

OPONENTSKÝ POSUDEK

Disertační práce:

Vlivy výrobních tolerancí profilů nosníků na nosné konstrukce

Disertant: Ing. David Hloušek, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství.

Školitel: doc. Ing. Jiří Malášek, PhD., ÚADI FSI VUT v Brně.

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství.

Rozsah: 79 stran + 3 přílohy

Na základě požadavku předsedy komise prof. Ing. Josefa Štětiny, Ph.D., ze dne 18. 10. 2022 předkládám dále uvedený posudek disertační práce.

Předložená disertační práce je zaměřena na problematiku nosných ocelových konstrukcí ze dvou pohledů, 1/ z hlediska teorie výpočtů pevnosti a tuhosti, způsobujícího následný proces opotřebení materiálu, a 2/ z hlediska experimentální analýzy.

Tento obecný cíl je základem pro experimentální testování a porovnání imperfekcí jednotlivých prvků a jejich zatěžování v oblasti technické úrovně nedostatečnou provozní spolehlivostí a obecností noremních předpisů s následkem snížení hodnoty životnosti, což ovlivňuje nedostatečnou úroveň pevnostního posouzení prvků.

Práce je rozčleněna do 9 kapitol a obsahuje použité informační zdroje, seznam obrázků, příloh, tabulek, značek, zkratk a symbolů. V úvodu je uveden přehled namáhání nosníků nosných konstrukcí a rámců, což je popsáno až po mezní stavy celkových přetvoření v aktuálních normách ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 (731401): Eurokód 3. Podstatný je při tom tvar i rozměr povrchů profilů nosníků včetně jednotlivých výrobců a jejich technologií, kde je vliv výrobních tolerancí maximální a vliv technologického zpracování rovněž nezanedbatelný. V tomto stručném a výstižném úvodu je uveden přehled současného stavu experimentálního výzkumu a cíle práce. Podotýkám, že zvolená tematika je náročná, vyžaduje zvládnutí pružnosti a pevnosti, matematiky diferenciálních rovnic, částí strojů v oblasti konstruování nosných částí včetně výroby.

V další části práce se zabývá současným stavem problematiky, je definována terminologie zatížení a prvků nosných konstrukcí. Přesnější popis tolerance profilů tvarové a rozměrové i technologické autor vhodně definoval jako imperfekci, rozumí se odchylka od dokonalosti. Řešení poněkud nesystematicky dokladuje svou spoluúčastí při vývoji lesní vyvážky, kdy pomocí metody MBS byl navržen poměrně složitý dopravní stroj, jehož výpočetní model spočíval ve scénáři pohybu naložené vyvážky po virtuálně vytvořeném podloží. Pohyb je do pěti fází náklonů a zjišťuje se časově-výkonnostní charakteristika stroje pro prázdný stroj a stroj zatížený břemenem. Stroj musí pracovat v takovém nasazení, pro které je navržen z hlediska únosnosti, ta ovlivní únosnost jednotlivých nosníků, pokud se uvaží výrobní tolerance.

Cílem práce je zahrnutí vlivu imperfekcí do výpočtu a laboratorní ověřování vlivu imperfekcí experimenty. Prvním závažným vlivem těchto imperfekcí může být snížení až ztráta příčné a torzní stability – (viz kapitoly 1.2 a 1.3), jednak z hlediska geometrických imperfekcí, jednak z hlediska konstrukčních a strukturálních imperfekcí. Zde je zřejmé, že možnosti dalšího zaměření této práce jsou velmi různé. Namáhání ideálního a skutečného nosníku pak může být značně rozdílné.

Kapitola 2 popisuje představu autora o uplatnění metody konečných prvků pro řešení této problematiky. Realizace tohoto uplatnění je vhodně teoreticky popsána, výpočty skutečného využití těchto teoretických popisů jsou obtížné. V podkapitolách popisujících modelování, simulace a verifikace autor důsledně zvažuje možnosti cest řešení. Problematika

imperfekce parametrů a jejich vliv na stabilitu nosníku řešená na úrovni tenkostěnných prutů, je autorem zpracovaná na dobré úrovni. Důležitou pro zvládnutí práce je (kap. 3) rozpracování metody konečných prvků (MKP).

Kapitola 4 se zabývá experimentální mechanikou, směřuje k verifikaci teoretických popisů. Historie a rozbor tenzometrie zde popisované se poněkud odklání od tezí záměru práce, kapitola a je zbytečně rozsáhlá. Nicméně přesnost výsledků tenzometrických měření bude požadovaná na nejvyšší možné úrovni jako základ zkoumané imperfekce, důkladná rešerše v tomto směru je tedy potřebná. Hodnocení kvality a postupů tenzometrických měření i postupů experimentální mechaniky s důrazem na rozdělení tenzometrických snímačů a práce s nimi. Autor zvládl i problematiku úpravy elektrického signálu.

Dále je v (kap. 5) uvedena metodika výzkumu Design of experiment (DOE) a stanoven postup tvorby virtuálních modelů a plánování experimentu, metodiky měření a výsledky experimentů, se kterými je možno souhlasit. Původní výsledky tohoto výzkumu mohou pomoci k zlepšení ekonomičnosti provozu i kvality procesu zlepšením konstrukčních úprav.

Autor si po rozboru problematiky jasně stanoví cíle disertační práce, které jsou uvedeny na str. 11 v bodě Úvod disertační práce. Jako hlavní cíl práce si stanovil zjištění vlivu výrobních tolerancí průřezu nosníků na jejich únosnost virtuální simulací a následně ji experimentálně potvrdit. Dílčí cíle jsou:

- 1) Vybrat vhodný profil nosníku, který bude vhodný pro laboratorní experiment.
- 2) Tvorba výpočetního modelu za pomoci MKP.
- 3) Provedení simulace za pomoci připraveného modelu a okrajových podmínek, které budou opakovatelné z hlediska laboratorního experimentu.
- 4) Získání hodnot napětí ze simulace pro jejich verifikaci experimentem.
- 5) Příprava a provedení laboratorního měření.
- 6) Porovnání výsledných hodnot virtuální simulace a laboratorního experimentu.

V kapitole 6 je popsána tvorba virtuálních modelů zkoumaných nosníků typu IPE a I. Za zásadní v oblasti vlivů průřezových imperfekcí nosníků na jejich vlastní únosnost autor správně považuje provedení kvalitního experimentu měření, jehož součástí je vysoká náročnost na kalibraci tenzometrů (viz kap. 4 a 5), kde zpracoval problematiku tenzometrie a plánování experimentu. Metodika sledování a vyhodnocení umožní po vytvoření virtuálního modelu, který je díky zpracovanému softwaru laboratorně ověřen i posouzen, umožní stanovit vhodný postup sledování experimentu. Uvádí vcelku přehledným tabulkovým způsobem převedeným do grafů výsledky měření zvolených parametrů napjatosti na nosnících o dvou různých typech průřezů a ve třech velikostech jejich vzájemné srovnání.

Kvalitativní skok v experimentech představuje kapitola 7. Stavba měřícího pracoviště a provedení měření. Měřicí stand (obr. 18) by mohl být přesněji popsán z hlediska tuhosti konstrukce. Vhodné by bylo uvést zpřesnění pojmu "tenzometrie rovinné napjatosti" v kapitole 7.2. Dále se práce zabývá popisy instalací tenzometru a celkově instalací měřícího řetězce. Kapitola 7.3 se zabývá postupem měření a uvádí ukázkou praktických i výpočtových výsledků autora vzhledem k záměrům a cílům této práce, dává konkrétním příkladem ke zvážení možnosti a vhodnost jejich dalších uplatnění. V kapitole 7.4 je provedena Diskuse k výsledkům měření nosníku s jejímž obsahem lze souhlasit.

V kapitolách 8 Nosníky průřezu IPE a 9 Nosníky průřezu I, které jsou definovány ČSN EN 10025-2. Autor vychází z provedené MKP analýzy a laboratorního měření a konstatuje, že virtuální model a simulace odpovídající reálným laboratorním podmínkám. Dokazuje, že každý nosník je vyráběn s rozměrovými odchylkami, které mohou ovlivnit celkovou únosnost napjatosti konstrukce, konkrétně u průřezu IPE 80. Postup však potlačuje efekt vnitřních silových účinků, Eurokod pracuje jen s bezpečnostními koeficienty. Poté se

zaměřuje na analýzy nosníků IPE 100 a 120. Výpočtový model je zvolen správně (ze tří modelů dva popisují okrajové podmínky napjatosti), jsou provedeny a vyhodnoceny graficky výsledná maximální napjatost a rozptyl velikostí napětí a zaznamenány v tab. 9. V diskusi je pak zpracován graf (obr. 30) procentuálního nárůstu a poklesu napětí a provedeny dílčí závěry k výsledkům.

Podle stejné metodiky je provedeno měření a vyhodnocení nosníků I a v grafu (obr. 37) je uveden souhrn nárůstu a poklesu maximálních napětí pro profily o průřezu I a IPE, což pokládám za kvalitní výstup práce.

V závěru jsou stručně vyhodnoceny dosažené výsledky a nové poznatky.

Aktuálnost tématu

Předloženou práci pokládám za aktuální, autor pokračoval v řešení široce diskutované problematiky simulace reálného chování zatěžovaných komponent konstrukcí, což souvisí s užitím metody konečných prvků a multibody systémů.

Poté do značné hloubky rozpracoval metody provádění a vyhodnocení zkoušek měření vlivu vybraných výrobních tolerancí profilů nosníků IPE a I na nosné konstrukce. To vyžaduje zvládnutí a rozpracování teorie, která je, jak ukazuje literární průzkum, dostatečně publikovaná v literatuře. Přínosné a původní je praktické provedení zkoušek na vlastním experimentálním zařízení, kde autor po rozboru a vyhodnocení charakteru experimentu dokladuje dosažení původních výsledků.

Splnění cílů

Autor si stanovil hlavní a dílčí cíle práce, které v plném rozsahu splnil. Soudím, že v práci uvedený souhrn konkrétních metod a postupů vede k získání informací o vlivu výrobních tolerancí na únosnost při měnícím se zatížení, jak je doloženo v uvedených tabulkách a grafech. Ty se jeví jako vysoce informativní a značně přispívají k vyvození správných obecných závěrů.

Zvolené metody

Autor použil ve své práci z řady obecných metod vědecké práce analytickou, syntetickou a srovnávací metodu. Pro řešení problému použil experimentální metodu tenzometrických měření parametrů. Vhodné je použití metody MPK a modelu experimentálního zařízení pro vyhodnocení vlivu zátěžových sil pro stanovení napjatosti nosníků I a IPE. Zařízení umožňuje provádět základní zkoušky, jejichž metodika je kvalitně vysvětlena.

Konstatuji, že autor zvládl teorii i praktické hodnocení dosažených výsledků na dobré úrovni. Prokázal tím základní orientaci v teoretických základech i praktickém použití metod vědecké práce.

Dosažené výsledky a nové poznatky

V oblasti zaměření práce na zjištění vlivů výrobních geometrických tolerancí na otevřený plnostěnný nosník, byly probrány historický vývoj a dosavadní vývoj poznání výpočtů nosníků na vzpěr a jejich ověřování pomocí odporové tenzometrie. Následuje konkretizace oblasti pro využití v praxi simulací lesních vyvážecích strojů, která způsobí 1/ hmotnostní úbytek, který sníží nároky na výkon poháněcího agregátu a 2/ přítomnost vibrací konstrukcí. Novým poznatkem je, že jde o původní aplikaci metody pro řešení napjatosti nosníku, na kterou je vázán vliv rozměrových tolerancí a je uplatněna metoda MKP. V rámci MKP byl nadefinovaný rozptyl napjatostí nosníků. Přínosem postupu jsou získané výsledky, které ukazují na rozdíly mezi simulovanými modely až 30%. Rovněž výsledky vlivu všech

dalších tolerancí napjatost hodnotím jako původní. Přínosem práce je vytvoření a instalace laboratorního standu, který byl zprovozněn a použit.

Hodnocení výsledků měření je provedeno zdárně, ale mám k němu připomínku. Otázkou je, proč není provedeno vzájemné porovnání výsledků a porovnání vlastních výsledků s výsledky autorů, kteří se obdobnou problematikou zabývali dříve.

V seznamu použitých informačních zdrojů je uvedeno 72 literárních pramenů a internetových zdrojů. Seznam vlastních publikací autora obsahuje 4 publikace, u kterých je spoluautorem.

Význam pro praxi a rozvoj vědy

Se závěry uvedenými v diskusi i v kapitole o dopadech práce na rozvoj společenské praxe i vědy lze souhlasit. Hlavní přínos práce pro praxi, vidím v tom, že metodika je obecně použitelná k hodnocení napjatosti nosníků.

K rozvoji vědy přispěl autor objasněním výrazného vlivu tolerancí na výskyt napjatosti a tím na celou jeho únosnost.

Formální úprava

Nemám podstatné námitky k logické stavbě práce, která obsahuje výstižný rozbor současného stavu, využitý při stanovení metodiky experimentu a jeho vyhodnocení. Podotýkám jen, že místy jsou v práci nesouvislosti, které se obtížně sledují v textu a které zřejmě souvisí s autorovým způsobem logického vyjadřování.

Po formální stránce je práce zpracována s řadou překlepů a drobných chyb,

Kladně hodnotím i zpracování většiny obrázků, tabulek a grafů.

Připomínky

- . str. 10 1 odrážka, druhá část věty je gramaticky zmatená
- str. 18. 1 odst. dole. Chybí U ve slově E.RONORM
- str. 19. 7 řádek zdola, splnutí dvou slov
- str. 21. Poslední odst. 3 a 4 řádek, chyby ve formulacích
- str. 32. Kap. 4.2.4 2 řádek je formulačně chybný
- str. 39. 2 řádek pod obr. 13 je formulačně chybný
- str. 43. 2 věta odspodu patří místo y- a
- str. 49. Kap. 7.3 chybí T ve slově otevřeného
- str. 50, 2 a 3 odstavec formulační chyby
- str. 54 1 odstavec předposlední řádek chybí ch ve slově bezpečnostních
- str. 65 2 odst. 4 řádek gramatické chyby

Dotazy

1. Uved'te zpřesnění pojmu "tenzometrie rovinné napjatosti" v kapitole 7.2.
2. Proč není provedeno porovnání vlastních výsledků s výsledky autorů, kteří se obdobnou problematikou zabývali dříve.

Závěr

Předložená disertační práce řeší aktuální problematiku, je zpracována dostatečně přehledně, poměrně systematicky a obsahuje původní řešení problematiky zjištění vlivu výrobních tolerancí průřezu nosníků na jejich únosnost virtuální simulací. Přínos je možno vidět v uvedení souhrnu konkrétních metod a postupů, který vede k získání informací o vlivu výrobních tolerancí na únosnost při měnícím se zatížení. Práce svým pojetím a zpracováním představuje průměr s posunem v rozšíření znalostí v oboru a je vzhledem k dobře provedenému experimentu využitelná nejen pro další rozvoj teorie, ale především pro praxi.

Na základě posouzení předložené disertační práce konstatuji, že disertant prokázal schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje a tím splnil podmínky Zákona č. 131/2002 o vysokých školách pro obhajobu disertační práce.

Navrhuji v případě úspěšného obhájení práce udělit mu akademický titul doktor (Ph.D.).

V Brně, 10. 12. 2022

prof. Ing. Miroslav Rousek, CSc

Adresa: Ústav základního zpracování dřeva, Fakulta lesnická a dřevařská, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, mail: rousek.miroslav1@seznam.cz