	Podniková norma			16-2-15
Charakteristika strukturně lehčených PP desek a stěnových prvků				
IMG Bohemia, s.r.o. Průmyslová 798 391 02 Planá nad Lužnicí Divize vstřikování	Vypracoval: Podpis: Schválil: Podpis:	Ing. Vlastimil Hruška  Ing. František Kůrka	Verze: Vydáno: Účinnost: Vytlačeno: Tento dokument je řízen v elektronické podobě	2/15 12. 3. 2015 12. 3. 2015

Tato technická norma vychází z ČSN EN 1778 (05 6825): "Základní charakteristiky svařovaných konstrukcí z termoplastů - Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů". EN 1778: 1999. Platí od 2001-10-01. Norma ČSN EN 1778 uvádí metodu pro stanovení charakteristických hodnot nutných pro výpočet svařovaných konstrukcí jako jsou na př. nádoby a vany, ventilační vedení a zařízení. Normu je možné použít pro širokou oblast termoplastů na př. Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinyl Chlorid (PVC), Polyvinyliden Fluorid (PVDF). Příloha A pak uvádí minimální hodnoty pro určité typy těchto materiálů. Použití jiného termoplastu je povoleno za předpokladu, že jeho kríповé vlastnosti přesahují minimální hodnoty uvedené v příloze A pro známé materiály. Vlastnosti mají být určeny dle platných ISO a EN standardů.

## 1. ROZSAH

IMG BOHEMIA s.r.o. je výrobcem velkoplošných desek a stěnových prvků ze strukturně lehčeného PP, které vyhovují certifikátům uvedeným v příloze 3<sup>1</sup>. Tyto díly jsou využívány, mimo jiné, jako základní polotovary pro výrobu obdobných svařovaných konstrukcí jaké jsou citovány v normě ČSN EN 1778.

Pro navrhování a dimenzování svařovaných konstrukcí ze strukturně lehčeného PP bylo nutné stanovit potřebné charakteristiky a to v souladu s postupem uvedeným v ČSN EN 1778.

Vzhledem ke specifickým vlastnostem strukturně lehčených plastů, připravovaných výhradně technologií vstřikování, bylo nutné modifikovat postupy uvedené v normativních odkazech (viz. odst. 2) ČSN EN 1778, neboť minimální tloušťka stěny výrobku je větší než 6 mm a fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou proměnné po průřezu.

## 2. NORMATIVNÍ ODKAZY

ČSN EN ISO 899-1	Plasty-Stanovení kríповého chování-Část 1: Kríp v tahu.
ČSN EN ISO 179	Plasty-Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy.
ČSN EN ISO 294	Plasty-Vstřikování zkušebních těles z termoplastů.
ČSN EN ISO 527	Plasty-Stanovení tahových vlastností.
ISO/TR 9080	Thermoplastics pipes for the transport of fluids - Methods of extrapolation of hydrostatic stress rupture data to determine the long-term hydrostatic strength of thermoplastics pipe materials.
ISO 1167	Thermoplastics pipes for the conveyance of fluids - Resistance to internal pressure - Test method.
ISO 8584-1	Thermoplastics pipes for industrial applications under pressure - Determination of the chemical resistance factor and of the basic stress- Part 1: Polyolefin pipes.
ČSN P ENV 1991-1	Zásady Navrhování a zatížení konstrukcí. Část 1: Zásady navrhování.
ČSN 73 1601	Plastové konstrukce. Základní ustanovení pro navrhování.

1

Stěnový prvek modul 20 odpovídá hladké desce tloušťky 10 mm (viz. příloha 3 certifikát č. 164/00/07/02/0).

Stěnový prvek modul 25 odpovídá hladké desce tloušťky 15 mm (viz. příloha 3 certifikát č. 114/00/07/02/0).

### 3. DEFINICE, SYMBOLY A ZKRATKY

K Časová pevnost při dané teplotě a čase [MPa]<sup>2</sup>

E<sub>c</sub> Kríповý modul při daných podmínkách (teplota, napětí, čas) [MPa]

E<sub>cm</sub> Kríповý modul matricového materiálu při daných podmínkách (teplota, napětí, čas) [MPa]

E<sub>cstr</sub> Kríповý modul strukturně lehčeného materiálu při daných podmínkách (teplota, napětí, čas) [MPa]

ρ<sub>str</sub> střední objemová hmotnost strukturně lehčeného PP [kg/m<sup>3</sup>]

ρ<sub>m</sub> střední objemová hmotnost matricového materiálu [kg/m<sup>3</sup>]

μ Poissonův poměr

A<sub>1</sub> redukční faktor uvažující změnu houževnatosti s teplotou

A<sub>2K</sub> redukční faktor uvažující vliv okolního media (převrácená hodnota resistantního faktoru f<sub>cRσ</sub>)

f<sub>cRσ</sub> napětově závislý resistantní faktor

A<sub>2E</sub> redukční faktor uvažující vliv okolního media na modul pružnosti

f<sub>s</sub> krátkodobý faktor svařování

f<sub>1</sub> dlouhodobý faktor svařování

S faktor bezpečnosti

T teplota [°C]

t čas [hod]

σ napětí [MPa]

<sup>2</sup>

MPa = N/mm<sup>2</sup>

## 4. STANOVENÍ DOVOLENÉHO NAPĚTÍ A MODULŮ

### 4.1 OBECNĚ

Dle odstavce 4. ČSN EN 1778, konkrétně 4.1 je konstatováno, že výpočty komponent vychází z dlouhodobých hodnot. V závislosti na způsobu zatížení existují obecně tři kritéria, dle kterých je prováděn výpočet:

1. Napětí
2. Deformace (např. průhyb)
3. Stabilita (např. boulení po krátké resp. dlouhé době)

Výpočet napětí představuje řešení stavu víceosé napjatosti a musí operovat s danými hodnotami časové pevnosti. Maximální napětí nesmí překročit spolehlivou hodnotu časové pevnosti.

Spolehlivé resp. dovolené hodnoty se obdrží použitím opravných faktorů, které závisí na materiálu, faktoru vlivu spojení a bezpečnostním faktoru.

Hodnoty pro výpočet na stabilitu a deformaci jsou moduly tečení. Tyto hodnoty jsou vzaty pro daný materiál v závislosti na teplotě a čase z příslušných diagramů.

Pro řešení stabilních problémů se použijí odpovídající koeficienty bezpečnosti.

#### 4.1.1 Výpočet na pevnost

Dle 4.1.1 ČSN EN 1778 je dovolené napětí stanoveno z časové pevnosti, redukčních faktorů, faktoru vlivu spojení a bezpečnostního faktoru.

Hodnota časové pevnosti  $K$  se stanoví pro dané provozní podmínky tj. čas a teplotu buď dle diagramu uvedených v příloze A1.1 ČSN EN 1778 nebo je určena v souladu s ISO/TR9080.

Odstavec 4.1.1.1 ČSN EN 1778 pak popisuje křivky časové pevnosti - životností křivky a jejich stanovení dle ISO/TR9080. Křivky časové pevnosti ukazují závislost pevnosti jako funkci času a teploty. Tyto křivky se stanovují dlouhodobou zkouškou vnitřním přetlakem na trubkách naplněných vodou a představují minimální hodnoty ve smyslu ISO 1167. Minimální hodnoty pro jiné polotovary musí být rovny nebo větší než jsou hodnoty určené na trubkách.

Jiné materiály než ty, které jsou specifikovány na obr. A.1 až A.12 ČSN EN 1778 mohou být vzaty do úvahy pouze v tom případě, jsou-li provedeny příslušné testy dle ISO/TR 9080.

Strukturně lehčené PP jsou zpracovávány technologií vstřikování a to na velkoplošné deskové elementy a nelze je tedy běžně získat ve formě trubek. Z tohoto důvodu bylo nutné modifikovat aplikaci normy ISO/TR 9080 a to s ohledem na zkušební objekty. Trubky byly nahrazeny kruhovými výřezy (funkční průměr 200 mm) z hladkých desek [1]. V příloze 1 jsou pro stanovení dovoleného napětí uvedeny životnostní křivky pro strukturně lehčený PP a tloušťku 15 mm.

#### 4.1.2 Výpočet na stabilitu a deformaci

V odstavci 4.1.2 ČSN EN 1778 je konstatováno, že pro termoplasty je použit kríповý modul ( $E_c$ ) namísto elastického modulu pružnosti, který je používán v teoretické mechanice. Kríповý modul závisí na čase, napětí a teplotě. Může též záviset na prostředí (zvláště v případech, kdy substance má bobtnající účinek; pro tyto případy musí být charakteristické hodnoty stanoveny). Pro dané materiály, je kríповý modul stanoven pro příslušné podmínky z kríповých křivek, které jsou uvedeny v ČSN EN 1778 na obr.A.13 až A.27, nebo jsou stanoveny dle ISO 899-2. Takto stanovený modul je použit pro výpočet na stabilitu a pro stanovení deformace.

Pro strukturně lehčený PP bylo nutné modifikovat postup uvedený v ČSN EN ISO 899 [2]. Pro stanovení hodnot modulu pružnosti v tahu pro různé časy, teploty a napětí strukturně lehčeného PP bylo využito vztahu (1)

$$\frac{E_{cstr}}{E_{cm}} = 0.96 * \left( \frac{\rho_{str}}{\rho_m} \right)^{1,38} \quad (1)$$

Tento vztah platí pro hodnoty kríповého modulu v tahu. Pro kríповý modul v ohybu lze použít přepočtu dle vztahu (2).

$$E_{cstr. (ohyb)} = 1.06 * E_{cstr. (tah)} \quad (2)$$

Hodnoty krípvých modulů v tahu pro strukturně lehčený PP v závislosti na teplotě, čase a tloušťce desky jsou uvedeny v tabulkovém a grafickém zpracování v příloze 2.

## 5. REDUKČNÍ FAKTORY

### 5.1.1 Redukční faktor $A_{2K}$

Dle ČSN EN 1778 faktor  $A_{2K}$  kvalifikuje efekt pracovního media na časovou pevnost termoplastů. Je stanoven jako převrácená hodnota napětově závislého faktoru  $f_{CR0}$  ( $f_{CR0}$  je určen pro termoplasty dle ISO 8584-1). Jiná media než ta, která jsou uvedena v A.1.3 ČSN EN 1778 mohou být vzata do úvahy jsou-li provedeny experimenty se stejnými nebo podobnými medii, stejným materiálem nebo jsou-li dostupné testy ve shodě s ISO 8584-1.

### 5.1.2 Redukční faktor $A_{2E}$

Redukční faktor dle ČSN EN 1778 je roven jedné mimo medií způsobujících bobtnání. Pro tyto případy (uvedeno v poznámce 9, A.1.3) je nutné faktor  $A_{2E}$  určit dle příslušných testů.

*Poznámka ke stanovení redukčních faktorů  $A_{2K}$  a  $A_{2E}$  pro strukturně lehčený PP.*

Redukční faktory  $A_{2K}$  a  $A_{2E}$  stanovené dle ISO 8584-1 nejsou dosud pro strukturně lehčený PP k dispozici. Pro orientační posouzení lze využít poznatků ze zprávy [3], které lze shrnout do následujících závěrů.

**Chování strukturně lehčeného polypropylenu v podmínkách termooxidačního stárnutí.** Na základě zkoušek termooxidačního stárnutí na vzduchu při 100°C a následného hodnocení vybraných mechanických vlastností kompaktního a strukturně lehčeného PP bylo konstatováno:

- Testované soubory ze strukturně lehčeného PP vykazují velmi dobrou odolnost proti porušení termooxidační destrukcí při teplotách do 100°C. Po 215 dnech termooxidačního stárnutí dochází za těchto podmínek namáhání k mírnému zkřehnutí a snížení tažnosti polymeru, související s částečnými změnami v jeho chemické struktuře.
- Pokud se týká srovnání strukturně lehčeného polypropylenu a polymeru s kompaktní strukturou z hlediska jejich chování za podmínek termooxidačního stárnutí, není mezi těmito dvěma makrostrukturně odlišnými typy polypropylenu významného rozdílu.

**Odolnost strukturně lehčeného polypropylenu proti korozi za napětí.** Kompaktní polypropylen ve srovnání s jinými polyolefiny nevykazuje tak výraznou náchylnost ke křehkému porušení korozi za napětí. Pro ověření tohoto chování byly provedeny zkoušky statické únavy na zkušebních tělesech ze strukturně lehčeného PP o různé hmotnosti (735 a 653 kg/m<sup>3</sup>) a to v prostředí 10% Igepalu Co 630 při teplotě 80°C, expozici 50 dní. Po expozici byla provedena zkouška rázové houževnatosti. Naměřená data neindukovala změny svědčící o rozvoji korozně-napětových trhlin. Bylo konstatováno, že pórovitá makrostruktura je velmi dobře odolná proti vzniku a šíření křehkých korozně-napětových defektů vyvolaných povrchově aktivními látkami. *Byla potvrzena skutečnost, že obecně vyšší odolnost kompaktního polypropylenu proti korozi za napětí platí i pro strukturně lehčený PP.*

**Odolnost strukturně lehčeného polypropylenu v korozním prostředí chemicky agresivních minerálních látek.** Porovnáván byl kompaktní materiál a strukturně lehčený a to: (i) 8% ní kyselina sírová, doba expozice 210 dnů, teplota 23°C; objemová hmotnost lehčeného materiálu 834 a 709 kg/m<sup>3</sup> (ii) 55% ní a 20% ní kyselina dusičná, doba expozice 160 dnů, teplota 23°C; objemová hmotnost lehčeného materiálu 782 a 641 kg/m<sup>3</sup>. Pro hodnocení byly vybrány následující mechanické vlastnosti: pevnost v tahu, tažnost, tvrdost a rázová houževnatost. Z provedených zkoušek jednoznačně vyplynulo, že *strukturně lehčený polypropylen nevykazuje horší chemickou odolnost proti agresivnímu účinku minerálních kyselin než kompaktní polypropylen. Naopak v případě látek se silnou schopností pronikat dovnitř polymerních těles (kyselina dusičná) je odolnost pórovité makrostruktury lehčeného PP proti tomuto koroznímu prostředí prokazatelně vyšší.*

Na základě těchto skutečností lze redukční faktor  $A_{2K}$  a  $A_{2E}$  uvažovat stejný jako pro příslušný typ kompaktního PP. Pro faktor  $A_{2K}$  platí tabulka A.1.3 z ČSN EN 1778 a faktor  $A_{2E} = 1$ .

## 5.2 REDUKČNÍ FAKTOR $A_1$

(Jako funkce teploty a rázové houževnatosti pro jednotlivé materiály).

Tabulka 1 v ČSN EN 1778 udává hodnoty tohoto faktoru pro vybrané materiály. Dále je konstatováno, že pro ostatní materiály je nutné tento faktor stanovit dle přílohy B. Tato příloha se odvolává na normu ISO 179/eA. Pro strukturně lehčený PP byl stanoven tento koeficient ve smyslu normy ISO 179 a to konkrétně pro nevrubované zkušební těleso pro kompaktní materiál a materiál strukturně lehčený PP, tloušťky 10, 15 a 20 mm [5].

Příloha B ČSN EN 1778 definuje hodnotu  $A_1 = 1$  jako hodnotu vrubové houževnatosti rovnou 16 KJ/m<sup>2</sup> při 23°C.

Pro strukturně lehčený PP byl zaveden obdobný faktor, vycházející z jednoduché úvahy, že o tuto hodnotu musíme snížit dovolené zatížení, tudíž hodnoty vyšší než jsou hodnoty při 23°C nás z tohoto pohledu nezajímají. Položíme tedy  $A_1 = 1$  pro hodnotu rázové houževnatosti strukturně lehčeného PP při 23°C (tabulka 5.2.1)

Tabulka 5.2.1.: Redukční faktor  $A_1$  pro strukturně lehčený PP. (Stanoveno pro Mosten 52.522).

Tloušťka desky [mm]	Teplota [°C]	
	23	- 10
10	1	1.4
15	1	1.8
20	1	1.7

## 6. FAKTOR SPOJENÍ (SVAŘOVACÍ FAKTOR)

V ČSN EN 1778 jsou v tabulce 2 uvedeny hodnoty ( $f_s$  a  $f_t$ ) pouze pro spojení svařováním a to pro několik způsobů svařování. Uvedené faktory předpokládají dodržení podmínek svařování včetně kvalifikovaného personálu.

Krátkodobé faktory ( $f_s$ ) je možné použít pro časy zatížení do 1 hodiny. Takže pro navrhování a dimenzování mohou být použity pouze dlouhodobé faktory ( $f_t$ ).

Pro strukturně lehčený PP jsou k dispozici hodnoty ( $f_s$ )<sup>3</sup> [4] a hodnoty ( $f_t$ )<sup>4</sup>.

Tabulka 6.1. Krátkodobý faktor ( $f_s$ ) a dlouhodobý faktor ( $f_t$ ) pro strukturně lehčený PP

Polypropylen	Svařovací faktor	
	Krátkodobý $f_s$	Dlouhodobý $f_t$
Způsob svařování		
pistolí	0,8	0,9
extruderem	0,6	0,9
zrcadlem	0,7	0,8

## 7. FAKTOR BEZPEČNOSTI

Je definován v odstavci 7 ČSN EN 1778, konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3 ČSN EN 1778. Vzhledem k tomu, že dané faktory bezpečnosti vycházejí z typu zatížení a jeho důsledků na konstrukci, je možné takto definované faktory použít i pro konstrukce ze strukturně lehčených PP (viz. tabulka 7.1).

Tabulka 7.1.: Faktor bezpečnosti S

Typ zatížení		S
Typ zatížení 1	Statické zatížení při normální teplotě a konstantních podmínkách. V případě porušení nemůže dojít k poškození osob, věcí a prostředí	1.3
Typ zatížení 2	Zatížení za alternativních podmínek (na př. teplota, úroveň plnění). V případě porušení může dojít k poškození osob, věcí a prostředí	2.0

Pro výpočet na stabilitu (viz. odstavec 4.1.2) použij minimálně faktor bezpečnosti 2. Může být povoleno zvlášť uvažovat vlivy excentricity a nekruhovosti.

## 8. POISSONŮV POMĚR

Nad rámec hodnot citovaných v ČSN EN 1778 byla stanovena pro strukturně lehčený PP hodnota Poissonova poměru  $\mu$  (viz. tabulka ). Postup je uveden ve zprávě [5].

Tabulka 8.1.: Hodnota Poissonova poměru

Materiál	tloušťka [mm]	$\mu$
Mosten 52.522 - kompaktní	4	0.406
Mosten 52.522 - strukturně lehčený	10	0.419
	15	0.435
	20	0.419

Koeficient  $f_s$  byl stanoven dle výsledků uvedených v [4]. Konkrétně bylo použito výsledků zkoušky tahem pro V a X svar.

<sup>4</sup> koeficient  $f_t$  byl stanoven dle výsledků uvedených v [6].

## 9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Životnostní křivky pro strukturně lehčený PP tloušťky 15 mm.

Příloha 2: Tabulkové zpracování stanovených hodnot kríповých modulů.

Příloha 3: Výrobní certifikáty.

## 10. POUŽITÁ LITERATURA

E. Nezbedová, J. Kučera: Stanovení časové pevnosti desek v ohybu. Výzkumná zpráva č.A 4299, r. 2001. Silon a.s. Planá nad Lužnicí.

E. Nezbedová, J. Kučera: Podklady pro statický výpočet dílů ze strukturně lehčeného PP. Stanovení kríповého modulu v tahu. Výzkumná zpráva č. A 3999, r. 2000. Silon a.s. Planá nad Lužnicí.

E. Nezbedová: Sborník o fyzikálních vlastnostech strukturních termoplastů. Výzkumná zpráva SVUM Z-80-4470.

D. Čenčák: Výskum technologie zvaranie štruktúrne lahčeného PP. Výskumná správa č. 3480/442/ I. a II. 1984-5.

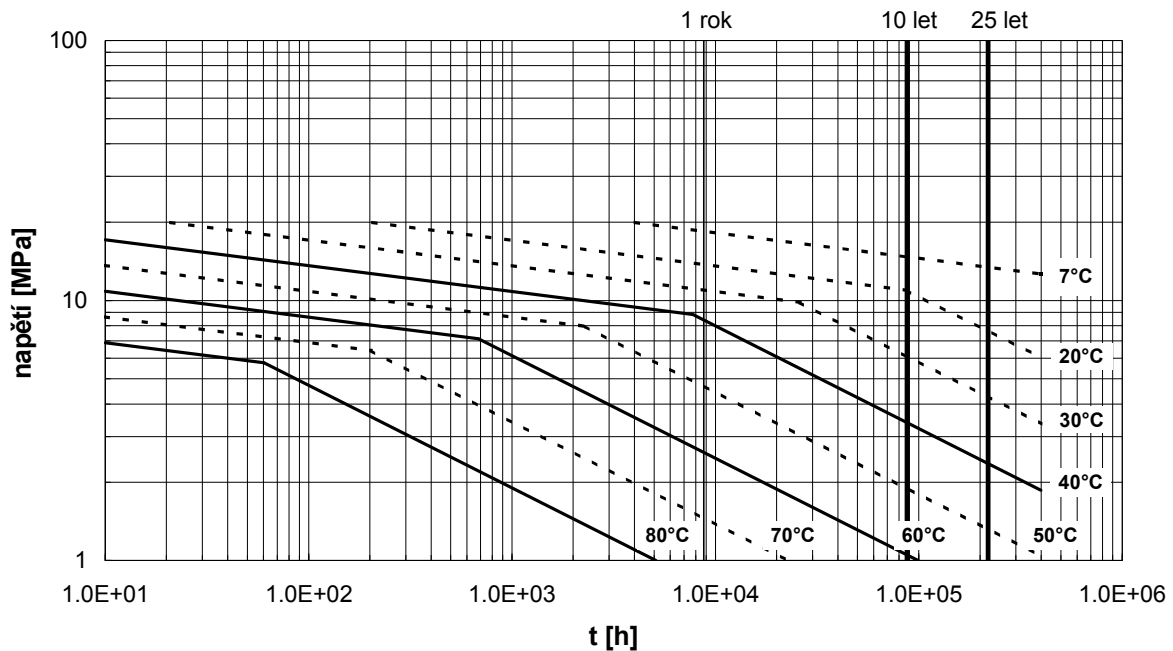
E. Nezbedová, J. Kučera: Podklady pro statický výpočet dílů ze strukturně lehčeného PP. Část II. Výzkumná zpráva č. A2800, r.2000. Silon a.s. Planá nad Lužnicí.

E. Nezbedová: Stanovení dlouhodobého součinitele svaru. Říjen 2002

J. Kučera: Apendix ke zprávě [1]. Duben 2003, Silon a. s. Planá nad Lužnicí.

**Příloha 1:** Životnostní křivky pro strukturně lehčený PP tloušťky 15 mm.

Životnostní data jsou uvedena na základě výsledků zprávy [7]

**Provozní životnost - lehčené PP desky, tloušťka 15 mm**


Obr. 1 Křivky (přímky) životnosti pro desku tloušťky 15 mm ze strukturně lehčeného PP Mosten 52.522. Jedná se o spodní mezní hodnoty stanovené z meze predikčního intervalu Q99 pro lineární regresi.

Extrapolací byly stanoveny hodnoty časové pevnosti pro vybrané teploty.

**Tabulka 1:** Hodnoty časové pevnosti pro desku tloušťky 15 mm ze strukturně lehčeného PP.

Teplota [°C]	Čas [rok]	Časová pevnost [MPa]
7	10	14.7
	25	13.4
20	10	10.9
	25	7.6
30	10	6.1
	25	4.2
40	10	3.4
	25	2.4



**Příloha 2:** Tabulkové zpracování stanovených hodnot kríповých modulů

Mosten 52.522 s průměrnou hustotou 826kg.m<sup>-3</sup> (odpovídá 10 mm desce). Kompaktní materiál s průměrnou hustotou 910 kg.m<sup>3</sup>.

**teplota 20°C - 10 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5MPa	
	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]
čas										
0.01 h	1890	1580	1900	1590	2110	1770	2050	1720	1780	1490
0.1 h	1510	1270	1510	1270	1640	1380	1590	1340	1350	1130
1 h	1210	1010	1210	1010	1280	1080	1240	1040	1020	860
10 h	960	810	960	810	1000	840	960	810	780	650
100 h	770	650	770	640	780	660	750	630	600	500
1000 h	620	520	610	510	610	510	580	490	450	380
1 rok	500	420	490	420	480	410	460	380	350	290
10 roků	400	340	390	330	380	320	360	300	260	220
25 roků	370	310	360	300	340	290	320	270	240	200

**teplota 30°C - 10 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5 MPa	
	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]
čas										
0.01 h	1490	1250	1490	1250	1430	1200	1360	1140	1330	1120
0.1 h	1280	1080	1260	1060	1210	1020	1160	970	1110	930
1 h	1040	880	1020	860	980	820	930	780	880	740
10 h	820	690	800	670	760	640	710	600	660	560
100 h	630	530	610	510	580	490	530	450	490	410
1000 h	480	400	450	380	430	360	390	330	350	300
1 rok	370	310	340	290	330	280	290	240	260	220
10 roků	280	240	250	210	250	210	210	180	190	160
25 roků	250	210	220	190	220	190	190	160	160	140

**teplota 40°C - 10 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5 MPa	
	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]	E <sub>m</sub> [MPa]	E <sub>str</sub> [MPa]
čas										
0.01 h	1250	1050	1090	910	1140	960	1120	940	1250	1050
0.1 h	1040	880	910	760	940	790	940	790	1000	840
1 h	840	700	730	610	740	620	740	620	760	640
10 h	660	550	560	470	560	470	560	470	560	470
100 h	520	440	430	360	410	340	410	350	410	340
1000 h	410	340	320	270	300	250	310	260	290	250
1 rok	330	280	250	210	220	180	230	190	220	180
10 roků	270	220	180	150	160	130	170	140	160	140
25 roků	250	210	160	140	140	120	150	120	140	120

Mosten 52.522 s průměrnou hustotou 716kg.m<sup>-3</sup> (odpovídá 15 mm desce). Kompaktní materiál s průměrnou hustotou 910 kg.m<sup>3</sup>.



## Charakteristika strukturně lehčených PP desek a stěnových prvků

**teplota 20°C - 15 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5MPa	
	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]
0.01 h	1890	1300	1900	1310	2110	1450	2050	1410	1780	1230
0.1 h	1510	1040	1510	1040	1640	1130	1590	1100	1350	930
1 h	1210	830	1210	830	1280	890	1240	850	1020	710
10 h	960	660	960	660	1000	690	960	660	780	540
100 h	770	530	770	530	780	540	750	520	590	410
1000 h	620	420	610	420	610	420	580	400	450	310
1 rok	500	340	490	340	480	330	460	320	350	240
10 roků	400	280	390	270	380	260	360	250	260	180
25 roků	370	250	360	250	340	240	320	220	240	160

**teplota 30°C - 15 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5MPa	
	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]
0.01 h	1490	1030	1490	1030	1430	990	1360	940	1330	920
0.1 h	1280	880	1260	870	1210	840	1160	800	1110	770
1 h	1040	720	1020	710	980	680	930	640	880	610
10 h	820	560	800	550	760	530	710	490	660	460
100 h	630	430	610	420	580	400	530	370	490	340
1000 h	480	330	450	310	430	300	390	270	350	240
1 rok	370	250	340	240	330	230	290	200	260	180
10 roků	280	190	250	170	250	170	210	150	190	130
25 roků	250	170	220	150	220	150	190	130	160	110

**teplota 40°C - 15 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5MPa	
	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]
0.01 h	1250	860	1090	750	1140	790	1120	770	1250	860
0.1 h	1040	720	910	630	940	650	940	650	1000	690
1 h	840	580	730	500	740	510	740	510	760	530
10 h	660	460	560	390	560	380	560	390	560	390
100 h	520	360	430	300	410	280	410	290	410	280
1000 h	410	280	320	220	300	210	300	210	290	200
1 rok	330	230	250	170	220	150	230	160	220	150
10 roků	270	180	180	130	160	110	170	120	160	110
25 roků	250	170	160	110	140	100	150	100	140	100

## Charakteristika strukturně lehčených PP desek a stěnových prvků

Mosten 52.522 s průměrnou hustotou  $621 \text{ kg.m}^{-3}$  (odpovídá 20 mm desce). Kompaktní materiál s průměrnou hustotou  $910 \text{ kg.m}^{-3}$ .

**teplota 20°C - 20 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5 MPa	
	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]
0.01 h	1890	1070	1900	1080	2110	1200	2050	1160	1780	1010
0.1 h	1510	850	1510	860	1640	930	1590	900	1350	760
1 h	1210	680	1210	680	1280	730	1240	700	1020	580
10 h	960	550	960	550	1000	570	960	540	780	440
100 h	770	440	770	440	780	440	750	420	590	330
1000 h	620	350	610	350	610	350	580	330	450	250
1 rok	500	280	490	280	480	270	460	260	350	200
10 roků	400	230	390	220	380	210	360	200	260	150
25 roků	370	210	360	200	340	190	320	180	240	130

**teplota 30°C - 20 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5 MPa	
	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]
0.01 h	1490	850	1490	850	1430	810	1360	770	1330	750
0.1 h	1280	730	1260	710	1210	690	1160	660	1110	630
1 h	1040	590	1020	580	980	550	930	530	880	500
10 h	820	460	800	450	760	430	710	400	660	380
100 h	630	350	610	340	580	330	530	300	490	280
1000 h	480	270	450	260	430	250	390	220	350	200
1 rok	370	210	340	190	330	190	290	170	260	150
10 roků	280	160	250	140	250	140	210	120	190	110
25 roků	250	140	220	130	220	130	190	110	160	90

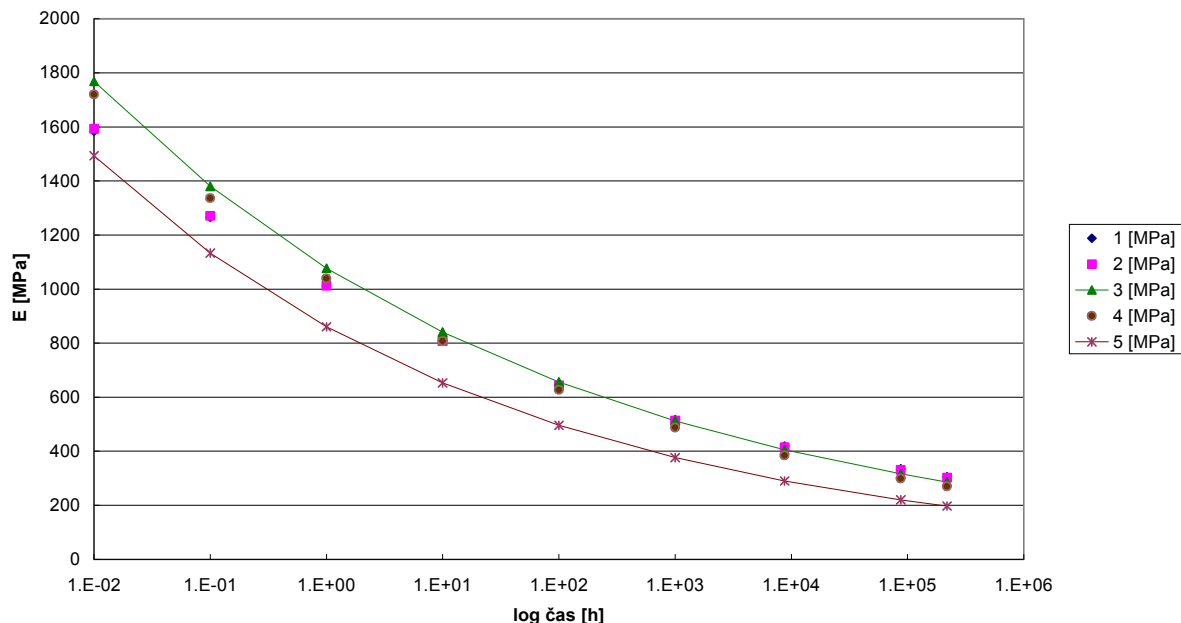
**teplota 40°C - 20 mm**

Napětí	1 MPa		2 MPa		3 MPa		4 MPa		5 MPa	
	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$E_{str}$ [MPa]
0.01 h	1250	710	1090	620	1140	650	1120	640	1250	710
0.1 h	1040	590	910	520	940	530	940	530	1000	570
1 h	840	470	730	410	740	420	740	420	760	430
10 h	660	370	560	320	560	320	560	320	560	320
100 h	520	290	430	240	410	230	410	240	410	230
1000 h	410	230	320	180	300	170	300	170	290	170
1 rok	330	190	250	140	220	120	230	130	220	120
10 roků	270	150	180	100	160	90	170	90	160	90
25 roků	250	140	160	90	140	80	150	80	140	80

Dále jsou graficky zpracovány výsledky pro danou tloušťku desky ze strukturálně lehčeného Mostenu 52.522 a to:

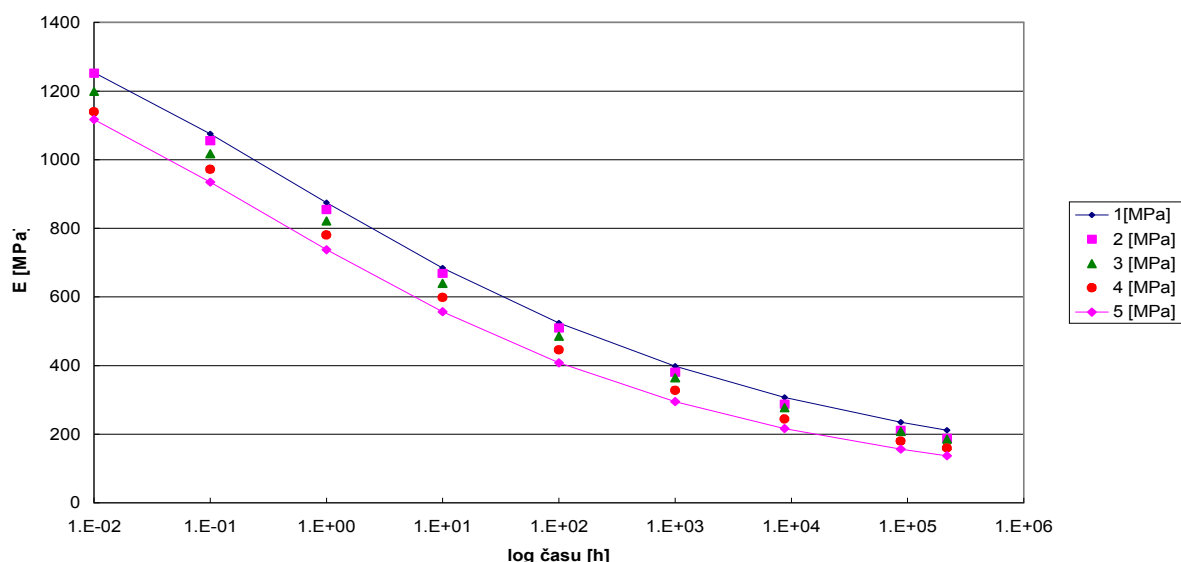
- závislosti křipového modulu na čase pro napětí 1, 2, 3, 4, 5 MPa a teploty 20, 30, 40°C;
- závislosti křipového modulu na teplotě pro napětí 1, 2, 3, 4, 5 MPa a doby 1 rok, 10 roků a 25 roků.

**Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 20°C, tloušťka 10 mm**



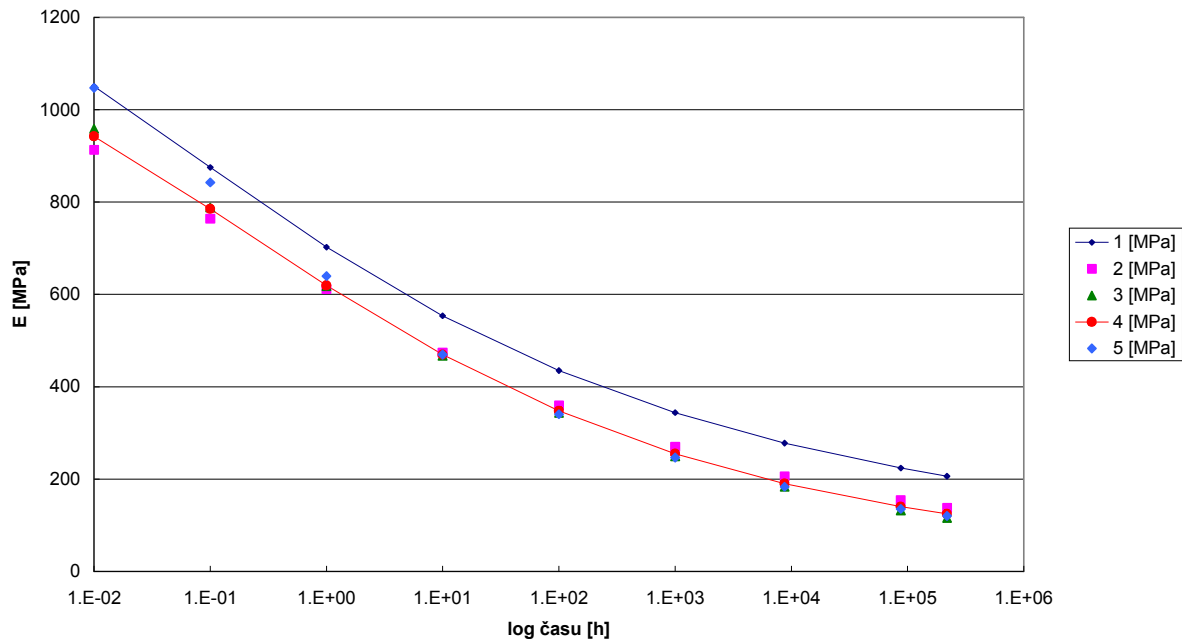
Obr. 2.1.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 10 mm, pro 20°C.

**Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 30°C, tloušťka 10 mm**



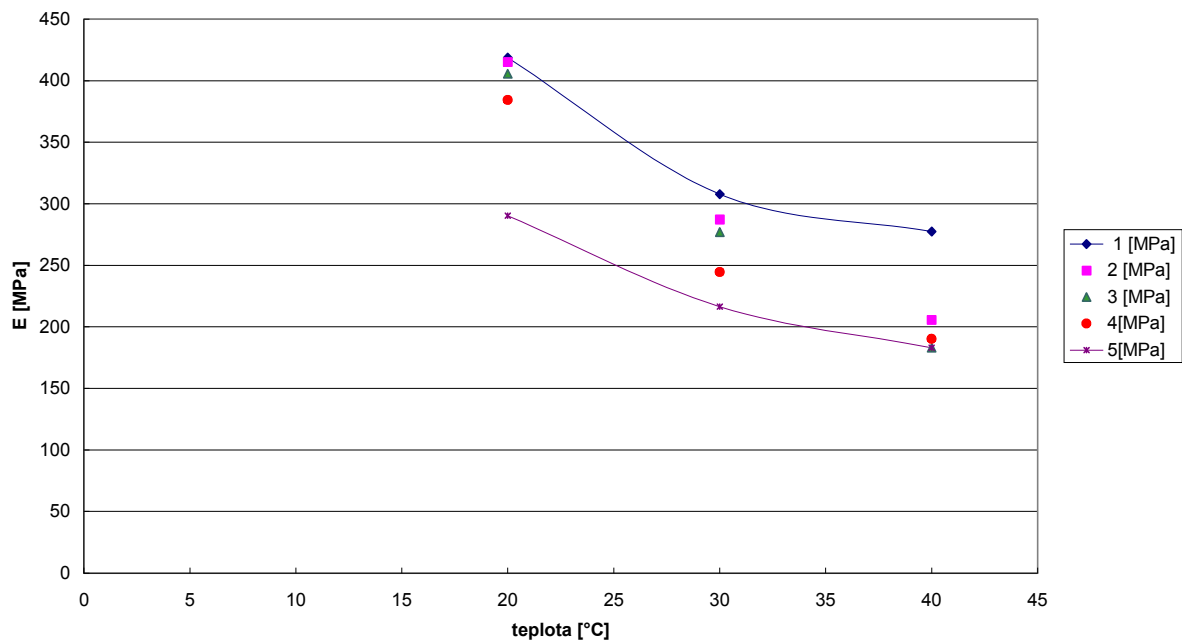
Obr. 2.2.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 10 mm, pro 30°C.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 40°C, tloušťka 10 mm



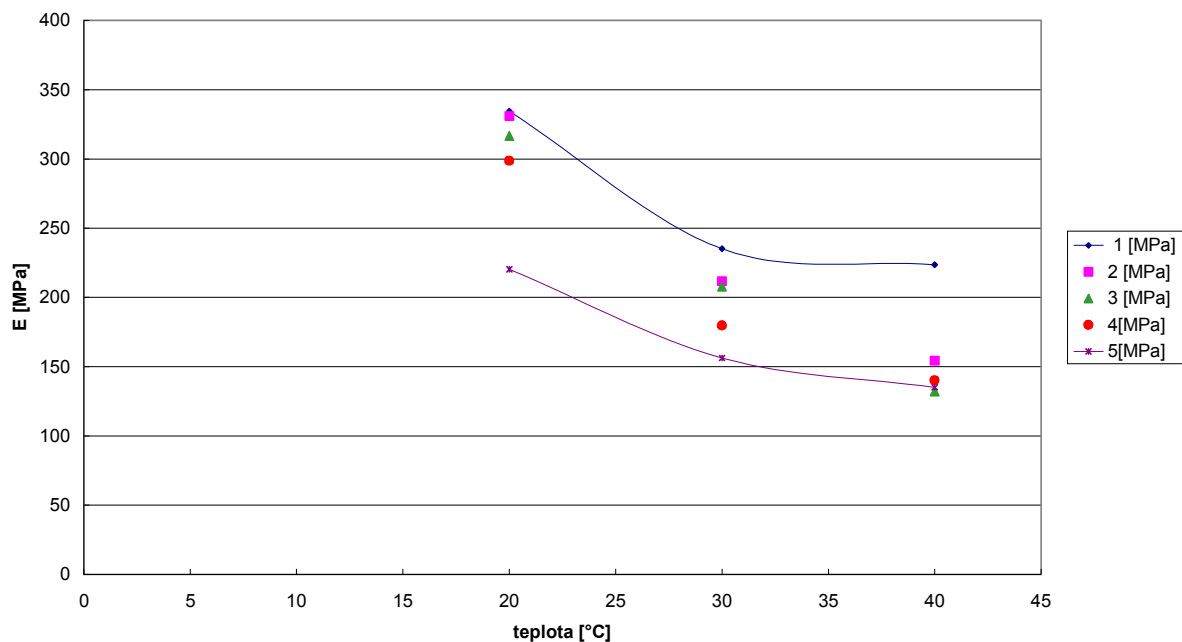
Obr. 2.3.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 10 mm, pro 40°C.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522 pro 1rok, tloušťka 10 mm



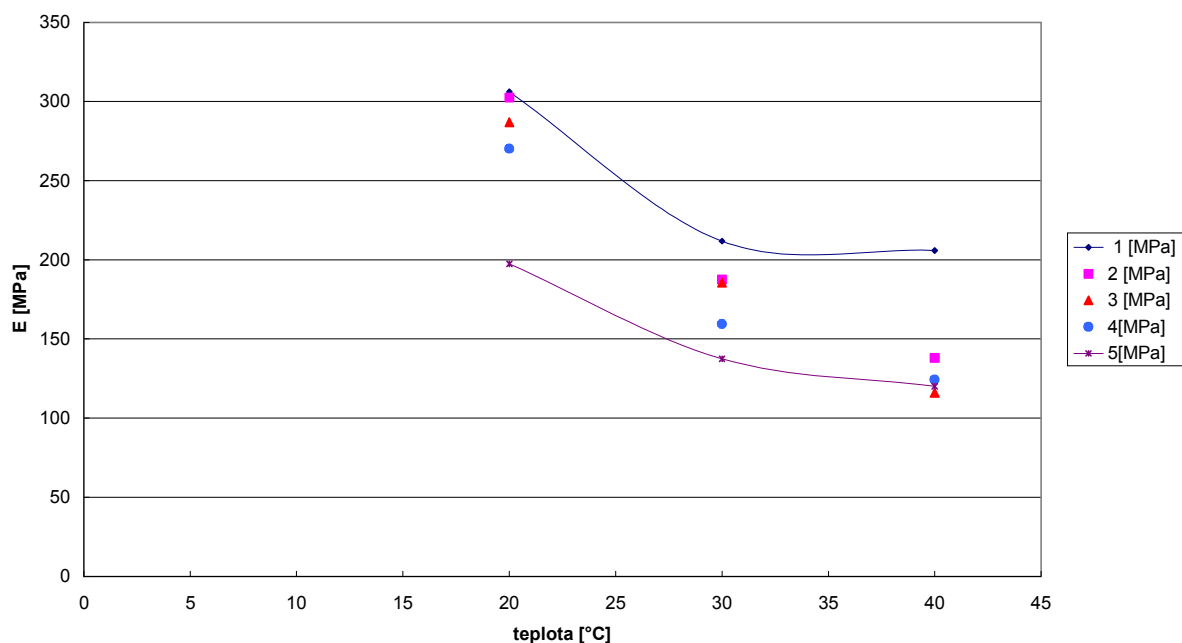
Obr.2.4.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 10 mm, a dobu 1 roku.

Křipový modul strukturně lehčeného Mostenu 52.522 pro 10 let, tloušťka 10 mm



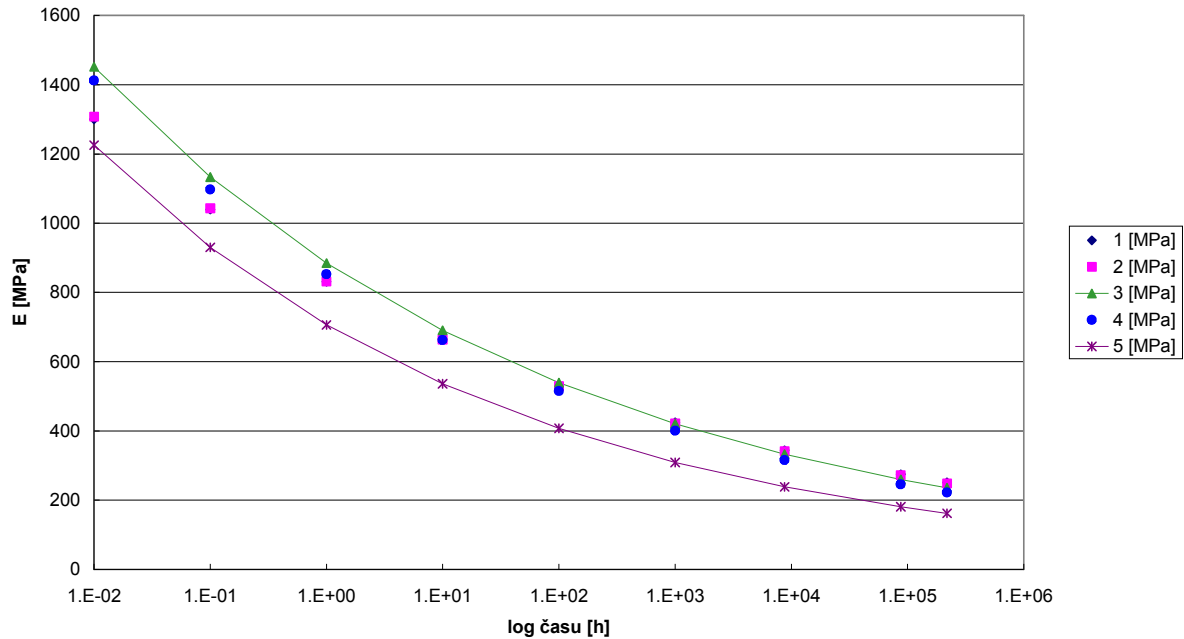
Obr.2.5.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 10 mm, a dobu 10 let.

Křipový modul strukturně lehčeného Mostenu 52.522 pro 25 let, tloušťka 10mm



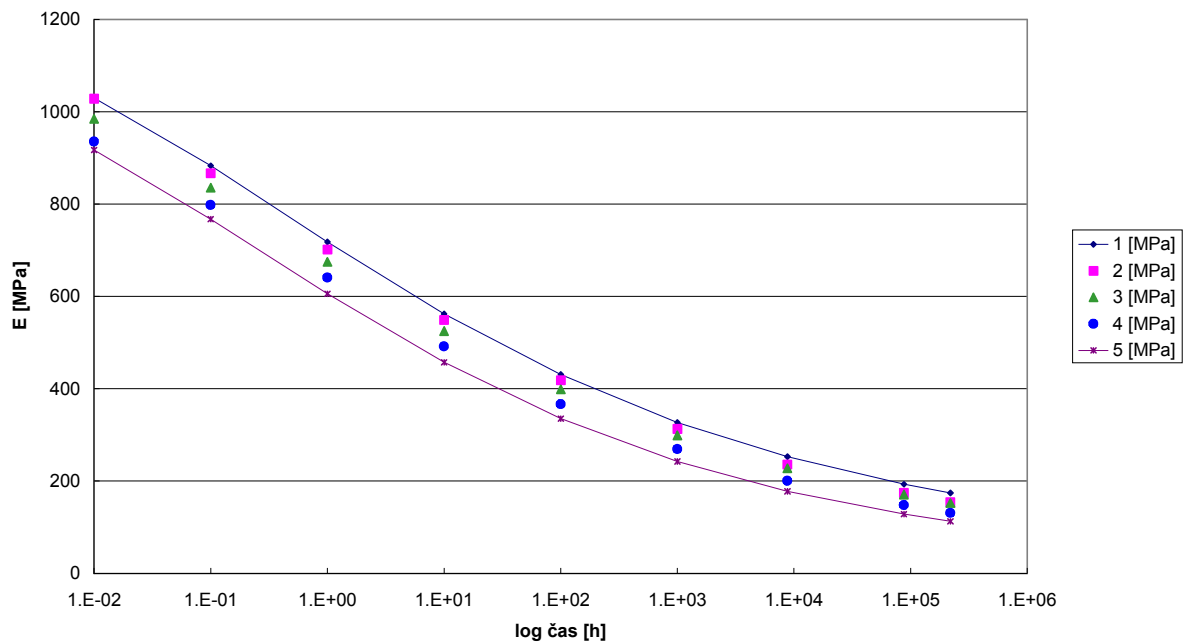
Obr.2.6.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 10 mm, a dobu 25 let.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 20°C, tloušťka 15 mm



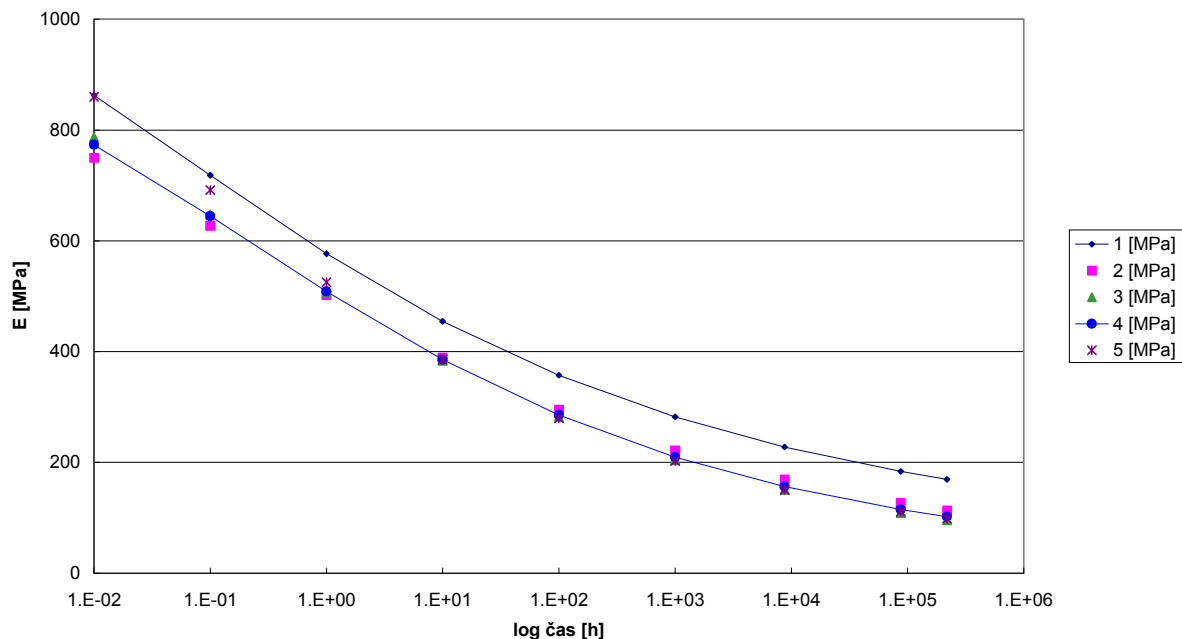
Obr.2.7.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 15 mm, pro 20°C.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 30°C, tloušťka 15 mm



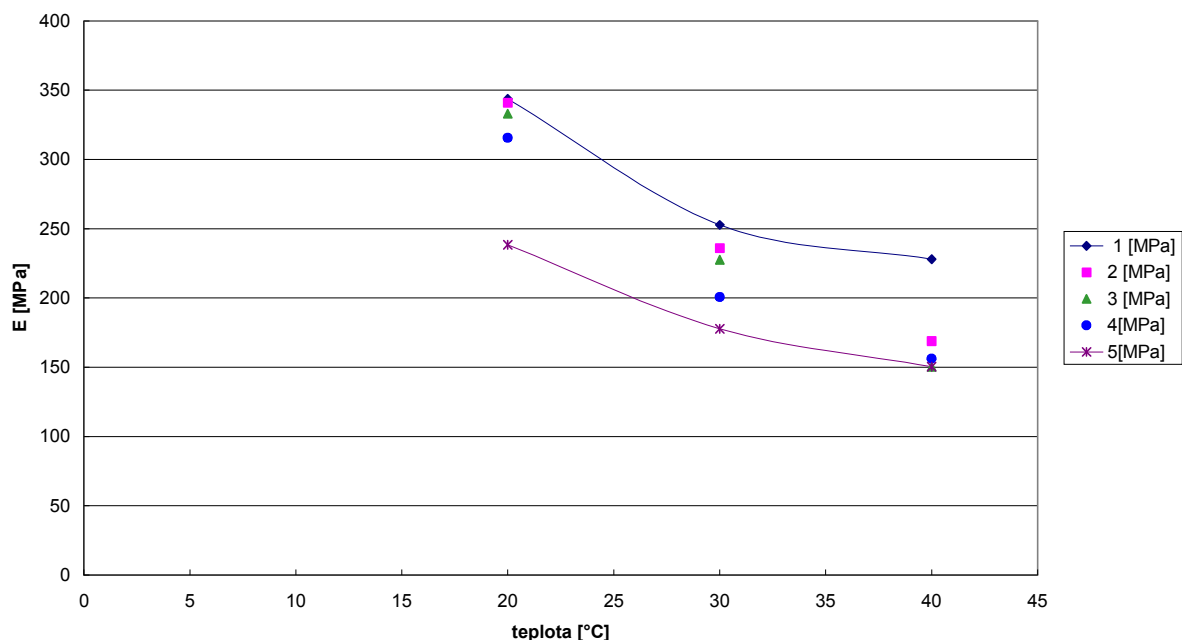
Obr.2.8.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 15 mm, pro 30°C.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 40°C, tloušťka 15 mm



Obr.2.9.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 15 mm, pro 40°C.

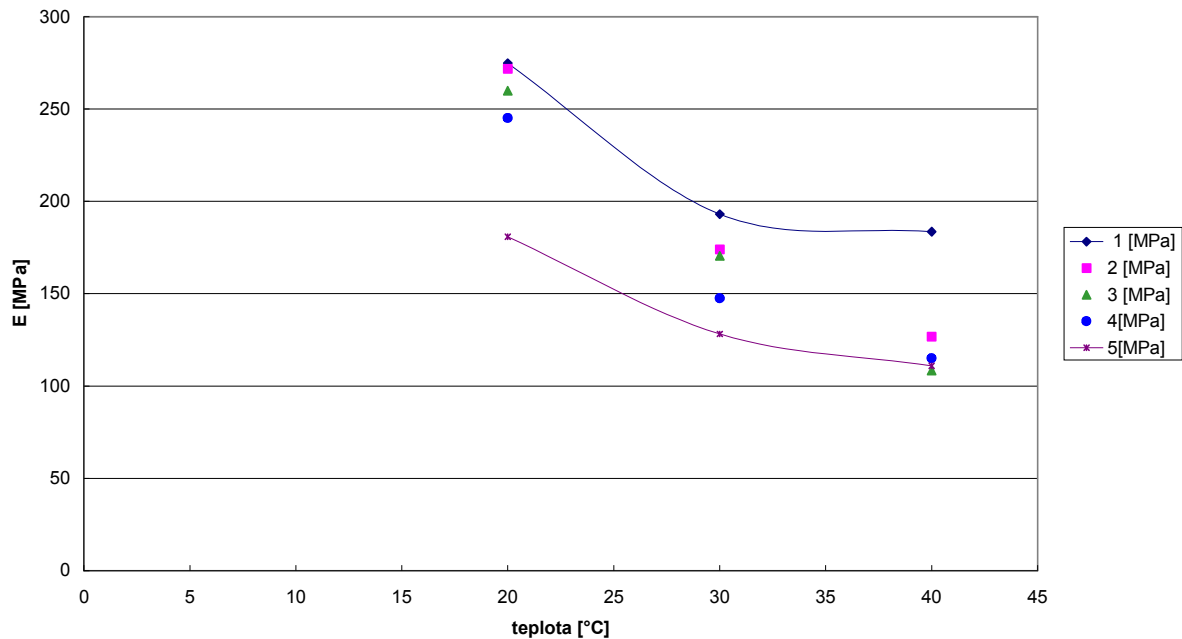
Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, tloušťka 15 mm, pro 1rok



Obr.2.10.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 15 mm, a dobu 1 roku.

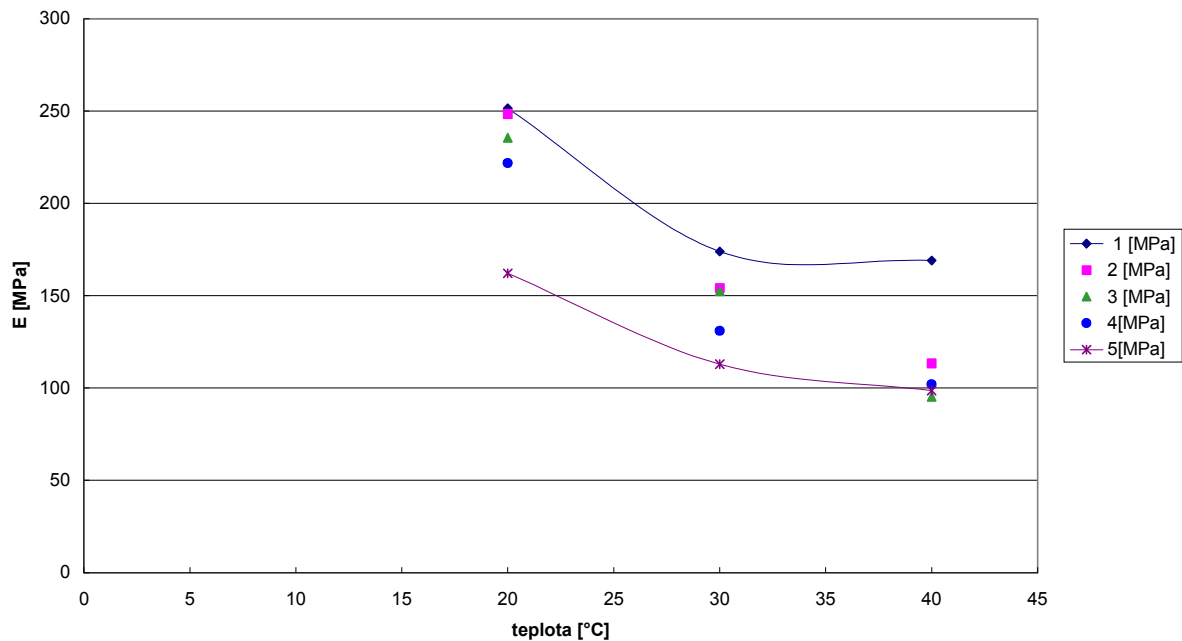


Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, tloušťka 15 mm, pro 10 let



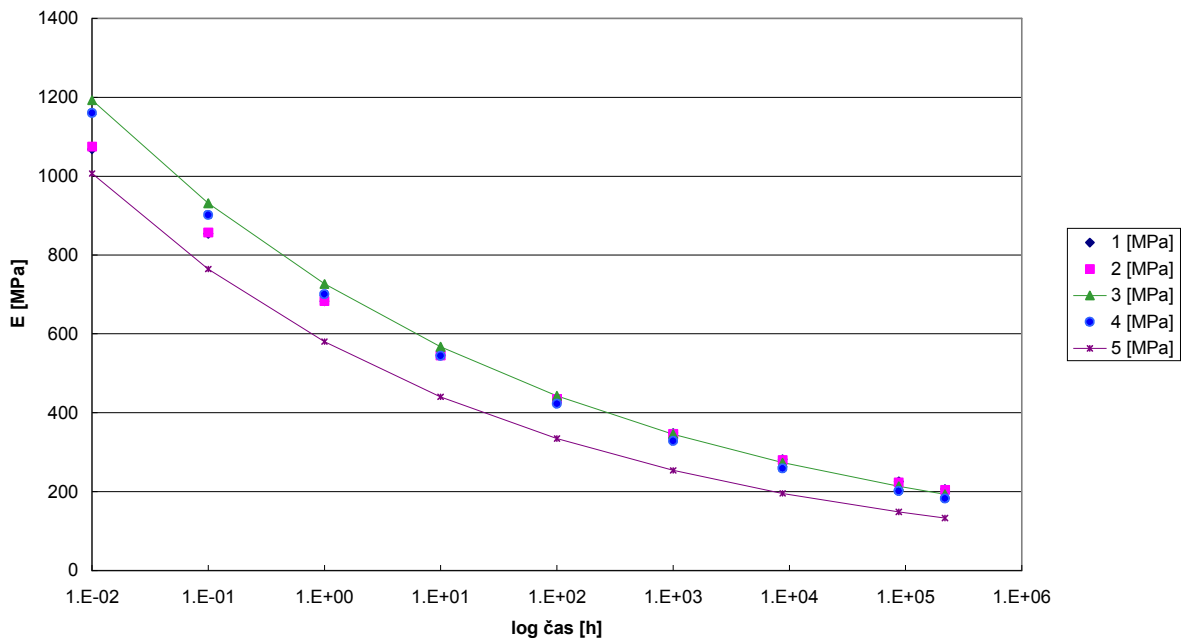
Obr.2.11.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 15 mm, a dobu 10 let.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, tloušťka 15 mm, pro 25 let



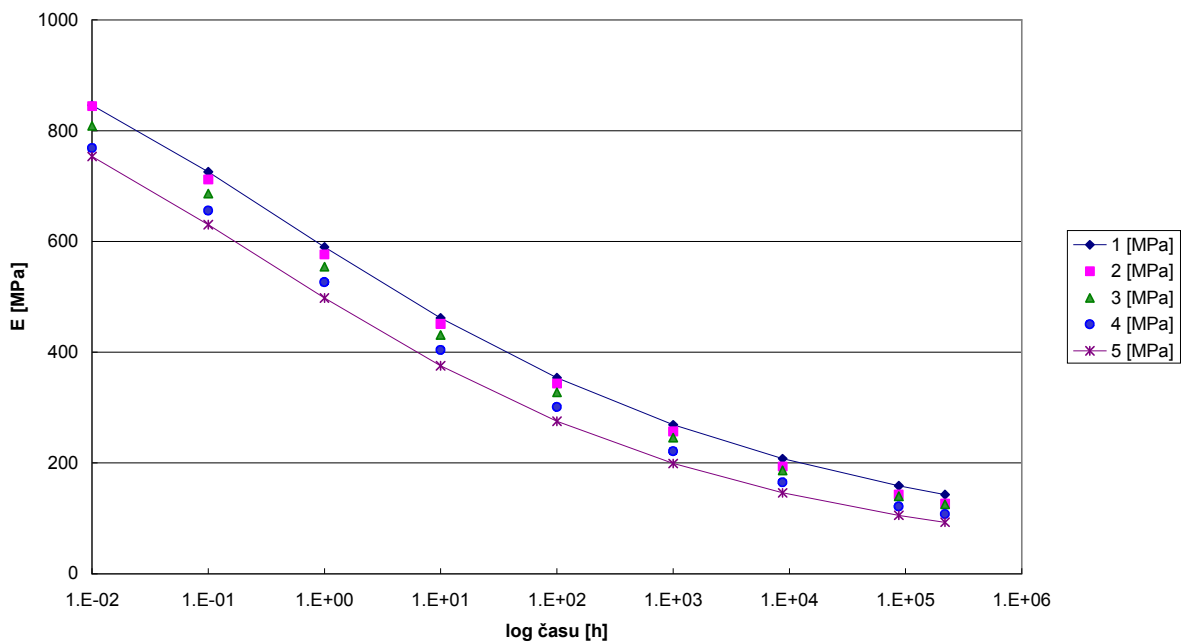
Obr.2.12.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 15 mm, a dobu 25 let.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 20°C, tloušťka 20 mm



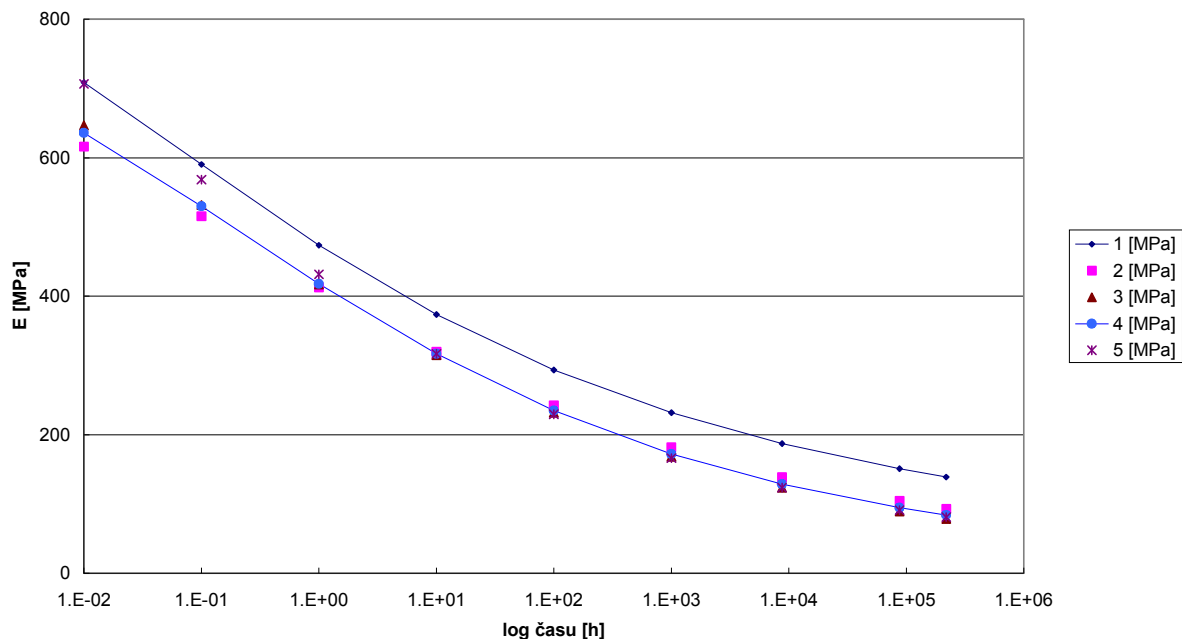
Obr.2.13.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 20 mm, pro 20°C.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 30°C, tloušťka 20mm



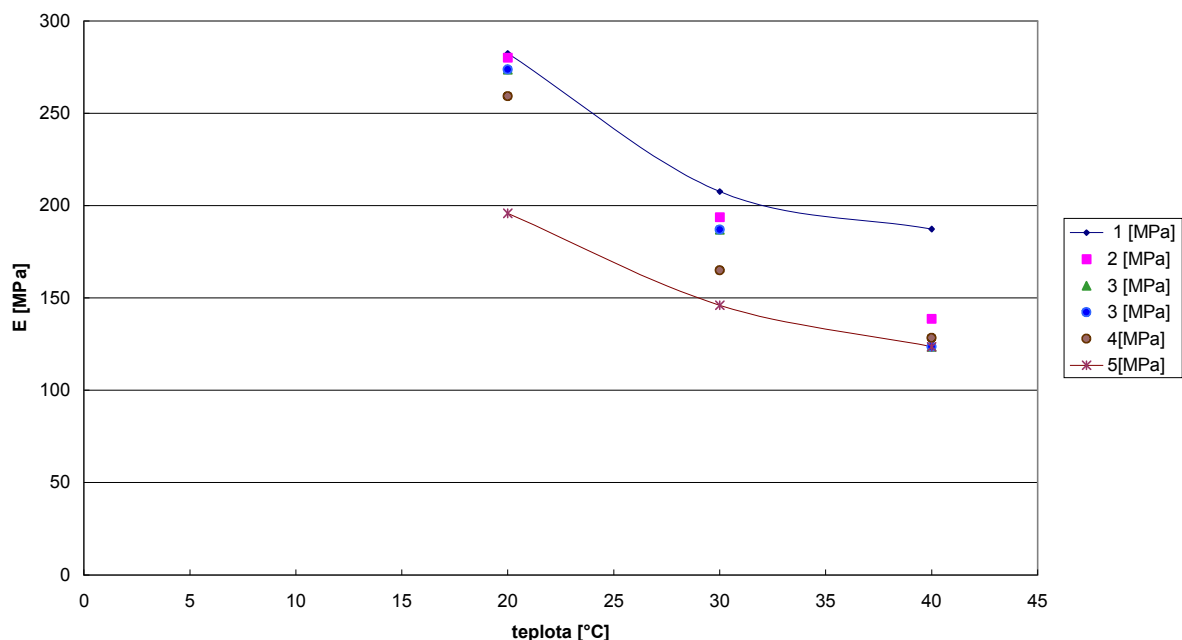
Obr.2.14.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 20 mm, pro 30°C

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, 40°C, tloušťka 20 mm



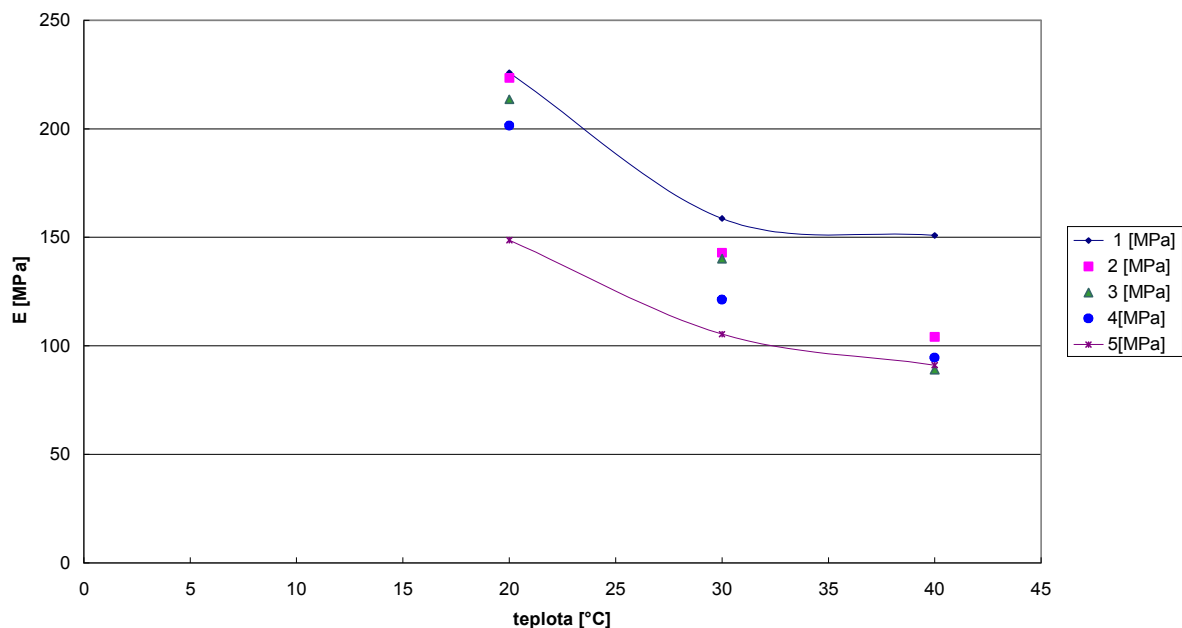
Obr.2.15.: Závislost křipového modulu na čase a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 20 mm, pro 40°C.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, tloušťka 20 mm, pro 1 rok



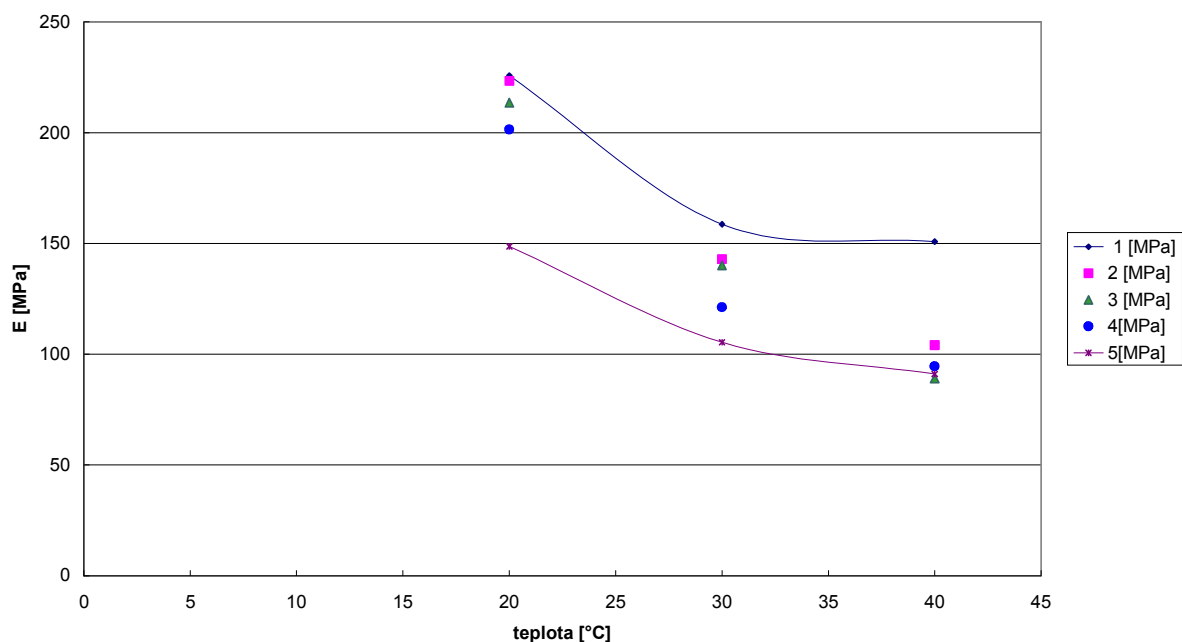
Obr.2.16.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 20 mm, a dobu 1 roku.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, tloušťka 20 mm, pro 10 let



Obr.2.17.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 20 mm, a dobu 10 let.

Křipový modul strukturálně lehčeného Mostenu 52.522, tloušťka 20 mm, pro 10 let



Obr.2.18.: Závislost křipového modulu na teplotě a napětí pro desku ze strukturálně lehčeného PP Mosten 52.522, tloušťky 20 mm, a dobu 25 let.

**Příloha 3:** Seznam použitých certifikátů

1. Certifikát ev.č.164/00/07/02/0 - deska ze strukturně lehčeného PP tloušťky 10 mm.
2. Certifikát ev.č.114/00/07/02/0 - deska ze strukturně lehčeného PP tloušťky 15 mm.
3. Certifikát ev.č. 165/00/07/02/0 - deska ze strukturně lehčeného PP tloušťky 20 mm.
4. Certifikát ev.č.110/01/07/02/0 - stěnový prvek modul 20.
5. Certifikát ev.č.111/01/07/02/0 - stěnový prvek modul 25.

Tyto certifikáty budou na požádání dodány.