ROTAČNÁ KAPACITA PRÍPOJOV NA MOSTNÝCH KOŠTRUKCIÁCH

THE INITIAL ROTATIONAL STIFFNESS OF CONNECTIONS ON THE BRIDGE STRUCTURES

Róbert Štecák^{*,1}

^{*}robert.stecak@stuba.sk

¹Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

Abstrakt

Výpočet rotačnej kapacity prípojev na oceľových mostoch je nesmierne dôležitou súčasťou výpočtov. Zväčša železničné mosty majú často viac ako 60 rokov. Tieto mosty sú stále zaťažované vlakovou dopravou a ich diagnostika je nevyhnutná, pre ich bezpečné fungovanie. Práve prípoje sú kritickým miestom. Ich správny výpočet je dôležitý pre správne určenie ich životnosti či zaťažiteľnosti. Práve rotačná kapacita umožňuje namodelovať prípoje tak, aby čo najviac zachytili realitu. Nanešťastie, postup v Eurokóde nie je úplne jasný. Výpočet rotačnej kapacity je v norme uvádzaný len pre budovy, nie však pre horizontálne konštrukcie ako sú mosty.

Kľúčové slová

Most, rotačná kapacita, prípoje, oceľ

Abstract

The calculation of the initial rotational stiffness of bridge connection is immensely important element of calculations. Generally, railway bridges are more than 60 years old. These bridges are still burdened by train traffic. The diagnostic of bridges is necessary to safety functioning. The connections are critical point. Their correct calculation is essential for the administration to determine their service life and load capacity. It is the initial rotational stiffness that allows the connections to be modelled so that they capture reality as much as possible. Unfortunately, the procedure in the Eurocode is not clear. The calculation is defined only for building, not horizontal structures such as bridges.

Key words

Bridge, initial rotational stiffness, connection, steel

1 ÚVOD

Na Slovensku je mnoho železničných mostov. Väčšina starších mostov má prípoje spájané nitmi. Mnoho z nich má viac ako 60 rokov. Účinok únavy môže zmeniť niektoré vlastnosti nosných prvkov konštrukcie. To môže zapríčiniť, že konštrukcia nemusí vyhovovať pre súčasnú dopravu. Najproblematickejšie miesto sú prípoje. Väčšinou sú prípoje počítané ako kĺbové prípoje. To však nie je úplná pravda. Prípoj môže byť tuhý, polotuhý alebo nominálne kĺbový. Toto je klasifikácia v elastickej oblasti podľa Eurokódu 3-1-8 [1]. Rotačná kapacita určuje toto usporiadanie prípojev. Táto metóda tak umožňuje určiť tuhosť prípojev a objektu celkovo.

Rotačná kapacita je v Eurokóde definovaná len pre budovy so stĺpom a vodorovnými nosníkmi. Nie je tam jasne vymedzená definícia mosty. Postup podľa Eurokódu je v takomto prípade náročný. Najvhodnejšie je preto použiť program pre výpočet rotačnej kapacity. V tomto prípade bol použitý program IDEA StatiCa. Je to program určujú pre modelovanie a posudzovanie prípojev. Okrem tradičného analýzy dokážu určiť aj rotačnú kapacitu.

Rotačná kapacita bola vypočítaná v programe, následne program zatriedil prípoj do príslušnej triedy. Pre overenie bola prevzatá programu hodnota rotačnej kapacity prípoja S_j,ini. Potom bola zatriedená podľa postupu v Eurokóde [1] a porovnaná so zatriedením v programe.

2 ROTAČNÁ KAPACITA PRÍPOJA

Tuhosť prípoja je jeho schopnosť odolávať deformácii vzhľadom na aplikovanú silu. Tuhosť je vzťah medzi aplikovanou silou a posunutím, ktoré sila vyvoláva.

Metóda globálnej analýzy	Klasifikácia uzla		
Pružnostná	Nominálne kĺbový	Tuhý	Polotuhý
Tuhosťno - plastická	Nominálne kĺbový	S plnou únosnosťou	S čiastočnou únosnosťou
Pružnostno-plastická	Nominálne kĺbový	Tuhý s plnou únosnosťou	Polotuhý s čiastočnou únosnosťou Polotuhý s plnou únosnosťou Tuhý s čiastočnou únosnosťou
Typ modelu uzla	Kĺbový	Spojitý	Čiastočne spojitý

Obr. 1 Typy modelov uzlov [1].

Existuje viacero metód globálnej analýzy pre výpočet prípoja. Najčastejšia je pružnostná analýza. V tomto prípade bola použitá pružnostná analýza. Najkomplikovanejšie je vypočítať súčiniteľ $S_{j,ini}$. Použitie iba Eurokódu je náročné. Analýza zaberie mnoho času, navyše presnosť výsledku môže byť relatívne nízka. V tomto prípade bol použitý výpočet v programe Idea StatiCa, ktorý dokázal vyrátať súčiniteľ $S_{j,ini}$. Dokonca program dokázal určiť aj hranice pre klasifikáciu spojenia.

Obr. 2 Hranice zatriedenia [1].

Hranice sú zadefinované pre budovy. Práve to bol dôvod, pre overenie správnej klasifikácie programu. Preskúmanie bolo vykonané s existujúcim súčiniteľom $S_{j,ini}$, vybraného z programu a následného manuálneho výpočtu.

3 VÝPOČET

Pre výpočet bol použitý prípoj z existujúceho železničného mosta pri obci Nižná Myšľa. Jedná sa o priehradový most s otvorenou mostovkou. Všetky prípoje sú nitované. V programe nebolo možné zadefinovať nity, takže boli namodelované ako skrutky s materiálovými vlastnosťami rovnakými ako je oceľ, z ktorej je konštrukcia. Jednotlivé nosníky boli pripojené pomocou L profilov. Na druhej strane bol namodelovaný plech o hrúbke 30mm, ktorý nahrádzal nosník. Keďže spoj bol symetrický, v prípade namodelovania nosníkov z oboch strán dochádzalo ku kolíziám vo výpočte.

Obr. 3 Modelovaný prípoj v skutočnosti.

Obr. 4 Model prípoja a) pohľad spredu b) pohľad zo zadu.

Tab. 1 Hodnoty rotačnej kapacity získané z programu.

Komp.	Mj, Rd [kN/m]	Sj,ini [MMNm/rad]	Φc [mrad]	L [m]	sj,R [MNm/rad]	Sj,P [MNm/rad]	
My	46,2	17,4	3,3	3,6	1112,3	22	klbový
Mz	7	0,1	517,6	3,6	51,1	1	klbový

Výpočet bol uskutočnený pre prvky o skutočnej dĺžky. Keďže tento parameter vstupuje do výpočtov, je nesmierne dôležité dodržať geometriu. Softvér ma predvolenú dĺžku nosníkov, keďže pri výpočte spojov nehrá dĺžka nosníka rolu. Dĺžka sa ale dá zmeniť. Zaťaženie bolo nastavené vo všetkých smeroch ako sily o veľkosti

1kN a ohybové momenty 1kNm. Veľkosť zaťaženia nemá vplyv na výpočet kapacity a jednotkové zaťaženie zrýchlilo dobu trvania výpočtu. Výsledky sú v Tab. 1. Hodnoty $S_{j,ini}$ boli potom vybrané do výpočtu.

Po výpočte v programe začal manuálny výpočet. Výpočet prebehol pomocou Eurokódu 1993-1-8, ako bolo uvedené v Obr. 2. Následne boli výsledky porovnané s programom. Zatriedenie vyšlo rovnaké. Konkrétne hodnoty boli mierne odlišné, ale nemalo to vplyv na zatriedenie. Nanešťastie, manuál pre program IDEA Statica chýba, takže je náročné overiť, čo mohlo byť dôsledkom rozličných hodnôt a aké postupy sú v programe určené.

4 VPLYV ROTAČNEJ KAPACITY NA KONŠTRUKCIU

Tab. 2 Výsledky získané pomocou Eurokódu 1993-1-8.

	Rotačná kapacita $S_{j,ini}$ [MNm]	Tuhý prípoj $K_{bEIb/Lb}$ [MNm]	Nominálne klbový prípoj $0,5Ib/Lb$ [MNm]	Výsledok
Ohybový moment M_y	46,2	17,4	3,3	3,6
Ohybový moment M_z	7	0,1	517,6	3,6

Výpočet rotačnej kapacity umožňuje zatriediť prípoj do danej triedy. To ale nie je všetko. Hodnota $S_{j,ini}$ môže vstupovať do výpočtu. V skutočnosti spoje nie sú ani dokonalý klb, ani dokonalé tuhé. Práve zavedenie hodnoty $S_{j,ini}$ umožňuje zachytiť reálny stav konštrukcie a získať tak čo najpresnejšie výsledky.

Program RFEM od spoločnosti Dlubal umožňuje zadefinovať rotačnú kapacitu. Pre výpočet bol použitý rovnaký model ako v predošlom výpočte. V tomto prípade bol však model zadefinovaný ako prúťový model, nie model z konečných prvkov. Výpočet toľkého množstva konečných prvkov by bol extrémne zdĺhavý. Sledované boli celkové vnútorné sily, nie lokálne napätia na nosníkoch, takže aj prúťový model bol postačujúci.

Obr. 5 Schéma zaťaženia na modeli.

Namodelované boli 3 modely. S nominálnym klbom, tuhý a prípoj s konkrétnou rotačnou kapacitou. Zaťaženie bolo nastavené ako dvojica síl, každá o veľkosti 100 kN v strede rozpätia nosníkov. Model je znázornený na Obr. 5. V programe ako je RFEM sa prípoj nedefinuje detailne ako v programe IDEA. Zadefinuje sa len koncové uloženie nosníka. Preto je potrebné dať pozor, ako je definovaný prípoj nosníka na ďalší nosník. Okrajové podmienky uloženia priečnikov boli namodelované ako tuhé pripojenie, čiže votknutie.

Rozdiel medzi ohybovým momentom pri jednotlivých momentoch bol výrazný. Medzi tuhým prípojom a prípojom s konkrétnou hodnotou $S_{j,ini}$ je rozdiel 40 %. To je ohromný rozdiel. Rozdiel medzi nominálnym klbom a prípojom s konkrétnou hodnotou $S_{j,ini}$ je 10 %. To je relatívne malý rozdiel. Na obrázku 5 sú znázornené priebehy vnútorných síl

V prípade, že sa modeluje konštrukcia s tuhými prípojmami, prikláňame sa na stranu menej bezpečnú.

Obr. 6 Hodnoty ohybových momentov.

5 ZÁVER

Rotačná kapacita má mimoriadne veľký vplyv na návrh prípojev. Ako bolo ukázané, vplyv zadania rotačnej kapacity S_j má kľúčovú rolu na celkový výsledok vnútorných síl. Pri oceľových konštrukciách majú únava, korózia a iné faktory obrovský vplyv na zbytkovú únosnosť. Je preto nevyhnutné vytvoriť čo najpresnejší výpočtový model. Výpočet len pomocou Eurokódu 1993-1-8 je zdĺhavý. Celkový postup je neprehľadný a nie je ho možné ľahko aplikovať aj na mostné konštrukcie. Vzhľadom na možnosti v súčasnosti, je najrýchlejšou možnosťou použiť výpočtový program, ktorý dokáže vypočítať rotačnú kapacitu prípoja. Ako bolo dokázané, výpočtový program dokáže určiť rotačnú kapacitu takmer rovnako ako norma. Navyše, namiesto zdĺhavého ručného výpočtu dokážu programy v súčasnosti zrátať výsledky do niekoľkých minút.

Použité zdroje

- [1] Eurokód 3 Navrhovanie oceľových konštrukcií: Časť 1-8: Navrhovanie uzlov. 2007. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie.
- [2] B.F.M., PAZMIŇO. 2018. The Prediction of the Joint Stiffness in Riveted Steel Bridges. Praha. Diplomová práca. České vysoké učení technické v Praze. Školiteľ Doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
- [3] J.C., Tarafdar. 2017. Initial Rotational stiffness. Research Gate [online]. Berlín: ResearchGate [cit. 2021-11-10]. Dostupné na internete: Tarafdar, J.. (2017). Re: Formula for rotational Stiffness. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/post/Formula-for-rotational-Stiffness/5945def496b7e4e5445d13b8/citation/download>.