíly mezi zkouškami na vzorcích na EPS a na vzorcích na min. vatě. Plusové rozdíly znamenají nárůst otisku koule, tj. horší odolnost nárazu hmoty. Naopak minusové rozdíly znamenají zmenšení otisku koule a tudíž „lepší“ odolnost hmoty nárazu. Markantní je to především u vzorků na minerální vatě. Zde je však velká většina minusových hodnot způsobena především „tlumící“ schopností vaty, která je oproti EPS poddajnější a tudíž při zkouškách lépe slouží jako „tlumič“ nárazu. EPS je méně poddajný a tudíž je na něm lépe vidět přímo schopnost hmoty odolat nárazu a nežádoucímu proražení.

Vyhodnocení rázové zkoušky - % rozdíl průměrů vtisků koule na vzorku						
Ozn. vzorku	EPS - vzorky umístěné v interiéru vs. vzorky umístěné v mrazícím boxu			Miner. vata - vzorky umístěné v interiéru vs. vzorky umístěné v mrazícím boxu		
	Práce při rázu			Práce při rázu		
	2J	3J	10J	2J	3J	10J
1a	100*	0	-10	100*	-20	-52
1b	0	0	0	100*	-20	-60
1c	0	-20	0	14	14	-22
2a	67	0	13	100*	67	20
2b	80	57	25	100*	-14	27
2c	60	25	31	100*	140	-15
3a	-38	-9	18	-33	17	-27
3b	-50	0	12	20	23	-7
3c	-67	-18	20	-50	-13	-33
4a	-23	8	0	-30	-38	-37
4b	0	-13	-12	-22	-8	-27
4c	0	-13	-8	-67	-33	-28
5a	50	71	100	100*	14	-13
5b	0	29	77	0	-33	-13
5c	0	80	20	0	29	55
6a	14	30	41	100*	-57	-20
6b	33	56	38	100*	-33	-33

6c	60	38	40	-25	17	33
7a	100	43	50	100*	33	18
7b	100*	100	45	100*	100*	56
7c	100*	40	8	100*	100*	33
8a	50	23	19	75	22	-10
8b	25	8	11	50	50	-12
8c	-11	0	10	50	25	100*
	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>-6</b>	<b>3</b>	<b>-7</b>

\* - hodnota 100 nahrazuje výpočet %, protože při zkoušce na vzorcích z interiéru nedošlo k poškození ani ke vtisku, tj. nelze rozdíl vyjádřit dle výpočtu, tj. je hodnota nahrazena nárůstem o 100%.

Tab. 26 Tabulka s % rozdíly velikostí vtisku ocelových koulí při zkoušce odolnosti proti rázu

Pokud začneme porovnáváním výsledků na polystyrenu, zjistíme že u zmrazovaných vzorků došlo k nárůstu průměru otisku koule na povrch vzorků v průměru o 20 % (pokud bereme veškeré otisky), jednotlivě o 15 % v případě rázu 2 J, o 22 % v případě 3 J a o 23 % v případě 10 J rázu. Tj. je možné konstatovat, že odolnost proti poškození základní vrstvy přesně o tyto hodnoty klesla. Také pokud se podíváme na slovní hodnocení poškození, je možné konstatovat nárůst velikosti poškození, způsobeného pádem koule - v případě vzorků z mrazícího pultu je možné konstatovat, že u rázu 10 J dojde „vždy“ k destrukci vzorku, až na jisté výjimky, tj. schopnost hmoty a základní vrstvy odolávat nárazům a poškození klesla.

Pokud přejdeme k posouzení vzorků na minerální vatě, vidíme, že hodnota průměrné velikosti vtisku koule se v případě 2 J a 10 J rázu snížila, naopak u 3 J rázu se zvýšila. Pokud bychom určovali průměr změny hodnoty vtisku za všechny vzorky na vatě, dospěli bychom k výsledku, že hodnota se o cca 3 % zmenšila, což by vedlo k závěru, že hmoty na vatě jsou „odolnější“ poškození rázem. Tuto skutečnost však má na svědomí spíše struktura materiálu izolantu, jak již bylo zmíněno, minerální vata je poddajnější materiál než EPS, tudíž přispívá k utlumení rázu. Jednotlivě lze na základě změřených otisků koulí říci, že hodnoty se měnily takto - u rázu 2 J se hodnota zmenšila o 6 %, v případě 3 J se zvětšila o 3 % a v případě 10 J se zmenšila o 7 %. Pokud se však podíváme současně na slovní hodnocení poškození, vidíme, že jako u vzorků na polystyrenu došlo u vzorků z mrazícího pultu k daleko větší destrukci vzorku při nárazu, než u vzorků z interiéru. Pokud poškození srovnáme s poškozením na polystyrenu, nedošlo v takové míře ke kompletní destrukci základní vrstvy, ale spíše k odhalení sítě a odtrhu vrstvy. Lepší představu o poškození při rázových zkouškách si lze udělat na základě obrázku č. 52.

Celkově vzato vyšly pro základní vrstvu lépe zkoušky na minerální vatě. Ovšem při současném zahrnutí výsledků odtrhové zkoušky lze konstatovat, že kvalitnější podklad skýtá polystyren. Lze to prohlásit pouze pro zvolené typy izolantů, při použití jiného podkladu bychom mohli získat odlišné údaje. Celkově vzato můžeme říci, že nízká teplota má vliv na přídržnost i odolnost základní vrstvy a ovlivňuje chování základní vrstvy a snižuje její vlastnosti v případě odolnosti rázu v průměru o 8,33%, pokud bereme v potaz výsledky jak na EPS, tak na minerální vatě.

## **7. ZÁVĚRY PRO SPOLEČENSKOU PRAXI**

Tato disertační práce se zaměřuje na vnější tepelně izolační kontaktní zateplovací systémy - zkráceně ETICS. Tyto systémy jsou v současné době nejpoužívanějším řešením, jak dosáhnout zlepšení vlastností obvodového pláště u mnoha druhů staveb, ale především u objektů určených pro bydlení. Systém ETICS je nejčastějším řešením, ovšem není jediným. V praxi se setkáváme s různými druhy tepelně izolačních systémů, ať už se jedná o větrané nebo nevětrané systémy, vnější nebo vnitřní, kontaktní či bezkontaktní zateplení. Každý z těchto systémů má své výhody a nevýhody, z nichž některé byly také uvedeny. Samozřejmě zateplení není možné vnímat jako kouzelný proutek, jehož mávnutím se z neúsporné stavby stane extrémně úsporná. Takto to bohužel nefunguje - je však možné systémem ucelených regeneračních a rekonstrukčních kroků, jejichž součástí zateplení je, přejít od velice neúsporného domu k energeticky úspornějšímu, což je pro investora přínosem. Je však na tento proces nutné pohlížet jako na celek jednotlivých procesů, jejichž sled vytvoří podmínky úsporám jednak energií, jednak do budoucna nákladů.

Na základě vědomostí o materiálech a vrstvách samotných systémů ETICS bylo záměrem této práce přinést osvětlení a vylepšení pro technologické procesy provádění stěrkových základních vrstev těchto systémů. Tyto vrstvy jsou podkladem pro finální povrchové úpravy systémů, a tudíž jsou jedním z nejdůležitějších prvků celého systému. I když se zateplovací systémy na objektech v ČR používají již od devadesátých let 20. století běžně, stále se v praxi setkáváme s chybami, které činí pracovníci při realizaci jednotlivých vrstev systému díky nerespektování technologických předpisů a pokynů. Nejčastěji se objevující chybou v poslední době je právě aplikace vrstev za teplot nižších, než je uvedeno v předpisech výrobců. Tímto problémem se práce zabývala blíže a laboratorními zkouškami a testy se snažila získat údaje o vlivu těchto nízkých teplot na vlastnosti materiálu.

## 7.1 Závěry a vlastní přínos práce

V rámci práce byly zkoušeny stěrkové hmoty pro provedení základní vrstvy systému ETICS s ohledem na vliv nízkých teplot na vlastnosti hmot při jejich realizaci. V rámci práce byly hmoty testovány různými způsoby: zkouškou Vicatovým přístrojem pro určení směsi standardní hustot, určení doby začátku a konce tuhnutí, zkouškou ultrazvukovou impulzovou metodou, zkouškou tahem za ohybu a tlakem, byla provedena odtrhová zkouška a zkouška odolnosti proti rázu, zkouška zmrazováním a zkouška nasákavosti a také měření frakce pomocí laserové difrakce. Každá z těchto zkoušek nám o hmotách podala jisté informace. Základní hodnocení výsledků můžeme vidět v kapitole 6. V této kapitole jsme se zaměřili na hodnocení všech testů s ohledem na přínos pro stavební praxi. Jak bylo zmíněno, teplota při provádění základní vrstvy je jednou z nejdůležitějších veličin, kterou vedoucí pracovníci a dělníci musí sledovat, protože ovlivňuje výslednou kvalitu základní vrstvy. Každá chyba v této fázi se odráží jednak ve snížení životnosti systému, jednak v možném selhání systému a následné havárii zateplení.

V základních nastaveních zkoušek byly uvažovány dvě podmínkové sady - jednak standardní laboratorní teplota, která vyhovuje podmínkám provádění všech vzorků a jednak dvě sady „venkovních podmínek“. Mluvím o dvou sadách, protože v prvních fázích mých pokusů a testů byly vzorky umístěny klasicky v exteriéru při vnějších nízkých teplotách. U těchto vzorků však není možné přesně definovat podmínky, protože vnější teplota se v průběhu času mění. Proto jsem se rozhodl použít druhou sadu vnějších podmínek, nastavenou na použití mrazícího pultu s regulací teploty, kde je možné udržet stálou teplotu  $-10^{\circ}\text{C}$ , což je více než požadovaná teplota  $-7^{\circ}\text{C}$ , ale umožňuje nám to pozorovat chování hmot za extrémních podmínek. Výsledky dosažené zkouškami jsou očekávané i překvapivé.

Při formulování cílů práce byly vytčeny dva základní body:

- ověřit kvalitu základní vrstvy srovnáním hodnot při jejím provádění v deklarovaných a extrémních klimatických podmínkách,
- vyhodnotit získané poznatky a zpracovat závěry a doporučení pro stavební praxi, investory a stavební dozory.

Třetím cílem, který vyplynul v průběhu práce na zkouškách, bylo ověření použitelnosti jednotlivých metod testování pro tenkou vrstvu materiálu základní vrstvy.



### 7.1.1 Závěry jednotlivých zkoušek

Pokud se budeme zabývat prvním bodem cílů, můžeme konstatovat tyto závěry:

#### *Určení množství záměsové vody pro kaši normální hustoty*

Pokud v tomto bodě určíme jako výchozí hodnotu 100% u hmoty s nejnižším množstvím potřebné vody, což je dle tabulky na straně P41 v přílohách Weber.therm technik, můžeme říci, že „nejhorší“ hmotou s největší spotřebou vody je Weber therm.klasik s o 66% větší spotřebou vody. Speciální hmoty, jako je Weber therm.mínus 7, Weber tevamin tmel Z nebo Baunit Speed mají také vyšší spotřebu vody, a to o 48; 37 a 37%. Vliv na spotřebu vody má dle dostupných údajů především obsah plastifikátorů, kterých je ve speciálních hmotách méně. Pro podrobnější hodnocení bych musel znát detailní složení hmot, které je však obchodním tajemstvím. Bez podrobné chemické analýzy se nelze k tomu aspektu více vyjádřit.

#### *Určení doby počátku a konce tuhnutí*

Tyto hodnoty byly určeny na základě zkoušek Vicatovým přístrojem. Jejich zpracované hodnoty můžeme vidět jednak v tabulce 13 na straně 54, ale také přímo v hodnotách vpichů jehly v příloze P1 a v grafech P2 až P6 (přílohy najdeme od strany 153 dále). Jak můžeme vidět, nejkratší doby zpracování a nejrychlejší počátek tuhnutí mají hmoty speciální a to Weber.therm mínus 7 a Baunit Speed, kde jsou dle Vicata doby 45-60 minut a 100 minut. Toto lze očekávat s ohledem na větší potřebu hydratačního tepla pro správný průběh tuhoucích procesů v nižších teplotách. Naopak standardní hmoty je možné zpracovávat běžně až 120 minut. Konec tuhnutí pak již takovým překvapením není, hodnoty se zde vesměs stejně pohybují okolo 24 hodin, přičemž výrobci většinou udávají 48 hodin s ohledem na možné horší počasí. Zajímavé jsou také výsledky získané z upravené metodiky zkoušky s prstenci výšky 4 mm, kde byly hmoty zkoušené jednak při standardní teplotě, jednak při teplotách -10 °C. Tady z tabulky P1 můžeme vidět, že počátek i konec tuhnutí byly vlivem nízkých teplot značně posunuty v čase. Nejkratší posun dle předpokladu zaznamenaly speciální "rychlé" hmoty, tj. Weber mínus 7 a Baunit Speed - počátek tuhnutí se u nich posunul o 150 a 120 minut. U ostatních hmot to bylo průměrně o 250 - 300 minut, což je již značně dlouhá doba pro start příslušných reakcí - vzniká totiž větší prostor pro narušení vrstev, chemických procesů a vrstvy samotné.

### *Měření velikosti zrn pomocí laserové difrakce*

Tato metoda byla do zkoušek zahrnuta, i když jsem ji osobně neprováděl - bylo nutné ověřit zda hmoty mají podobnou zrnitost, protože z teorie cementových hmot vyplývá, že jemnější mletí cementu umožňuje reagovat s vodou většímu povrchu zrn a tudíž urychluje reakce a umožňuje vytvoření více hydratačního tepla. Z hodnot v grafu na obr. 45 na str. 101 vidíme, že hmoty mají velice podobný průběh zrnitostní křivky, lze tedy říci, že rychlost reakcí by měla být podobná a tento aspekt by neměl mít zásadní vliv na vlastnosti hmot.

### *Zkouška nasákavosti hmot*

Tato nedestruktivní zkouška měla za úkol zjistit maximální nasákavost materiálů a rozdíl mezi nasákavostí materiálu ve standardních teplotách a v nevyhovujících podmínkách. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách a grafu v přílohách označených P7 a P8. Pokud bychom chtěli výsledky interpretovat, můžeme říci, že v momentu, kdy hodnota vychází kladná, dochází ke zvýšení hodnoty nasákavosti a v tom případě hmota dokáže absorbovat více vlhkosti. To je však u fasádních systémů na škodu, protože vyšší vlhkost znamená vyšší náchylnost poškození vlivem klimatických podmínek a tudíž nižší životnost. Zde se projevuje výhoda speciálních hmot, které vykazují i při umístění v nevyhovujících realizačních podmínkách nižší nasákavost než standardní hmoty, což je z hlediska kvality žádoucí. Pokud vezmeme v úvahu údaje z tabulek 10 a 11 na str. 53, je limitní hodnotou nasákavosti hmoty hodnota  $0,5 \text{ kg/m}^2$  za 24 hodin pro celou vrstvu. V tabulce vyhodnocení vidíme, že až na výjimky všechny hmoty podmínku splnily, u některých dokonce došlo ke snížení hodnoty nasákavosti. U hmoty Weber.therm klasik, Weber.therm minus 7, Weber.therm technik, Weber tevamin tmel Z a Baumit Duocontact došlo k překročení této limitní hodnoty. Překročení hranice nasákavosti u hmoty Weber.therm minus 7 je překvapením, u speciální hmoty bych takto vysokou nasákavost nečekal. U ostatních hmot se hodnoty pohybují v dovoleném intervalu, tj. 0 -  $0,5 \text{ (kg/m}^2\text{/vrstva)}$  vody za 24 hodin.

### *Ultrazvuková impulzová zkouška*

Záměrem této zkoušky bylo určení výpočtových hodnot pro dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu a pevnost v tlaku s nezaručenou pevností. Tato metoda se obecně používá pro betony a cementové hmoty, proto jsem se ji rozhodl použít s tím, že výhledově by bylo možné stanovit i výpočtový vztah mezi měřením rychlosti průchodu ultrazvukových impulzů materiálem při měření na stavbě a výslednými hodnotami technických vlastností materiálu po dokončení. Díky technickým problémům nakonec nebylo možné uskutečnit klasické tahové zkoušky dle [67] a tudíž nebylo možné porovnávat hodnoty modulu pružnosti. Tlakové zkoušky provedeny byly, viz níže a bylo

také provedeno porovnání hodnot spočtených z ultrazvukového zkoušení a hodnot zjištěných měření. Výsledky tohoto měření a srovnání najdeme v přílohách označených P9 až P14. Velká rozdílnost údajů - od 1,5% do 190% u přirozeně nasycených hmot až po 19 až 218% pro plně nasycené hmoty - neumožňovala blíže specifikovat vztah mezi ultrazvukovým měřením a reálnými vlastnostmi tenké základní vrstvy. Na základě dostupných údajů však bylo možné říci, že i když hodnoty technických údajů u modulu pružnosti a pevnosti v tlaku u hmot vystavených nízkým teplotám klesají, není toto snížení více jak o 1/3 hodnoty parametru v interiéru.

### ***Zkouška tahem za ohybu***

Tato destrukční zkouška měla za úkol opět porovnat odolnost hmot proti vlivům nízkých teplot. Výsledky zkoušky a výpočty jsou opět doloženy v přílohách - v tabulce označené P15. Zde u většiny hmot na rozdíl od předpokladů při umístění v exteriéru nedošlo ke snížení hodnot, ale naopak ke zvýšení. Výjimkou jsou hmoty Weber.therm technik a tevamin tmel Z u hmot dle receptury výrobce a Weber.therm technik, mínus 7 a tevamin tmel Z dle směsi určené Vicatem. Především hmota Weber mínus 7 je překvapením, tato speciální hmota do velice nízkých teplot, až -7 °C, ztratila až 38,5 % na pevnosti v tahu za ohybu při směsi dle Vicata a umístění v exteriéru. Pokud lze na základě dostupných údajů rozhodnout, je to následkem právě nízkého obsahu vody pro tuhnoucí a tvrdnoucí reakce.

### ***Zkouška tlakem***

Záměr u této zkoušky byl totožný s předchozí. Opět výsledky nalezneme v přílohách, které pro tuto zkoušku nesou označení P16. Samotná zkouška je destrukční a byla prováděna, jak je vidět z výsledků na 4 sadách vzorků. Sady jsou zmíněny v postupu zkoušek v příslušné kapitole. Pokud se podíváme na výsledky a pomíneme srovnání s ultrazvukovou zkouškou, můžeme říci o výsledcích toto - převážná většina hmot vykazuje při umístění v exteriéru nebo nízkých teplotách ztrátu hodnoty pevnosti v tlaku. To je běžné a dá se to očekávat, co ovšem je překvapivé, že hmoty Baumit Procontact, Duocontact a Speed a Stomix S1P v jisté konfiguraci naopak vykazují zvýšení hodnoty pevnosti v tlaku. Vysvětlením by mohlo být nepřesné měření nebo naopak lepší průběh tuhoucích procesů. Tento faktor by měl být otázkou dalšího zkoumání. Překvapivý je také nárůst pevnosti v tlaku u provedení sad ze směsí dle Vicatovy zkoušky. V případě menšího množství vody by se dalo očekávat snížení hodnot, ovšem výsledky mluví o opaku. To znamená pro praxi, že méně vody je někdy více - tzn. dodržovat poměry míchání a nedávat větší množství vody, než je nutné - toto bývá také jedna z častých chyb.

Pokud se budeme zabírat hodnotami, pak u hmot, kde nastává nárůst pevnosti, se pevnost zvyšuje v průměru o 9% u hmot přirozeně nasycených vodní parou a o 13,5% u hmot plně nasycených. Pokud se budeme bavit

o snížení hodnoty pevnosti v tlaku, tak u hmot přirozeně nasycených je to v průměru o 14% a u hmot plně nasycených o 9,7%. Při pouhém srovnání procentuálního odklonu můžeme říci, že je stejný nárůst i pokles pevnosti, ale při pohledu na tabulku výsledků je jasné, že ve 2/3 případů dochází k poklesu, čili zhoršení vlastností hmot. Je však nutnost podotknout, že pevnost v tlaku není hlavní vlastností stěrek pro základní vrstvu.

### ***Odrhová zkouška***

Opět se jedná o destrukční zkoušku, jejíž metodika je popsána v kapitole o testování vzorků. Hodnocenými vlastnostmi jsou způsob destrukce vzorku a přídržnost. S ohledem na hodnocené vlastnosti byla vypracována tabulka s potřebnými údaji a nalezneme ji v přílohách pod označením P17 pro EPS a P18 pro minerální vatu. Pokud budeme hodnotit poškození vzorků, u vzorků provedených v exteriéru nebo při nízké teplotě, dochází častěji k odtržení vzorku místo v izolantu, což je správně, k odtržení základní vrstvy od podkladu. Díky ne zcela vhodnému postupu bohužel nelze vyjádřit % rozdíl přídržnosti především u vaty, kde nebylo možné hodnoty přídržnosti změřit, ale na EPS se jisté hodnoty ukázaly. Dle měření je však jasné, že výsledky jsou limitovány především přídržností vlastního izolantu, která se pohybuje okolo 70 kPa (EPS 70F). Na základě měření na EPS a díky poškození vzorků je možné konstatovat, že hodnota přídržnosti s ohledem na nízkou teplotu klesá - v rámci EPS se hodnota poklesu přídržnosti pohybuje od 7 do 100%.

### ***Zkouška odolnosti proti rázu***

Opět metodikou zkouška destrukční, založená na pádu tělesa a pozorování účinků na místo dopadu - metodikou provedení velice jednoduchá zkouška. Tabulky se záznamem výsledků zkoušek jsou v přílohách pod označením P19 až P22. V mé práci bylo pozorování poškození vzorku doplněno o měření velikosti vtisku na povrchu základní vrstvy. Na základě hodnocení velikosti vtisku můžeme konstatovat, že v případě polystyrenu dochází vlivem nízkých teplot k zhoršení vlastností stěrky a to v průměru od 15 do 23%, v případě vaty je to však jinak. Dle výsledků zde dochází naopak k nárůstu odolnosti proti rázu a to o 1% v případě rázu 2 J, o 7% v případě rázu 10 J, a ke snížení o 8% v případě rázu 3 J. Dle výsledků a chování vzorků při vlastním testování mám za to, že tento jev způsobuje vlastní charakteristika izolantu a to minerální vaty. Jako materiál je vata měkká a poddajná a tak pomáhá základní vrstvě tlumit dopad tělesa a tak se bránit rázu. Proto vzorky vykazují spíše lepší než horší vlastnosti. Naopak polystyren je tuhý a veškerou odolnost musí zajistit základní vrstva, proto jsou zde poškození markantnější. Co se týká způsobu poškození, tak na vzorcích realizovaných za nevhodných podmínek dochází k daleko větším poškozením, dokonce k proražení a kompletní destrukci základní vrstvy.

### *Zkouška zmrazováním*

Tato zkouška nám o vlastnostech hmot neřekla dostatek údajů. Naplánované a provedené počtu 75 cyklů pravděpodobně nestačilo k zajištění celkového nasycení vzorků vodou, a proto ve výsledcích lze vidět, že většina hmot po 75 cyklech vykazuje místo úbytku hmotnosti naopak navýšení. To proto, že nejsou nasyceny a při cyklování přijímají vodu ze zkušebního zařízení. Ověření odolnosti zmrazování je v dalším plánovaném postupu výzkumu. V době přípravy práce byla laboratoř s přístrojem KD 20 nedostupná díky stavebním pracím. Jediným použitelným a průkazným výsledkem je fyzický odlup vrstvy na vzorku hmoty Weber therm.technik, čímž je prokázán vliv nízké teploty na tuto hmotu a zhoršení jejich vlastností - 75 cyklů je otázkou několika let v běžných podmínkách a takto provedený systém by měl velice nízkou životnost.

#### **7.1.2 Přínos do stavební praxe**

Přínosem do stavební praxe je ověření některých vlastností stěrkových hmot jako nasákavost, pevnost v tlaku a tahu za ohybu. Naopak mínusem je nemožnost provést zkoušky tahem a porovnat výsledky s normou. Pokud vezmeme v úvahu veškeré zmíněné závěry a zjištěné hodnoty, můžeme technologický předpis pro provádění ETICS a přímo základní vrstvy upravit přibližně takto:

- použití standardních hmot určených do teplot +5 až +30°C je možné při stálé teplotě dle uvedeného intervalu, teplota nesmí ani krátkodobě klesnout nebo vystoupit mimo uvedený interval - lze v některých případech zajistit vhodnými opatřeními,
- použití standardních hmot určených do teplot +5 až +30°C je možné při teplotách nad 0°C jen za podmínky, že tato teplota bude na konstrukci působit jen velice krátce, nebo je možné konstrukci a základní vrstvu proti této teplotě ošetřit vhodnými opatřeními,
- použití standardních hmot určených do teplot +5 až +30°C je možné bez opatření při teplotách nad 0°C jen na podřadné konstrukce, které nemají vysoké nároky na životnost systému - hrozí zde snížení technických vlastností hmot o průměrně až 18% - hodnota určená na základě provedených zkoušek,
- použití standardních hmot pro teploty pod 0°C nelze dovolit a doporučuje se v technologickém předpisu zateplení striktně uvést, že v těchto podmínkách lze za určitých okolností ETICS provádět jen pomocí speciálních hmot - tj. hmot primárně určených pro teploty v okolí 0°C a pod ní - pro teplotní rozsah 0°C až +5°C lze doporučit hmotu Baunit Speed, pro rozsah -7°C až 0°C lze doporučit hmotu Weber.therm minus 7 s vyloučením

konstrukcí přímo namáhaných vnitřní vlhkostí - tj. ne na prostory s mokrymi procesy díky vyšší nasákavosti hmoty.

Cílem, který nebyl předpokládán, ale který vyplynul v průběhu realizace, bylo posouzení laboratorních zkoušek a testovacích metod pro zkoušení základní vrstvy. Popis testů je v příslušné kapitole. Co se týká vhodnosti - veškeré testy se dají za určitých podmínek, případně s úpravami použít pro testování základní vrstvy, ovšem u některých metod testování vyžaduje přípravu speciálních pomůcek.

Pokud půjdeme od začátku, mohli bychom testovací metody hodnotit takto:

- Laserová difrakce - tato metoda je proveditelná a vypovídající bez úprav - pouze v případě testování hmot vyztužených vláknem je nutno hmotu přesít, to stejné v případě zjištění zrnitosti větší než 2 mm,
- Vicatův přístroj - určení směsi „normální“ hustoty - metodika je použitelná bez úprav, ovšem kaše „normální“ hustoty je pro zpracování v základní vrstvě nepoužitelná, nedokážeme s ní dobře manipulovat, nedokáže obalit řádně síťovinu ani vhodně přilnout k povrchu, pro testy tahem za ohybu a tlakem v trámcích 40x40x160mm bez problémů použitelná je,
- Vicatův přístroj - určení doby počátku a konce tuhnutí - metodiku zkoušky je sice možné bez problémů použít, ovšem dle údajů je možné říci, že hmota umístěná v klasickém prstenci vytvrzuje jiným způsobem - spíše jinou dobu, než hmota v tenké cca 4mm vrstvě - doporučoval bych pro další měření upravit prstence tak, aby respektovaly právě tuto tenkou vrstvu hmoty - tj. tl. cca 4mm - na základě zkoušky by pak bylo možné ověřit, zda se počátek a konec tuhnutí při obou metodách shodují,
- ultrazvukové měření - dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu a pevnost v tlaku s nezaručenou přesností - tato zkouška je proveditelná, použitelná bez úprav, co se zkoušení a přístrojů týče. Bylo by však vhodné rozšířit počty vzorků z jednotlivých hmot a provést měření jednak na trámcích, ale také přímo na základní vrstvě, aplikované na stavbě. Následně při množství měření by teoreticky bylo možné, aby byl určen výpočtový vztah pro ověřování vlastností hmot ultrazvukem přímo na stavbách,
- zkouška nasákavosti - metodika zkoušky je vyhovující a není třeba ji měnit, jediné, co by bylo vhodné udělat jinak, je počet vzorků - sady by měly být početnější, aby bylo možné prověřit podrobně vlastnosti hmoty, ale v tom případě by musel být omezen počet typů vzorků, což tak jednoduché není, pokud hodláme hmoty srovnávat,
- tah za ohybu - tato zkouška je proveditelná beze změn na metodice. Jako v předchozím případě by však bylo vhodnější

zkoušet větší série vzorků, ovšem to by omezovalo počty typů hmot - je nutné najít co nejnižší možný počet zástupců daných hmot a provést více vzorků pro ověření výsledků,

- zkouška tlakem - hodnocení je stejné jako v předchozích dvou případech - více vzorků v sadě pro ověření správnosti výsledků, což omezí množství zkoušených hmot,
- zkouška zmrazováním - metodika opět bez problému použitelná, ovšem bylo by vhodné zvolit jinou podobu vzorků - kostky 40x40x40mm jsou sice vhodné pro testování povrchových destrukcí, ovšem svým uspořádáním nejsou podobné základní vrstvě na stěně objektu. Tyto vzorky by musely být provedeny na nenasákavém izolantu, tj. většinou EPS a provedeny jako na stavbě, to znamená s výztuží a v tl. 2-6 mm, optimálně 4 mm. tyto vzorky by následně byly umístěny do klimatické komory a testovány na odolnost proti zmrazování při cyklickém mrazení a zahřívání,
- zkouška přídržnosti k izolantu - použitá metodika nebyla vhodná pro tento typ izolantu - skoro neměřitelné hodnoty zkreslují výsledky. Proto by bylo vhodné metodiku upravit následujícím způsobem - místo odtrhových terčů průměru 50 mm by bylo vhodné použít odtrhové desky min. 150x150 mm a vzorek samotný již by neměl být umístěn volně, ale plnoplošně přilepen lepidlem k pevnému podkladu. Místo izolantu 70F by měl být použit izolant 100F. Pro minerální vatu by měla být použita odtrhová deska velikosti 200x200 mm. Samotný odtrhový přístroj Dyna by měl být nahrazen tahovým lisem. Za použití speciálního přípravku a delšího šroubu s kloubem by bylo možné odtrhovou zkoušku provést i se současným přístrojem. Při takto upravené metodice by mělo být možné již měřit odtrhovou sílu a na základě naměřených hodnot zjistit chování hmoty ovlivněné nízkou teplotou,
- zkouška odolnosti rázu - metodu není nutné nijak upravovat, jednodušší již být nemůže, k ní nemám výhrady, pouze jsem ji doplnil měřením otisku koule na hmotě, aby bylo možné vzorky porovnávat i v %.

Jak je vidět, použité metodiky jsou pro testování základní vrstvy použitelné, ovšem na základě zjištěných skutečností by bylo vhodné metodiky upravit, abychom dosáhli více přesných a vypovídajících výsledků. I tak jsme však o základní vrstvě jsme obdrželi dostatek informací.

S výsledky, které byly v rámci zkoušek dosaženy, je možné konstatovat již dobře známý fakt, že nízké teploty mají na stěrkové hmoty vliv. Je však také patrné, že pokud zmíněné teploty nedosáhnou záporných hodnot, je možné předpokládat u velké většiny hmot dostupných na trhu dostatečnou kvalitu, aby poskytly únosnou vrstvu pro následné finální povrchy. Co je však nutné dodat, že takto zhotoveným vrstvám nelze garantovat životnost

jako kvalitně provedeným vrstvám za běžných podmínek. Jak je vidět z výsledků, hmoty provedené v laboratoři při optimální teplotě ve většině testů vykazují vyšší hodnoty, než hmoty vystavené působení nízkých teplot. Hodnoty u takto exponovaných hmot jsou pak nižší, ale některé testy prokazují, že rozdíly nenabývají závratných hodnot a tudíž je možné předpokládat jistý stupeň kvality a odolnosti, ne však stejného stupně jako za standardních teplot provedené vrstvy. Výjimkou jsou speciální hmoty přímo určené pro nízké teploty a ž do limitní hodnoty  $-7^{\circ}\text{C}$ . Zde však při realizaci těchto vrstev bude hrát roli cena - bohužel v dnešní době je to nejvíce sledovaný parametr staveb a stavebních prací. V některých případech má tento parametr přednost před vším ostatním, což někdy mívá značně negativní dopad na kvalitu stavebních prací. Tento negativní vliv je možné pozorovat přímo i u stěrkových základních vrstev systémů ETICS. Nezřídka jsem se za svou krátkou praxi setkal s případy, že při teplotách okolo  $0^{\circ}\text{C}$  byly realizovány stěrkové vrstvy z nejběžnějších hmot, které by i podle mých testů nikdy neměly být takto použity.

Co se týká zjištěných poznatků, měly by přispět k jistému zpřesnění náhledu na rozsah teplot umožňujících v praxi realizaci stěrkových vrstev a to způsobem že rozlišíme hmoty dle teplotního intervalu. Z výsledků je možné jednoduše identifikovat hmoty, které lze bez problémů použít při teplotách do  $1^{\circ}\text{C}$  a dále hmoty použitelné až do  $-5^{\circ}\text{C}$ , relativně do  $-7^{\circ}\text{C}$ . Výrobci, kteří toto u svých hmot definují, mají pravdu. Alespoň co se týká mnou zkoušených speciálních hmot do nízkých teplot.

Mne osobně tato práce přinesla hlubší vědomosti o zkoumané problematice, získal jsem poznatky o některých speciálních hmotách a způsobech jejich zkoušení, ověřil jsem si, že mnoho výzkumných metod, které se na počátku zdály velice slibné a jednoduché, jsou vlastně slepými uličkami a zjistil jsem, že ne každý výsledek, ať vypadá sebelépe, musí vždy znamenat krok vpřed správným směrem. Doufám, že výsledky a závěry z této práce učiněné, přinesou více možnosti do stavební praxe, umožní lepší využití hmot a jejich vlastností a dovolí lépe využít podmínek počasí pro delší, ale zároveň kvalitní stavební výrobu.



## 8. VÝPIS LITERATURY

- [1] Český statistický úřad, www stránky, dostupné na <<http://www.czso.cz/>>
- [2] Sbírka zákonů, www stránky, dostupné na <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>>
- [3] ČSN online pro jednotlivce, www stránky, dostupné na <<http://csnonline.unmz.cz/>>
- [4] *Směrnice evropského parlamentu a rady 2001/81/ES o národních emisních stropích pro některé látky znečišťující ovzduší.* Říjen 2001. Vydáno v Úředním věstníku Evropské unie a Úředním věstníku evropských společenství, Lucemburk, 20 str.
- [5] *Směrnice evropského parlamentu a rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES.* Duben 2009. Vydáno v Úředním věstníku Evropské unie, Štrasburk, 62 str.
- [6] Tywoniak, Jan; *Nízkoenergetické domy - principy a příklady.* Vydavatelství Grada Publishing s.r.o., U Průhonu 22, Praha 7, 1. vydání, 200str., Praha, 2005, ISBN 80-247-1101-X
- [7] ČSN 730540 v platných verzích k září 2012.
- Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie.* Červen 2005, Český normalizační institut, Praha, 68 str.
- Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky.* Říjen 2011, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 56 str.
- Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin.* Listopad 2005, Český normalizační institut, Praha, 96 str.
- Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody.* Červen 2005, Český normalizační institut, Praha, 60 str.
- citováno z online <<http://csnonlinefirmy.unmz.cz>> v různých datech
- [8] doc. RNDr. Ficker Tomáš, DrSc.; *Příručka stavební tepelné techniky, akustiky a denního osvětlení.* Fakulta stavební, VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, FINAL Tisk s.r.o., Olomučany, 1. vydání, 266 str., červen 2004. ISBN 80-214-2670-5
- [9] doc. Ing. Vlček Milan, CSc., Ing. Beneš Petr, CSc; *Zateplování staveb.* Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, FINAL Tisk s.r.o., Olomučany, říjen 2000, 108 str., ISBN 80-7204-164-9
- [10] Othmar, Humm; *Nízkoenergetické domy.* 1. vydání, Praha, Vydavatelství Grada Publishing s.r.o., U Průhonu 22, Praha 7, 1999, 360 str., ISBN 80-7169-657-9,

- [11] *Termoizolace z technického konopí*. [online] Citováno v lednu 2013, dostupné na <[www.konopi-izolace.cz](http://www.konopi-izolace.cz)>
- [12] *Izolace z ovčí vlny*. [online] Citováno prosinec 2012, dostupné na <[www.isolena.cz](http://www.isolena.cz)>
- [13] *Svět dřevostavby*. [online] Citováno leden 2013, dostupné na <<http://www.svet-drevostavby.cz/>>
- [14] *Insowool.cz* [online] Citováno v listopadu 2012, dostupné na <<http://www.insowool.cz/>>
- [15] prof. Ing. Koman Marian, DrSc., doc. Ing. Jamnický Miroslav, Ph.D., *Anorganické materiály*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Vydavatelství STU, Bratislava, Vazovova 5, 2008, 182 str., 2 přepracované vydání. ISBN 978-80-227-2798-3
- [16] doc. Ing. Svoboda Luboš, CSc. a kolektiv autorů. *Stavební hmoty*. JAGA Group s.r.o., Imricha Karvaša 2, Bratislava 15, 2. přepracované vydání, Bratislava 2007, 400 str., ISBN 978-80-8076-057-1
- [17] *ČSN 730540 Navrhování stavebních konstrukcí z hlediska tepelné techniky*. Prosinec 1962. Vydal Úřad pro normalizaci a měření, Praha, 24 str.
- [18] *Změna B - 6/1964 k ČSN 730540 Navrhování stavebních konstrukcí z hlediska tepelné techniky*. Červenec 1964. Vydal Úřad pro normalizaci a měření, Praha, 5 str.
- [19] *ČSN 730540 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov - Názvosloví. Požadavky a kritéria*. Březen 1977. Vydal Úřad pro normalizaci a měření, Praha, 32 str.
- [20] *ČSN 730540 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov - Názvosloví. Požadavky a kritéria - Změna 4*. Květen 1992. Vydal Federální úřad pro normalizaci a měření, Praha, 12 str.
- [21] *ČSN 730540 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Duben 2007. Český normalizační institut, Praha, 44 str.
- [22] *Výrobce izolačních materiálů Bachl*. [online] Citováno průběžně. Dostupné na <[www.bachl.cz](http://www.bachl.cz)>
- [23] *ČSN 732901 Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)*. Duben 2005. Český normalizační institut, Praha. 20 str.
- [24] *Stomix - expert na zateplení*. [online] Citováno září 2012. Dostupné na <[www.stomix.cz](http://www.stomix.cz)>
- [25] doc. Ing. Sternová Zuzana, CSc. *Zatepovanie budov - tepelná ochrana*. Vydavatelství Jaga Group v.o.s., Starohorská 2, Bratislava, 1999, 207 str. ISBN 80-88905-11-7

- [26] prof. Ing. Puškár Anton, Ph.D., doc. Ing. Fučila Jozef, Ph.D., Ak. sochár Řehák Ivan, Ing. Vavrovič Boris, Ph.D., *Obvodové pláště budov - fasády*. Vydavatelství Jaga Group v.o.s., Starohorská 2, P.O.Box 61, Bratislava, 2002, ISBN 80-88905-72-9, 311 str.,
- [27] *ČSN EN 13501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. Únor 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 48 str.
- [28] *Pěnové sklo Foamglas* [online] Citováno říjen 2012. Dostupné na <[www.foamglas.cz](http://www.foamglas.cz)>
- [29] Ing. Svoboda Pavel, Ing. Machatka Milan, CSc., Ing. Šála Jiří, CSc. *Sborník technických pravidel TP CZB 2007 pro vnější tepelně izolační kontaktní systémy (ETICS)*. Vydala Česká energetická agentura, pod záštitou Cechu pro zateplování budov ČR, o.s., říjen 2007, Praha, 73 str.,
- [30] *Stavební upevňování EJOT*. [online] Citováno listopad 2012. Dostupné na <<http://www.ejot.cz/>>
- [31] *Stránky firmy Baumit* [online] Citováno průběžně. Dostupné na <<http://www.baumit.cz/>>
- [32] *ETAG 004 - Vnější kontaktní tepelně izolační systémy s omítkou*. Řídící pokyn pro evropské technické schválení, European Organisation for Technical Approvals EOTA, Kunstlaan 40, Avenue des Arts B, Brusel, leden 2000, 80 stran
- [33] *ETAG 014 - Plastové kotvy pro kotvení vnějších kontaktních tepelně izolačních systémů s omítkou*. Řídící pokyn pro evropské technické schválení, European Organisation for Technica Approvals EOTA, Kunstlaan 40, Avenue des Arts B, Brusel, leden 2002, 55 stran
- [34] Ing. Schmid Pavel, Ph.D., *Zkušebnictví a technologie - Modul BIO2-M02 - Stavební zkušebnictví*. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Fakulta stavební v Brně, Vysoké učení technické v Brně, 48 str.,
- [35] *ČSN 731371 Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Září 2011. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 12 str.
- [36] *ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Červen 2000. Český normalizační institut, Praha, 16 str.
- [37] *ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnosti*. Říjen 2005. Český normalizační institut, Praha, 28 str.

- [38] ČSN EN 13892-1 *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles*. Listopad 2003. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [39] ČSN EN 13892-2 *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku*. Listopad 2003. Český normalizační institut, Praha, 8 str.
- [40] ČSN EN 196-3 *Metody zkoušení cementu - Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti*. Červenec 2009. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 16 str.
- [41] Šála Jiří, Machatka Milan. *Zateplování v praxi*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 1 vydání, Praha, 2002, 108 str., ISBN 80-247-0224-X
- [42] *Data z meteorologické stanice VUT Brno, budova C*. Poskytnula doc. Ing. Králová Helena, CSc., Ústav vodního hospodářství krajiny, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, červen 2011, červen 2013, Brno.
- [43] ČSN EN ISO 12570 *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě*. Září 2001. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [44] ČSN 731316 *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínivosti betonu*. Zrušena 1. 12. 2003. Vydalo Vydavatelství norem, Praha 10 - Hostivař, 8 str.
- [45] ČSN EN 13499 *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) z pěnového polystyrenu - Specifikace*. Červenec 2004. Český normalizační institut, Praha, 28 str.
- [46] ČSN EN 13494 (ČSN 727103) *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení přídržnosti lepicí hmoty nebo základní vrstvy k tepelně izolačnímu materiálu*. Říjen 2003. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [47] ČSN EN 13500 *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) z minerální vlny - Specifikace*. Červenec 2004. Český normalizační institut, Praha, 28 str.
- [48] ČSN EN 1062-3 *Nátěrové hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a betony - Část 3: Stanovení permeability vody v kapalné fázi*. Červenec 2008, Český normalizační institut, Praha, 18 str.
- [49] ČSN 722440 *Zkoušení malt a maltových směsí. Společná ustanovení*. Zrušená k 1. 8. 2005. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [50] ČSN EN 12091 *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení odolnosti při střídavém zmrazování a rozmrazování*. Červenec 1998. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [51] ČSN 722452 *Zkouška mrazuvzdornosti malty*. Listopad 1968. Český normalizační institut, Praha, 4 str.

- [52] ČSN EN 12087 *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení dlouhodobé nasákavosti při ponoření*. Červenec 1998. Český normalizační institut, Praha, 16 str.
- [53] ČSN EN 1015-2 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt*. Říjen 1999. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [54] ČSN EN 1015-1 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 1: Stanovení zrnitosti (sítovým rozborem)*. Říjen 1999. český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [55] ČSN EN 12192-1 *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Granulometrická analýza - Část 1: Zkušební metoda pro suché složky suchých maltových směsí*. Únor 2003. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [56] ČSN EN 1015-10 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*. Červen 2000. Český normalizační institut, Praha, 8 str.
- [57] Kolektiv autorů. *Letní škola materiálového inženýrství - sborník příspěvků odborného semináře*. Vydalo Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, Brno, 2012, 147 str., vydáno v rámci projektu *Podpora vzdělávání pracovníků center pokročilých stavebních materiálů CZ.1.07/2.3.00/20.0111*
- [58] *Stavební fyzika 2010 - Area 2010. Software Svoboda*. Autor obrázků Ing. Pavel Liška - grafické modely konstrukcí - průběh teplot, vlhkosti
- [59] ČSN 731370 *Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení*. Zrušená k 1. 10. 2011. Český normalizační institut, Praha, 16 str.
- [60] ČSN 731371 *Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu*. Zrušená k 1. 10. 2011, vydána v březnu 1982. Český normalizační institut, Praha, 20 str.
- [61] ČSN EN ISO 15148 *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení nasákavosti částečným ponořením*. Únor 2004. Český normalizační institut, Praha, 20 str.
- [62] ČSN 731316 *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínivosti betonu*. Zrušená k 1. 4. 1990. Vytisklo Vydavatelství norem, Praha 10 - Hostivař, 8 str.
- [63] ČSN EN 12808-5 *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 5: Stanovení nasákavosti*. Červen 2009. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 8 str.

- [64] *EOTA TR 025 Determination of point thermal transmittance of plastic anchors for the anchorage of external thermal insulation composite systems (ETICS)*. Řídící pokyn pro evropské technické schválení, European Organisation for Technica Approvals EOTA, Kunstlaan 40, Anvenue des Arts B, Brusel Červen 2007.
- [65] Ing. Kosíková Jana, *Laserová difrakce pro měření velikosti částic*. Letní škola materiálového inženýrství - sborník příspěvků odborného semináře, kolektiv autorů, Vydalo Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, Brno, 2012, 147 str., vydáno v rámci projektu *Podpora vzdělávání pracovníků center pokročilých stavebních materiálů CZ.1.07/2.3.00/20.0111*
- [66] *ČSN EN 13495 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení soudržnosti vnějšího tepelně izolačního kompozitního systému (ETICS) (zkouška pěnovým blokem)*. Říjen 2003. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [67] Ing. Machatka Milan, CSc., Ing. Šála Jiří, CSc., *Technická pravidla, kritéria a směrnice CZB 2001*. Vydal Cech pro zateplování budov ČR, o.s., 2001, Praha, 44 str., ISBN 80-86364-49-6
- [68] Ing. Svoboda Pavel, Ing. Machatka Milan, CSc., Ing. Šála Jiří, CSc., *Kontaktní zateplovací systémy - příručka pro navrhování a provádění*. vydal Cech pro zateplování budov ČR, o.s., ve spolupráci s Českou energetickou agenturou a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků, činných ve výstavbě o.s., prosinec 1998, Praha, 48 str.,
- [69] Ing. Svoboda Pavel, Ing. Machatka Milan, CSc., Ing. Šála Jiří, CSc., *Kritéria pro kvalitativní třídy vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů (ETICS)*. Vydala Česká energetická agentura, pod záštitou Cechu pro zateplování budov ČR, o.s., listopad 2007, Praha, 22 str.,
- [70] Kollmorgen Uwe, *Zateplování domů - nová úspora energie*. Nakladatelství Ikar Praha, spol. s.r.o., 1998, 1. vydání, 127 str., ISBN 80-7202-265-2
- [71] Ing. Tichý František, Ing. Mužík Václav, *Zateplování budov - díl I - Dvouplášťové nekontaktní konstrukce stěn*. Vydal STAV-INFORM Praha, nakladatelství Ústavu stavebních informací, 1. vydání, tiskárna ÚSI, Praha, 1991, ISBN 80-85380-10-2
- [72] Ing. Tichý František, Ing. Mužík Václav, *Zateplování budov - díl II - Vícevrstvé konstrukce obvodových plášťů - izolační obklady a omítky*. Vydal STAV-INFORM Praha, nakladatelství Ústavu stavebních informací, 1. vydání, tiskárna ÚSI, Praha, 1991, ISBN 80-85380-11-0
- [73] Ing. Kántorová Jana, Ing. Hejda Miloš, Ing. Hanák Martin, *Postup při zateplování obytných budov*. Nakladatelství ŠEL, spol. s r.o., 1. vydání, srpen 2006, ISBN 80-86426-24-6

- [74] Ing. Šubrt Roman, *Zateplování*. ERA Group s.r.o., Chleborádova 22, Brno, 1. vydání, 2008, 102 str., ISBN 978-80-7366-138-0
- [75] Linhart Ladislav, *Zateplování budov*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 1. vydání, Praha, 2010, 112 str., ISBN 978-80-247-3361-6
- [76] Gernot Minke, Friedmann Mahlke, *Stavby ze slámy - Jak pořídít z balíků slámy standardní dům*. Nakladatelství HEL, Ostrava, 2009, 1. vydání, 144 str., PB Tisk, Ostrava-plesná, ISBN 978-80-86167-31-2
- [77] Mgr. Velfel Petr a kolektiv autorů, *Energie pro rodinný dům*. Vydal Mgr. Petr Velfel - Paradise studio, Edvarda Beneše 1562, Hradec Králové, červenec 2010, Hradec Králové, 1. vydání, 174 str., ISBN 978-80-254-7679-6
- [78] Drápalová Jana, *Regenerace panelových domů*. Vydavatelství ERA Group, Berkova 8, Brno, 142 str., 2006, Brno, ISBN 80-7366-054-7
- [79] ČSN EN 13494 *Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení přídržnosti lepicí hmoty nebo základní vrstvy k tepelně izolačnímu materiálu*. Říjen 2003. Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [80] prof. doc. Ing. Šternová Zuzana, Ph.D. a kolektiv autorů, *Zateplovací systémy obvodových plášťov budov*. Vydavatelství Eurostav s.r.o., Bratislava, únor 2002, 1. vydání, 177 str., ISBN 80-968183-5-X
- [81] Ing. Cikrle Petr, Ing. Ambrosová Věra, Ing. Havlíková Duňa, *Zkoušení stavebních materiálů - laboratorní cvičení*. Září 1997, Fakulta stavební v Brně, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, Final tisk Olomučany, ISBN 80-214-0641-0, 80 str.,
- [82] doc. Ing. Adámek Jiří, CSc., Ing. Novotný Bohumil, CSc., Ing. Koukal Jan *Stavební materiály*. Leden 1997, Fakulta stavební v Brně, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, Final tisk Olomučany, ISBN 80-214-0631-3, 201 str.
- [83] doc. Ing. Novák Jaroslav, CSc. a kol., *Nauka o materiálech 10 - Stavební materiály I*. Vydavatelství ČVUT, Zikova 4, Praha 6, duben 1999, tisk Ediční středisko ČVUT, Zikova 4, Praha 6, 178 str., ISBN 80-01-01619-6
- [84] prof. Ing. Vaverka Jiří, DrSc., Ing. Chybík Josef, CSc., Ing. Meixner Miloslav, CSc., *Tepelná ochrana budov - Souhrn fyzikálních veličin stavebních materiálů a výpočtů k ČSN 730540*, druhé vydání, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury Brno, Poříčí 5, PC-DIR spol. s r.o., Brno, Technická 2, 101 str., ISBN 80-214-0857-X, 1995
- [85] Ing. Anton Ondřej a kolektiv, *Základy zkušebnictví - návody do cvičení*. VUT v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Final tisk Olomučany, únor 2002, ISBN 80-214-2079-0, 60 str.,

- [86] Ing. arch. Bažantová Zdenka, CSc., doc. Ing. Svoboda Luboš, CSc., doc. Ing. Novák Jaroslav, CSc., doc. Ing. Tobolka Zdeněk, CSc., *Nauka o materiálech 10 - Zkušební metody*. Vydavatelství ČVUT, Zikova 4, Praha 6, Ediční středisko ČVUT, Zikova 4, Praha 6, 121 stran, červen 1999, ISBN 80-01-01264-6
- [87] Ing. Heřmánková Věra, Ph.D. a kolektiv, *Zkušebnictví a technologie - cvičebnice*, Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., Brno, Final tisk s.r.o., Olomučany, září 2011, 1. vydání, Fakulta stavební v Brně, ISBN 978-80-7204-758-1, 100 str.,
- [88] doc. Ing. Michalko Ondřej, Csc., doc. RNDr. Mikš Antonín, CSc., Ing. Semerák Petr, Ing. Klečka Tomáš, CSc., *Fyzikální a mechanické zkoušení stavebních materiálů*. Vydavatelství ČVUT, Zikova 4, Praha 6, únor 1998, Editační středisko ČVUT, Zikova 4, Praha 6, 138 str., první vydání, ISBN 80-01-01736-2
- [89] Ing. Schmid Pavel, Ph.D. a kolektiv autorů, *Základy zkušebnictví*, Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., Final tisk s.r.o., Olomučany, leden 2001, Brno, ISBN 80-214-1816-8, 112 str.,
- [90] Ing. arch. Smola Josef, *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 352 str., 1. vydání, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-2995-4
- [91] Chybík Josef, *Přírodní stavební materiály*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 272 str., 1. vydání, Praha, 2009, ISBN 978-80-247-2532-1
- [92] Kopec Bernard a kolektiv autorů, *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., Final tisk s.r.o., Olomučany, 1. vydání, 570 str., ISBN 978-80-7204-591-4
- [93] *Tepelné izolace v otázkách a odpovědích*. Nakladatelství BEN - technická literatura, Věšínova 5, Praha 10, 2005, 1. vydání, ISBN 80-7300-159-4, 142 str.,
- [94] Šála Jiří, *Zateplování budov*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 176 str., 1. vydání, Praha, 2000, ISBN 80-7169-833-4
- [95] Šubrt Roman, *Tepelné izolace domů a bytů*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 88 str., 1 vydání, Praha, 1998, ISBN 80-7169-566-1
- [96] Ing. Počinková Marcela, Ing. Čuprová Danuše, CSc., Ing. Mudráková Alena, Ing. arch. Smola Josef, *Úsporný dům*. ERA Group s.r.o., Jiráskova 996, Šlapanice, 2004, 1. vydání, 183 str., ISBN 80-86517-96-9
- [97] Ing. Milan Machatka, CSc., Ing. Milan Ševčík, *Povrchové úpravy pro kontaktní zateplovací systémy* - článek v časopise Tepelná ochrana budov, číslo 6/99,



- [98] Novák Jan, *Úspory energie v rodinných domech a bytech*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 136 str., 1 vydání, Praha, 1999, ISBN 80-7169-283-2
- [99] Tywoniak Jan a kolektiv autorů. *Nízkoenergetické domy 3 - Nulové, pasivní a další*. Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 204 str., 1 vydání, Praha, 2012, ISBN 978-80-247-3832-1
- [100] Hudec Mojmir, *Pasivní rodinný dům - proč a jak stavět*, Grada Publishing a.s., U Průhonu 22, Praha 7, 112 str., 1 vydání, Praha, 2008, ISBN 978-80-247-2555-0
- [101] prof. Ing. Halahyja Martin, DrSc., doc. Ing. Chmúrny Ivan, CSc., doc. Ing. Sternová Zuzana, CSc., *Stavebná tepelná technika - Tepelná ochrana budov* vydavatelství Jaga Group v.o.s., Bratislava, Starohorská 2, 1998, 1. vydání, 253 str., ISBN 80-88905-04-4
- [102] *Fotoarchiv ze staveb a kontrolních prohlídek staveb*, Mgr. Petr Lízal, CSc.
- [103] *Fotoarchiv ze staveb, kontrolních prohlídek staveb a laboratorních zkoušek*, Ing. Michal Novotný
- [104] *Fotografie z laboratoře Ústavu technologie stavebních hmot a dílců*, Ing. Jana Kosíková
- [105] *ČSN EN 1607 Tepelně izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky*. Červen 1998, Český normalizační institut, Praha, 12 str.
- [106] *Technologický předpis - Baumit zateplovací systémy*. [online] Citováno květen 2013. Dostupné na <[http://www.baumit.cz/upload/Dokumentace/Technol\\_predpisy/Zateplovaci\\_systemy\\_Baumit\\_-\\_TP.pdf](http://www.baumit.cz/upload/Dokumentace/Technol_predpisy/Zateplovaci_systemy_Baumit_-_TP.pdf)>
- [107] *ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov Část 2: Funkční požadavky*. Květen 1994. Vydal Český normalizační institut, Praha, 1994, 20 str.
- [108] *ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov Část 2: Funkční požadavky - Změna 1*. Listopad 1997. Vydal Český normalizační institut, Praha, 1997, 4 str.
- [109] *ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov Část 2: Požadavky*. Listopad 2002. Vydal Český normalizační institut, Praha, 2002, 36 str.
- [110] *ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov Část 2: Požadavky - Změna Z1*. Březen 2005. Vydal Český normalizační institut, Praha, 2005, 12 str.
- [111] Ing. Šubrt Roman. *Tepelné izolace v otázkách a odpovědích*. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 10. 2 vydání. Praha, 2008. 160 str. ISBN 978-80-7300-234-3

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Graf a tabulka dokončených bytů - 1989 až 1. pol. 2012 [1]	11
Obr. 2	A) Energetický štítek obálky budovy dle ČSN 730540-2 - vlevo [3]; B) Průkaz energet. náročnosti dle vyhl. 148/2007 Sb. - vpravo [2]	12
Obr. 3	Jednoduché schéma výpočtu energetické bilance objektu [6]	13
Obr. 4	Statistický ukazatel výroby a odhadované spotřeby EPS na stavební izolace [22]	20
Obr. 5	Grafické schéma průběhu teplot v jednotlivých typech konstrukcí s ohledem na provedení zateplení - popis viz. text kapitoly [58]	22
Obr. 6	Grafické schéma průběhu vlhkostních zón v jednotlivých typech konstrukcí s ohledem na provedení zateplení - popis viz. text kapitoly [58]	23
Obr. 7	Grafické schéma umístění a velikosti kondenzační zóny v jednotlivých konstrukcích s ohledem na provedení zateplení - popis viz. text kapitoly [58]	24
Obr. 8	Běžná skladba zateplovacího systému s izolantem z polystyrenu, popis objasněn v textu, obrázek ze stránek fy. Stomix [24]	27
Obr. 9	Běžná skladba zateplovacího systému s izolantem z minerální vlny, popis totožný s obr. 5, obrázek ze stránek fy. Stomix [24]	27
Obr. 10	Skladba zateplení v místě soklu budovy - použitou izolací je tvrzený extrudovaný polystyren, snímek za stránek fy. Stomix [24]	28
Obr. 11	Použití zátek pro hmoždinky STR U pro eliminaci tepelného mostu u hmoždinek a princip jejich montáže [30]	32
Obr. 12	Grafické znázornění vlivu barvy povrchové úpravy na teplotu na povrchu systému [16]	34
Obr. 13	Graf průběhu teplot za období 1. 10. 2010 až 31. 12. 2010 [42]	56
Obr. 14	Graf průběhu teplot za období 1. 1. 2011 až 31. 12. 2011 [42]	57
Obr. 15	Graf průběhu teplot za období 1. 1. 2012 až 31. 12. 2012 [42]	58
Obr. 16	Graf průběhu teplot za období 1. 1. 2013 až 30. 6. 2013 [42]	59
Obr. 17	Nesprávně provedená základní vrstva - viditelné struktura síťoviny, která není zapuštěná zcela do stěrkové vrstvy [102]	61
Obr. 18	Vliv nesprávně provedeného vyztužení okolí rohu otvoru v základní vrstvě - vznik diagonální trhliny, které snižuje životnost systému [102]	61
Obr. 19	Vliv nekvalitní penetrace, nesprávně provedené základní vrstvy a dle stop zasolení i nevhodného druhu použité omítky - vznik trhliny až do základní vrstvy a podstatné snížení životnosti a funkce systému [102]	62
Obr. 20	Viditelná nízká soudržnost omítky s podkladem - na obrázku viditelné „boule“, ve kterých již došlo k oddělení omítky od podkladu a nedošlo k opadu [102]	62

Obr. 21	Sestava přístroje Malvern Masterseizer 2000 včetně pomůcek pro měření velikosti částic laserovou difrakcí - laboratoře Ústavu technologie stavebních hmot a dílců [104]	65
Obr. 22	Vicatův přístroj s hustoměrným válečkem [103]	66
Obr. 23	Automatický Vicatův přístroj typu ARV-2 při přípravě na testování, (na záznamových válcích nahoře prozatím chybí milimetrový papír pro záznam hloubky vpichu jehly) [103]	70
Obr. 24	Fotografie ručního Vicatova přístroje s osazenou jehlou pro zkoušení a hledání počátku a konce tuhnutí [103]	70
Obr. 25	Ocelové kroužky - prstence - které nahrazují standardní prsteneček pro zkoušky tuhnutí Vicatovým přístrojem [103]	71
Obr. 26	Fotografie vzorků ve formách přinesených z exteriéru k odformování, viditelné označení hmoty vzorku II a E jako exteriér, viditelné částečné zavlhnutí vzorků na okrajích [103]	73
Obr. 27	Vzorky uložené ve vodní lázni pro dosažení plného nasycení - plně ponořené pod vodní hladinou [103]	75
Obr. 28	Sušící zařízení HS 400A v laboratoři [103]	76
Obr. 29	Umístění vzorků v útrokách zařízení HS 400A [103]	76
Obr. 30	Připravená měřicí sestava přístroje Tico, sond, etalonu a vzorku [103]	78
Obr. 31	Měření rychlosti a času průchodu impulzu etalonem - stav těsně po měření, v průběhu jsou sondy tlačeny k prvku rukama technika - principiálně stejně probíhá měření vzorků [103]	79
Obr. 32	Schéma rozložení opěr nebo čelistí lisu pro zkoušky tahem za ohybu [36]	83
Obr. 33	Zkušební lis Zwick 1445 určený přímo pro zkoušky cementových a maltových hmot s přímým působením tlakové síly na běžný přípravek pro tah za ohybu, včetně PC pro záznam dat [103]	84
Obr. 34	Zkouška tlakem - lis EDT 1600 s odečtem na číselníku, s vloženým vzorkem, který byl upraven na tvar kostky o hraně 40mm [103]	86
Obr. 35	Zkouška v tlaku - vlevo na krychli o hraně 40mm, vpravo na zlomku trámce v přípravku - viditelné poškození vzorku po dokončení zkoušky [103]	86
Obr. 36	Ovládací panel přístroje KD v laboratoři - slouží pro sledování průběhu a nastavení cyklů zmrazování - kabel umožňuje připojení PC pro záznam cyklů, v mém případě nebyl k dispozici [103]	89
Obr. 37	Pohled na způsob plnění mrazícího zařízení - je vidět linii naplnění, kterou bylo nutné dodržet kvůli ohřívání ve vodním uložení [103]	89
Obr. 38	Připravená sestava jádrové vrtačky s nasazenou korunkou pro jádrový vrt na vzorku pro odtrhovou zkoušku [103]	91
Obr. 39	Detail uchycení odtrhového terče v přístroji Dyna [103]	91
Obr. 40	Odtrhový přístroj fy. Proceq Dyna Estrich, připravený ke zkoušce [103]	92

Obr. 41	Schéma zkoušky rázem - 1 - výška pádu koule, 2 - povrchová úprava, 3 - výztužná vrstva, 4 - tepelný izolant, 5 - tuhá podkladová deska, 6 - kovová rouha se zarážkami pro přeepsaný pád koule [67]	96
Obr. 42	Teploty v období 18. 10 až 18. 11. 2010 [42]	98
Obr. 43	Teploty v období 8. 11 až 8. 12. 2010 [42]	99
Obr. 44	Graf teplot pro sady vyrobené 18., 22. a 26. 11. 2010 [42]	99
Obr. 45	Graf zrnitosti jednotlivých hmot v jednotném provedení - srovnání výsledků z měření velikosti částic laserovou difrací	101
Obr. 46	Graf pevnosti v tahu za ohybu - srovnání jednotlivých variant vzorků - viditelné překvapivé výsledky u některých hmot dle Vicata	111
Obr. 47	Viditelné poškození povrchu opadem za zmrazovacích cyklů, na dvou vzorcích hmoty Weber.therm Technik - ostatní vzorky nebyly povrchově poškozeny [103]	117
Obr. 48	Graf průměrného úbytku hmotnosti vzorků hmot při zkouškách zmrazováním - viditelný vliv kolísání hodnoty nasycení vzorku	118
Obr. 49	Fotografie odtrhového terče, který se odtrhnul již při odvrtu před zkouškou [103]	122
Obr. 50	Zkušební terče po odtrhové zkoušce - vlevo poškození vzorku v základní vrstvě, vpravo odtržení vzorku od podkladu [103]	122
Obr. 51	Odtrhové terče po provedení odtrhových zkoušek - vlevo vyhovující vzorek na minerální vatě, vpravo vyhovující vzorek na EPS - oba vzorky odtrženy ve vrstvě izolantu [103]	123
Obr. 52	Vzorky po provedení zkoušky odolnosti proti rázu - vlevo vzorek s poškozením „popraskáním“, vpravo vzorek s poškozením „destrukce, viditelná síť, opad“ [103]	123
Obr. 53	Graf počtu poškozených těles při rázových zkouškách v závislosti na velikosti rázu	124

## 10. SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Tabulky hodnot k obr. 2 - nahoře ad. A, dole ad. B [2; 3]	12
Tab. 2	Vývoj tepelně technických požadavků kladených na obvodové konstrukce od roku 1964 do současnosti, ČSN 730540 z různých let [3, 7, 17 až 21]	17
Tab. 3	Tabulka uvažovaných hodnot součinitele prostupu tepla u běžně užívaných tepelných izolací	30
Tab. 4	Tabulky možného množství zanedbaných hmoždinek a jejich vlivů na tepelné mosty u daných konstrukcí - vliv bodového činitele prostupu tepla hmoždinkou [38]	31
Tab. 5	Požadavky na charakteristiky lepicí hmoty [69]	49
Tab. 6	Požadavky na charakteristiky desek EPS jako součásti ETICS [69]	50
Tab. 7	Požadavky na charakteristiky desek a lamel z minerální vlny (MW) [69]	51
Tab. 8	Požadavky na charakteristiky hmoždinek [69]	52
Tab. 9	Požadavky na charakteristiky sklovláknenné síťoviny [69]	52
Tab. 10	Požadavky na charakteristiky základní vrstvy [69]	53
Tab. 11	Požadavky na charakteristiky omítkového systému [69]	53
Tab. 12	Požadavky na třídu reakce na oheň systému ETICS [69]	53
Tab. 13	Základní technologické údaje pro použití hmot pro základní vrstvu (tabulka je z části převzata z technických listů výrobců - viz. přílohy, z části zpracovaná autorem)	54
Tab. 14	Tabulka množství vody potřebného na 100 g hmoty, aby vznikla kaše standardní hustoty - výsledky ze zkoušek Vicatovým přístrojem - zároveň je uveden % rozdíl množství vody stanovené výrobcem a stanovené zkouškou	67
Tab. 15	Tabulka množství vody na směs normální konzistence	102
Tab. 16	Tabulka vlhkosti materiálu - v % objemu - nahoře a tabulka hodnot rozdílu nasákavosti materiálu v % - dole	105
Tab. 17	Tabulka výsledků pro dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo tahu $E_{bu}$ [MPa] a pevnost v tlaku s nezaručenou pevností $f_{be}$ [MPa] pro přirozeně vlhké hmoty	107
Tab. 18	Tabulka výsledků pro dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo tahu $E_{bu}$ [MPa] a pevnost v tlaku s nezaručenou pevností $f_{be}$ [MPa] pro plně nasycené hmoty	108
Tab. 19	Tabulka výsledků pro dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo tahu $E_{bu}$ [MPa] a pevnost v tlaku s nezaručenou pevností $f_{be}$ [MPa] pro plně vysušené hmoty	109
Tab. 20	Výsledky testů v tahu za ohybu na přirozeně nasycených vzorcích - hodnoty uvedeny v (MPa) a rozdíly v %	112

Tab. 21	Tabulka výsledků zkoušek v tlaku - tabulka obsahuje údaje jak z měření ultrazvukem, kdy byla pevnost v tlaku spočtena, tak údaje z destrukčních zkoušek na nezmrazovaných i zmrazovaných vzorcích - obsahuje také procentuální srovnání hodnot z ultrazvuku a hodnot naměřených při destrukčních zkouškách	114
Tab. 22	Pevnosti v tlaku laboratorně zjištěné, určené na vzorcích přirozeně vlhkých a jednak nezmrazovaných a jednak zmrazovaných	115
Tab. 23	Tabulka naměřených hmotností vzorků po 75 cyklech - hmotnost je průměrná v gramech rozdílu pro sadu tří vzorků, přesnější údaje jsou obsaženy v přílohách	117
Tab. 24	Tabulka výsledků odtrhových zkoušek u vzorků na fasádním EPS	120
Tab. 25	Tabulka výsledků odtrhové zkoušky vzorků na min. vatě	121
Tab. 26	Tabulka s % rozdíly velikostí vtisku ocelových koulí při zkoušce odolnosti proti rázu	126

# 11. SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Zkratka nebo symbol	Vysvětlivka	Jednotka
ETICS	External Thermal Insulation Composite System - česky vnější tepelně izolační kompozitní (složený) systém	-
VKZS	Vnější kontaktní zateplovací systém - starší používaná zkratka pro ETICS	-
EPS	Expanded polystyrene - český expandovaný polystyren - "kuličková struktura"	-
XPS	Extruded polystyrene - česky extrudovaný polystyren - uzavřený "hladký" polystyren	-
ČSÚ	Český statistický úřad	-
Sb.	Sbírka zákonů a sbírka mezinárodních smluv	-
TUV	Teplá užitková voda	-
ČSN	Česká státní norma	-
ETAG	European technical approval guideline - přeloženo jako Řídící pokyn pro evropská technická schválení	-
UZ	Ultrazvuk	-
EOTA	European organisation for technical approvals - "Evropská organizace pro technické schvalování"	-
TZÚS	Technický a zkušební ústav stavební	-
$U_{em}$	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy	$W/m^2K$
$U_{em,N}$	Požadovaná normová hodnota průměrného součinitele prostupu tepla	$W/m^2K$
$R_N$	Tepelný odpor konstrukce, nebo vrstvy	$m^2K/W$
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$W/mK$
$m$	Hmotnost vzorku nebo tělesa, dle indexů různé možnosti	kg
$V$	Objem zkušebního vzorku nebo tělesa, dle indexů různé možnosti	$m^3$
$\rho$	Hustota - objemová hmotnost - látky, tělesa nebo prostředí	$kg/m^3$
$L$	Délka vzorku nebo zkoušeného tělesa	
$v$	Rychlost, zde ve vztahu k ultrazvuku rychlost přechodu impulzu tělesem	$ms^{-1}$
$T_{me}$	Obecně čas, zde čas průchodu impulzu tělesem	s nebo $\mu s$
$T_{kor}$	Korekční, tzv. mrtvý čas při ultrazvukovém měření	$\mu s$
$T_E$	Čas průchodu impulzu etalonem	$\mu s$
$\nu_{cu}$	Poissonův součinitel daného materiálu	-
$\nu_L$	Impulzová rychlost podélného UZ vlnění	$ms^{-1}$ nebo $kms^{-1}$
$\nu_T$	Impulzová rychlost příčného UZ vlnění	$ms^{-1}$ nebo $kms^{-1}$
$k$	Součinitel jednorozměrného prostředí	-
$E_{cu}$	Dynamický modul pružnosti v tlaku nebo tahu	MPa
$\lambda_L$	Délka vlny impulzu UZ vlnění	m

$f_{be}$	Pevnost v tlaku s nezaručenou přesností	MPa
$R_f$	Pevnost v tahu za ohybu	MPa
b	Šířka vzorku nebo zkoušeného tělesa	mm nebo m
h	Výška vzorku nebo zkoušeného tělesa	mm nebo m
l	Délka vzorku nebo zkoušeného tělesa	mm nebo m
F	Limitní zatížení vzorku silou, při kterém dojde k jeho destrukci	N; kN
M	Ohybový moment	Nm
W	Průřezový modul	$m^3$
A	Plocha obecně, zde plocha na vzorku, která je zatížena	$m^2$
$\beta$	Přidrženost	kPa
ČSN	Česká státní norma	-
HBW	Luminiscenční referenční hodnota (světelnost) je stupeň odrazu barevného tónu mezi černým bodem (=0) a bílým bodem (=100)	-
$\theta$ nebo t	Teplota	$^{\circ}C$
NDT	Non Destructive Testing - nedestruktivní (nepoškozující) testování vzorků	-
$R_c$	Pevnost v tlaku s nezaručenou přesností	MPa



## 12. PŘÍLOHY

### Seznam příloh

- P1 - Testy Vicatovým přístrojem - počátek a konec tuhnutí
- P2 - Určení počátku a konce tuhnutí Vicatovými zkouškami
- P3 - Zkouška tuhnutí - Weber therm technik a Weber tevamin tmel Z
- P4 - Zkouška tuhnutí - Weber therm mínus 7 a Weber therm klasik
- P5 - Zkouška tuhnutí - Baunit Duocontact a Baunit Procontact
- P6 - Zkouška tuhnutí - Baunit Klebepachtel Speed a Stomix S1P
- P7 a P8 - Vyhodnocení nasákavosti hmot - výpočtová část
- P9 - Ultrazvuková impulsová metoda - zcela vysušené vzorky - tabulka a výpočtová část
- P10 - Výsledky ultrazvukového měření - hmoty plně vysušené
- P11 - Ultrazvuková impulsová metoda - vzorky přirozeně vlhké - tabulka a výpočtová část
- P12 - Výsledky ultrazvukového měření - hmoty přirozeně vlhké
- P13 - Ultrazvuková impulsová metoda - plně nasycené vzorky - tabulka a výpočtová část
- P14 - Výsledky ultrazvukového měření - hmoty plně nasycené
- P15 - Zkouška tahem za ohybu - výsledky a výpočty
- P16 - Zkouška pevnosti v tlaku - výsledky a výpočty
- P17 a P18 - Výsledky zkoušky přídržnosti vrstvy k podkladu
- P19, P20, P21 a P22 - Vyhodnocení zkoušek rázem - výpočty a výsledky
- P23 - Zkouška mrazuvzdornosti - úbytek materiálu při zmrazování - tabulka a výpočtová část
- P24 - Technický list hmoty - Baunit Duocontact
- P25 - Technický list hmoty - Baunit Procontact
- P26 - Technický list hmoty - Baunit Klebepachtel Speed
- P27 - Technický list hmoty - Weber.therm Klasik
- P28 - Technický list hmoty - Weber.therm Technik
- P29 - Technický list hmoty - Weber.therm Elastik Z
- P30 - Technický list hmoty - Weber.therm Mínus 7
- P31 - Technický list hmoty - Stomix S1P
- P32 - Průměrná teplota v průběhu roku 2010
- P33 - Průměrná teplota v průběhu roku 2011
- P34 - Průměrné teploty v průběhu roku 2012
- P35 - Průměrná teplota v průběhu roku 2013
- P36 - Tabulka hodnot teplot a vlhkosti v průběhu období 1. 10. 2010 až 31. 12. 2010
- P37 - Tabulka hodnot teplot a vlhkosti v průběhu období 1. 1. 2011 až 31. 12. 2011
- P38 - Tabulka hodnot teplot a vlhkosti v průběhu období 1. 1. 2012 až 31. 12. 2012
- P39 - Tabulka hodnot teplot a vlhkosti v průběhu období 1. 1. 2013 až 30. 6. 2013
- P40 - Základní technologické údaje použití hmot pro základní vrstvu
- P41 - Tabulka potřebného množství vody pro směs „standardní“ hustoty