

VSTUPNÉ PARAMETRE PRE VÝPOČET PREDPÄTÝCH SKRUTKOVÝCH SPOJOV V MKP

INPUT DATA FOR PRELOADED BOLTED CONNECTION DESIGN IN FEM

Peter BOCKO, Martin MANTIČ, Jozef KULKA¹

Abstrakt

Článok popisuje riešenie výpočtu maximálneho predpätia v skrutkových spojoch ako aj o ich možnostiach použitia vo výpočtových modeloch MKP, ktoré obsahujú skrutkové spojenia. Dôraz je kladený na vplyv týchto spojov na napätosť a deformáciu a určenie veľkosti predpätia.

Kľúčové slová: skrutkový spoj, predpätie, MKP

Abstract

The paper describes treatments for determination of maximal preload in bolts as well as various possibilities for the development of the FEM models which include bolt connections. Emphasis is given on influence of bolt connection on stress and deformation states in the structure and on the assessment of bolt loading.

Key words: bolted connection, preload, FEM

ÚVOD

Pri štrukturálnych výpočtoch s využitím metódy konečných prvkov (MKP) sa často stretávame s konštrukciami obsahujúcimi skrutkové spoje. Vplyv týchto spojov na napätosť a deformáciu je potrebné zohľadniť s použitím vhodného výpočtového modelu. Okrem geometrie spoja je potrebné pri výpočte zohľadniť najmä veľkosť predpätia. Príspevok sa zaoberá možnosťami určenia veľkosti predpätia a voľbou vhodného MKP modelu.

VÝPOČET MONTÁŽNEHO PREDPÄTIA V SKRUTKOVOM SPOJI

Prehľad spojovacích prostriedkov pre spájanie prvkov oceľových konštrukcií, odporúčané priradenie pevnostných tried skrutiek podľa medze klzu f_y základného materiálu, menovité hodnoty medze klzu f_{yb} a pevnosti v ťahu f_{ub} materiálu skrutiek ako aj kategorizáciu spojov obsahuje norma STN 73 1401. Uvedená norma stanovuje aj výpočet návrhovej únosnosti skrutkových spojov.

Výpočet samotnej sily predpätia F_Q , ktorú norma STN 73 1401 neuvádza, je vysvetlený v nasledujúcom texte.

¹ Ing. Peter BOCKO, Ing. Martin MANTIČ, PhD., Ing. Jozef KULKA, PhD., KKDaL, SjF TU v Košiciach, pbocko@szm.sk, martin.mantic@tuke.sk, jozef.kulka@tuke.sk
Lektoroval: prof. Ing. Jaroslav HOMIŠIN, CSc., KKDaL, SjF TU v Košiciach, jaroslav.homisin@tuke.sk

VÝPOČET MONTÁŽNEHO PREDPÄTIA Z MEDZE KLZU

Ak nie sú známe bližšie údaje o vonkajšom zaťažení skrutkového spoja, montážne predpätie F_Q je možné stanoviť z pevnostnej podmienky (1).

$$\frac{F_Q}{S_3} \leq v \cdot Re, \quad (1)$$

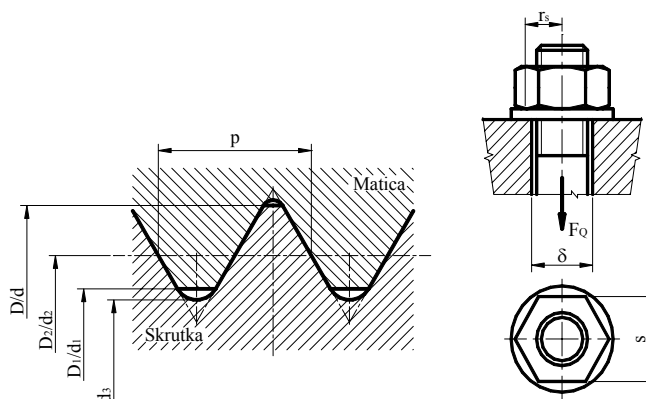
kde F_Q - je predpätie [N],

v - miera využitia medze klzu $v = 0,7 \sim 0,8$,

Re - medza klzu v ťahu (údaje pre vybrané materiály a triedy pevnosti skrutiek sú uvedené v tabuľke 1),

S_3 - prierez jadra skrutky.

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2)$$



Obr.1 Metrický závit

p - stúpanie závitů [mm], d/D - priemer závitů skrutky/matice [mm], d_2/D_2 - stredný priemer závitů skrutky/matice [mm], d_1/D_1 - malý priemer závitů matice, d_3 - malý priemer závitů skrutky [mm].

Hodnoty medze klzu Re v ťahu a dovolené tlaky v závitoch σ_{HD}

Tabuľka 1

Trieda pevnosti	Materiál skrutky											
STN	4A	4D	4S	5D	5S	6S	6G	8G	8E	10K	12K	
ISO	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	6.9	8.8	9.8	10.9	12.9	
Materiál matice	Re [MPa]											
	Oceľ	200	210	320	300	400	480	540	640	720	900	1080
	σ_{HD} [MPa]											
	Oceľ	40	50	75	70	90	110	120	135	150	200	250
Liatina	25	30	45	40	55	70	70	80	90	125	150	
Al zliatiny	18	20	30	27	35	45	45	50	60	80	90	

5S (11343, 11373), 8G (12040, 12050, 13240), 10K (13240, 15230), 12K (13240, 16521)

VÝPOČET MONTÁŽNEHO PREDPÄTIA Z DOVOLENÉHO TLAKU V ZÁVITOK

Ďalším spôsobom je určenie montážneho predpätia z dovoleného tlaku v závitoch. Vstupné parametre pre tento výpočet je potrebné určiť z tabuliek.

$$\sigma_H = \frac{4.F_Q}{i.\pi.(d^2 - D_1^2)} \leq \sigma_{HD} \Rightarrow F_Q \leq \frac{\sigma_{HD}.i.\pi.(d^2 - D_1^2)}{4}, \quad (3)$$

kde σ_H - tlak v závitoch [MPa], σ_{HD} - dovolený tlak v závitoch [MPa] (tabuľka 1),
 m - výška matice [mm], $m = (i+2).p$, (4)
 i - počet závitov matice

VÝPOČET MONTÁŽNEHO PREDPÄTIA Z KRÚTIACEHO MOMENTU PRI UŤAHOVANÍ

Tretí spôsob je možné použiť v prípade ak je známa hodnota krútiaceho momentu na kľúči, použitého pre utiahnutie skrutky respektíve matice (trečí moment v závite skrutky + trečí moment pod maticou).

$$M_K = F_Q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi') + F_Q \cdot f \cdot r_s \quad (5)$$

$$F_Q = \frac{M_K}{\frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi') + f \cdot r_s}, \quad (6)$$

$$\gamma - \text{uhol stúpania závitu} \quad \gamma = \text{arctg} \frac{p}{\pi \cdot d_2}, \quad (7)$$

φ' - trečí uhol (suché trenie, bez pohybu) s prihliadnutím na profil závitu $\text{tg} \varphi' = f \cong 0,1-0,12$,

f - koeficient trenia medzi maticou (hlavou skrutky) a materiálom $f \cong 0,1$,

δ - priemer otvoru pre skrutku,

r_s - trečí polomer

$$r_s = \frac{s + \delta}{4}. \quad (8)$$

TYPY VÝPOČTOVÝCH MODELOV SKRUTKOVÉHO SPOJA

Typ použitého výpočtového modelu závisí od požadovaného cieľa výpočtu. Týmto cieľom býva najčastejšie zohľadnenie vplyvu skrutkového spoja na napätosť a deformáciu konštrukcie ako celku. V prípade požiadavky pevnostnej kontroly spoja je potrebné použitie modelu na základe ktorého je možné určiť axiálnu silu, priečnu silu a ohybový moment, alebo vytvorenie dostatočne presného modelu pre vyhodnocovanie na základe napätia.

Typy výpočtových modelov:

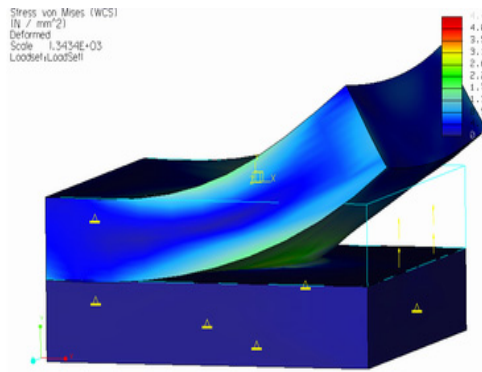
- a. **stotožnenie spájaných častí (tuhé spojenie / rigid connection)** – objemový aj škrupinový model
 - celá styčná plocha (použitie skutočnej alebo zmenšenej hrúbky spájaných častí),
 - bod v mieste osi spoja (stotožnenie uzla, bodový zvar / spot weld),
 - kruh alebo medzikružie (zvyšné plochy spojené s použitím kontaktu alebo volné).
- b. **spojenie s použitím prídavného elementu (bez predpätia)** – najmä pre škrupinový model, prípadne objemový model, pri ktorom nedochádza ku kontaktu spájaných častí v mieste spoja
 - prúťové elementy (1D) / beam alebo rigid bar,
 - škrupinové elementy,
 - objemové elementy.
- c. **spojenie bez použitia prídavného elementu – náhrada predpätia silou (s predpätím)**
 - predpätie pôsobiace na medzikružie, zabezpečenie spájaných častí proti vyoseniu.
- d. **spojenie s použitím prídavného elementu (s predpätím)**
 - 3D model s virtuálnou skrutkou,
 - 3D model vrátane skrutky (automatické definovanie predpätia),
 - 3D model vrátane skrutky (predpätie a kontakt medzi jednotlivými časťami zadané manuálne – všetky MKP programy),
 - 3D model vrátane závitú.
- e. **lícované skrutky (spoj s presahom)**
 - 3D model s virtuálnou skrutkou,
 - 3D model lícovanej skrutky s presahom (čap, nit) – kontakt typu Shrink Fit.

Najjednoduchším a najpoužívanejším spôsobom pre vytvorenie modelu skrutkového spoja s predpätím je použitie virtuálnej skrutky. Obyčajne je potrebné definovať spájané plochy v mieste kontaktu hlavy skrutky a matice so spájaným materiálom a os spoja (prípadne vnútornú plochu otvoru). Miesto kontaktu sa definuje najčastejšie zadaním priemeru hlavy skrutky a matice pri parametroch virtuálneho spojenia alebo vytvorením plochy v tvare medzikružia na spájaných plochách. Ďalšími dôležitými parametrami sú materiál skrutky a veľkosť predpätia. V niektorých prípadoch (v závislosti od použitého programu) je potrebné definovať aj kontakt medzi spájanými časťami.

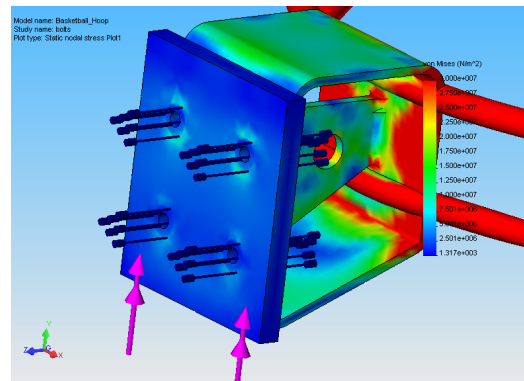
V prípade 3D modelu skrutkového spoja je možné (ak program neposkytuje iné možnosti) definovať predpätie vo forme síl pôsobiacich v smere osi spoja proti sebe, pričom tieto sily sú aplikované samostatne na plochy vytvorené na valcovej časti skrutky (obr.4).

Možnosti niektorých MKP programov:

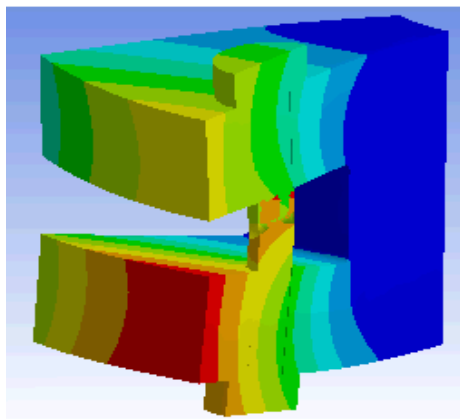
- Pro/MECHANICA Wildfire 2.0 - virtuálne skrutky s predpätím (obr.2)
- CosmosWorks 2005 - virtuálne skrutky s predpätím (obr.3)
- Ansys V9 - definovanie predpätia na valcovú plochu skrutky (obr.4)
- CATIA V5R13 - virtuálne skrutky s predpätím, 3D model skrutky (automatické definovanie predpätia) (obr.5)



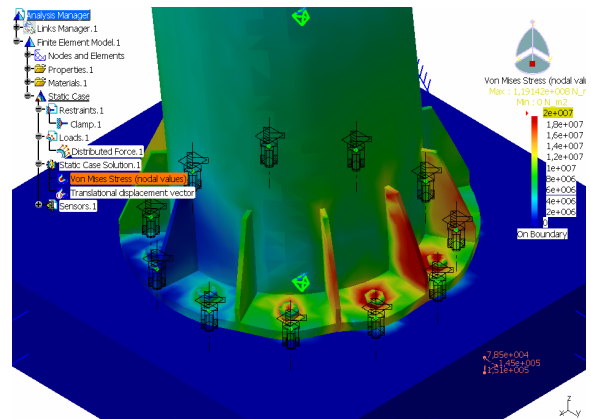
Obr.2 Pro/MECHANICA Wildfire 2.0
– virtuálna skrutka s predpätím



Obr.3 CosmosWorks 2005
– virtuálna skrutka s predpätím



Obr.4 Ansys 9.0 – 3D model s predpätím



Obr.5 Catia V5R13 – 3D model
skrutky s predpätím

ZÁVER

Použitie MKP pre výpočet zaťaženia skrutiek je výhodné najmä v prípadoch ich nerovnomerného zaťaženia. Napríklad pri použití príruby namáhanej na ohyb je maximálnou silou namáhaná len jedna alebo dve skrutky. Okrem toho je možné brať do úvahy aj tuhosť spájaných elementov. Na záver je potrebné poznamenať, že veľkosť predpätia určená z medze klzu R_e a z dovoleného tlaku v závitoch sú hodnotami maximálnymi a pre výpočet je potrebné použiť nižšie hodnoty.

Príspevok obsahuje postupy pre určenie maximálneho predpätia v skrutkovom spoji a zároveň popisuje rôzne možnosti pre vytváranie MKP modelu obsahujúceho skrutkový spoj. Dôraz je kladený najmä na zohľadnenie vplyvu skrutkového spoja na napätosť a deformáciu konštrukcie ako celku a na určenie zaťaženia skrutiek.

Tento článok vznikol v rámci riešenia projektu projektu APVT – 20 – 016004 Automatizovaný on-line systém vyhodnocovania životnosti pojazďových elementov koľajových vozidiel.

LITERATÚRA

- [1] TREBUŇA, F., BIGOŠ, P.: *Intenzifikácia techn. spôsobilosti ťažkých oc. konštrukcií*. Vienala, Košice 1998
- [2] ŠVEC, V.: *Části a mechanismy strojů - příklady*. ČVUT, Praha 1991, 105 s.
- [3] IVANČO, V., KUBÍN, K., KOSTOLNÝ, K.: *Analysis of behaviour of horizontal safety system*. In. Metal Structures, Millpress, Rotterdam 2003, ISBN 80-214-1356-8
- [4] STN 73 1401 Navrhovanie oceľových konštrukcií
- [5] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK, F.: *Odolnosť prvkov mechanických sústav*. Emilena, Košice, 2004, 980 str., ISBN 80-8073-148-9
- [6] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK, F.: *Pružnosť, pevnosť, plastičnosť v strojárstve*. Emilena, Košice, 2005, 484 str., ISBN 80-8073-276-0