



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.

Technical and Test Institute for Construction Prague

Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Certifikační orgán, Inspekční orgán
Accredited Testing Laboratory, Authorised Body, Notified Body, Certification Body, Inspection Body
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic pobočka 0600 - Brno, Hněvkovského 228/77, 617 00 Brno

Pobočka 0600 – Brno

TECHNICKÁ ZPRÁVA

**posouzení hodnoty odolnosti proti protažení hmoždinky
v závislosti na tepelné izolace na v ETICS**

č. 060-040526

Zadavatel: **Cech pro zateplování budov ČR, o.s.
Střední škola technická, Zelený pruh 1294/50
147 08 Praha 4**

IČ: **49467689**

Zakázka: **Z060140044**

Předkládá: **Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.
190 00 Praha, Prosecká 811/76a
pobočka 0600 – Brno, 617 00 Brno, Hněvkovského 228/77**

Počet stran včetně příloh: **20**

Zpracovatelé: **Ing. Miroslav Procházka**
Ing. Karel Kalivoda, Ph.D.

Brno, 22. prosince 2014



1. Předmět zprávy

Tato zpráva byla zpracována na základě zadání Cechu pro zateplování budov na vyhodnocení výsledků zkoušek a vyvození závěrů z protokolů 060-039939 a 060-040283 vydaných 30.9. 2014 a 16.12. 2014 TZÚS Praha, s.p., pobočka Brno. Konkrétně byl vznesen požadavek na návrh stanovení maximálního přetvoření izolantu při zkoušce protažení izolantem

2. Úvod

Tato zpráva se zabývá hodnotami odolnosti mechanických upevňovadel (talířových hmoždinek pro ETICS podle ETAG 014), proti protažení tepelněizolačním materiálem.

Zabývá se vlivem tloušťky a tuhosti tepelné izolace na hodnotu odolnosti proti protažení.

Dále se zabývá vlivem velikosti talířku na hodnotu odolnosti proti protažení.

Zadáním sdružení CZB bylo zhodnotit zda provedením zkoušek odolnosti proti protažení lze dosáhnout vyšších hodnot a zda-li jsou tyto hodnoty aplikovatelné pro výpočet množství upevňovacích prostředků podle ČSN 762902, resp. jaké je reálné navýšení hodnot při protažení upevňovacích prostředků skrz izolant s ohledem na přetvoření dvou nejčastěji používaných materiálů EPS a MW.

Pro zkoušky byly použity ocelové makety hmoždinek o průměru 60 a 90 mm.

Vzhledem k tomu, že hodnoty odolnosti proti protažení při posouzení ETICS před uvedením na trh byly od začátku posuzovány ETICS stanovovány na nejmenších tloušťkách tepelné izolace 50 až 60 mm, ale bez záznamu deformace, byly tyto tloušťky použity jako referenční a byly porovnány s hodnotami stanovenými na tloušťce 100mm.



3. Metodika zkoušení a posouzení

Zkoušky byly provedeny podle:

- zkouška podle ETAG 004, článek 5.1.4.2.1 - Zkouška protažení hmoždinek izolantem
- EN1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky
- EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení objemové hmotnosti

Vzhledem k tomu, že ČSN 73 2902 umožňuje navrhování mechanického upevnění jen na základě odolnosti proti protažení v ploše desky tepelné izolace, byla zkoušky prováděny pouze v tomto uspořádání. Tím byl současně eliminován rozptyl výsledků, ke kterému dochází při protažení izolantem ve spáře.

Pro zkoušky byly zvoleny hmoždinky s absolutní tuhostí talířku. Jednalo se o kovovou maketu hmoždinky za účelem eliminace vlivu tuhosti a únosnosti hmoždinky na výsledky zkoušek.

Pro použité materiály tepelné izolace byla stanovena pevnost v tahu (zkouška podle EN 1607) a objemová hmotnost (zkouška podle EN 1602).

Pro účely vyhodnocení v závěru této zprávy byly použity také obecné zkušenosti, které získali pracovníci TZÚS, s.p. při další práci s touto problematikou.

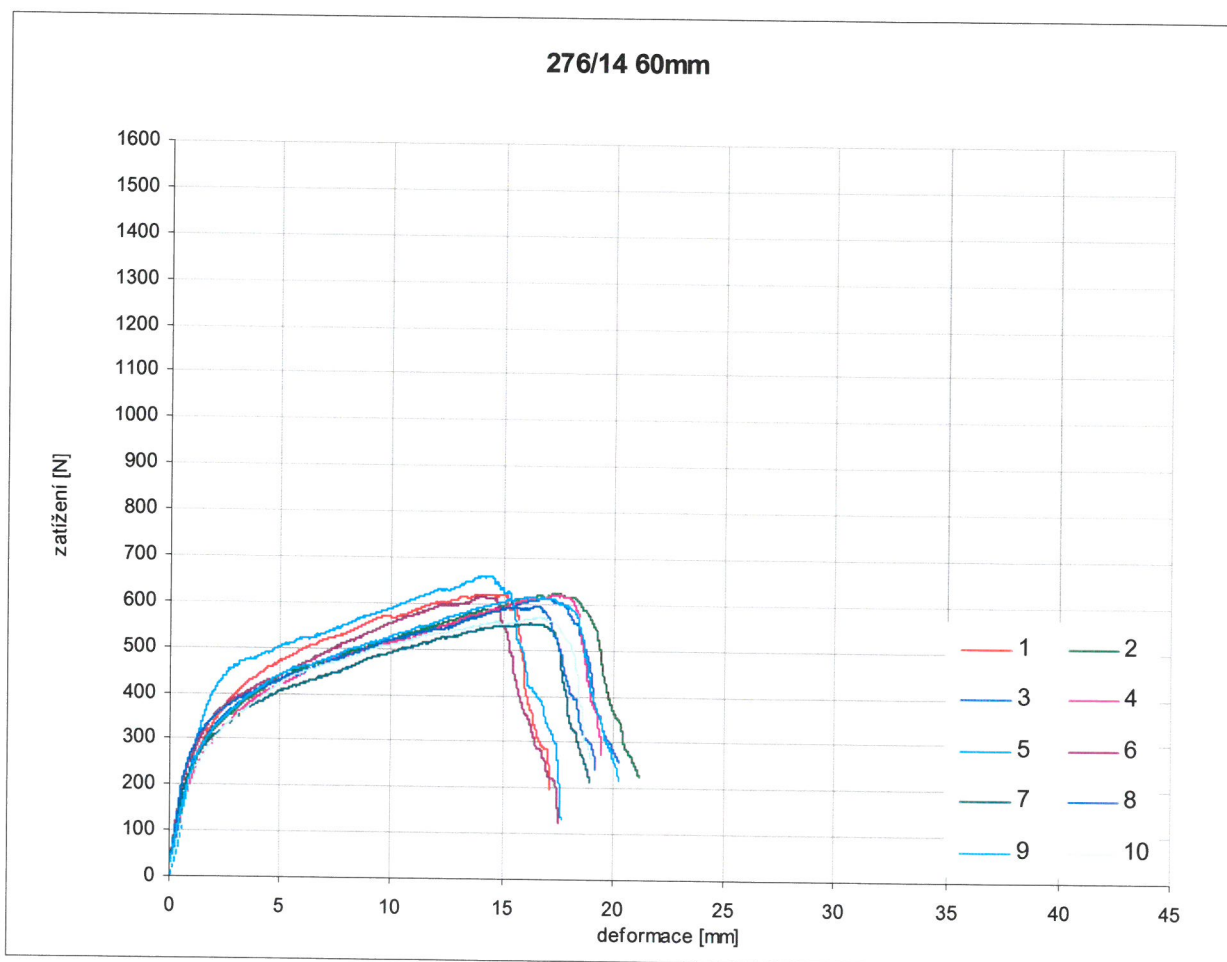


4. Výsledky zkoušek a komentář

V grafu je zobrazen průběh deformace (v mm na vodorovné ose) v závislosti na zvyšující se síle (v N na svislé ose). V horní části grafu je laboratorní číslo vzorku a průměr talířku ocelové hmoždinky v mm.

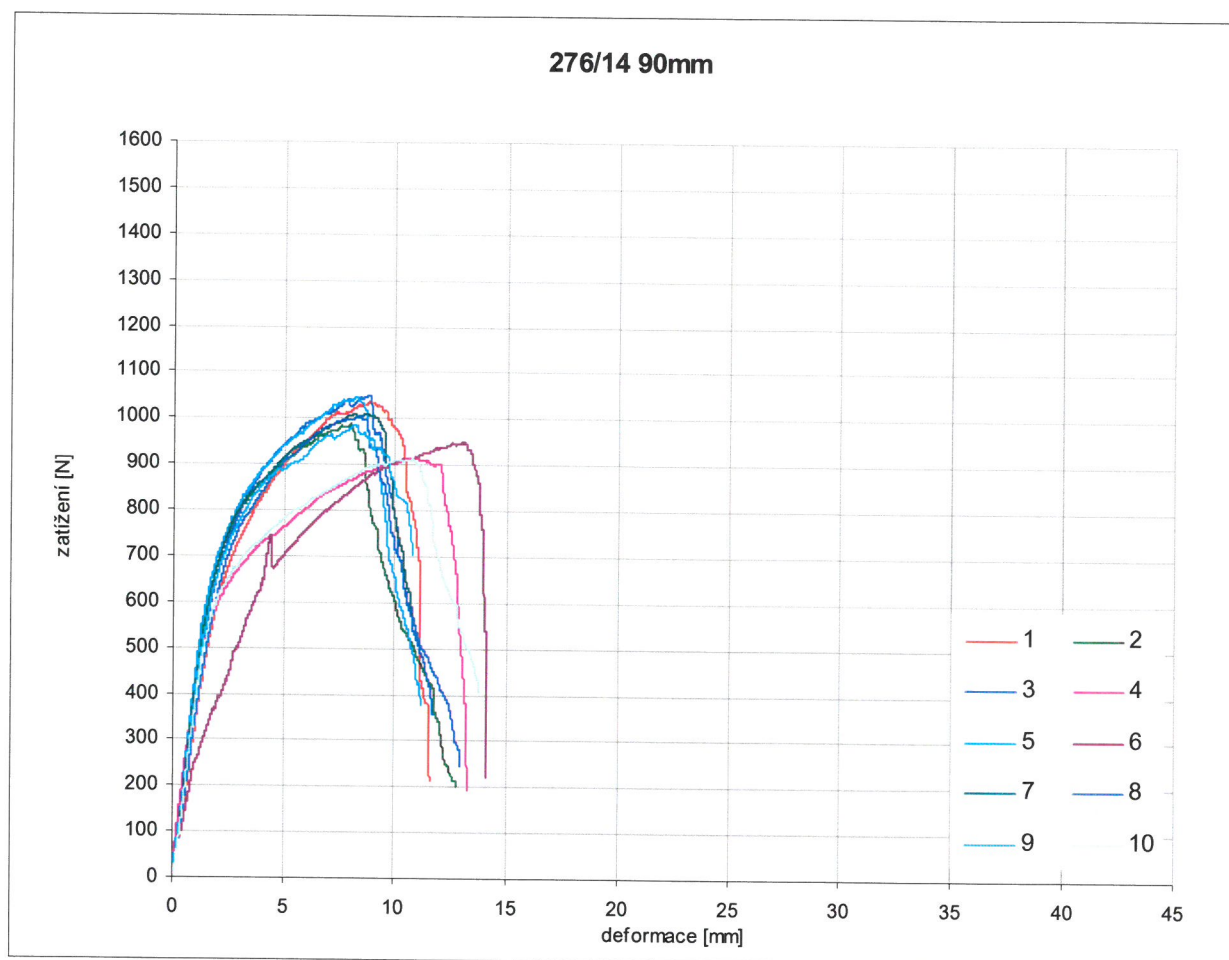
Bylo provedeno minimálně 10 zkoušek v sérii a jednotlivé zkoušky jsou na grafu vyznačeny barevně.

Pod grafem je tabulka ve které je uveden typ izolantu a jeho tloušťka, pevnost v tahu kolmo k rovině desky, objemová hmotnost



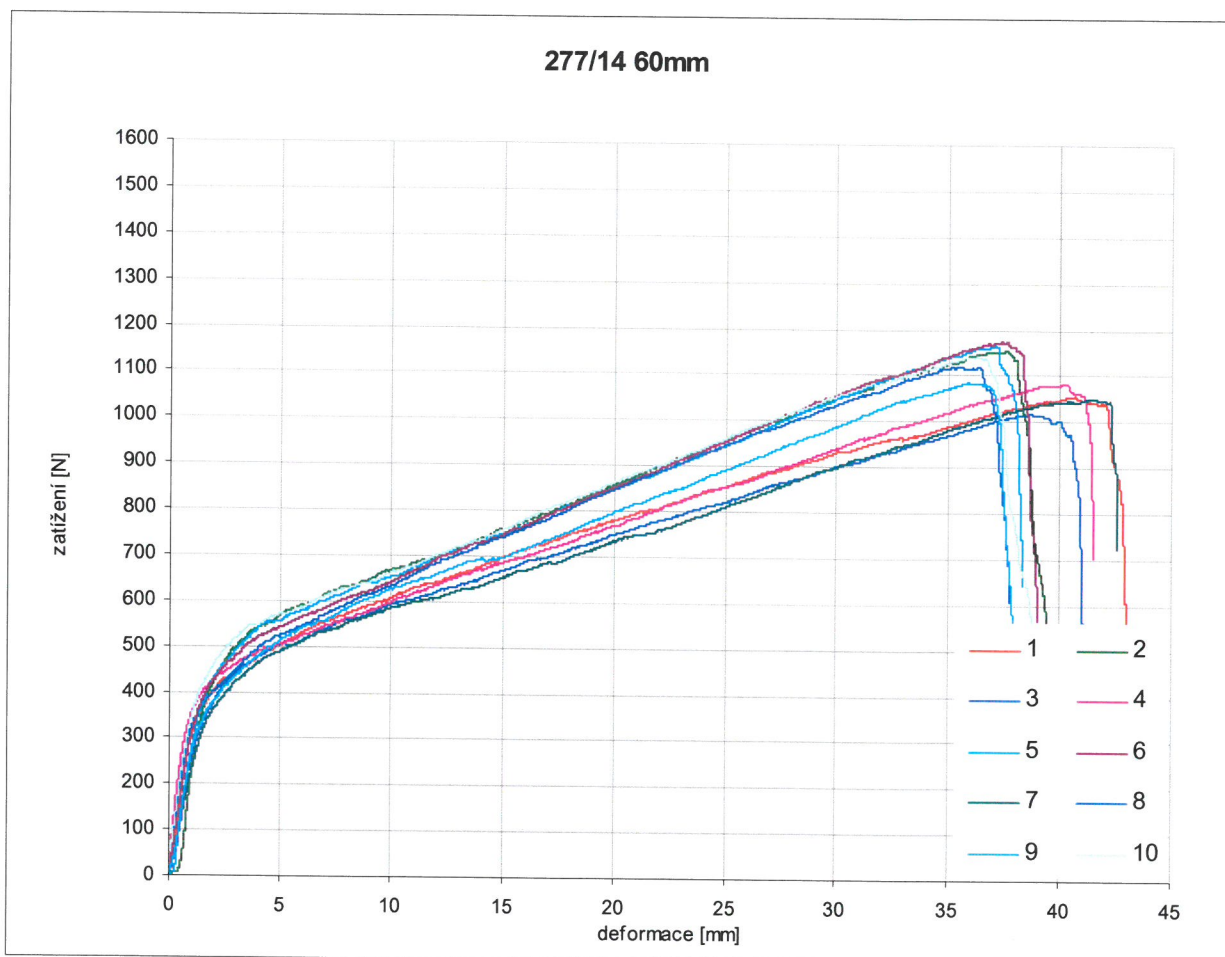
EPS TR 150	Objemová hmotnost	19,6 kg/m ³
tloušťka 60 mm	Pevnost v tahu	180,1 kPa





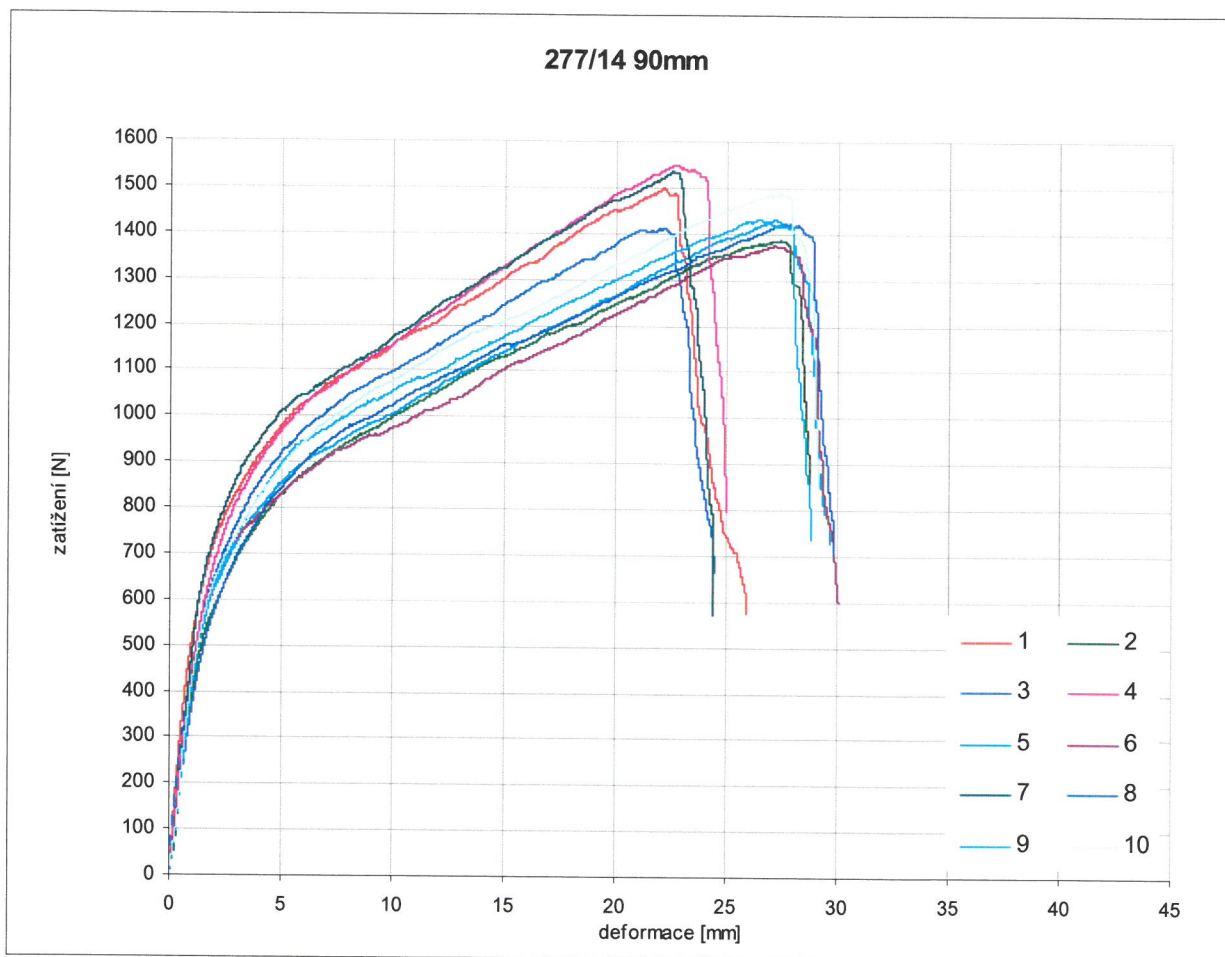
EPS TR 150	Objemová hmotnost	19,6 kg/m ³
tloušťka 60 mm	Pevnost v tahu	180,1 kPa





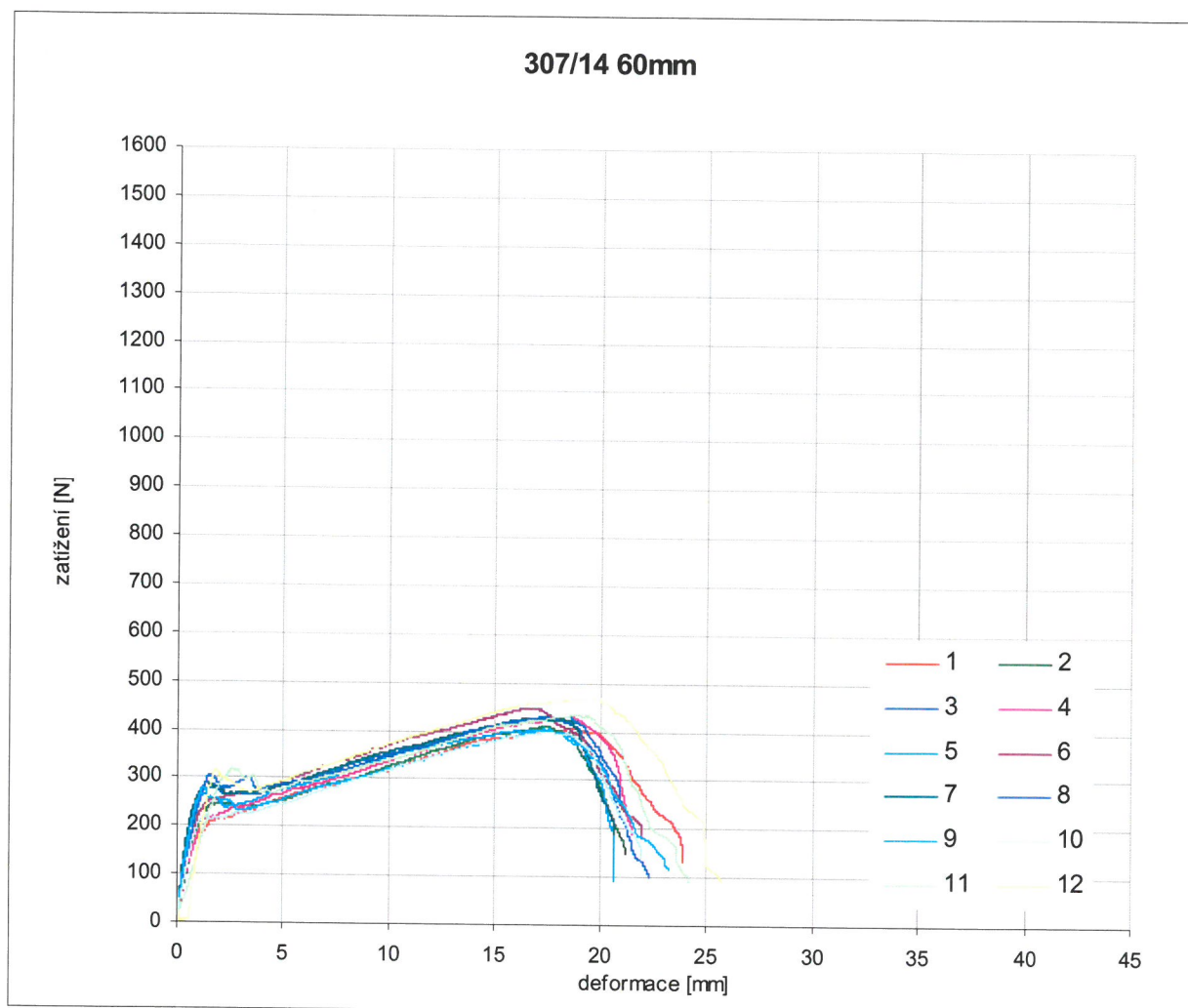
EPS TR 150	Objemová hmotnost	16,2 kg/m ³
tloušťka 100 mm	Pevnost v tahu	183,5 kPa





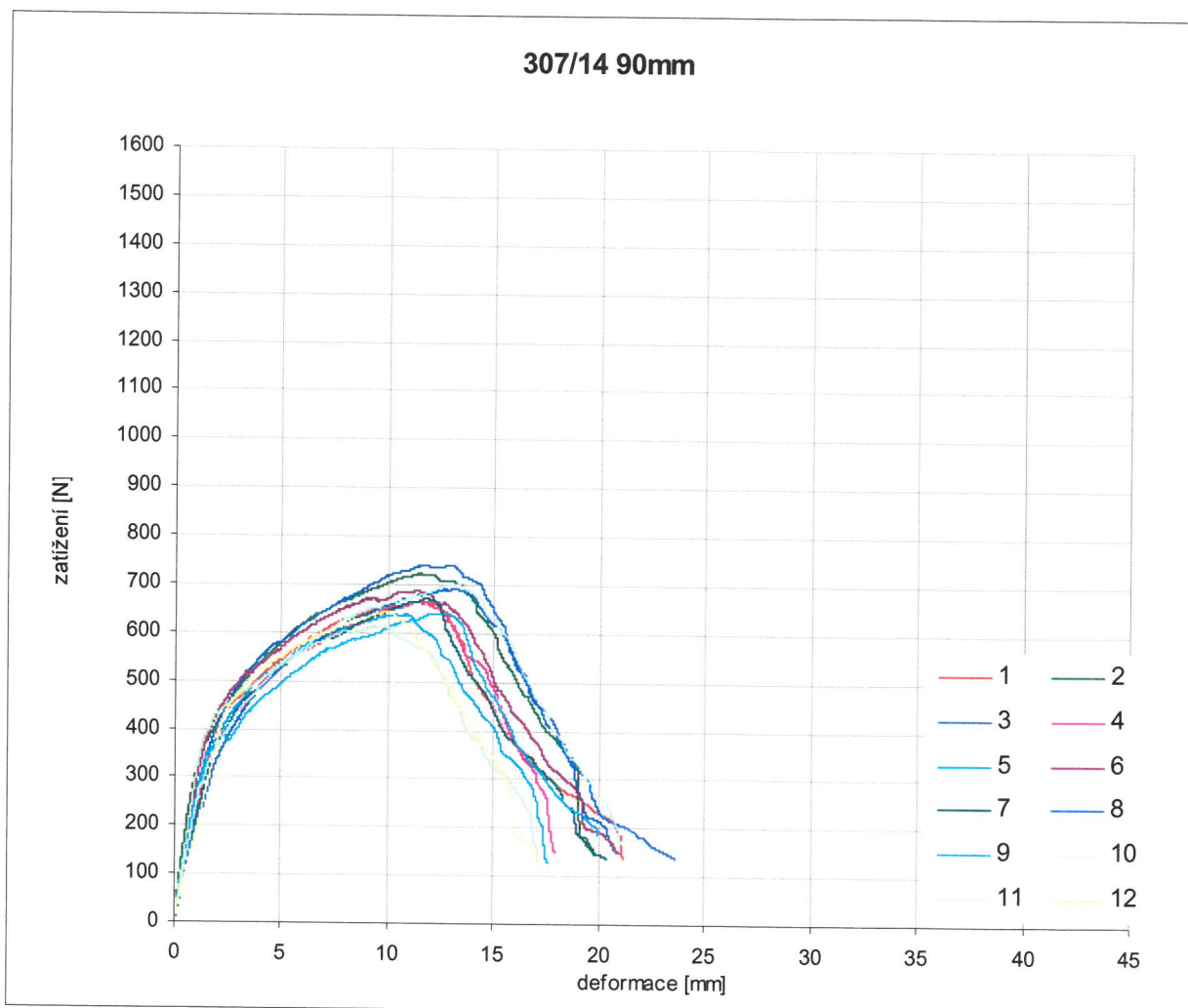
EPS TR 150	Objemová hmotnost	16,2 kg/m ³
tloušťka 100 mm	Pevnost v tahu	183,5 kPa





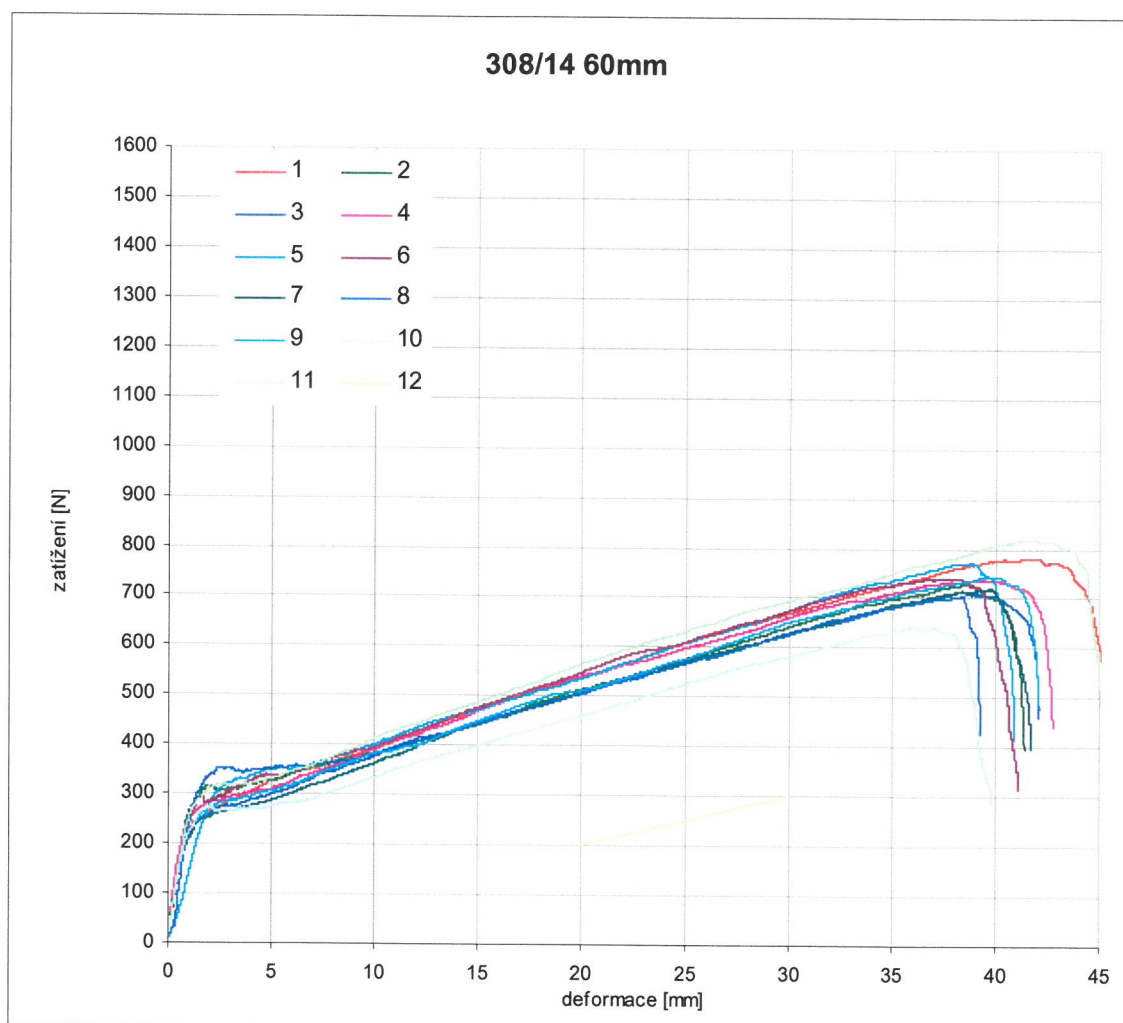
EPS TR 100	Objemová hmotnost	11,6 kg/m ³
tloušťka 60 mm	Pevnost v tahu	113,3 kPa





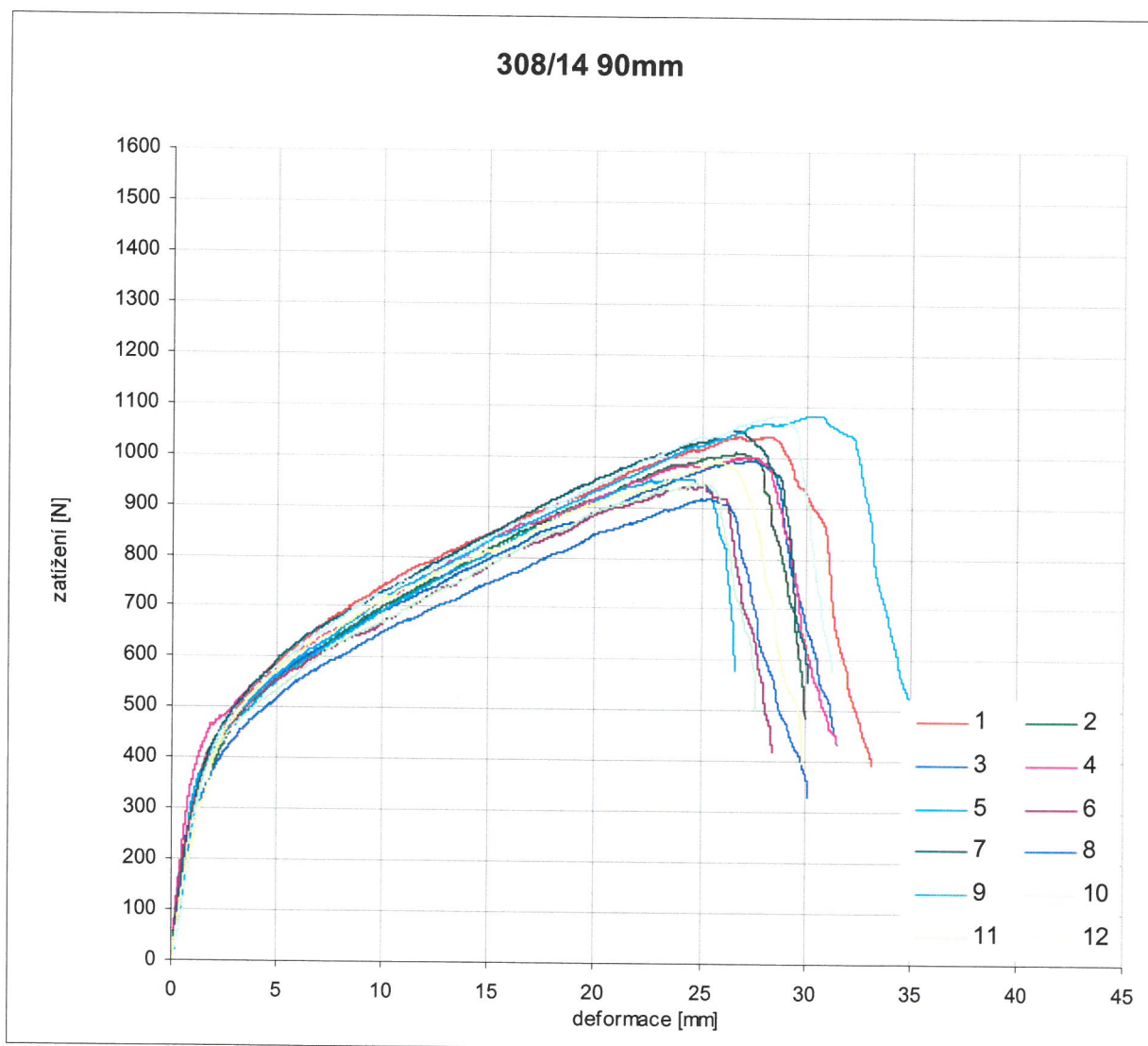
EPS TR 100	Objemová hmotnost	11,6 kg/m ³
tloušťka 60 mm	Pevnost v tahu	113,3 kPa





EPS TR 100	Objemová hmotnost	11,5 kg/m ³
tloušťka 100 mm	Pevnost v tahu	96,6 kPa





EPS TR 100	Objemová hmotnost	11,5 kg/m ³
tloušťka 100 mm	Pevnost v tahu	96,6 kPa



5. Zhodnocení výsledků zkoušek

Provedené zkoušky spolu s obecnými zkušenostmi vedou k následující závěru:

- ze zkoušek plyne, že v důsledku větší tloušťky desky dochází ke zvýšení odolnosti proti protažení hmoždinky u EPS 70 F (a tužších), ale nelze kalkulovat s maximální dosaženou silou vzhledem k nepřijatelné deformaci povrchu tepelné izolace pod talířkem hmoždinky
- zjištěný posun při zkoušce není reálnou hodnotou deformace ETICS, ke které dochází na budovách při zatížení větrem, což odpovídá dlouhodobé zkušenosti s aplikacemi ETICS a jejich mechanickým upevňováním
- u dlouhodobě používaných tloušťek EPS (50 až 60 mm) a tím i dosahovaných sil (cca do 450 N) je podle zkušeností z reálných konstrukcí tato deformace zřejmě v přijatelných mezích
- s ohledem na běžně používané „historické“ hodnoty stanovené na tloušťkách izolantu 50 a 60 mm, lze z grafického průběhu deformace / síla při zkouškách odvodit, že deformace při návrhové hodnotě odolnosti proti protažení podle ČSN 73 2902 by neměla překročit 7 až 8 mm
- hodnota přijatelné deformace byla stanovena nepřímo podle dlouhodobých zkušeností s chováním ETICS o tloušťce izolantu 50 (60) mm podle toho, že maximální hodnoty stanovené na těchto tloušťkách byly minimálně po 2 desetiletí používány bez zřejmých vad a byly tak ověřeny v čase.
- hodnoty ze zkušebních protokolů na stanovení odolnosti proti protažení upevňovacích protokolů, jsou platné pouze pro hmoždinky s tuhostí talířku stejnou nebo větší než byla zkoušená hmoždinka.
- únosnost talířku musí být větší než je maximální hodnota stanovená při protažení hmoždinky daným izolantem;
- pro hmoždinky s nižší tuhostí talířku nižší než u hmoždinky použité při zkoušce protažení se zkouška musí opakovat nebo se použije nejvyšší hodnota daná tuhostí talířku v případě již odzkoušeného izolantu;
- hmoždinka s rozšiřujícím talířkem musí být posouzena jako celek v rámci ETA pro hmoždinku; doporučuje se zavést zkoušku k ověření účinnosti rozšiřujícího talířku
- při zkoušení větších tloušťek izolantu se významněji projevuje tuhost a únosnost talířku hmoždinky, které mohou být limitujícím prvkem pro odolnost ETICS vůči sání větru;
- při interpretaci závěrů této zprávy je třeba pamatovat na skutečnost, že odolnosti proti protažení na větších tloušťkách izolantu se již blíží hodnotám výtažných sil z podkladu (charakteristickým hodnotám uváděným v ETA pro hmoždinky)



5.1 Doporučení pro další zkoušky

Na základě výše zjištěných skutečností a vyvozených závěrů lze formulovat následující doporučení pro další práci:

- ověřit vliv opakovaného (dynamického) namáhání v uvažovaném teoretickém modelu navržených součinitelů na chování ETICS při zatížení větrem
- navrhnout a ověřit zkušební postup k ověření účinnosti rozšiřujícího talířku hmoždinky
- ověřit závěry zprávy (hodnoty navržené soustavy součinitelů) i pro jiné EPS dodávané v rámci systému ETICS



6. Model zvýšení hodnot protažení

6.1 Návrh postupu

Podle dlouhodobých zkušeností ETICS zhotovené z EPS třídy TR 150 tloušťky 60 mm (případně 50 mm) a upevněné hmoždinkami s talířkem 60 mm dlouhodobě fungují bez zřejmých vad, způsobených zatížením větrem.

Při uvažování součinitelů podle ČSN 73 2902, a to součinitele pro charakteristickou hodnotu k_k o velikosti 0,8 a součinitele bezpečnosti upevnění $\gamma_{M,b}$ o velikosti 1,2, to podle grafického průběhu závislosti síla / deformace, stanoveného při zkouškách, odpovídá deformaci při zkoušce cca 7 až 8 mm.

Této úrovni deformace je přizpůsobeno celé další vyhodnocení. V prvním kroku bylo provedeno stanovení síly pro daný typ zkoušky, odpovídající deformaci cca 5 až 7 mm, které částečně zohlednilo i grafický průběh deformace.

V některých případech bylo nutné z důvodu průběhu závislosti deformace / síla uvažovat sílu při menší deformaci. V tom případě se vycházelo z maximální průměrné hodnoty síly. Stanovené hodnoty síly jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1 Talířek průměru 60 mm

TR	tloušťka mm	talířek mm	$R_{\text{panel,test}}$ N	k_k	$\gamma_{M,b}$	$R_{d,732902}$ N	$R_{d,red}$ N	deformace při $R_{d,red}$ mm
150	60	60	609	0,80	1,2	406	406	cca 6
150	100	60	1104	0,80	1,2	736	515	cca 4
100	60	60	429	0,80	1,2	286	286	cca 3
100	100	60	736	0,80	1,2	491	343	cca 4

Tab. 2 Talířek průměru 90 mm

TR	tloušťka mm	talířek mm	$R_{\text{panel,test}}$ N	k_k	$\gamma_{M,b}$	$R_{d,732902}$ N	$R_{d,red}$ N	deformace při $R_{d,red}$ mm
150	60	90	990	0,80	1,2	660	660	cca 3
150	100	90	1452	0,80	1,2	968	968	cca 6
100	60	90	680	0,80	1,2	453	453	cca 3
100	100	90	1001	0,80	1,2	667	667	cca 7

Z porovnání hodnot redukované odolnosti proti protažení lze pro EPS odvodit více závislostí.

6.1.1 Porovnání se statistickým vyhodnocením

V prvním kroku bylo provedeno porovnání hodnot stanovených z přijatelné deformace s hodnotami stanovenými statistickým postupem z maximálních hodnot odolnosti proti protažení v okamžiku porušení.



Tab. 3 Statistické hodnocení výsledků zkoušek

Třída TR	--	TR 150				TR 100			
Tloušťka	mm	60		100		60		100	
Průměr talířku	mm	60	90	60	90	60	90	60	90
Jednotlivé hodnoty max. síly při protažení	N	621	912	1056	1498	406	722	781	1041
		623	1036	1152	1385	411	741	729	1008
		613	988	1017	1412	429	664	714	993
		619	1049	1082	1549	431	639	737	999
		660	914	1164	1430	448	686	771	956
		615	1045	1173	1374	426	673	740	942
		557	949	1050	1536	431	692	719	1051
		596	1011	1119	1419	405	640	704	916
		617	1007	1084	1431	435	701	743	1081
		571	987	1140	1486	468	643	644	1081
								818	948
									991
Počet n	--	10	10	10	10	10	10	11	12
Průměr	N	609	990	1104	1452	429	680	736	1001
sigma(n)	N	29	50	54	61	19	35	45	54
Variační součinitel	%	4,8	5,1	4,9	4,2	4,5	5,1	6,2	5,4
$k_n, p=0,95$	--	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	2,82	2,74
Garantovaná hodnota síly	N	525	843	947	1273	373	579	609	852
$\gamma(M,b)$	--	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Návrhová hodnota síly z garantované	N	437	703	789	1061	311	482	507	710
Očekávaná deformace při návrhové hodnotě	mm	5	3	19	9	8	4	19	11
Doporučená hodnota síly podle deformace (viz tab. 1 a 2)	N	406	660	515	968	286	453	343	667
Očekávaná deformace při doporučené hodnotě	mm	4	3	5	7	4	3	7	8

Součinitel k_n byl odečten pro neznámou hodnotu směrodatné odchylky základního souboru z tabulky 6 normy ISO 12491 pro hladinu významnosti 0,95 a kvantil 5 %.

Návrhové hodnoty odolnosti proti protažení, stanovené ze statisticky vyhodnocené hodnoty garantované hodnoty odolnosti podle jednotlivých maximálních hodnot jsou vyšší než hodnoty stanovené podle grafu z přijatelné deformace cca 7 mm. Rozdíl se pohybuje od cca 5 až do cca 50 % nižších hodnot, velikost rozdílu narůstá s tloušťkou izolace a se snižující se třídou TR, pro talířky průměru 60 mm je větší než pro talířky průměru 90 mm.

Lze proto konstatovat, že prosté statistické vyhodnocení odolnosti proti protažení z maximálních sil při zkoušce není dostačující a musí být korigováno podle třídy TR, tloušťky izolace a průměru talířku.



6.1.2 Závislost na průběhu deformace podle zkoušené tloušťky izolantu

Z poměru odolnosti proti protažení, stanovené pro danou tloušťku a daný průměr talířku lze stanovit míru redukce, nutnou z průběhu deformace při zkoušce.

Tab. 4 Talířek průměru 60 mm

TR	tloušťka mm	talířek mm	$R_{\text{panel,test}}$ N	k_k	$\gamma_{M,b}$	$R_{d,732902}$ N	$R_{d,\text{red},7\text{mm}}$ N	$R_{d,732925} / R_{d,\text{red},7\text{mm}}$
150	60	60	609	0,80	1,2	406	406	1,00
150	100	60	1104	0,80	1,2	736	515	0,700
100	60	60	429	0,80	1,2	286	286	1,00
100	100	60	736	0,80	1,2	491	343	0,698

Tab. 5 Talířek průměru 90 mm

TR	tloušťka mm	talířek mm	$R_{\text{panel,test}}$ N	k_k	$\gamma_{M,b}$	$R_{d,732902}$ N	$R_{d,\text{red},7\text{mm}}$ N	$R_{d,732925} / R_{d,\text{red},7\text{mm}}$
150	60	90	990	0,80	1,2	660	660	1,00
150	100	90	1452	0,80	1,2	968	968	1,00
100	60	90	680	0,80	1,2	453	453	1,00
100	100	90	1001	0,80	1,2	667	667	1,00

Redukční součinitel κ_{red}^1 , kterým se upraví výsledek zkoušky, se aplikuje následovně, k třídě TR se nepřihlíží:

$$R_{\text{panel}} = \kappa_{\text{red}} \times R_{\text{panel,test}}$$

$R_{\text{panel,test}}$ je průměrná hodnota maximální síly při protažení, zjištěná zkouškou

R_{panel} je hodnota odolnosti proti protažení použitá pro další výpočty podle ČSN 73 2902

Tab. 6 Redukční součinitel κ_{red}

Tloušťka mm	Talířek průměru 60 mm	Talířek průměru 90 mm
60	1,00	1,00
80	0,85	1,00
100	0,70	1,00
120 a více	0,55	0,90

Hodnoty součinitele κ_{red} pro tloušťku 120 mm a vyšší jsou stanoveny odborným odhadem na základě znalosti destrukčně plastického chování EPS při zkoušce odolnosti proti protažení.

Doporučuje se omezit max. tloušťku EPS, použitou pro zkoušku odolnosti proti protažení, na 100 mm.

¹ poznámka: κ = kappa



6.1.3 Závislost podle zkoušené tloušťky izolantu

Z poměru odolnosti proti protažení, stanovené pro danou tloušťku a daný průměr talířku lze stanovit závislost síly na tloušťce následovně:

Tab. 7 Závislost na průběhu deformace podle tloušťky

tloušťka mm	Talířek průměru 60 mm			Talířek průměru 90 mm		
	TR	R _{d,red} N	poměr R _{d,100} /R _{d,60} mm	TR	R _{d,red} N	poměr R _{d,100} /R _{d,60} mm
60	150	406	--	150	660	--
100	150	515	1,268	150	968	1,467
60	100	286	--	100	453	--
100	100	343	1,199	100	667	1,472

Obecně lze závislost odolnosti proti protažení na tloušťce bez ohledu na třídu TR vyjádřit vztahem

$$R_{d,TL} = k_{TL} \times R_{d,60}$$

kde součinitel k_{TL} vyjadřuje vztah mezi odolností proti protažení stanovené na tloušťce 60 mm a na tloušťce skutečně použité. Hodnoty součinitele k_{TL} lze stanovit následovně:

Tab. 8 Součinitel k_{TL} podle tloušťky a průměru talířku

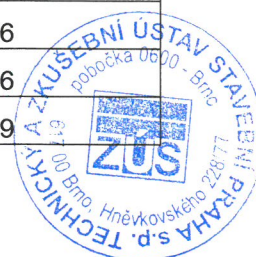
tloušťka mm	Talířek průměru 60 mm	Talířek průměru 90 mm
60	1,00	1,00
80	1,10	1,20
100	1,25	1,45
120 a více	1,25	1,45

6.1.4 Závislost na třídě TR

Z poměru odolnosti proti protažení, stanovené pro danou tloušťku a daný průměr talířku lze odvodit závislost na třídě TR.

Tab. 9 Závislost na třídě TR

EPS tloušťka	talířek	R _{d,TR150}	R _{d,TR100}	k _{TR}
mm	mm	N	N	--
60	60	406	286	0,704
100	60	515	343	0,666
60	90	660	453;	0,686
100	90	968	667	0,689



Obecně lze závislost odolnosti proti protažení na třídě TR vyjádřit vztahem

$$R_{d,100} = c_{TR} \times R_{d,150} = 2/3 \times R_{d,150}$$

Pro jiné třídy TR je nutné stanovit součinitel c_{TR} samostatně.

6.1.5 Závislost na průměru talířku hmoždinky

Dále lze z provedených zkoušek odvodit pro EPS i závislost odolnosti proti protažení na průměru talířku hmoždinky. Podmínkou je, aby účinnost talířku průměru 60 mm i 90 mm při přenosu síly byly dostatečné a podobné. Možný vztah vyplývá z následující tabulky:

Tab. 10 Závislost odolnosti proti protažení v EPS na průměru talířku

TR	tloušťka mm	talířek mm	$R_{d,red,60}$ N	talířek mm	$R_{d,red,90}$ N	poměr početně
150	60	60	406	90	660	1,63
150	100	60	515	90	968	1,88
100	60	60	286	90	453	1,58
100	100	60	343	90	667	1,95

Obecně lze závislost odolnosti proti protažení na průměru talířku při dostatečné účinnosti talířku (navrhuje se tuhost talířku c rovna nebo vyšší než $0,7 \text{ kN.mm}^{-1}$) vyjádřit vztahem, platným pro danou tloušťku:

$$R_{d,TL,90} = k_D \times R_{d,TL,60}$$

kde součinitel k_D nabývá hodnot bez ohledu na třídu TR podle následující tabulky:

Tab. 11 Součinitel průměru k_D podle tloušťky

tloušťka mm	součinitel k_D
60	1,60
80	1,75
100	1,90
120 a více	1,90

Poznámka:

Pro použití hmoždinky o tuhosti talířku c nižší než $0,7 \text{ kN.mm}^{-1}$ lze uvažovat se snížením odolnosti proti protažení v závislosti na tuhosti talířku. Míru závislosti je nutné stanovit.



6.2 Návrh doporučení pro revizi normy ČSN 73 2902 a další postup

Podle předběžných propočtů lze jednotlivé součinitele vzájemně kombinovat za přijatelné chyby menší než cca 15 až 20 % a provádět tak převod hodnoty odolnosti proti protažení mezi jednotlivými tloušťkami EPS, třídou TR i průměrem talířku. Postup se doporučuje dále prověřit.

Při přípravě revize ČSN 73 2902 lze doporučit následující kroky:

- zavést redukční součinitel K_{red} , vyjadřující nutnou míru úpravy maximální síly při protažení, dosažené zkouškou, v závislosti na zkoušené tloušťce z důvodu destrukčně plastického přetvoření EPS o větších tloušťkách při zkoušce
- odolnost proti protažení definovat v normě jako hodnotu platnou v případě EPS pro třídu TR 150, tloušťku 60 mm (příp. 50 mm) a hmoždinku s talířkem průměru 60 mm a tuhostí nejméně $0,7 \text{ kN}\cdot\text{mm}^{-1}$, pro jiné hodnoty s nutností přepočtu
- navrhnout úpravy v posouzení mechanického upevnění ETICS z EPS v závislosti na tloušťce tepelné izolace, třídě TR a průměru a tuhosti talířku hmoždinky pomocí součinitelů k_{TL} (podle tloušťky) c_{TR} (podle třídy TR) případně k_D (podle průměru talířku)
- navrhnout, ověřit a zavést metodiku zkoušení účinnosti talířku o průměru 90 mm (případně i 60 mm), přitom účinností talířku se rozumí jeho schopnost přenášet sílu z dřívku hmoždinky do tepelné izolace při přijatelné deformaci na obvodu talířku
- doporučuje se omezit max. tloušťku EPS, použitou pro zkoušku odolnosti proti protažení, na 100 mm.

Poznámka: označení jednotlivých doporučených součinitelů se doporučuje významově, výslovností i vzhledově odlišit tak, aby se co nejvíce omezila možnost jejich záměny



7. Závěr

Na základě návrhu postupu při vyhodnocování odolnosti proti protažení lze stanovit několik zásad:

- při větších tloušťkách tepelné izolace z EPS lze při návrhu mechanického upevnění ETICS uvažovat se zvýšenou hodnotou odolnosti proti protažení
- stanovení případné zvýšené hodnoty odolnosti proti protažení musí z podmínek, za kterých byla provedena původní zkouška
- hodnoty odolnosti proti protažení původně stanovené na tloušťce 60 (případně 50) mm a pro průměr talířku 60 mm lze pro tloušťku 100 mm a větší navýšit o 25 % (případně pro tloušťku 80 mm o 10 %), za podmínky použití hmoždinky s dostatečnou tuhostí talířku:
 - pro průměr talířku 60 mm tuhost talířku $0,6 \text{ kN.mm}^{-1}$
 - pro průměr talířku 90 mm tuhost talířku $0,9 \text{ kN.mm}^{-1}$
- hodnoty odolnosti proti protažení stanovené na tloušťce větší než 60 (50) mm platí pouze pro tu tloušťku, na které byla zkouška provedena, pro jiné tloušťky tepelné izolace se tyto hodnoty musí korigovat, ke korekci se použijí navržené hodnoty součinitele κ_{red} podle tabulky 6

