

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Konstrukce a dopravní stavby



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Porovnání stávající a nově navrhované zkoušky nízkofrekvenční dynamické plošné tuhosti podštěrkových rohoží pro použití v ČR**

**Comparison of current and newly proposed low frequency dynamic vertical bedding modulus test for under ballast mats for using in the Czech Republic**

Vyhotovil(a): Bc. Michal Petýrek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Leoš Horníček, Ph.D.

Praha 2017



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

|  |                      |                             |
|--|----------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Petýrek</u>                             | Jméno: <u>Michal</u> | Osobní číslo: <u>396373</u> |
| Zadávací katedra: <u>Katedra železničních staveb</u> |                      |                             |
| Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>        |                      |                             |
| Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>   |                      |                             |

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Porovnání stávající a nově navrhované zkoušky nízkofrekvenční dynamické plošné tuhosti podštěrkových rohoží pro použití v ČR

Název diplomové práce anglicky: Comparison of current and newly proposed low frequency dynamic vertical bedding modulus test for under ballast mats for using in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:  
Zpracujte porovnání zkušebních postupů pro stanovení nízkofrekvenční dynamické plošné tuhosti dle platných OTP SŽDC, DIN 45673-5 a navrhované evropské normy. Provedte sérii laboratorních měření na vzorcích podštěrkových rohoží 3 různých typů a porovnejte provedení zkoušek a výsledků měření dle OTP SŽDC a navrhované evropské normy. Zhodnoťte též vliv tloušťky zkušební vzorku na hodnotu dynamické plošné tuhosti.

Seznam doporučené literatury:  
1. Obecné technické podmínky SŽDC Antivibrační rohože v tělese železničního spodku. Účinnost od 1.3.2009.  
2. TC 256 WI 00256XXX.22:2016 Railway applications – Track – Under ballast mats. 2015.  
3. DIN 45673-5 Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks – Part 5: Laboratory test procedures for underballast mats. 2010.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Leoš Horníček, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 3.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucího práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

5.10. 2016

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta(ky)

## PODROBNÉ ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Bc. Michal Petýrek

### Porovnání stávající a nově navrhované zkoušky nízkofrekvenční dynamické plošné tuhosti podštěrkových rohoží pro použití v ČR

#### I. Zadání

Zpracujte porovnání zkušebních postupů pro stanovení nízkofrekvenční dynamické plošné tuhosti dle platných Obecných technických podmínek SŽDC „Antivibrační rohože v tělese železničního spodku“ s účinností od 1. 3. 2009, DIN 45673-5 a navrhované evropské normy „Railway applications – Track – Under ballast mats“.

Proveďte sérii laboratorních měření dynamické plošné tuhosti na vzorcích podštěrkových rohoží z pryžového granulátu třech různých typů podle postupů uvedených v OTP SŽDC a navrhované evropské normě. Měření proveďte na vzorcích rohoží o velikosti 300 mm x 300 mm s tloušťkou 25 mm. U jednoho zvoleného typu rohoží proveďte měření i na vzorcích s tloušťkou 15 mm a 35 mm.

Výsledky dat vyhodnoťte. Zaměřte se zejména na vzájemné porovnání výsledků měření dle jednotlivých metodik. Zhodnoťte též závislost hodnoty dynamické plošné tuhosti na tloušťce podštěrkové rohože.

#### II. Vypracování

1. Provedení laboratorních zkoušek dynamické plošné tuhosti na 3 vybraných typech podštěrkových rohoží dle dvou různých metodik (tloušťky rohoží v rozmezí 15 mm až 35 mm).
2. Vyhodnocení výsledků laboratorních zkoušek.
3. Vzájemné porovnání výsledků měření dle jednotlivých metodik.
4. Zhodnocení závislosti dynamické plošné tuhosti na tloušťce podštěrkové rohože.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Porovnání stávající a nově navrhované zkoušky nízkofrekvenční dynamické plošné tuhosti podšterkových rohoží pro použití v ČR** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. 1. 2017

.....  
Bc. Michal Petýrek

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Leoši Horníčkoví, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté konzultace, pomoc při měření a ochotu při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat za spolupráci a pomoc při provádění měření pracovníkům Experimentálního centra Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Tato práce vznikla za podpory programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), č. projektu TE01020168.

**Porovnání stávající a nově navrhované zkoušky  
nízkofrekvenční dynamické plošné tuhosti  
podštěrkových rohoží pro použití v ČR**

**Comparison of current and newly proposed low  
frequency dynamic vertical bedding modulus test  
for under ballast mats for using in the Czech  
Republic**

## **Anotace**

Obsahem práce je provedení laboratorních zkoušek dynamické plošné tuhosti tří typů podštěrkových antivibračních rohoží. Cílem práce je porovnání metodik měření dynamické plošné tuhosti podle Obecných technických podmínek SŽDC a podle připravované evropské normy. Práce dále obsahuje zhodnocení vlivu tloušťky podštěrkové antivibrační rohože na dynamickou plošnou tuhost.

### **Klíčová slova:**

antivibrační rohož, podštěrková rohož, dynamická plošná tuhost

## **Summary**

The thesis includes the execution of laboratory tests of the dynamic bedding modulus carried out at three types of under ballast mats. The aim is to compare two methods for measurement of dynamic bedding modulus based on General Technical Conditions of SZDC and forthcoming European standard. The work also includes evaluation of the influence of thickness of under ballast mats on the dynamic bedding modulus.

### **Keywords:**

anti-vibration mat, under ballast mat, dynamic bedding modulus



# Obsah

|   |    |
|---|----|
| 1. ÚVOD .....   | 5  |
| 2. ANTIVIBRAČNÍ ROHOŽE .....                                      | 6  |
| 3. TECHNICKÉ NORMY .....  | 8  |
| 4. DYNAMICKÁ PLOŠNÁ TUHOST .....                                  | 11 |
| 4.1 Obecné technické podmínky .....                               | 11 |
| 4.2 Německá norma .....   | 13 |
| 4.3 Připravovaná evropská norma .....                             | 15 |
| 4.4 Profilová zatěžovací deska .....                              | 19 |
| 4.5 Porovnání postupu měření podle různých předpisů a norem ..... | 19 |
| 5. PROVEDENÁ MĚŘENÍ .....   | 21 |
| 5.1 Metodika provádění laboratorních zkoušek .....                | 21 |
| 5.1.1 Metodika měření podle OTP .....                             | 21 |
| 5.1.2 Metodika měření podle TC256 .....                           | 21 |
| 5.2 Zkušební tělesa .....   | 22 |
| 5.3 Použité zkušební zařízení .....                               | 24 |
| 5.4 Průběh měření .....   | 26 |
| 6. VYHODNOCENÍ A VÝSLEDKY .....                                   | 36 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>6.1 Dynamická plošná tuhost vzorků B-25.....</b>        | <b>36</b> |
| <b>6.2 Dynamická plošná tuhost vzorků K-25.....</b>        | <b>43</b> |
| <b>6.3 Dynamická plošná tuhost vzorků S-15.....</b>        | <b>50</b> |
| <b>6.4 Dynamická plošná tuhost vzorků S-25.....</b>        | <b>56</b> |
| <b>6.5 Dynamická plošná tuhost vzorků S-35.....</b>        | <b>63</b> |
| <b>6.6 Závislost mezi zkouškou podle OTP a TC 256.....</b> | <b>69</b> |
| <b>6.7 Vliv tloušťky na dynamickou plošnou tuhost.....</b> | <b>74</b> |
| <b>7. ZÁVĚR.....</b>                                       | <b>77</b> |
| <b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>                                 | <b>79</b> |
| <b>LITERATURA.....</b>                                     | <b>80</b> |
| <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                                  | <b>81</b> |

# 1. Úvod

Při provozu drážních vozidel vzniká hluk a vibrace. Pokud dojde k překročení povolené hladiny vibrací, je nutné vibrace omezit dodatečnými technickými prostředky. Mezi často používané technické prostředky patří antivibrační rohože. [1] Antivibrační rohože dělíme do několika kategorií. Tato práce se zabývá podštěrkovými antivibračními rohožemi.

Mezi jednu ze základních charakteristik podštěrkových antivibračních rohoží patří dynamická plošná tuhost. Cílem diplomové práce je porovnání metodik zkoušení dynamické plošné tuhosti podle Obecných technických podmínek SŽDC, německé normy a připravované Evropské normy. Dalším cílem diplomové práce je sledování vlivu tloušťky antivibrační rohože na dynamickou plošnou tuhost. Laboratorní zkoušky byly prováděny podle Obecných technických podmínek SŽDC a připravované evropské normy. Tato problematika se řeší v rámci kompetence CESTI. Měření probíhala na 5 sadách zkušebních vzorků. Obsahově diplomová práce navazuje na diplomovou práci Bc. Veroniky Káplové „Závislost statické plošné tuhosti antivibračních rohoží z pryžového granulátu na její tloušťce“.

## 2. Antivibrační rohože

Antivibrační rohože (AVR) jsou plošné prvky ve tvaru desek nebo pásů o tloušťce 10 - 60 mm. Minimální tloušťka antivibrační rohože musí být taková, aby nedocházelo k protlačování zrn konstrukční vrstvy nebo kolejového lože. Na maximální tloušťku nejsou omezující požadavky, nicméně s vlastním prvkem AVR musí být zajištěna dobrá ruční manipulovatelnost. Antivibrační rohože slouží, jak bylo napsáno výše, k pohlcování nebo omezování vibrací vzniklých od provozu železničních (případně jiných kolejových) vozidel. Používají se zejména u objektů, u nichž je sledována úroveň vibrací. [1], [2], [3]

Antivibrační rohože jsou používány jako prvek konstrukce pražcového podloží, který může být umístěn pod štěrkovým ložem nebo pod konstrukční vrstvou. Zvláštním druhem použití antivibračních rohoží je jejich užití v systému odpružené hmoty. Antivibrační rohože rozdělujeme podle umístění v konstrukci pražcového podloží:

- AVR podštěrkové
- AVR do konstrukčních vrstev
- AVR pro systém odpružené hmoty

**Podštěrkové AVR** jsou uloženy na zemní pláni nebo podkladní vrstvě, horní povrch AVR je v kontaktu se štěrkovým ložem. U této aplikace AVR je nutno zvětšit tloušťku štěrkového lože o 5 cm, aby při podbíjení a strojním čištění koleje nedošlo k poškození AVR.

**AVR do konstrukčních vrstev** jsou na zemní pláni a jejich horní povrch je v kontaktu s materiálem konstrukční vrstvy.

**AVR pro systém odpružené hmoty** se vkládají mezi dva tuhé betonové prvky.

Umístění antivibračních rohoží přímo pod štěrkové lože se zpravidla volí na umělých objektech, mimo ně se volí jejich uložení pod konstrukční vrstvu. [3]

Antivibrační rohože lze vyrábět buď z primárních, nebo recyklovaných surovin. Pro výrobu antivibračních rohoží se používá primární vulkanizovaný kaučuk, pak tyto AVR označujeme jako AVR z primárních surovin, nebo pryžový recyklát získaný z vyřazených pneumatik, pak AVR označujeme jako AVR z recyklovaných surovin. V České republice se běžně pro výrobu AVR využívá pryžový recyklát. Protože všechny zkušební vzorky použité při měřeních byly vyrobeny z pryžového recyklátu, je postup výroby AVR popsán pouze pro AVR z recyklovaných surovin. [2],[3]

Vyřazené pneumatiky jsou očištěny a nadrceny. Drcení pneumatik se provádí dvěma způsoby. Mechanický způsob drcení spočívá v rozřezání pneumatiky noži za normální teploty. Kryogenní způsob spočívá v ochlazení vyřazených pneumatik na teplotu -80 až -120 °C a následném drcení. Velikost jednotlivých zrn se u obou metod pohybuje v nejčastěji v rozmezí 1 – 10 mm. Pryžový recyklát (drcená pryž) je pojena k sobě syntetickým pojivem, nejčastěji na bázi polyuretanu, nebo kapalným kaučukem. Pryžový recyklát se spolu s pojivem lije do forem a lisuje se tlakem přibližně 10 MPa při teplotě 80 °C. [2]

V zahraniční anglické literatuře jsou antivibrační rohože označovány termíny „under ballast mats“, „shock mats“, „anti-vibration mats“ nebo „ballast mats“, v německé „Unterschottermatten“.



Obrázek 1 Položené antivibrační rohože (u žst. Praha – Běchovice) [4]

### 3. Technické normy

V současné době pro používání antivibračních rohoží v železničních stavbách na síti SŽDC platí Obecné technické podmínky Antivibrační rohože v tělese železničního spodku č. j. 1168/2009 - S (dále jen OTP) z roku 2009. Předpis se zabývá technickými požadavky na antivibrační rohože včetně jejich zkoušení, prokazováním a kontrolou kvality, dokumentací a značením výrobků, skladováním a manipulací s AVR a způsobem objednávání, dodávání, zárukami a reklamacemi. Technické požadavky na antivibrační rohože se dělí na požadavky na materiálové vlastnosti (objemová hmotnost, pevnost v tahu, tažnost, tvrdost Shore, odolnost proti oleji, odolnost proti nízkým teplotám, odolnost proti pronikání vody, nasákavost vody a požárně technické vlastnosti) a na požadavky na pružnostní charakteristiky (statický modul přetvárnosti, rázový modul deformace, statická plošná tuhost, dynamická plošná tuhost, dynamický přírůstek tuhosti, odolnost proti cyklickému zatěžování, odolnost proti cyklickému zmrazování a rozmrazování. [3]

Při plánování zřízení prvního pokusného úseku opatřeného antivibračními rohožemi na železniční síti v České republice vyvstala otázka, podle jaké normy by měly být antivibrační rohože testovány. Nakonec byla jako vzor použita německá norma DB-BN 918 071-01 Unterschottermatten zur Minderung der Schotterbeanspruchung. Obsah normy byl uzpůsoben pro naše podmínky a vydán jako předpis OTP pro antivibrační rohože. Lze konstatovat, že česká norma má k německé normě velmi blízko, ale v detailech se liší. Proto bylo provedeno porovnání české a německé normy. [3]

V současné době v Německu platí norma DIN 45673 – 5:2010-08 Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks (dále jen DIN). V této normě je popis provádění laboratorních zkoušek statického plošné tuhosti, dynamické plošné tuhosti pro nízké a vysoké frekvence, dynamického přírůstku tuhosti, horizontální statické plošné tuhosti, únavové pevnosti, nasákavosti,

odolnosti proti pronikání vody, odolnosti proti zmrazování a rozmrazování, odolnost proti stárnutí.[5]

V Evropské unii je v současnosti připravována jednotná norma pro antivibrační rohože TC 256 WI 00256XX.20 Railway applications — Track — Under ballast mats (dále jen TC256). Označení TC 256 WI 00256XX.20 je pracovní označení verze, se kterou jsem pracoval. Norma obsahuje specifikaci požadovaných výsledků zkoušek, specifikaci, kdy provádět dané zkoušky, a postupy jednotlivých zkoušek. Podle normy se zjišťuje statická plošná tuhost, dynamická plošná tuhost pro nízké a vysoké frekvence, únavová pevnost, stlačitelnost, odolnost proti zmrazování a rozmrazování, odolnost proti stárnutí, nasákavost. [6]



## 4. Dynamická plošná tuhost

Dynamická plošná tuhost vyjadřuje velikost deformace podšterkové rohože v závislosti na působícím napětí. Jedná se o základní dynamickou charakteristiku antivibračních rohoží. Působící napětí je způsobeno neosovou periodicky působící silou vzniklou průjezdem železničních vozidel po železniční trati. Dynamická plošná tuhost se používá pro výpočet dynamických deformací železniční trati. [5],[6]

### 4.1 Obecné technické podmínky

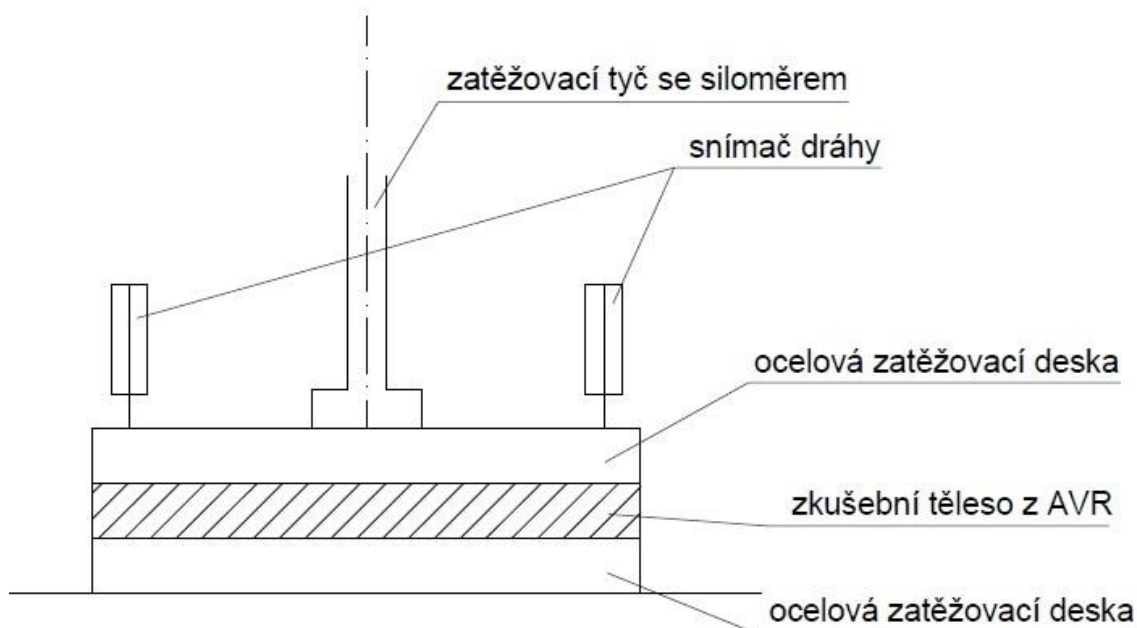
*Informace v této kapitole byly čerpány ze zdroje [3], pokud není uvedeno jinak.*

V OTP je dynamická plošná tuhost řešena v kapitole 5, odstavec 52. Postup zkoušky dynamické plošné tuhosti je uveden v OTP v Příloze č. 3. Zkouška dynamické plošné tuhosti se provádí pro frekvence 1,5, 10, 20 a 30 Hz. Zkouška se provádí na čtvercových vzorcích. Zkušební tělesa mají minimální rozměr 200x200 mm. Dynamická tuhost se stanovuje jako sečný modul pro napětí 0,02 – 0,10 N.mm<sup>-2</sup>. Graf zatěžování a odtěžování má tvar sinusoidy.

Sestava se osazuje 4 snímači dráhy pro měření stlačení rohože s minimální přesností 0,01 mm v rozích zatěžovací desky. Pokud je možné měřit stlačení zkušební vzorku uprostřed zatěžovací desky, není nutné osazovat snímače dráhy do rohů zatěžovací desky. Jako zatěžovací desky se použijí ocelové desky dostatečně tuhé, aby nedošlo k jejich deformaci. Rozměr zatěžovacích desek musí odpovídat rozměrům zkušebních vzorků. Povrch desek musí být odmaštěn. Požadavek na drsnost povrchu desek je definován jako  $R_a \geq 3,2$ .

Pro stanovení dynamické plošné tuhosti je potřeba provést zkoušku na minimálně třech různých vzorcích. Každý zkušební vzorek se vyřízne z jiného kusu rohože. Pokud jsou zkoušeny AVR dodávané jako pásy, zkušební vzorky se vyříznou z pásu o minimální délce 2,0 m. Zkouška se provádí při teplotě 20 +/- 5 °C.

Na tuto teplotu jsou temperovány i zkušební vzorky po dobu minimálně jedné hodiny. Zkušební vzorky se proměří s přesností  $\pm 0,1$  mm a zváží.



Obrázek 2 Zkušební sestava podle OTP

Postup zkoušky:

1. Zkoušený vzorek se vloží mezi dvě zatěžovací ocelové desky a celek se vloží do zatěžovacího stroje.
2. Horní zatěžovací deska se rovnoměrně osadí 4 snímači dráhy pro měření stlačení při zatěžování vzorku. Pokud je možné měřit stlačení ve středu zatěžovací desky, stačí osadit jeden snímač posunu doprostřed zatěžovací desky.
3. Vzorek se zatěžuje napětím  $0,02-0,1$  N.mm<sup>-2</sup> (silou 1,8-9 kN pro vzorek 300x300 mm) s frekvencí 1,5,10,20,30 Hz. Pro každou frekvenci se

zaznamená minimálně 10 zatěžovacích cyklů. Měření deformace zkušebního vzorku se provádí minimálně 10 s po započítí dynamického zatěžování vzorku. Mezi jednotlivými změnami zatěžovací frekvence musí být vzorek zatížen konstantním napětím  $0,01 \text{ N.mm}^{-2}$  po dobu 3 minut.

Z naměřených hodnot stlačení pro 10 cyklů se spočte průměrná hodnota  $s_{1,\text{prům}}$  a  $s_{2,\text{prům}}$  stlačení pro maximální a minimální zatížení. Hodnota dynamické pošné tuhosti  $C_{(A)i\text{Hz}}$  [ $\text{N.mm}^{-3}$ ] se spočte podle vzorce (1.1), kde  $\sigma_1$  je hodnota dolního napětí ( $0,02 \text{ N.mm}^{-2}$ ),  $\sigma_2$  je hodnota horního napětí ( $0,10 \text{ N.mm}^{-2}$ ),  $s_{2,\text{prům}}$  je průměrná hodnota stlačení vzorku při napětí  $\sigma_2$  v mm a,  $s_{1,\text{prům}}$  je průměrná hodnota stlačení vzorku při napětí  $\sigma_1$  v mm :

$$C_{(A)i\text{Hz}} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_{2,\text{prům}} - s_{1,\text{prům}}} \quad (1.1)$$

Výsledná průměrná hodnota  $C_{(A)i\text{Hz}}$  se spočítá jako průměr ze tří měření.

## 4.2 Německá norma

*Informace v této kapitole byly čerpány ze zdroje [5], pokud není uvedeno jinak.*

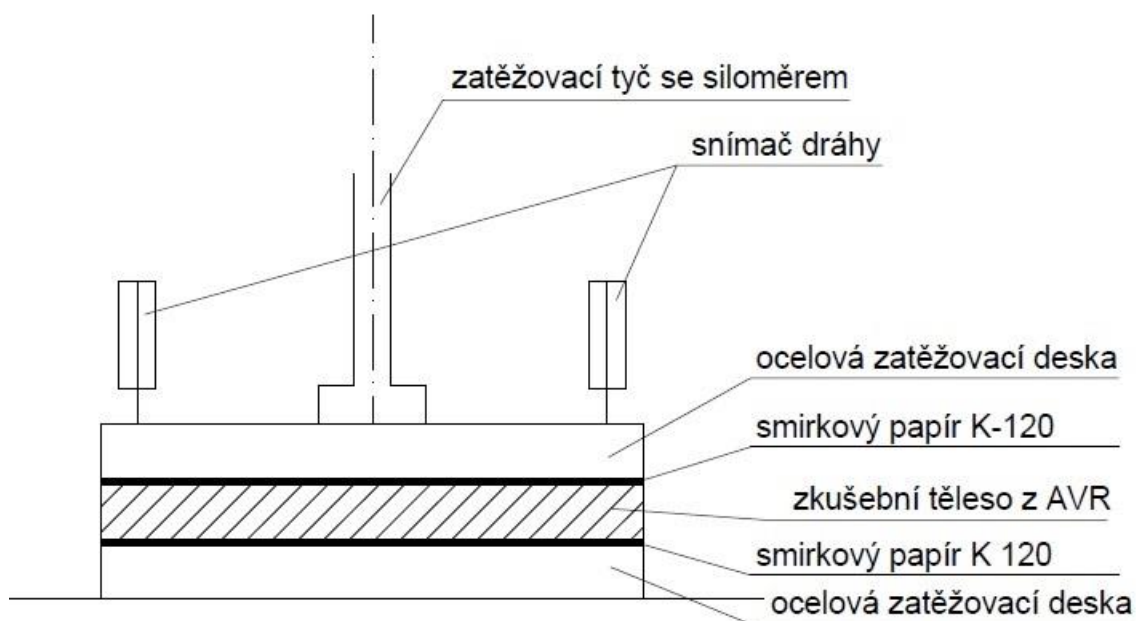
V DIN je dynamická plošná tuhost řešena v kapitole 4.2. Postup zkoušky je uveden tamtéž. Zkouška dynamické plošné tuhosti se provádí na zkušebních tělesech o rozměrech 300x300 mm. Pokud je to z hlediska provedení zkoušky nutné, je možné požit zkušební vzorky o rozměrech 200x200 mm. Zkouška se provádí na třech zkušebních tělesech.

Zkušební těleso se vkládá mezi tuhé ocelové zatěžovací desky o stejných rozměrech, jako má zkušební těleso. Mezi zatěžovací desku a zkušební těleso se vkládá smirkový papír K-120. Zkouška se provádí pro frekvence 5, 10, 20, 30 Hz. Zkouška se provádí na suchých zkušebních vzorcích při pokojové teplotě  $-23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vzorky se na tuto teplotu temperují minimálně 16 hodin. Dynamická tuhost se pro frekvenci 10 Hz zjišťuje ještě při teplotách 30, 0, -10, -20  $^\circ\text{C}$ . Tato zkouška se provádí pouze na jednom zkušebním vzorku.

Zatížení se liší podle druhu dopravního systému, pro který je rohož určena – viz Tabulka 1. Průběh zatěžování je harmonický.

Tabulka 1 Velikost zatížení podle DIN

| Dopravní systém | zatížení [N.mm <sup>-2</sup> ]<br>( $\sigma_1 - \sigma_2$ ) |
|-----------------|---|
| tramvaj         | 0,02 - 0,05   |
| metro           | 0,02 - 0,07   |
| lehká železnice | 0,02 - 0,10   |
| železnice       | 0,02 - 0,10   |



Obrázek 3 Zkušební sestava podle DIN

## Postup zkoušky

1. Zkoušený vzorek se vloží mezi dvě zatěžovací ocelové desky se smirkovým papírem.
2. Horní zatěžovací deska se osadí snímači dráhy pro měření stlačení při zatěžování vzorku.
3. Vzorek se zatěžuje napětím předepsaným napětím s frekvencí 5,10,20,30 Hz. Pro každou frekvenci se provede minimálně 10 cyklů zatěžování, které se vyhodnotí. Měření deformace se provádí minimálně 10 s po započetí zatěžování vzorku. Mezi jednotlivými změnami zatěžovací frekvence musí být vzorek zatížen napětím  $\sigma_1$  po dobu 3 minut.

Z naměřených hodnot stlačení pro 10 cyklů se spočte průměrná hodnota  $s_1$  a  $s_2$  stlačení pro maximální a minimální zatížení. Výsledná hodnota dynamické plošné tuhosti  $C_{(A)Hz}$  [ $N \cdot mm^{-3}$ ] se spočte podle vzorce (2.1) kde  $\sigma_1$  je minimální hodnota napětí v  $N \cdot mm^{-2}$ ,  $\sigma_2$  je maximální hodnota napětí  $N \cdot mm^{-2}$ ,  $s_2$  je průměrná hodnota stlačení vzorku při napětí  $\sigma_2$  v mm a,  $s_1$  je průměrná hodnota stlačení vzorku při napětí  $\sigma_1$  v mm :

$$C_{dyn 1 f(i)} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} \quad (2.1)$$

### 4.3 Přípravovaná evropská norma

*Informace v této kapitole byly čerpány ze zdroje [6], pokud není uvedeno jinak.*

V TC256 je dynamická plošná tuhost řešena v kapitole 5.3.2. Postup zkoušky je stanoven v příloze B, v části B.2. Zkouška dynamické plošné tuhosti se provádí na zkušebních tělesech o rozměrech 300x300 mm s tolerancí -0 +5 mm. Zkouška se provádí na třech zkušebních tělesech. Pokud je povrch AVR profilovaný, zkouška se provádí na 6 zkušebních vzorcích. Tři zkušební vzorky jsou

zkoušeny s maximální namáhanou plochou průřezu a tři zkušební vzorky s minimální namáhanou plochou průřezu.

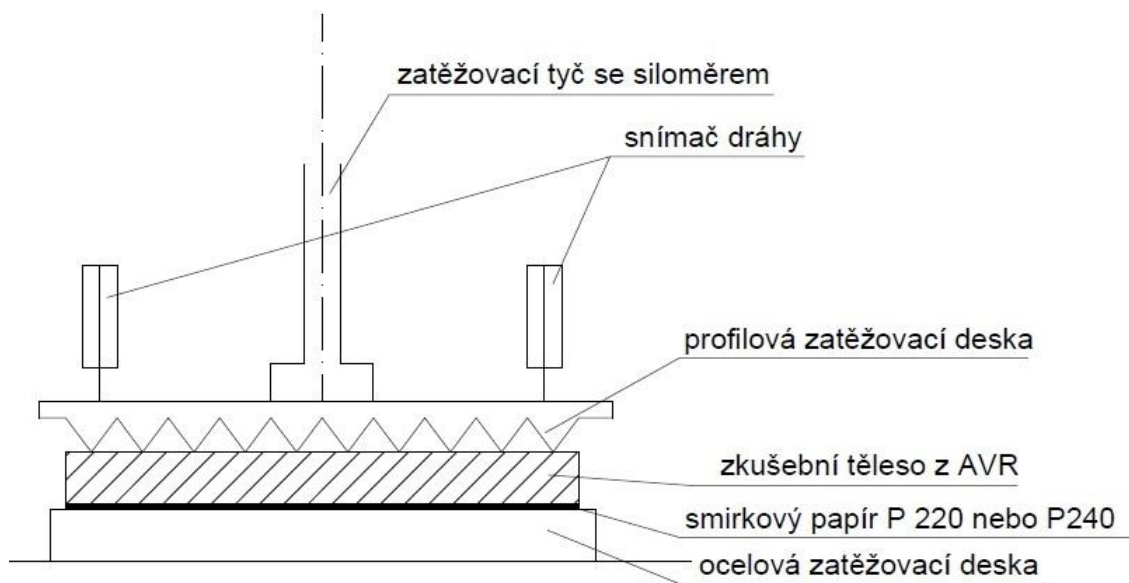
Zkušební těleso se vkládá mezi hladkou a speciální profilovou desku. Hladká ocelová deska má rozměry minimálně 320x320 mm a musí být dostatečně tuhá. Horní speciální profilová zatěžovací deska se osadí snímači dráhy pro měření stlačení při zatěžování vzorku. Mezi hladkou desku a zkušební těleso se vkládá smirkový papír P 220 nebo P240. Pro měření stlačení zkušebního vzorku se horní zatěžovací deska osadí minimálně třemi snímači dráhy v různých rozích. Zkouška se provádí pro frekvence  $5 \pm 1$ ,  $10 \pm 1$  a  $20 \pm 2$  Hz. Vlastní postup zkoušky je použitelný do 30 Hz. Zkouška se provádí při pokojové teplotě  $23 \pm 5$  °C. Zatížení zkušebních vzorků se liší podle druhu dopravního systému, pro který je rohož určena – viz Tabulka 2, kde TC1, TC2, TC3, TC4 jsou kategorie tratí.

Tabulka 2 Kategorie tratí [7]

| kategorie trati | nápravové zatížení [kN] | rychlost [ km/h] | tvar kolejnice | vzdálenost pražců / upevnění [mm] | charakter provozu                    |
|-----------------|-------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| TC1             | $\geq 100 \leq 130$     | $\leq 100$       | 49E1           | 650 (max. 750)                    | lehká železnice nebo vlečky          |
| TC2             | $\leq 160$              | $\leq 140$       | 54E1           | 650                               | lehká železnice nebo vlečky          |
| TC3             | $\leq 225$              | $\leq 200$       | 60E1           | 600                               | hlavní tratě                         |
|                 | $\leq 200$              | $\leq 320$       | 60E1           | 600                               | vysokorychlostní tratě               |
|                 | $\leq 250$              | $\leq 120$       | 60E1           | 600                               | tratě pro nákladní dopravu           |
| TC4             | $\leq 300$              | $\leq 120$       | 60E1           | 600                               | tratě s vysokou hmotností na nápravu |

Tabulka 3 Velikost zatížení podle kategorie trati [6]

| Kategorie trati | zatížení [N.mm <sup>-2</sup> ]<br>(p,min - p,test1) |
|-----------------|---|
| TC1             | 0,02 - 0,05   |
| TC2             | 0,02 - 0,07   |
| TC3             | 0,02 - 0,10   |
| TC4             | 0,02 - 0,10   |



Obrázek 4 Zkušební sestava podle TC256

## Postup zkoušky

1. Zkoušení dynamické plošné tuhosti bezprostředně navazuje na zkoušku statické plošné tuhosti. Po skončení zkoušení statické plošné tuhosti je vzorek zatížen napětím  $0,7 p_{\min}$  po dobu 60 sekund.
2. Vzorek se zatěžuje napětím předepsaným napětím s frekvencí 5,10,20 Hz. Pro každou frekvenci se provede minimálně 10 cyklů. Měření deformace se provádí minimálně po 100 zatěžovacích cyklech pro frekvence do 10Hz. Pro frekvence větší než 10 Hz včetně se měření deformace začíná 10 s po započetí zatěžování vzorku. Mezi jednotlivými změnami zatěžovací frekvence musí být vzorek zatížen minimálním napětím  $p_{\min}$  po dobu 1 minuty.

Z naměřených hodnot stlačení pro 10 cyklů se spočte průměrná hodnota stlačení  $d_{\min}$  a  $d_{\max}$  pro maximální a minimální zatížení. Výsledná hodnota dynamické plošné tuhosti  $C_{\text{dyn}}$  [ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-3}$ ] se spočte podle vzorců (3.1) a (3.2), kde  $F_{\text{test},1} = p_{\text{test},1} \cdot A$  [N] a  $F_{\min} = p_{\min} \cdot A$  [N],  $A$  je plocha zkušebního tělesa [ $\text{mm}^2$ ],  $p_{\text{test},1}$  a  $p_{\min}$  je napětí podle Tabulky 3 [ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ] a  $d_{\max}$  je průměrné stlačení odpovídající  $F_{\text{test},1}$  [mm] a  $d_{\min}$  je průměrné stlačení odpovídající  $F_{\min}$  [mm] :

$$k_{\text{dyn}} = \frac{1}{10} \sum_{10} \frac{F_{\text{test},1} - F_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \quad (3.1)$$

$$C_{\text{dyn}} = \frac{k_{\text{dyn}}}{A} \quad (3.2)$$



#### 4.4 Profilová zatěžovací deska

Zajímavostí u normy TC 256 je použití speciální profilové zatěžovací desky. Tato zatěžovací deska simuluje šterkové lože. V normě TC 256 je profilová zatěžovací deska popsána v příloze A.



Obrázek 5 Profilová zatěžovací deska

#### 4.5 Porovnání postupu měření podle různých předpisů a norem

V této kapitole jsou navzájem porovnávány výše zmíněné postupy měření. V případě zatížení byla zvolena kategorie odpovídající podmínkám na síti SŽDC. Tvar zkušebních těles (čtverec) je u všech metodik shodný. Stanovení rozměrů zkušebních těles se různí. V Obecných technických podmínkách je stanoven pouze minimální rozměr zkušebních těles a to 200x200 mm. V německé normě je

stanoven rozměr 300x300 mm, s tím, že lze zkoušku provést i na tělesech rozměru 200x200 mm. V připravované evropské normě je stanoven jednotný rozměr 300x300 mm. Co se týká stanovení rozsahu zatížení, to je ve všech těchto metodikách stejné, co se týká železničních tratí stejných parametrů, jako jsou železniční tratě v České republice. Dynamická plošná tuhost se podle Obecných technických podmínek a německé normy zjišťuje pro frekvence 1, 5, 10, 20 a 30 Hz, podle připravované evropské normy pro frekvence 5, 10 a 20 Hz. K zatěžování zkušebních těles se podle OTP použijí hladké ocelové desky, podle německé normy ocelové desky se smirkovým papírem. Připravovaná evropská norma uvažuje zatěžování pomocí speciální profilové desky a hladké desky se smirkovým papírem. Délka přestávky při změně frekvence je podle OTP a DIN shodná – 3 minuty. Podle TC256 je délka přestávky 1 minuta. Napětí, kterým je vzorek zatížen při změně frekvence je podle OTP 0,01 N.mm<sup>-2</sup>, podle DIN a TC256 shodně 0,02 N.mm<sup>-2</sup>. Všechny tři metodiky jsou přehledně porovnány v následující tabulce. [3],[5],[6]

Tabulka 3 Porovnání norem [3],[5],[6]

| norma | rozměr zkušebního vzorku [mm] | Zatížení [N.mm <sup>-2</sup> ] | frekvence [Hz] | zatěžovací desky  | délka přestávky při změně frekvence [min] | napětí při odtížení [N.mm <sup>-2</sup> ] |
|-------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|---|---|---|
| OTP   | min. 200 x 200                | 0,02-0,10                      | 1,5,10,20,30   | 2 ocelové desky   | 3   | 0,01                                      |
| DIN   | 300 x 300 (200 x 200)         | 0,02-0,10                      | 1,5,10,20,30   | 2 ocelové desky se smirkovým papírem                            | 3   | 0,02                                      |
| TC256 | 300 x 300                     | 0,02-0,10                      | 5,10,20        | speciální zatěžovací deska + ocelová deska se smirkovým papírem | 1   | 0,02                                      |

## 5. Provedená měření

V rámci praktické části byla provedena měření na pěti sadách zkušebních těles. Každá sada obsahovala tři zkušební vzorky. Celkem bylo měření provedeno na 15 vzorcích. Tři sady zkušebních těles měly shodnou tloušťku, ale každá pocházela z AVR od jiného výrobce. Dvě sady zkušebních těles měly tloušťku rozdílnou. Zkoušky byly provedeny podle OTP a připravované evropské normy. Metodika měření musela být upravena s ohledem na technické možnosti laboratoře.

Měření probíhala ve dnech 5.4., 12.4., 11.8., 29.9., 23. a 24. 11. 2016. Protokoly z měření jsou v Příloze A.

### 5.1 Metodika provádění laboratorních zkoušek

Jak již bylo zmíněno výše, bylo nutné upravit postup měření podle obou norem s ohledem na technické možnosti vybavení laboratoře. Po konzultaci s obsluhou laboratoře byly postupy měření upraveny tak, aby měření bylo realizovatelné, ale postup měření se co nejvíce blížil původním postupům obsaženým v jednotlivých metodikách měření.

#### 5.1.1 Metodika měření podle OTP

Rozdíl proti původnímu postupu uvedenému v OTP spočívá v tom, že vzorek je při změně zatěžovací frekvence ponechán nezatížený. Zároveň byl stanoven rozměr zkušebních těles na 300x300 mm.

#### 5.1.2 Metodika měření podle TC256

Rozdíly proti původnímu postupu uvedenému v normě jsou v použití menší hladké ocelové desky o rozměru 300x300 mm místo původně předepsané desky o rozměrech 320x320 mm. Dále nebylo před zkouškou dynamické plošné tuhosti provedeno měření statické plošné tuhosti. Zkouška byla prováděna pro frekvence 1,5,10,20,30 Hz, na rozdíl od předepsaných frekvencí zatěžování 5,10 a 20 Hz.

Poslední rozdíl je v tom, že během přestávky mezi změnami frekvence zatěžování je vzorek ponechán nezatížený.

## 5.2 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa byla vyrobena z antivibračních rohoží od tří českých výrobců, a to od firem BOHEMIAelast, a.s., KSK-BELT, a.s. a STYL 2000 spol. s.r.o. Antivibrační rohože použité na zkušební tělesa vyrábí firma BOHEMIAelast a.s. pod obchodním označením AR BELAR 0,8, firma KSK-BELT a.s. pod obchodním označením AV 650 a firma STYL 2000 spol. s.r.o. pod obchodním názvem VIBRO S2K 750. Všechny zkoušené vzorky byly z pryžového granulátu pojeného polyuretanovým pojivem. Výběr konkrétních výrobců byl proveden na základě doporučení SŽDC.

Pro zkoušky dynamické plošné tuhosti byly použity zkušební vzorky již dříve použité pro laboratorní zkoušky na Katedře železničních staveb ČVUT v Praze. Zkušební tělesa měla rozměry 300x300 mm. Tloušťka zkušebních těles od výrobců BOHEMIAelast, a.s. a KSK-BELT, a.s. byla 25 mm, od firmy STYL 2000 spol. s.r.o. byly zkoušeny AVR tloušťek 15, 25 a 35 mm.

Zkušební tělesa byla označena kódem X-Y-Z , kde X značí výrobce (B - BOHEMIAelast a.s , K - KSK-BELT a.s., S - STYL 2000 spol. s.r.o.), Y značí tloušťku zkušebního tělesa v mm a Z je pořadové číslo vzorku pro snadné rozlišení jednotlivých vzorků (1 – 3).

Před prováděním měření dynamické plošné tuhosti byla zkušební tělesa namátkově zvážena a byly být zjištěny jejich rozměry. Vzhledem k absolutní shodě s hodnotami uvedenými v diplomové práci Bc. Veroniky Káplové „Závislost statické plošné tuhosti antivibračních rohoží z pryžového granulátu na její tloušťce“ nebyla provedena kompletní měření všech vzorků a čísla byla v převzata. Ve výše zmiňované diplomové práci je popsán i postup získání zkušebních těles.



Obrázek 6 Použitá zkušební tělesa

### 5.3 Použité zkušební zařízení

Pro laboratorní zkoušky byly použity dvě zkušební sestavy, které se lišily pouze použitým zatěžovacím strojem a silovým snímačem. Sestava č.1 byla použita pro měření v termínech 5.4., 12.4., 11.8. a 29.9., sestava č. 2 byla použita pro měření 23. a 24. 11.

Zkušební sestava č. 1:

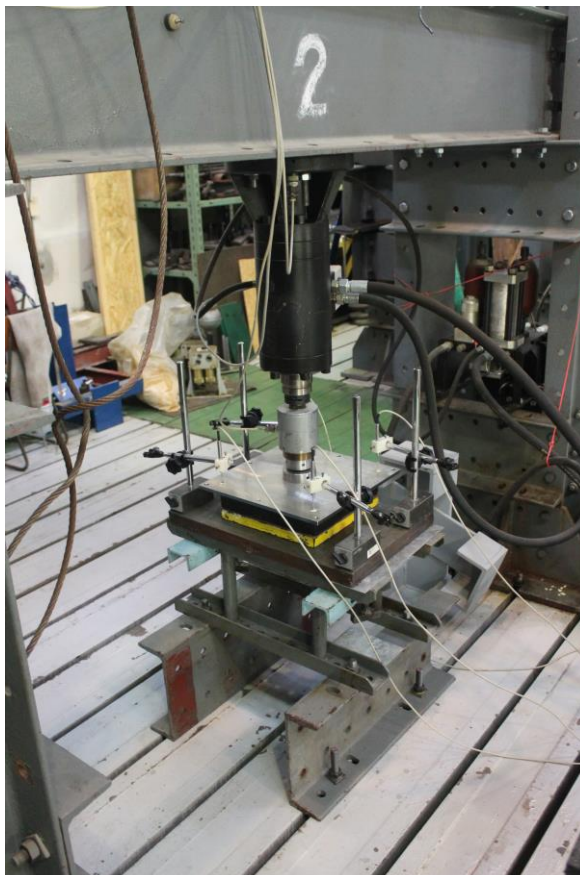
- Zatěžovací stroj ZUZ 200 výr. č. 3291046/1
- Silový snímač PS 20 s rozsahem do 20 kN výr. č. 7112
- Zatěžovací profilová deska SK 899 -7
- Hladká ocelová zatěžovací deska 2 ks
- Úchylkoměry 4 ks
- Digitální měřící ústředna
- Magnetické držáky úchylkoměrů 4 ks
- Smirkový papír P 240



Obrázek 7 Celkový pohled na sestavu č. 1 při zkoušce podle OTP

Zkušební sestava č. 2 :

- Zatěžovací stroj AVAD 50-100 M02, výr. č. 3291059
- Silový snímač PS 20 s rozsahem do 20 kN výr. č. 7253
- Zatěžovací profilová deska SK 899 -7
- Hladká ocelová zatěžovací deska 2 ks
- Úchylkoměry 4 ks
- Digitální měřící ústředna
- Magnetické držáky úchylkoměrů 4 ks
- Smirkový papír P 240



Obrázek 8 Celkový pohled na sestavu č. 2 při zkoušce podle TC 256

## 5.4 Průběh měření

Během měření se někdy objevovaly problémy technického rázu. Dosažení předepsaného zatížení při vyšších frekvencích zatěžování bylo na hranicích technických možností přístrojového vybavení laboratoře. Problémy se projevovaly automatickým bezpečnostním nouzovým zastavením zatěžovacího stroje. Příčinou pro bezpečnostní odstavení bylo rozvibrování horní zatěžovací desky nezávisle na frekvenci zatěžování, výjimečně spojené s vychýlením snímačů posunu. Většinou bylo možné pokračovat v měření změnou nastavení konstant zatěžovacího stroje. Správné nastavení stroje bylo nutné zjišťovat metodou pokus omyl, čímž výrazně narůstala časová náročnost měření. Pokud měření probíhalo bez problému, trvalo proměření všech pěti frekvencí na jednom zkušebním tělese včetně jeho osazení a odebrání ze zatěžovací sestavy přibližně 30 minut. Bohužel se ani i tak u některých zkušebních těles nepodařilo vyvodit zatížení při vyšších frekvencích. V těchto případech vycházelo potřebné nastavení konstant zatěžovacího stroje mimo možné nastavitelné hodnoty.

Zajímavým poznatkem z měření bylo, že u některých sad zkušebních vzorků nebylo možné použít shodné nastavení zatěžovacího stroje pro zatěžování různých zkušebních těles ze stejné sady. Někdy bylo nutné upravit nastavení zatěžovacího stroje během zkoušení stejného vzorku při zvýšení frekvence zatěžování. Obecně lze konstatovat, že lépe se měřily zkušební vzorky s vyšší tuhostí.

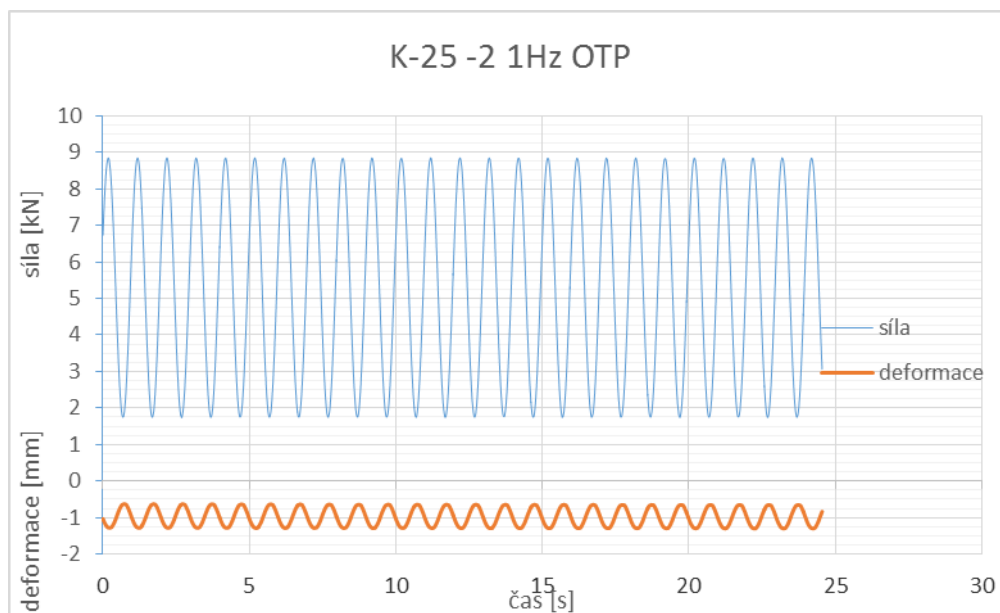
Technické problémy při měření vyvrcholily 29.9, kdy se podařilo vyvolat při používání zkušební sestavy číslo 1 zatížení o frekvenci 1 Hz. Pokusy o vyvolání zatížení s vyšší frekvencí končily neúspěšně i přes změny v nastavení zatěžovacího stroje. Po dohodě s obsluhou laboratoře byla pro další měření použita jiná zatěžovací sestava.

I přes zmíněné problémy se podařilo většinu měření uskutečnit a jejich výsledky považovat za relevantní.

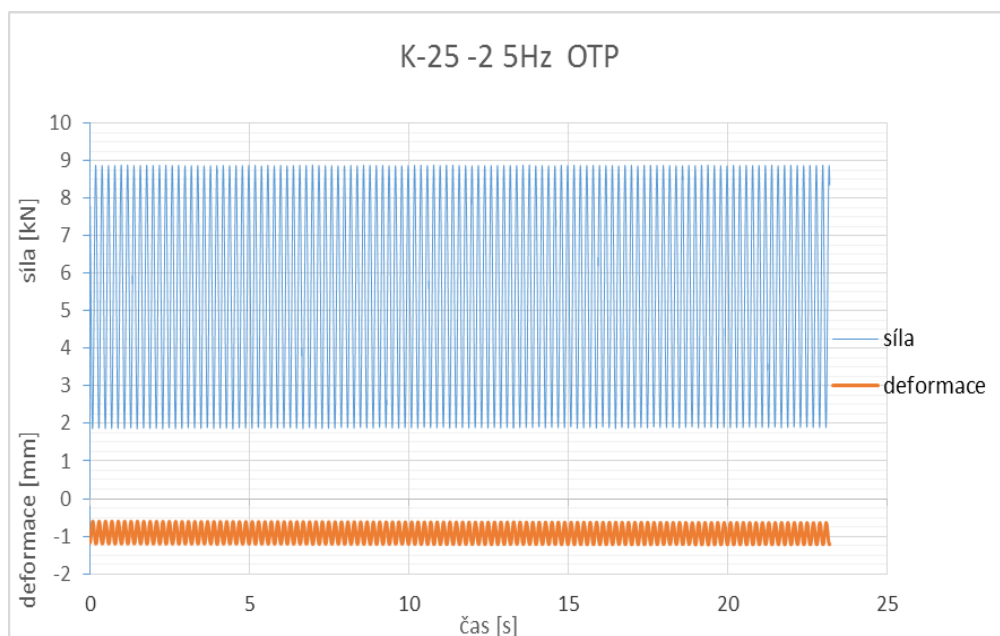
Během měření byly zaznamenávány velikosti deformace zkušebního vzorku ve 4 bodech a velikost působící síly s frekvencí záznamu 500 Hz. Naměřené údaje



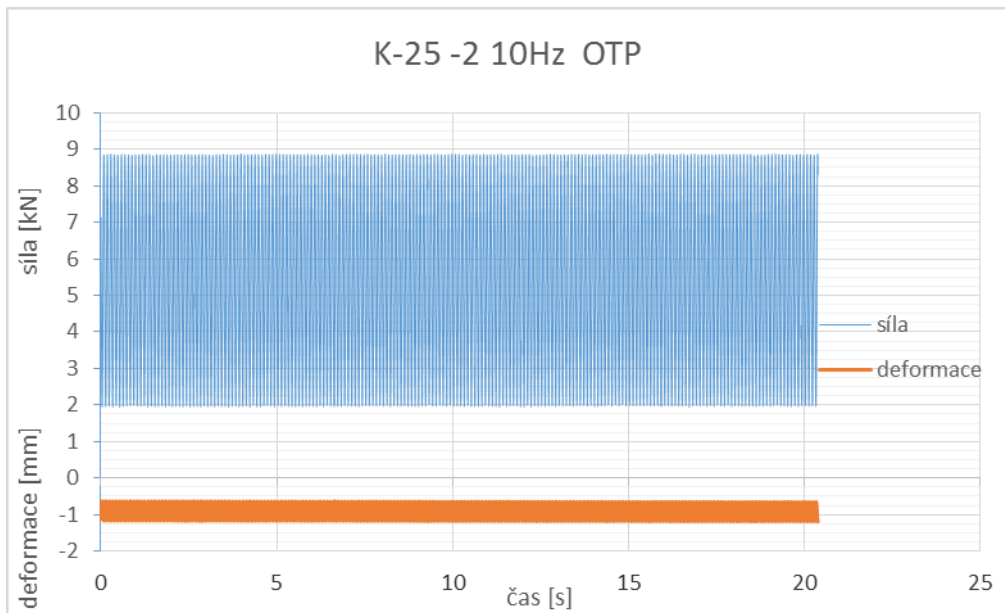
byly vyhodnocovány tabulkovým procesorem Excel. Níže je pro ilustraci uveden grafický záznam průběhu velikosti průměrné deformace a síly při zkoušení vzorku K-25-2 pro jednotlivé frekvence podle obou metodik. Pro vyšší frekvence je z grafu ještě udělán výřez.



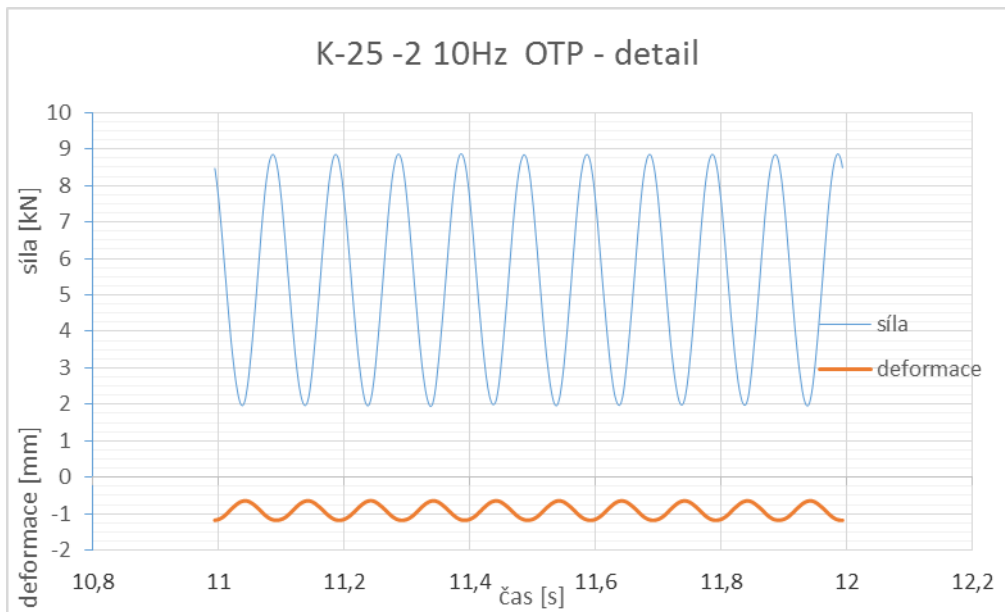
Obrázek 9 Průběh zkoušky podle OTP 1 Hz



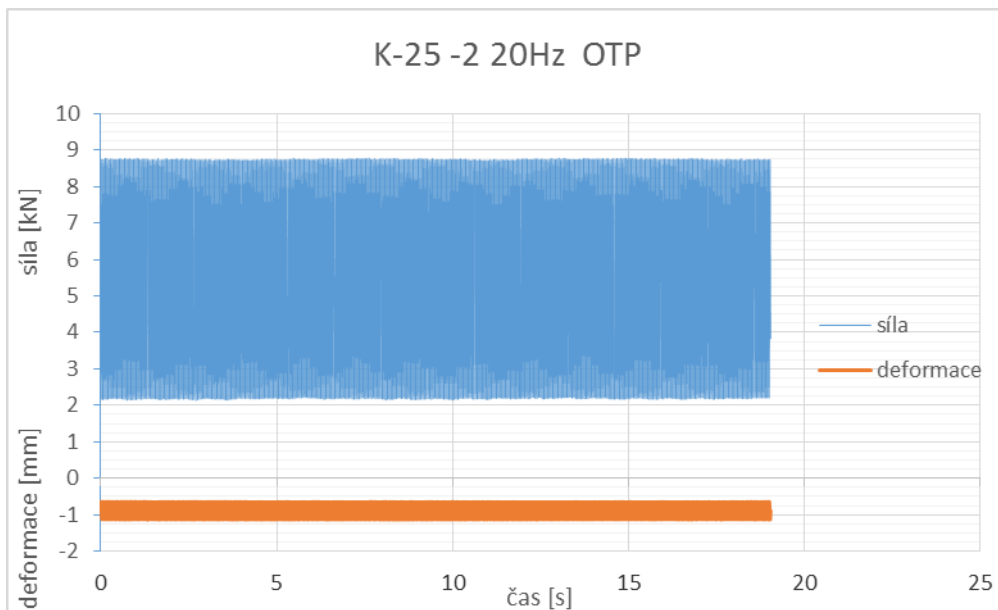
Obrázek 10 Průběh zkoušky podle OTP 5 Hz



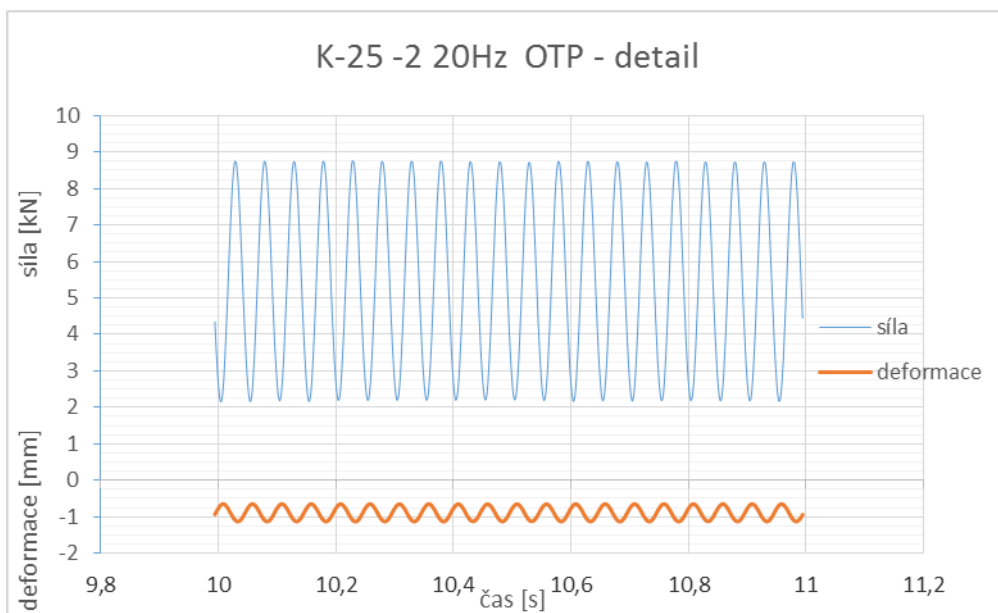
Obrázek 11 Průběh zkoušky podle OTP 10 Hz



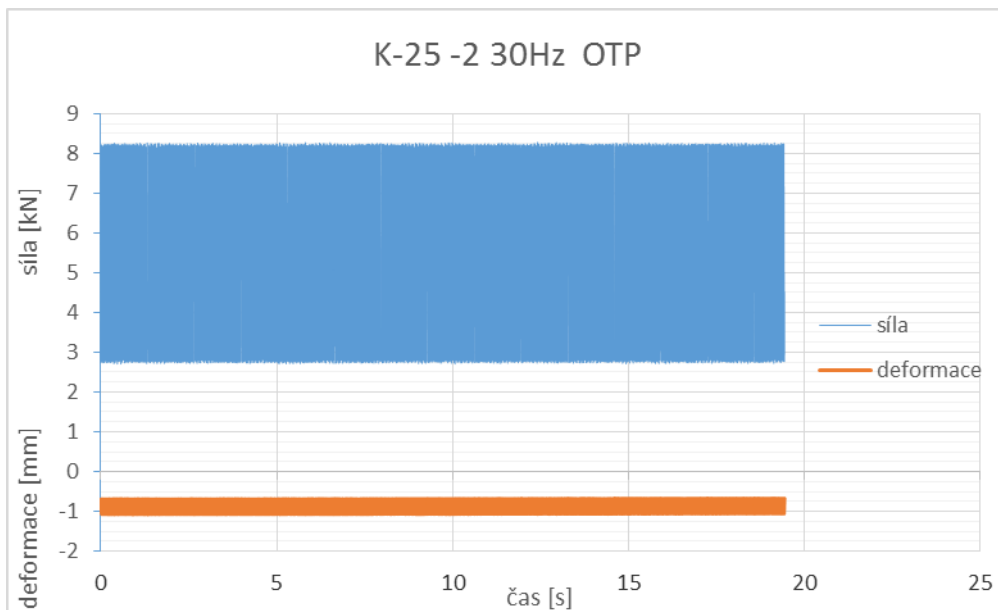
Obrázek 12 Průběh zkoušky podle OTP 10 Hz - detail



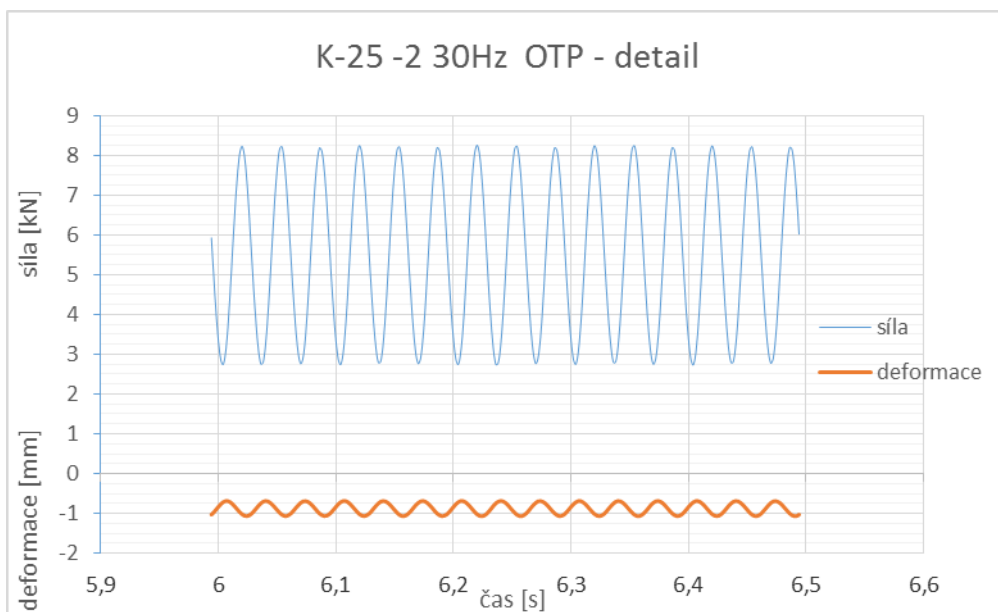
Obrázek 13 Průběh zkoušky podle OTP 20 Hz



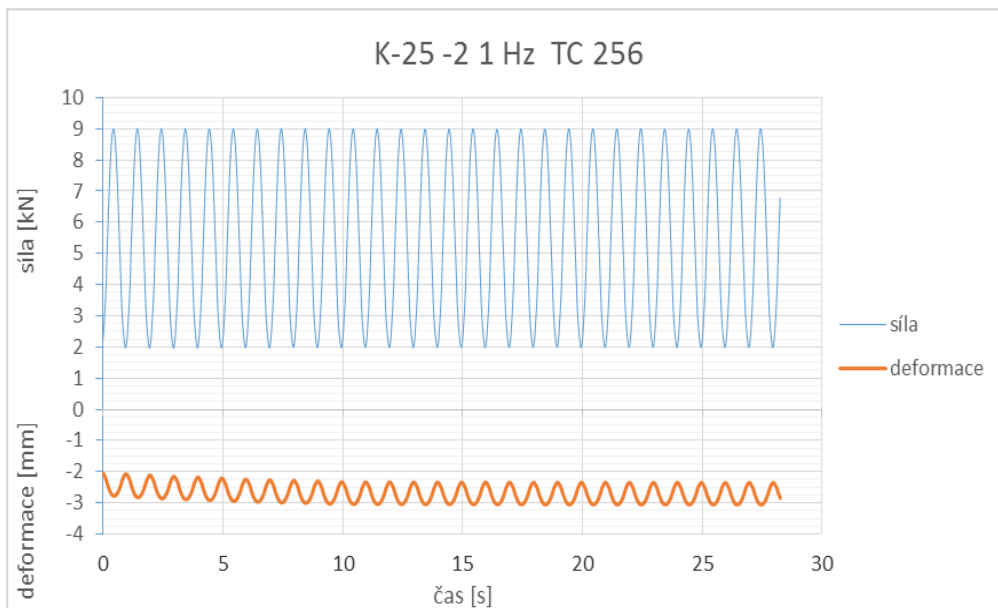
Obrázek 14 Průběh zkoušky podle OTP 20 Hz - detail



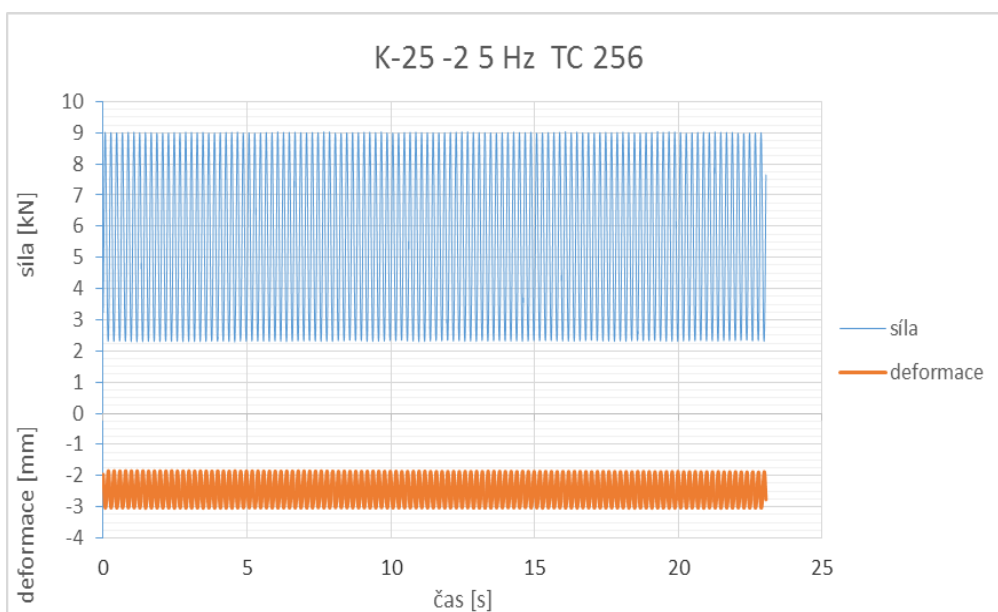
Obrázek 15 Průběh zkoušky podle OTP 30 Hz



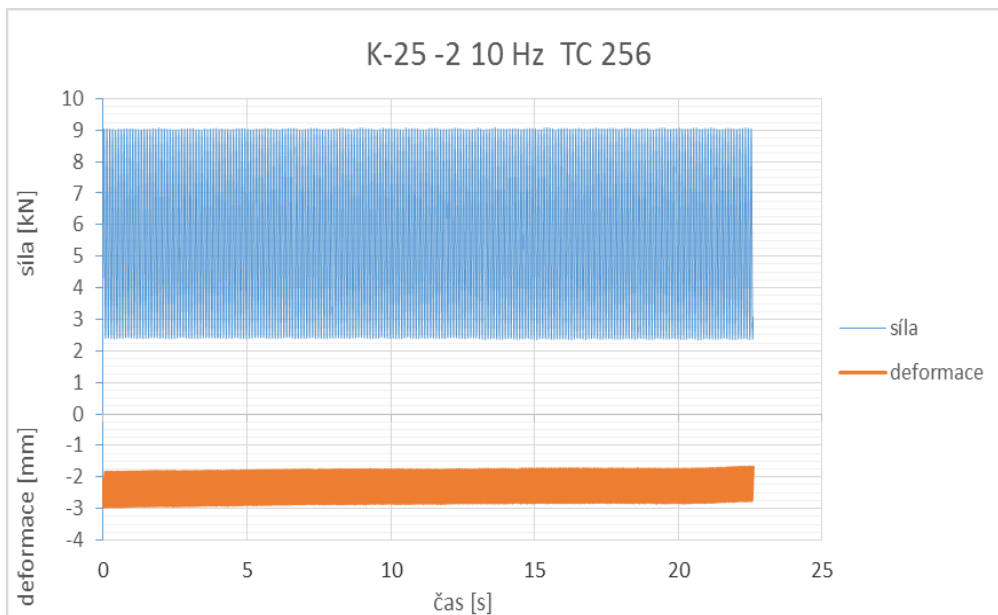
Obrázek 16 Průběh zkoušky podle OTP 30 Hz - detail



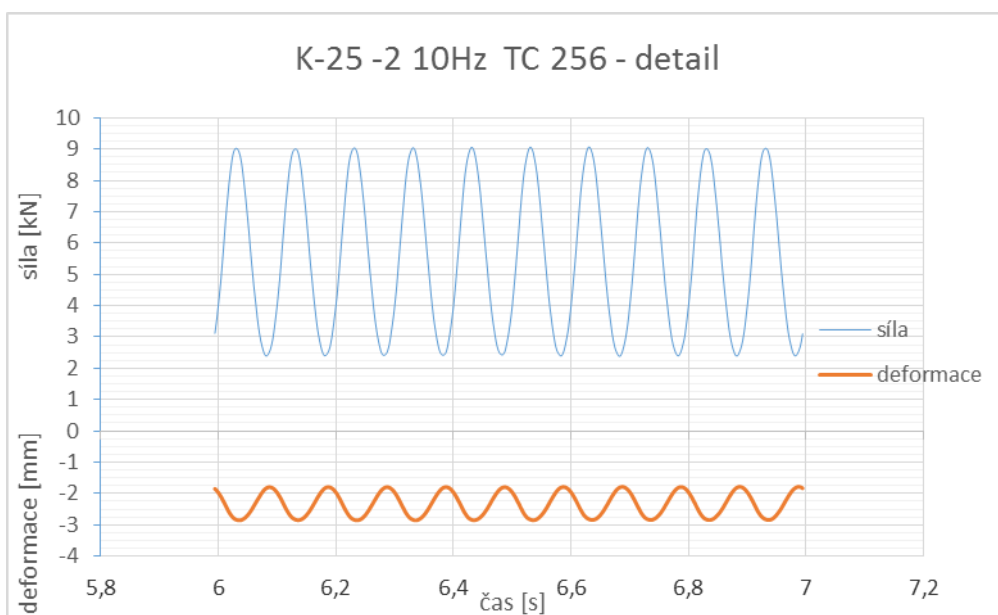
Obrázek 17 Průběh zkoušky podle TC256 1 Hz



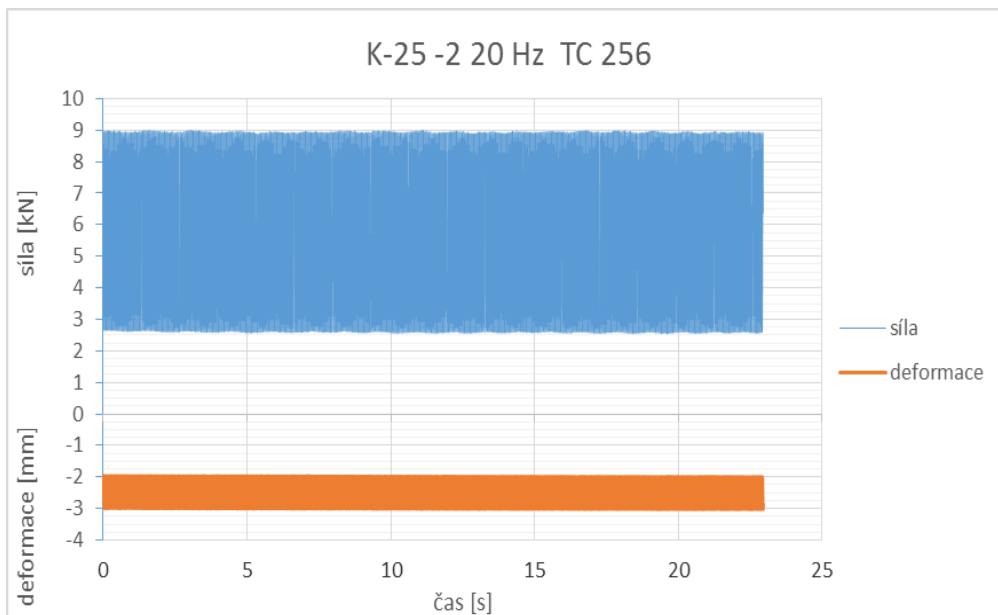
Obrázek 18 Průběh zkoušky podle TC256 5 Hz



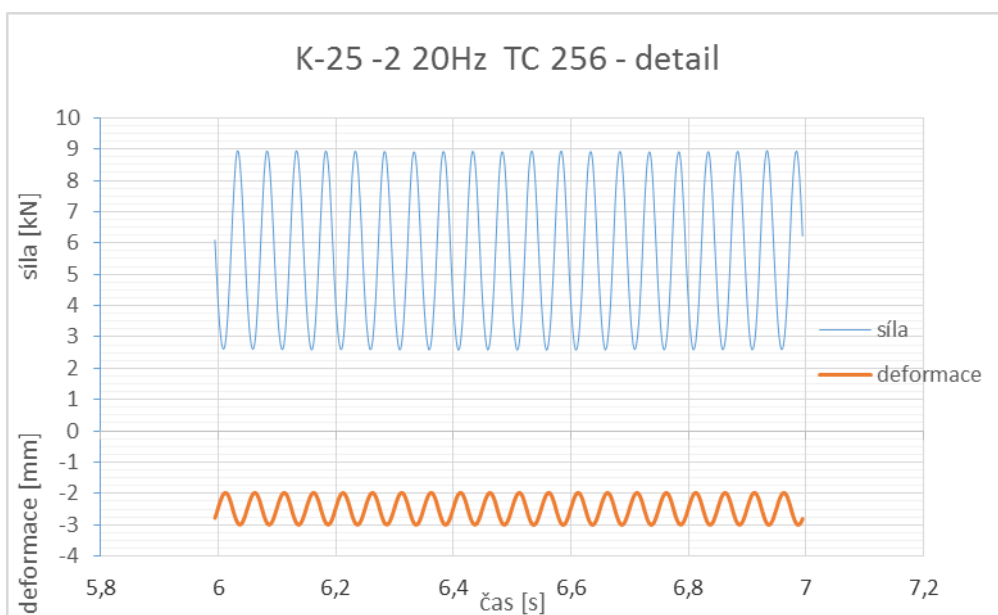
Obrázek 19 Průběh zkoušky podle TC256 10 Hz



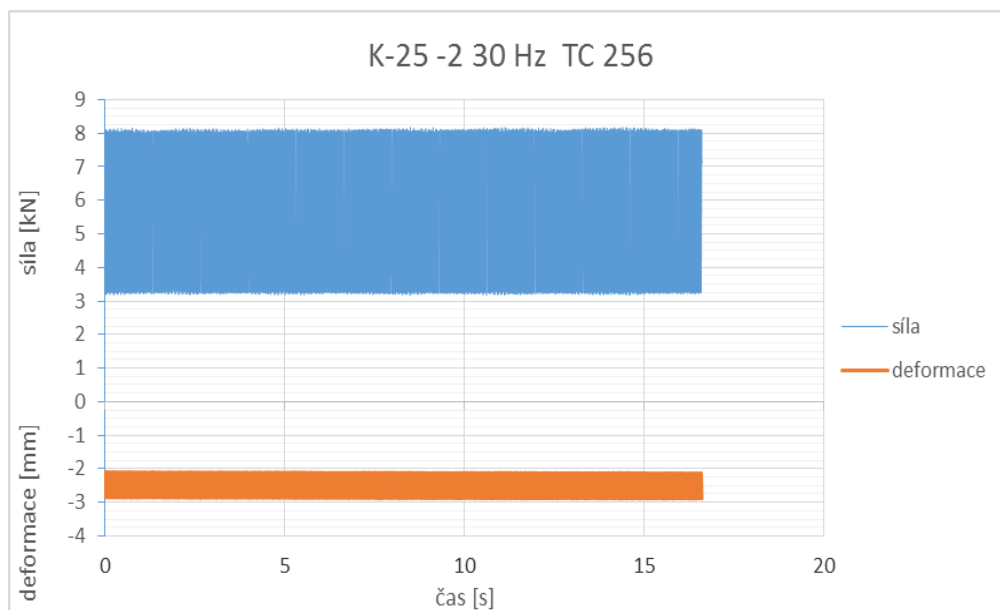
Obrázek 10 Průběh zkoušky podle TC256 10 Hz - detail



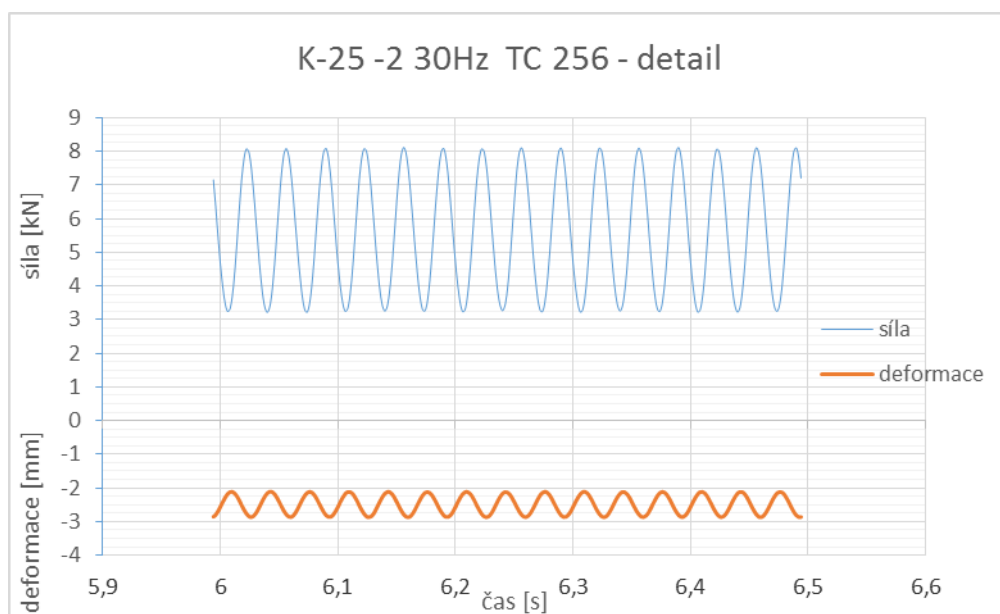
Obrázek 11 Průběh zkoušky podle TC256 20 Hz



Obrázek 12 Průběh zkoušky podle TC256 20 Hz - detail



Obrázek 13 Průběh zkoušky podle TC256 30 Hz



Obrázek 14 Průběh zkoušky podle TC256 30 Hz - detail

Z grafů lze vysledovat, že rozmezí působící síly klesá ze zadaného rozpětí 1,8-9,0 kN na přibližně 8,3-2,8 kN při frekvenci 30 Hz, i když zatěžovací stroj ukazoval, že zatěžuje v rozpětí zadaných sil. Na grafech je dále patrné, že



deformace nedosahuje maxima nebo minima ve stejný okamžik jako síla, ale o něco později.

## 6. Vyhodnocení a výsledky

### 6.1 Dynamická plošná tuhost vzorků B-25

U všech vzorků B-25 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost podle obou metodik. V následující tabulce jsou výsledné dynamické plošné tuhosti pro jednotlivé frekvence získané podle obou metodik. Za výslednou hodnotu dynamické plošné tuhosti je považována průměrná hodnota z měření na třech různých vzorcích.

Tabulka 4 Dynamická plošná tuhost vzorků B-25

| označení<br>zkušebního<br>vzorku | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)iHz}$<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] OTP |              |               |               |               | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ]<br>TC 256 |              |               |               |               |
|----------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | $C_{(A)1Hz}$  | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                                  | frekvence v Hz  |              |               |               |               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                                  | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| B-25/1                           | 0,596   | 0,807        | 0,931         | 1,316         | 1,064         | 0,123  | 0,143        | 0,170         | 0,154         | 0,181         |
| B-25/2                           | 0,663   | 0,842        | 0,980         | 0,997         | 0,831         | 0,122  | 0,157        | 0,173         | 0,193         | 0,265         |
| B-25/3                           | 0,636   | 0,832        | 0,968         | 1,155         | 0,984         | 0,111  | 0,126        | 0,160         | 0,146         | 0,167         |
| Průměrná<br>hodnota              | 0,632   | 0,827        | 0,959         | 1,156         | 0,960         | 0,119  | 0,142        | 0,168         | 0,164         | 0,205         |

Průměrná hodnota dynamické plošné tuhosti vychází pro všechny frekvence vyšší při měření podle OTP, než při měření podle TC 256. Hodnota dynamické plošné tuhosti získaná podle OTP má s růstem frekvence do frekvence 20 Hz včetně postupně vzrůstající velikost, pro frekvenci 30 Hz hodnota dynamické plošné tuhosti klesá. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle TC256 má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost.

Z výsledků získaných měření podle OTP je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 1, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 1, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 1, pro frekvenci 20 Hz

vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 2 a pro frekvenci 30 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 2.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 5 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou

| OTP            | vzorek číslo % |       |       |
|----------------|----------------|-------|-------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3     |
| 1              | 94,4           | 105,0 | 100,6 |
| 5              | 97,6           | 101,8 | 100,6 |
| 10             | 97,0           | 102,1 | 100,8 |
| 20             | 113,8          | 86,2  | 99,9  |
| 30             | 110,9          | 86,6  | 102,6 |

Z výsledků získaných měření podle TC256 je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 20 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 30 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 6 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou

| TC256          | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 103,3          | 103,0 | 93,7 |
| 5              | 100,7          | 110,6 | 88,6 |
| 10             | 101,5          | 103,4 | 95,1 |
| 20             | 93,8           | 117,3 | 88,8 |
| 30             | 88,6           | 129,6 | 81,8 |

Hodnoty objemové hmotnosti a statistické plošné tuhosti jsou převzaty z [8]. Z tabulky je zřejmé, že vzorek číslo 3 má nejmenší objemovou hmotnost a současně nejmenší statickou plošnou tuhost. Vzorek číslo 2 má pak největší objemovou hmotnost a největší statickou plošnou tuhost.

Tabulka 7 Objemová hmotnost a statická plošná tuhost

| vzorek | objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ] | statická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |
|--------|---|--|
| B-25-1 | 783,956                                 | 0,360  |
| B-25-2 | 802,208                                 | 0,427  |
| B-25-3 | 756,237                                 | 0,327  |

Pokud toto porovnáme s naměřenými hodnotami dynamické plošné tuhosti, zjistíme, že u hodnot získaných podle OTP pro frekvence 1,5,10 Hz byla změřena největší dynamická plošná tuhost u vzorku číslo 2, a pro frekvence 20 a 30 Hz vyšla z měření největší dynamická plošná tuhost u vzorku číslo 1. Nejmenší dynamická plošná tuhost byla změřena pro frekvence 1,5,10 Hz u vzorku číslo 1, pro frekvence 20 a 30 Hz byla nejmenší dynamická plošná tuhost změřena u vzorku číslo 2. Dalo by se předpokládat, že naměřené hodnoty dynamické plošné tuhosti, respektive minimální a maximální hodnoty změřené pro jednotlivé frekvence, budou mít stejné rozložení, jako maximální a minimální hodnoty objemové hmotnosti a statické

plošné tuhosti. Toto platí pouze pro maximální hodnoty a pouze pro frekvence 1, 5, 10 Hz.

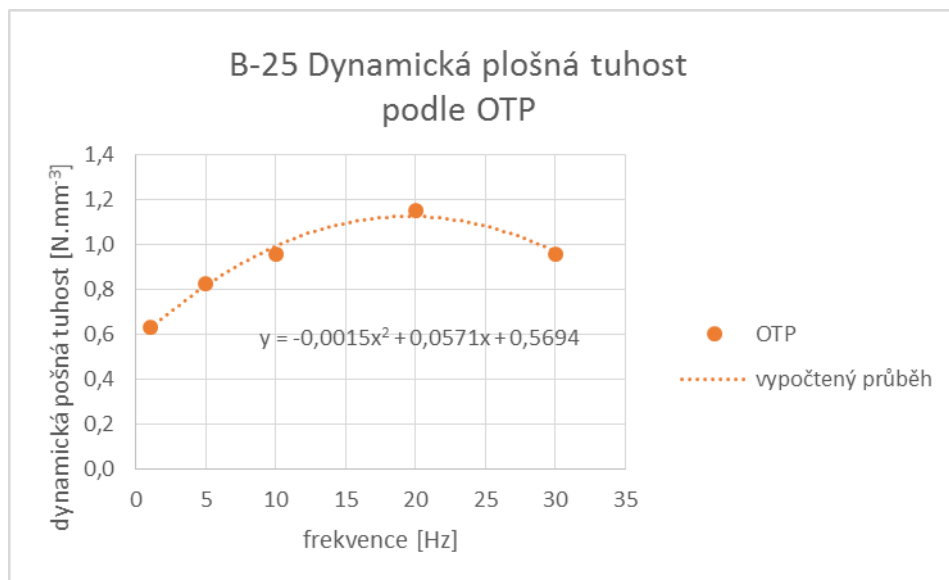
U výsledků měření podle TC256 byla maximální dynamická plošná tuhost změřena pro frekvenci 1 Hz u vzorku číslo 1, nicméně proti hodnotě dynamické plošné tuhosti změřené u vzorku číslo 2 je rozdíl minimální a lze zanedbat. Pro frekvence 5,10,20,30 Hz byla změřena největší hodnota dynamické plošné tuhosti u vzorku číslo 2. Nejmenší hodnota dynamické plošné tuhosti byla shodně naměřena pro všechny frekvence u vzorku číslo 3. Pokud toto porovnáme s výsledky objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti, dojdeme ke shodě, tj. maximální hodnoty vycházejí u vzorku číslo 2 (pokud zanedbáme rozdíl u frekvence 1 Hz) a minimální u vzorku číslo 3.

Je zajímavé, že rozložení maximálních a minimálních hodnot výsledků měření podle OTP prakticky neodpovídají rozložení minimálních a maximálních hodnot objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti, zatímco rozložení maximálních a minimálních hodnot výsledků měření podle TC 256 odpovídá.

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle OTP lze proložit kvadratickou funkcí. Tato funkce má předpis 6.1, kde  $x$  je frekvence a  $y$  je dynamická plošná tuhost.

$$y = -0,0015x^2 + 0,0571x + 0,5694 \quad (6.1)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 25 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 15 Průběh dynamické plošné tuhosti - OTP

V tabulce 9 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -3,8 až 3,2 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

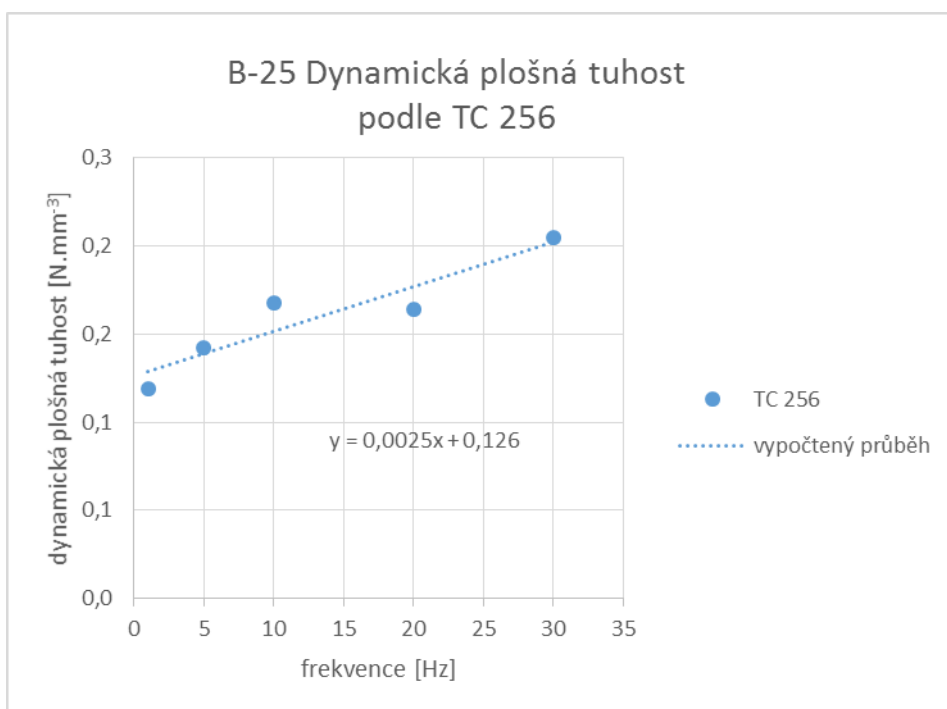
Tabulka 8 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - OTP

| Frekvence [Hz] | dynamická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |           |            |
|----------------|---|-----------|------------|
|                | změřená                                       | vypočtená | odchylka % |
| 1              | 0,632   | 0,625     | -1,1       |
| 5              | 0,827   | 0,817     | -1,1       |
| 10             | 0,959   | 0,990     | 3,2        |
| 20             | 1,156   | 1,111     | -3,8       |
| 30             | 0,960   | 0,932     | -2,8       |

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle TC 256 lze proložit lineární funkcí. Tato funkce má předpis 6.2, kde  $x$  je frekvence a  $y$  je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0025x + 0,126 \quad (6.2)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 26 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 16 Průběh dynamické plošné tuhosti - TC256

V tabulce 10 jsou porovnány hodnoty získané měřeními a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -10,0 až 8,3 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřeními.

Tabulka 9 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí –TC256

| Frekvence<br>[Hz] | dynamická plošná tuhost<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] |           |               |
|-------------------|--|-----------|---------------|
|                   | změřená  | vypočtená | odchylka<br>% |
| 1                 | 0,119  | 0,129     | 8,3           |
| 5                 | 0,142  | 0,139     | -2,5          |
| 10                | 0,168  | 0,151     | -10,0         |
| 20                | 0,164  | 0,176     | 7,1           |
| 30                | 0,205  | 0,201     | -1,8          |



## 6.2 Dynamická plošná tuhost vzorků K-25

U všech vzorků K-25 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost podle obou metodik. V následující tabulce jsou výsledné dynamické plošné tuhosti pro jednotlivé frekvence získané podle obou metodik. Za výslednou hodnotu dynamické plošné tuhosti je považována průměrná hodnota z měření na třech různých vzorcích.

Tabulka 10 Dynamická plošná tuhost vzorků K-25

| označení<br>zkušebního<br>vzorku | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)iHz}$<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] OTP |              |               |               |               | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ]<br>TC256 |              |               |               |               |
|----------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | $C_{(A)1Hz}$  | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ | $C_{dyn1Hz}$  | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                                  | frekvence v Hz  |              |               |               |               | frekvence v Hz  |              |               |               |               |
|                                  | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            |
| K-25/1                           | 0,122   | 0,139        | 0,148         | 0,162         | 0,189         | 0,059   | 0,071        | 0,076         | 0,078         | 0,109         |
| K-25/2                           | 0,125   | 0,137        | 0,150         | 0,166         | 0,209         | 0,057   | 0,069        | 0,076         | 0,081         | 0,106         |
| K-25/3                           | 0,102   | 0,117        | 0,127         | 0,136         | 0,168         | 0,053   | 0,067        | 0,072         | 0,075         | 0,100         |
| Průměrná<br>hodnota              | 0,117   | 0,131        | 0,142         | 0,155         | 0,189         | 0,056   | 0,069        | 0,075         | 0,078         | 0,105         |

Průměrná hodnota dynamické plošné tuhosti vychází pro všechny frekvence vyšší při měření podle OTP, než při měření podle TC 256. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle OTP má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle TC256 má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost.

Z výsledků získaných měření podle OTP je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 20 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3 a pro frekvenci 30 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 11 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - OTP

| OTP            | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 104,9          | 107,4 | 87,7 |
| 5              | 106,1          | 104,7 | 89,3 |
| 10             | 104,6          | 105,8 | 89,7 |
| 20             | 104,4          | 107,5 | 88,1 |
| 30             | 100,1          | 111,0 | 89,0 |

Z výsledků získaných měření podle TC256 je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost hodně vzorek číslo 1 a 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 20 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 30 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 12 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - TC256

| TC256          | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 104,7          | 100,8 | 94,4 |
| 5              | 103,0          | 100,0 | 97,1 |
| 10             | 101,4          | 102,2 | 96,4 |
| 20             | 99,9           | 103,7 | 96,3 |
| 30             | 103,8          | 100,8 | 95,4 |

Hodnoty objemové hmotnosti a statistické plošné tuhosti jsou převzaty z [8]. Z tabulky je zřejmé, že vzorek číslo 3 má nejmenší objemovou hmotnost a současně nejmenší statickou plošnou tuhost. Vzorek číslo 1 má pak největší objemovou hmotnost a největší statickou plošnou tuhost.

Tabulka 13 Objemová hmotnost a statická plošná tuhost

| vzorek | objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ] | statická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |
|--------|---|--|
| K-25-1 | 693,129                                 | 0,086  |
| K-25-2 | 683,519                                 | 0,080  |
| K-25-3 | 667,874                                 | 0,068  |

Pokud toto porovnáme s naměřenými hodnotami dynamické plošné tuhosti, zjistíme, že u hodnot získaných podle OTP pro frekvence 1,10,20,30 Hz byla změřena největší dynamická plošná tuhost u vzorku číslo 2, a pro frekvenci 5 Hz vyšla z měření největší dynamická plošná tuhost u vzorku číslo 1. Nejmenší dynamická plošná tuhost byla změřena pro všechny frekvence u vzorku číslo 3. Dalo by se předpokládat, že naměřené hodnoty dynamické plošné tuhosti, respektive minimální a maximální hodnoty změřené pro jednotlivé frekvence, budou mít stejné rozložení, jako maximální a minimální hodnoty objemové hmotnosti

a statické plošné tuhosti. Toto platí pro minimální hodnoty pro všechny frekvence a u maximálních hodnot pouze pro frekvenci 5 Hz.

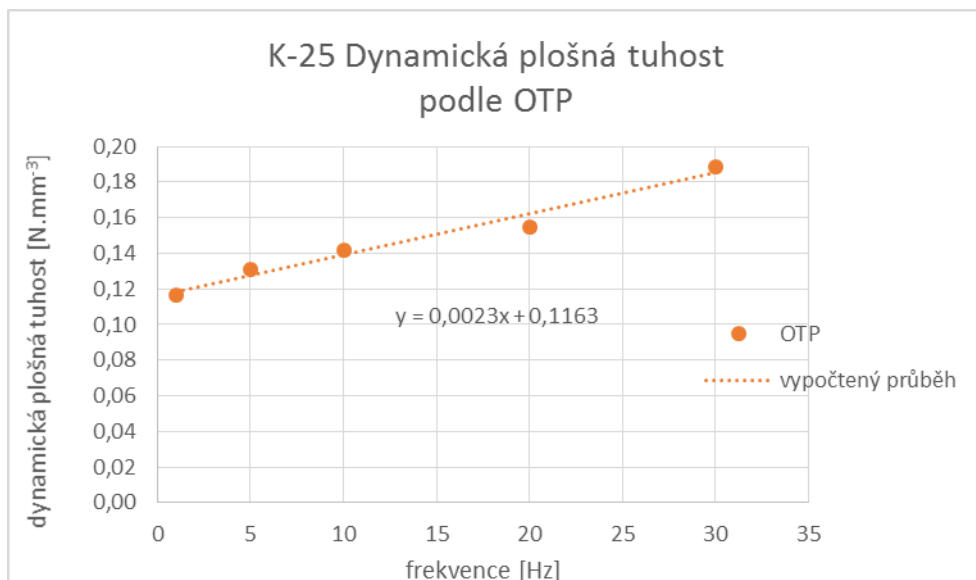
U výsledků měření podle TC256 byla maximální dynamická plošná tuhost změřena pro frekvence 1 a 30 Hz u vzorku číslo 1, pro frekvenci 5 Hz je maximální hodnota shodná u vzorku číslo 1 a 2. Pro frekvence 10 a 20 Hz byla změřena největší hodnota dynamické plošné tuhosti u vzorku číslo 2. Nejmenší hodnota dynamické plošné tuhosti byla shodně naměřena pro všechny frekvence u vzorku číslo 3. Pokud toto porovnáme s výsledky objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti, vyjde nám, že shoda je pouze pro minimální hodnoty vycházející u vzorku číslo 3. U maximálních hodnot je shoda mezi výskytem změřených maximálních hodnot dynamické plošné tuhosti a objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti pouze u výsledků pro frekvence 1,5 a 30 Hz.

Je zajímavé, že rozložení minimálních hodnot výsledků měření podle OTP a TC256 odpovídá rozložení minimálních hodnot statické plošné tuhosti a objemové hmotnosti. U rozložení výsledků pro maximální hodnoty je shoda u obou metodik pro frekvenci 5 Hz, u výsledků podle TC 256 dále pro frekvence 1 a 30 Hz

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle OTP lze proložit lineární funkcí. Tato funkce má předpis 6.3, kde  $x$  je frekvence a  $y$  je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0023x + 0,1163 \quad (6.3)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 27 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 17 Průběh dynamické plošné tuhosti - OTP

V tabulce 15 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -2,4 až 4,9 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

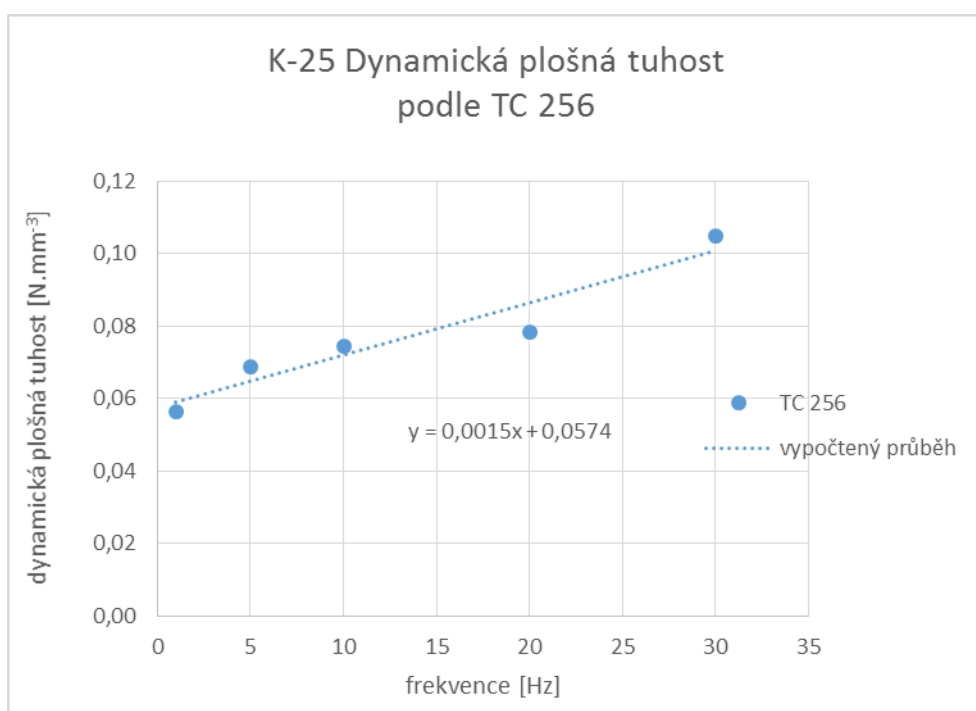
Tabulka 14 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - OTP

| Frekvence [Hz] | dynamická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |           |            |
|----------------|---|-----------|------------|
|                | změřená                                       | vypočtená | odchylka % |
| 1              | 0,117   | 0,119     | 1,7        |
| 5              | 0,131   | 0,128     | -2,4       |
| 10             | 0,142   | 0,139     | -1,8       |
| 20             | 0,155   | 0,162     | 4,9        |
| 30             | 0,189   | 0,185     | -1,7       |

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle TC 256 lze proložit lineární funkcí. Tato funkce má předpis 6.4, kde x je frekvence a y je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0015x + 0,0574 \quad (6.4)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 28 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 18 Průběh dynamické plošné tuhosti - TC256

V tabulce 16 jsou porovnány hodnoty získané měřeními a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -5,6 až 11,6 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřeními.

Tabulka 15 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - TC256

| Frekvence<br>[Hz] | dynamická plošná tuhost<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] |           |               |
|-------------------|--|-----------|---------------|
|                   | změřená  | vypočtená | odchylka<br>% |
| 1                 | 0,056  | 0,059     | 4,5           |
| 5                 | 0,069  | 0,065     | -5,6          |
| 10                | 0,075  | 0,072     | -2,9          |
| 20                | 0,078  | 0,087     | 11,6          |
| 30                | 0,105  | 0,102     | -2,4          |

### 6.3 Dynamická plošná tuhost vzorků S-15

U všech vzorků S-15 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost podle OTP, podle TC256 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost u všech vzorků pouze pro frekvence 1, 5 a 10 Hz. V následující tabulce jsou výsledné dynamické plošné tuhosti pro jednotlivé frekvence získané podle obou metodik. Za výslednou hodnotu dynamické plošné tuhosti je považována průměrná hodnota z měření na třech různých vzorcích.

Tabulka 16 Dynamická plošná tuhost vzorků S-15

| označení<br>zkušebního<br>vzorku | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)iHz}$<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] OTP |              |               |               |               | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ]<br>TC 256 |              |               |               |               |
|----------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | $C_{(A)1Hz}$  | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                                  | frekvence v Hz  |              |               |               |               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                                  | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S-15/1                           | 0,389   | 0,414        | 0,435         | 0,510         | 1,007         | 0,108  | 0,117        | 0,125         | -             | -             |
| S-15/2                           | 0,411   | 0,487        | 0,549         | 0,575         | 1,132         | 0,105  | 0,115        | 0,121         | -             | -             |
| S-15/3                           | 0,254   | 0,279        | 0,292         | 0,346         | 0,757         | 0,086  | 0,093        | 0,100         | -             | -             |
| Průměrná<br>hodnota              | 0,351   | 0,393        | 0,425         | 0,477         | 0,965         | 0,100  | 0,109        | 0,116         | -             | -             |

Průměrná hodnota dynamické plošné tuhosti vychází pro frekvence 1, 5 a 10 Hz vyšší při měření podle OTP, než při měření podle TC 256. Výsledky pro frekvence 20 a 30 Hz nelze porovnat. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle OTP má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle TC256 má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost.

Z výsledků získaných měření podle OTP je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 20 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek



číslo 3 a pro frekvenci 30 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 17 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - OTP

| OTP            | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 110,6          | 117,0 | 72,4 |
| 5              | 105,3          | 123,8 | 70,9 |
| 10             | 102,3          | 129,0 | 68,7 |
| 20             | 106,9          | 120,6 | 72,5 |
| 30             | 104,3          | 117,3 | 78,4 |

Z výsledků získaných měření podle TC256 je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost hodně vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 3.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 18 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - TC256

| TC256          | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 108,1          | 105,4 | 86,5 |
| 5              | 108,1          | 105,9 | 86,0 |
| 10             | 108,4          | 105,0 | 86,6 |
| 20             | -              | -     | -    |
| 30             | -              | -     | -    |

Hodnoty objemové hmotnosti a statistické plošné tuhosti jsou převzaty z [8]. Z tabulky je zřejmé, že vzorek číslo 3 má nejmenší objemovou hmotnost a současně nejmenší statickou plošnou tuhost. Vzorek číslo 2 má pak největší objemovou hmotnost a největší statickou plošnou tuhost.

Tabulka 19 Objemová hmotnost a statická plošná tuhost

| vzorek | objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ] | statická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |
|--------|---|--|
| S-15-1 | 802,347                                 | 0,283  |
| S-15-2 | 803,820                                 | 0,291  |
| S-15-3 | 723,458                                 | 0,172  |

Pokud toto porovnáme s naměřenými hodnotami dynamické plošné tuhosti, zjistíme, že u hodnot získaných podle OTP byla pro všechny frekvence změřena největší dynamická plošná tuhost u vzorku číslo 2. Nejmenší dynamická plošná tuhost byla změřena pro všechny frekvence u vzorku číslo 3. Dalo by se předpokládat, že naměřené hodnoty dynamické plošné tuhosti, respektive minimální a maximální hodnoty změřené pro jednotlivé frekvence, budou mít stejné rozložení, jako maximální a minimální hodnoty objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti. Toto platí pro minimální i maximální hodnoty pro všechny frekvence.

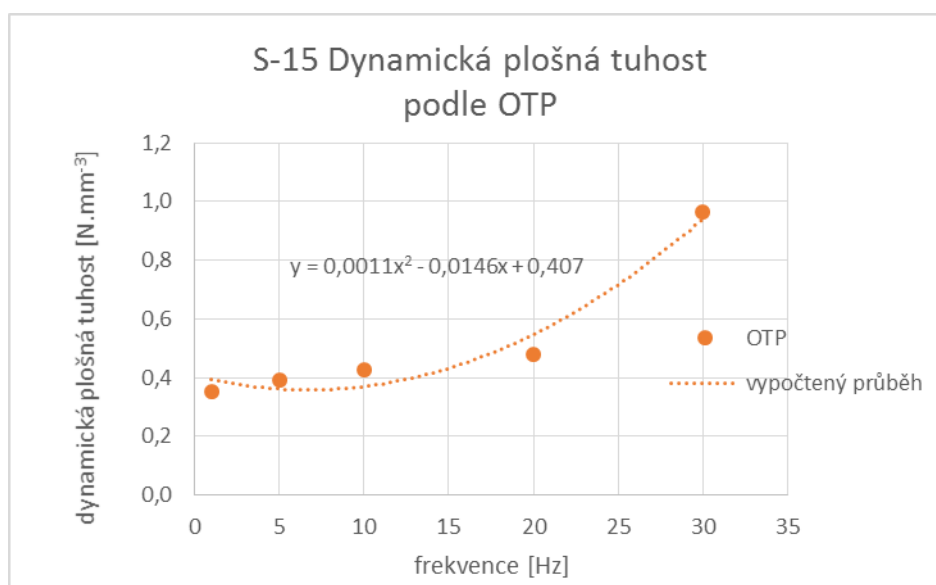
U výsledků měření podle TC256 byla maximální dynamická plošná tuhost změřena pro frekvence 1, 5 a 10 Hz u vzorku číslo 1. Nejmenší hodnota dynamické plošné tuhosti byla naměřena pro frekvence 1, 5 a 10 Hz u vzorku číslo 3. Pokud toto porovnáme s výsledky objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti, vyjde nám, že shoda je pouze pro minimální hodnoty vycházející u vzorku číslo 3. U maximálních hodnot není shoda mezi výskytem změřených maximálních hodnot dynamické plošné tuhosti a objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti pro žádnou frekvenci.

Je zajímavé, že rozložení minimálních hodnot výsledků měření podle OTP a TC256 odpovídá rozložení minimálních hodnot statické plošné tuhosti a objemové hmotnosti. U rozložení výsledků pro maximální hodnoty je shoda pouze u výsledků získaných podle OTP.

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle OTP lze proložit kvadratickou funkcí. Tato funkce má předpis 6.5, kde  $x$  je frekvence a  $y$  je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0011x^2 - 0,0146x + 0,407 \quad (6.5)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 29 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 19 Průběh dynamické plošné tuhosti - OTP

V tabulce 21 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -12,8 až 16,3 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

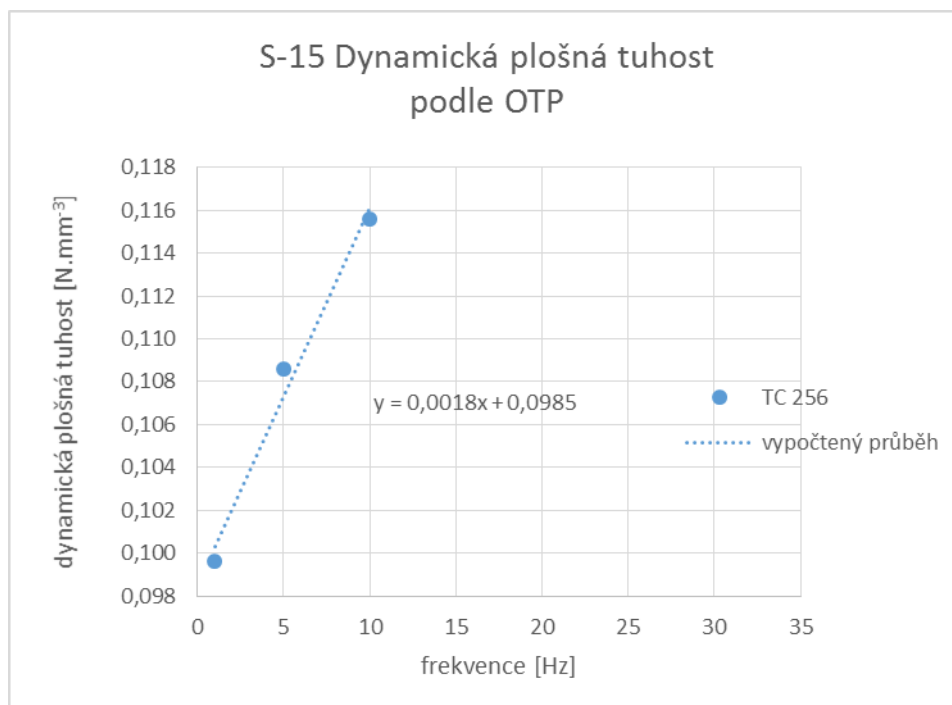
Tabulka 20 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - OTP

| Frekvence [Hz] | dynamická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |           |            |
|----------------|---|-----------|------------|
|                | změřená                                       | vypočtená | odchylka % |
| 1              | 0,351   | 0,394     | 12,0       |
| 5              | 0,393   | 0,362     | -8,0       |
| 10             | 0,425   | 0,371     | -12,8      |
| 20             | 0,477   | 0,555     | 16,3       |
| 30             | 0,965   | 0,959     | -0,7       |

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle TC 256 lze proložit lineární funkcí. Tato funkce má předpis 6.6, kde x je frekvence a y je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0018x + 0,0985 \quad (6.6)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 30 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 20 Průběh dynamické plošné tuhosti - TC256

V tabulce 22 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -1,0 až 0,8 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

Tabulka 21 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - TC256

| Frekvence<br>[Hz] | dynamická plošná tuhost<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] |           |               |
|-------------------|--|-----------|---------------|
|                   | změřená  | vypočtená | odchylka<br>% |
| 1                 | 0,100  | 0,100     | 0,7           |
| 5                 | 0,109  | 0,108     | -1,0          |
| 10                | 0,116  | 0,117     | 0,8           |
| 20                | -  | -         | -             |
| 30                | -  | -         | -             |

## 6.4 Dynamická plošná tuhost vzorků S-25

U vzorků S-25 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost podle OTP pro všechny frekvence u všech vzorků, kromě frekvence 30 Hz, u které se nepodařilo změřit dynamickou plošnou tuhost u vzorku číslo 3. Podle TC256 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost u všech vzorků pouze pro frekvence 1, 5 a 10 Hz. V následující tabulce jsou výsledné dynamické plošné tuhosti pro jednotlivé frekvence získané podle obou metodik. Za výslednou hodnotu dynamické plošné tuhosti je považovaná průměrná hodnota z měření na třech různých vzorcích. Pro frekvenci 30 Hz byla výsledná dynamická plošná tuhost stanovena jako průměr pouze ze dvou měření.

Tabulka 22 Dynamická plošná tuhost vzorků S-25

| označení<br>zkušebního<br>vzorku | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)iHz}$<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] OTP |              |               |               |               | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ]<br>TC 256 |              |               |               |               |
|----------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | $C_{(A)1Hz}$  | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                                  | frekvence v Hz  |              |               |               |               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                                  | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S-25/1                           | 0,194   | 0,214        | 0,226         | 0,268         | 0,594         | 0,076  | 0,117        | 0,170         | -             | -             |
| S-25/2                           | 0,223   | 0,247        | 0,262         | 0,309         | 0,248         | 0,081  | 0,123        | 0,176         | -             | -             |
| S-25/3                           | 0,136   | 0,154        | 0,149         | 0,168         | -             | 0,065  | 0,106        | 0,158         | -             | -             |
| Průměrná<br>hodnota              | 0,184   | 0,205        | 0,212         | 0,249         | 0,421         | 0,074  | 0,116        | 0,168         | -             | -             |

Průměrná hodnota dynamické plošné tuhosti vychází pro frekvence 1, 5 a 10 Hz vyšší při měření podle OTP, než při měření podle TC 256. Výsledky pro frekvence 20 a 30 Hz nelze porovnat. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle OTP má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle TC256 má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost.

Z výsledků získaných měření podle OTP je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 20 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3 a pro frekvenci 30 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 1 a nejmenší vzorek číslo 2.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 23 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - OTP

| OTP            | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 105,2          | 120,9 | 73,9 |
| 5              | 104,3          | 120,5 | 75,2 |
| 10             | 106,4          | 123,2 | 70,4 |
| 20             | 107,8          | 124,4 | 67,7 |
| 30             | 141,1          | 58,9  | -    |

Z výsledků získaných měření podle TC256 je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost hodně vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 24 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - TC256

| TC256          | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 103,0          | 109,1 | 87,9 |
| 5              | 101,5          | 106,4 | 92,0 |
| 10             | 101,4          | 104,5 | 94,1 |
| 20             | -              | -     | -    |
| 30             | -              | -     | -    |

Hodnoty objemové hmotnosti a statistické plošné tuhosti jsou převzaty z [8]. Z tabulky je zřejmé, že vzorek číslo 3 má nejmenší objemovou hmotnost a současně nejmenší statickou plošnou tuhost. Vzorek číslo 2 má pak největší objemovou hmotnost a největší statickou plošnou tuhost.

Tabulka 25 Objemová hmotnost a statická plošná tuhost

| vzorek | objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ] | statická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |
|--------|---|--|
| S-25-1 | 760,642                                 | 0,138  |
| S-25-2 | 778,026                                 | 0,162  |
| S-25-3 | 702,382                                 | 0,082  |

Pokud toto porovnáme s naměřenými hodnotami dynamické plošné tuhosti, zjistíme, že u hodnot získaných podle OTP byla pro frekvence 1, 5, 10 a 20 Hz změřena největší dynamická plošná tuhost u vzorku číslo 2. Nejmenší dynamická plošná tuhost byla změřena pro frekvence 1, 5, 10 a 20 Hz u vzorku číslo 3. Dalo by se předpokládat, že naměřené hodnoty dynamické plošné tuhosti, respektive minimální a maximální hodnoty změřené pro jednotlivé frekvence, budou mít stejné rozložení, jako maximální a minimální hodnoty objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti. Toto platí pro minimální i maximální hodnoty pro frekvence



1, 5, 10 a 20 Hz. Hodnoty pro frekvenci 30 Hz nebyly posuzovány, protože se nepodařilo změřit třetí hodnotu dynamické plošné tuhosti. Tudíž by porovnání bez třetí hodnoty bylo zkreslené.

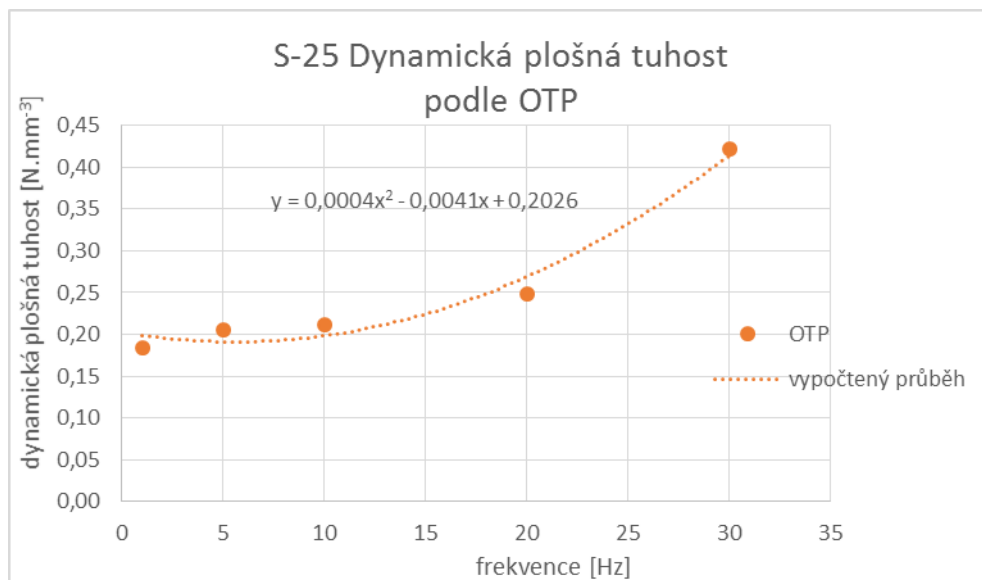
U výsledků měření podle TC256 byla maximální dynamická plošná tuhost změřena pro frekvence 1, 5 a 10 Hz u vzorku číslo 1. Nejmenší hodnota dynamické plošné tuhosti byla naměřena pro frekvence 1, 5 a 10 Hz u vzorku číslo 3. Pokud toto porovnáme s výsledky objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti, vyjde nám, že shoda je jak pro minimální hodnoty vycházející u vzorku číslo 3, tak i maximální hodnoty vycházející u vzorku číslo 2.

Je zajímavé, že rozložení minimálních a maximálních hodnot výsledků měření podle OTP a TC256 odpovídá rozložení minimálních hodnot statické plošné tuhosti a objemové hmotnosti.

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle OTP lze proložit kvadratickou funkcí. Tato funkce má předpis 6.7, kde  $x$  je frekvence a  $y$  je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0004x^2 - 0,0041x + 0,2026 \quad (6.7)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 31 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 21 Průběh dynamické plošné tuhosti - OTP

V tabulce 27 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -6,4 až 12,9 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

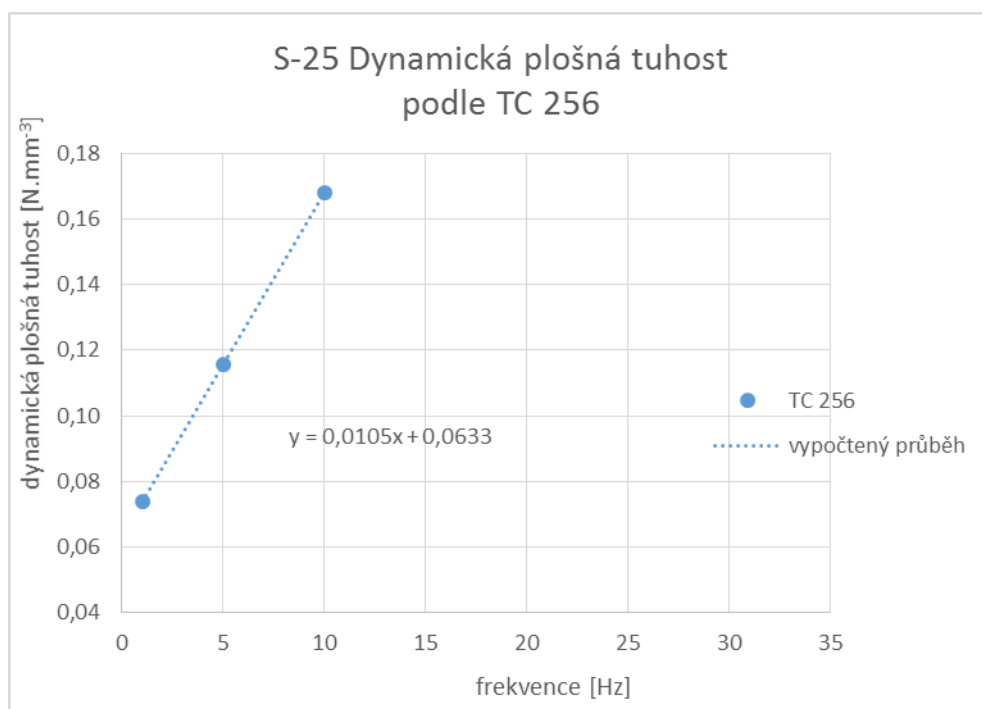
Tabulka 26 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - OTP

| Frekvence [Hz] | dynamická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |           |            |
|----------------|---|-----------|------------|
|                | změřená                                       | vypočtená | odchylka % |
| 1              | 0,184   | 0,199     | 7,8        |
| 5              | 0,205   | 0,192     | -6,4       |
| 10             | 0,212   | 0,202     | -5,1       |
| 20             | 0,249   | 0,281     | 12,9       |
| 30             | 0,421   | 0,440     | 4,4        |

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle TC 256 lze proložit lineární funkcí. Tato funkce má předpis 6.8, kde  $x$  je frekvence a  $y$  je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0105x + 0,0633 \quad (6.8)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 32 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 22 Průběh dynamické plošné tuhosti - TC256

V tabulce 28 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi 0,0 až 0,2 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

Tabulka 27 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - TC256

| Frekvence<br>[Hz] | dynamická plošná tuhost<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] |           |            |
|-------------------|--|-----------|------------|
|                   | změřená  | vypočtená | odchylka % |
| 1                 | 0,074  | 0,074     | 0,0        |
| 5                 | 0,116  | 0,116     | 0,2        |
| 10                | 0,168  | 0,168     | 0,2        |
| 20                | -  | -         | -          |
| 30                | -  | -         | -          |

## 6.5 Dynamická plošná tuhost vzorků S-35

U vzorků S-35 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost podle OTP pro frekvence 1, 5, 10 a 20 Hz u všech vzorků. Podle TC256 se podařilo změřit dynamickou plošnou tuhost u všech vzorků pouze pro frekvence 1 a 5 Hz. V následující tabulce jsou výsledné dynamické plošné tuhosti pro jednotlivé frekvence získané podle obou metodik. Za výslednou hodnotu dynamické plošné tuhosti je považovaná průměrná hodnota z měření na třech různých vzorcích.

Tabulka 28 Dynamická plošná tuhost vzorků S-35

| označení<br>zkušebního<br>vzorku | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)jHz}$<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] OTP |              |               |               |               | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ]<br>TC 256 |              |               |               |               |
|----------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | $C_{(A)1Hz}$  | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                                  | frekvence v Hz  |              |               |               |               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                                  | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S-35/1                           | 0,138   | 0,153        | 0,162         | 0,194         | -             | 0,063  | 0,069        | -             | -             | -             |
| S-35/2                           | 0,152   | 0,169        | 0,177         | 0,209         | -             | 0,066  | 0,071        | -             | -             | -             |
| S-35/3                           | 0,092   | 0,101        | 0,109         | 0,138         | -             | 0,051  | 0,057        | -             | -             | -             |
| Průměrná<br>hodnota              | 0,127   | 0,141        | 0,150         | 0,180         | -             | 0,060  | 0,066        | -             | -             | -             |

Průměrná hodnota dynamické plošné tuhosti vychází pro frekvence 1 a 5 Hz vyšší při měření podle OTP, než při měření podle TC 256. Výsledky pro frekvence 10 a 20 Hz nelze porovnat. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle OTP má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost. Hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle TC256 má s růstem frekvence postupně vzrůstající velikost.

Z výsledků získaných měření podle OTP je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3, pro frekvenci 10 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3 a pro frekvenci 20 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3. V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty

dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 29 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - OTP

| OTP            | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 108,6          | 119,2 | 72,2 |
| 5              | 108,7          | 119,8 | 71,6 |
| 10             | 108,5          | 118,4 | 73,1 |
| 20             | 107,7          | 115,9 | 76,4 |
| 30             | -              | -     | -    |

Z výsledků získaných měření podle TC256 je patrné, že pro frekvenci 1 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3 a pro frekvenci 5 Hz vykazuje největší dynamickou plošnou tuhost vzorek číslo 2 a nejmenší vzorek číslo 3.

V následující tabulce jsou v procentech porovnány jednotlivé změřené hodnoty dynamické plošné tuhosti s hodnotami průměrnými. Za 100 % jsou považovány hodnoty průměrné.

Tabulka 30 Porovnání jednotlivých hodnot s průměrnou hodnotou - TC256

| TC256          | vzorek číslo % |       |      |
|----------------|----------------|-------|------|
| frekvence [Hz] | 1              | 2     | 3    |
| 1              | 105,3          | 110,1 | 84,7 |
| 5              | 104,7          | 108,6 | 86,7 |
| 10             | -              | -     | -    |
| 20             | -              | -     | -    |
| 30             | -              | -     | -    |

Hodnoty objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti jsou převzaty z [8]. Z tabulky je zřejmé, že vzorek číslo 3 má nejmenší objemovou hmotnost a současně nejmenší statickou plošnou tuhost. Vzorek číslo 2 má pak největší objemovou hmotnost a největší statickou plošnou tuhost.

Tabulka 31 Objemová hmotnost a statická plošná tuhost

| vzorek | objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ] | statická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |
|--------|---|--|
| S-35/1 | 753,527                                 | 0,085  |
| S-35/2 | 769,837                                 | 0,093  |
| S-35/3 | 706,712                                 | 0,054  |

Pokud toto porovnáme s naměřenými hodnotami dynamické plošné tuhosti, zjistíme, že u hodnot získaných podle OTP pro frekvence 1, 5 a 10 Hz byla změřena největší dynamická plošná tuhost u vzorku číslo 2. Nejmenší dynamická plošná tuhost byla změřena pro frekvence 1, 5 a 10 Hz u vzorku číslo 3. Dalo by se předpokládat, že naměřené hodnoty dynamické plošné tuhosti, respektive minimální a maximální hodnoty změřené pro jednotlivé frekvence, budou mít stejné rozložení, jako maximální a minimální hodnoty objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti. Toto platí pro minimální i maximální hodnoty pro frekvence 1, 5 a 10 Hz.

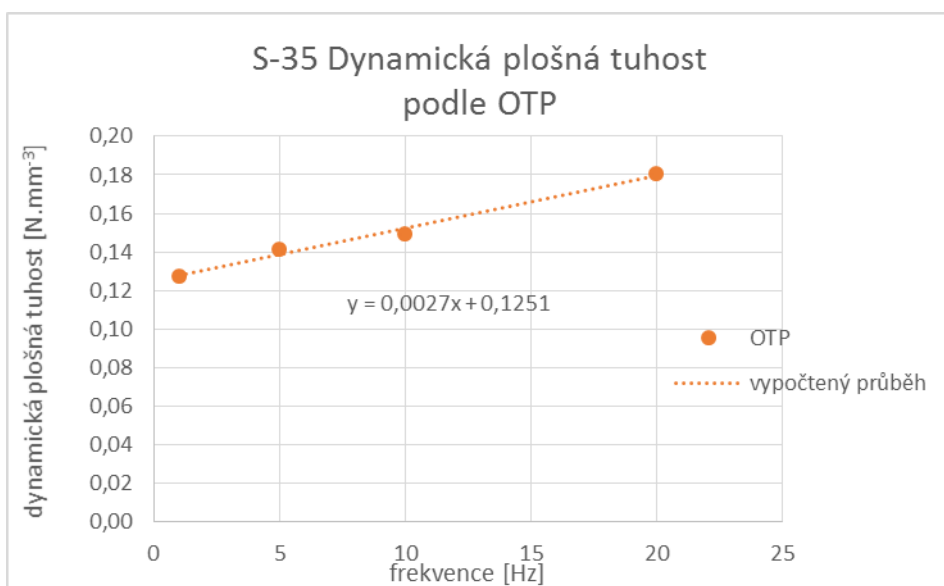
U výsledků měření podle TC256 byla maximální dynamická plošná tuhost změřena pro frekvence 1, 5 a 10 Hz u vzorku číslo 1. Nejmenší hodnota dynamické plošné tuhosti byla naměřena pro frekvence 1, 5 a 10 Hz u vzorku číslo 3. Pokud toto porovnáme s výsledky objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti, vyjde nám, že shoda je jak pro minimální hodnoty vycházející u vzorku číslo 3 tak i maximální hodnoty vycházející u vzorku číslo 2.

Je zajímavé, že rozložení minimálních a maximálních hodnot výsledků měření podle OTP a TC256 odpovídá rozložení minimálních hodnot statické plošné tuhosti a objemové hmotnosti.

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle OTP lze proložit lineární funkcí. Tato funkce má předpis 6.9, kde x je frekvence a y je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0027x + 0,1251 \quad (6.9)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 33 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 23 Průběh dynamické plošné tuhosti - OTP



V tabulce 33 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi -1,9 až 1,7 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

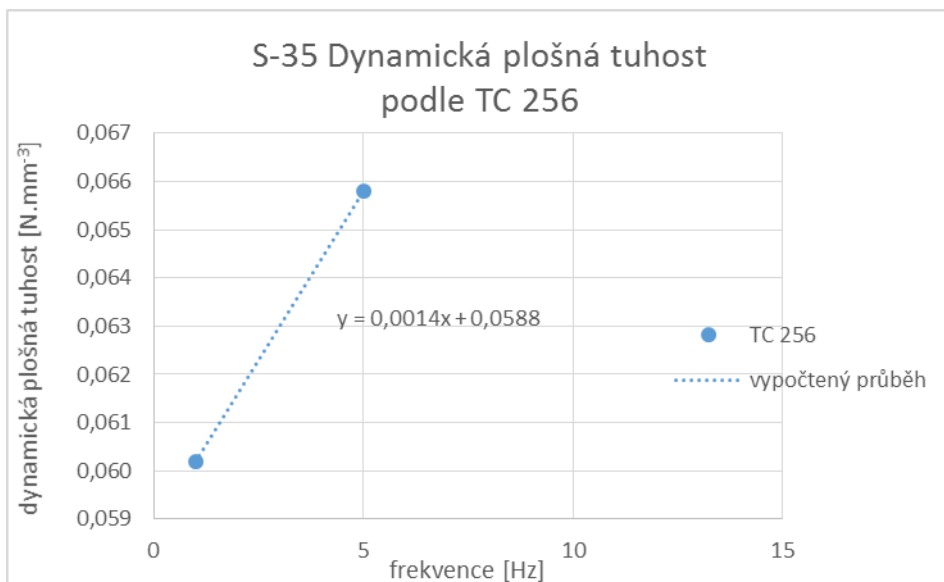
Tabulka 32 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - OTP

| Frekvence<br>[Hz] | dynamická plošná tuhost<br>[N.mm <sup>-3</sup> ] |           |               |
|-------------------|--|-----------|---------------|
|                   | změřená  | vypočtená | odchylka<br>% |
| 1                 | 0,127  | 0,128     | 0,3           |
| 5                 | 0,141  | 0,139     | -1,9          |
| 10                | 0,150  | 0,152     | 1,7           |
| 20                | 0,180  | 0,179     | -0,7          |
| 30                | -  | -         | -             |

Grafem průběhu výsledné dynamické plošné tuhosti získané metodikou měření podle TC 256 lze proložit lineární funkcí. Tato funkce má předpis 6.10, kde x je frekvence a y je dynamická plošná tuhost.

$$y = 0,0014x + 0,0588 \quad (6.10)$$

Na grafickém znázornění průběhu funkce na obrázku 34 je patrné, že daná rovnice velmi dobře vystihuje průběh závislosti dynamické plošné tuhosti na frekvenci.



Obrázek 24 Průběh dynamické plošné tuhosti - TC256

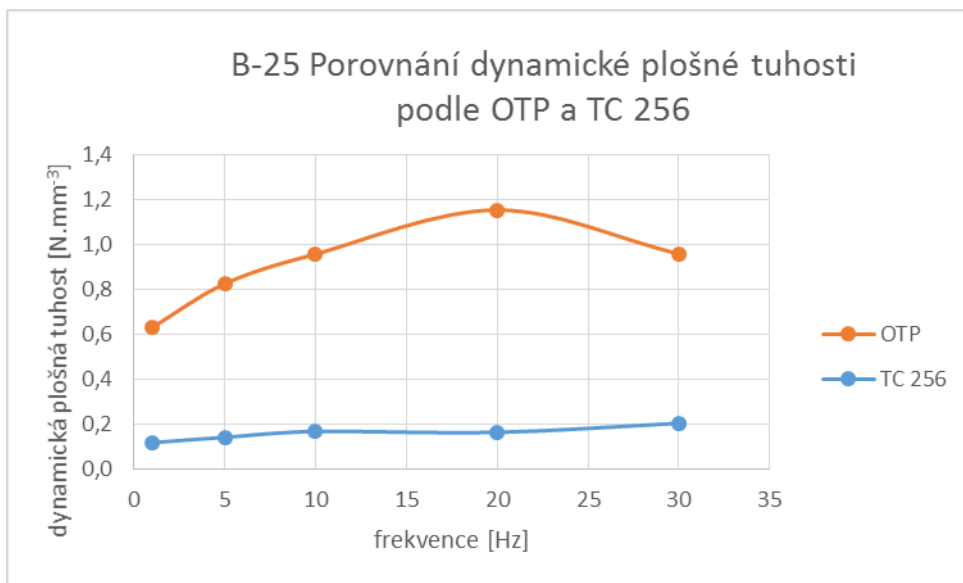
V tabulce 34 jsou porovnány hodnoty získané měřením a hodnoty vypočtené. Rozdíl mezi výsledky kolísá mezi 0,0 až 0,2 %, za 100 % je považován výsledek získaný měřením.

Tabulka 33 Rozdíl mezi vypočtenou a změřenou dynamickou plošnou tuhostí - TC256

| Frekvence [Hz] | dynamická plošná tuhost [N.mm <sup>-3</sup> ] |           |            |
|----------------|---|-----------|------------|
|                | změřená                                       | vypočtená | odchylka % |
| 1              | 0,060   | 0,060     | 0,0        |
| 5              | 0,066   | 0,066     | 0,0        |
| 10             | -   | -         | -          |
| 20             | -   | -         | -          |
| 30             | -   | -         | -          |

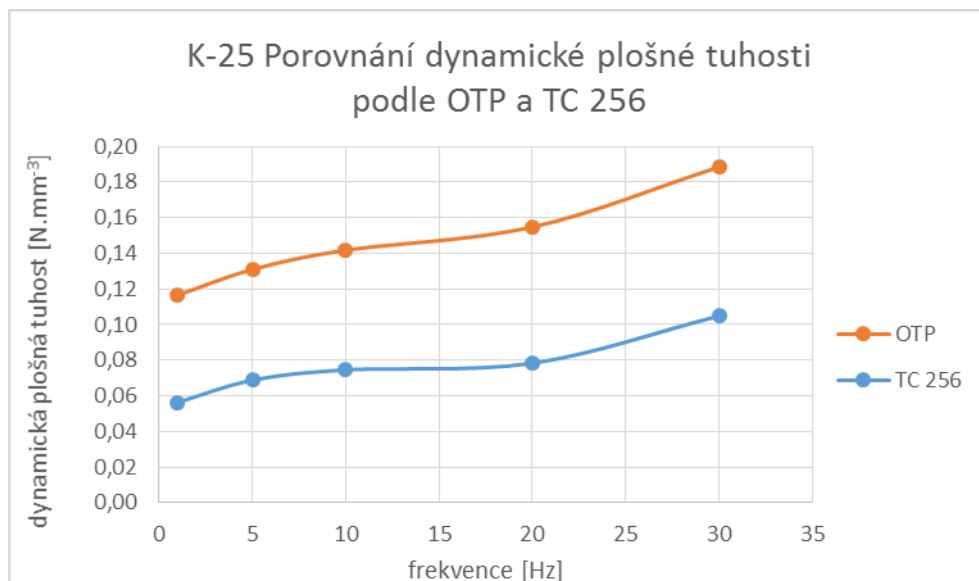
## 6.6 Závislost mezi zkouškou podle OTP a TC 256

Jedním z cílů diplomové práce je ověření závislosti mezi výsledky při provádění měření dynamické plošné tuhosti podle různých metodik. Tato závislost by měla být dobře viditelná při grafickém vyjádření výsledků. Spojnice mezi body grafu jsou myšlené čáry.



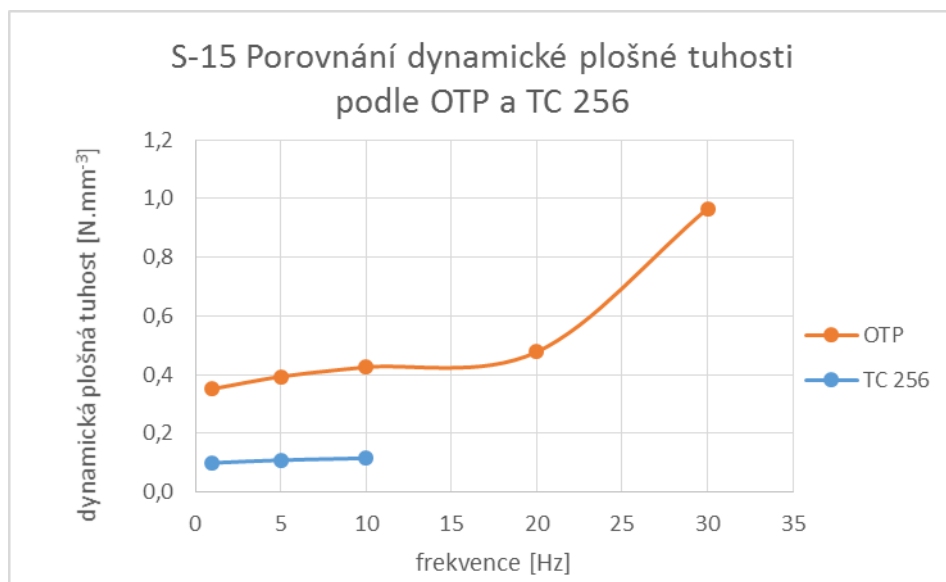
Obrázek 25 Porovnání výsledků obou metodik

U výsledků dynamické plošné tuhosti pro vzorky B-25 má průběh dynamické plošné tuhosti získané podle OTP vypuklý tvar. Průběh dynamické plošné tuhosti získané při měření podle TC256 má spíše lineární průběh. Nelze říci, že by existoval jednoduchý součinitel, který by přenásobením jedněch nebo druhých výsledků umožňoval jejich snadný přepočet na výsledky podle druhé metodiky.



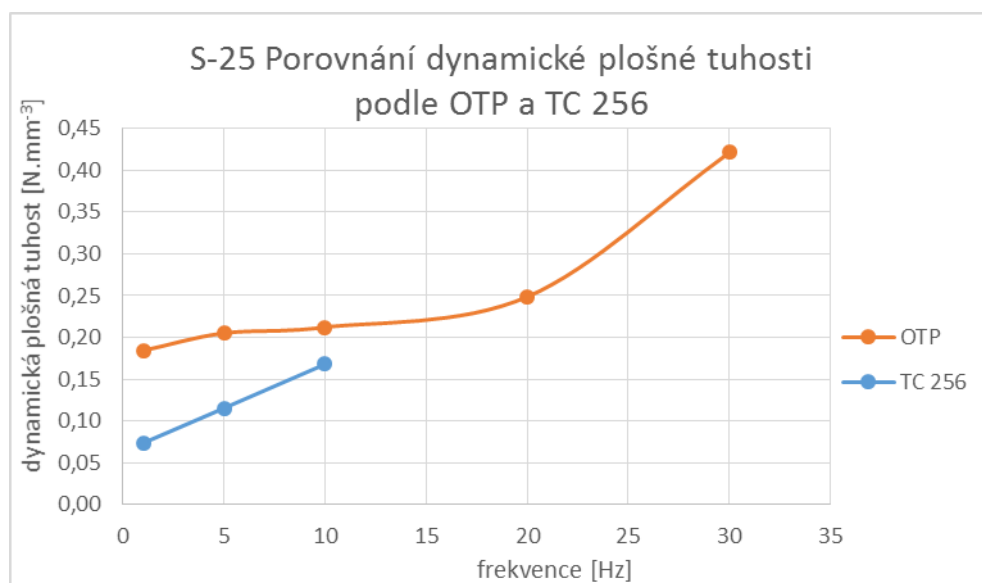
Obrázek 26 Porovnání výsledků obou metodik

U výsledků dynamické plošné tuhosti pro vzorky K-25 má průběh výsledků jak získaných podle metodiky OTP tak podle TC256 přibližně shodný průběh. Nelze tudíž vyloučit existenci jednoduchého součinitele, který by přenásobením jedněch nebo druhých výsledků umožňoval jejich snadný přepočet na výsledky druhé metodiky.



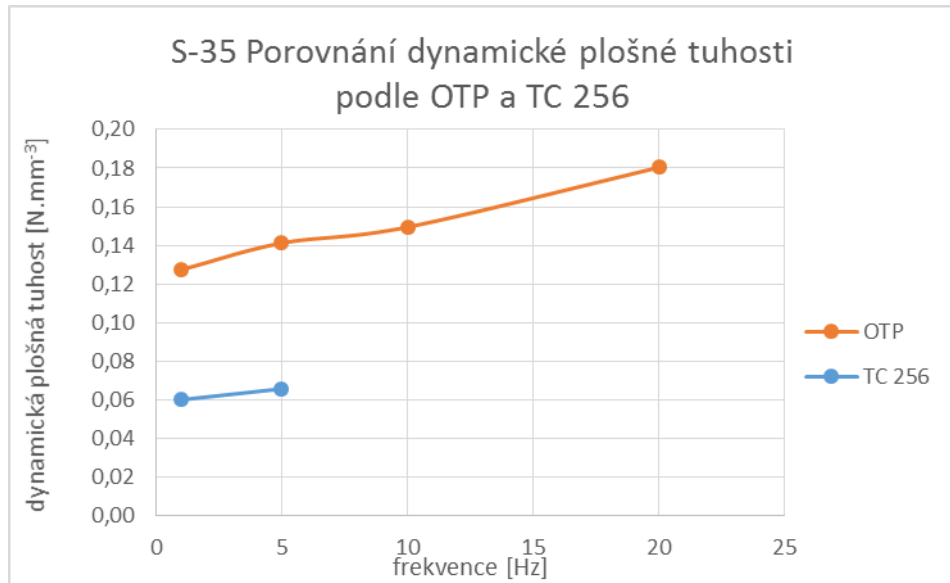
Obrázek 27 Porovnání výsledků obou metodik

U výsledků dynamické plošné tuhosti pro vzorky S-15 mají průběh výsledků získaných jak podle metodiky OTP tak podle TC256 pro frekvence 1, 5 a 10 Hz přibližně shodný průběh. Nelze tedy vyloučit existenci jednoduchého součinitele, který by přenásobením jedněch nebo druhých výsledků umožňoval jejich snadný přepočet na výsledky druhé metodiky.



Obrázek 28 Porovnání výsledků obou metodik

U výsledků dynamické plošné tuhosti pro vzorky S-25 mají výsledky získané jak podle OTP tak podle TC256 pro frekvence 1 a 5 Hz přibližně shodný průběh. Pro frekvenci 10 Hz toto nelze konstatovat. Nelze tedy vyloučit existenci jednoduchého součinitele, který by přenásobením jedněch nebo druhých výsledků umožňoval jejich snadný přepočet na výsledky druhé metodiky, alespoň pro frekvence 1 a 5 Hz.



Obrázek 29 Porovnání výsledků obou metodik

U výsledků dynamické plošné tuhosti pro vzorky S-35 mají výsledky získané jak podle OTP tak podle TC256 pro frekvence 1 a 5 Hz přibližně shodný průběh. Nelze tedy vyloučit existenci jednoduchého součinitele, který by přenásobením jedné nebo druhé výsledků umožňoval jejich snadný přepočítání na výsledky druhé metodiky, alespoň pro frekvence 1 a 5 Hz.

Vzhledem k tomu, že pro většinu výsledků nelze vyloučit existenci závislosti mezi výsledky získanými podle obou metodik, byl pro jednotlivé sady zkušebních těles a každou frekvenci spočten poměr mezi výsledky získanými podle OTP a TC256. Poměr  $p$  byl spočten, podle vzorce 6.6, kde  $C_{OTP}$  je dynamická plošná tuhost získaná podle OTP a  $C_{TC256}$  je dynamická plošná tuhost získaná podle TC256.

$$p = C_{OTP} / C_{TC256} \quad (6.6)$$

V následující tabulce jsou uvedeny poměry u všech sad zkušebních těles pro jednotlivé frekvence.

Tabulka 34 Přehled poměrů dynamických plošných tuhostí

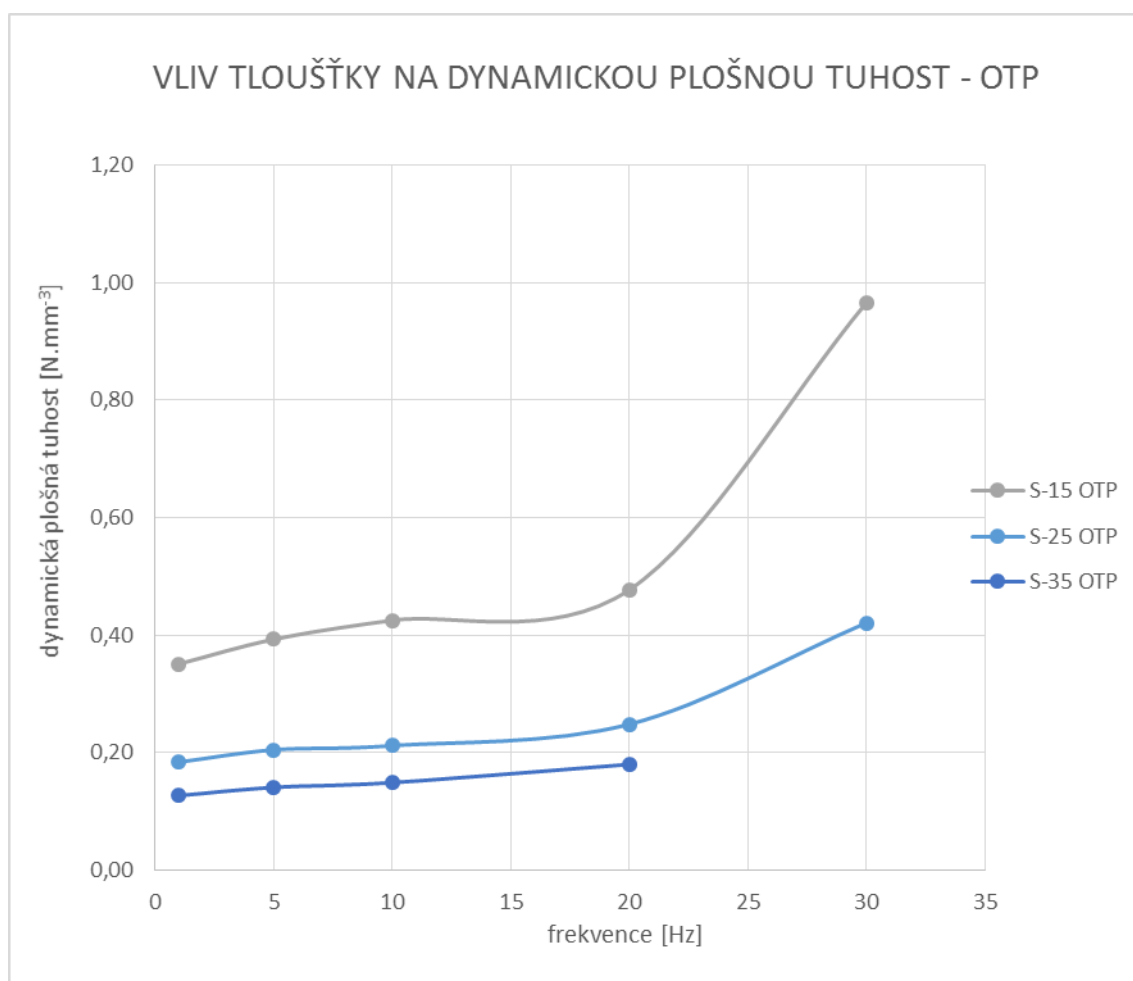
| Poměr plošných dynamických tuhostí p OTP/TC 256 |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| Frekvence [Hz]                                  | 1    | 5    | 10   | 20   | 30   |
| B-25  | 5,32 | 5,82 | 5,72 | 7,03 | 4,69 |
| K-25  | 2,07 | 1,90 | 1,90 | 1,98 | 1,80 |
| S-15  | 2,95 | 2,99 | 2,92 | -    | -    |
| S-25  | 2,77 | 2,01 | 1,49 | -    | -    |
| S-35  | 2,18 | 2,23 | -    | -    | -    |

Z tabulky je patrné, že poměr mezi dynamickými plošnými tuhostmi není shodný mezi různými sadami zkušebních těles a i v rámci jedné sady se liší pro různé frekvence. Je tedy zjevné, že není možné stanovit koeficient pro jednoduchý přepočítání mezi výsledky získanými měřeními podle jedné nebo druhé metody.

Z údajů v tabulce je dále patrné, že s rostoucí tloušťkou podštěrkové rohože klesá vzájemný poměr hodnot dynamické plošné tuhosti dle stávající metodiky OTP a navrhované evropské normy.

## 6.7 Vliv tloušťky na dynamickou plošnou tuhost

Vliv tloušťky AVR na dynamickou plošnou tuhost je popsán pro každou metodiku zvlášť. Vliv tloušťky AVR byl sledován na vzorcích tloušťky 15, 25 a 35 mm.



Obrázek 30 Vliv tloušťky - OTP

Na grafickém znázornění průběhu dynamické plošné tuhosti zjištěné podle OTP je patrné, že dynamická plošná tuhost je nepřímo závislá na tloušťce AVR. Čím má AVR větší tloušťku, tím nižší má dynamickou plošnou tuhost. Dále je patrné, že změna dynamické plošné tuhosti se nemění lineárně při změně tloušťky AVR. Rozdíl ve velikosti dynamické plošné tuhosti sad S-15 a S-25 je větší, než rozdíl ve velikosti dynamické plošné tuhosti sad S-25 a S-35, přitom rozdíl

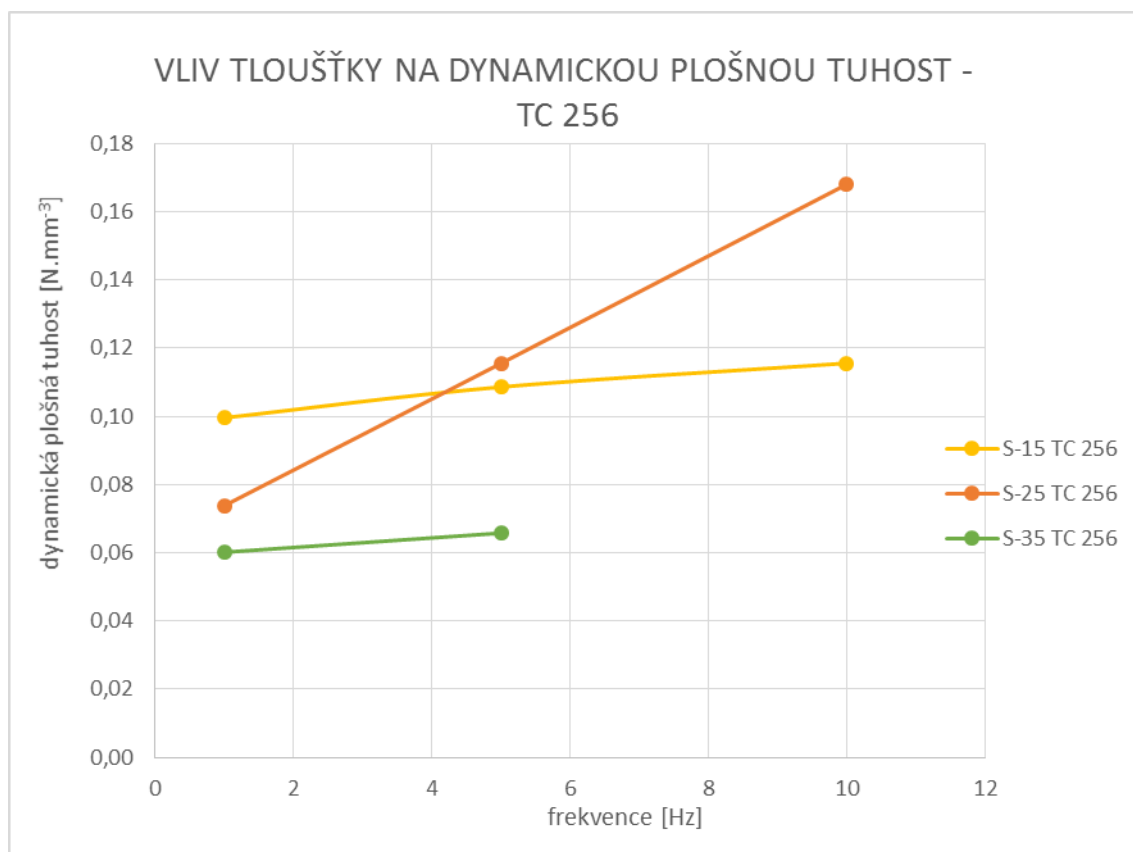


v tloušťce vzorků je vždy 10 mm. Poměr mezi hodnotami dynamické plošné tuhosti antivibračních rohoží různých tlouštěk pro jednotlivé frekvence je v následující tabulce. Hodnota pro tloušťku 25 mm je rovna 1.

Tabulka 35 Porovnání poměrů dynamické plošné tuhosti pro různé tloušťky - OTP

| Poměr plošných dynamických tuhostí OTP |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|
| Frekvence [Hz]                         | 1    | 5    | 10   | 20   | 30   |
| S-15                                   | 1,91 | 1,92 | 2,00 | 1,92 | 2,29 |
| S-25                                   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| S-35                                   | 0,69 | 0,69 | 0,70 | 0,73 | -    |

Z tabulky je patrné, že poměr dynamické plošné tuhosti je různý pro každou frekvenci.



Obrázek 31 Vliv tloušťky - TC256

Na grafickém znázornění průběhu dynamické plošné tuhosti zjištěné podle OTP je patrné, že pro frekvenci 1 Hz dynamická plošná tuhost je nepřímo závislá

na tloušťce AVR. Čím má AVR větší tloušťku, tím nižší má dynamickou plošnou tuhost. Dále je patrné, že změna dynamické plošné tuhosti se nemění lineárně při změně tloušťky AVR. Rozdíl ve velikosti dynamické plošné tuhosti při frekvenci 1 Hz je u sad S-15 a S-25 větší, než rozdíl ve velikosti dynamické plošné tuhosti sad S-25 a S-35, přitom rozdíl v tloušťce vzorků je vždy 10 mm. Pro frekvence 5 a 10 Hz vychází dynamická plošná tuhost vyšší pro sadu S-25 tloušťky 25 mm než pro sadu S-15 tloušťky 15 mm. Čím je toto způsobeno, není zřejmé. Ale podle toho, že dynamická plošná tuhost je závislá na tloušťce AVR, by k tomuto nemělo dojít. Bylo by vhodné ověřit tyto neočekávané výsledky dalším měřením. Poměr mezi hodnotami dynamické plošné tuhosti antivibračních rohoží různých tlouštěk pro jednotlivé frekvence je v následující tabulce. Hodnota pro tloušťku 25 mm je rovna 1.

Tabulka 36 Porovnání poměrů dynamické plošné tuhosti pro různé tloušťky - TC256

| Poměr plošných dynamických tuhostí TC256 |      |      |      |    |    |
|--|------|------|------|----|----|
| Frekvence [Hz]                           | 1    | 5    | 10   | 20 | 30 |
| S-15                                     | 1,35 | 0,94 | 0,69 | -  | -  |
| S-25                                     | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -  | -  |
| S-35                                     | 0,82 | 0,57 | -    | -  | -  |

## 7. Závěr

V rámci práce byla provedena měření dynamické plošné tuhosti podle dvou metodik. Měření proběhla na pěti sadách zkušebních vzorků různých tloušťek. Všechny zkušební vzorky pocházely z podštěrkových rohoží z recyklovaného materiálu.

Dále uvedené poznatky se váží k výsledkům zkoušek získaných měření dynamické plošné tuhosti na těchto konkrétních vzorcích. Pro potvrzení platnosti závěrů v širším kontextu by bylo nutné provést další měření na jiných vzorcích.

V rámci provádění zkoušek jsme byli omezeni přístrojovým vybavením laboratoře a ne všechny zkoušky se podařilo uskutečnit.

Lze konstatovat, že hodnota dynamické plošné tuhosti má s vzrůstajícími frekvencemi vrůstající velikost. Jedinou zjištěnou výjimku tvoří hodnota dynamické plošné tuhosti pro sadu vzorků B-25 při metodice měření podle OTP. Vždy byla hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle OTP vyšší než hodnota dynamické plošné tuhosti získané podle TC256.

V práci bylo porovnáváno rozložení maximálních a minimálních hodnot dynamické plošné tuhosti s rozložením minimálních a maximálních hodnot objemové hmotnosti a statické plošné tuhosti pro různé frekvence pro jednotlivé vzorky v rámci sady zkušebních vzorků. Zatímco rozložení maximálních a minimálních hodnot statické plošné tuhosti vždy odpovídalo rozložení maximálních a minimálních hodnot objemové hmotnosti vzorků v rámci jednotlivých sad, o rozložení minimálních a maximálních hodnot dynamické plošné tuhosti v rámci jednotlivých sad zkušebních vzorků pro různé frekvence toto prohlásit nejde. Při měření podle metodiky OTP byla úplná shoda pro různé frekvence u sad S-35, S-25, S-15 a u sady K-25 pouze v případě minimálních hodnot. Při měření podle metodiky TC256 byla shoda pro různé frekvence u sad S-35, S-25, B-25 a u sad S-15 a K-25 pouze v případě minimálních hodnot. Je zajímavé, že shoda častěji nastává v případě minimálních hodnot než u hodnot maximálních.

Při porovnávání výsledků dynamické plošné tuhosti podle obou metodik bylo zjištěno, že nelze stanovit jednoduchý univerzální koeficient pro přepočet výsledků mezi jednotlivými metodikami. Pokud zanedbáme výsledky pro sadu B-25, lze říci, že u sad zkušebních vzorků tloušťek 15 a 25 mm vychází dynamická plošná tuhost při měření podle OTP přibližně dvakrát větší než při měření podle TC256. U sady zkušebních vzorků tloušťky 35 mm vychází dynamická plošná tuhost při měření podle OTP přibližně třikrát větší, než při měření podle TC256.

Výsledky získané podle OTP pro všechny frekvence a v případě výsledků získaných podle TC256 pro frekvenci 1 Hz dokazují, že velikost dynamické plošné tuhosti je nepřímo závislá na tloušťce podštěrkové rohože. Čím má podštěrková rohož větší tloušťku, tím je velikost dynamické plošné tuhosti menší. Dále je patrné, že velikost dynamické plošné tuhosti se nemění lineárně se změnou tloušťky. Rozdíl ve velikosti dynamické plošné tuhosti sad S-15 a S-25 je větší, než rozdíl ve velikosti dynamické plošné tuhosti sad S-25 a S-35, přitom rozdíl v tloušťce vzorků je vždy 10 mm. V případě hodnot dynamické plošné tuhosti získané podle TC256 nebylo možné toto dokázat pro frekvence 5 a 10 Hz.

# Seznam zkratek

ČR ..... Česká republika

TAČR..... Technologická agentura České republiky (TAČR) v rámci projektu

CESTI..... Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu

AVR ..... antivibrační rohože

SŽDC ..... Správa železniční dopravní cesty

OTP..... Obecné technické podmínky: Antivibrační rohože v tělese železničního  
spodku

DIN ..... DIN 45673 – 5:2010-08 Mechanical vibration – Resilient elements used  
in railway tracks

TC256..... TC 256 WI 00256XX.20 Railway applications — Track — Under ballast  
mats

# Literatura

- [1] JASANSKÝ, Petr: *Využití antivibračních a protihlukových rohoží u ČD* [online]. Czech Raildays, Ostrava, 2002 [vid. 12.10.2016]. Dostupné z: <http://www.railvolution.net/czechraildays/2002/seminare/nt07.pdf>
- [2] HORNÍČEK, Leoš, Hana KREJČÍŘÍKOVÁ, Martin LIDMILA a Petr BŘEŠŤOVSKÝ. *Antivibrační rohože v železničním stavitelství v ČR*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2011, 74 s. ISBN 978-80-81-01-04963-1.
- [3] *Obecné technické podmínky: Antivibrační rohože v tělese železničního spodku*. č. j. 1168/2009 - S. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2009.
- [4] Silnice Železnice. Založení antivibračních rohoží u Běchovic. [fotografie]. *Silnice Železnice* [online]. Dostupné z: [http://www.silnice-zeleznice.cz/PublicFiles/UserFiles/image/SZ/2015/SZ315/800x800\\_strab02.jpg](http://www.silnice-zeleznice.cz/PublicFiles/UserFiles/image/SZ/2015/SZ315/800x800_strab02.jpg). Formát: 800x450.
- [5] *DIN 45673-5: Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks - Part 5: Laboratory test procedures for under-ballast mats English translation of DIN 45673-5: 2010-8*. ICS 17.160.93.100. Berlin, Germany: DIN Deutsches Institut für Normung, 2010.
- [6] *TC 256 WI 00256XXX.20: Railway applications — Track — Under ballast mats*. CEN/TC 256, Secretariat: DIN, 2015-12.
- [7] *TC 256 WI 00256XXX.23: Railway applications — Track — Under ballast mats*. CEN/TC 256, Secretariat: DIN, 2016-07.
- [8] KÁPLOVÁ, Veronika. *Závislost statické plošné tuhosti antivibračních rohoží z pryžového granulátu na její tloušťce*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb.

# Seznam příloh

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Příloha A - protokoly z měření ..... | 1  |
| Příloha B - fotografie.....          | 11 |

# Příloha A

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podštěrkové rohože podle OTP Antivibrační rohože v tělese železničního spodku č. j. 1168/2009

datum měření: 23.11.2016 číslo protokolu: 01  
měřil: Petýrek zkušební sestava: 2  
označení rohože: B-25

počet zkušebních těles: 3 rozměry: 300x300 mm

minimální napětí: 0,02 N.mm<sup>-2</sup>  
maximální napětí: 0,10 N.mm<sup>-2</sup>

### VÝSLEDKY

| označení zkušebního vzorku    | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)iHz}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{(A)1Hz}$   | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| B-25-1                        | 0,596  | 0,807        | 0,931         | 1,316         | 1,064         |
| B-25-2                        | 0,663  | 0,842        | 0,980         | 0,997         | 0,831         |
| B-25-3                        | 0,636  | 0,832        | 0,968         | 1,155         | 0,984         |
| Průměrná hodnota $C_{(A)iHz}$ | 0,632  | 0,827        | 0,959         | 1,156         | 0,960         |



## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podštěrkové rohože

podle TC 256 WI 00256XX.20

datum měření: 12.4.2016  
měřil: Petýrek  
označení rohože: B-25

číslo protokolu: 02  
zkušební sestava : 1

kategorie trati: TC3  
 $F_{min}$ : 1,8 kN  
 $F_{test,1}$ : 9,0 kN

### VÝSLEDKY

| označení zkušebního vzorku    | Dynamický ohybový modul $k_{dyn(i)}$ [ $N \cdot mm^{-1}$ ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $k_{dyn1Hz}$   | $k_{dyn5Hz}$ | $k_{dyn10Hz}$ | $k_{dyn20Hz}$ | $k_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| B-25-1                        | 11036,6  | 12872,3      | 15323,9       | 13882,6       | 16317,8       |
| B-25-2                        | 11000,3  | 14136,1      | 15603,1       | 17360,5       | 23858,9       |
| B-25-3                        | 10008,5  | 11328,0      | 14364,9       | 13144,3       | 15064,9       |
| Průměrná hodnota $k_{dyn(i)}$ | 10681,8  | 12778,8      | 15097,3       | 14795,8       | 18413,9       |

| označení zkušebního vzorku    | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [ $N \cdot mm^{-3}$ ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| B-25-1                        | 0,123  | 0,143        | 0,170         | 0,154         | 0,181         |
| B-25-2                        | 0,122  | 0,157        | 0,173         | 0,193         | 0,265         |
| B-25-3                        | 0,111  | 0,126        | 0,160         | 0,146         | 0,167         |
| Průměrná hodnota $C_{dyn(i)}$ | 0,119  | 0,142        | 0,168         | 0,164         | 0,205         |

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle OTP Antivibrační rohože v tělese železničního spodku č. j. 1168/2009

|                  |          |                    |    |
|------------------|----------|--------------------|----|
| datum měření:    | 5.4.2016 | číslo protokolu:   | 03 |
| měřil:           | Petýrek  | zkušební sestava : | 1  |
| označení rohože: | K-25     |                    |    |

|                         |   |          |            |
|-------------------------|---|----------|------------|
| počet zkušebních těles: | 3 | rozměry: | 300x300 mm |
|-------------------------|---|----------|------------|

|                   |      |                    |
|-------------------|------|--------------------|
| minimální napětí: | 0,02 | N.mm <sup>-2</sup> |
| maximální napětí: | 0,10 | N.mm <sup>-2</sup> |

### VÝSLEDKY

| označení zkušebního vzorku    | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)jHz}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{(A)1Hz}$   | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| K 25-1                        | 0,122  | 0,139        | 0,148         | 0,162         | 0,189         |
| K 25-2                        | 0,125  | 0,137        | 0,150         | 0,166         | 0,209         |
| K 25-3                        | 0,102  | 0,117        | 0,127         | 0,136         | 0,168         |
| Průměrná hodnota $C_{(A)jHz}$ | 0,117  | 0,131        | 0,142         | 0,155         | 0,189         |

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle TC 256 WI 00256XX.20

datum měření: 12.4.2016  
měřil: Petýrek  
označení rohože: K-25

číslo protokolu: 04  
zkušební sestava : 1

kategorie trati: TC3  
 $F_{min}$ : 1,8 kN  
 $F_{test,1}$ : 9,0 kN

### VÝSLEDKY

| označení zkušební vzorku      | Dynamická tuhost $k_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-1</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $k_{dyn1Hz}$  | $k_{dyn5Hz}$ | $k_{dyn10Hz}$ | $k_{dyn20Hz}$ | $k_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz                                      |              |               |               |               |
|                               | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            |
| K 25-1                        | 5310,8  | 6370,2       | 6806,8        | 7045,1        | 9799,4        |
| K 25-2                        | 5111,9  | 6185,3       | 6863,1        | 7313,9        | 9513,1        |
| K 25-3                        | 4788,7  | 6007,1       | 6468,0        | 6790,9        | 9004,8        |
| Průměrná hodnota $k_{dyn(i)}$ | 5070,4  | 6187,6       | 6712,7        | 7049,9        | 9439,1        |

| označení zkušební vzorku      | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| K 25-1                        | 0,059  | 0,071        | 0,076         | 0,078         | 0,109         |
| K 25-2                        | 0,057  | 0,069        | 0,076         | 0,081         | 0,106         |
| K 25-3                        | 0,053  | 0,067        | 0,072         | 0,075         | 0,100         |
| Průměrná hodnota $C_{dyn(i)}$ | 0,056  | 0,069        | 0,075         | 0,078         | 0,105         |

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle OTP Antivibrační rohože v tělese železničního spodku č. j. 1168/2009

|                         |            |                    |            |
|-------------------------|------------|--------------------|------------|
| datum měření:           | 23.11.2016 | číslo protokolu:   | 05         |
| měřil:                  | Petýrek    | zkušební sestava : | 2          |
| označení rohože:        | S-15       |                    |            |
| počet zkušebních těles: | 3          | rozměry:           | 300x300 mm |
| minimální napětí:       | 0,02       | N.mm <sup>-2</sup> |            |
| maximální napětí:       | 0,10       | N.mm <sup>-2</sup> |            |

### VÝSLEDKY

| označení zkušební vzorku     | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)Hz}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                              | $C_{(A)1Hz}$  | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ |
|                              | frekvence v Hz  |              |               |               |               |
|                              | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 15-1                       | 0,389   | 0,414        | 0,435         | 0,510         | 1,007         |
| S 15-2                       | 0,411   | 0,487        | 0,549         | 0,575         | 1,132         |
| S 15-3                       | 0,254   | 0,279        | 0,292         | 0,346         | 0,757         |
| Průměrná hodnota $C_{(A)Hz}$ | 0,351   | 0,393        | 0,425         | 0,477         | 0,965         |

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle TC 256 WI 00256XX.20

datum měření: 24.11.2016  
měřil: Petýrek  
označení rohože: S-15

číslo protokolu: 06  
zkušební sestava : 2

kategorie trati: TC3  
 $F_{min}$ : 1,8 kN  
 $F_{test,1}$ : 9,0 kN

### VÝSLEDKY

| označení zkušební vzorku      | Dynamická tuhost $k_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-1</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $k_{dyn1Hz}$  | $k_{dyn5Hz}$ | $k_{dyn10Hz}$ | $k_{dyn20Hz}$ | $k_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz                                      |              |               |               |               |
|                               | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 15-1                        | 5310,8  | 6370,2       | 6806,8        | 7045,1        | 9799,4        |
| S 15-2                        | 5111,9  | 6185,3       | 6863,1        | 7313,9        | 9513,1        |
| S 15-3                        | 4788,7  | 6007,1       | 6468,0        | 6790,8        | 9004,8        |
| Průměrná hodnota $k_{dyn(i)}$ | 5070,5  | 6187,6       | 6712,7        | 7049,9        | 9439,1        |

| označení zkušební vzorku      | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 15-1                        | 0,059  | 0,071        | 0,076         | 0,078         | 0,109         |
| S 15-2                        | 0,057  | 0,069        | 0,076         | 0,081         | 0,106         |
| S 15-3                        | 0,053  | 0,067        | 0,072         | 0,075         | 0,100         |
| Průměrná hodnota $C_{dyn(i)}$ | 0,056  | 0,069        | 0,075         | 0,078         | 0,105         |

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle OTP Antivibrační rohože v tělese železničního spodku č. j. 1168/2009

|                         |            |                    |            |
|-------------------------|------------|--------------------|------------|
| datum měření:           | 23.11.2016 | číslo protokolu:   | 07         |
| měřil:                  | Petýrek    | zkušební sestava : | 2          |
| označení rohože:        | S-25       |                    |            |
| počet zkušebních těles: | 3          | rozměry:           | 300x300 mm |
| minimální napětí:       | 0,02       | N.mm <sup>-2</sup> |            |
| maximální napětí:       | 0,10       | N.mm <sup>-2</sup> |            |

### VÝSLEDKY

| označení zkušební vzorku     | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)Hz}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                              | $C_{(A)1Hz}$  | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ |
|                              | frekvence v Hz  |              |               |               |               |
|                              | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 25-1                       | 0,194   | 0,214        | 0,226         | 0,268         | 0,594         |
| S 25-2                       | 0,223   | 0,247        | 0,262         | 0,309         | 0,248         |
| S 25-3                       | 0,136   | 0,154        | 0,149         | 0,168         | -             |
| Průměrná hodnota $C_{(A)Hz}$ | 0,184   | 0,205        | 0,212         | 0,249         | 0,421         |

### POZNÁMKY

Hodnotu dynamické plošné tuhosti se u vzorku S 25- 3 pro frekvenci 30 Hz nepodařilo změřit. Při opakovaných pokusech docházelo k rozkmitání zkušební tělesa a zatěžovací desky nezávisle na frekvenci zatěžování. Vždy došlo k automatickému bezpečnostnímu vypnutí zatěžovacího lisu.

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle TC 256 WI 00256XX.20

datum měření: 11.8.2016

číslo protokolu: 08

měřil: Petýrek

zkušební sestava : 1

označení rohože: S-25

kategorie trati: TC3

$F_{min}$ : 1,8 kN

$F_{test,1}$ : 9,0 kN

### VÝSLEDKY

| označení zkušební vzorku      | Dynamická tuhost $k_{dyn(i)}$ [ $N \cdot mm^{-1}$ ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $k_{dyn1Hz}$  | $k_{dyn5Hz}$ | $k_{dyn10Hz}$ | $k_{dyn20Hz}$ | $k_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz                                      |              |               |               |               |
|                               | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 25-1                        | 5310,8  | 6370,2       | 6806,8        | -             | -             |
| S 25-2                        | 5111,9  | 6185,3       | 6863,1        | -             | -             |
| S 25-3                        | 4788,7  | 6007,2       | 6468,0        | -             | -             |
| Průměrná hodnota $k_{dyn(i)}$ | 5070,5  | 6187,5       | 6712,7        | -             | -             |

| označení zkušební vzorku      | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [ $N \cdot mm^{-3}$ ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 25-1                        | 0,059  | 0,071        | 0,076         | -             | -             |
| S 25-2                        | 0,057  | 0,069        | 0,076         | -             | -             |
| S 25-3                        | 0,053  | 0,067        | 0,072         | -             | -             |
| Průměrná hodnota $C_{dyn(i)}$ | 0,056  | 0,069        | 0,075         | -             | -             |

### POZNÁMKY

Hodnotu dynamické plošné tuhosti se pro všechny vzorky pro frekvence 20 a 30 Hz nepodařilo změřit. Při opakovaných pokusech docházelo k rozkmitání zkušební tělesa a zatěžovací desky nezávisle na frekvenci zatěžování. Vždy došlo k automatickému bezpečnostnímu vypnutí zatěžovacího lisu.

## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle OTP Antivibrační rohože v tělese železničního spodku č. j. 1168/2009

|                         |            |                    |            |
|-------------------------|------------|--------------------|------------|
| datum měření:           | 23.11.2016 | číslo protokolu:   | 09         |
| měřil:                  | Petýrek    | zkušební sestava : | 2          |
| označení rohože:        | S-35       |                    |            |
| počet zkušebních těles: | 3          | rozměry:           | 300x300 mm |
| minimální napětí:       | 0,02       | N.mm <sup>-2</sup> |            |
| maximální napětí:       | 0,10       | N.mm <sup>-2</sup> |            |

### VÝSLEDKY

| označení zkušebního vzorku    | Dynamická plošná tuhost $C_{(A)iHz}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{(A)1Hz}$   | $C_{(A)5Hz}$ | $C_{(A)10Hz}$ | $C_{(A)20Hz}$ | $C_{(A)30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 35-1                        | 0,138  | 0,153        | 0,162         | 0,194         | -             |
| S 35-2                        | 0,152  | 0,169        | 0,177         | 0,209         | -             |
| S 35-3                        | 0,092  | 0,101        | 0,109         | 0,138         | -             |
| Průměrná hodnota $C_{(A)iHz}$ | 0,127  | 0,141        | 0,150         | 0,180         | -             |

### POZNÁMKY

Hodnotu dynamické plošné tuhosti se u všech vzorků pro frekvenci 30 Hz nepodařilo změřit. Při opakovaných pokusech docházelo k rozkmitání zkušebního tělesa a zatěžovací desky nezávisle na frekvenci zatěžování. Vždy došlo k automatickému bezpečnostnímu vypnutí zatěžovacího lisu.



## Protokol z měření dynamické plošné tuhosti podšterkové rohože

podle TC 256 WI 00256XX.20

datum měření: 24.11.2016  
měřil: Petýrek  
označení rohože: S-35

číslo protokolu: 10  
zkušební sestava : 2

kategorie trati: TC3  
 $F_{min}$ : 1,8 kN  
 $F_{test,1}$ : 9,0 kN

### VÝSLEDKY

| označení zkušebního vzorku    | Dynamická tuhost $k_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-1</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $k_{dyn1Hz}$  | $k_{dyn5Hz}$ | $k_{dyn10Hz}$ | $k_{dyn20Hz}$ | $k_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz                                      |              |               |               |               |
|                               | 1   | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 35-1                        | 5701,0  | 6198,1       | -             | -             | -             |
| S 35-2                        | 5960,7  | 6433,3       | -             | -             | -             |
| S 35-3                        | 4586,5  | 5132,8       | -             | -             | -             |
| Průměrná hodnota $k_{dyn(i)}$ | 5416,1  | 5921,4       | -             | -             | -             |

| označení zkušebního vzorku    | Dynamická plošná tuhost $C_{dyn(i)}$ [N.mm <sup>-3</sup> ] |              |               |               |               |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | $C_{dyn1Hz}$   | $C_{dyn5Hz}$ | $C_{dyn10Hz}$ | $C_{dyn20Hz}$ | $C_{dyn30Hz}$ |
|                               | frekvence v Hz   |              |               |               |               |
|                               | 1  | 5            | 10            | 20            | 30            |
| S 35-1                        | 0,063  | 0,069        | -             | -             | -             |
| S 35-2                        | 0,066  | 0,071        | -             | -             | -             |
| S 35-3                        | 0,051  | 0,057        | -             | -             | -             |
| Průměrná hodnota $C_{(A)jHz}$ | 0,060  | 0,066        | -             | -             | -             |

### POZNÁMKY

Hodnotu dynamické plošné tuhosti se u všech vzorků pro frekvence 10, 20 a 30 Hz nepodařilo změřit. Při opakovaných pokusech docházelo k rozkmitání zkušební tělesa a zatěžovací desky nezávisle na frekvenci zatěžování. Vždy došlo k automatickému bezpečnostnímu vypnutí zatěžovacího lisu.

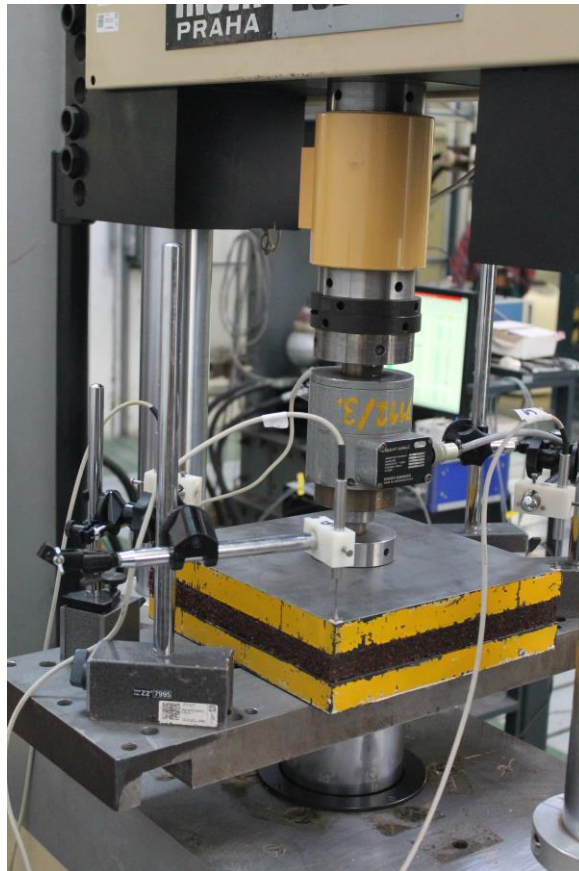
## Příloha B



Obrázek B1 Sestava č. 2 při zkoušce podle TC256



Obrázek B2 Sestava č.2 při zkoušce podle OTP



Obrázek B3 Sestava č. 1 při zkoušce podle OTP



Obrázek B4 Sestava č. 1 při zkoušce podle TC256