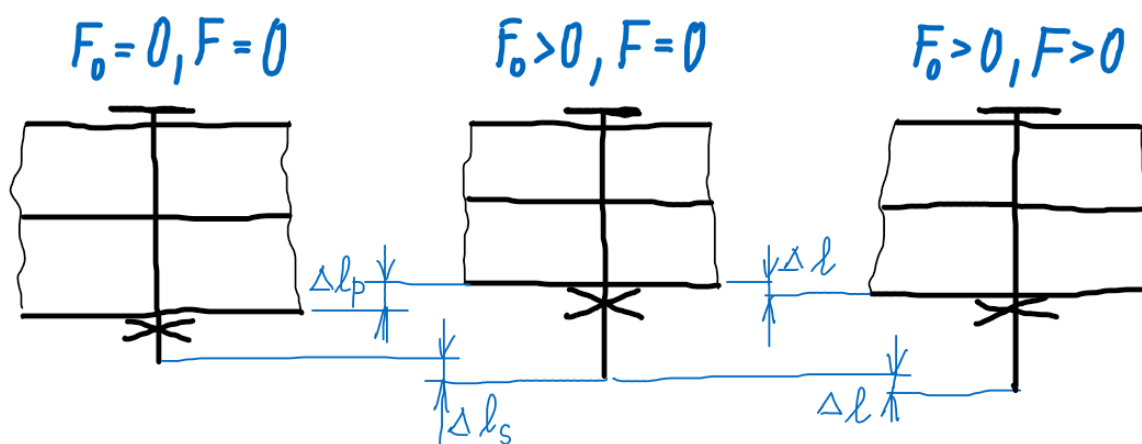


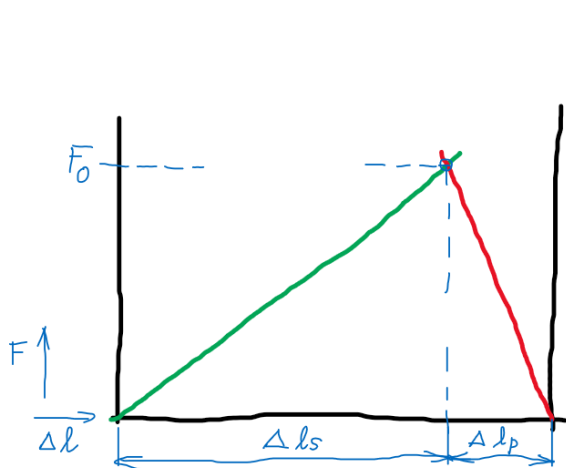
Výpočet předepjatého šroubového spoje pomocí programu Autodesk AutoCAD Mechanical

K výpočtu je třeba znát alespoň základní princip předepjatého spoje. Na obr. 1 jsou tři stavy spoje. První – dotažení na vymezení vůle, spoj není zatížen. Druhý – spoj je utážen např. momentovým klíčem tak, že je zatížen tzv. silou předpětí F_0 , tj. šroub se prodlouží o Δl_s , spojované části se stlačí o Δl_p . Třetí – začne-li působit provozní síla F , šroub se dále prodlouží o Δl , spojované části se o tento rozdíl uvolní.

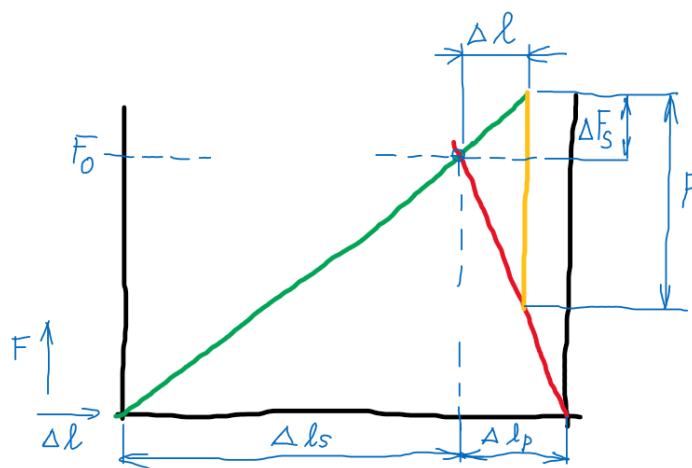
V diagramu předepjatého spoje (obr. 2 a 3) je vynesena závislost síly a deformace (přímky – v mezích platnosti Hookova zákona). Zatížení vyvolá různé deformace vzhledem k rozdílné tuhosti šroubu a spojovaných částí. Provozní síla způsobí přírůstek síly ve šroubu ΔF_s (největší zatížení šroubu bude $F_0 + \Delta F_s$), ten je velmi často proměnný a lépe jej snášejí tzv. pružně poddajné šrouby, a pokles síly ve spojovaných částech. Pokles nesmí být takový, aby se spoj uvolnil.



Obr. 1

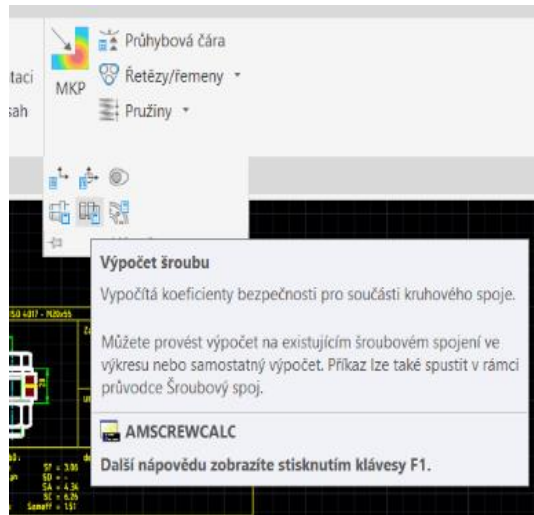


Obr. 2



Obr. 3

V programu AutoCAD Mechanical je výpočet šroubového spoje ve skupině výpočtů (obr. 4). Můžeme počítat spoj vložený jako celek, nebo vkládaný po jednotlivých součástech. V tom případě je nutno začít výpočet definováním součástí.



Obr. 4

Spoj průchozím šroubem a maticí (příloha 1)

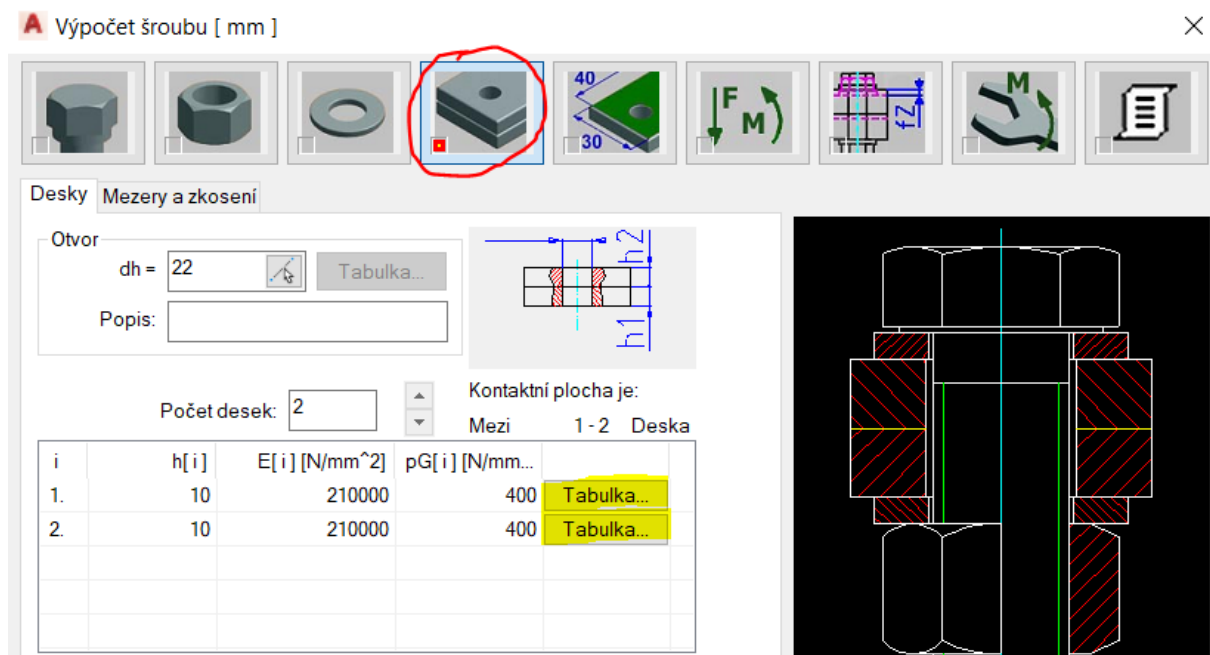
A. Výběr součástí (obr. 5)

Pomocí prvních tří ikon vybereme šroub, matici a podložky podobně jako při vkládání do výkresu. U šroubu nezapomeneme na pevnostní třídu (karta Materiál).



Obr. 5

B. Definice desek (obr. 6)

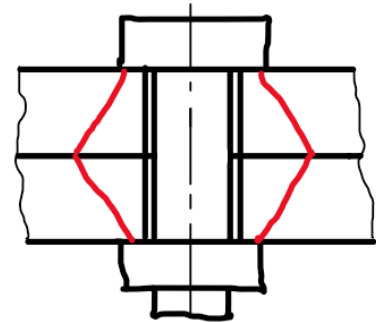


Obr. 6

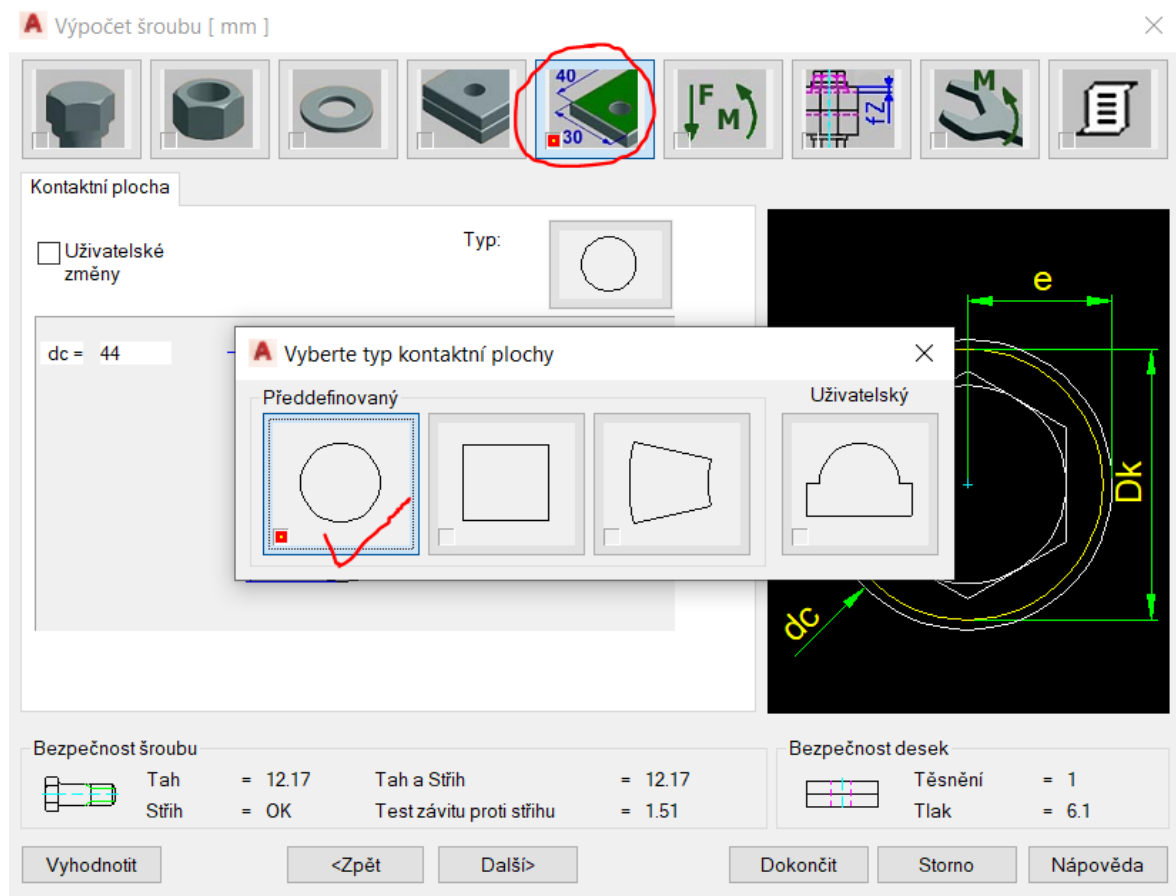
Program sice umožňuje nadefinovat více desek ve spoji, ale počítá pouze s jednou kontaktní plochou. Je třeba zadat materiál, h je tloušťka desek, E je modul pružnosti v tahu a p_G dovolený měrný tlak (volený podle [3]). V úloze je počítáno s ocelí 1.0553 (11 523 podle ČSN). Kartu Mezery a zkosení, umožňující zadat zúžení stykové plochy a zkosení hran děr, zatím nepoužijeme.

C. Definice kontaktní plochy (obr. 7 – 8)

Nikde bohužel není přesně vysvětleno, jak s tímto pokynem naložit. Protože se při zadání uživatelských změn někdy objevuje hláška o překročení max. průměru, domnívám se, že tato položka souvisí s rozložením tlaku ve spoji. To vychází z teorie tlakového dvojkuželu, podle níž se šíří tlak ve spoji. Tady vybereme první typ kontaktní plochy, třetí typ se hodí např. pro příruby potrubí nebo spojky. Můžeme ponechat výchozí hodnoty.



Obr. 7



Obr. 8

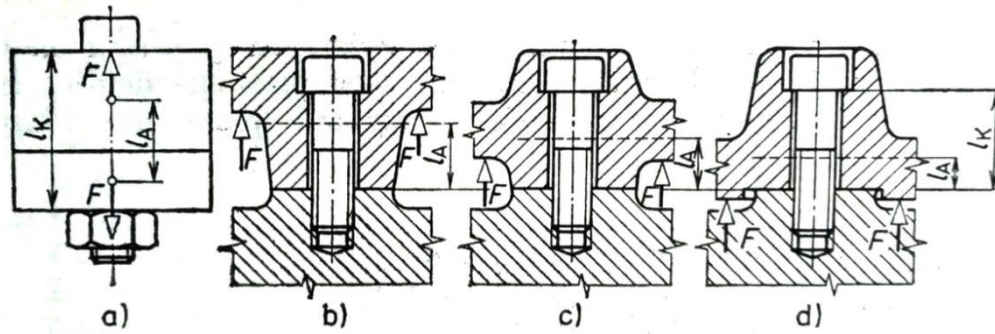
D. Definice zatížení (obr. 9 – 11)

Zadávat nejen velikosti sil, ale také jejich působišť. Můžeme zadat buď přímo působišť, nebo poměr sevřených délek n . Na obrázku z učebního textu [2] je poloha působišť značena l_A , v AutoCADu hk . Tyto hodnoty uplatníme u další úlohy (příloha 2).

- $n = l_A/l_K = 0,5$
- $n = 0,7$
- $n = 0,5$

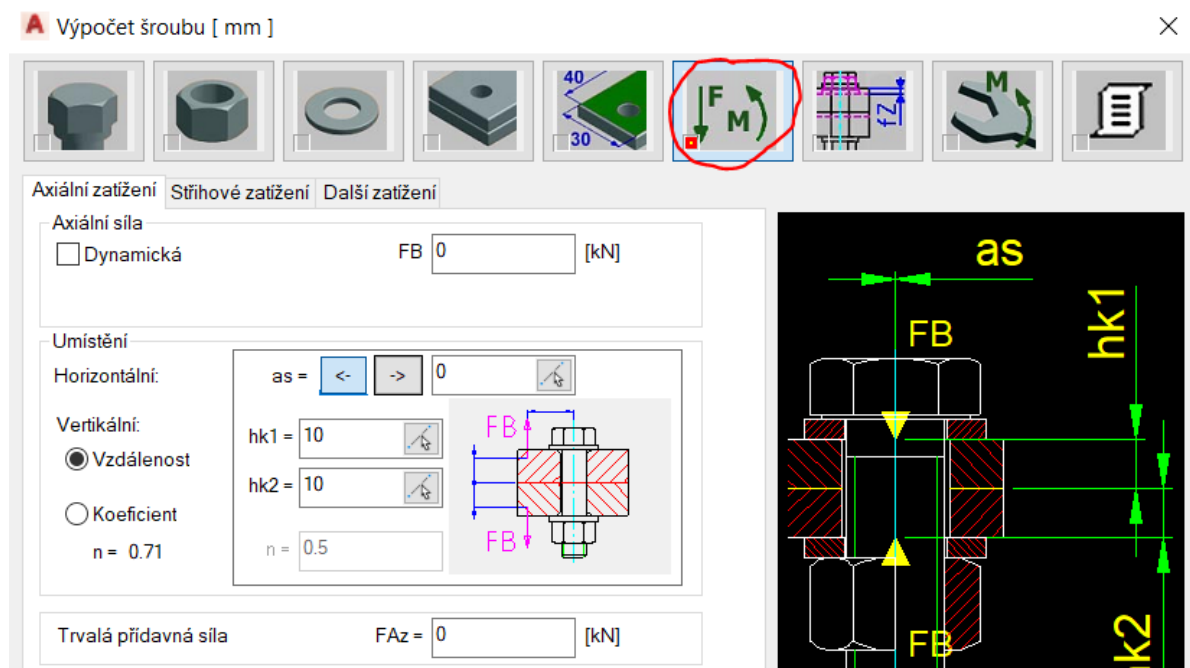
d) $n = 0,3$

Nabídnuté hodnoty poměru n jsou jiné, pravděpodobně záleží na metodice výpočtu.

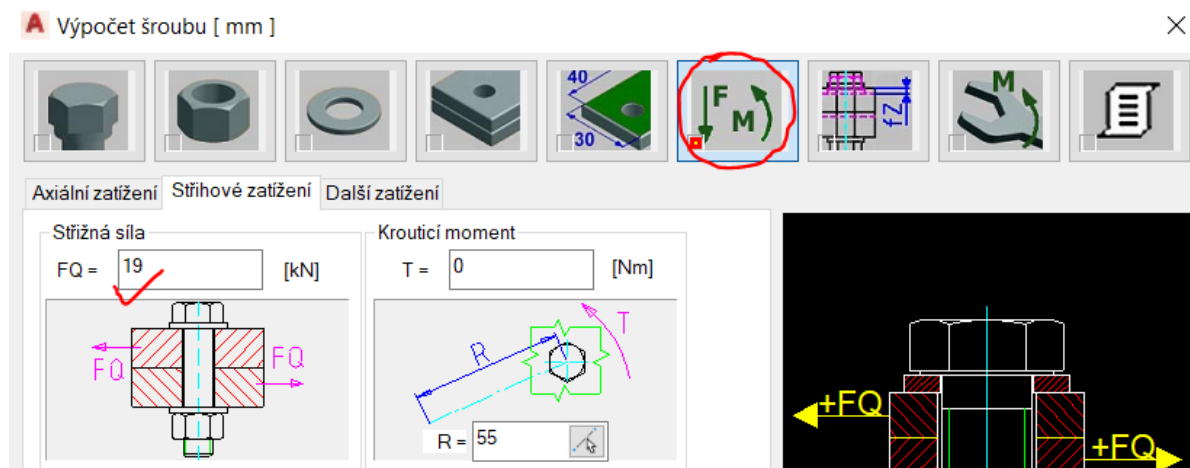


Obr. 9

Zde není třeba zadávat nic, není zde žádná axiální síla, předpětí se zadává jinde.



Obr. 10

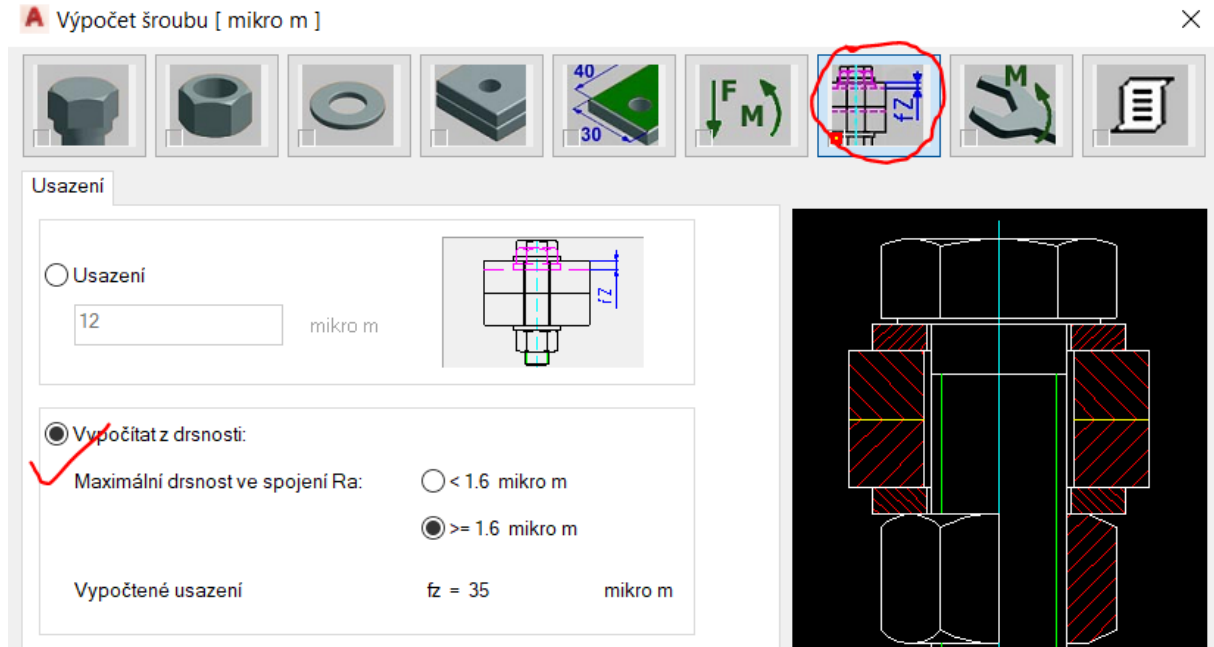


Obr. 11

Je nutno zadat stříhové zatížení, protože táhla jsou zatížena tahovou silou, která se přenáší ve stykové ploše třením (utažení šroubu). V úloze je zadáno 35 kN (síla připadající na jeden spoj).

E. Definice usazení (obr. 12)

U spoje dochází vlivem uzažení k malé trvalé deformaci (sednutí, usazení), která způsobuje pokles předpětí. Je možno ji určit na základě drsnosti povrchu.



Obr. 12

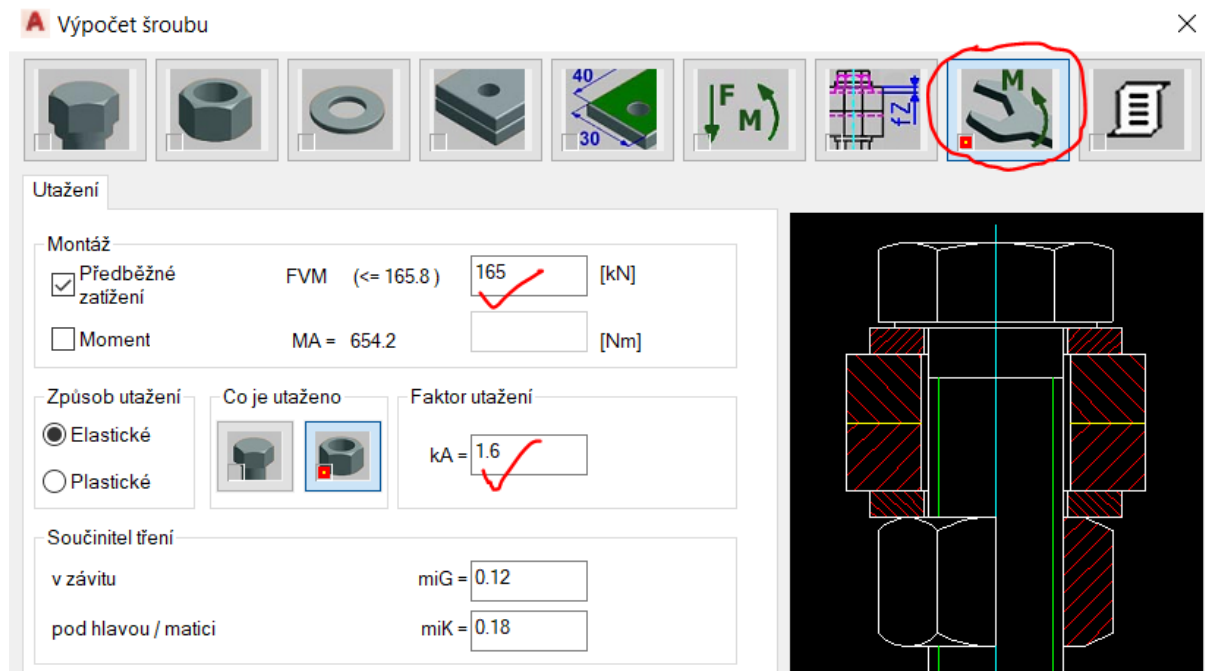
F. Definice utahení (obr. 13 - 14)

Utažení můžeme definovat silou předpětí (v programu značeno FVM), nebo utahovacím momentem MA . Zde je zadána síla předpětí 63 kN (z literatury [4] – viz Metodika výpočtu

Způsob utahování	Stav povrchu (šroubu, matice)	Součinitel utahování k_T	
ruční	všechny úpravy a způsoby mazání	3,0	
momentový nebo omezovací klíč	bez úpravy nebo fosfátovaný	nemazaný mazaný (olej nebo MoS_2)	1,8 1,4
	Mn — fosfátovaný	mazaný	1,25
motorový nebo rázový šroubovák (utahovák)	bez úpravy nebo fosfátovaný	mazaný nemazaný	1,6 2,0
	zinkovaný, kadmiovaný	mazaný nebo nemazaný	2,0

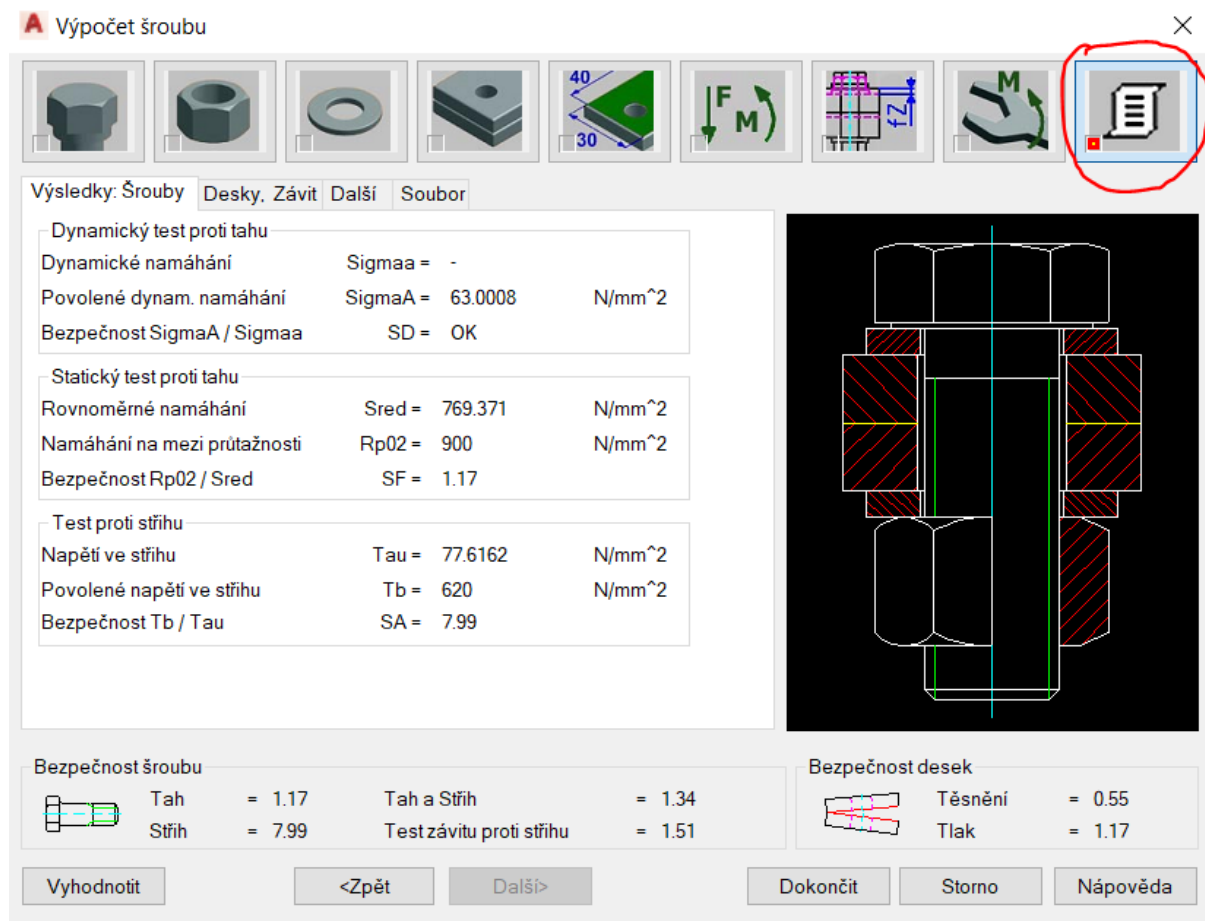
Obr. 13

předepjatého spoje). Součinitel utahování (zde faktor utahování) závisí na způsobu utahování (momentový klíč, motorový utahovák...) a je vyhledán v literatuře [2] – obr. 13.



Obr. 14

G. Výsledky



Obr. 15

Výsledky můžeme průběžně kontrolovat tlačítkem Vyhodnotit v dolní části dialogového panelu. Podrobné výsledky obdržíme tlačítkem Výsledky. Na kartě Šrouby obdržíme hodnoty bezpečnosti (smyk, který by neměl podle zadaných hodnot nastat – příčná síla se přenáší třením je pravděpodobně pouze orientační, jinak existují předpisy pro ocelové konstrukce, které určitý posuv povolují).

Karta Desky, závit poskytne další hodnoty, zvláště je dynamický test těsnosti, je uvedeno FVM_{max}/FVM , ale výsledek odpovídá převrácené hodnotě tohoto poměru. Nevím přesně, co znamená hodnota „Potřebné předběžné zatížení“, jedná se o velikou sílu, kterou by šroub nevydržel (ani by nebylo možno ji zadat), na kartě Další jsou dostatečné hodnoty zbytkové síly sevření, vysvětlení nikde není k dispozici.

Výpočet šroubu

Dynamický test těsnosti spoje		
Předběžné zatížení	FVM =	165 kN
Potřebné předběžné zatížení	FVMmax =	297.747 kN
Bezpečnost FVMmax / FVM	SM =	0.55 ?

Statický test tlaku v dotyku		
Tlak plochy	p =	340.92 N/mm ²
Povolený tlak plochy	pG =	400 N/mm ²
Bezpečnost pG / p	SP =	1.17

Test závitu proti stříhu		
Délka závitu	m _{eff} =	17.38 mm
Potřebná délka závitu	m _{efmin} =	11.53 mm
Bezpečnost m _{eff} / m _{efmin}	S _{smeff} =	1.51

Bezpečnost šroubu			
	Tah	= 1.17	Tah a Střih = 1.34
	Střih	= 7.99	Test závitu proti stříhu = 1.51

Bezpečnost desek		
	Těsnění	= 0.55
	Tlak	= 1.17

Buttons: Vyhodnotit, <Zpět, Další, Dokončit, Storno, Nápověda

Obr. 16

Výsledky vyjdou v tabulce s několika překlepy (táhnou se několika posledními verzemi AutoCADu), pro publikování můžeme tabulku rozložit a opravit. V příloze je opravena i hodnota poměru FVM_{max}/FVM .

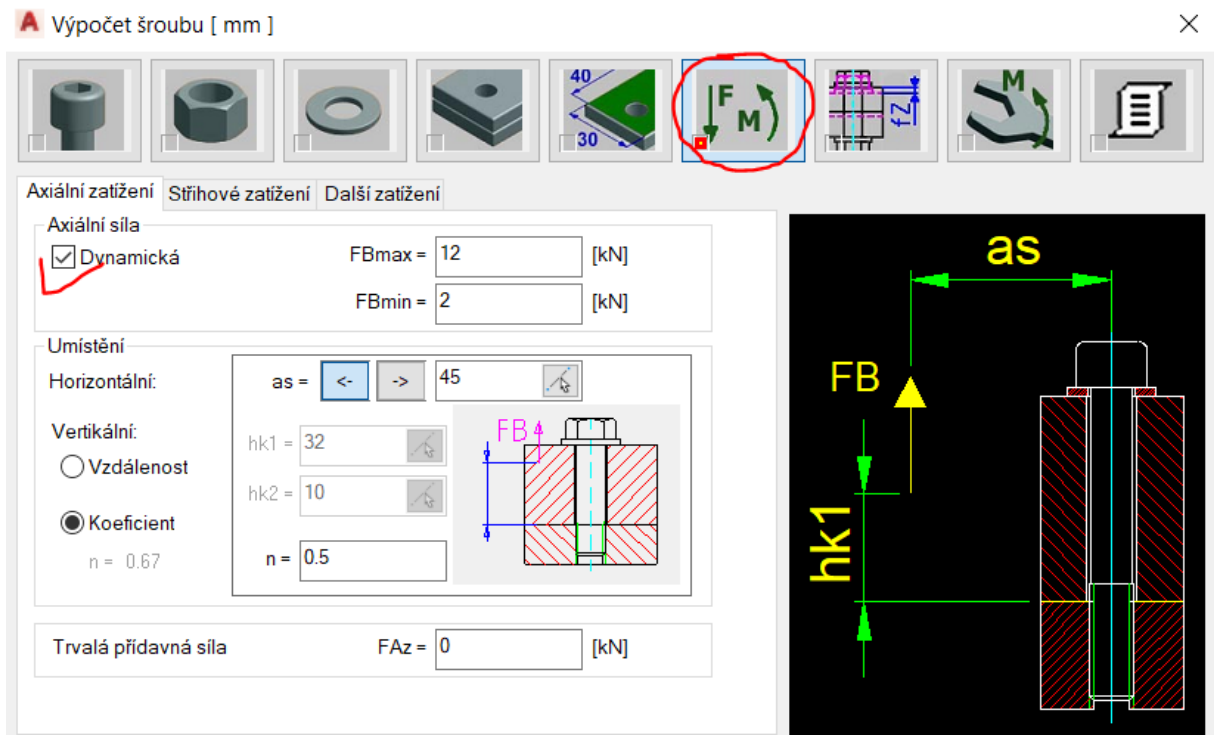
Spoj zašroubovaným šroubem (příloha 2)

A. Definice desek

Začátek výpočtu je víceméně stejný, pochopitelně nezadáme matici. Materiál je stejný jako v prvním příkladu, T_b je dovolené napětí ve smyku. Jako tloušťky jsou zadány tloušťka vrchní části (průchozí díra) a délka zašroubování. Můžeme zkusit na kartě Mezery a zkosení zadat nějaké hodnoty mezer g_l a g_r a porovnat výsledky. Změní se hodnota tlaku, zde nijak podstatně.

B. Definice zatížení (obr. 17)

V tomto příkladu je zadána dynamická síla 2 – 12 kN, poměr sevřených délek $n = 0,5$. Hodnota a_s závisí na funkci zařízení, jehož částí je spoj, zde je zvolena 45 mm. Stříhové zatížení zde není.



Obr. 17

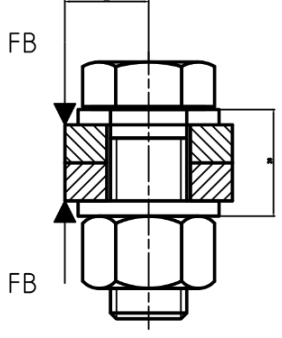
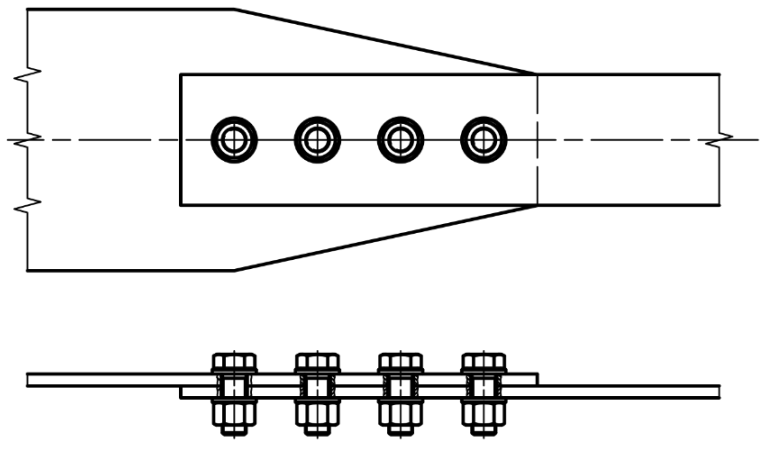
Zadání dalších hodnot se neliší, předpětí F_{VM} je 25 kN, faktor utahení (součinitel utahování) je 1,6.

Literatura a podklady:

- [1] KŘÍŽ, R. aj. *Strojírenská konstrukce I*. Praha : SNTL, 1986.
- [2] KŘÍŽ, R. aj. *Strojírenská konstrukce II*. Praha : SNTL, 1987.
- [3] *Katalog BOSSARD, AG*. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z [www: https://www.briol.cz/data/editor/file/BOSSARD%20Techinfo.pdf](https://www.briol.cz/data/editor/file/BOSSARD%20Techinfo.pdf).
- [4] GRUBER, J. *Zjednodušený návrh předepjatého šroubového spoje – metodika*. SPŠS a SOŠ prof. Švejcara, Plzeň, 2015.

J. Gruber, SPŠ strojnická a SOŠ prof. Švejcara, Plzeň, 2021.

Příloha 1

1	2	3	4																																																								
Výpočet šroubu : ISO 4017 - M20x55																																																											
A		Zatížení : Axiální síla FB = 0 kN Permanentní FAz = 0 kN Střížná síla FQ = 19 kN Krouťící moment T = 0 Nm Vnitřní tlak pi = 0 N/mm ²	A																																																								
B		Utažení: Typ Elastické Faktor kA = 1.6 Předpětí FVM = 165 kN Moment MA = 654.203 Nm	B																																																								
Bezpečnosti šroubů :		destiček :																																																									
Statický tah	SF = 1.17	Těsnost	SM = 1.82																																																								
Dynamický tah	SD = -	Stlačení	SP = 1.17																																																								
Střih	SA = 7.99																																																										
Tah & střih	SC = 1.34																																																										
Stržení závitu	Ssmeff = 1.51																																																										
C			C																																																								
D			D																																																								
E	Materiál součástí ocel 11 523, dovolený měrný tlak 200 MPa. Materiál šroubů 10.9 (10K) Třecí spoje odolné proti prokluzu v mezním stavu použitelnosti		E																																																								
F	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">MAT.</td> <td colspan="2">T.O.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">POLOT.</td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOLEROVÁNÍ ČSN ISO 8015</td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">PŘESNOST ČSN ISO 2768-1</td> <td>INDEX</td> <td>ZMĚNA</td> <td>DATUM</td> <td>PODPIS</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PROMĚT.</td> <td></td> <td>JMÉNO</td> <td>PODPIS</td> <td>DATUM</td> <td>HMOT. (kg)</td> <td>MĚR.</td> <td>1:5</td> </tr> <tr> <td>FORMÁT</td> <td>TECHNOL.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>SESTAVA</td> <td>KUSOV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>SCHVÁLIL</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		MAT.		T.O.						POLOT.								TOLEROVÁNÍ ČSN ISO 8015								PŘESNOST ČSN ISO 2768-1		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS			PROMĚT.		JMÉNO	PODPIS	DATUM	HMOT. (kg)	MĚR.	1:5	FORMÁT	TECHNOL.				SESTAVA	KUSOV.			SCHVÁLIL							F
MAT.		T.O.																																																									
POLOT.																																																											
TOLEROVÁNÍ ČSN ISO 8015																																																											
PŘESNOST ČSN ISO 2768-1		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS																																																						
PROMĚT.		JMÉNO	PODPIS	DATUM	HMOT. (kg)	MĚR.	1:5																																																				
FORMÁT	TECHNOL.				SESTAVA	KUSOV.																																																					
	SCHVÁLIL																																																										
SPŠ STROJNICKÁ A SOŠ PROF. ŠVEJCARA, PLZEŇ		NÁZEV VÝPOČET ŠROUBOVÉHO SPOJE ČÍSLO VÝKRESU																																																									
1	2	3	4																																																								

Příloha 2

