

Modernizace výuky v předmětu Základy konstruování a části strojů využitím modelů

Upgrade of Subject Machine Parts
Tutorial by FEM Models Using
Jan Brimus

Dipl./Bakal. práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta ...

Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří přispěli k dokončení mé bakalářské práce. Především děkuji své vedoucí paní Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D. za její odborné vedení a pomoc při vypracování této práce. Mé poděkování za rady a předání zkušeností při tvorbě pevnostní analýzy hřídele patří také panu Ing. Petru Halaškovi a panu Doc. Ing. Oldřichu Šubovi, CSc.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 02. 06. 2005

.....

jméno diplomanta

Abstrakt

Cílem této práce bylo vypracování literární studie na téma součásti k přenosu otáčivého pohybu, spoje a spojovací součásti nejčastěji používané v sestavách uložení hřídelí. Následně byl proveden návrh hřídele a pevnostního výpočtu hřídele a spojovacích prvků ze zadané sestavy. Poté bylo provedeno zpracování kompletní výkresové dokumentace, dále vytvoření trojrozměrného modelu v programu INVENTOR. Dále následovalo vypracování návodu tvorby hřídele v programu INVENTOR a postupu pro pevnostní analýzu hřídele využitím programu COSMOSDesign STAR. Na závěr jsem provedl vyhodnocení získaných výsledků analýz a provedl srovnání s klasickým způsobem výpočtu.

Purpose of this work has been to elaboration of study on the topic “Components for transmission of rotary motion, connections and connecting single parts most frequently used in assembly of shaft support”.

Consequently, the design of shaft and strength calculation has been done. The complete drawing documentation has been created. The tree-dimensional model was created in software INVENTOR. The instruction of shaft creation in INVENTOR followed and procedure for the strength analyses of shaft was created by FEM Models using COSMOSDesignStar. The analyses results evaluation was made in conclusion. The general comparison to the classical way of computation was done.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 SOUČÁSTI K PŘENOSU OTÁČIVÉHO MOMENTU	7
1.1.1 Hřídele	7
1.1.2 Osy.....	13
1.1.3 Čepy.....	14
1.2 SOUČÁSTI K PŘENOSU ZATÍŽENÍ OTÁČIVÉHO MOMENTU	16
1.2.1 Kluzná ložiska	16
1.2.2 Valivá ložiska	19
1.3 SPOJOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ.....	26
1.3.1 Rozdělení spojů	26
1.3.2 Rozebíratelné spoje	27
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
2.1 POČÍTAČOVÉ MODELOVÁNÍ.....	37
2.1.1 Dvojměrné modelování pomocí software AUTOCAD 2002	37
2.1.2 Trojměrné modelování pomocí software Autodesk Inventor 6	37
2.1.3 Analytické modelování v programu COSMOS/M - DesignSTAR	38
2.2 NÁVRH A PEVNOSTNÍ VÝPOČET HŘÍDELE.....	39
2.2.1 Zadání.....	39
2.2.2 Schéma zadané sestavy.....	39
2.2.3 Návrh a výpočet.....	40
2.3 POSTUP PRO KONSTRUKCI HŘÍDELE V AUTODESK INVENTOR 6	50
2.3.1 Tvorba základního prvku.....	50
2.3.2 Tvorba díry pro kolík	54
2.3.3 Tvorba drážky pro pero	56
2.3.4 Tvorba závitové díry pro šroub	58
2.3.5 Zkosení hran na čelech hřídele	62
2.3.6 Zkosení hrany závitové díry	62
2.3.7 Zaoblení hran u osazení na hřídeli.....	63
2.3.8 Rozdělení ploch	64
2.4 POSTUP PRO APLIKACI VÝPOČTU LINEÁRNÍ STATIKY NA MODEL HŘÍDELE V PROGRAMU COSMOS/M - DESIGNSTAR.....	70
2.4.1 Spuštění COSMOS/DesignStar a otevření součásti	70
2.4.2 Vytvoření pomocných os pod ložisky	70
2.4.3 Definice výpočtové studie	71
2.4.4 Definice materiálu	73
2.4.5 Zatížení a uchycení součásti	74
2.4.6 Vytvoření sítě	81
2.4.7 Spuštění výpočtu	82
2.4.8 Zobrazení výsledků napětí a jejich animace.....	82
2.4.9 Zobrazení deformací.....	87
2.4.10 Zjištění číselné hodnoty.....	89
3 ZÁVĚR.....	90
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	91
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	92
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	95
SEZNAM PŘÍLOH.....	97

ÚVOD

Každý stroj se skládá ze součástí, Hlavní, zpravidla největší součástí pracovních strojů je fréma (rám, lože, stojan), v níž jsou jednotlivé funkční součásti, zpravidla drobnější, uloženy tak, aby stroj:

- a) plnil požadovanou funkci
- b) byl rozebíratelný za účelem kontroly, oprav, výměny opotřeбенých součástí atd.

K tomuto cíli jsou jednotlivé součásti vzájemně spolu spojeny rozmanitými způsoby spojování (šroub je spojen s přírubou pevně, ložisko s hřídelí otočně, čep je v základové desce nalisován, stojina je s pásnicí svařena apod.).

Je-li možno uskutečnit žádané spojení několika různými způsoby, které vyhovují provozním a funkčním požadavkům, rozhodují při volbě spoje ekonomické důvody, tj. volí se spoj konstrukčně nejjednodušší, výrobně levnější a snadno demontovatelný (u rozebíratelných spojů). Rozhodující pro volbu spojení je i počet současně vyráběných součástí.

Převážná většina pohonů (motorů) má rotační pohyb. Aby se naplnil pracovní cyklus technologického zařízení je nutné přenést síly a kroutící momenty od motorů na nástroje a zachytit statické nebo dynamické zatížení čepů uložených v ložiscích. Tyto funkce vykonávají a umožňují hřídele, osy, čepy, spojovací čepy, ložiska a dále hřídelové spojky umožňující spojení a odpojení hnacího a hnaného hřídele.

Otázky související s touto problematikou budou naplní mé práce. Ve studijní a teoretické části práce se budu zabývat hlavně součástmi, ze kterých se skládá nebo které byly použity na zadané výkresové dokumentaci RUČNÍHO POHONU HŘÍDELE.

1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Součásti k přenosu otáčivého momentu

Převážná většina pohonů (motorů) má rotační pohyb. Aby se naplnil pracovní cyklus technologického zařízení je nutné přenést síly a kroutící momenty od motorů na nástroj a zachytit statické nebo dynamické zatížení čepů uložených v ložiscích. Tyto funkce vykonávají a umožňují hřídele, osy, čepy, spojovací čepy, ložiska jak kluzná tak valivá a dále hřídelové spojky umožňující spojení a odpojení hnacího a hnaného hřídele.

1.1.1 Hřídele

Hřídele jsou strojní součásti, které přenášejí krouticí (točivé) momenty a zachycují příčné síly, které přenášejí na ložiska. Jsou namáhány na krut a ohyb nebo na krut a tah. K příčným silám patří tíha hřídele, tíha rotujících součástí, např. ozubených kol a kotoučů, a dále síly v ozubení, v řemenových převodech apod. Ve zvláštních případech mohou přenášet i osové síly, např. vertikální hřídele vodních turbín. Délka hřídelí je zpravidla mnohonásobně větší než jejich průměr. Hřídele lze podle různých hledisek rozdělit takto:

- přímé (rovné) nebo zalomené (klikové), plné nebo duté,
- hladké nebo osazené,
- tuhé nebo ohebné,
- staticky určité nebo neurčité uložené,
- jednodílné nebo dělené (skládané), hnací, předloňové a hnané. (1)

Tvar hřídele

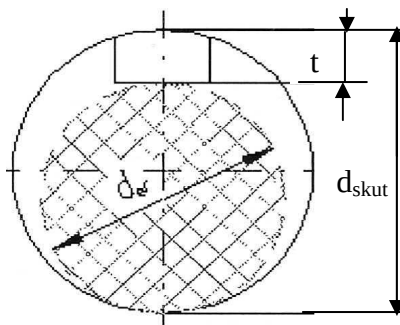
Poznatky pro návrh a kontrolu

Průměr hřídele d se předběžně navrhuje obvykle jen z dovoleného namáhání na krut, přičemž se předpokládá, že průměr d je nezeslabený.

$$d \geq 120 \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad [\text{mm}], \quad (1)$$

kde P [kW] je přenášený výkon,

n [min^{-1}] otáčky hřídele.



Obr. 1. Zeslabený průměr hřídele

Výpočet nezeslabeného průměru d_{ef} (obr. 1.)

$$d_{ef} = d(skut) - t \quad [mm]; \quad (2)$$

Podle koncepce stroje se předběžně navrhne tvar hřídele s příslušnými osazeními (axiální uchycení, uchycení věnců a kotoučů). Potom následuje předběžný pevnostní výpočet hřídele. K tomu je nutno znát velikosti působících sil, momentů a jejich působišť.

Axiální síly, působící v ose hřídele způsobují pouze tahová, popř. tlaková namáhání; axiální síly rovnoběžné s osou ještě namáhání ohybové, které se sčítá s ohybovým namáháním od příčných sil působících kolmo k ose hřídele.

Příčné síly, protínající osu hřídele, namáhají hřídel na ohyb a na smyk. Příčné síly, kolmé k ose hřídele, avšak neprotínající jeho osu, namáhají hřídel na ohyb, krut a smyk. Obecně působící síly je třeba rozložit do složek ve směru tří os, přičemž složky ve směru osy namáhají hřídel na tah, popř. tlak a ohyb a složky ve směrech kolmých k ose namáhají hřídel na ohyb, krut a smyk.

Ohybové namáhání v krajních vláknech kruhového průřezu je střídavé symetrické, což je pro životnost hřídele velmi nepříznivé. Maximální smykové napětí je uprostřed průřezu, kde je ohybové napětí nulové. V důsledku toho se u hřídelí namáhání na smyk zanedbává. Navržené průměry hřídele je proto třeba ve skutečném konstrukčním řešení upřesnit

a kontrolovat podle následujících vztahů.

Namáhání hřídele na ohyb:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o \max}}{\pi \cdot \sigma_{D0}}} \quad [mm]; \quad (2)$$

přičemž se volí $\sigma_{D0} = 60$ až 80 MPa.

Namáhání hřídele na krut:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_K}{\pi \cdot \tau_D}} \quad [\text{mm}]; \quad (3)$$

přičemž se volí $\tau_D = 20$ až 25 MPa.

Kombinované namáhání hřídele na ohyb a krut:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{red}}{\pi \cdot \sigma_{Do}}} \quad [\text{mm}]; \quad (4)$$

kde M_{red} [N.mm] je redukovaný ohybový moment. (3)

Při návrhu se zvolí největší průměr. Obvykle postačí výpočet při namáhání na krut. Předběžně určený průměr je podkladem pro vypracování předběžného návrhu hřídele. Tento průměr se uvažuje v místě maximálního M_{red} a odtud se provádí odstupňování hřídele.

Každý hřídel, který přenáší výkon od hnacího stroje k hnanému musí splňovat určité provozní požadavky:

- plnit spolehlivě svoji funkci při přenosu zatížení a zachycovat radiální i axiální síly v ložiskách; k tomuto účelu musí být vytvořeny na hřídeli osazení, popř. kroužky
- přenášet požadované druhy zatížení, aniž by byla překročena přípustná dovolená namáhání
- odpovídat technologičnosti konstrukce
- být vyroben z vhodného materiálu
- být schopen transportu
- být odolný proti korozi, opotřebení aj.

U osazení je třeba pamatovat na to, že v ložiskách a tam, kde jsou nasazeny kotouče, náboje ozubených kol apod., musí průměry hřídelů odpovídat normalizovaným rozměrům podle ČSN 010202, volné konce hřídelů podle ČSN 01 4990. Současně je třeba pamatovat na potřebnou jakost stykových ploch.

Aby se zabezpečil plynulý silový tok, dělají se tzv. odlehčovací vruby. Těmito úpravami se odstraní koncentrace smykových čar a zmírňují se vrubové účinky. (1)

Výpočet hřídelí a os

Spočívá ve stanovení kritického průřezu v místě působení maximálního ohybového a kroutícího momentu. Zatížení od ohybového a kroutícího momentu určíme ze závislosti:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad \text{kde } W_o = \frac{d^3}{10} \quad (5)$$

Působí-li na poloměru kotouče R (mm) naklínovaného na hřídeli síla F (N) při obvodové rychlosti v (m/s) je výkon:

$$P_{kw} = \frac{F \cdot v}{1000} = \frac{F \cdot 2\pi \cdot R \cdot n}{1000 \cdot 1000} = \frac{M_k \cdot n}{159200} \quad (6)$$

kde n -otáčky za sekundu

Z této rovnice vypočítáme kroutící moment:

$$M_k = 159,2 \cdot \frac{P}{n} \leq W_k \cdot \tau_{Dk} \quad [\text{N.m}]; \quad (7)$$

Pro plný hřídel namáhaný krutem je:

$$M_k = 159200 \cdot \frac{P}{n} \leq \frac{d^3}{5} \cdot \tau_{Dk} \quad [\text{N.m}]; \quad (8)$$

Průměr hřídele:

$$d = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 159200 \cdot P}{n \cdot \tau_{Dk}}} \quad [\text{mm}]; \quad (9)$$

Průměr je závislý přímo na výkonu a nepřímo na otáčkách. Zvětšíme-li při tom též výkonu otáčky, může být hřídel slabší nebo zvětšení výkonu i otáček na dvojnásobek nevyžaduje zvětšení průměru hřídele.

Výpočet hřídele na krut a ohyb se provádí v případě, je-li hřídel kromě namáhání na krut namáhán větší silou na ohyb (při větších hmotnostech kotoučů, umístěných na hřídeli). Ohybový moment M_o způsobí největší normální napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \frac{M_o}{\frac{\pi d^3}{32}} \quad (10)$$

Kroutící moment vyvolá největší smykové napětí:

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \leq \frac{M_k}{\frac{\pi d^3}{16}} \quad (11)$$

Redukované (složené) napětí podle teorie největšího smykového napětí pak je:

$$\begin{aligned} \tau_{red} &= \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_o^2 + 4\tau^2} \leq \tau_{Dk} \\ \tau_{red} &= \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{M_o}{\frac{\pi d^3}{32}} \right)^2 + 4 \left(\frac{M_k}{\frac{\pi d^3}{16}} \right)^2} \leq \tau_{Dk} \end{aligned} \quad (12)$$

Redukovaný moment:

$$M_{red} = \frac{\pi d^3}{32} \cdot \tau_{red} = \sqrt{M_o^2 + M_k^2} \leq \frac{1}{10} d^3 \cdot \tau_{Dk} \quad (13)$$

Přesnější výpočet se řídí teorií největší měrné deformační energie:

$$\begin{aligned} \sigma_{red} &= \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{Do} \\ \sigma_{red} &= \sqrt{\left(\frac{M_o}{\frac{\pi d^3}{32}} \right)^2 + 3 \left(\frac{M_k}{\frac{\pi d^3}{16}} \right)^2} \leq \sigma_{Do} \end{aligned} \quad (14)$$

$$M_{ored} = \sqrt{M_o^2 + \frac{3}{4} M_k^2} \leq \frac{1}{10} d^3 \cdot \sigma_{Do} \quad (15)$$

Nebo teorií největší deformace:

$$M_{ored} = 0,35 \cdot M_o + 0,65 \sqrt{M_o^2 + M_k^2} \leq \frac{1}{10} d^3 \cdot \sigma_{D0} \quad (16)$$

Závislost Mored na Mo a Mk bývá znázorněna graficky.

Neleží-li působící síly na hřídeli v jedné rovině, rozloží se do vodorovných a svislých složek, určí se vodorovné a svislé složky reakcí, momenty ohybu vodorovných a svislých sil, Mox, Moy a výsledný ohybový moment je:

$$M_o = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oy}^2} \quad (17)$$

Jsou-li hřídele namáhány cyklickým zatížením tak podle rozhodujícího druhu cyklického zatížení počítáme hřídele buď na ohyb nebo krut. Výpočet hřídele zatíženého cyklickým ohybem vychází z výpočtu statického ohybu s přihlédnutím k vrubovému součiniteli v ohybu, součiniteli velikosti hřídele namáhaného střídavým ohybem a k povrchovému součiniteli. Hodnoty těchto součinitelů možno pro daný případ převzít z tabulek. (3)

Výroba a montáž

Rotační tvary jsou relativně příznivé pro výrobu a montáž, obvykle jsou však zásadně ovlivněny požadavky na jednotlivé spoje a uložení, montáž pak i konstrukčním řešením okolí (např. rám s dělicí rovinou nebo bez, apod.)

Materiály hřídelí

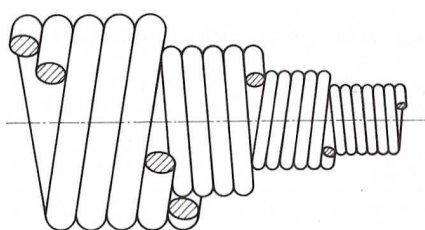
- oceli tř.: 11 400 - 11 600
- oceli tř.: 12 000
- oceli tř.: 14 100 - 14300
- oceli tř.: 15200 - 15 300
- oceli tř.: 16 100 - 16200

Ohebné hřídele

Ohebné hřídele se používají pro spojení dvou hřídelí o proměnlivých polohách v prostoru nebo kdy nelze použít tuhých hřídelí. Uspoří se tím komplikovaná úprava převodu ozubenými nebo řetězovými koly, popř. kloubovými zařízeními. Ohebné hřídele

mají široké použití u mechanických přístrojů, tachometrů, tachografů, vrtacích, frézovacích i brousicích hlav obráběcích strojů apod. Používají se pro nižší výkony (asi 4 kW), malé krouticí momenty (od 1 do 10 N . m) a vysoké otáčky až 10000 min⁻¹ při průměru 6 až 8 mm. Čím větší je průměr tím větší je přenášený krouticí moment.

Ohebný hřídel se skládá z tzv. duše (obr. 2a), tj. 4 až 8 vrstev tenkého drátu o průměru 0,3 až 3 mm, které jsou na sebe střídavě navíjeny (pravotočivě a levotočivě). Na povrchu je ochranná vrstva (obr. 2b) ze snadno ohebného plechu; někdy se vnitřek ochranné vrstvy obkládá těsnivem (ochrana před znečištěním, bezpečnost obsluhy apod.). (3)



Obr. 2a. Duše ohebného hřídele (2)

Obr. 2b. Ochranná vrstva hřídele (2)

1.1.2 Osy

Osy mají tvar plných nebo dutých válců a jsou buď pevné (nehybné), nebo otočné. Většinou jsou namáhány na ohyb. Pevné osy jsou uloženy v tělese podvozku a na nich mohou být otočně uloženy další součásti jako jsou vodící kladky, pojízďecí kola, a jiné. Tyto osy nemění svou polohu vůči své neutrální rovině a jsou tedy namáhány pouze staticky. Na otočných osách jsou kladky nebo pojízďecí kola uchycena pevně, takže se s nimi otáčejí. Vláčna otáčivé osy mění svou polohu vůči neutrální rovině a jsou tudíž namáhána střídavě symetricky (ohybem za rotace).

Nejčastější materiály os jsou oceli 11 500 a 11 600; ($\sigma_{Do} = 80$ až 120 MPa). Nižší hodnoty se používají u otočných, vyšší u pevných os.

Průměr plné osy v místě maximálního ohybového momentu:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o \max}}{\pi \cdot \sigma_{Do}}} \quad [\text{mm}]; \quad (18)$$

Obdobně vnější průměr duté osy:

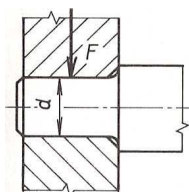
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o \max}}{\pi \cdot \sigma_{Do} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}} \quad [\text{mm}]; \quad (19)$$

kde d (mm) - vnitřní průměr osy a D (mm) je vnější průměr osy. Pevnostní výpočet os je stejný jako u hřídelů, který je uveden v kapitole 1.1.1

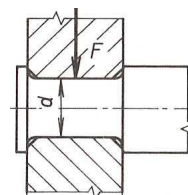
1.1.3 Čepy

Na čepích jsou uloženy konce hřídelů a náprav (os) v ložiskách. Podle směru působení síly rozeznáváme čepy *radiální* (obrázky 3a, 3b, 3c, 3d), kdy síla působí kolmo k jejich ose, a čepy *axiální* (obrázky 4a, 4b, 4c, 4d) při působení síly ve směru osy čepu.

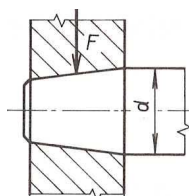
Radiální čepy mohou být bud čelní válcové (obr. 3a), nebo krční válcové (obr. 3b), popř. kuželové (obr. 3c) nebo kulové (obr. 3d).



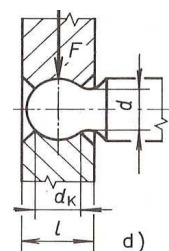
Obr. 3a. Čelní válcový čep (1)



Obr. 3b. Krční čep (1)



Obr. 3c. Kuželový čep (1)



Obr. 3d. Kulový čep (1)

Radiální čepy se dimenzují na ohyb a kontrolují na tlak. Průměr čepu se určí ze vztahu:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot l}{\pi \cdot \sigma_{Do}}} \quad [\text{mm}]; \quad (20)$$

kde d (mm) je průměr čepu,

l (mm) - délka čepu,

F (N) - zatížení čepu,

σ_{D0} (MPa) - dovolené namáhání v ohybu,

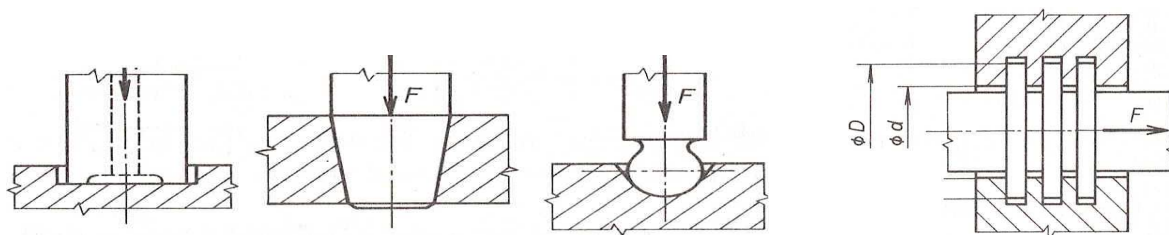
p_D (Mpa) - dovolený tlak; $p_D = F/l \cdot d$.

Pevnostní výpočet radiálních čepů vychází z předpokladu, že vnější síla se přenáší rovnoměrně rozložená po celé délce čepu. Měrný tlak působící na čep potom bude:

$$p = \frac{F}{l \cdot d} \quad [\text{MPa}]; \quad (21)$$

Hodnota skutečného tlaku nesmí převýšit dovolený tlak, který se volí podle druhu materiálu v rozmezí $p_D = 3 - 15$ MPa. Z empirických závislostí se volí též délka čepu $l/d = 0,5$ až $1,5$. (3)

Axiální čepy se obvykle používají jako patní čelní (obr. 4a), méně jako kuželové (obr. 4b), kulové (obr. 4c) nebo hřebenové (obr. 4d).



Obr. 4a. Patní čep Obr. 4b. Kuželový čep Obr. 4c. Kulový čep Obr. 4d. Hřebenový čep

U axiálních čepů provádíme kontrolu na otlacení tak, že vztahujeme působící sílu na zatěžovaný průřez (kruhový, mezikruhový, kuželový atd.). Dovolené hodnoty tlaků se volí stejně jako u radiálních čepů; při velmi malých rychlostech lze p_D podstatně zvětšit za předpokladu zachování stejné životnosti čepu. U čepů, na něž jsou kladeny značné požadavky na odolnost proti opotřebení se provede konstrukční řešení umožňující vyměnitelnost opotřebeného čepu.

Čepy jsou z téhož materiálu jako osy a hřídele, a to převážně z ocelí 11423, 11 500 až 11 600, 12030 až 12060, 14150 až 14340, 15260, 15340, 16120 až 16240, méně často z ocelí na odlitky nebo ze speciální litiny. (1)

1.2 Součásti k přenosu zatížení otáčivého momentu

Zajištění přesného otáčivého pohybu hřídelových čepů a přenos zatížení z hřídelí na jiné části technologických zařízení je nejdůležitější funkcí uložení. Uložení se uskutečňuje pomocí ložisek. Ložiska se dělí na valivá (otáčivý pohyb je umožněn prostřednictvím valivých tělísek) a kluzná (stýkající se součásti po sobě kloužou nebo jsou odděleny vrstvou maziva). Pro vysokootáčková uložení při menším zatížení, zejména v přístrojové technice, může funkci maziva převzít permanentní magnet nebo elektromagnet (magnetická ložiska) nebo stlačený vzduch (pneumatická ložiska). (3)

Vzhledem k mému zadání, kdy jsem použil radiální ložiska valivá, a rozsáhlosti teorie i výpočtů u ložisek kluzných, se zmíním o těchto ložiscích jen několika základními informacemi.

1.2.1 Kluzná ložiska

Kluzné ložisko je montážní jednotka vymezující vzájemnou polohu stýkajících se částí, obepínající čep hřídele přímo nebo prostřednictvím pouzdra či pánve, která udržuje hřídel v určité poloze, nebrání mu však v otáčení. V technické praxi se často pod pojmem ložisko zahrnuje celé kluzné uložení včetně hřídelového čepu. U kluzného ložiska jsou třecí plochy od sebe odděleny vrstvou maziva. Podle tloušťky mazacího filmu pak ložisko může pracovat v oblasti tekutinového tření, mezního tření a suchého tření.

Kluzná uložení se člení z několika hledisek, z nichž nejdůležitější je hledisko funkční.

Podle tohoto hlediska kluzná ložiska dělíme na:

- hydrodynamická (resp. aerodynamická)
- hydrostatická (aerostatická)
- s omezeným mazáním
- samomazná pórovitá (sycená mazivem)
- samomazná s tuhými mazivy.

Ložiska hydrodynamická pracují s dostatečným přívodem oleje do mazací mezery mezi kluzné plochy. Jejich relativním pohybem se vytváří nosný film. Pro své výhodné vlastnosti jsou ve strojírenství často používána. (3)

V ložiskách hydrostaticky (resp. aerostaticky) mazaných se vytváří tlakový nosný mazací film přívodem maziva z čerpadla. Odpadá problém opotřebení kluzných ploch při rozběhu a doběhu.

Ložiska s omezeným mazáním pracují v široké oblasti smíšeného tření s malým množstvím oleje nebo plastického maziva. Využívají dobrých vlastností kluzných materiálových dvojic, odolných proti opotřebení a zadírání, s malým součinitelem tření. Podle provozních podmínek vyžadují v určitých intervalech domazávání. V současné době se rozšiřuje užití ložisek s výstelkami z plastů. (3)

Samomazná pórovitá ložiska, vyráběná práškovou metalurgií, obsahují ve své pórovité kostře olej nebo jiné vhodné mazivo, které za chodu ložiska vystupuje na kluzné plochy a maže je. Tato ložiska mají široké použití při malých zatíženích a rychlostech zvláště v přístrojové technice, v menších strojích a zařízeních. Jejich výhodou je nízká cena a dlouhodobý provoz bez obsluhy.

Samomazná ložiska s tuhými mazivy obsahují obvykle mazivo přímo ve své struktuře. Využívají se v uloženích, kde z různých důvodů nelze použít mazání olejem ani plastickým mazivem.

Kromě těchto základních druhů se užívají ložiska s kombinací mazacích režimů, tzv. ložisko hybridní. Výhodnou kombinací je mazání hydrodynamické a hydrostatické, kdy hydrostatické pracuje jen v režimu rozběhu a doběhu a zabraňuje opotřebení zvláště u ložisek těžkých strojů. Existují i speciální druhy ložisek, jako magnetická, elektrostatická apod. (2)

Dalším hlediskem je členění podle směru přenášené síly na ložiska radiální, axiální, radiálně-axiální a vodící plochy. Podle tvaru se největší počet ložisek vyrábí jako pouzdra, pánve, axiální kroužky, různé segmenty, polokulové pánve i rovinné plochy.

Podle výrobní technologie jsou ložiska:

- odlévaná, zahrnující pouzdra, pánve a axiální ložiska, vyrábějí se odlévaná monometalická pouzdra (příp. z trubek nebo tyčí), pouzdra s výstelkou vylévanou na ocelovém základě ap.

- tvářená, z bimetalických pásů s kluznou vrstvou a to skružováním na pouzdra a pánve, lisováním polokulových pánví atd.; jde o progresivní výrobní technologii, která se rychle rozvíjí
- spékáná, vyráběná lisováním a spékáním kovových i nekovových práškových materiálů; snadno se docílí jejich nejrůznějších tvarů.

Kluzná ložiska se výpočtem dimenzují tak, aby za daných provozních podmínek pracovala co nejdelší podíl času v optimálním režimu tření a opotřebení a požadovanou dobu běžela s danou spolehlivostí, příp. bez jakékoli poruchy. Optimální provozní režim se nejčastěji zajišťuje kapalinným hydrodynamickým mazáním. Výpočet ložiska je spojen s velkým počtem matematických operací, je nutné použít samočinného počítače. (3)

Konkrétní případy podmínek uložení, konstrukční provedení a též způsob výpočtu jsou uvedeny v technických podkladech výrobců těchto ložisek. Při konstrukci je třeba rozhodnout o použitém typu ložiska. Valivá ložiska jsou v porovnání s kluznými ložisky výhodnější, neboť součinitel tření je zhruba asi 10 krát menší, ložiska jsou odolnější proti rázům a přetížení, umožňují snadnější vymezení vůle, mají tišší a klidnější chod, hlavně při větším počtu otáček, a jsou méně citlivá na prach a nečistoty. Z těchto důvodů se valivá ložiska používají všeobecně na přesné uložení hřídelí nejmenších i velikých průměrů. Kluzná ložiska mají menší rozměry a hmotnost, lepší tlumící účinky, delší trvanlivost, cenově jsou dostupnější, spolehlivě pracují však při nižších obvodových rychlostech.

Ložiska jsou vyrobena z materiálů měkčích s nízkým koeficientem tření a schopností vytvořit opracováním včetně broušení, leštění, případně lapování velmi přesné geometrické tvary, odpovídající negativnímu tvaru čepu.

Klasické materiály na kluzná ložiska jsou bronz (též olověné a hliníkové). Do obvodové rychlosti 5 ms^{-1} se používá šedá litina. Dále se používají kompozice (cínové, olověné atd.), slinuté kovy (práškové kovy s grafitem), metaloplasty (vícevrstvé) a různé nekovy, hlavně plasty. (3)

1.2.2 Valivá ložiska

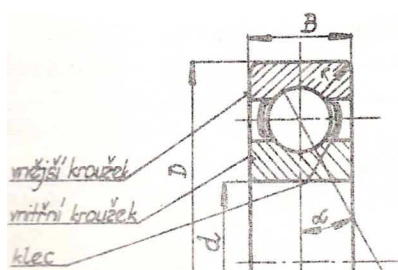
Valivá ložiska jsou montážní jednotky umožňující přesné rotační uložení hřídelových čepů. Kromě některých zvláštních ložisek se každé valivé ložisko skládá z vnějšího (skříňového) a vnitřního (hřídelového) kroužku; valivých tělísek a klece. Ložiskové kroužky jsou velmi přesně opracované výrobky; zvláště přesně vyrobená je oběžná dráha ložiska, která je tvarově přizpůsobena valivým tělískům.

Jako valivých tělísek se používá kuliček, válečků, jehel, soudečků, kuželíků. Podle valivých tělísek jsou rozdělována také ložiska na kuličková, válečková atd. Rovnoměrné rozdělení valivých tělísek v ložisku a jejich oddělení od sebe zajišťuje klec ložiska. Klece jsou vyráběny z měkkého materiálu (ocel, mosaz, dural, plasty).

Podle tvaru valivých tělísek a jejich styku s oběžnou drahou ložiska se rozlišují ložiska s bodovým stykem (např. kuličková) a s křivkovým (přímkovým) stykem (např. soudečková). Podle směru přenášené síly vzhledem k ose hřídele (i ložiska) se valivá ložiska rozdělují na radiální, axiální a s kosouhlým stykem. Význam tohoto dělení se projeví při výpočtu trvanlivostí. (3)

Radiální ložiska:

Nejrozšířenější jsou jednořadá radiální kuličková ložiska, poněvadž snášejí poměrně vysoké otáčky, mají dobrou únosnost jak v radiálním, tak v axiálním směru, protože oběžné drážky kroužků jsou hluboké a mají dobré přimknutí ke kuličkám (kulička se dotýká oběžné dráhy ve vnějším a vnitřním kroužku větší částí každé poloviny svého obvodu, viz. obr. 5). Úhel, který svírá společná normála stykových ploch kuličky s oběžnými drahami a plochou ložiska označený α se nazývá "stykový úhel" a jeho velikost určuje zatížitelnost radiálního ložiska axiálními silami. (3)



Obr. 5. Jednořadá kuličková ložisko (1)

Další typy radiálních ložisek

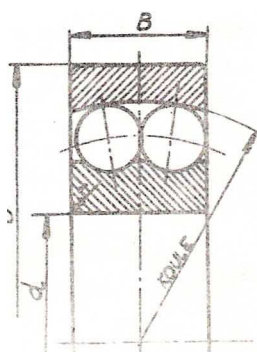
Jednořadá radiální ložiska s krátkými cylindrickými válečky jsou stejně vhodná pro rychloběžná uložení. Při stejných rozměrech mají zhruba o 70% větší radiální únosnost než ložiska kuličková a dobře snášejí i nárazová zatížení.

Kuželíková ložiska se užívají v uloženích, kde současně působí větší radiální i axiální síly. Snášejí dobře i nárazová zatížení.

Jehlová ložiska mají proti ostatním výhodu malých vnějších průměrů. Jsou vhodná pro velká i rázová radiální zatížení, menší rychlosti a pro kývavé pohyby.

Naklápěcí soudečková ložiska vyhoví pro nejvyšší zatížení a pro nesouososti v uložení. Vzhledem k náročné výrobní technologii se tyto přednosti promítají ve vyšší ceně.

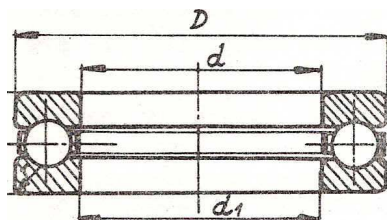
Dále to jsou např.: kuličkové dvouřadá, s kosohlým stykem, jehlová dvouřadá, válečková naklápěcí, dvouřadá kuličková naklápěcí (viz. obr. 6) a spousta dalších.



Obr. 6. Dvouřadá kuličkové ložisko naklápěcí (1)

Axiální ložiska:

Přenášejí jen zatížení osová, která by nemohla přenést ložiska radiální. Přenášejí-li osově síly jen v jednom směru, nazýváme je jednosměrná, nebo v obou směrech obousměrná. Jsou buď kuličková, válečková (se šikmými válečky) nebo soudkovitá.

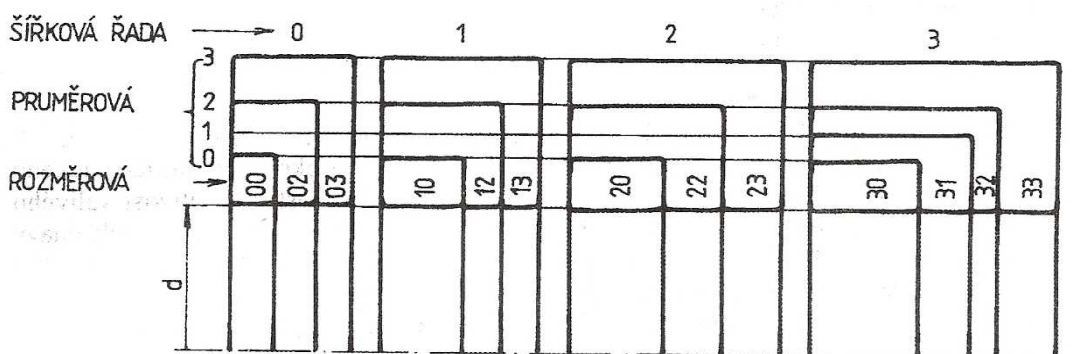


Obr. 7. Jednořadé axiální kuličkové ložisko (1)

Obecné informace ložiscích

Nejdůležitější informace o ložiscích jsou celosvětově normalizovány. Mezinárodní normalizace valivých ložisek se týká především jejich vnějších rozměrů. Průměry děr všech druhů ložisek jsou odstupňovány v jednotné řadě. Ke každému průměru díry přísluší několik průměrů vnějšího kroužku, ke kterým jsou opět přiřazeny normalizované šířky. Ložiska téže řady průměrové a šířkové patří do jedné řady rozměrové, označované dvoumístným číslem. Předpisy je také stanoveno zaoblení hran ložiskových kroužků, které je důležité pro konstrukci dosedacích ploch na hřídeli a v ložiskovém tělese.

Pro každý normalizovaný průměr díry ložiska d lze tedy v katalogu výrobce ložisek nebo v normě najít několik typů ložisek téhož druhu, které se vzájemně liší šířkou B a vnějším průměrem D (obr. 8). Pro každé d bývá obvykle trojí velikost D a B , tj. ložiska se vyrábějí ve třech řadách: lehké, střední a těžké. Ložiska větší šířky a většího průměru jsou únosnější. (3)



Obr. 8. Rozměrové řady ložisek (3)

Normalizovaná ložiska mají zkrácené číselné označování, doplněné podle potřeby písmeny. Značky jsou vyraženy na ložiskách a uvedeny na obalech. Označení obsahuje typ ložiska, rozměrovou řadu a velikost díry. Průměr díry je určen posledním dvojčíslím znaku. Dvojčíslí 00 značí $d = 10$ mm, 01 ... $d = 12$ mm, 02 ... $d = 15$ mm, 03 ... $d = 17$ mm. Dvojčíslí 04 a výše, vynásobeno pěti, určuje průměr díry v mm; tato zásada platí od díry $d = 20$ mm do $d = 495$ mm. U průměru 500 mm a větších a u průměrů menších než 10 mm se místo dvojčíslí připojí číslo, vyjadřující průměr díry v mm. (3)

Typ ložiska je zakódován písmeny nebo číslicemi, umístěnými před dvojčíslím vyjadřujícím průměr díry. Např. typ 62; typ NJ 22, typ 323 atd. Poslední číslo (při vynechání předcházející nuly) nebo dvojčíslí v typovém označení znamená rozměrovou řadu.

Přesnost výroby se projeví na přesnosti rozměrů a chodu ložiska. Z ekonomických důvodů se užívá ložisek jen přiměřené přesnosti, nutné pro dané uložení, protože velmi přesná ložiska jsou také velmi drahá. Běžná, normální přesnost se na ložisku neoznačuje. Vyšší přesnosti se značí postupně P6, P5, P4, P2 se značkou ložiska.

Další označení C1 až C5 znamená různý stupeň velikosti radiální vůle, C1 nejmenší, C5 největší, normální vůle se neoznačuje a je mezi C2 a C3.

Různá zvláštní provedení jsou vyjádřena dalšími značkami: K - kuželová díra ložiska, Z - krycí plech na jedné straně ložiska, M - masivní mosazná nebo bronzová klec, L - masivní klec z lehkého kovu atd. Úplné přehledy zvláštních provedení ložisek a jejich označování jsou uvedeny v katalogích výrobců. (3)

Výpočet valivých ložisek:

Výpočet valivých ložisek, tj. teoretický výpočet hlavních rozměrů je složitý; praktický výpočet, vycházející z této teorie, předpokládá znalost těchto údajů:

- velikost a směr skutečného vnějšího zatížení,
- pravděpodobnou trvanlivost a únosnost ložiska,
- počet otáček za sekundu.

Radiální zatížení (např. u ozubených kol nebo řemenových převodů je to kolmý tlak v zubech nebo tah řemenu) vypočítáme z přenášeného kroutící momentu v Nm.

$$M = 159,2 \frac{P_{kW}}{n} = F_1 \cdot R \quad (22)$$

kde R - poloměr roztečné kružnice ozubených kol nebo poloměr řemenice v m,

P - přenášený výkon v kW,

n - počet otáček za sekundu,

F - přenášená síla v N.

Schopnost plnit požadované funkce do dosažení některého z mezních stavů při daných provozních podmínkách označujeme životností ložiska. Do širokého pojmu technického života ložiska se zahrnuje technický název trvanlivost a únosnost. Trvanlivost valivého ložiska je počet otáček nebo pracovních hodin do doby, než se projeví počátek únavy materiálu v podobě drobných trhlinek nebo odloupávání povrchu oběžných drah kroužků ložisek nebo valivých těles. Únosnost ložiska je dovolené zatížení, při němž ložisko dosáhne žádané trvanlivosti. (3)

Základní trvanlivost ložiska vyjadřuje vztah:

$$L_n = \left(\frac{C}{F_v} \right)^m \quad [\text{milionů otáček}]; \quad (23)$$

kde m bývá pro bodový styk $m = 3$; pro přímkový styk $m = 10/3$

C - základní dynamická únosnost v N,

F_v - dynamické ekvivalentní zatížení ložiska v N.

V praxi se často požadovaná trvanlivost udává v provozních hodinách:

$$L_h = \frac{L_n \cdot 10^6}{3600 \cdot n} \quad [\text{hodinách}]; \quad (24)$$

kde L_n - základní trvanlivost v hodinách,

n - otáčky za sekundu.

Dynamické ekvivalentní zatížení radiálního kuličkového ložiska namáhaného stálým radiálním i axiálním zatížením je dáno vztahem:

$$F_v = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad [\text{N}]; \quad (25)$$

kde X - součinitel radiálního zatížení,

V - rotační součinitel,

F_r - radiální zatížení v N,

Y - součinitel axiálního zatížení,

F_a - axiální zatížení v N.

Hodnoty součinitelů V , X , Y možno určit z katalogů ložisek. Trvanlivost L_n pro různé typy strojů udávají podrobněji také tyto katalogy. (3)

Při stanovení poměrné únosnosti se vychází z hodnoty pro základní dynamickou únosnost 500 provozních hodin již přísluší zvolené trvanlivosti $L_n = 1$ milionu otáček 0,555 otáček za sekundu. Poměrná únosnost, tj. únosnost při jiném počtu otáček je dána rovnicí:

$$C_n = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} \cdot F_v = f_L \cdot F_v \quad (26)$$

kde C_n - poměrná únosnost ložiska při daném počtu n otáčkách za sekundu,

F_v - dynamické ekvivalentní zatížení ložiska v N,

f_L - součinitel trvanlivosti odpovídající požadované trvanlivosti L_h v provozních

hodinách, stanoví se z normogramu výrobců.

Velmi důležité pro správnou funkci ložiska je tolerování. Uložení ložisek je základem jejich spolehlivé provozní funkce a spočívá ve správné volbě tolerovaného uložení vnitřního kroužku na hřídeli a vnějšího kroužku v díře. Dále musí celá konstrukce uložení dovolovat dilataci hřídele a proto je zpravidla vnější kroužek jednoho ložiska uložen s možností axiálního pohybu, druhý vnější kroužek je zajištěn proti axiálnímu posunutí. Jinak následkem výkyvů teploty měnící délka hřídele způsobí značné osové tlaky, které by mohly přivodit předčasné zničení ložiska. (3)

Výhody a nevýhody valivých ložisek

K přednostem valivých ložisek patří: malý třecí moment, lepší mechanická účinnost; tření při rozběhu je téměř stejné jako za chodu, malý statický moment nezvyšuje rozběhový moment stroje; možnost plného zatížení v klidu, při rozběhu i doběhu; nepotřebují zaběhávání (s výjimkou velmi zatížených ložisek při vysokých otáčkách); snášejí poměrně dobře vysoké otáčky, rovněž tak i vysoké teploty; malá spotřeba maziva, menší závislost na mazání, možnost mazání tukem; snadná montáž a údržba v provozu, snadná vyměnitelnost; menší osové délky než kluzná ložiska; přenášejí síly v libovolném směru; běžné typy vyráběné ve velkých sériích, jsou poměrně levné.

K nedostatkům valivých ložisek patří: větší vnější průměry než kluzná ložiska při stejných parametrech, mají obvykle větší hmotnost; nesnášejí dlouhodobá rázová zatížení a větší přetížení; vyžadují větší přesnost při výrobě. (1)

Materiály valivých ložisek

Kroužky a valivá tělesa musí být kvůli střídavému napětí z materiálu o vysoké pevnosti, přesného složení a homogenitě (obvykle oceli tř. 14, kalené a popouštěné na $HRC_{min} = 59$). Klece jsou obvykle lisovány z ocelového plechu. (2)

1.3 Spojování strojních součástí

1.3.1 Rozdělení spojů

Způsoby spojení lze rozdělit podle rozebíratelnosti na:

- 1) rozebíratelné - ty, které se dají bez poškození jak spojovaných tak spojovacích součástí uvolnit a potom znovu spojit;
- 2) nerozebíratelné - ty, které je třeba pro uvolnění spoje porušit spojovací součást, takže ji nelze pro další spojení použít

Spoje lze dále klasifikovat podle metody zajištění spoje na spojení silová, tvarová a spojení s přídavným materiálem. Spojení silová zajišťují dokonalé spojení součástí obvykle prostřednictvím třecí síly, působící na stykových plochách (např. šroubový a nalisovaný spoj). Spojení tvarová přenáší zpravidla zatížení tlakem mezi stykovými plochami (např. pera, drážkové hřídele, čepy). Spojení s přídavným materiálem se zajišťuje buď roztaveným přídavným materiálem (svařování, pájení) nebo nekovovým přídavným materiálem, převážně polymerem (lepení).

Podle časového účelu spoje a spojovacích součástí lze spoje rozdělit na dočasné a trvalé. Dočasné spoje slouží pro krátkodobé spojení, např. po dobu montáže s použitím spojení rozebíratelných. Trvalé spoje se používají jak pro spojení nerozebíratelných tak i rozebíratelných spojů součástí. (3)

1.3.2 Rozebíratelné spoje

Šrouby

Šrouby se používají pro rozebíratelné spojení strojních součástí. Z hlediska funkčního je rozdělujeme na upevňovací a pohybové. Upevňovací slouží ke spojení jednodušších strojních součástí. Pohybové umožňují přeměnu otáčivého pohybu v posuvný (např. vřetena lisů, soustruhů, zvedáků, atd.).

Mezi výhody šroubového spojení patří zejména jednoduchá a rychlá montáž a demontáž, snadná přístupnost do pracovních prostorů, převodových skříní, nádob s přišroubovanými víky, kryty apod. Výhodou je snadná výroba (např. na revolver. soustruzích, automatech).

Pro šrouby a matice se používá především oceli, jejichž mechanické vlastnosti stanoví ČSN 02 1005 a 02 1010. Materiál se volí podle druhu, účelu, namáhání a provedení šroubu (10 370, 11 343 až 11 600 nebo 12 042 a 12 050). Materiál matic může mít nižší pevnost než materiál šroubu.

Pro speciální konstrukce se vyrábějí šrouby z plastů. Výhodou je izolace proti teplu nebo elektrické energii, odolnost proti korozi, menší hmotnost, tlumení chvění a rázů, opakovatelnost montáže a demontáže, aniž by se snižovala únosnost spoje. Nevýhodou však je nízká tepelná odolnost, obtížná a zdlouhavá výroba závitu a tím i vyšší cena. Přehledy běžně vyráběných šroubů a matic jsou v ČSN 02 1005 a 02 1006. Podle účelu použití rozeznáváme šrouby:

- 1) spojovací a upevňovací
- 2) pohybové a hnací
- 3) pro zvláštní účely (speciální)

Šrouby spojovací a upevňovací

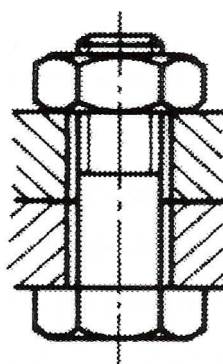
Slouží k pevnému rozebíratelnému spojení nebo připevnění strojních součástí. U nejpoužívanějších spojovacích šroubů rozeznáváme části: hlava, dřík a závitová část. Závity se běžně používají s pravou šroubovicí (tj. pravochoďe). Závity šroubů jsou normalizovány v ČSN 01 4000 podle tvaru. Příkladem je metrický závit základní řady - šroubovice na svorníku vzniká vinutím rovnostranného trojúhelníku o vrcholovém úhlu 60° v osově rovině šroubu ve šroubovici o dané velikosti stoupání. (2)

Spojovací šrouby existují v různých provedení, v závislosti na účelu, tvaru spoje a materiálu spojovaných součástí.

V technologických konstrukcích se nejčastěji používají tyto šrouby:

1) Šrouby s hlavou a s maticí

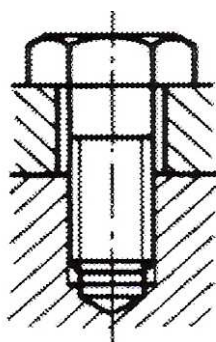
Jsou nejrozšířenější ze spojovacích šroubů. Hlava šroubu bývá nejčastěji šestihranná, čtyřhranná, ale i válcová, kuželová, čočková atd. Běžně používané šrouby, matice a příslušenství šroubů podložky, závlačky jsou normalizovány.



Obr. 9. Šroub s maticí (2)

2) Závrtné šrouby

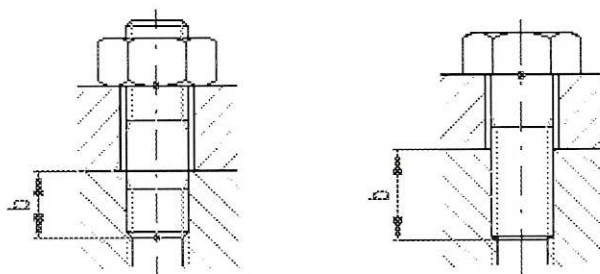
Mají místo hlavy závit pro zatažení do závitové díry v jedné ze spojovaných součástí. Závrtný šroub s hlavou se používá všude tam, kde není možné ve spojované součásti provrtat díru přes celou tloušťku stěny (např. připevnění víka nádoby apod.), a všude tam, kde součást je příliš tlustá, takže není možné provést spoj šroubem s hlavou a maticí.



Obr. 10. Závrtný šroub (2)

Pro různé druhy materiálu jsou rozhodující délky závrtného konce šroubu b , aby se šroub při zatížení osovou silou nevytrhl ze závitu spojovaného materiálu. Pro šrouby z oceli se volí $b = d$, pro šedou litinu $b = 1,25d$ a pro slitiny hliníku $b = 2d$ (obr. 11).

Do měkkých nebo velmi křehkých materiálů, z nichž by se vyřezaný závit snadno vytrhl, vkládáme závitové vložky, a to buď souosé, se šroubem (zavrtané nebo zalisované) nebo kolmo k ose šroubu, které se ke spojení závitů se zavrtaným šroubem zasunují bočním otvorem.



Obr. 11. Délky závitového spojení (1)

Šrouby pohybové a hnací

Pohybové šrouby se používají k přeměně rotačního pohybu v posuvný za současného přenosu síly (šrouby lisů, obráběcích strojů...). Používají se zpravidla závity vícechodé pro snížení ztrát třením, pro zmenšení opotřebení a zahřívání matice a zlepšení účinnosti šroubu. Pohybové šrouby jsou namáhány kombinací krutu a tahu nebo tlaku, případně vzpěru (u dlouhých šroubů). V poslední době se často používá kuličkový šroub. Závity šroubu a matice jsou vyplněny kuličkami.

Matice bývají trojího konstrukčního provedení:

- 1) šroub se otáčí a posouvá v nehybné matici (šroubové lisy, zdviháky),
- 2) matice se otáčí na místě a šroub se posouvá (protahovací stroje, zdviháky),
- 3) šroub se otáčí na místě a matice se posouvá (vodící šroub suportu soustruhu, konzoly frézovacího stroje). (3)

Šrouby pro zvláštní účely

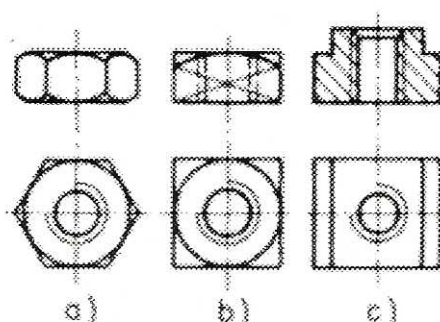
Používají se k nastavení polohy, pro vymezení dorazů a požadovaných vzdáleností.

- 1) Stavěcí a odtlačovací šrouby - zajišťují neměnnou polohu součástí nebo umožňují nastavit danou součást do určité polohy, kterou lze měnit.
- 2) Pojišťovací šrouby - zajišťují určitou neproměnnou polohu dané součásti (např. kroužku na hřídeli).

- 3) Napínací šrouby a matice - používají se ke spojování táhel, k napínání lan a drátů pro montážní účely. Jedna strana matice má závit levý, druhá strana závit pravý. Otáčením se spojované části buď k sobě přibližují nebo od sebe vzdalují.
- 4) Závěsné šrouby a matice - jsou to zpravidla šrouby s okem. Umožňují snadné a bezpečné zvedání, případně přemísťování hmotnějších součástí zvedacími mechanismy.
- 5) Sklopné šrouby - umožňují časté uvolňování spojených součástí (vík, skříní), aniž by jakákoliv část tohoto spoje zůstala volná.
- 6) Šroubové zátky - mají velikost krátkých šroubů, které uzavírají otvory nádrží k vypouštění oleje, nebo ke kontrole výšky hladiny.
- 7) Závitořezné šrouby - slouží pro zavrtání do měkkých materiálů nebo plechů.
- 8) Šrouby do dřeva (vruty) - jsou to šrouby s ostrým závitem, s vrcholovým úhlem 60° a s velkým stoupáním.
- 9) Základové šrouby - upevňují stroje nebo zařízení k základu nebo na stěnu. Dokonalé kotvení umožňují základové šrouby se základovými deskami.
- 10) Rozpěrací šrouby - spojují součásti vzájemně k sobě v určité vzdálenosti. Jsou to buď šrouby s hlavou nebo šrouby s oboustrannými závity s maticemi. Vzdálenost součástí zajišťuje trubka nebo osazení dřívku šroubu. (3)

Matice

Matice jsou součásti s vnitřním závitem, jejichž vnější tvar u spojovacích šroubů je uzpůsoben možnosti utažení nebo přichycení, u pohybových šroubů jsou konstrukčně upraveny tak, aby zaručovali pracovní funkci matice.



Obr. 12. Hranolovité typy matic (a)šestihranné; b)čtyřhranné; c) do upínacích drážek T)

Podle účelu a použití mají různé tvary. Nejčastější jsou hranolovité: šestihranné (ČSN 02 1401 a 02 1403), čtyřhranné, do upínacích T drážek. Další velmi rozšířené matice jsou matice šestihranné korunové, upravené pro zajištění proti uvolnění závlačkami. Ze zvláštních druhů matic jsou používány rýhované matice s krčkem, matice s rukojetí, křídlové matice atd. (1)

Podložky

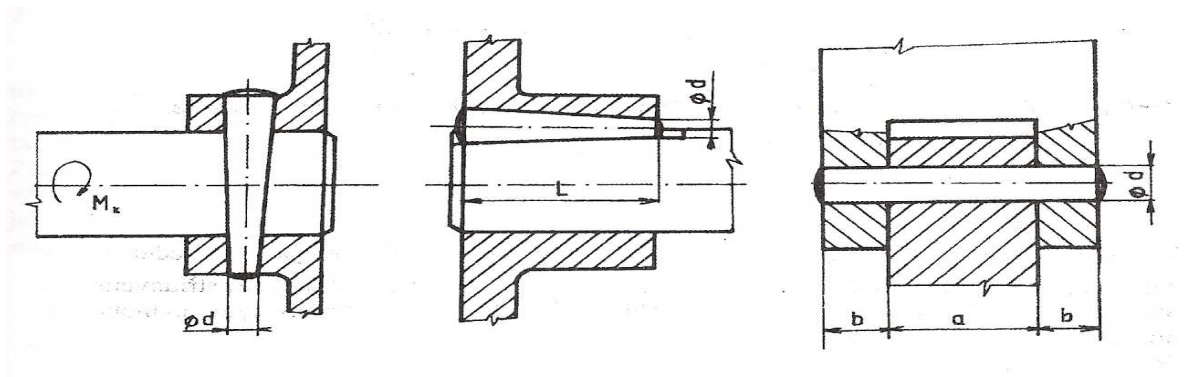
Vkládají se pod matici na spojovaný detail součásti za účelem:

- 1) Přesnějšího dosednutí, dotyku plochy matice se spojovanou součástí, obzvláště je-li příliš hrubá, (např. u odlitků).
- 2) Rozdělení tlaku na větší plochu, zejména při spojování měkkých materiálů (lehké slitiny, dřevo apod.).
- 3) Usnadnění uvolnění matice u spojů, které se častěji demontují.
- 4) Přenesení tlaku matice celou dosedací plochou na spojovanou součást. (3)

Kolíky

Kolíky slouží k pevnému rozebíratelnému spojení dvou strojních součástí, k zajištění jejich přesné polohy, popř. k zachycení posouvající síly u součástí spojených šrouby, které procházejí volně spojovanými dírami. Mohou přenášet síly nebo kroutící moment nebo pojišťovat proti pohybu.

Podle polohy kolíků vůči ose spojovaných součástí rozeznáváme kolíky příčné (osa kolíku je kolmá nebo šikmá na osu spojovaných součástí), kolíky podélné - spárové (osa kolíku je rovnoběžná s osou spojovaných částí) nebo kloubové spojení kolíkem (viz obr.13).



Obr. 13. Konstruktivní provedení spojů pomocí kolíků (2)

Rozměry kolíků jsou normalizovány v ČSN od průměru 0,6 do 50 mm. Normalizované kolíky jsou válcové a kuželové. Válcové kolíky jsou hladké nebo rýhované. Kuželové kolíky mají kuželovitost 1 : 50. (1)

Válcové kolíky

Se používají k zajištění vzájemné polohy dvou součástí spojených šrouby. Umožňují rychlé rozebrání (lícovací kolík). Kolík je pevně uložen v jedné součásti a zapadá s malou vůlí do díry v druhé součásti. Válcové kolíky slouží k zamezení otáčení nebo posuvu jedné součásti po druhé, např. šroubu v díře (pojišťovací kolík). Válcové kolíky se vyrábějí z oceli 11109 a 11 600, válcové kolíky kalené z oceli 19421; kolíky s konci k roznýtování z oceli 11 423 nebo z hliníku 42 4005. (3)

Kuželové kolíky

Se používají k pevnému rozebíratelnému spojení součástí, které přenášejí malé síly a momenty (spojovací kolík). Zajišťují přesnou polohu dvou součástí, jsou-li stykové plochy hladké a součásti spojeny šrouby, procházejícími volně dírami (montážní kolík). Kuželové kolíky vytvářejí přesné a pevné spoje, které i po několikerém rozebrání zaručují vzájemnou polohu spojených součástí. Nejsou vhodné pro spoje, na které působí otřesy a rázy. Kuželové kolíky se vyrábějí z oceli 11109 a 11 600; kuželové kolíky s hlavou z oceli 11 600. (1)

Rýhovaný kolík

Je odolnější proti uvolnění než kuželový. Není vhodný pro spoje, které se často rozebírají, a pro spojování součástí z hliníkových slitin. Jsou to válcové kolíky s podélnými rýhami rozdělenými rovnoměrně po obvodu; rýhy mají po délce kolíku stejnou nebo různou hloubku a jsou v celé délce nebo jen v části délky kolíku; vyrábějí se z oceli 11109.

Výpočet kolíků

Výpočet rozměrů kolíků, které mají přenášet síly, a to ve směru kolmém k ose kolíku, se zpravidla provádí kontrolou:

a) napětí ve stříhu:

$$F \leq S \cdot \tau_{DS} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_{DS} \quad - \text{při jednoduchém spoji} \quad (27)$$

$$F \leq 2S \cdot \tau_{DS} = \frac{2\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_{DS} \quad - \text{při dvojitým spoji} \quad (28)$$

kde τ_{DS} se obvykle volí v rozmezí 60-70 MPa

b) měrného tlaku v oblině objímky:

$$F \leq (D_1 - D) \cdot d \cdot p \quad (29)$$

c) měrného tlaku v oblině tyče:

$$F \leq D \cdot d \cdot p \quad (30)$$

Tyč v zeslabeném průřezu otvoru pro kolík se dále kontroluje na tah:

$$\sigma_t = \frac{F}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} - D \cdot d} \quad (31)$$

Přenášeli-li kolík kroutící moment M_k je opět namáhán na střih, avšak v osové rovině:

$$M_k \leq F \cdot \frac{D}{2} \quad , \quad \text{kde} \quad F = S \cdot \tau_{DS} = l \cdot d \cdot \tau_{DS} \quad (32)$$

$$M_k \leq 0,5 \cdot l \cdot d \cdot \tau_{DS} \quad (33)$$

Hodnoty dovolené namáhání ve střihu τ_{DS} některých ocelí a dovolený měrný tlak se při proměnlivém zatížení snižují na 2/3, při střídavém zatížení na 1/3. Při použití drážkových kolíků se s ohledem na drážky tyto hodnoty snižují o 15 - 30 % (někdy až 50%).

Měrný tlak v otvoru:

$$p \leq \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{d}{2} \cdot l} \quad , \quad \text{kde} \quad F = \frac{d}{2} \cdot l \cdot p \quad (34)$$

$$M_k \leq F \cdot \frac{D}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{d}{2} \cdot l \cdot p = 0,25D \cdot l \cdot d \cdot p \quad (35)$$

Dovolený tlak p_D se volí okolo 70 MPa.

Kloubové spojení kolíkem (dle obr. 13) je nutno kontrolovat na ohyb:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad , \quad \text{kde} \quad M_o = \frac{F}{2} \left(\frac{b}{2} + \frac{a}{4} \right) \quad \text{a} \quad W_o = \frac{1}{10} \cdot d^3 \quad (36)$$

σ_{Do} se volí okolo 100 MPa.

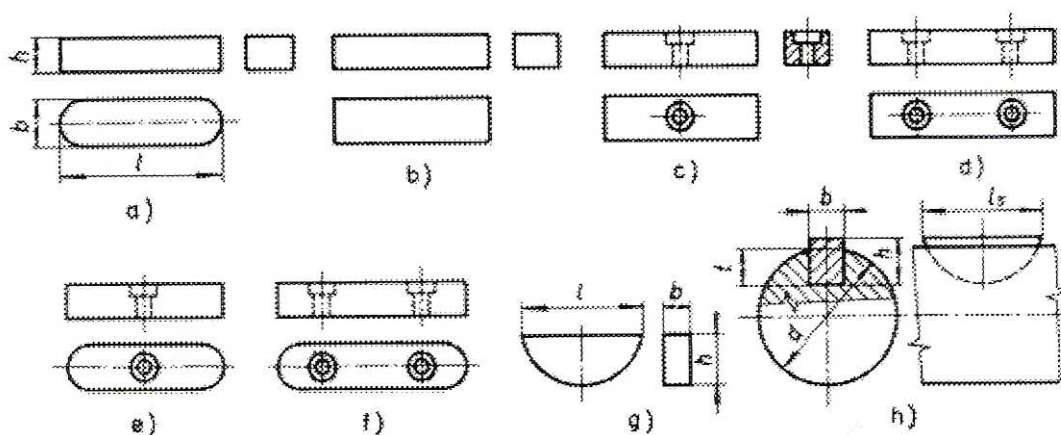
Kromě ohybu je nutné též kontrolovat otlacení jak ve vidlici tak také ve styku táhla a kolíku podle předešlých závislostí. (3)

Pera

Spojovací pera jsou tvarem podobná vsazenému drážkovému klínu; nemají však nos a úkos. Úkos nemá ani drážka, v níž jsou uloženy. Proto nepřenášejí žádné síly dosedacími plochami mezi hřídelem a nábojem, ale pouze boky. Protože se náboj součásti na pero jen nasune, nevzniká ve spoji s perem předpětí. Vyrábějí se z oceli 11500, 11600 nebo z ušlechtilých ocelí.

Normalizovaná spojovací pera se vyrábějí v těchto druzích:

- 1) Těsná (zalícovaná) - slouží k pevnému spojení hřídele se součástí. Těsné zaoblené pero ČSN 02 2562, těsné pero nezaoblené ČSN 30 1382,
- 2) Výměnná (volná) - pro spojení součástí, které se mají po hřídeli posouvat, ne však otáčet. Na hřídel se připevňují jedním až dvěma závrtnými šrouby se zapuštěnou válcovou hlavou; ČSN 02 2570,
- 3) Pera úsečková (Woodruffova) - pro uložení neposuvných součástí s krátkým nábojem na hřídeli menšího průměru, které přenášejí kroutící moment ČSN 30 1385.



Obr. 14. Normalizované typy per (2)

Popis obr.14 :

- a) těsné pero zaoblené,
- b) těsné pero nezaoblené,
- c), d) volné pero nezaoblené s jedním nebo dvěma šrouby,
- e), f) výměnné pera s jedním nebo dvěma šrouby,
- g), h) úsečová pera.

Při rozměrovém návrhu spojení perem se vychází z ČSN, kde k průměru hřídele vypočtenému ze skutečného zatížení, je přiřazena šířka a výška pera (též hloubka drážky v hřídeli a náboji). Stanovuje se dále pouze délka pera. (1)

Výpočet pera vychází z předpokladu, že celý krouticí moment přenáší bok pera. Proto se kontroluje tlak p , nebo pro zvolený tlak p_D a přenášený moment M_k se vypočte délka l_s podélného pera z rovnice:

$$M_k = F \cdot \frac{d}{2} = \frac{1}{4} \cdot d \cdot h \cdot l_s \cdot p_D \quad [\text{N.mm}]; \quad (37)$$

kde d [mm] - je průměr hřídele,

h [mm] - výška pera,

l_s [mm] - funkční délka pera; u nezaoblených per $l_s = 1$, u zaoblených $l_s = (1 - b)$.

Pro spoj s úsečovým perem platí:

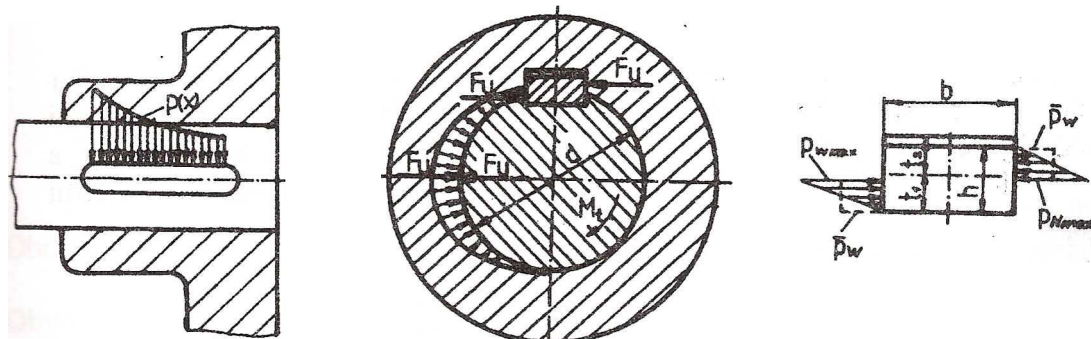
$$M_k \leq \frac{1}{4} \cdot d \cdot h \cdot l_s \cdot p_D \quad [\text{N.mm}]; \quad (38)$$

Dovolený tlak u neposuvného náboje z šedé litiny $p_D = 50$ MPa, u náboje z oceli $p_D = 100$ MPa, výjimečně až 200 MPa.

Pera se používají více než klíny, a to z těchto důvodů:

- nenastává předpětí (vzniklé naklínováním),
- kola méně hází (nejsou vlivem odtlačování náboje ve směru pera ze středu rotace uložena excentricky),
- drážka nemá úkos, výroba je levnější,
- nevzniká nebezpečí úrazu (pero nepřesahuje přes okraj hřídele).

Nevýhodou per je však jejich rychlejší opotřebení, způsobené přenášením kroutícího momentu jen bokem pera a tím vznikem bočních vůlí, zejména při střídavých a nárazových silách.



Obr. 15. Rozdělení tlaků ve spojích s pery (3)

Nestačí-li při malé konstrukční délce náboje jedno pero, volíme buď ušlechtlejší materiály, nebo lze užít více per, přesazených o 90° nebo 180° . Pera nejsou vhodná na přenos velikých výkonů a při rázovém zatížení. V těchto případech je vhodnější použít spojení s drážkovým hřídelem nebo hranolová spojení. (1)

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Počítačové modelování

2.1.1 Dvojměrné modelování pomocí software AUTOCAD 2002

Pomocí programu AutoCAD 2002 byla vytvořena výkresová dokumentace navrženého hřídele, sestavy, ozubeného kola a válce. Veškerá výkresová dokumentace, obecné informace o AutoCAD 2002 a základní principy tvorby výkresu v tomto programu jsou uvedeny v přílohách:

P 1 : Výkres sestavy

P 2 : Kusovník

P 3 : Výkres hřídele

P 4 : Výkres ozubeného kola

P 5 : Výkres válce

P 12 : Obecné informace a základní principy tvorby výkresu v AutoCAD 2002

2.1.2 Trojměrné modelování pomocí software Autodesk Inventor 6

Pomocí programu Autodesk Inventor 6 byly vytvořeny modely jednotlivých dílů zadané sestavy. Dále byl z těchto dílů vytvořen model sestavy, video s ukázkou skládání modelu sestavy a video s ukázkou funkce modelu sestavy. Model hřídele, model sestavy, videa, obecné informace o Autodesk Inventor 6, základní principy tvorby modelu a výkresu v tomto programu nalezneme v přílohách:

P 6 : Model hřídele

P 7 : Řez modelem hřídele

P 8 : Model sestavy

P 9 : Řez modelem sestavy

P 10 : Video se skládáním modelu sestavy

P 11 : Video s ukázkou funkce modelu sestavy

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

2.1.3 Analytické modelování v programu COSMOS/M - DesignSTAR

Pomocí programu COSMOS/M – DesignSTAR byl aplikován výpočet lineární statiky na model hřídele, který byl vytvořen pomocí programu Autodesk Inventor 6. Výsledky výpočtu, ale i koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR jsou uvedeny v přílohách:

P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M - DesignSTAR

P 15 : Výsledné zatížení a uchycení hřídele s vygenerovanou sítí

P 16 : Deformace hřídele s konturami napětí v Mpa

P 17 : Deformace hřídele s konturami napětí o max. velikosti 100 Mpa

P 18 : Deformace hřídele s konturami v mm

2.2 Návrh a pevnostní výpočet hřídele

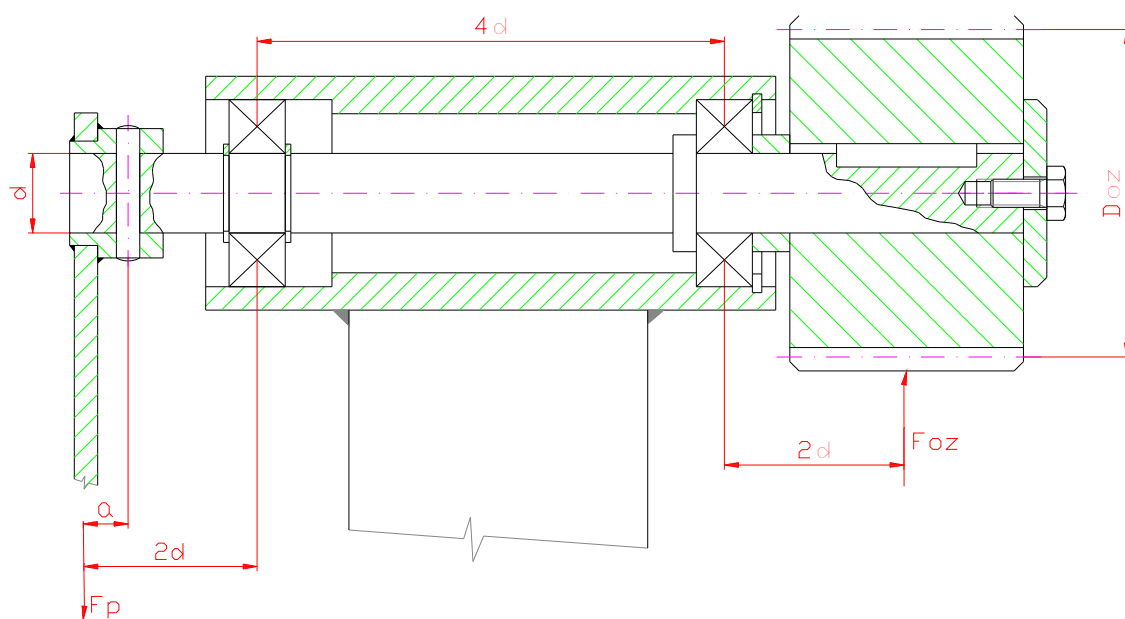
2.2.1 Zadání

Pro zadanou sestavu hybného hřídele navrhují kolík pro spojení příruby s hřídelí a pero pro spojení hřídele s ozubeným kolem. Dále provedu kontrolu na střih a otláčení, pevnostní výpočet hřídele a zkontroluji trvanlivost zvolených ložisek. Výpočet bude doložen výkresem sestavy, výrobním výkresem hřídele, ozubeného kola a válce.

Zadané parametry:

- Celková požadovaná trvanlivost $L_h = 4\,000$ provozních hodin,
- otáčky $n = 3\,000\text{ min}^{-1}$,
- přenášený krouticí moment $M_K = 21\,000\text{ Nmm}$,
- síla na páce $F_p = 100\text{ N}$,
- průměr hřídele $d = 17\text{ mm}$,
- průměr roztečné kružnice ozubeného kola $D_{oz} = 80\text{ mm}$.

2.2.2 Schéma zadané sestavy



Obr. 16. Schéma sestavy

2.2.3 Návrh a výpočet

Návrh kolíku, kontrola na smyk a otlačení

Materiál kolíku volím ocel 11 500, kde dovolené napětí ve smyku $\tau_{DS} = 85 \text{ MPa}$ a dovolené napětí v tlaku $p_D = 100 \text{ MPa}$.

Z tabulek volím pro hřídel o $\varnothing = 17 \text{ mm}$ kolík 6x30 ČSN 02 2150.2 o průměru $d_K = 6 \text{ mm}$ a délce $l_K = 30 \text{ mm}$. Vnější průměr příruby D_1 volím roven délce kolíku l_K , tedy $D_1 = 30 \text{ mm}$.

Průřez kolíku

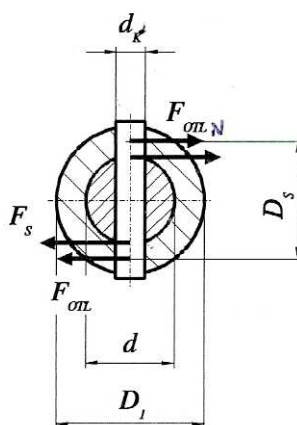
$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_K^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} \quad (39)$$

$$S_1 = 28,27 \text{ mm}^2$$

Obvodová síla na hřídeli

$$M_K = F_s \cdot d \Rightarrow F_s = \frac{M_K}{d} = \frac{21000}{17} \quad (40)$$

$$F_s = 1235,29 \text{ N}$$



Obr. 17. Spoj hřídel s přírubou pomocí kolíku (1)

Kontrola kolíku na smyk

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_1} = \frac{1235,29}{28,27} \leq \tau_{DS} \quad (41)$$

$$\tau_s = 43,7 \text{ MPa} \leq 85 \text{ MPa} \text{ ...vyhovuje}$$

Kontrola kolíku na otláčení v náboji

Střední průměr náboje

$$D_s = \frac{D_1 + d}{2} = \frac{30 + 17}{2}$$

$$D_s = 23,5 \text{ mm} \quad (42)$$

Síla způsobující otláčení

$$M_K = F_{OTL} \cdot D_s \Rightarrow F_{OTL} = \frac{M_K}{D_s} = \frac{21000}{23,5}$$

$$F_{OTL} = 893,62 \text{ N} \quad (43)$$

Styčná plocha – průmět kolíku

$$S_2 = \frac{D_1 - d}{2} \cdot d_K = \frac{30 - 17}{2} \cdot 6$$

$$S_2 = 39 \text{ mm}^2 \quad (44)$$

Otláčení kolíku

$$p_{OTL} = \frac{F_{OTL}}{S_2} = \frac{893,62}{39} \leq p_D$$

$$p_{OTL} = 22,91 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje} \quad (45)$$

Kontrola kolíku na otláčení v hřídeli

$$M_K = F_{OTL} \cdot R = p \cdot S_3 \cdot R = \frac{1}{2} p_{MAX} \cdot \frac{d}{2} \cdot d_K \cdot \frac{2}{3} d = \frac{1}{6} \cdot p_{MAX} \cdot d^2 \cdot d_K \Rightarrow p_{MAX}$$

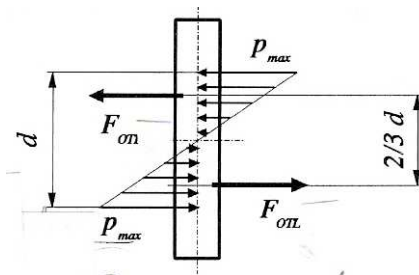
$$p_{MAX} = \frac{6 \cdot M_K}{d^2 \cdot d_K} = \frac{6 \cdot 21000}{17^2 \cdot 6} \leq p_D \quad (46)$$

$$p_{MAX} = 72,66 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

kde $p = \frac{p_{MAX}}{2}$, protože počítáme jen s 1 silovým (tlakovým) trojúhelníkem

(viz. obr. 47); S_3 je styčná plocha – průmět kolíku a je $= \frac{d}{2} \cdot d_K$; $R = \frac{2}{3} d$.

Zvolený kolík vyhovuje namáhání na smyk i na otláčení.



Obr. 18. Silové poměry na kolíku (1)

Návrh pera, kontrola na smyk a otláčení

Z tabulek pro hřídel Ø 17 mm volím pero 6x6, kde šířka pera $b = 6 \text{ mm}$ a výška $h = 6 \text{ mm}$. Materiál pera volím ocel 11 600, kde dovolené napětí ve smyku $\tau_{DS} = 85 \text{ MPa}$ a dovolené napětí v tlaku $p_D = 100 \text{ MPa}$.

Zátěžná síla působící na pero

$$M_K = F_s \cdot \frac{d}{2} \Rightarrow F_s = \frac{2 \cdot M_K}{d} = \frac{2 \cdot 21000}{17} \quad (47)$$

$$F_s = 2470,59 \text{ N}$$

Výpočet délky pera z namáhání ve smyku

$$\tau_{DS} = \frac{F_s}{b \cdot l_1} \Rightarrow l_1 = \frac{F_s}{\tau_{DS} \cdot b} = \frac{2470,59}{85 \cdot 6} \quad (48)$$

$$l_1 = 4,84 \text{ mm}$$

Výpočet délky pera z otláčení

$$p_D = \frac{F_s}{\frac{h}{2} \cdot l_2} \Rightarrow l_2 = \frac{2 \cdot F_s}{p_D \cdot h} = \frac{2 \cdot 2470,59}{100 \cdot 6} \quad (49)$$

$$l_2 = 8,24 \text{ mm}$$

Rozhodující z obou vypočtených délek je ta větší, tedy l_2 . Z tabulek volím délku pera $l = 16 \text{ mm}$. Zvoleno tedy bylo pero 6x6x16 ČSN 022562.

Kontrola pera na smyk

$$\tau_s = \frac{F_s}{b \cdot l} = \frac{2470,59}{6 \cdot 16} \leq \tau_{DS} \quad (50)$$

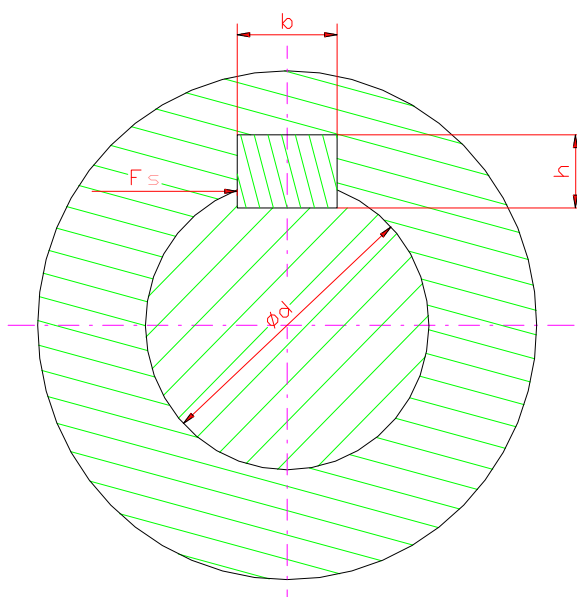
$$\tau_s = 25,74 \text{ MPa} \leq 85 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Kontrola pera na otláčení

$$p = \frac{F_s}{\frac{h}{2} \cdot l} = \frac{2470,59}{\frac{6}{2} \cdot 16} \leq p_D \quad (51)$$

$$p = 51,47 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

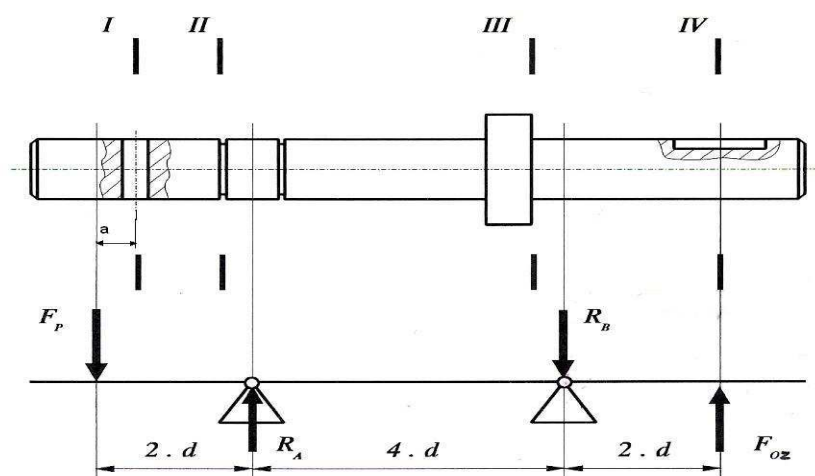
Zvolené pero vyhovuje namáhání na smyk i na otláčení.



Obr. 19. Spoj hřídele s přírubou pomocí pera

Pevnostní výpočet hřídele

Schéma zatěžované hřídele



Obr. 20. Schéma hřídele

Síla z ozubeného kola

$$M_K = F_{OZ} \cdot \frac{D_{OZ}}{2} \Rightarrow F_{OZ} = \frac{2 \cdot M_K}{D_{OZ}} = \frac{2 \cdot 21000}{80}$$

$$F_{OZ} = 525 \text{ N}$$
(52)

Výpočet reakcí

Momentová podmínka rovnováhy

$$\sum M_{iA} = 0:$$

$$F_P \cdot 2d - R_B \cdot 4d + F_{OZ} \cdot 6d = 0$$

$$R_B = \frac{F_P + 3F_{OZ}}{2} = \frac{100 + 3 \cdot 525}{2}$$

$$R_B = 837,5 \text{ N}$$
(53)

Silová podmínka rovnováhy

$$\sum F_i = 0:$$

$$-F_P + R_A - R_B + F_{OZ} = 0$$

$$R_A = +F_P + R_B - F_{OZ} = 100 + 837,5 - 525$$

$$R_A = 412,5 \text{ N}$$
(54)

Hřídel je vyrobena z oceli 11 500, z tabulek je tedy mez únavy v ohybu $\sigma_{CO} = 215 \text{ MPa}$, mez únavy v krutu $\tau_C = 135 \text{ MPa}$, mez pevnosti v tahu $\sigma_{Pt} = 550 \text{ MPa}$.

Napětí v krutu

Napětí v krutu budeme uvažovat v celém hřídeli stejné, otvor pro kolík, drážky pro pojistné kroužky a pero zanedbáme v průřezovém modulu W_K .

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{M_K}{0,2 \cdot d^3} = \frac{21000}{0,2 \cdot 17^3}$$

$$\tau_K = 21,37 \text{ MPa}$$
(55)

Kontrola nebezpečného průřezu I.

Ohybový moment

$$\begin{aligned} M_{OI} &= F_p \cdot a = 100 \cdot 10 \\ M_{OI} &= 1000 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (56)$$

Ohybové napětí

$$\begin{aligned} \sigma_{OI} &= \frac{M_{OI}}{W_{OI}} = \frac{M_{OI}}{0,1 \cdot d^3} = \frac{1000}{0,1 \cdot 17^3} \\ \sigma_{OI} &= 2,04 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (57)$$

Redukované napětí

$$\begin{aligned} \sigma_{redI} &= \sqrt{\sigma_{OI}^2 + 3 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{3,05^2 + 3 \cdot 21,37^2} \\ \sigma_{redI} &= 37,07 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (58)$$

Maximální napětí

Z tabulek vyplývá pro hřídel o pevnosti v tahu $\sigma_{Pt} = 550 \text{ MPa}$ s příčným otvorem a poměrem průměru díry ku průměru hřídele $\frac{d_K}{d} = \frac{6}{17} = 0,35$ vrubový součinitel v ohybu $\beta_{\sigma} = 1,77$. Součinitel velikosti $\chi_{\sigma} = 0,91$.

$$\begin{aligned} \sigma_{\max I} &= \sigma_{redI} \cdot \beta_{\sigma} = 37,07 \cdot 1,77 \\ \sigma_{\max I} &= 65,61 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (59)$$

Bezpečnost

$$\begin{aligned} K_{\sigma} &= \frac{\sigma_{CO} \cdot \chi_{\sigma}}{\sigma_{\max I}} = \frac{215 \cdot 0,91}{65,61} \\ K_{\sigma} &= 2,98 \geq 1 \dots \text{vyhovuje} \end{aligned} \quad (60)$$

Kontrola nebezpečného průřezu II.

Ohybový moment

Předběžně volím šířku ložiska B = 14

$$M_{OII-a} = F_P \cdot \left(2d - \frac{B}{2} \right) = 100 \cdot \left(2 \cdot 17 - \frac{14}{2} \right) \quad (61)$$

$$M_{OII-a} = 2700 \text{ Nmm}$$

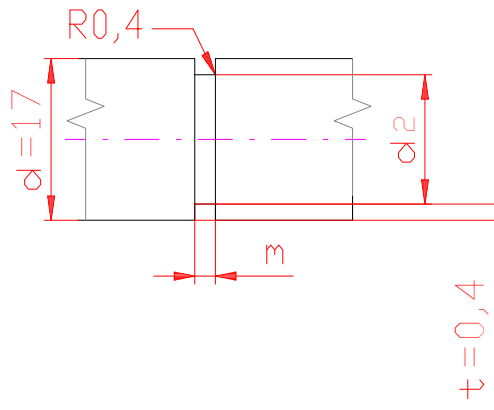
$$M_{OII-b} = F_P \cdot \left(2d + \frac{B}{2} \right) - R_A \cdot \frac{B}{2} = 100 \cdot \left(2 \cdot 17 + \frac{14}{2} \right) - 412,5 \cdot \frac{14}{2} \quad (62)$$

$$M_{OII-b} = 1212,5 \text{ Nmm}$$

Dále počítám s větší hodnotou ohybového momentu, tedy s M_{OII-a} .

Ohybové napětí

Z tabulek pro hřídel $\varnothing 17$ mm je $d_2 = 16,2$ mm; $m = 1,3$ mm; $t = 0,4$ mm a volím $R = 0,4$ mm.



Obr. 21. Drážka pro pojistný kroužek

$$\sigma_{OII} = \frac{M_{OII}}{W_{OII}} = \frac{M_{OII}}{0,1 \cdot d_2^3} = \frac{2700}{0,1 \cdot 16,2^3} \quad (63)$$

$$\sigma_{OII} = 6,35 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$\sigma_{redII} = \sqrt{\sigma_{OII}^2 + 3 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{6,35^2 + 3 \cdot 21,37^2} \quad (64)$$

$$\sigma_{redII} = 37,55 \text{ MPa}$$

Maximální napětí

Z tabulek vyplývá pro hřídel o pevnosti v tahu $\sigma_{Pt} = 550$ MPa s drážkou pro pojistný kroužek a poměrem $\frac{t}{R} = \frac{0,4}{0,4} = 1$; $\frac{R}{d_2} = \frac{0,4}{16,2} = 0,02$ vrubový součinitel v ohybu $\beta_{oII} = 1,85$. Součinitel velikosti $\chi_\sigma = 0,91$.

$$\begin{aligned}\sigma_{\max II} &= \sigma_{redII} \cdot \beta_{oII} = 37,55 \cdot 1,85 \\ \sigma_{\max II} &= 69,47 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (65)$$

Bezpečnost

$$\begin{aligned}K_{oII} &= \frac{\sigma_{CO} \cdot \chi_\sigma}{\sigma_{\max II}} = \frac{215 \cdot 0,91}{69,47} \\ K_{oII} &= 2,82 \geq 1 \dots \text{vyhovuje}\end{aligned}\quad (66)$$

Kontrola nebezpečného průřezu III.

Ohybový moment

$$\begin{aligned}M_{oIII} &= F_{OZ} \cdot \left(2d + \frac{B}{2}\right) - R_B \cdot \frac{B}{2} = 525 \cdot \left(2 \cdot 17 + \frac{14}{2}\right) - 837,5 \cdot \frac{14}{2} \\ M_{oIII} &= 15662,5 \text{ Nmm}\end{aligned}\quad (67)$$

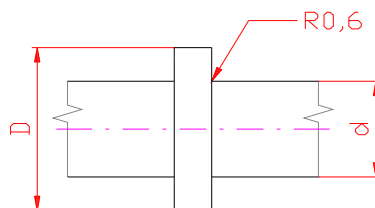
Ohybové napětí

$$\begin{aligned}\sigma_{oIII} &= \frac{M_{oIII}}{W_{oIII}} = \frac{M_{oIII}}{0,1 \cdot d^3} = \frac{15662,5}{0,1 \cdot 17^3} \\ \sigma_{oIII} &= 31,88 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (68)$$

Redukované napětí

$$\begin{aligned}\sigma_{redIII} &= \sqrt{\sigma_{oIII}^2 + 3 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{31,88^2 + 3 \cdot 21,37^2} \\ \sigma_{redIII} &= 48,85 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (69)$$

Volím $\varnothing D = 25$ mm; zaoblení ložiska $r = 1,5$ mm $\rightarrow$ volím $R = 0,6$ mm. Z tabulek vyplývá pro hřídel o pevnosti v tahu $\sigma_{Pt} = 550$ MPa s osazením a poměrem $\frac{D}{d} = \frac{25}{17} = 1,47$; $\frac{R}{d} = \frac{0,6}{17} = 0,03$ vrubový součinitel v ohybu $\beta_{oIII} = 2$. Součinitel velikosti $\chi_\sigma = 0,91$.



Obr. 22. Osazení hřídele

Maximální napětí

$$\begin{aligned}\sigma_{\max III} &= \sigma_{redIII} \cdot \beta_{\sigma III} = 48,85 \cdot 2 \\ \sigma_{\max III} &= 97,7 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (70)$$

Bezpečnost

$$\begin{aligned}K_{\sigma III} &= \frac{\sigma_{CO} \cdot \chi_{\sigma}}{\sigma_{\max III}} = \frac{215 \cdot 0,91}{97,7} \\ K_{\sigma III} &= 2 \geq 1 \dots \text{vyhovuje}\end{aligned}\quad (71)$$

Kontrola nebezpečného průřezu IV.

Průřez je opatřen drážkou pro pero, je tedy namáhán na smyk. Z tabulek vyplývá pro hřídel o pevnosti v tahu $\sigma_{Pt} = 550 \text{ MPa}$ s drážkou pro pero 6x6x16 vrubový součinitel ve smyku $\beta_{\tau} = 1,45$. Součinitel velikosti $\chi_{\tau} = 0,89$.

Maximální napětí

$$\begin{aligned}\tau_{\max IV} &= \tau_K \cdot \beta_{\tau} = 21,37 \cdot 1,45 \\ \tau_{\max IV} &= 30,99 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (72)$$

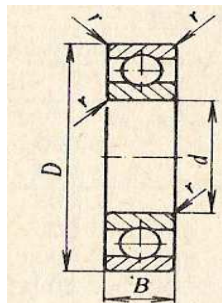
Bezpečnost

$$\begin{aligned}K_{\tau IV} &= \frac{\tau_C \cdot \chi_{\tau}}{\tau_{\max IV}} = \frac{135 \cdot 0,89}{30,99} \\ K_{\tau IV} &= 3,88 \geq 1 \dots \text{vyhovuje}\end{aligned}\quad (74)$$

Návrh a kontrola ložisek na trvanlivost

Vzhledem k technologii výroby jsou ložiska zvolena stejně velká, i když nejsou stejně zatížena. Kontrola životnosti bude provedena na straně většího zatížení, tedy v místě působení reakce R_B .

Volím z tabulek pro Ø hřídele 17 kuličkové ložisko jednořadé 6303 ČSN 02 4630, kde $B = 14 \text{ mm}$; $D = 47 \text{ mm}$; $r = 1,5 \text{ mm}$; dynamická únosnost $C = 10600 \text{ N}$; statická únosnost $C_0 = 6700 \text{ N}$; maximální otáčky = 13000 ot/min; $m = 3$.



Obr. 23. Kuličkové ložisko jednořadé (2)

Kontrola ložiska

Jelikož v zadané sestavě bylo použito ozubení s přímými zuby, je axiální síla zatěžující ložisko $F_A = 0$; radiální síla působící na ložisko $F_R = R_B$.

$$\frac{F_A}{C_0} = 0 \Rightarrow \text{z tabulek } e = 0; X = 1; Y = 0; \text{ rotační součinitel } V = 1.$$

Ekvivalentní dynamické zatížení

$$F_e = (X \cdot V \cdot F_R + Y \cdot F_A) \cdot f_K \cdot f_D = (1 \cdot 1 \cdot 837,5 + 0 \cdot 0) \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$F_e = 1013,38 \text{ N} \quad (75)$$

kde $f_K = 1,1$ je součinitel nepřesnosti ozubení; $f_D = 1,1$ je dynamický součinitel. Obě hodnoty jsou odečteny z tabulek.

Trvanlivost

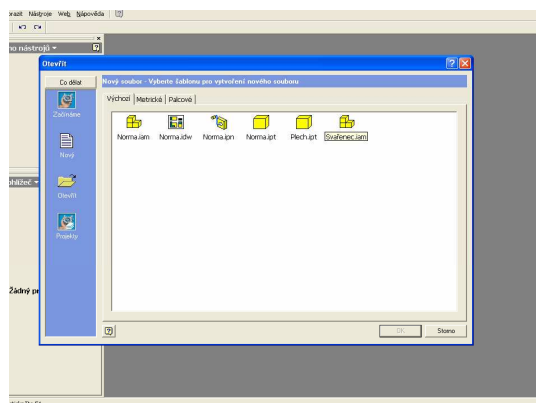
$$L'_h = \left(\frac{C}{F_e} \right)^m \cdot \frac{10^6}{3600 \cdot n} = \left(\frac{10600}{1013,38} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{3600 \cdot \frac{3000}{60}} \geq L_h$$

$$L'_h = 6358,11 \text{ hod} \geq 4000 \text{ hod} \dots \text{vyhovuje} \quad (76)$$

Výkresová dokumentace navrženého hřídele, sestavy, ozubeného kola a válce je uvedena v přílohách č.: P 1, P 2, P 3, P 4, P 5.

2.3 Postup pro konstrukci hřídele v Autodesk Inventor 6

Prvním, co po spuštění Inventoru z ikony na pracovní ploše uděláme, je nastavení si modelovací šablony – v záložce *výchozí* se zvolí *Norma(mm).ipt* a poté naběhne prostředí pro samotné modelování součástky.



Obr. 24. Nastavení modelovací šablony

2.3.1 Tvorba základního prvku

Dále uvedený postup tvorby modelu je jen jeden z mnoha možných, stejného výsledku je možno docílit i jinými postupy. Zde bude vysvětlena vždy jen jedna varianta řešení.

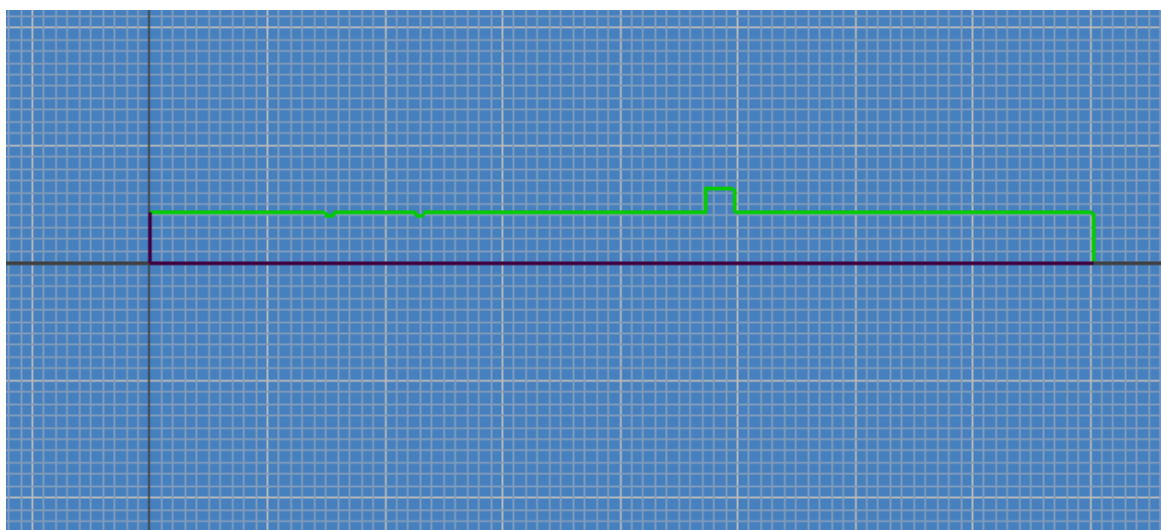
Krok 1 – volba náčrtové roviny

Při tvorbě prvního prvku není nutné volit náčrtovou rovinu, je nastavena automaticky do roviny XY. Při kreslení dalších prvků je nutné volit náčrtovou rovinu. To provedeme tak, že buď v horním ikonovém menu nebo pod pravým tlačítkem myši zvolíme *nový náčrt* a šipkou myši ukážeme na rovinu, na které bude připojený další prvek k základnímu (nosnému) prvku.

Krok 2 – náčrt tvaru hřídele

Nejdříve v levém ikonovém menu zvolíme ikonu *Promítnou geometrii* a poté ve stromu modelu rozbalíme složku *Počátek*. V ní pak klikneme na položku *středový bod*. Následně se objeví v náčrtové rovině uprostřed osového kříže černý bod, což je námi promítnutý středový bod. Z něho začneme pomocí příkazu *čára*, který najdeme v levém ikonovém menu, skicovat základní tvar hřídele, tím je upevněna v prostoru a ostatní prvky se buď

zavazbí nebo zakótují vůči tomuto počátku. Při kreslení přímky pomocí příkazu *čára* ukazujeme *levým tlačítkem na myši* na koncové body a tím úsečku definujeme. Protože z návrhu se v budoucnu stane prvek, měl by návrh tvořit uzavřený obrazec a jeho čáry se nesmí křížit (neplatí u promítnuté geometrii). Na jeho rozměrech teoreticky nezáleží, ty se dodají kótami a jejich následnou editací. Jelikož se jedná o rotační součást, bude se tak i skicovat, tzn. že se naskicuje její poloviční řez, který pak bude okótován a orotován kolem osy rotace. Přibližná skica vypadá zhruba viz. obr. 25.



Obr. 25. Skica hřídele

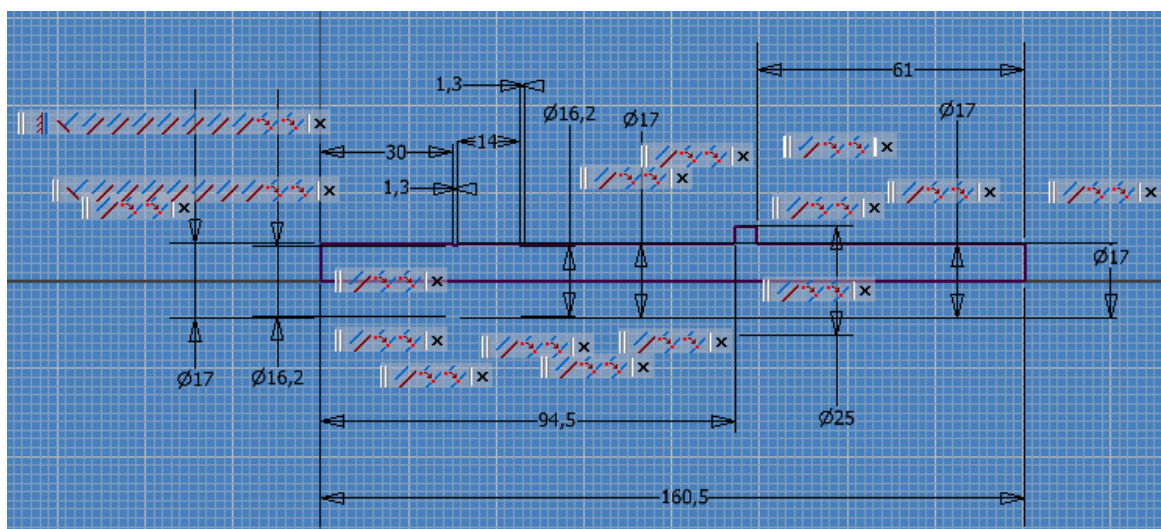
Krok 3 – vazby a kóty

K přesnému definování tvaru a rozměrů slouží vazby a kóty. Nejprve je snaha skicu doplnit co nejvíce vazbami a pak, jakmile to již nejde, se použijí kóty. Tím se dostane skica do požadovaného tvaru a velikosti.

Vazby náčrtu jsou *horizontálnost*, *vertikálnost*, *kolmost*, *tečnost*, *rovnoběžnost*, *totožnost* atd. Vazby se přidávají z levého ikonového menu a typ se vybírá kliknutím na šipku vedle aktuální položky vazeb. Najetím myši na požadovanou položku a kliknutím na ni je vazba zvolena. Nyní již tuto vazbu aplikujeme přímo do skici. Některé vazby, jako *kolmost*, *rovnoběžnost* aj. se automaticky nabízejí při tvorbě skici.

Po zavazbení začneme skicu kótovat. Při kótování průměrů, protože se jedná o rotační součást, se použije ikona pro *obecnou kótu*, která je umístěna v levém ikonovém menu, s tím rozdílem, že nejprve se klikne na budoucí osu rotace a pak na profil, který má být okótován. Při umísťování kótovacích čar pod pravým tlačítkem myši se zvolí položku – *lineární průměr*, tím se kóta změní na průměrovou hodnotu. Samozřejmě, že se

nesmí zapomenout na délkové hodnoty (osazení), k jejich zakótování se také použije ikona pro *obecnou kótu*. Po jejím zvolení se klikne levým tlačítkem myši na úsečku kterou chceme zakótovat. Jedná – li se o šikmou úsečku, lze při umísťování kótovacích čar zvolit pod pravým tlačítkem myši, zda se bude jednat o kótu horizontální či vertikální. Poté veškeré kóty upravíme na požadované hodnoty. To se provede dvojkliknutím levého tlačítka myši na danou kótu. Poté se objeví dialogové okno, ve kterém se přepíše stávající hodnota kóty na námi požadovanou hodnotu. Editaci potvrdíme a zároveň i zavřeme dialogové okno kliknutím pravým tlačítkem myši na zelenou odrážku, která je za hodnotou kóty. Jakmile je skica plně okótovaná a zavazovaná, změní se její barva (obvykle na tmavší odstín původní barvy). Okótovaná a zavazovaná skica vypadá zhruba viz. obr. 26.



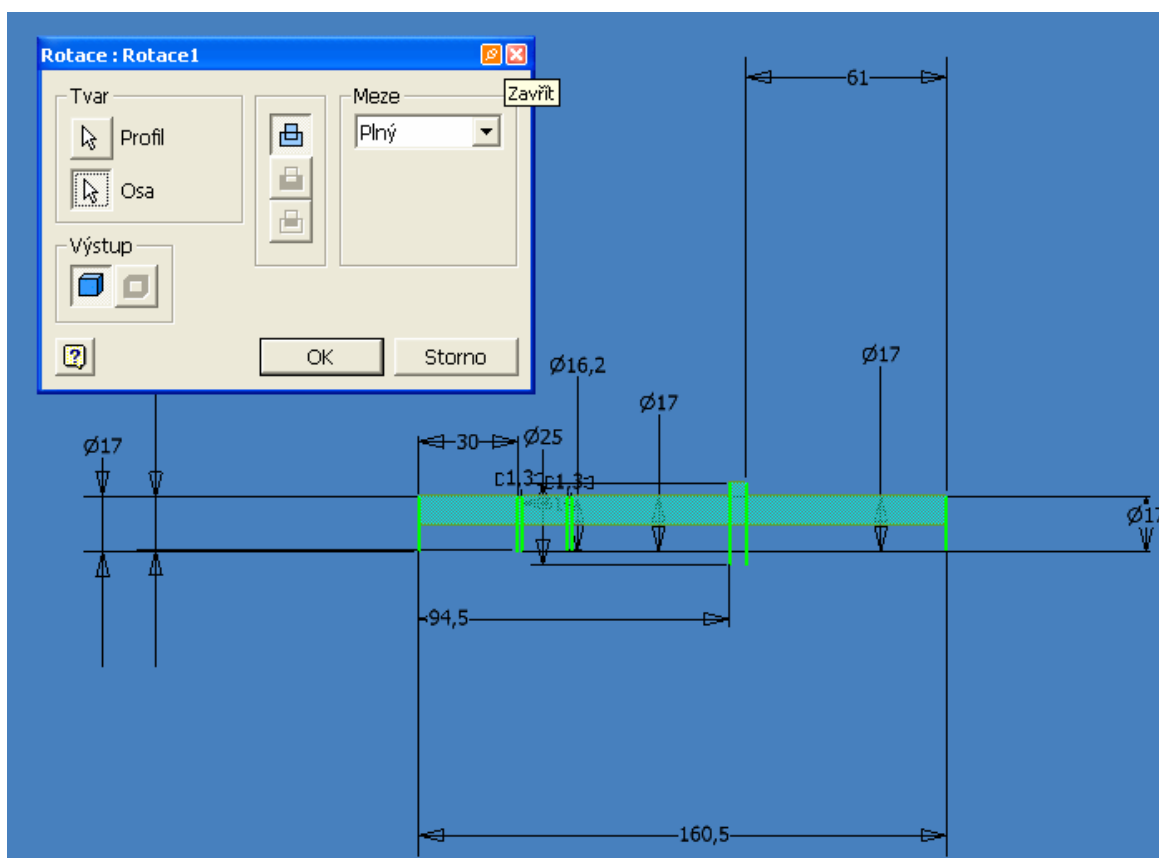
Obr. 26. Okótovaná zavazovaná skica hřídele

Krok 4 – vytvoření prvku

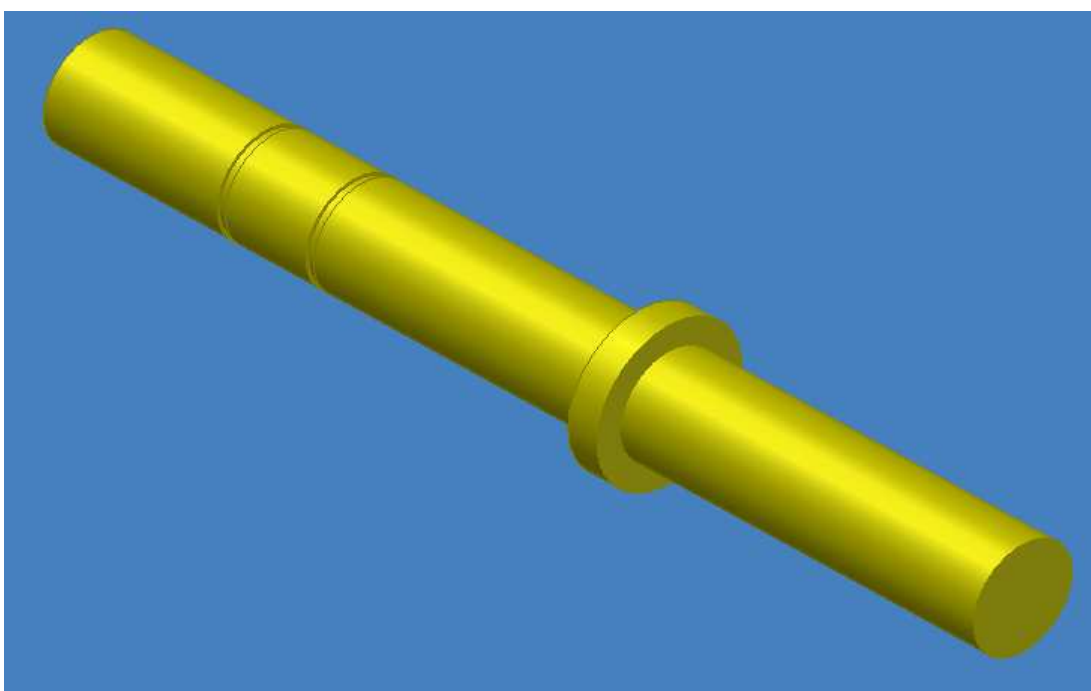
Po vytvoření skici a jejím zakótování a zavazování ukončíme náčrt a to tak, že umístíme myš kamkoliv do pracovního prostoru skici a po zmáčknutí pravého tlačítka myši zvolíme *dokončit náčrt*. Tím zmizí rast (slabě viditelná šachovnice) a také se změní levé ikonové okno. Nyní má již název *prvky součásti* a volbou, jakým stylem chceme ze skici vytvořit prvek zvolíme příslušnou ikonu.

Pro náš případ použijeme druhou ikonu – *Otočit*. Po kliknutí na ikonu se zobrazí dialogové okno (viz. obr. 27), ve kterém zvolíme co, jakým způsobem, kam a o kolik se má otáčet. V dialogovém okně nejdříve klikneme na ikonu - *profil* a poté klikneme do libovolného prostoru uvnitř námi vytvořené skici. Dále v dialogu zvolíme ikonu – *osa rotace* a označíme spodní úsečku skici. Než uzavřeme dialogové okno kliknutím

na tlačítko – OK, zvolíme v části okna pro zadávání mezí odrážku – *Plný*. Tím se vytvoří základní model, který vypadá následovně – viz. obr. 28.



Obr. 27. Dialogové okno pro rotaci skici



Obr. 28. Základní model hřídele

2.3.2 Tvorba díry pro kolík

Krok 1 – volba náčrtové roviny

Novou náčrtovou rovinu si zvolíme v rovině XY a to provedeme tak, že buď v horním ikonovém menu nebo pod pravým tlačítkem myši zvolíme nový náčrt a šipkou myši ukážeme ve stromu modelu na rovinu XY.

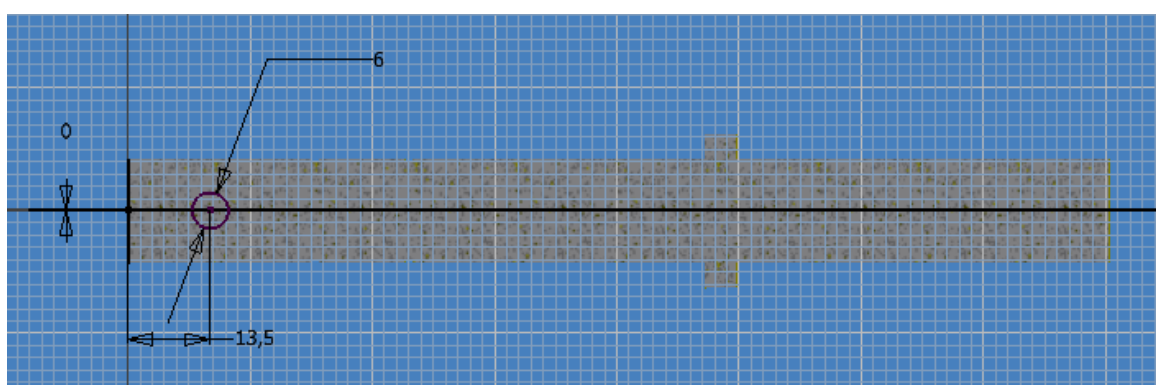
Krok 2 – náčrt tvaru díry

Nejdříve si po zvolení náčrtové roviny zobrazíme hřídel v řezu, aby se nám lépe kreslila skica. Zobrazení hřídele v řezu docílíme kliknutím pravým tlačítkem myši kamkoliv na hřídel. V dialogovém okně, které se poté zobrazí, klikneme na *zobrazit v řezu*.

Dále v levém ikonovém menu klikneme myší na ikonu *Kružnice středem a poloměrem* a kdekoliv v náčrtové rovině nakreslíme kružnici. Poloha a poloměr kružnice se určí pomocí kót.

Krok 3 – vazby a kóty

Pro zakótování průměru a polohy středu kružnice se použije ikona pro *obecnou kótu*, která je umístěna v levém ikonovém menu. Poloha středu kružnice se zakótuje vůči *středovému bodu*, který si promítneme stejně jako při tvorbě náčrtu tvaru hřídele pro vytvoření základního prvku. Poté kóty editujeme, již dříve zmiňovaným způsobem. Okótovaná a zavazbená skica vypadá zhruba viz. obr. 29.

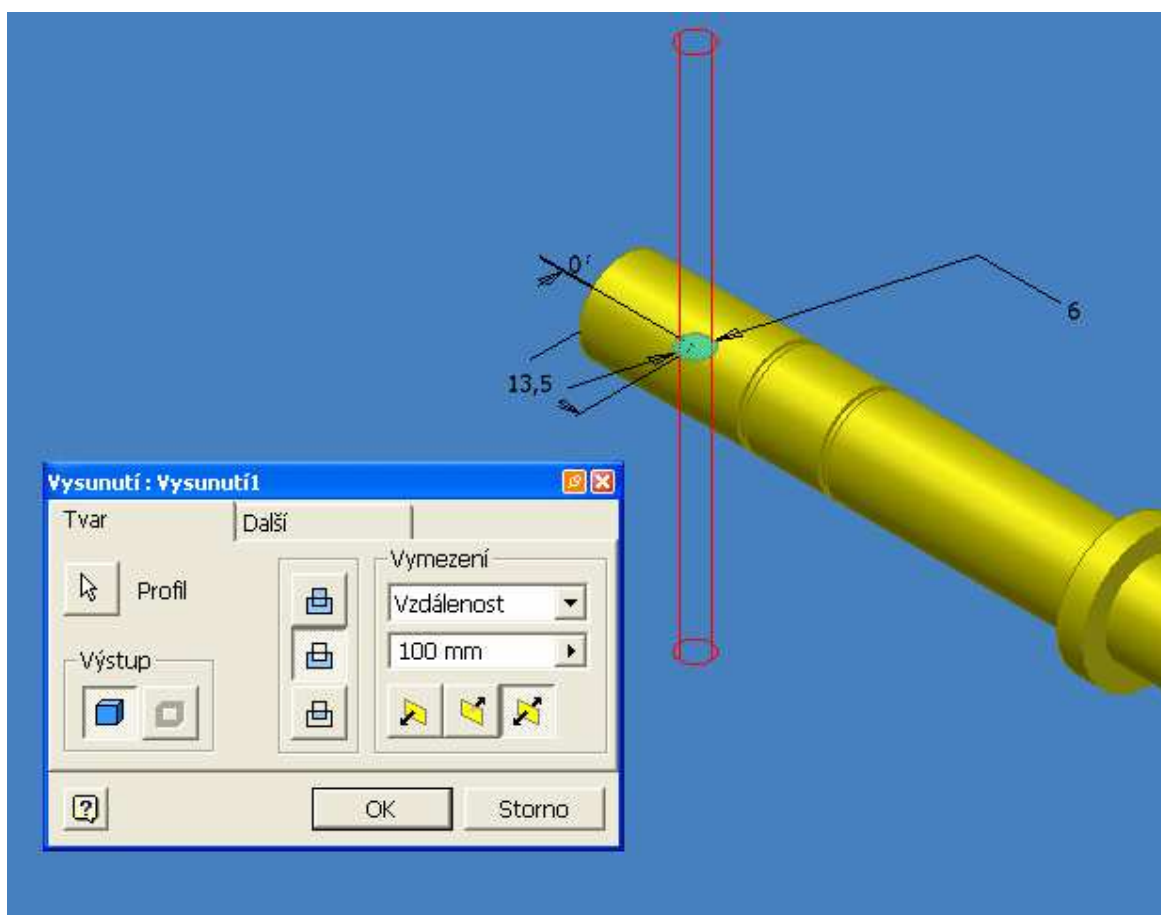


Obr. 29. Okótovaná zavazbená skica díry

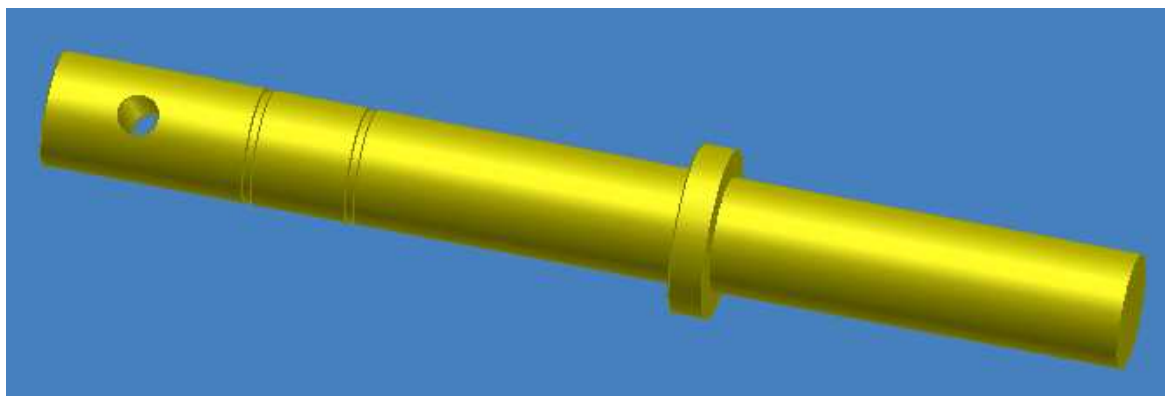
Krok 4 – vytvoření prvku

Po ukončení náčrtu zvolíme v levém ikonovém menu, které se po ukončení skici změní, ikonu *Vysunout*. V dialogovém okně, které se objeví, zvolíme jako profil námi nakreslenou kružnici a to tak, že opět klikneme myší někam do prostoru kružnice. Dále

zatrhne ikonu *odříznout* a v části okna pro zadávání vymezení, zadáme libovolnou vzdálenost, která ale musí být větší než je polovina průměru hřídele. Poté klikneme na ikonu symbolizující vymezení na obě strany a zavřeme dialogové okno kliknutím na OK. Tím se vytvoří díra pro kolík, která vypadá následovně – viz. obr. 31. Vyplněné dialogové okno vypadá, jako na obr. 30.



Obr. 30. Dialogové okno pro tvorbu díry pro kolík



Obr. 31. Hřídel s dírou pro kolík

2.3.3 Tvorba drážky pro pero

Krok 1 – volba náčrtové roviny

Dříve než si zvolíme novou náčrtovou rovinu, definujeme pracovní rovinu a to tak, že v levém ikonovém zvolíme ikonu *pracovní rovina* a šipkou myši ukážeme ve stromu modelu na *rovinu XY*.

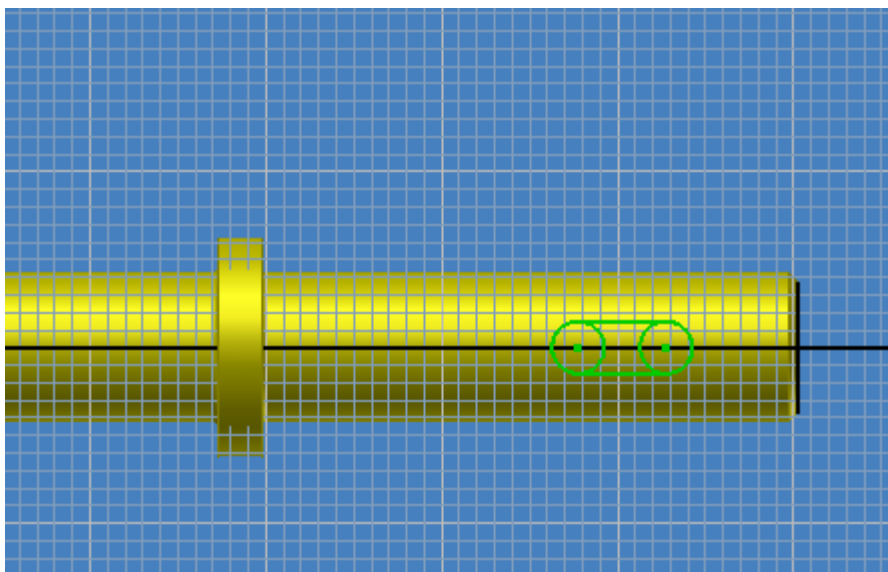
Následně se na pracovní ploše objeví světle zelená pracovní rovina, na kterou najedeme myší a přidržením levého tlačítka myši posuneme touhle rovinou libovolně do prostoru. Poté co pustíme tlačítko myši se objeví dialogové okno, ve kterém zadáme vzdálenost o kterou chceme pracovní rovinu posunout. V našem případě to bude 8.5 mm. Kliknutím pravého tlačítka myši na naši pracovní rovinu se objeví dialogové okno, ve kterém klikneme na *viditelnost*, tím se nám pracovní rovina zprůhlední a nebude překážet při kreslení skici.

Dříve než začneme kreslit skicu drážky pera musíme zvolit náčrtovou rovinu. To opět provedeme tak, že buď v horním ikonovém menu nebo pod pravým tlačítkem myši zvolíme nový náčrt, ale šipkou myši tentokrát ukážeme ve stromu modelu na námi zvolenou a následně posunutou pracovní rovinu.

Krok 2 – náčrt tvaru drážky pro pero

Opět nejdříve v levém ikonovém menu zvolíme ikonu *Promítnou geometrii* a poté ve stromu modelu klikneme na *osu X*. Obdobně si promítneme i pravé čelo hřídele s tím rozdílem, že po zvolení ikony *Promítnout geometrii* klikneme přímo na pracovní ploše na již zmiňované pravé čelo hřídele. K promítnuté ose a čelu se později zakótuje drážka pro pero.

Nyní v levém ikonovém menu klikneme myší na ikonu *Kružnice středem a poloměrem* a kdekoliv na promítnuté ose *X* nakreslíme dvě kružnice. Poloha a poloměr kružnic se určí později pomocí kót. Obě kružnice tangenciálně spojíme pomocí přímek, které jak už bylo řečeno nakreslíme pomocí příkazu *čára*. Nyní vypadá skica, jako na obr. 32.

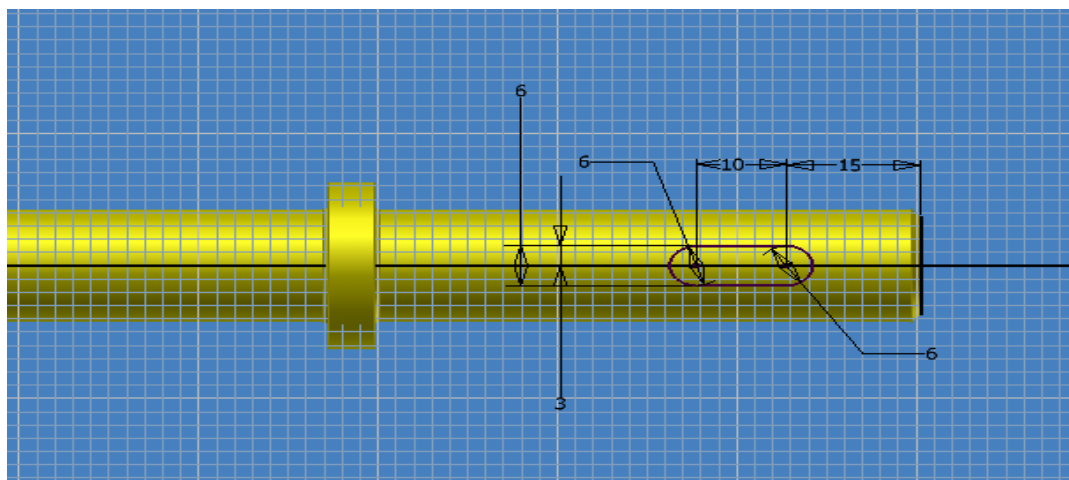


Obr. 32. Skica drážky pro pero

Přebytečné polokružnice se odstraní pomocí příkazu *oříznout*, který nalezneme v levém ikonovém menu. Po kliknutí na tento příkaz klikáme levým tlačítkem myši na části kružnice, které chceme odstranit.

Krok 3 – vazby a kóty

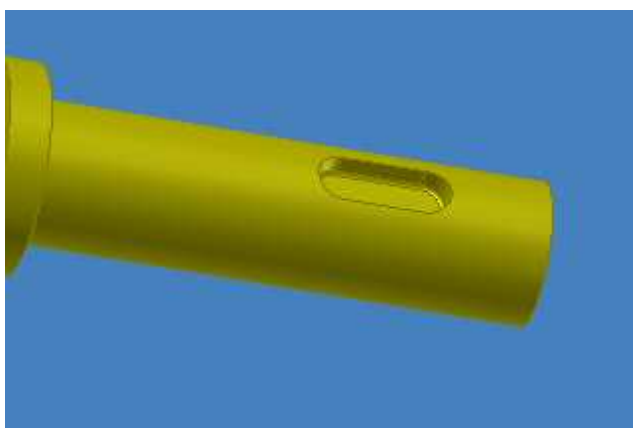
Pro zakótování průměrů polokružnic, polohy středů kružnic a vzdálenosti rovnoběžných čar, které spojují polokružnice, se použije ikona pro *obecnou kótu*, která je umístěna v levém ikonovém menu. Poloha středu kružnice se zakótuje vůči čelu hřídele, které jsme si promítli již při tvorbě náčrtu. Poté kóty opět editujeme. Okótovaná a zavazbená skica vypadá zhruba viz obr. 33.



Obr. 33. Okótovaná zavazbená skica drážky pera

Krok 4 – vytvoření prvku

Po ukončení náčrtu zvolíme v levém ikonovém menu ikonu *vysunout*. V dialogovém okně, které se objeví, zvolíme jako profil námi nakreslenou drážku a to tak, že opět klikneme myší někam do prostoru drážky. Dále zatrhne ikonu *odříznout* a v části okna pro zadávání vymezení, zadáme vzdálenost 3,5mm. Poté klikneme na ikonu symbolizující vymezení pouze na jednu stranu a zavřeme dialogové okno kliknutím na *OK*. Tím se vytvoří drážka pro pero, která vypadá následovně – viz. obr. 34. Vyplněné dialogové okno vypadá, jako na obr. 35.



Obr. 34. Hřídel s drážkou pro pero



Obr. 35. Dialogové okno pro tvorbu drážky pera

2.3.4 Tvorba závitové díry pro šroub

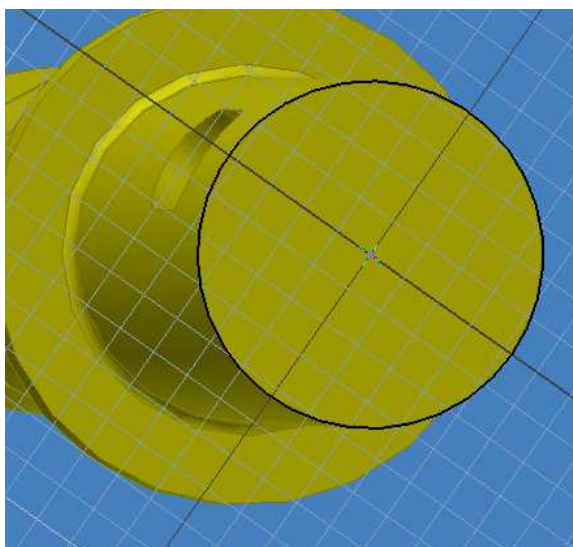
Krok 1 – volba náčrtové roviny

Novou náčrtovou rovinu si zvolíme na čelu hřídele, kde se bude nacházet závitová díra. Provedeme tak, že buď v horním ikonovém menu nebo pod pravým tlačítkem myši zvolíme nový náčrt a šipkou myši ukážeme na dané čelo hřídele.

Krok 2 – náčrt

Opět nejdříve v levém ikonovém menu zvolíme ikonu *Promítnou geometrii* a poté klikneme na čelo hřídele. Tím se promítne kružnice i s jejím středem.

Nyní v levém ikonovém menu klikneme myši na ikonu *Bod, střed díry* a klikneme myši na již dříve promítnutý střed kružnice čela. Nyní vypadá skica, jako na obr. 36.



Obr. 36. Skica pro tvorbu závitové díry

Krok 3 – vazby a kóty

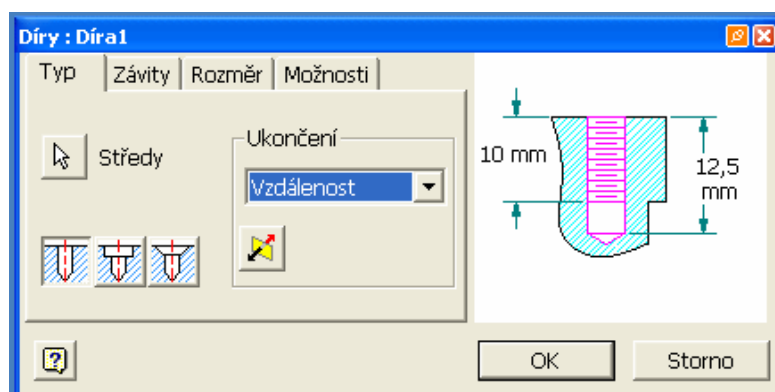
Jelikož je poloha závitové díry již pevně daná středem kružnice čela, nejsou dále zapotřebí žádné vazby ani kóty.

Krok 4 – vytvoření prvku

Po ukončení náčrtu zvolíme v levém ikonovém menu, které se po ukončení skici změní, ikonu *Díra*.

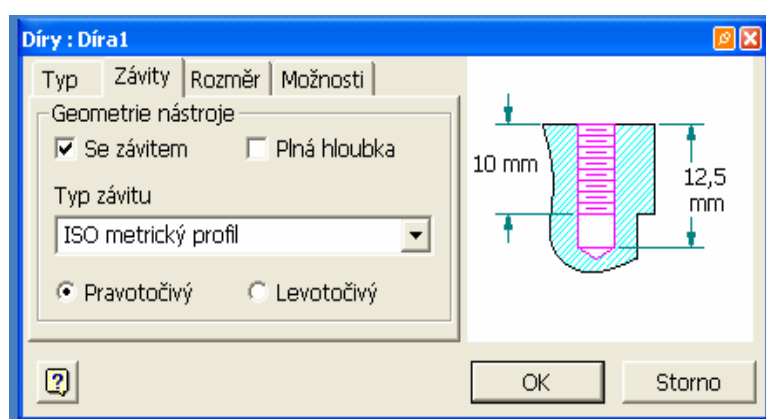
V dialogovém okně, které se objeví, se zvolí střed díry automaticky, jelikož jsme si ho již definovali pomocí ikony *Bod, střed díry* při tvorbě náčrtu. Nyní se nacházíme v části okna pro zadávání *typu* díry, kde v podokně pro ukončení zadáme *vzdálenost*. Ze tří možných ikon pro zvolení typu díry klikneme na tu první zleva. V pravé části dialogového okna se zobrazuje okótovaný řez díry, ve kterém se zadá hloubka díry i závitu a to pouhým

přepsáním kót ve zobrazovaném řezu. Vyplněná část dialogového okna pro zadání typu díry vypadá, jako na obr. 37.



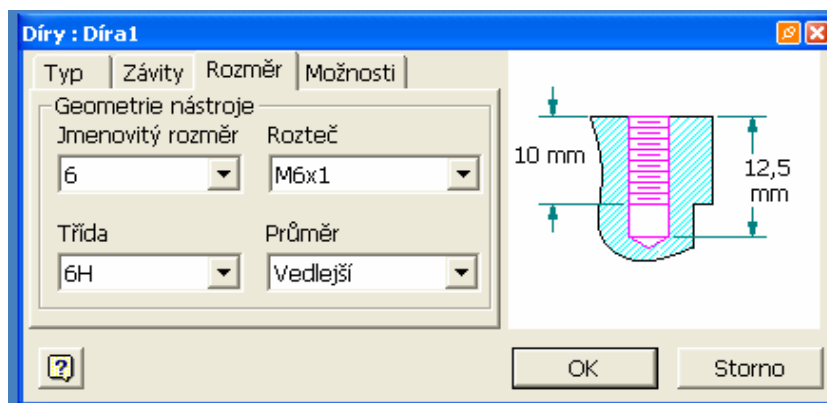
Obr. 37. Část dialogového okna pro zadání *Typu* díry

Následně se přepneme do části okna *Závity*, která slouží k definování závitu v díře. Kde v podokně *geometrie nástroje* zatrhne *Se závitem*, jako typ závitu se zvolí *ISO metrický profil* a dole se zatrhne *pravotočivý* typ závitu. Vyplněná část dialogového okna *Závity* vypadá, jako na obr. 38.

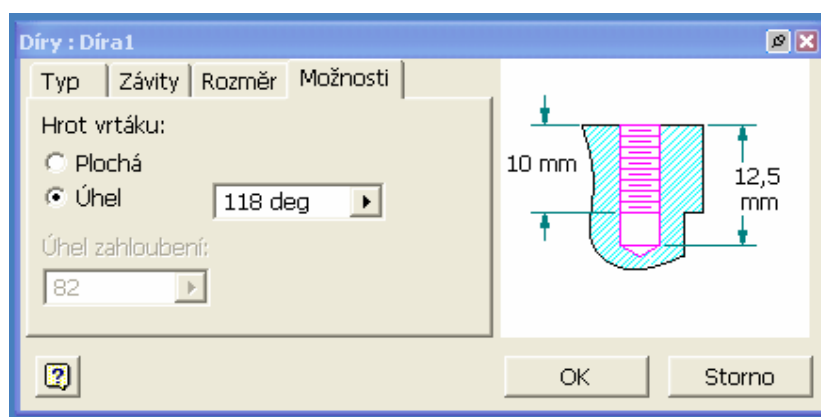
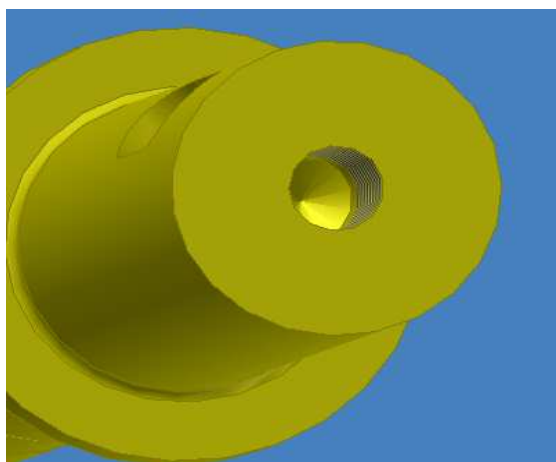


Obr. 38. Část dialogového okna *Závity*

Nyní se přepneme do další části okna, již s názvem *Rozměr*. Kde opět v podokně *geometrie nástroje* zadáme : *Jmenovitý rozměr* = 6, *Rozteč* = M6x1, *Třída* = 6H a *Průměr* = vedlejší. Vyplněná část dialogového okna *Rozměr* vypadá, jako na obr. 39.

Obr. 39. Část dialogového okna *Rozměr*

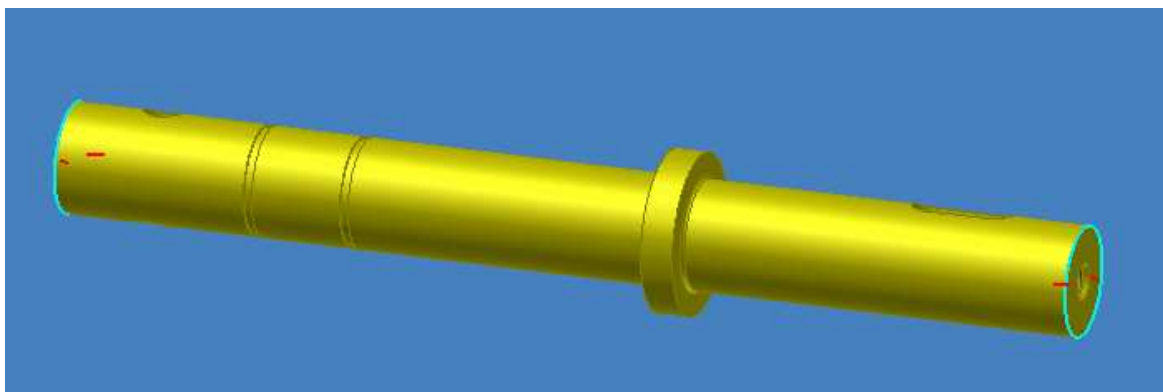
Opět se přepneme do další části okna, nyní s názvem *Možnosti*. Kde zatrhneme odrážku *Úhel* a jeho velikost zadáme 118deg. Vyplněná část dialogového okna *Možnosti* vypadá, jako na obr. 40. Dialogové okno zavřeme kliknutím na *OK*. Následně se vytvoří závitová díra, vypadající následovně – viz. obr. 41.

Obr. 40. Část dialogového okna *Možnosti*

Obr. 41. Závitová díra na hřídeli

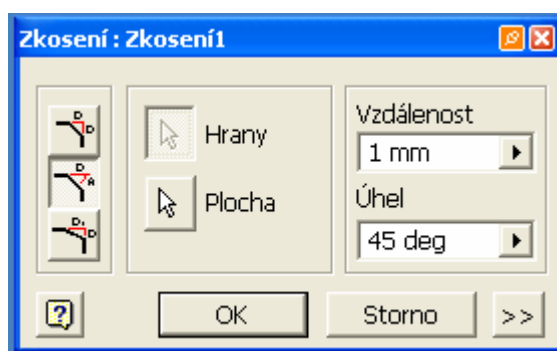
2.3.5 Zkosení hran na čelech hřídele

Pro zkosení hrany zvolíme v levém ikonovém menu ikonu *Zkosení*. V dialogovém okně, které se objeví klikneme na ikonu *Hrany* a levým tlačítkem myši označíme hrany, které chceme zkosit. Hrany po označení vypadají následovně – viz. obr. 42.



Obr. 42. Označené hrany ke zkosení čel na hřídeli

Po označení hran klikneme na prostřední ze tří ikon, nacházejících se v levé části dialogového okna a symbolizujících zkosení hrany pomocí zadání *vzdálenosti* a *úhlu*. Nyní v pravé části dialogového okna zadáme hodnotu *vzdálenosti*, která je v našem případě 1 mm a hodnotu *úhlu*, která je 45 deg. Dialogové okno opět zavřeme kliknutím na *OK*. Po zavření okna dojde ke zkosení hran. Vyplněné dialogové okno vypadá, jako na obr. 43.

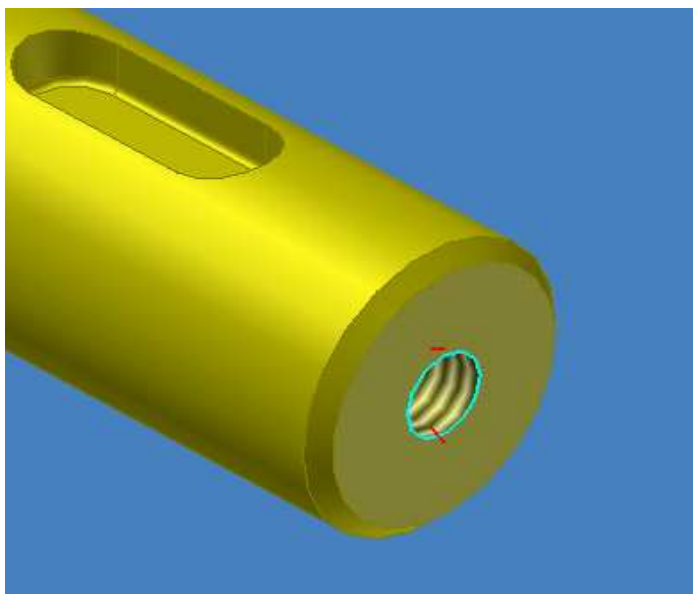


Obr. 43. Dialogové okno pro zkosení čel na hřídeli

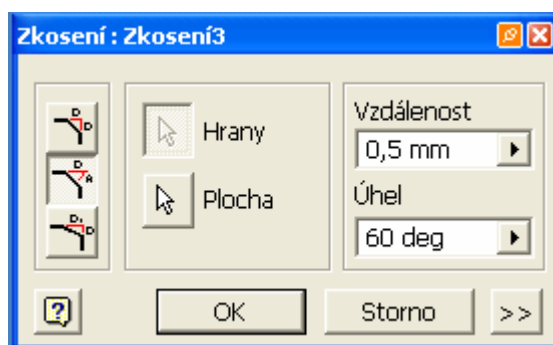
2.3.6 Zkosení hrany závitové díry

Postup je stejný jako při zkosení hran čela hřídele, s tím rozdílem že nyní jako hranu ke zkosení označíme hranu závitové díry. Hodnota *vzdálenosti* a *úlu* zadávaná v dialogovém okně bude samozřejmě taky odlišná od předchozího zkosení čel hřídele. Hodnota *vzdálenosti* nyní bude 1 mm a hodnota *úhlu* 60 deg. Dialogové okno opět

zavřeme kliknutím na OK. Hrana po označení vypadá následovně – viz. obr. 44. Vyplněné dialogové okno vypadá, jako na obr. 45.



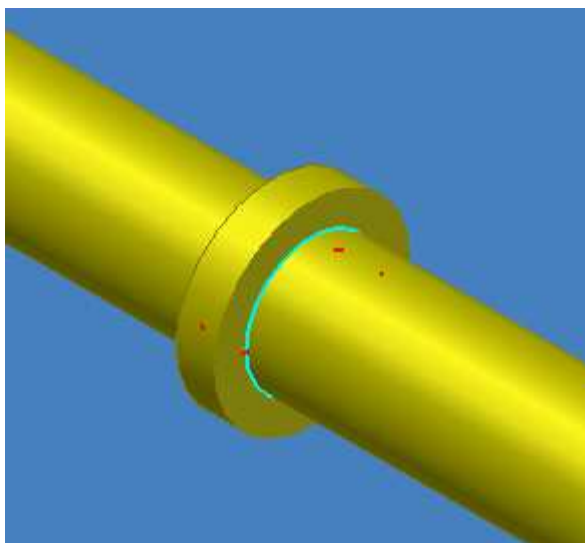
Obr. 44. Označená hrana závitové díry ke zkosení



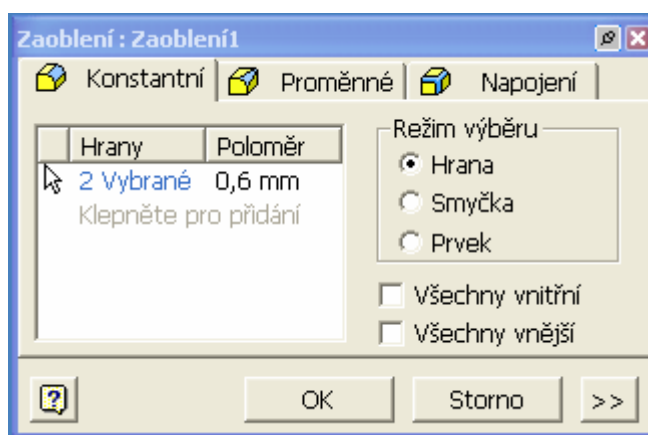
Obr. 45. Dialogové okno pro zkosení hrany závitové díry

2.3.7 Zaoblení hran u osazení na hřídeli

Pro zaoblení hran zvolíme v levém ikonovém menu ikonu *Zaoblení*. V dialogovém okně, které se objeví klikneme v jeho horní části na první ikonu zleva, symbolizující *Konstantní* zaoblení. Dále v pravé části okna, které slouží k upřesnění *Režimu výběru*, klikneme levým tlačítkem myši na položku *Hrana* a poté levým tlačítkem myši označíme hrany které chceme zaoblit. Hodnotu poloměru zaoblení přepíšeme v levé části okna pod nápisem *Poloměr*. Dialogové okno opět zavřeme kliknutím na OK. Hrany po označení vypadají takto – viz. obr. 46. Vyplněné dialogové okno bude shodné s obr. 47.



Obr. 46. Označená hrana osazení



Obr. 47. Dialogové okno pro zaoblení hrany

2.3.8 Rozdělení ploch

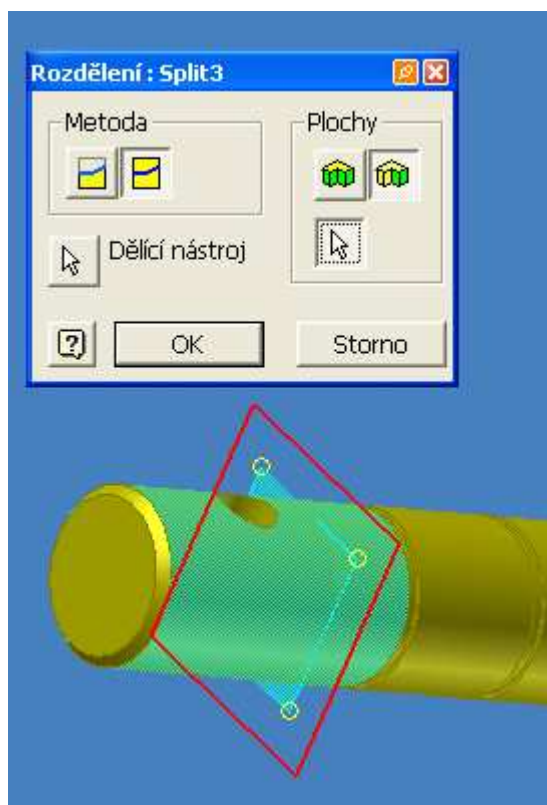
Pro budoucí práci s modelem hřídele v programu COSMOS/DesignSTAR, kde budeme zadávat zatížení silou jen na určité části ploch, je potřeba si tyto plochy připravit rozdělením již v programu Inventor 6.

Připravení plochy pod objímkou kliky

Nejdříve si vytvoříme novou pracovní rovinu pomocí ikony *Pracovní rovina*, která se nachází v levém ikonovém menu. Po kliknutí levým tlačítkem na ikonu, označíme levé čelo hřídele. Poté se na pracovní ploše objeví světle zelená pracovní rovina, na kterou najedeme myší a přidržetím levého tlačítka myši posuneme touhle rovinou libovolně do prostoru. Jakmile pustíme tlačítko myši se objeví dialogové okno, ve kterém zadáme

vzdálenost, o kterou chceme pracovní rovinu posunout. V našem případě to bude o délku objímky kliky, tedy o 21mm.

Jakmile máme připravenou pracovní rovinu, zvolíme ikonu *Rozdělit*, která se také nachází v levém ikonovém menu. V dialogovém okně, které se objeví, si zvolíme jako dělicí nástroj pracovní rovinu, kterou jsme si před chvílí vytvořily. Poté v části dialogového okna, která slouží pro výběr plochy k dělení, klikneme myší na šipku a označíme plochu, kterou chceme rozdělit, kliknutím levým tlačítkem myši kamkoliv do prostoru této plochy. Metodu zvolenou pro dělení, označenou plochu a dialogové okno vidíme na obr. 48.



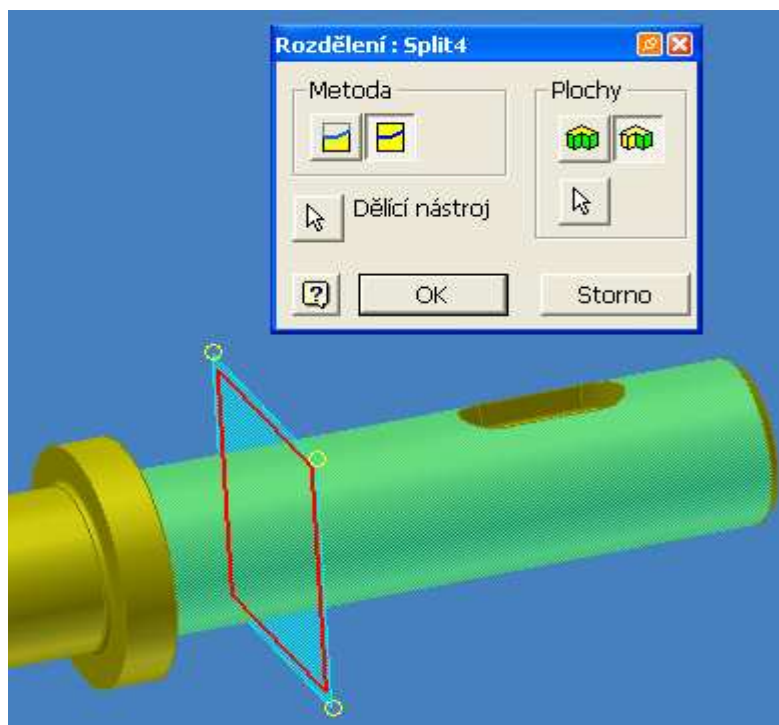
Obr. 48. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 1

Připravení plochy pod pravým ložiskem

Opět si nejdříve vytvoříme pracovní rovinu. Postup je analogický předchozímu případu, s tím rozdílem, že po zvolení ikony *Pracovní rovina* označíme pravé čelo osazení hřídele

a rovinu posuneme o 14 mm, což je šířka ložiska. Po vyvolání příkazu *Rozdělit*, postupujeme opět stejně jako v předešlém případě, jen dělicí nástroj a dělená ploch jsou

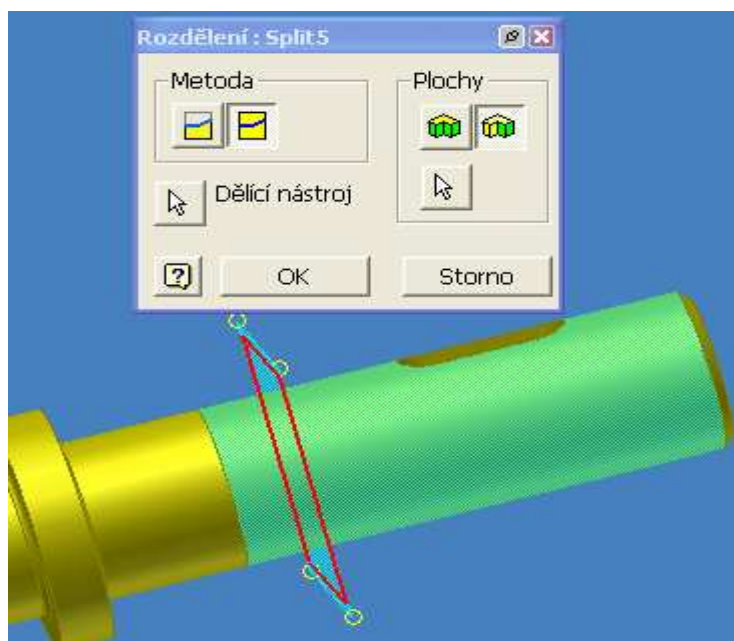
rozdílné. Dělicí nástroj bude samozřejmě námi vytvořená pracovní rovina a označenou plochu s dialogovým oknem vidíme na obr. 49.



Obr. 49. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 2

Připravení plochy pod ozubeným kolem

Postup je stejný jako při přípravě plochy pod pravým ložiskem, jen posun roviny je místo 14 mm 21mm. Rozdílný je i dělicí nástroj a dělená plocha. Dělicí nástroj je opět námi vytvořená rovina a označenou plochu k dělení spolu s dialogovým oknem znázorňuje obr. 50.

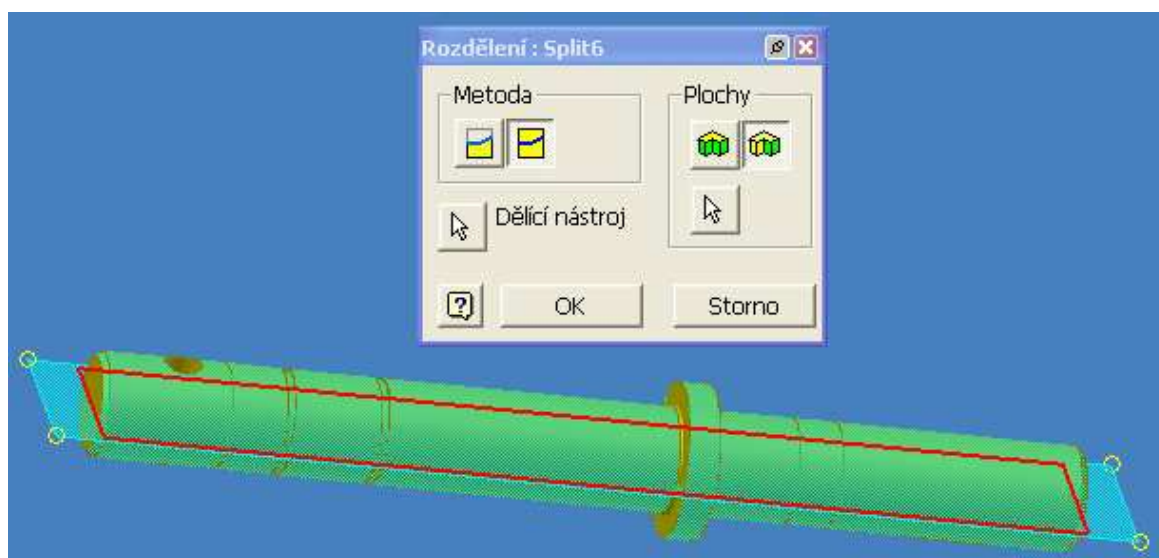


Obr. 50. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 3

Podélné rozdělení plochy celé hřídele

Tohle rozdělení je nutné, protože v programu COSMOS nebudeme zadávat celou plochu pod objímkou kliky či celou plochu pod ozubeným kolem, nýbrž jen jejich polovinu.

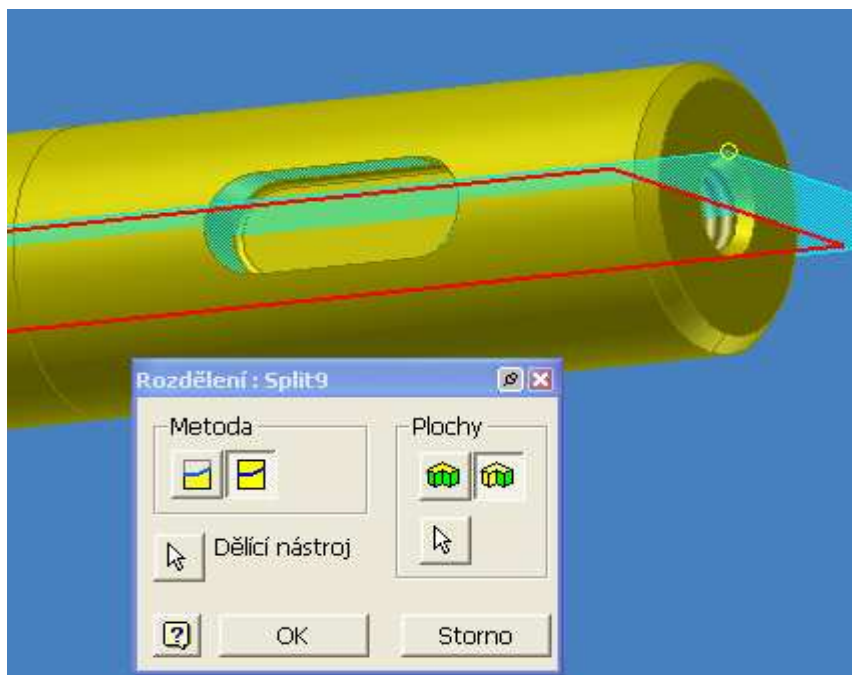
Nyní není třeba si připravovat pracovní rovinu, protože jako dělicí nástroj si po vyvolání příkazu *Rozdělit* zvolíme ve stromu modelu rovinu XY. Jako plochu k dělení postupným klikáním myši na jednotlivé plochy určíme celou plochu hřídele. Označenou plochu k dělení a dialogové okno vidíme na obr. 51.



Obr. 51. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 4

Rozdělení plochy drážky pera

Opět není třeba si připravovat pracovní rovinu. Jako dělicí nástroj si nyní po vyvolání příkazu *Rozdělit* zvolíme ve stromu modelu rovinu *XZ*. Jako plochu k dělení určíme postupným klikáním myši celou drážku pera. Označenou plochu k dělení a dialogové okno znázorňuje obr. 52.

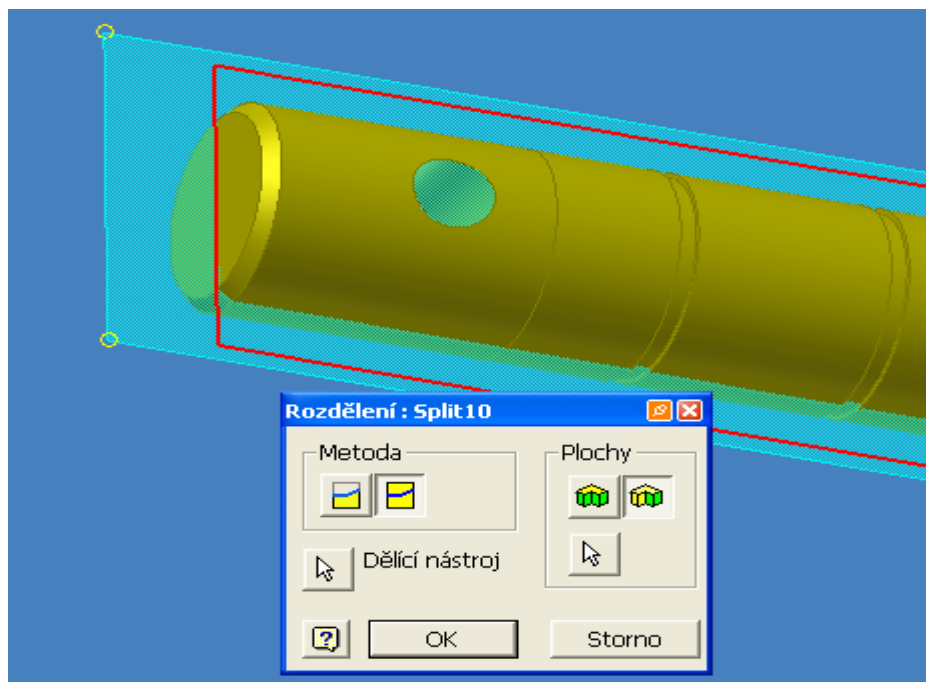


Obr. 52. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 5

Rozdělení vnitřní plochy díry pro kolík

Podélné rozdělení

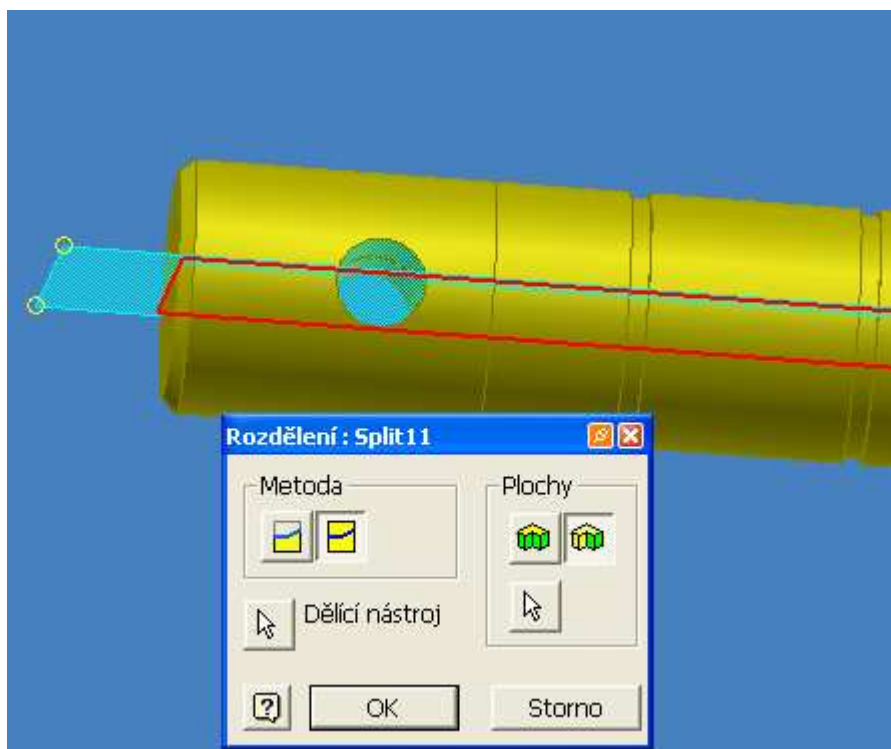
Dělicím nástrojem po vyvolání příkazu *Rozdělit* zvolíme ve stromu modelu rovinu *XY*. Plochu k dělení bude tvořit vnitřní plocha díry. Označenou plochu k dělení a dialogové okno ukazuje obr. 53.



Obr. 53. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 6

Osové rozdělení

Jako dělicí nástroj si nyní následně po vyvolání příkazu *Rozdělit* zvolíme ve stromu modelu *rovinu XZ*. Jako plochu k dělení určíme postupným klikáním myši celou vnitřní plochu díry pro kolík. Označenou plochu k dělení a dialogové okno vidíme na obr. 54.



Obr. 54. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 7

2.4 Postup pro aplikaci výpočtu lineární statiky na model hřídele v programu COSMOS/M - DesignStar

2.4.1 Spuštění COSMOS/DesignStar a otevření součásti

Program zpustíme z ikony, umístěné na pracovní ploše. V horním menu zvolíme *Files* a v něm klikneme myší na položku *Open*. V části dialogového okna, pro zadávání typu souboru, změníme filtr na *STEP Files (*.stp, *.step)*. V horní části okna si nalistujeme součást, kterou chceme analyzovat. V našem případě *hřídel-dobře*, kterou jsme vymodelovali pomocí programu Inventor 6. Důležité je, uložit si hřídel v Inventoru s koncovkou **.stp*.

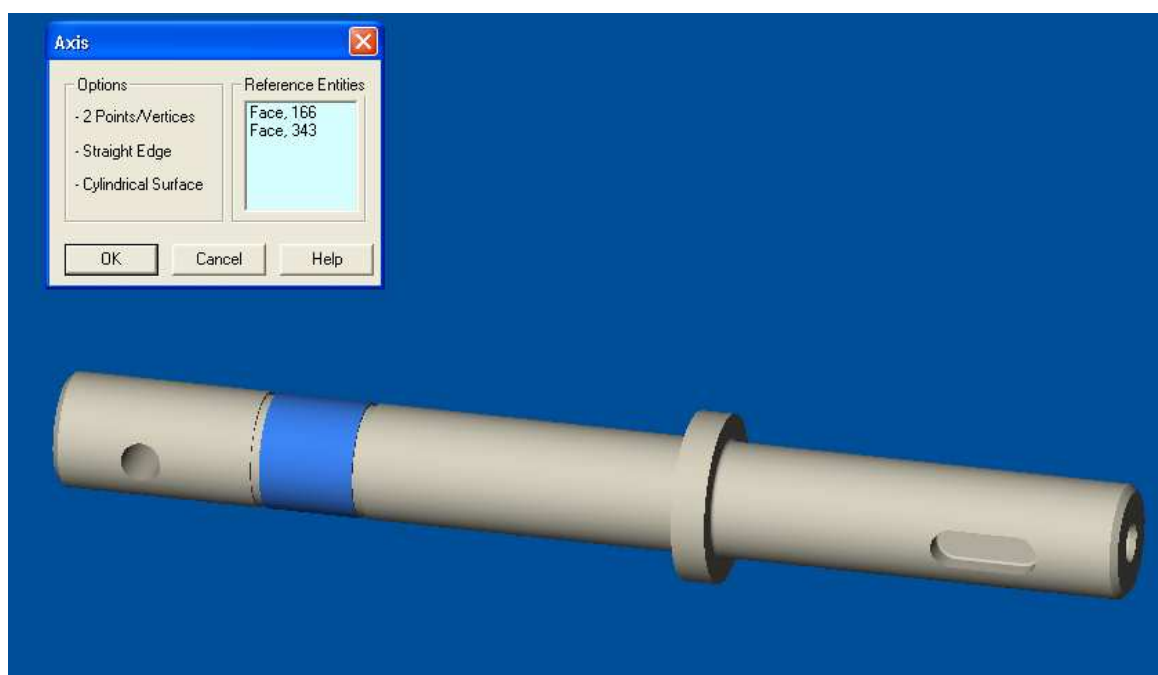
2.4.2 Vytvoření pomocných os pod ložisky

Vytvořené osy využijeme při zadávání uchycení součásti pod ložisky. Osu vytvoříme kliknutím pravého tlačítka myši na ikonu *Reference Geometry*, která je umístěna ve stromové struktuře. Ve zobrazeném rozbalovacím menu levým tlačítkem myši zvolíme položku *Axis*. Tím se nám otevře dialogové okno, ve kterém se nám budou zobrazovat námi vybrané plochy, ze kterých program automaticky vygeneruje osu. Vybereme plochu pod vnitřním kroužkem ložiska a to tak, že na ni klikneme levým tlačítkem myši. Vybíráme-li více ploch, přidržíme klávesu *Ctrl* a myší klikáme na jednotlivé plochy. Pro správný výběr plochy je potřeba mít vhodně nastavený filtr pro výběr geometrických entit. Nastavení filtru je znázorněno na obr. 55. Dialogové okno pro výběr ploch a označená

plocha pod ložiskem je znázorněna obr. 56. Po výběru ploch a klinutí na tlačítko *ok* , se vytvoří potřebná osa. Stejným způsobem vytvoříme osu i pod druhým ložiskem.



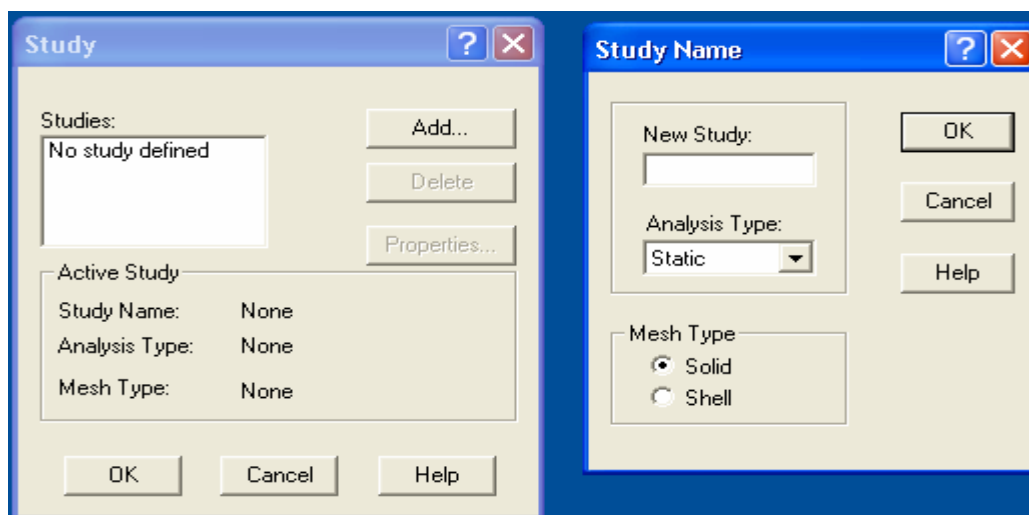
Obr. 55. Filtry pro výběr geometrických entit



Obr. 56. Dialog a označená plocha pro tvorbu os

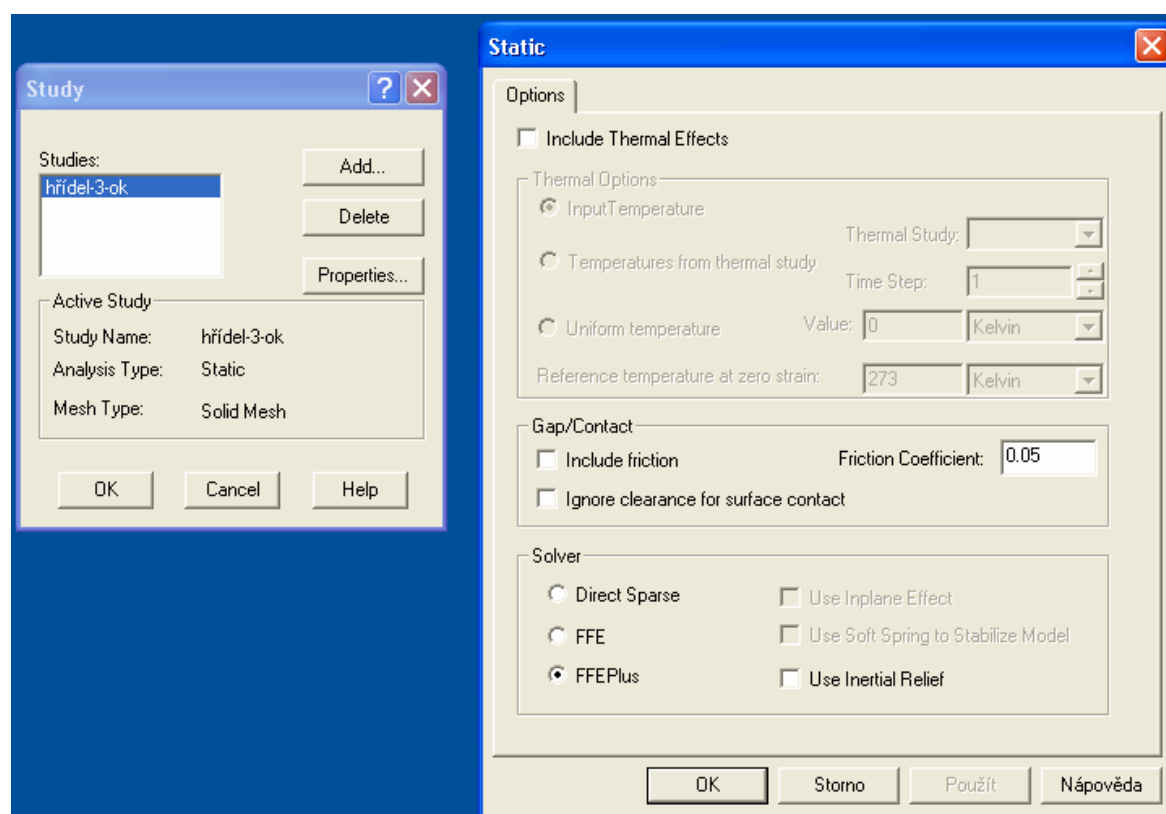
2.4.3 Definice výpočtové studie

Klikneme pravým tlačítkem myši na jméno tělesa v okně stromové struktury. V našem případě na *hřídel-dobře* (je to první ikona v celé stromové struktuře). Dále levým tlačítkem myši vybereme z rozbalovacího menu položku *Study*. Ve zobrazeném dialogovém okně klikneme na *Add* . Následně se objeví další dialog, kde do pole *New Study* napíšeme jméno úlohy. V *Analysis Type* zvolíme *Static*, v *Mesh Type* označíme *Solid* a potvrdíme tlačítkem *OK*. Dialogové okna jsou znázorněna na obr. 57.



Obr. 57. Dialogové okna pro definici výpočtové studie - Add

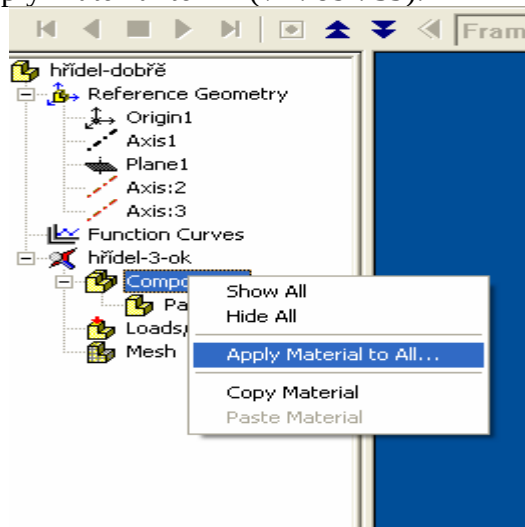
Poté se pravé dialogové okno *Study Name* zavře a v levém dialogu *Study* klikneme na *Properties...* Dialogové okno *Static*, které se poté otevře, vyplníme podle obr. 58. Po vyplnění, okna postupně zavřeme pomocí tlačítka *OK*.



Obr. 58. Dialogové okna pro definici výpočtové studie - Properties

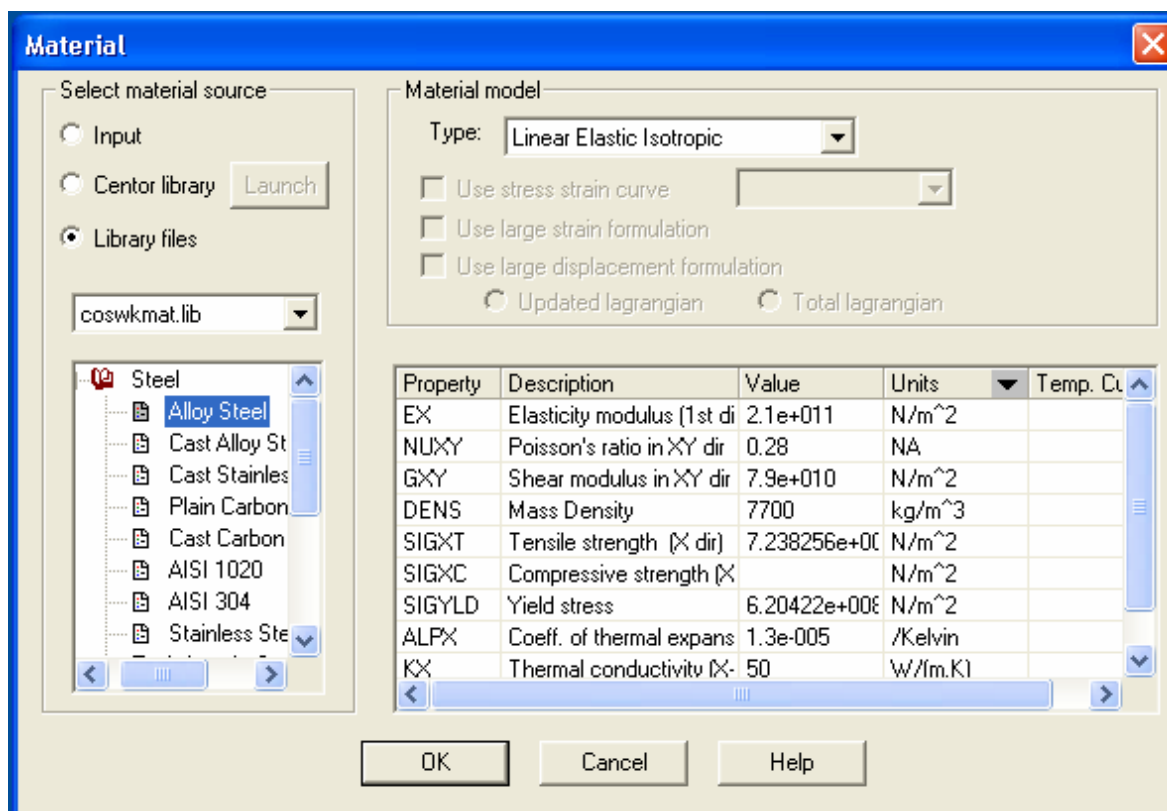
2.4.4 Definice materiálu

Ve stromové struktuře modelu klikneme pravým tlačítkem myši na *Components* a vybereme položku *Apply Material to All* (viz. obr. 59).



Obr. 59. Definice materiálu

Po výběru položky *Apply Material to All* se otevře dialogové okno *Material* (viz. obr. 60), ve kterém si zvolíme potřebný materiál. Náš model hřídele byl vytvořen v *mm*. Přesto můžeme použít nabízenou knihovnu, která zná pouze metry, centimetry a anglické jednotky. DesignSTAR totiž převedl automaticky model hřídele do soustavy jednotek SI (m, kg). Vedle materiálů z uvedené knihovny můžeme ručně zadat materiál, který v knihovně není. My vybereme jako materiál *Alloy Steel* (slitinovou ocel) a potvrdíme tlačítkem *OK*.



Obr. 60. Dialogové okna pro definici materiálu

2.4.5 Zatížení a uchycení součásti

Zatížení díry pro kolík

Kroutící moment M_k se z kliky přenáší na hřídel pomocí kolíku. My budeme aplikovat střížnou sílu F_s , působící na kolík, na dvě čtvrt plochy díry pro kolík. Označíme dvě čtvrt plochy, které budou vůči sobě v křížné poloze a zatěžující síla F_s na jednotlivých čtvrt plochách bude mít opačný směr. Tím docílíme zatížení hřídele od M_k . Síla F_s byla spočítána v kapitole 2.2.3 a její velikost je 1235 N.

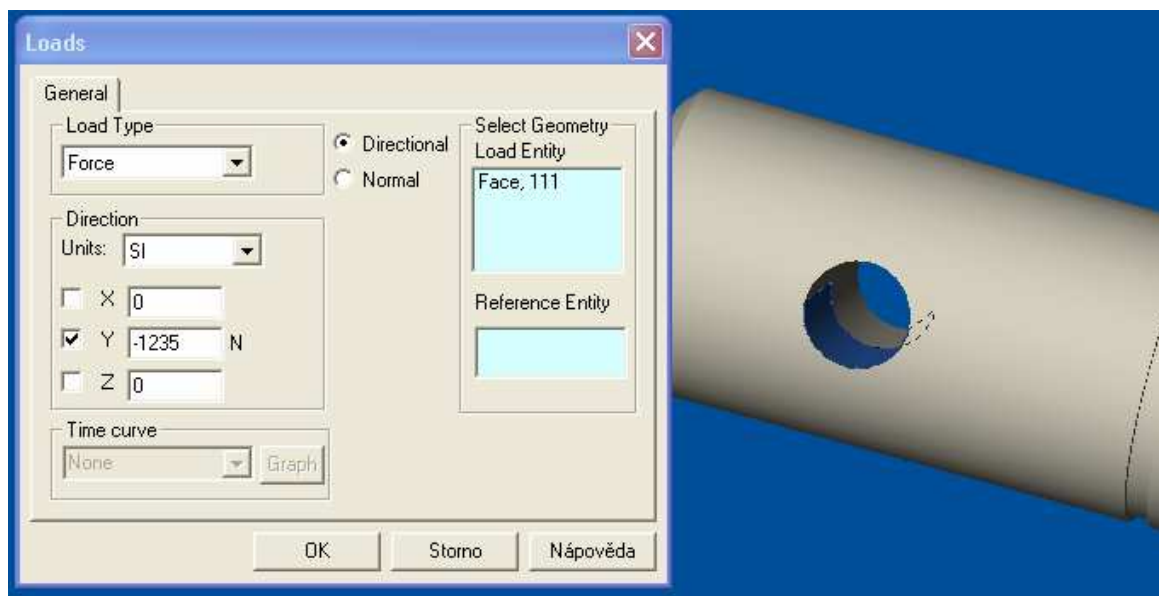
Abychom vybrali pouze plochy, které potřebujeme, musíme nejdřív vypnou společné vybírání tečných ploch. Filtr pro výběr ploch bude vypadat jako na obr. 61.



Obr. 61. Filtr pro výběr ploch

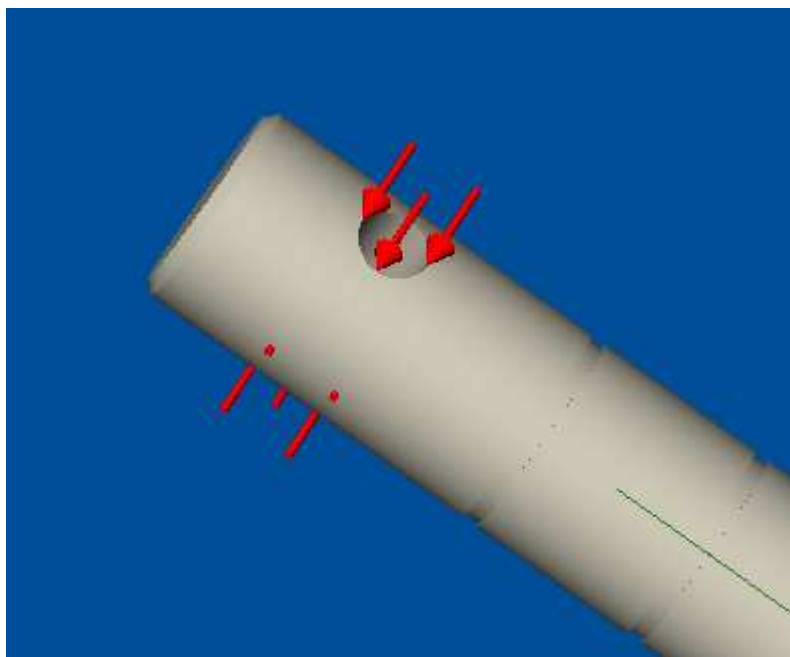
Nyní klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Loads/BC* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši zvolíme položku *Load* pro zadání síly. Tím se nám otevře dialogové okno *Loads*, ve kterém změníme položku *Load type* z *Uniform Pressure*

na *Force* a směr síly nastavíme na *Directional*. Jednotky *Units* nastavíme na *SI*. Dále zatrhneme políčko *Y* a vypíšeme hodnotu -1235. Nyní levým tlačítkem myši klikneme na čtvrt plochu díry pro kolík. Po výběru plochy potvrdíme a zároveň zavřeme dialogové okno tlačítkem *OK*. Označenou plochu a vyplněné dialogové okno znázorňuje obr. 62.



Obr. 62. Dialog pro zatížení součásti a označená ploch kolíku

Stejným způsobem zatížíme i křížnou čtvrt plochu díry kolíku, s tím rozdílem, že do políčka *Y* zapíšeme kladný smysl působení síly. Tedy jen 1235, bez znaménka mínus. Výsledné zatížení válcové díry kolíku je vidět na obr. 63.

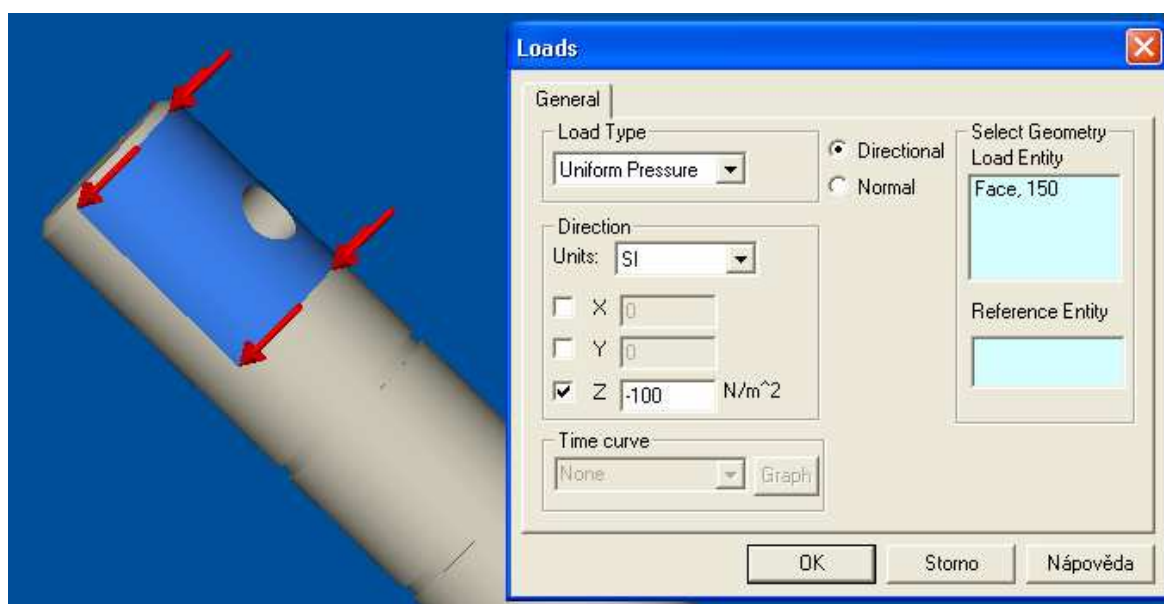


Obr. 63. Výsledné zatížení válcové díry kolíku

Zatížení ohybovou silou od páky

Zatěžující ohybová síla od páky $F_p = 100 \text{ N}$, se na hřídel přenáší pomocí objímky, která je nasunuta na hřídeli. Nepřenáší se však celou plochou pod objímkou, nýbrž jen polovinou této plochy. Délka přenášené plochy je rovna délce objímky.

Postup aplikace síly od páky je podobný, jako v předchozím případě. Opět klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Loads/BC* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši zvolíme položku *Load* pro zadání síly. Tím se nám otevře dialogové okno *Loads*, ve kterém změníme položku *Load type* z *Uniform Pressure* na *Force* a směr síly nastavíme na *Directional*. Jednotky *Units* nastavíme na *SI*. Dále zatrhne políčko *Z* a vypíšeme hodnotu -100. Nyní levým tlačítkem myši klikneme na polovinu plochy pod objímkou. Po výběru plochy potvrdíme a zároveň zavřeme dialogové okno tlačítkem *OK*. Označenou plochu, vyplněné dialogové okno a výsledné zatížení znázorňuje obr. 64.

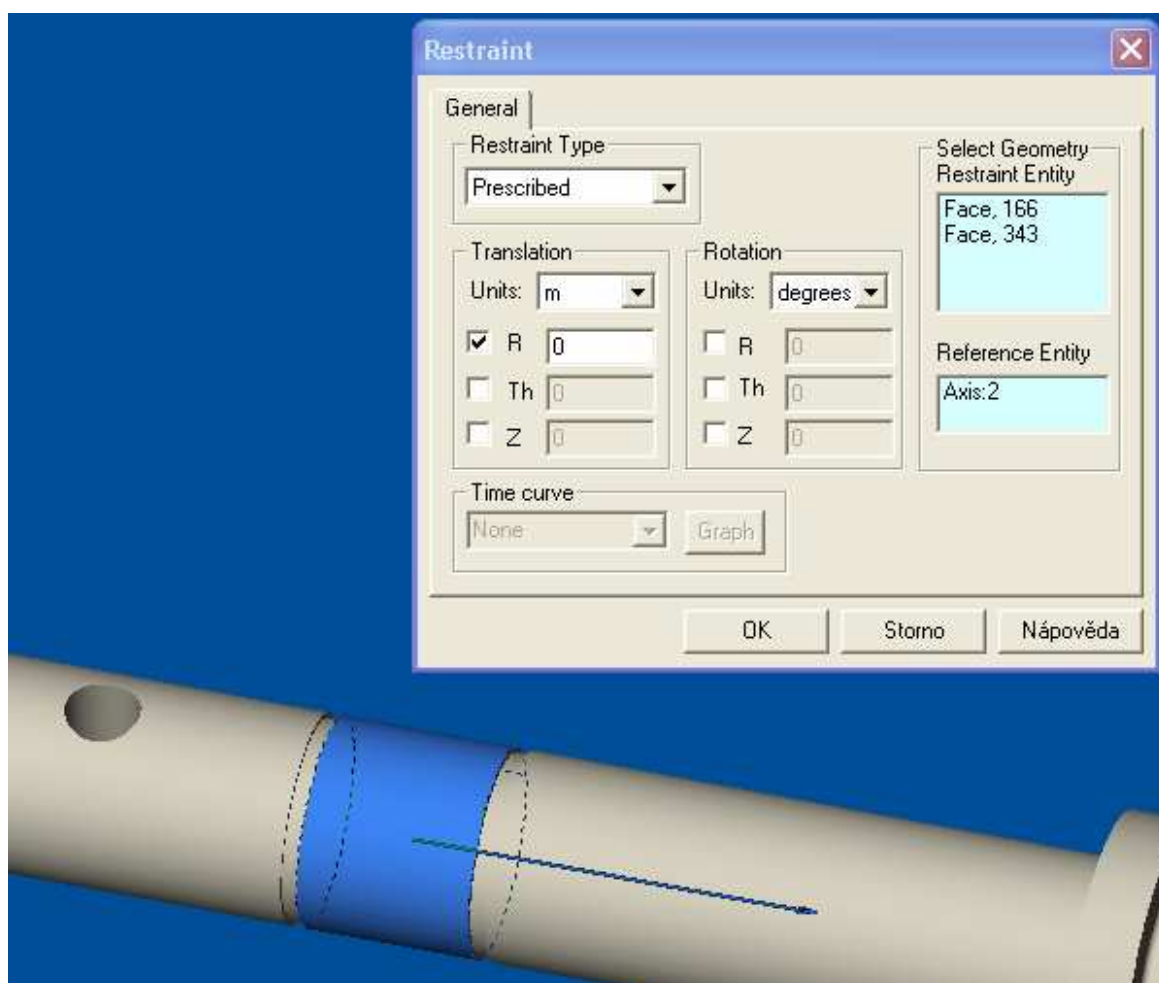


Obr. 64. Dialog pro zatížení součásti od páky, označená plocha, výsledné zatížení

Uchycení součásti pod levým ložiskem

Klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Loads/BC* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši zvolíme položku *Restraints* pro zadání uchycení. Dále ve zobrazeném dialogovém okně *Restraint* vybereme v rozbalovacím menu *Restrain Type* položku *Prescribed* (v předepsaných směrech). Nyní levým tlačítkem myši vybereme plochu pod ložiskem a osu pod ložiskem. Poté se nám z původních směrů uchycení v globálním souřadném systému *x*, *y*, *z*, změní možnosti uchycení na *R* (radiální), *Th* (tečný - rotace), a *Z*. V našem případě zatrhne políčko *R* a ponecháme hodnotu 0.

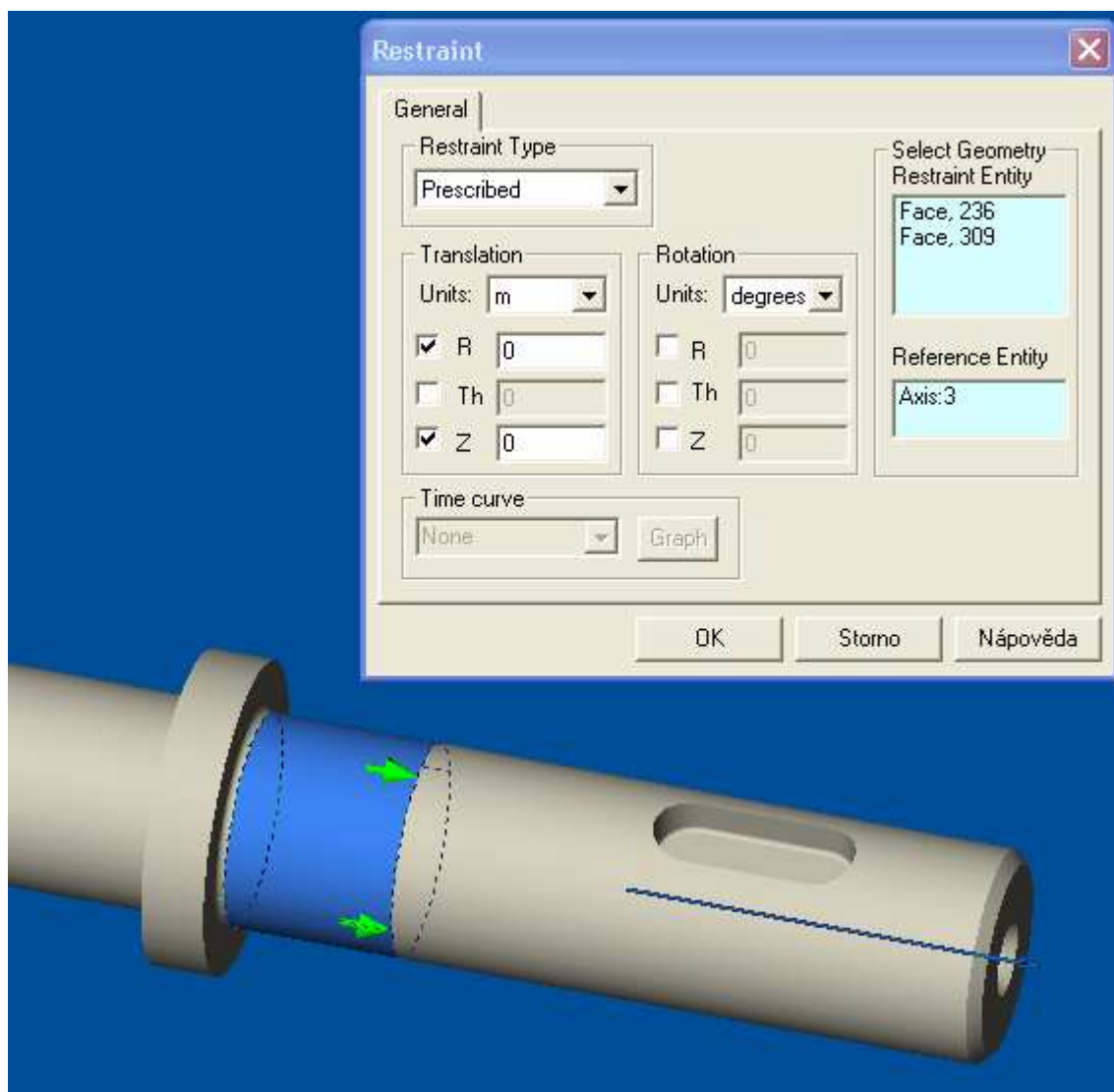
Dialog potvrdíme tlačítkem OK. Označenou plochu, osu a vyplněné dialogové okno zobrazuje obr. 65.



Obr. 65. Dialog pro uchycení součásti, označená plocha a osa

Uchycení součásti pod pravým ložiskem

Postup je podobný jako při uchycení součásti pod levým ložiskem. Opět klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Loads/BC* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši zvolíme položku *Restraints* pro zadání uchycení. Dále ve zobrazeném dialogovém okně *Restraint* vybereme v rozbalovacím menu *Restrain Type* položku *Prescribed* (v předepsaných směrech). Nyní levým tlačítkem myši vybereme plochu pod pravým ložiskem a osu pod ní. Opět se nám z původních směrů uchycení v globálním souřadném systému x, y, z změní možnosti uchycení na R (radiální), Th (tečný - rotace), a Z. Ale nyní, na rozdíl od uchycení součásti pod levým ložiskem zatrhne nejen políčko R, ale i políčko Z a v obou případech ponecháme hodnotu 0. Dialog potvrdíme tlačítkem OK. Označenou plochu, osu a vyplněné dialogové okno znázorňuje obr. 66.



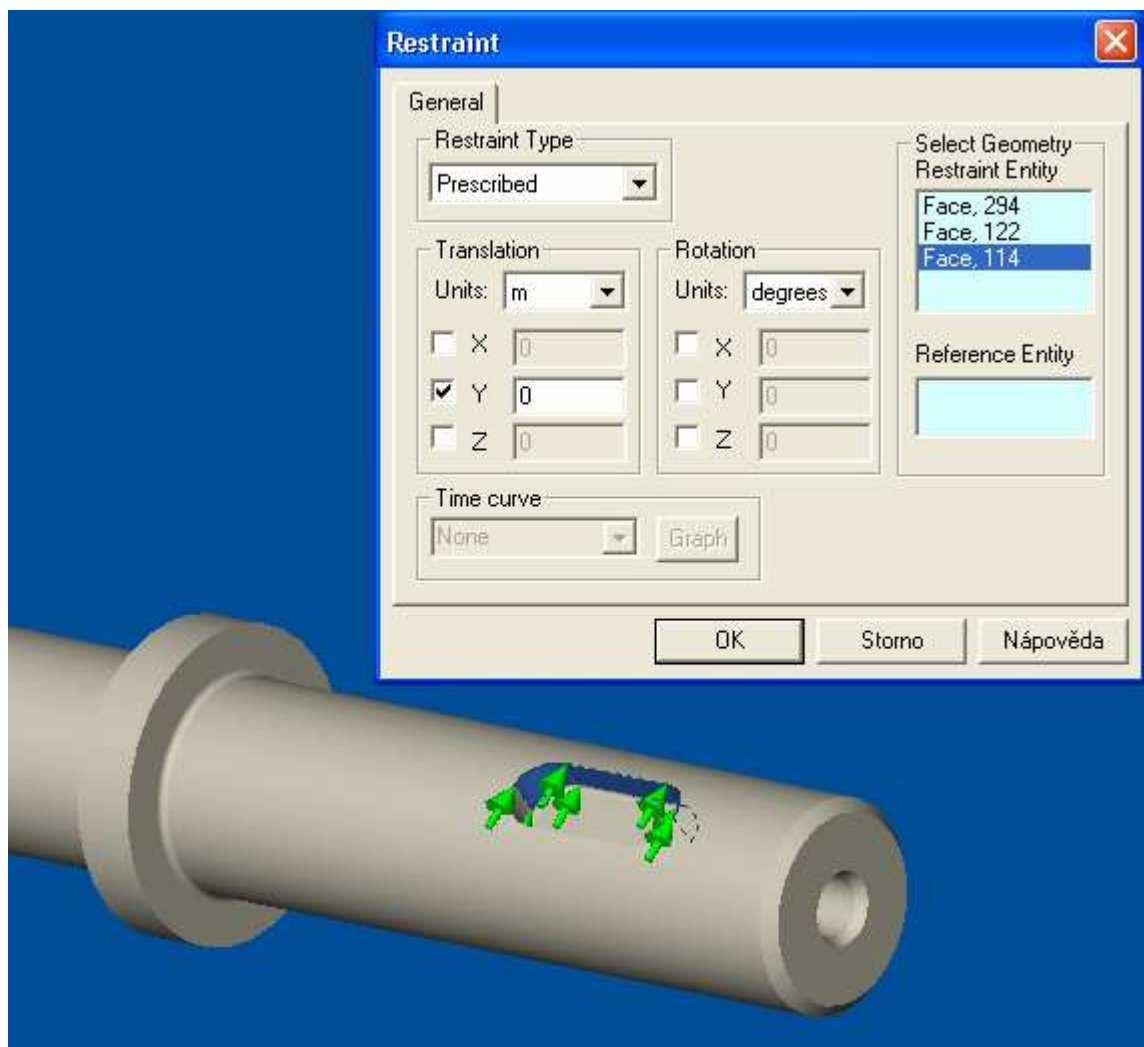
Obr. 66. Dialog pro uchycení součásti pod pravým ložiskem, označená plocha, osa a znázorněné výsledné uchycení

Zachycení kroutícího momentu drážkou pera

Aby byla hřídel namáhána krutem, je potřeba přenášený kroutící moment někde zachytit. V našem případě bude zachycován plochou boků drážky pera. Ne však celou plochou boků, nýbrž jen její polovinou.

Pro uchycení klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Loads/BC* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši zvolíme položku *Restraints* pro zadání uchycení. Dále ve zobrazeném dialogovém okně *Restraint* vybereme v rozbalovacím menu *Restrain Type* položku *Prescribed* (v předepsaných směrech). Nyní levým tlačítkem myši vybereme

polovinu plochy boků drážky pera. Zatrhneme políčko Y a ponecháme hodnotu 0. Dialog potvrdíme tlačítkem OK. Označenou plochu, vyplněné dialogové okno a výsledné uchycení vidíme na obr. 67.



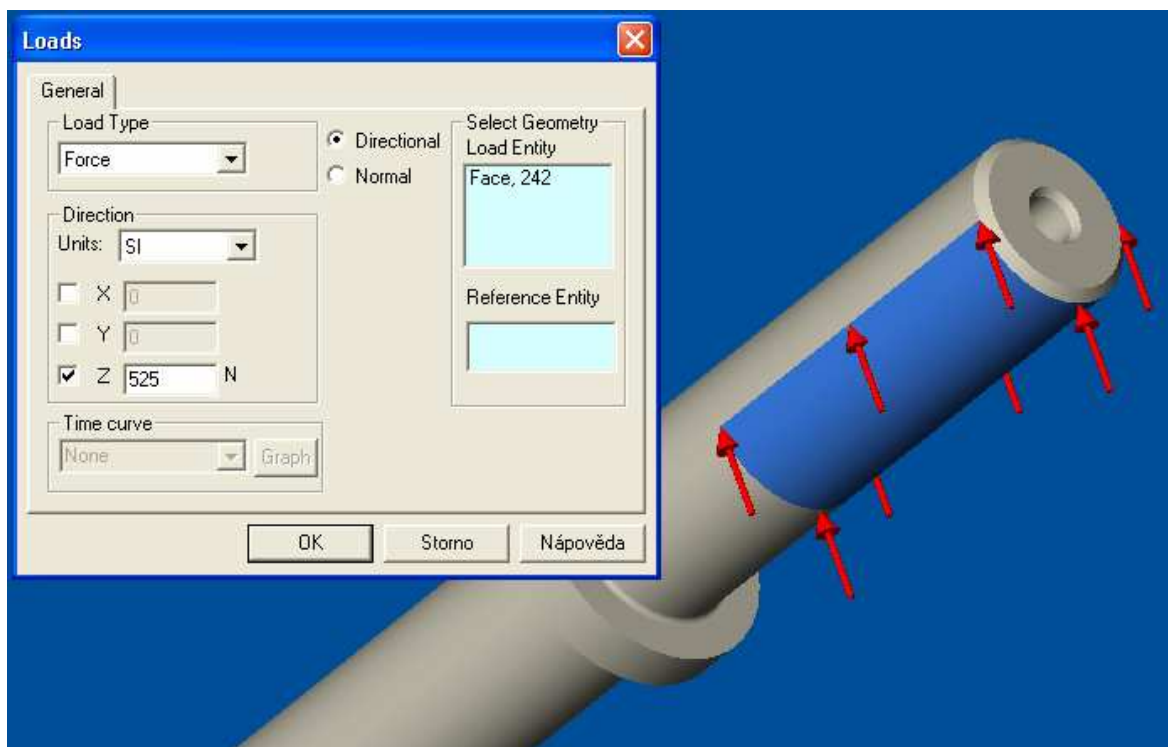
Obr. 67. Dialog pro uchycení, označená plocha a znázorněné výsledné uchycení

Zatížení ohybovou silou od ozubeného kola

Zatěžující ohybová síla od ozubení $F_{oz} = 525 \text{ N}$, která byla spočítána v kapitole 2.2.3, se na hřídel přenáší pomocí plochy pod ozubeným kolem. Nepřenáší se však celou plochou pod ozubením, nýbrž jen její polovinou. Délka přenášené plochy je rovna šířce ozubení.

Postup aplikace síly od ozubení je podobný jako při aplikaci síly od páky. Opět klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Loads/BC* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši zvolíme položku *Load* pro zadání síly. Tím se nám otevře dialogové okno *Loads*, ve kterém změníme položku *Load type* z *Uniform Pressure* na *Force* a směr síly nastavíme na *Directional*. Jednotky *Units* nastavíme na *SI*. Dále zatrhneme políčko *Z*

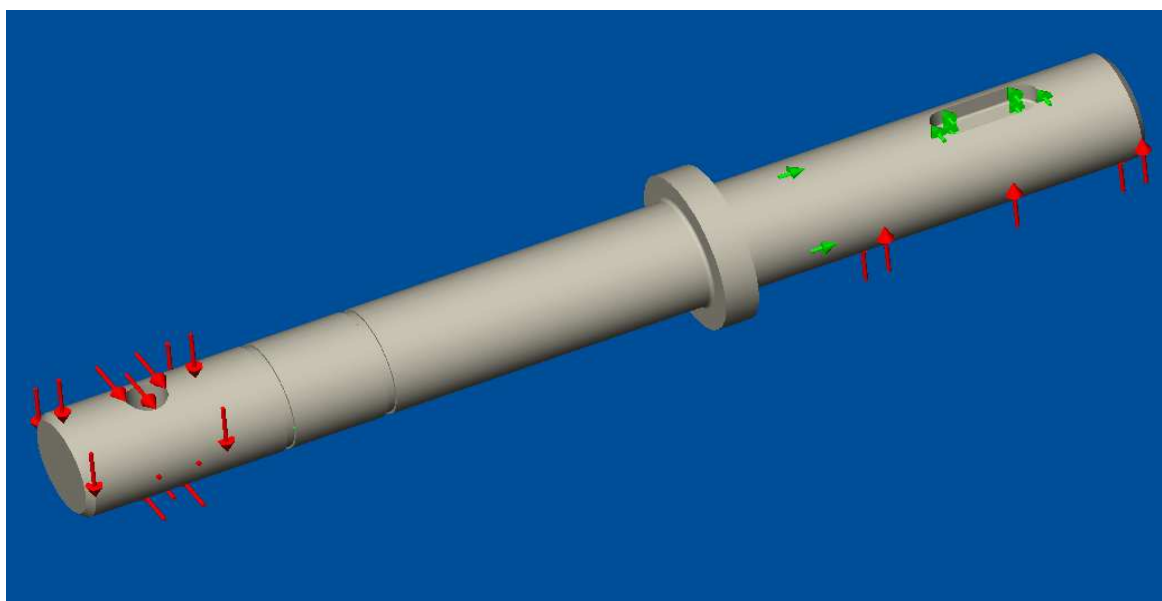
a vypíšeme hodnotu 525. Nyní levým tlačítkem myši klikneme na polovinu plochy pod ozubením. Po výběru plochy potvrdíme a zároveň zavřeme dialogové okno tlačítkem OK. Označenou plochu, vyplněné dialogové okno a výsledné zatížení vidíme na obr. 68.



Obr. 68. Dialog pro zatížení součásti od ozubení, označená plocha, výsledné zatížení

Výsledné zatížení a uchycení hřídele

Po zadání jednotlivých zatížení a uchycení vypadá model hřídel jako na obr.69.



Obr. 69. Výsledné zatížení a uchycení hřídele

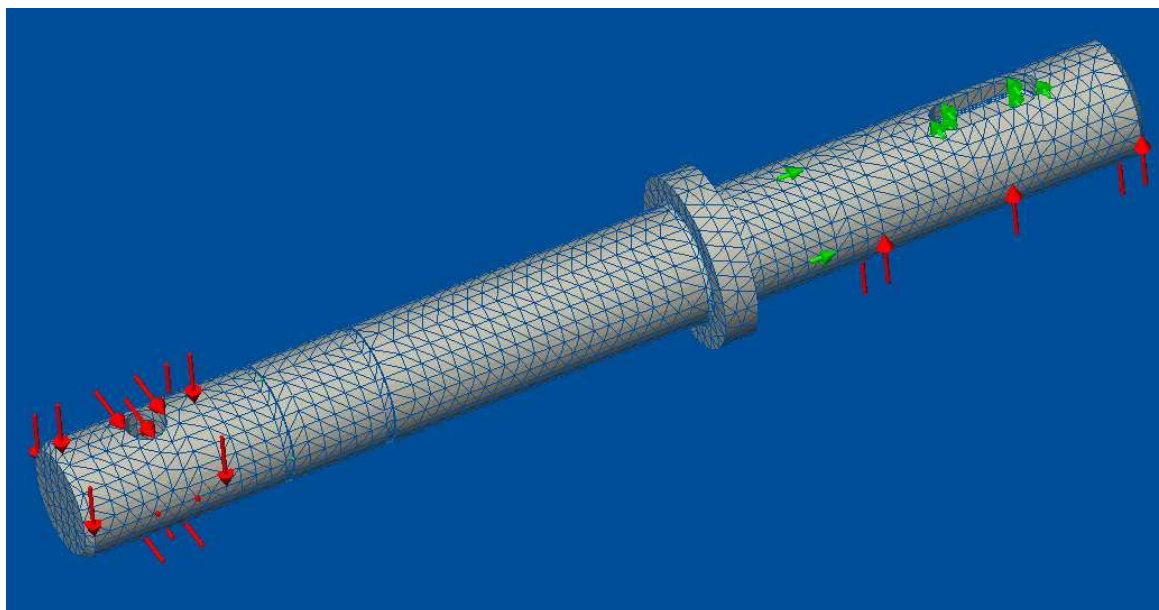
2.4.6 Vytvoření sítě

Pro vytvoření sítě klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Mesh* v okně stromové struktury a v roletovém menu, které se následně objeví, zvolíme položku *Create*. Poté se nám otevře dialogové okno *Mesh* (viz. obr. 70), ve kterém zadáme velikost sítě. To lze provést vyplněním okna *Global Size* nebo posunutím kurzoru v horní části dialogového okna. Dialogové okno zavřeme pomocí tlačítka *OK*.



Obr. 70. Dialogové okno pro tvorbu sítě

Po vytvoření sítě vypadá model hřídele jako na obr. 71.



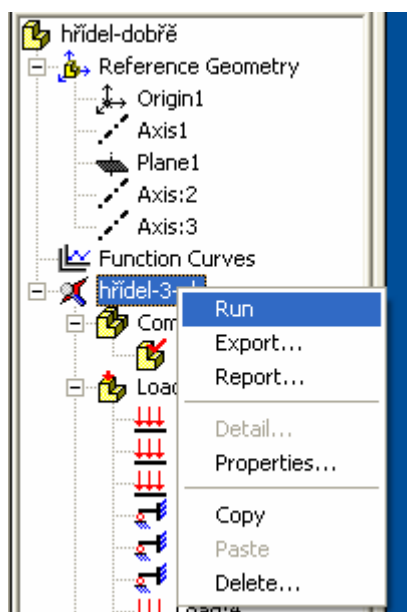
Obr. 71. Vygenerovaná síť

Výpočetní síť, šipky znázorňující uchycení a zatížení, ale i jiné prvky se dají skrýt, aby nepřekážely v další práci s modelem. Skrytí jednotlivých prvků provedeme tak, že na ně klikneme pravým tlačítkem myši ve stromu modelu a v roletovém menu, které se následně zobrazí zvolíme *Hide*. Chceme-li později prvek opět zviditelnit je postup stejný, s tím rozdílem, že místo *Hide* zvolíme *Show*.

Výpočetní síť lze i lokálně zjemnit, nám ale postačí automaticky vygenerovaná síť.

2.4.7 Spuštění výpočtu

Pro spuštění výpočtu klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu výpočtové studie, kterou jsme si hned v druhém bodě po spuštění definovali a pojmenovali. Ikonu výpočtové studie nalezneme pod námi definovaným názvem ve stromové struktuře. V zobrazeném roletovém okně zvolíme položku *Run* (viz. obr. 72). Následně se spustí řešič. Po proběhnutí výpočtu se automaticky přidají do stromové struktury složky pro jednotlivé typy výsledků.

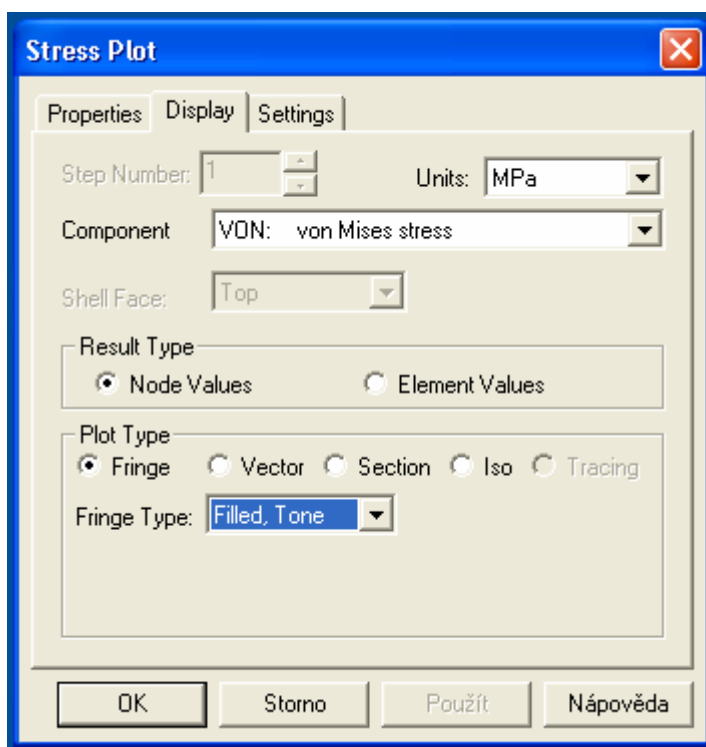


Obr. 72. Spuštění výpočtu

2.4.8 Zobrazení výsledků napětí a jejich animace

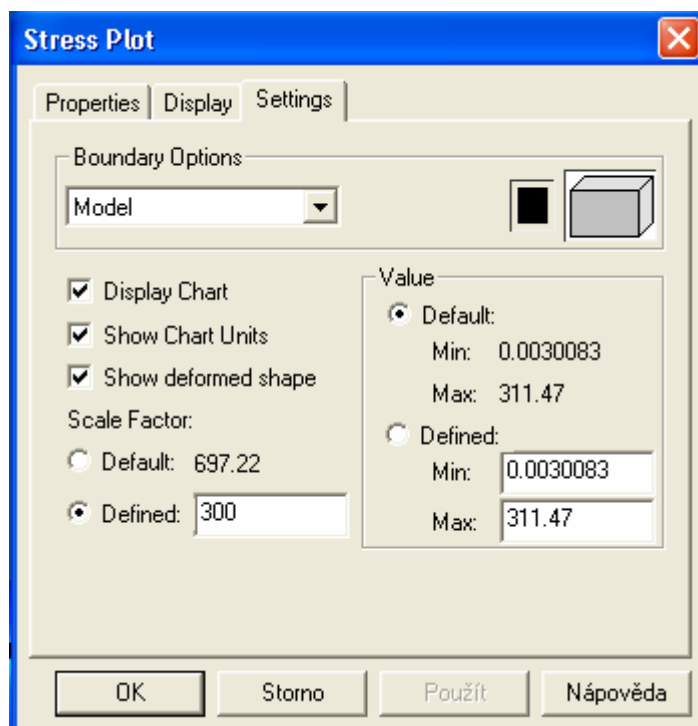
Klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Plot* ve složce *Stress* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši vybereme položku *Edit Definition*. Poté se zobrazí dialogové okno *Stress Plot*, kde zvolíme záložku *Display*. Dále v roletovém menu *Units*

vybereme *MPa* a v roletovém menu *Component* zvolíme *VON: von Mises stress*. Vyplněná záložka *Display* dialogového okna je znázorněna na obr.73.



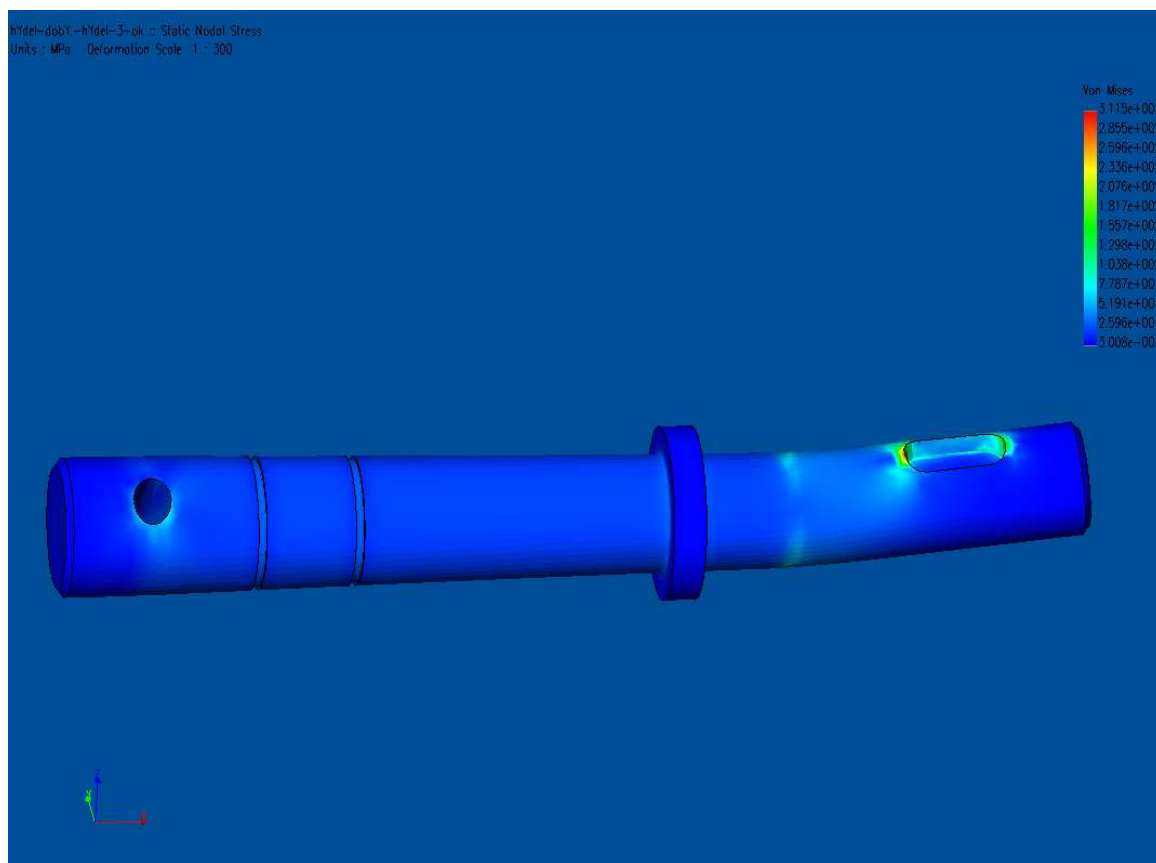
Obr. 73. Vyplnění záložky Display - 1

Po vyplnění záložky Display se přepneme do záložky *Settings*, kde v rámečku *Scale Factor* zatrhneme *Defined* a vypíšeme hodnotu 300, což bude měřítko zobrazení deformovaného tvaru. Zbytek záložky bude vyplněn jako na obr. 74.



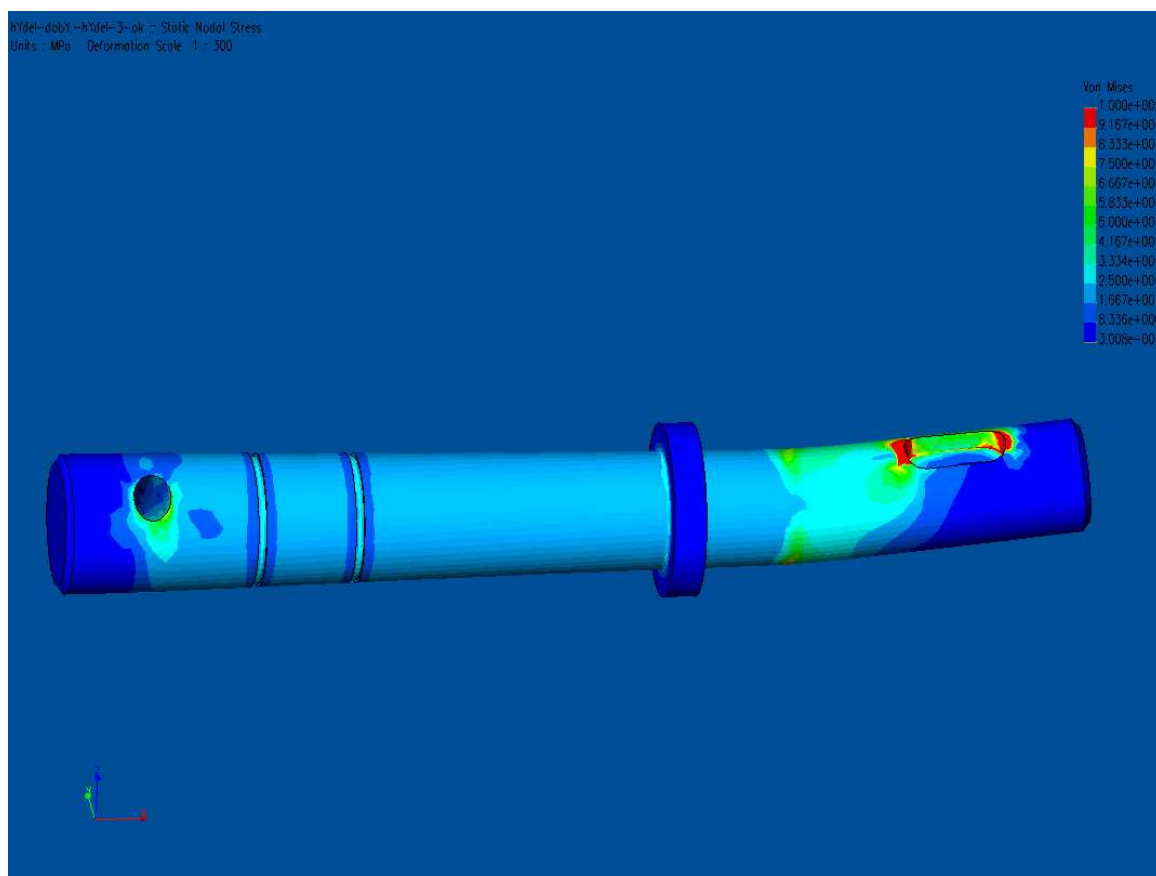
Obr. 74. Vyplnění záložky Settings - 1

Dialogové okno potvrdíme tlačítkem *OK*. Následně se nám zobrazí model součásti v deformovaném tvaru s konturami redukovaných napětí (viz. obr. 75) dle teorie von Mises v MPa.

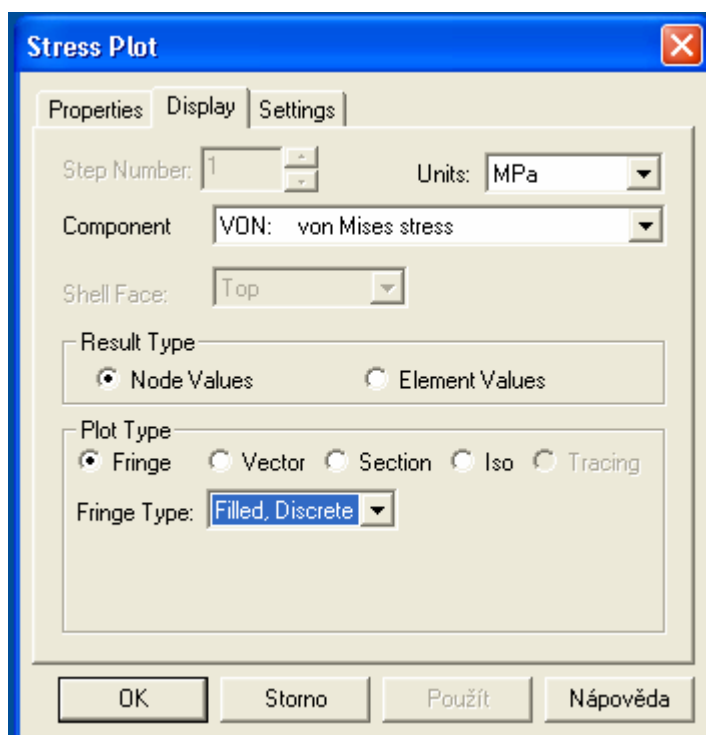


Obr. 75. Deformace hřídele s konturami napětí v MPa

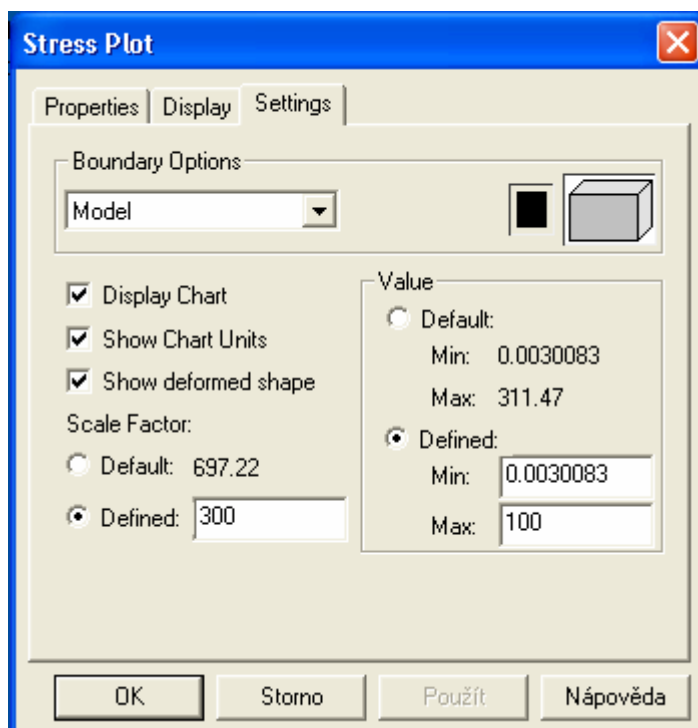
Protože v určitých místech hřídele vzniká vysoká špička napětí, barevná škála na zbytku modelu splývá. Omezením velikosti maximálního napětí lze získat přehled o rozložení napětí i v dalších místech modelu. A to tak, že klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu *Plot* ve složce *Stress* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši vybereme položku *Edit Definition*. V dialogovém okně, v záložce *Display* změníme v roletovém menu *Finger type* výběr z *Filed*, *Tone* na *Filed*, *Discrete*. Tím docílíme ostrých přechodů hranic barevného spektra. Poté se přepneme do záložky *Settings*, kde v rámečku *Value* zatrhneme *Defined* a do políčka *Max* napíšeme 100. Dialogové okno potvrdíme tlačítkem *OK*. Následně se nám zobrazí model součásti v deformovaném tvaru s konturami redukovaných napětí o maximální velikosti 100 MPa (viz. obr. 76). Tím získáme lepší přehled o rozložení napětí na hřídeli. Vyplněné záložky *Display* a *Settings* vidíme na obr. 77 a obr. 78.



Obr. 76. Deformace hřidele s konturami napětí o max. velikosti 100 MPa



Obr. 77. Vyplnění záložky Display - 2



Obr. 78. Vyplnění záložky Settings - 2

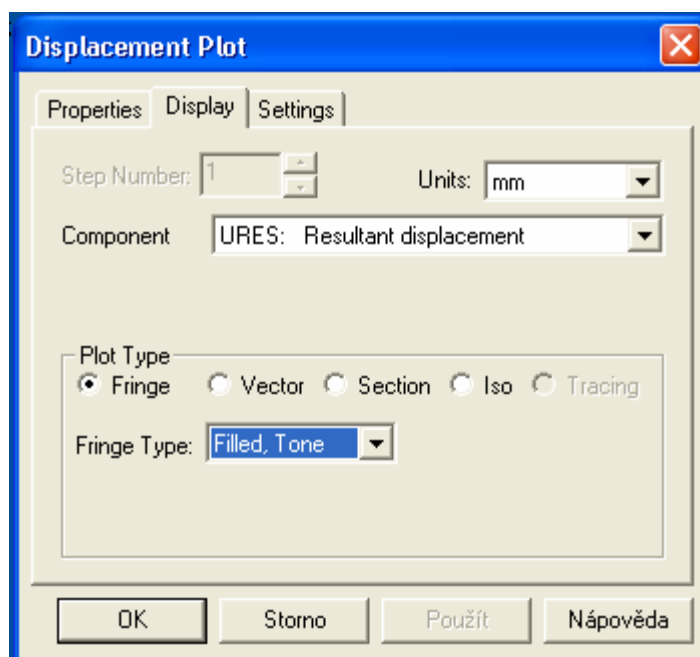
Animaci výsledků pustíme zeleným tlačítkem, zastavíme ji tlačítkem se čtverečkem a pomocí modrých tlačítek ovládáme rychlost animace (viz. obr. 79).



Obr. 79. Ovládání animace

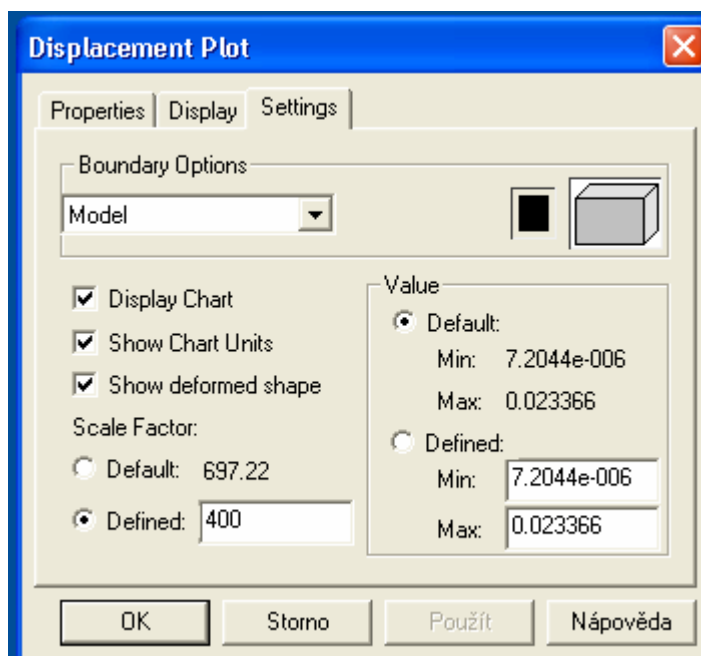
2.4.9 Zobrazení deformací

Pro zobrazení deformací klikneme pravým tlačítkem myši na ikonu ve složce *Displacement* v okně stromové struktury a levým tlačítkem myši vybereme položku *Edit definytion*. Poté ve zobrazeném dialogovém okně *Displacement Plot* zvolíme záložku *Display*, kde v roletovém menu *Displacement Units* zkontrolujeme zda jsou vybrány jednotky *mm* a potvrdíme tlačítkem *OK*. Vyplněná záložka *Display* dialogového okna je znázorněna na obr.80.



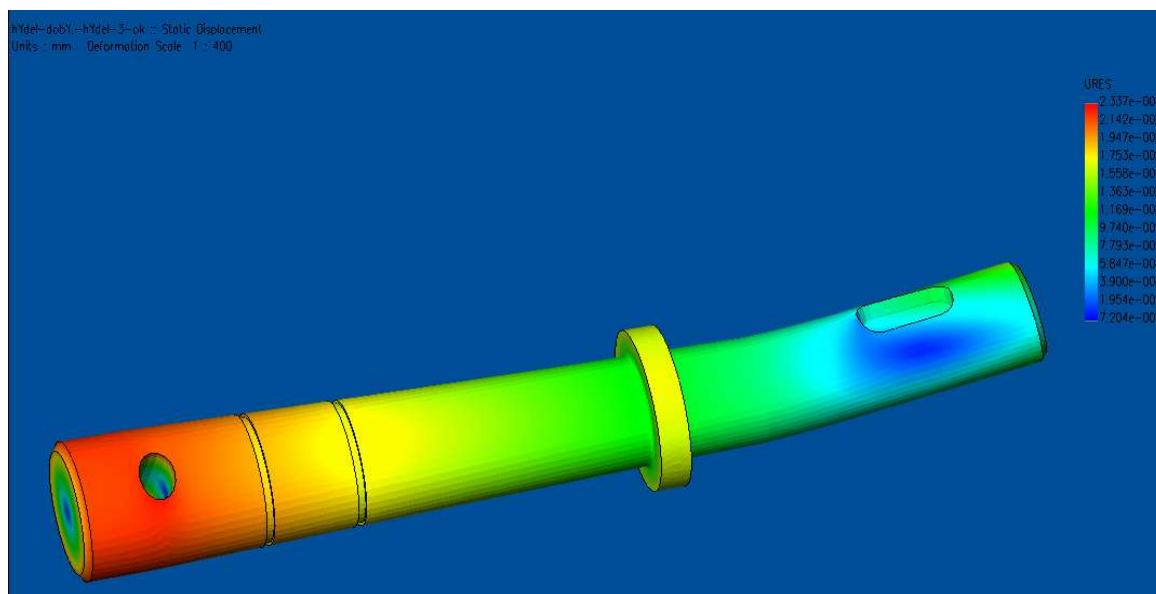
Obr. 80. Vyplnění záložky Display - 3

Po vyplnění záložky Display se opět přepneme do záložky *Settings*, kde v rámečku *Scale Factor* zatrhneme *Defined* a vypíšeme hodnotu 400, což bude měřítko zobrazení deformovaného tvaru. Zbytek záložky bude vyplněn jako na obr. 81.



Obr. 81. Vyplnění záložky Settings - 3

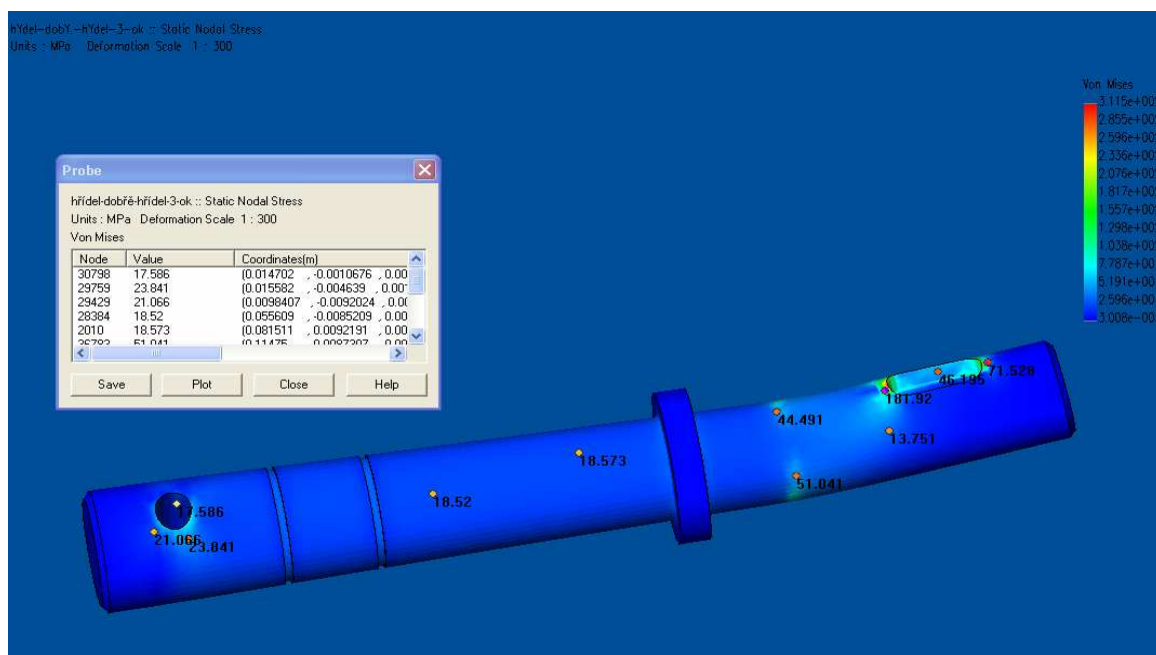
Dialogové okno potvrdíme tlačítkem *OK*. Následně se nám zobrazí model součásti v deformovaném tvaru s konturami deformací v mm (viz. obr. 82).



Obr. 82. Deformace hřídele s konturami v mm

2.4.10 Zjištění číselné hodnoty

Pomocí nástroje , který nalezneme v horním ikonovém menu, lze získat ťuknutím levým tlačítkem myši číselnou hodnotu na vybraném místě modelu (viz. obr. 83). Pokud místa vybíráme s klávesou CTRL, můžeme získat graf průběhu hodnot mezi vybranými body.



Obr. 83. Zjištění číselné hodnoty deformace

3 ZÁVĚR

Teoretickým úkolem této bakalářské práce byla literární studie součástí k přenosu otáčivého momentu, součástí k přenosu zatížení otáčivého momentu a spojovacích strojních součástí. Po prostudování tématu byl vytvořen souhrnný a zadané sestavě adekvátní přehled běžně používaných strojních součástí určených ke spojování, přenosu otáčivého momentu a přenosu zatížení od tohoto momentu.

Dalším úkolem bylo vytvoření návrhu hřídele ze zadané sestavy a její pevnostní výpočet. Návrh hřídele je doložen jejím výkresem, výkresem sestavy, kusovníkem, výkresem válce a ozubeného kola. Veškerá výkresová dokumentace byla vytvořena pomocí programu AutoCAD 2002 a je uvedena v přílohách.

Dále byl vytvořen trojrozměrný model nejen hřídele, ale i celé sestavy za použití programu Autodesk Inventor 6. K vytvoření modelu hřídele byl vypracován podrobný návod pro studenty. Modely hřídele, sestavy a také videa s ukázkou skládání a funkce sestavy nalezneme v přílohách.

Poté byl vytvořený model hřídele podroben pevnostní analýze v programu COSMOS/M – DesignSTAR. I k pevnostní analýze byl vypracován podrobný návod pro studenty. Výstupem programu COSMOS/M jsou statické analýzy, zejména analýza deformace hřídele s konturami napětí v MPa a analýza deformace hřídele s konturami v mm. Výsledky analýz jsou přílohami této práce.

Využívání výpočetní techniky je jedním ze směrů zvyšování produktivity v předvýrobních etapách. Programy jako AutoCAD, Autodesk Inventor a COSMOS/M poskytují uživateli řadu výhod. Přinášejí zrychlení, zefektivnění a zkvalitnění modelování.

Zaváděním počítačové výuky pro technické předměty připravujeme studenty na nové technologie zpracování informací a dat. Modelování a analýza pomocí softwarových produktů nejen usnadňuje řešení problémů, ale i pomáhá lepšímu a názornému pochopení procesů. Je však nutné mít neustále na zřeteli, že validita těchto výsledků je jednoznačně ovlivněna kvalitou zadání okrajových podmínek pro danou problematiku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

Monografické publikace:

- 1) BOLEK, A.: Části strojů I., SNTL Praha, 1989. ISBN 80-03-0046-7.
- 2) KAŠTÁNEK, O.: Části strojů, 1. vydání, Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1979.
- 3) LUKOVICS, I., SÝKOROVÁ, L., VOLEK, F.: Části a mechanismy strojů, 1. vydání, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně, 2000. ISBN 80-214-1566-5.
- 4) VÁVRA, P. a kol.: Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické, 1. vydání, Praha, SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1983.
- 5) LIŠKA, J.: Autocad lt 2002, Computer Press Praha, 2001. ISBN 80-7226-567-9.
- 6) VALNÝ, M.: Inventor efektivně, 1. vydání, Brno: CCB, 2001. ISBN 80-85825-51-1.
- 7) TECHSOFT ENGINEERING.: Úvod do programu Comos/DesignStar, Praha, 2001.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>symbol</i>	<i>jednotka</i>	<i>název</i>
d	[mm]	průměr hřídele
P	[kW]	přenášený výkon
n	[min ⁻¹]	otáčky hřídele
d_{ef}	[mm]	nezeslabený průměr hřídele
M_{red}	[N.mm]	redukovaný ohybový moment
M_k	[N.m]	kroutící moment
d	[mm]	průměr čepu
l	[mm]	délka čepu
F	[N]	zatížení čepu
p_D	[Mpa]	dovolený tlak
σ_{Do}	[Mpa]	dovolené namáhání v ohybu
M	[Nm]	radiální zatížení
R	[m]	poloměr roztečné kružnice ozubených kol
P	[kW]	přenášený výkon
F	[N]	přenášená síla
L_n	[hodinách]	základní trvanlivost v hodinách
n	[ot./s]	otáčky za sekundu
F_v	[N]	dynamické ekvivalentní zatížení ložiska
X		součinitel radiálního zatížení
V		rotační součinitel
F_a	[N]	axiální zatížení
Y		součinitel axiálního zatížení
F_r	[N]	radiální zatížení

<i>symbol</i>	<i>jednotka</i>	<i>název</i>
Cn	[n/s]	poměrná únosnost ložiska
f_L		součinitel trvanlivosti
b	[mm]	délka závrtného konce šroubu
ls	[mm]	funkční délka pera
h	[mm]	výška pera
D_{oz}	[mm]	průměr roztečné kružnice ozubeného kola
F_p	[N]	síla na páce
L_h	[provoz. hodin]	celková požadovaná trvanlivost
τ_{DS}	[Mpa]	dovolené napětí ve smyku
d_K	[mm]	průměr kolíku
l_K	[mm]	délka kolíku
D_1	[mm]	vnější průměr příruby
S_1	[mm ²]	průřez kolíku
F_s	[N]	obvodová síla na hřídeli
τ_s	[Mpa]	napětí ve smyku
D_s	[mm]	střední průměr náboje
F_{OTL}	[N]	síla způsobující otlačení
S_2	[mm ²]	průmět kolíku
P_{otl}	[Mpa]	tlak způsobující otlačení
P_{max}	[Mpa]	maximální tlak
S_3	[mm ²]	styčná plocha kolíku
F_s	[N]	střižná síla působící na pera
p_D	[Mpa]	otlačení pera
F_{oz}	[N]	síla z ozubení
R_B	[N]	reakce pod levým ložiskem

<i>symbol</i>	<i>jednotka</i>	<i>název</i>
R_A	[N]	reakce pod pravým ložiskem
σ_{CO}	[Mpa]	mez únavy v ohybu
τ_C	[Mpa]	mez únavy v krutu
σ_{Pt}	[Mpa]	pevnosti v tahu
τ_K	[Mpa]	napětí v krutu
W_K	[mm ³]	průřezový modul v krutu
M_o	[N.mm]	ohybový moment
σ_o	[Mpa]	ohybové napětí
σ_{red}	[Mpa]	redukované napětí
σ_{Pt}	[Mpa]	pevnost v tahu
β_σ		vrubový součinitel v ohybu
χ_σ		součinitel velikosti u ohybu
B	[mm]	šířka ložiska
β_χ		vrubový součinitel ve smyku
χ_χ		součinitel velikosti u smyku
σ_{max}	[Mpa]	maximální ohybové napětí
τ_{max}	[Mpa]	maximální smykové napětí
K_σ		bezpečnost v ohybu
K_χ		bezpečnost ve smyku
W_O	[mm ³]	průřezový modul v ohybu
C	[N]	dynamická únosnost ložiska
Co	[N]	statická únosnost ložiska
F_A	[N]	axiální síla zatěžující ložisko
f_K		součinitel nepřesnosti ozubení
f_D		dynamický součinitel

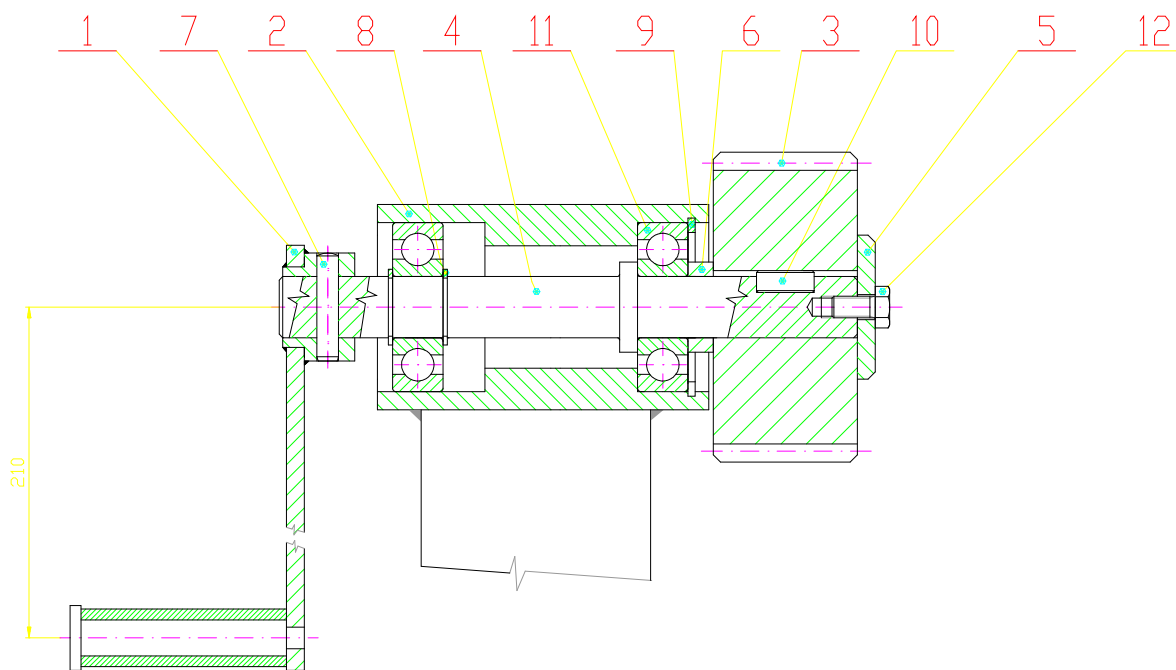
SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Zeslabený průměr hřídele	8
Obr. 2a. Duše ohebného hřídele (2) Obr. 2b. Ochranná vrstva hřídele (2)	13
Obr. 3a. Čelní válcový čep (1) Obr. 3b. Krční čep (1)	14
Obr. 3c. Kuželový čep (1) Obr. 3d. Kulový čep (1)	14
Obr. 4a. Patní čep Obr. 4b. Kuželový čep Obr. 4c. Kulový čep Obr. 4d. Hřebenový čep	15
Obr. 5. Jednořadé kuličkové ložisko (1)	19
Obr. 6. Dvouřadé kuličkové ložisko naklápěcí (1)	20
Obr. 7. Jednořadé axiální kuličkové ložisko (1)	21
Obr. 8. Rozměrové řady ložisek (3)	21
Obr. 9. Šroub s maticí (2)	28
Obr. 10. Závrtný šroub (2)	28
Obr. 11. Délky závitového spojení (1)	29
Obr. 12. Hranolovité typy matic (a)šestihranné; b)čtyřhranné; c) do upínacích drážek T)	30
Obr. 13. Konstrukční provedení spojů pomocí kolíků (2)	31
Obr. 14. Normalizované typy per (2)	34
Obr. 15. Rozdělení tlaků ve spojích s pery (3)	36
Obr. 16. Schéma sestavy	39
Obr. 17. Spoj hřídel s přírubou pomocí kolíku (1)	40
Obr. 18. Silové poměry na kolíku (1)	42
Obr. 19. Spoj hřídele s přírubou pomocí pera	43
Obr. 20. Schéma hřídele	43
Obr. 21. Drážka pro pojistný kroužek	46
Obr. 22. Osazení hřídele	48
Obr. 23. Kuličkové ložisko jednořadé (2)	49
Obr. 24. Nastavení modelovací šablony	50
Obr. 25. Skica hřídele	51
Obr. 26. Okótovaná zavazená skica hřídele	52
Obr. 27. Dialogové okno pro rotaci skici	53
Obr. 28. Základní model hřídele	53
Obr. 29. Okótovaná zavazená skica díry	54
Obr. 30. Dialogové okno pro tvorbu díry pro kolík	55
Obr. 31. Hřídel s dírou pro kolík	55
Obr. 32. Skica drážky pro pero	57
Obr. 33. Okótovaná zavazená skica drážky pera	57
Obr. 34. Hřídel s drážkou pro pero	58
Obr. 35. Dialogové okno pro tvorbu drážky pera	58
Obr. 36. Skica pro tvorbu závitové díry	59
Obr. 37. Část dialogového okna pro zadání <i>Typu</i> díry	60
Obr. 38. Část dialogového okna <i>Závity</i>	60
Obr. 39. Část dialogového okna <i>Rozměr</i>	61
Obr. 40. Část dialogového okna <i>Možnosti</i>	61
Obr. 41. Závitová díra na hřídeli	61
Obr. 42. Označené hrany ke zkosení čel na hřídeli	62
Obr. 43. Dialogové okno pro zkosení čel na hřídeli	62
Obr. 44. Označená hrana závitové díry ke zkosení	63
Obr. 45. Dialogové okno pro zkosení hrany závitové díry	63
Obr. 46. Označená hrana osazení	64

Obr. 47. Dialogové okno pro zaoblení hrany	64
Obr. 48. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 1.....	65
Obr. 49. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 2.....	66
Obr. 50. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 3.....	67
Obr. 51. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 4.....	67
Obr. 52. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 5.....	68
Obr. 53. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 6.....	69
Obr. 54. Označená plocha a dialogové okno pro dělení - 7.....	69
Obr. 55. Filtry pro výběr geometrických entit	71
Obr. 56. Dialog a označená plocha pro tvorbu os.....	71
Obr. 57. Dialogové okna pro definici výpočtové studie - Add.....	72
Obr. 58. Dialogové okna pro definici výpočtové studie - Properties	72
Obr. 59. Definice materiálu	73
Obr. 60. Dialogové okna pro definici materiálu	74
Obr. 61. Filtrování pro výběr ploch.....	74
Obr. 62. Dialog pro zatížení součásti a označená plocha kolíku.....	75
Obr. 63. Výsledné zatížení válcové díry kolíku	75
Obr. 64. Dialog pro zatížení součásti od páky, označená plocha, výsledné zatížení	76
Obr. 65. Dialog pro uchycení součásti, označená plocha a osa.....	77
Obr. 66. Dialog pro uchycení součásti pod pravým ložiskem, označená plocha, osa a znázorněné výsledné uchycení	78
Obr. 67. Dialog pro uchycení, označená plocha a znázorněné výsledné uchycení	79
Obr. 68. Dialog pro zatížení součásti od ozubení, označená plocha, výsledné zatížení.....	80
Obr. 69. Výsledné zatížení a uchycení hřídele	80
Obr. 70. Dialogové okno pro tvorbu sítě	81
Obr. 71. Vygenerovaná síť	81
Obr. 72. Spuštění výpočtu.....	82
Obr. 73. Vyplnění záložky Display - 1	83
Obr. 74. Vyplnění záložky Settings - 1.....	84
Obr. 75. Deformace hřídele s konturami napětí v MPa	85
Obr. 76. Deformace hřídele s konturami napětí o max. velikosti 100 MPa	86
Obr. 77. Vyplnění záložky Display - 2	86
Obr. 78. Vyplnění záložky Settings - 2.....	87
Obr. 79. Ovládání animace	87
Obr. 80. Vyplnění záložky Display - 3	88
Obr. 81. Vyplnění záložky Settings - 3.....	88
Obr. 82. Deformace hřídele s konturami v mm	89
Obr. 83. Zjištění číselné hodnoty deformace.....	89

SEZNAM PŘÍLOH

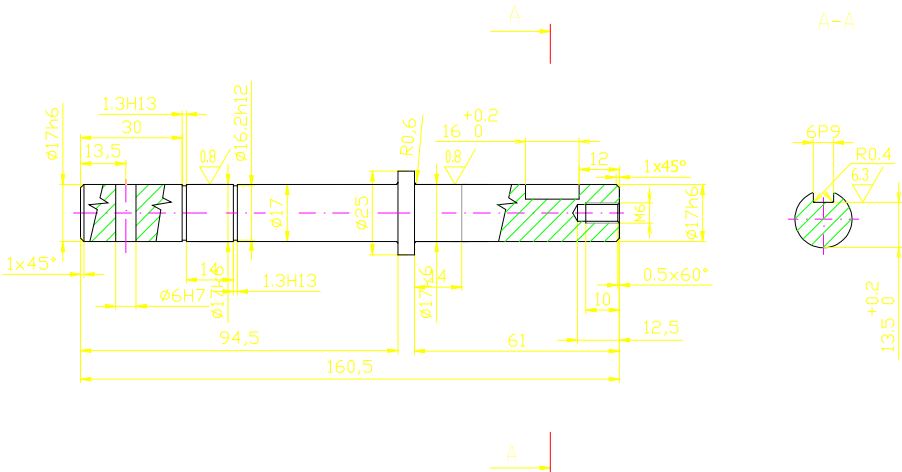
- P 1 : Výkres sestavy
- P 2 : Kusovník
- P 3 : Výkres hřídele
- P 4 : Výkres ozubeného kola
- P 5 : Výkres válce
- P 6 : Model hřídele
- P 7 : Řez modelem hřídele
- P 8 : Model sestavy
- P 9 : Řez modelem sestavy
- P 10 : Video se skládáním modelu sestavy
- P 11 : Video s ukázkou funkce modelu sestavy
- P 12 : Obecné informace a základní principy tvorby výkresu v AutoCAD 2002
- P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6
- P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR
- P 15 : Výsledné zatížení a uchycení hřídele s vygenerovanou sítí
- P 16 : Deformace hřídele s konturami napětí v Mpa
- P 17 : Deformace hřídele s konturami napětí o max. velikosti 100 Mpa
- P 18 : Deformace hřídele s konturami v mm



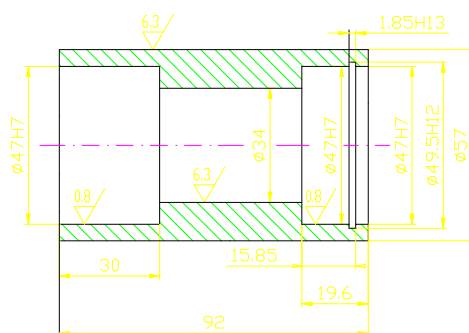
INDEX	ZNAČKA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA TOMAŠE VE	
ZNAT.	ROZM.-POLDT.	T.O.	HMČNČ	MEČ.	11
POM. ZAR.	VYPR. JAN BRIMUS	NORM.REF.	ČSN	TRČ.	Č. KUSOVNIKU
PŘEZK.	TECHNOL.	SCHVALIL	18.4.2005	STARÝ V.	Č.V.
NÁZEV	SESTAVA		1-03-000		
		Listů		List	

12	SROUB M6x12	1	ISO 4017	
11	LOZISKO 6303	2	ČSN 024630	
10	PERO 6e7x6x16	1	ČSN 02 2562	11 600.1
9	POJISTNÝ KROUZEK 47	1	ČSN 02 2931	
8	POJISTNÝ KROUZEK 17	2	ČSN 02 2930	
7	VALCOVÝ KOLÍK 6x30	1	ČSN EN 22338 A	11 500.1
6	DISTANČNÍ KROUZEK Ø25x7	1		11 500.1
5	PODLOŽKA Ø40x5	1		11 500.1
4	HRDEL Ø25x160	1		11 500.1
3	OZUBENÉ KOLO Ø80x40	1		14 220.9
2	VALEC Ø57x92	1		11 600.1
1	PAKA 230x65x20	1		11 373.1
POZ.	NÁZEV-ROZMĚR	MN.	NORMA	MATERIÁL
INDEX	ZNAČKA	DATUM	PODPIS	
ZN.MAT.		T.O.	H.MOT.NOST kg	MĚŘ. 1:1
ROZM.-POLOH.			ČSN	TRČ.
POM. ZAR.			POZN.	Č. KUSOVNIKU
VYPR. JAN BRIMUS	NORM.REF.			Č.V.
PREZK.				
TECHNOL.	SCHVALIL	18.4.2005	STARÝ V.	
NÁZEV				
KUSOVNÍK			1-04-000	
Listů			List	

32/ (✓)

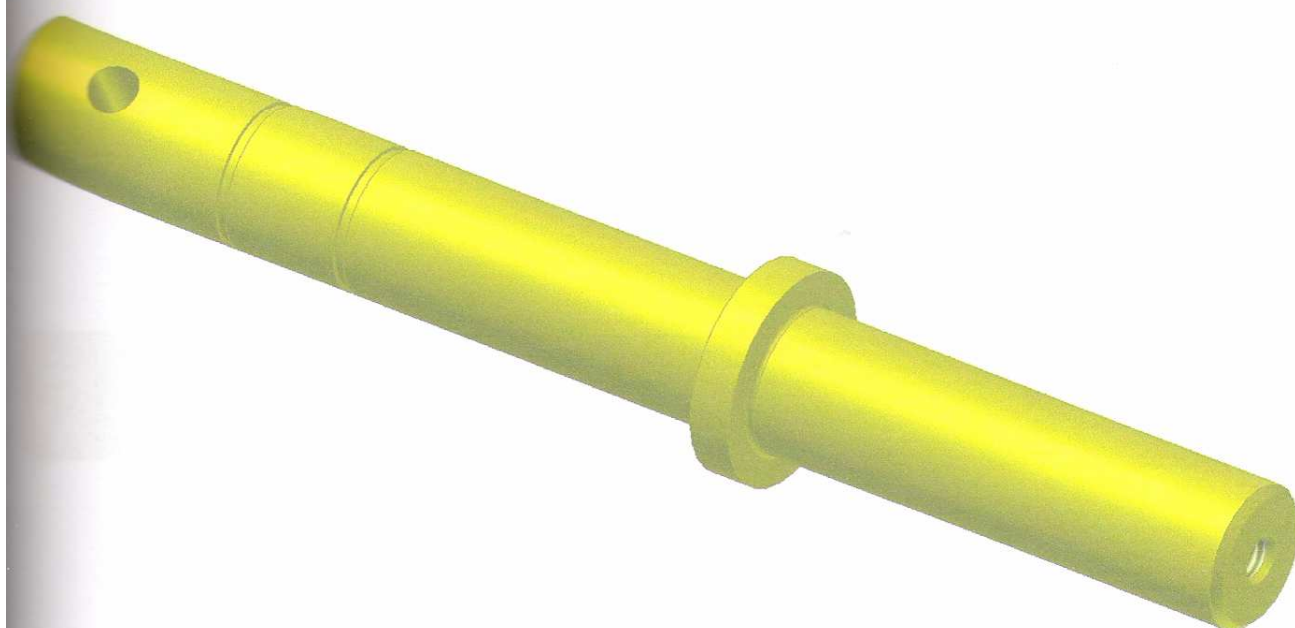


INDEX	ZNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE	
ZNMAT. 11500.1			T.0001	H.Č. 11	MÉR.
ROZM.-POLOH. 030x170 ČSN 425510.12				ČSN	TRČ.
POM. ZAR.				POZN.	Č. KUSOVNIKU
VYPR. JAN. BRIMUS	NORMREF.			STARÝ V.	ČV.
TECHNOL.	SCHVÁLIL	18.4.2005			
NÁZEV					
HŘÍDEL				1-03-004	List

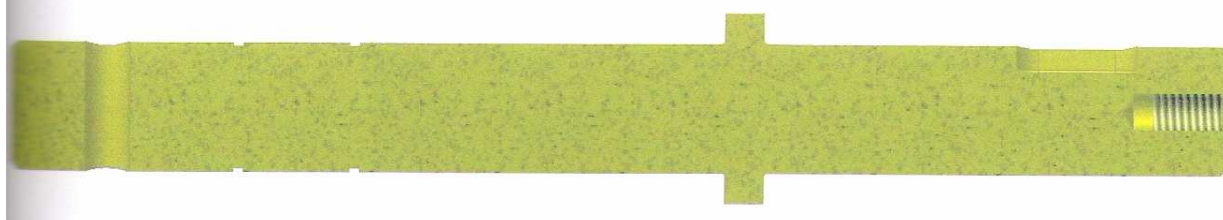


INDEX	ZNA	DATA	PODPIS	
ZNMAT.			T.O.	HMDTNDST kg
ROZM.-POLIT. #50x100				MÉR. 11
PEM. ŽAR.				ČSN
VYPR. JAN BRIMUS	NORMREF.			POZN.
PRÉŽK.				Č. KUSOVNIKU
TECHNOL.	SCHVALIL	18.4.2005	STARÝ V.	Č.V.
NAZEV				
VÁLEC				1-04-002
				Listo
				List

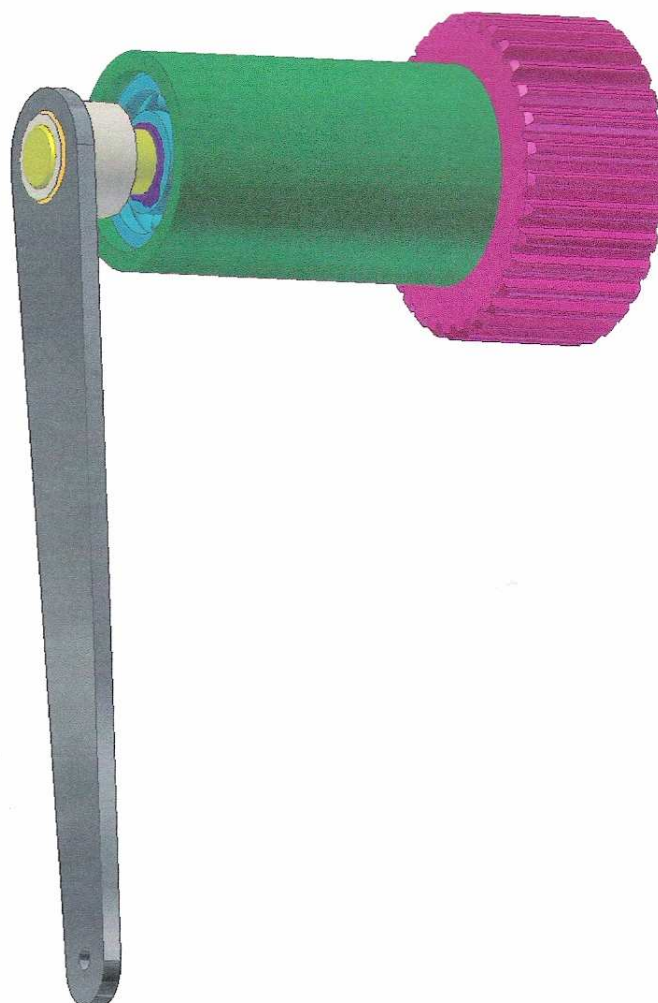
P 6 : Model hřídele



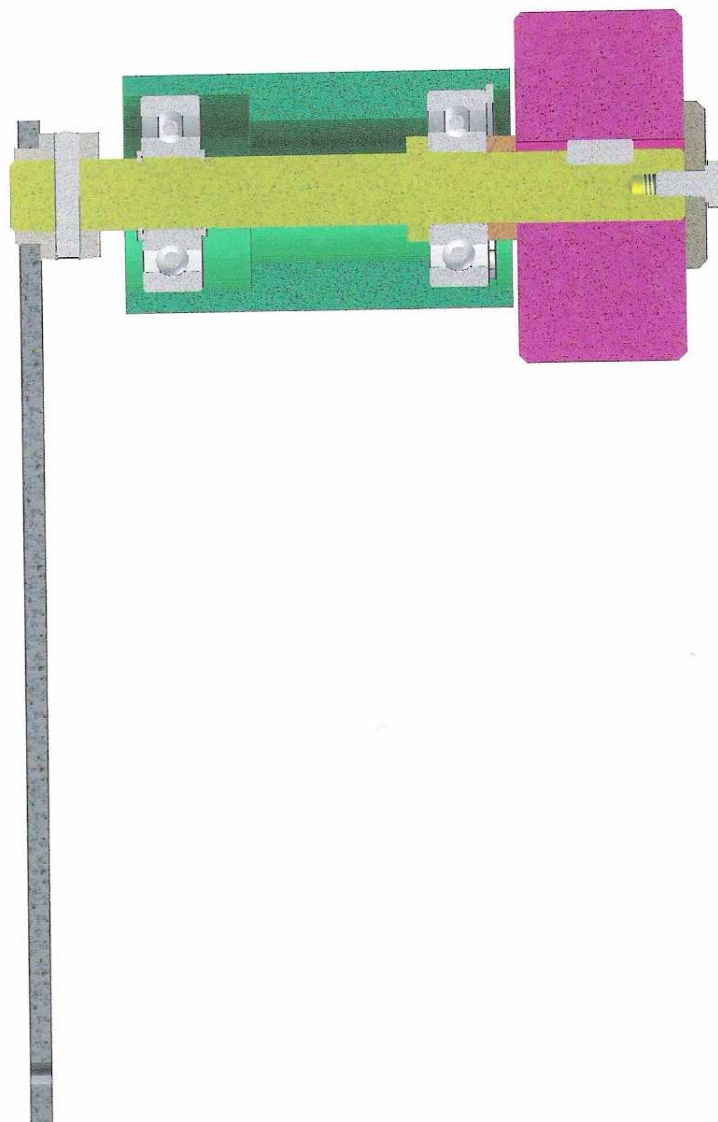
P 7 : Řez modelem hřídele



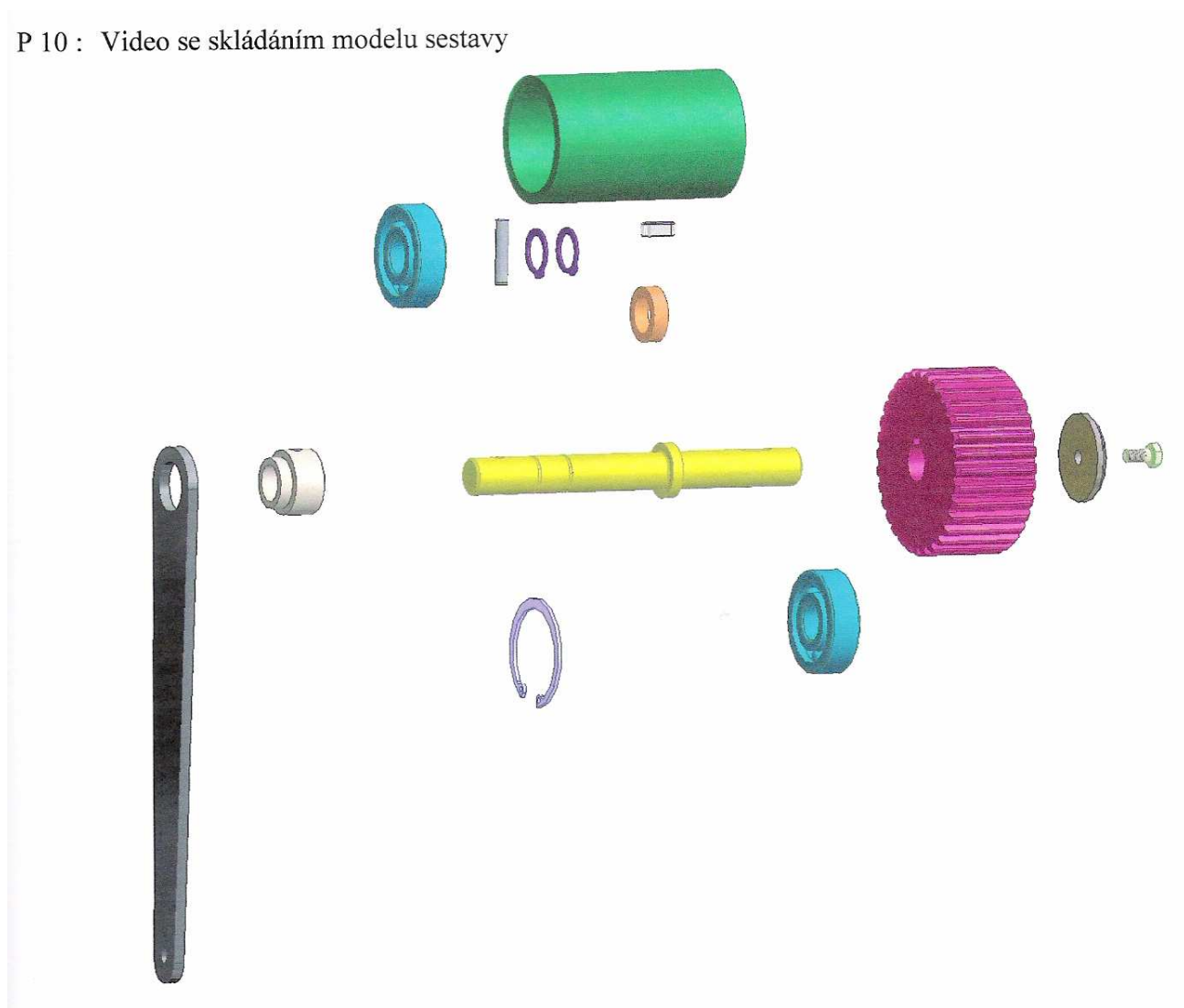
P 8 : Model sestavy



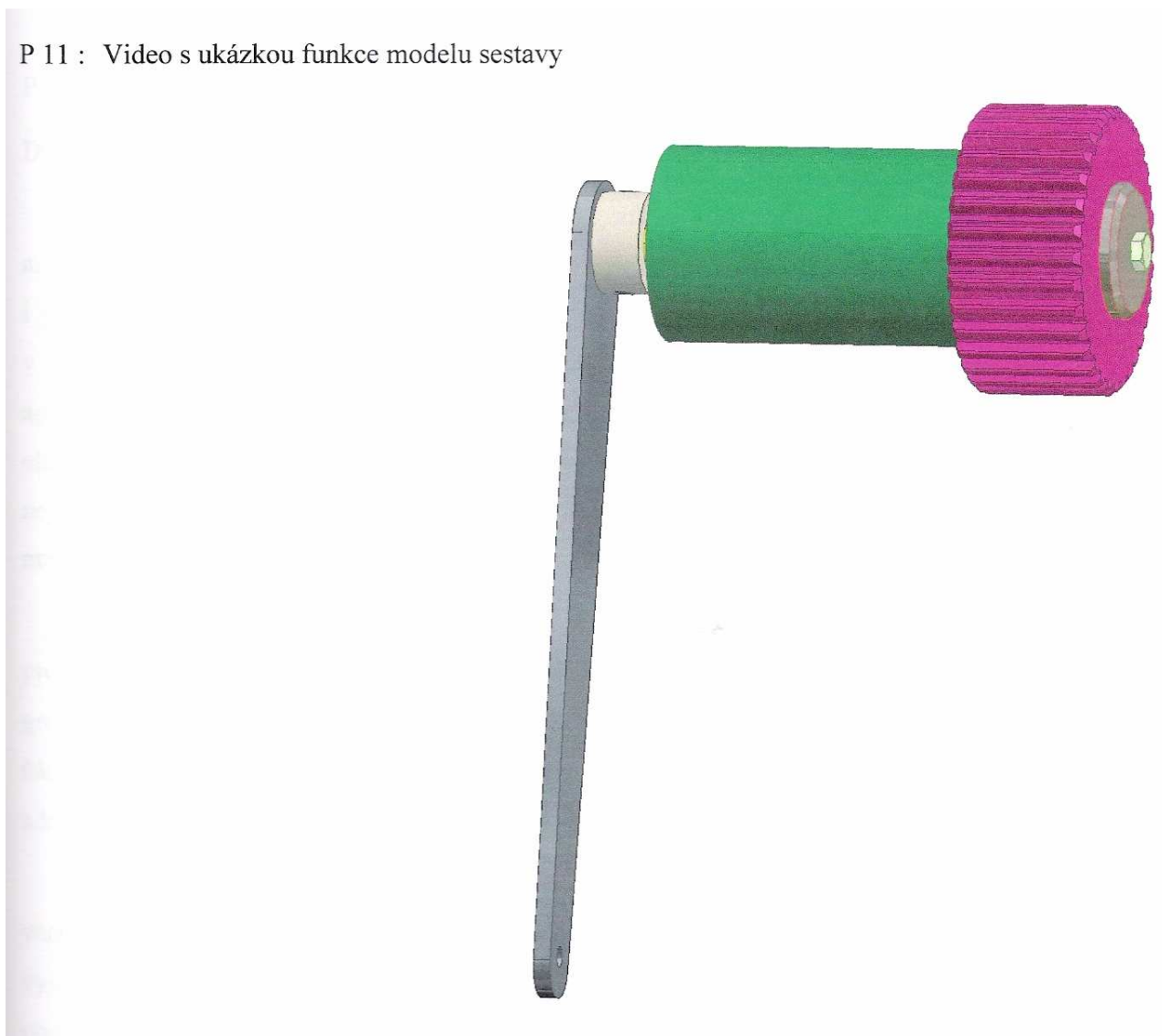
P 9 : Řez modelem sestavy



P 10 : Video se skládáním modelu sestavy



P 11 : Video s ukázkou funkce modelu sestavy



Dvojrozměrné modelování pomocí software AUTOCAD 2002

Program AutoCAD je obecný, víceúčelový grafický editor postavený na otevřené architektuře. Program slouží nejen k vytváření výkresů dvojrozměrných, ale je určen i pro modelování třírozměrných (3D) objektů. Jeho první verze byla uvedena na trh v roce 1982 firmou AUTODESK. Nyní je AutoCAD úspěšně využíván v celé škále aplikací - od strojírenství, přes stavebnictví a architekturu, geodézii, až po elektrotechniku, chemii, astronomii a třeba i divadelnictví. AutoCAD je ve světě i u nás nejrozšířenější program pro 2D - kreslení a navrhování, navíc je firmou Autodesk neustále zdokonalován a vyvíjen.

Nasazení počítačů v oblasti konstrukce a projektování může podstatně zvýšit produktivitu práce. Plocha monitoru bývá v systému CAD obvykle rozdělena na grafickou pracovní část (většina obrazovky), kde se zobrazuje vlastní konstrukce, a na část nabídek, které jsou obvykle rozmístěny na okrajích obrazovky. Zprávám a komunikaci s uživatelem se ponechávají obvykle 2 - 3 řádky v dolní části obrazovky.

Výhody používání AutoCADU jsou následující: v krátkém čase lze vytvořit více variant konstrukcí, změny se provádějí velmi snadno (do výkresu lze zařadit nebo z něj vyjmát díly, které lze dále modifikovat a vytvářet z nich sestavy k okamžitému použití), celkově se zvyšuje produktivita práce.

Ve všech systémech CAD je výkres tvořen zejména geometrickými údaji. Musí být tedy reprezentován souborem (nebo více soubory), který obsahuje souřadnice význačných bodů definujících objekty umístěné ve výkresu. Aby bylo možné provádět zvětšení detailů, je nutné, aby byla čísla reprezentující souřadnice uložena jako reálná čísla s vysokou přesností, která poskytují v systému AutoCAD až 14 platných číslic pro každou souřadnici.

V AutoCADU byla zavedena množina elementárních objektů (tzv. entit), kde každá entita je chápána jako záznam v databázi výkresu. Entita má své vlastnosti (atributy), které jsou zapsány v odpovídajících položkách. Záznamy obsahují typ entity, geometrické informace, které se interpretují podle typu entity, a doplňující informace popisující další vlastnosti entit. Grafický editor systému CAD pak pracuje nad databází výkresu, interpretuje její obsah na obrazovce a umožňuje uživateli vhodnými příkazy

P 12 : Obecné informace a základní principy tvorby výkresu v AutoCAD 2002

tento obsah měnit. AutoCAD umísťuje databázi výkresu do souboru s příponou .dwg.

Základní typy entit pro konstrukci ve výkresu zavedené systémem AutoCAD jsou uvedeny v následující tabulce:

tabulka I. Základní typy entit

typ	geometrické atributy
úsečka	souřadnice počátečního a koncového bodu
kružnice	souřadnice středu a poloměru
oblouk	souřadnice středu a poloměru, počátečního a koncového bodu
bod	souřadnice
text	souřadnice umístění textu, styl a velikost písma, vlastní text
stopa (úsečka v rovině s volitelnou šířkou)	souřadnice počátku a konce, šířka
deska (rovinné trojúhelníkové nebo čtyřúhelníkové objekty)	souřadnice vrcholů (tří nebo čtyř)
křivka (složena z úsečkových a obloukových segmentů s volitelnou šířkou)	souřadnice počátků segmentů, šířky v počátku segmentů

Geometrické atributy

Entity obsahují geometrické souřadnice v podobě uspořádaných trojic (x,y,z). Souřadnice Z je však implicitně nulová, a proto lze s AutoCADem pracovat jako s 2D systémem, kdy všechny entity umísťujeme v rovině. Rovina XY pak splývá s rovinou výkresu. Kromě specifických atributů mají entity ještě obecné atributy: barvu, příslušnost k hladině a typ čáry, kterou jsou vykreslovány.

Atribut hladiny

Aby bylo možno obecně klasifikovat entity ve výkresu podle uživatelských kritérií, používají CAD systémy pojem tzv. hladin nebo vrstev (layers). Výkres si můžeme rozdělit do několika vrstev zavedením těchto hladin. Pomocí hladin rozdělíme entity výkresu do logických skupin a můžeme pak jejich viditelnost, barvu a typ čáry ovládat současně. Hladiny si lze představit jako sadu průhledných fólií, obsahujících různé části výkresu položené na sebe.

Nový výkres má vždy hladinu se jménem "0". Tato hladina nemůže být přejmenována ani zrušena. Další hladiny si vytváří uživatel. Počet hladin ani počet entit v jednotlivých hladinách není omezen. Definovaný souřadnicový systém, hranice výkresu a zvětšení (ZOOM) platí pro všechny hladiny. Údaje o hladinách jsou uloženy v databázi výkresu.

Tvorba výkresu

Při tvorbě výkresu obvykle nevystačíme pouze s příkazy pro kreslení (menu DRAW), jako jsou např.: úsečka, konstrukční přímka, multičára, křivka, mnohoúhelník, obdélník, oblouk, kružnice, elipsa, bod a jiné. Vždy je efektivnější kombinovat vytváření entit s jejich následnou modifikací editačními příkazy (menu EDIT), jako jsou: přesun, kopie, změna velikosti, otočení, zrcadlení, ořez, přeruš, zkos, zaobli, ekvid, smaž a řada jiných.

Při vytváření nových entit ve výkresu potřebujeme velmi často umístit entitu do definované polohy vzhledem k již existujícím objektům. Např. umístit kružnici do obdélníku tak, aby procházela jeho třemi vrcholy, popř. tak, aby byla tečná ke třem stranám obdélníku, nebo zkonstruovat úsečku, která by procházela středy stran čtverce apod. Režim, ve kterém AutoCAD umístí nový bod do požadovaného vztahu k již existujícím objektům se nazývá UCHOP (Object Snap). Režim UCHOP lze uplatnit vždy při zadávání bodu. Je to vlastně nepřímá definice bodu, kdy nejprve definujeme situaci, na niž bude bod vázán (např. průsečík entit, koncový bod entity apod.), a pak ukážeme do místa výkresu, kde se definovaná situace vyskytuje. V trvalém módu je režim zapnut trvale a uplatní se automaticky při každém zadávání bodu.

Kótování

Aby se dala podle výkresu vyrobit součástka nebo postavit dům, musí se dát z výkresu přečíst rozměry (délky, šířky, výšky ap.), tj. výkres musí být okótován. Pomocí AutoCADu můžeme provádět: kótování přímých rozměrů (lineární kóty, řetězcové kóty a kóty od základové čáry), kótování poloměrů a průměrů, kótování úhlů, kótování drsností a jiné. (5)

Součástí AutoCADu může být i databáze objektů Base View, obsahující součásti v normách ČSN, ISO, BSI, ANSI a DIN. Modul umožňuje vkládat veškeré běžné strojírenské součásti (šrouby, matice, podložky, pojistné kroužky, pera, klíny, kolíky, ložiska, a jiné). Objekty mohou být vkládány v různých pohledech a řezech. Součástí databáze jsou výpočtové podprogramy, které mají vazbu jak na databázi, tak i výkresové oddíly. Dialogové okno součásti umožňuje zvolit libovolné rozměry součásti. Součástí každého pohledu zvoleného objektu je trojrozměrný model. Normalizováním součásti modul BaseView zvolí normovanou součást s nejbližším vyšším rozměrem od editované součásti.

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

Trojrozměrné modelování pomocí software Autodesk Inventor 6

Autodesk Inventor je světově nejprodávanější CAD aplikace pro strojírenskou 3D konstrukci - výkonná aplikace od Autodesku, výrobce nejrozšířenější CAD aplikace - AutoCADu. Ve světě bylo za 4 roky instalováno přes 258.000 licencí Inventoru. Autodesk Inventor Professional zvyšuje produktivitu navrhování a rozšiřuje možnosti Inventoru o konstrukci specifických strojírenských prvků, potrubních systémů a sestav s vedením pevných i ohebných trubek, elektromechanických zařízení, sestav s deskami plošných spojů, výpočty zatížení , tvorbu 2D výkresů z 3D objektů a jiné .

Úvod do 3D modelování

Parametrický 3D model tělesa je model, který je již od počátku jeho tvorby svázán se systémem vazeb a kót, které popisují jeho rozměry a geometrii. Veškeré rozměry jsou kdykoliv modifikovatelné pouhou změnou číselného údaje příslušné kóty. S touto variabilitou modelu musíme počítat již od počátku jeho tvorby a navrhnout systém popisu geometrie tak, aby eventuelní změnou rozměru u nějaké kóty nedošlo k deformaci nebo rozpadnutí modelu .

Spuštění Autodesk Inventoru a vytvoření nového modelu.

Dvojitým pokliknutím na zástupce Autodesk Inventor spustíte samotný program. Po krátké chvilí se objeví na obrazovce prostředí s aktivním oknem nazvaným *Otevřít*. V levé části tohoto okna najdeme ikonu *Nový* (jedna ze čtyř). Po kliknutí na tuto ikonu se změní okno a v záložce *Metrické* si najdeme ikonu pro tvorbu modelu *Norma (mm).ipt*. Poté se dostáváme do samotného prostředí kde budeme provádět modelování daného dílu a to nejprve naskicováním jeho základního tvaru.

Základní ovládání

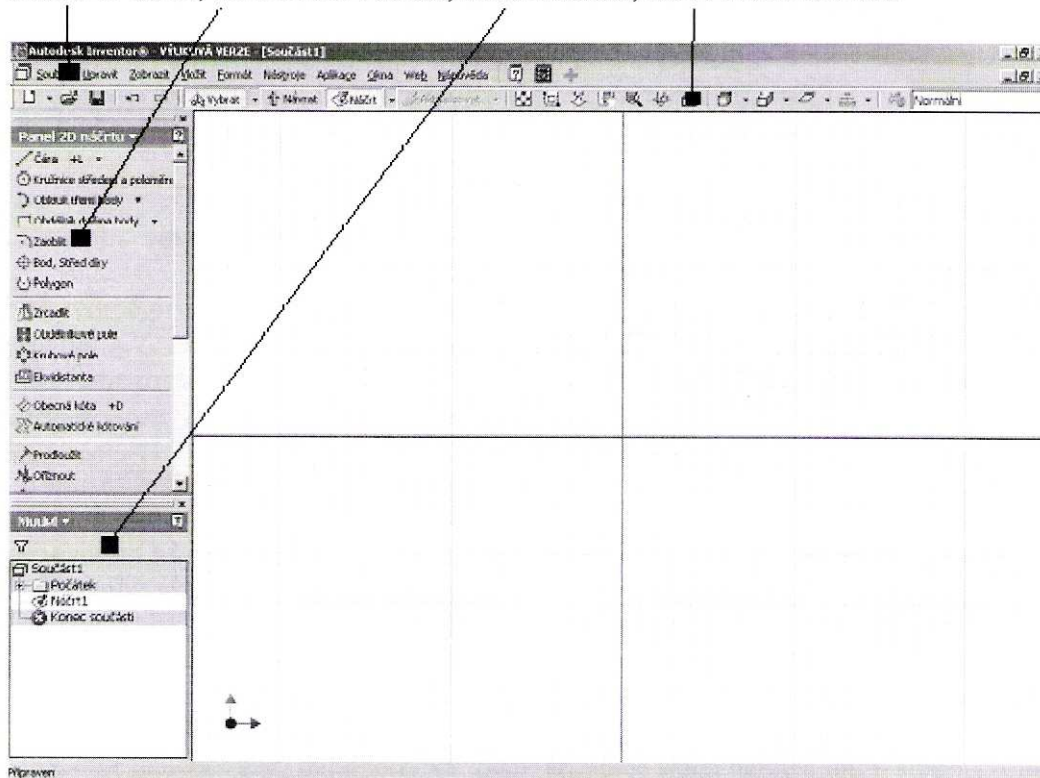
Posouvání a zvětšování lze provádět kdykoliv pomocí kláves F2 a F3, otáčení klávesou F4, to vše v kombinaci se zmáčknutým levým tlačítkem myši. Potřebným pohybem myši se docílí požadovaného stavu zobrazení. Myš má také ještě další funkce, které se skrývají pod levým a pravým tlačítkem. Levým se ukazuje, označuje a vyhledává. Pod pravým se skrývá menu, které je v každé situaci jiné podle typu aktuální

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

práce. Co je v dané situaci možné provádět je právě pod pravým tlačítkem myši, jiné příkazy jsou nepřístupné.

Příkazy se volí pouze v levém ikonovém menu, kde jsou popsány i funkce jednotlivých ikon. Toto menu se mění podle typu prováděné činnosti – náčrt, tvorba tělesa atd. Pod tímto oknem je ještě jedno tzv. strom modelu, kde se postupně automaticky uvádějí jednotlivé konstrukční prvky podle toho jak jsme součást modelovali.

Roletové menu, levé ikonové menu, strom modelu, horní ikonové menu.



Obr. 1. Popis základního okna Inventoru při tvorbě náčrtu

Dalším prvkem, se kterým se při tvorbě modelu setkáme je . Jedná se o výběrovou lištu, která se objeví vždy když zastavíme kurzor myši na obrysu modelu a v tomto místě se překrývá více hran, ploch a bodů. Šipkami doleva a doprava se právě přechází přes jednotlivé prvky a při změně barvy můžeme požadovaný prvek označit.

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

Základní princip při tvorbě modelu

Každý model součástky, dílu se skládá z jednotlivých prvků a příkazů jako je např.: vytažení profilu, orotování profilu, vyříznutí díry, sražení, zaoblení, atd. Pořadí vytváření jednotlivých prvků by mělo být stejné jako při výrobě reálné součástky. Nejdříve se tedy modeluje hrubý tvar součásti a nakonec se sráží a zaoblují hrany. Velikost a poloha jednotlivých prvků by měla být dána vazbami a kótami, které se mají zobrazit na výkrese. Z prvků se vytváří strom a vztahy mezi prvky jsou dány v určité závislosti.

Postup tvorby, jak základního, tak každého ze všech následujících prvků je naprosto totožný a skládá se ze čtyř hlavních na sebe navazujících postupných kroků:

1. volba náčrtové roviny
2. náčrt
3. vazby a kóty náčrtu
4. vytvoření prvku.

Volba náčrtové roviny

Při tvorbě prvního prvku není nutné volit náčrtovou rovinu, je nastavena automaticky do roviny XY. Při kreslení dalších prvků je nutné volit náčrtovou rovinu. To provedeme tak, že buď v horním ikonovém menu nebo pod pravým tlačítkem myši zvolíme nový náčrt a šipkou myši ukážeme na rovinu, na které bude připojený další prvek k základnímu (nosnému) prvku.

Náčrt (návrh)

Vytvoření návrhu představuje nakreslení půdorysného profilu, ze kterého pak půjde vysunutím vytvořit prvek. Návrh se vytváří vždy v náčrtové rovině a k jeho nakreslení se používají klasické objekty – úsečka, kružnice, oblouk, křivka atd. Protože z návrhu se v budoucnu stane prvek, měl by návrh tvořit uzavřený obrazec a jeho čáry se nesmí křížit (neplatí u promítnuté geometrii). Na jeho rozměrech teoreticky nezáleží, ty se dodají kótami a jejich editací. Jakmile je skica plně okótovaná změní se její barva

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

(obvykle na tmavší odstín původní barvy). Příkazy pro tvorbu skici najdeme v levém ikonovém okně.

Vazby a kóty

Vazby náčrtu jsou horizontálnost, vertikálnost, kolmost, tečnost, rovnoběžnost, totožnost atd. Aby měl náčrt co nejvíce omezený počet stupňů volnosti je dobré ho zavazbit co nejvíce a teprve to co už nejde řešit vazbou, tak zakótovat. Vazby se přidávají z levého ikonového menu a typ se vybírá kliknutím na šipku vedle aktuální položky vazeb. Najetím myši na požadovanou položku a kliknutím na ni je vazba zvolena. Nyní již tuto vazbu aplikujeme přímo do skici. Skicu umístíme levým dolním rohem, či jejím středem nebo jinou částí (to záleží na tvaru skici a způsobu, kterým se nám bude lépe vazbit a kótovat) do počátku souřadného systému, tím je upevněna v prostoru a ostatní prvky se buď zavazbí nebo zakótují vůči tomuto počátku.

Vytvoření prvku

Po vytvoření skici ukončíme náčrt a to tak, že umístíme myš kamkoliv do pracovního prostoru skici a po zmáčknutí pravého tlačítka myši zvolíme *dokončit náčrt*. Tím zmizí rast (slabě viditelná šachovnice) a také se změní levé ikonové okno. Nyní má již název *prvky součásti* a volbou, jakým stylem chceme ze skici vytvořit prvek zvolíme patřičnou ikonu jako je např.: vysunutí, rotace, tažení, šablonování atd. Po kliknutí na tuto ikonu se zobrazí dialogové okno (viz. obr. 2), ve kterém zvolíme co, jakým způsobem, kam a o kolik se má vysunout, orotovat atd. (parametry zadávané v dialogovém oknu závisí na druhu zvoleného příkazu). Dále zmačknutím šipky vedle *Profilu* zvolíme plochu, která se má pomocí daného příkazu přeměnit v 3D objekt .



Obr. 2. Dialogové okno Inventoru pro vysunutí objektu

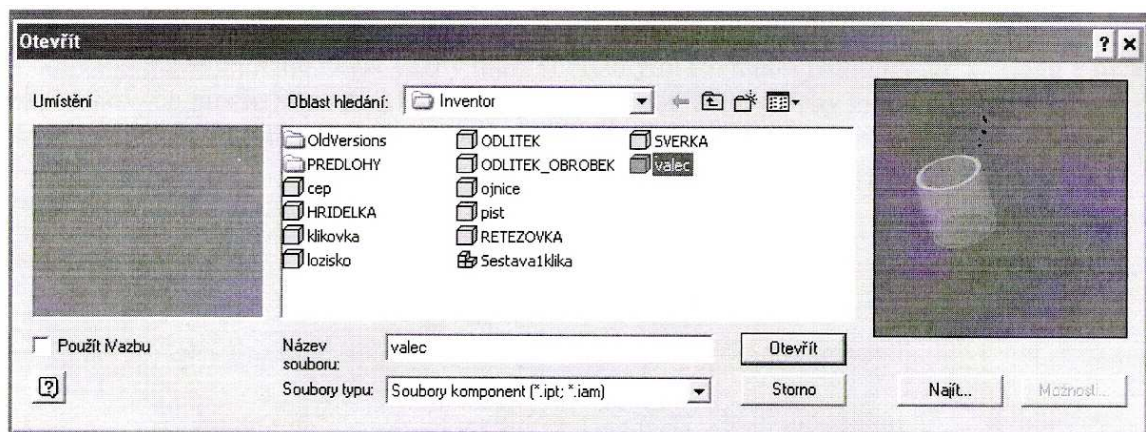
P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

Tvorba sestavy

Možností Inventoru je i tvorba sestav. Prvním co po spuštění Inventoru uděláme je nastavení výkresové šablony – v záložce metrické zvolíme Norma(mm). iam. Automaticky se nastaví prostředí pro tvorbu sestavy.

Vkládání komponentů

Komponenty se vkládají postupně. Vždy v takové násobnosti kolikrát je to potřeba. Každý prvek je samostatný i když jich vložíme více stejných. Postup při vkládání je následující. V levém ikonovém okně se klikne hned na první položku – *Vložit komponent* a poté se objeví nové dialogové okno (viz.obr.3). Zde si vyhledáme model součásti, která bude počátečním prvkem. Klepneme myší na políčko *Otevřít* a tím se vloží model součástky na pracovní plochu sestavy. Pokud se klikne myší opět na pracovní plochu, vkládá se další (stejný) model součásti. Vkládání se ukončí pravým tlačítkem myši - *Hotovo*. Tím se vložil základní prvek a může se vkládat další.



Obr. 3. Dialogové okno pro vkládání komponentů sestavy

Vkládání podřízených komponentů je obdobné jako při vložení základního komponentu. Jediný rozdíl je, že základní komponent je pevně připevněn do prostoru (souřadnému systému), naopak u podřízených komponentů je třeba vazby přidat, jinak jimi můžeme volně pohybovat po celém prostoru.

Vazby mezi prvky

Při sestavování sestav se musí vkládat vazby mezi jednotlivé díly sestavy. Vazby slouží k definování vzájemné polohy, resp. Pohybu dvou na sobě smontovaných

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

součástí. Vazby se dávají mezi dva konstrukční prvky modelu. Například dvě válcové plochy na sebe, dvě rovinné plochy na sebe, osa na osu, atd. Těchto vazeb může být několik, avšak je to omezeno vzájemným (celkovým) stupněm volnosti obou komponentů nebo celé sestavy.

Pro vložení vazby mezi dva různé prvky v levém ikonovém okně zvolíme položku -*Vazba*. Objeví se nám nové dialogové okno (viz. obr. 4). Při takto navoleném okně se nejdříve vybírá prvek na prvním modelu, následně na druhém. Na obou prvcích označíme rovinu, plochu či osu, které se bude daná vazba týkat. Potvrzení přidání vazby se provádí pomocí tlačítka – *Použít*. Možností Inventoru je i tvorba animovaného videa, na kterém se dá demonstrovat vzájemné vazební a stupně volnosti celé sestavy. To nám umožní lepší pochopení funkce jednotlivých dílů v sestavě.



Obr. 4. Dialogové okno pro vkládání vazeb mezi prvky (6)

Tvorba 2D výkresu z 3D objektu

Opět si nejdříve nastavíme výkresovou šablonu – v záložce *metrické* zvolíme *ISO.idw*. Automaticky se nastaví prostředí pro tvorbu výkresu a také se automaticky natáhne formát výkresu (velikost A3) s popisovým polem.

Základní pohled

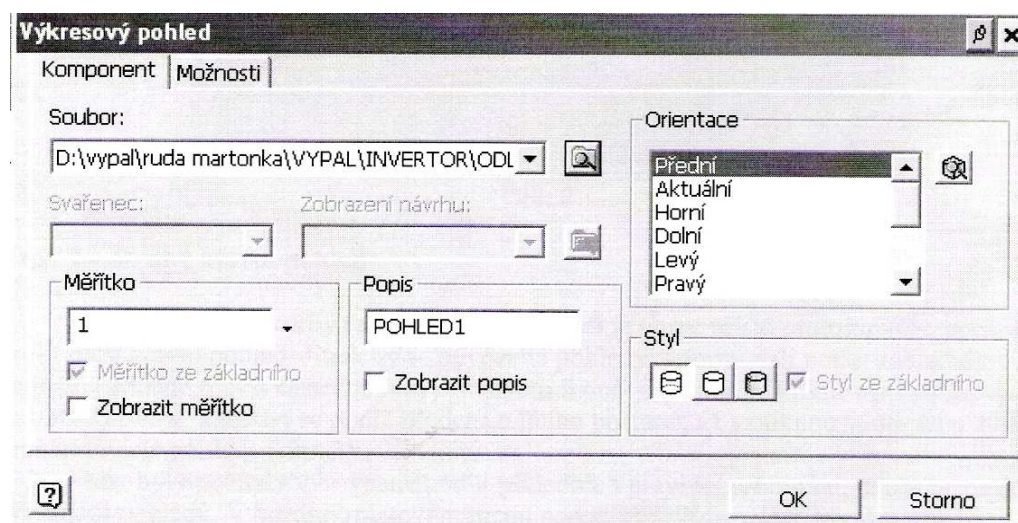
V levém ikonovém okně se klikne na položku – *Základní pohled*, poté se objeví nové dialogové okno (viz. obr. 5), které se vyplní následujícím postupem. V kartě *Komponent* nastavíme v položce *Soubor* okamžité umístění modelu pomocí ikony

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

Vyhledávání. Tím se na pracovní ploše objeví průřez součásti libovolně se pohybující se po ploše. Než se základní pohled umístí, je třeba zvolit správné natočení. Jednou z možností je zvolit si z předem definovaných pohledů umístěných v pravé části dialogového okna pod položkou *Orientace*. Jestliže žádná předdefinovaná poloha nevyhovuje, zvolí se vlastní poloha pomocí ikony  .

Druhý hlavní pohled

Z důvodu další tvorby řezů a částečných řezů je nutné zvolit další hlavní pohled. Jinak by se odvozené pohledy deformovali. V levém ikonovém okně se klikne opět na ikonu –*Základní pohled* a upraví se podle předcházejícího postupu, až vzniknou vedle sebe dva na sobě nezávislé pohledy. Aby byly pohledy vyrovnané podle základních pravidel promítání, tak se provede vyrovnání pohledů. V horním roletovém menu pod roletou *Nástroje* je odkaz – *Vyrovnat pohledy*. Po kliknutí na tento odkaz se objeví další roleta na které zvolíme nápis – *Horizontálně*. Poté se klikne na jednotlivé pohledy, které se mají vůči sobě vyrovnat. Automaticky se přidá vazba spojení daných pohledů (v našem případě - horizontální). Tato vazba se dá zrušit opět v roletě – *Nástroj, Vyrovnat pohledy, Přerušené*.

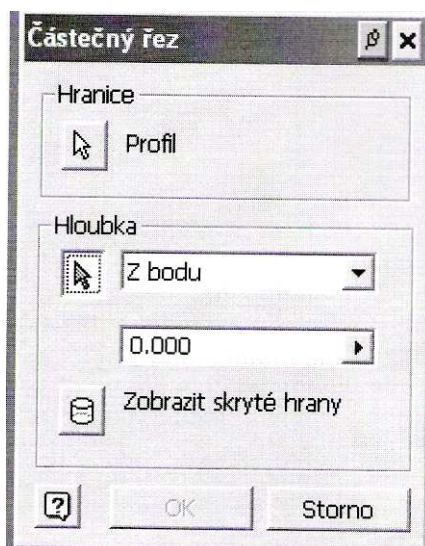


Obr. 5. Dialogové okno pro tvorbu pohledu

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

Částečné řezy

Při tvorbě částečného řezu je nutné zvolit pohled a odříznutou oblast. To se provede následovně. Nejdříve ukážeme na pohled (červený rámeček zezelená), ve kterém má být proveden částečný řez. Nyní již máme prostředí připravené pro tvorbu částečného řezu. Zvolíme ikonu v druhé skupině ikon v levém horním okně – *Částečný řez*. Označíme myší pohled, ve kterém má být vytvořen řez. Objeví se nové ikonové okno (viz. Obr. 6). Profil se automaticky označí, ukázáním myši se definuje do jaké hloubky má být vytvořen řez.



Obr. 6. Dialogové okno pro tvorbu částečného řezu

Osy

První jsou osy tzv. automatické, které se do pohledu doplní přes pravé tlačítko myši, která je v oblasti pohledu (červeně vytečkovaný obdélník). V tomto roletovém menu se klikne na položku – *Automatické osy*, v dialogovém okně, které se následně objeví se klikne na *OK*, poté se vytvoří automaticky osy. Zbylé osy, které se nevytvořily automaticky je nutné dokreslit manuálně.

Kóty

Kóty se do výkresu přidávají podobně jako osy. Kóty se přidají jednak automaticky pod pravým tlačítkem myši, která je umístěna v oblasti pohledu (červeně vytečkovaný obdélník) pod položkou – *Získat popisky modelu* a dále pak *Získat všechny kóty*. Tím se

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

objeví všechny kóty, pomocí kterých byl vytvořen model. Nyní se musí jen vybrat kóty, které jsou potřeba a které je nutno vymazat. Mazání kót se provádí tlačítkem DELETE na klávesnici nebo pod pravým tlačítkem myši – *Odstranit*. Kótami se dá i pohybovat. A to tak, že nejprve kótu označíme tím se změní její barva – na zelenou a navíc na některých místech se objeví zelené uchopovací body. Za tyto body se dá kótu uchopit a pohybovat na požadované místo. Přidání dalších kót se provede pomocí levého ikonového menu pomocí příkazu *Obecná kóta*.

Tolerance

Změna textu se provádí pomocí pravého tlačítka myši po označení modifikované kóty. Podle toho, co chceme na kótě měnit, zvolíme také danou položku v objeveném menu. Geometrické tolerance se přidávají přes levé ikonové okno. V tomto případě se použije položka – *Geometrická tolerance*.

Drsnosti

Drsnosti se přidají pomocí ikony – *Značka drsnosti povrchu* v levém ikonovém okně. Pomocí myši se umístí do výkresu vždy na obrys nebo na vynášecí či odkazovou čáru kóty. Pro další přesnější definování se objeví nové dialogové okno, ve kterém se případné doplňující prvky nadefinují. Stejně tak se definuje značka drsnosti, která se ovšem umístí do pravého horního rohu výkresu.

Úprava formátu výkresu

Se provádí přes stromovou strukturu výkresu, zobrazenou ve stromě výkresu (v levém dolním rohu obrazovky). Klikne se na větvíčku s názvem *List : 1* a po označení myší (zmodrání nápisu) se objeví roleta, na které zvolíme položku – *Upravit list*. V novém dialogovém okně změníme zaškrtnutí dle požadovaného formátu výkresu.

Vyplnění rohového razítka

Se provádí v horním roletovém menu v položce – *Soubor*. Kde se vyplňují a upravují jednotlivé informace o výkresu.

P 13 : Obecné informace o programu, základní principy tvorby modelu a výkresu v Autodesk Inventor 6

Kusovník, pozice

Pro tvorbu pozic a kusovníku je třeba změnit levé ikonové okno s nadpisem – *Panel Poznámky výkresu*. Zde se pak nachází ikona - *Kusovník*. Kliknutím na tuto ikonu a následně na pohled se vytvoří a umístí nad popisové pole vyplněný kusovník. Případné změny v položkách pozic se provádí v jednotlivých modelech v kusovníku nikoliv ve výkresu sestavy.

Analytické modelování v programu COSMOS/M - DesignSTAR

COSMOS/M firmy Structural Research and Analysis Corporation (Los Angeles, USA) je v současnosti nejprodávanějším analytickým systémem pod operačním systémem Windows. Nemá vlastní geometrický modelář, ale úzce spolupracuje se všemi rozšířenými CAD systémy. Program umožňuje řešit celou škálu úloh jako např.:

- lineární a nelineární statiku, dynamiku a stabilitu, obecné problémy teplotních polí,
- laminární i stlačitelné turbulentní 3D proudění,
- únavu,
- elektromagnetismus,
- tvarovou a rozměrovou optimalizaci pro jednotlivé typy analýz a jejich kombinaci, apod.

Základem pro ovládání je tzv. stromová struktura, pomocí které lze přehledně připravit výpočetní model i zpracovat výsledky. K dispozici jsou samozřejmě i standardní meny a nástrojové lišty s tlačítky. Důležitým modulem COSMOS/M je nová řada superrychlých řešičů Fast Finite Element (FFE). Tyto řešiče znamenají zcela novou technologii v řešení pro lineární statiku, základní dynamiku, teplotní pole a elektromagnetismus, díky níž, oproti tradičním řešičům, dochází až ke stonásobnému zrychlení výpočtů.

Možností programu je vytvoření různých variant výpočtových modelů s různým stupněm přiblížení se k realitě. Ve všech modelech lze použít kvadratický TETRA prvek, který se vyznačuje vysokou přesností řešení i při řidší síti na rozdíl od prvku lineárního.

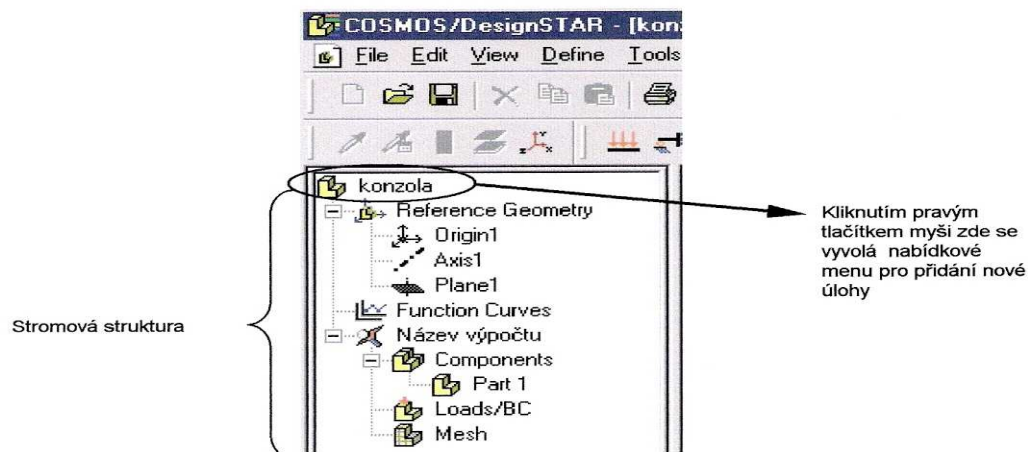
Tento software umožňuje zpracování pevnostních výpočtů, dynamickou analýzu a na základě toho pomáhá optimalizovat vlastní konstrukci ve velmi krátkém čase. Díky této analýze nemusí výrobní podnik opakovaně vyrábět a zkoušet prototypy jen proto, aby odhalil konstrukční chyby.

P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

Přehled vybraných příkazů

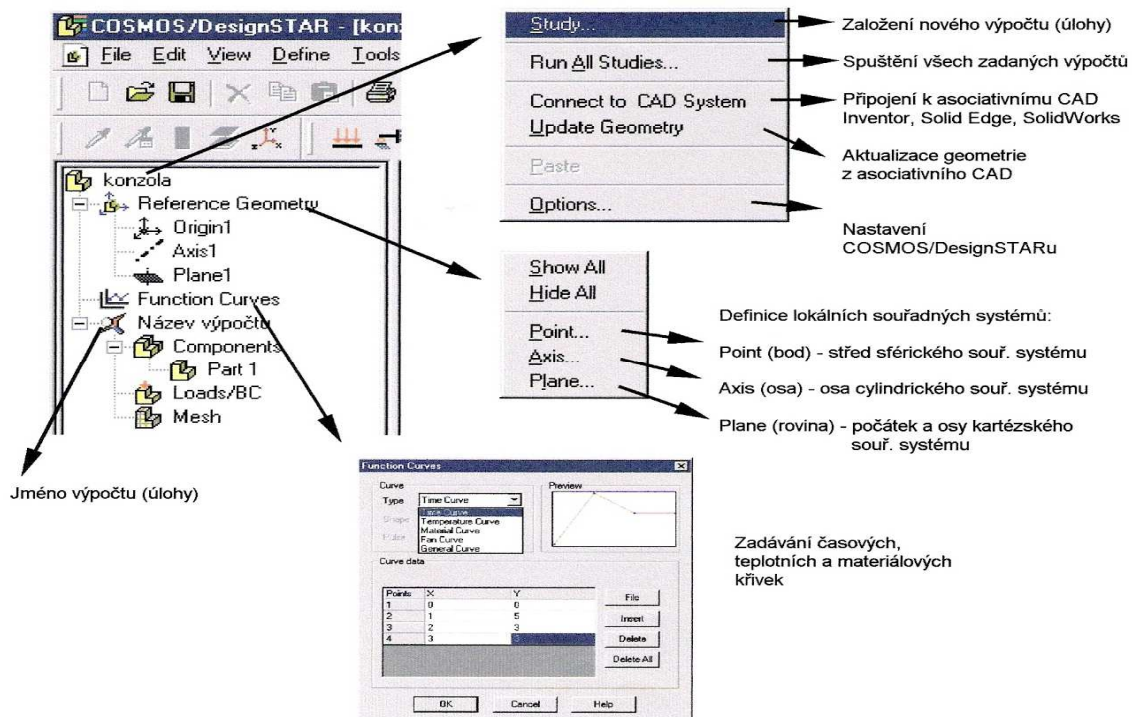
Stromová struktura

Menu pro zadávání příkazů se vyvolá pravým tlačítkem myši na dané položce stromu.



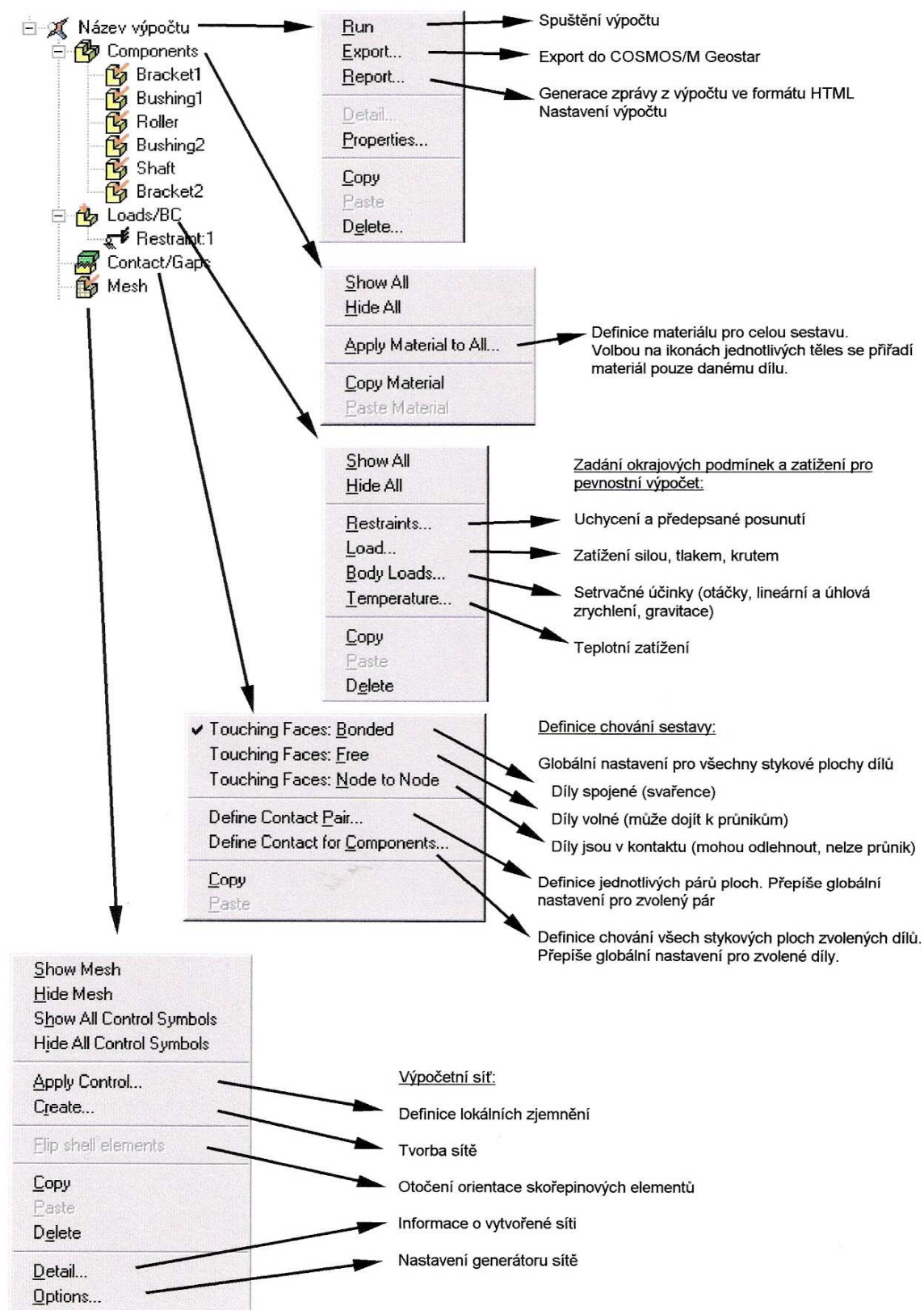
Obr. 1. Vyvolání příkazového menu

Základní menu



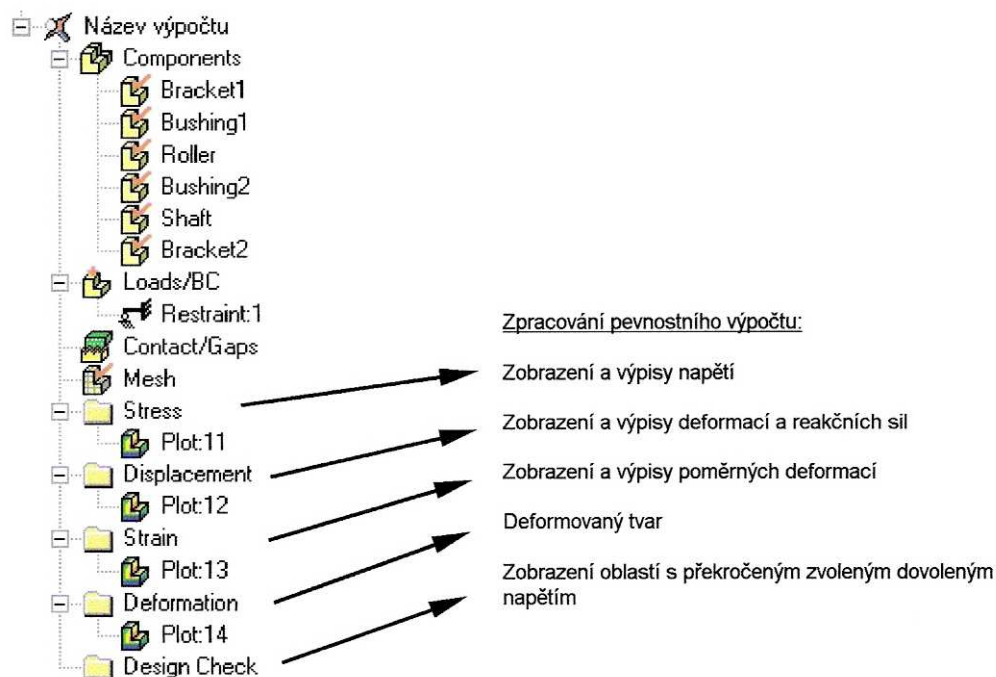
Obr. 2. Základní menu - 1.část

P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR



Obr. 3. Základní menu - 2.část

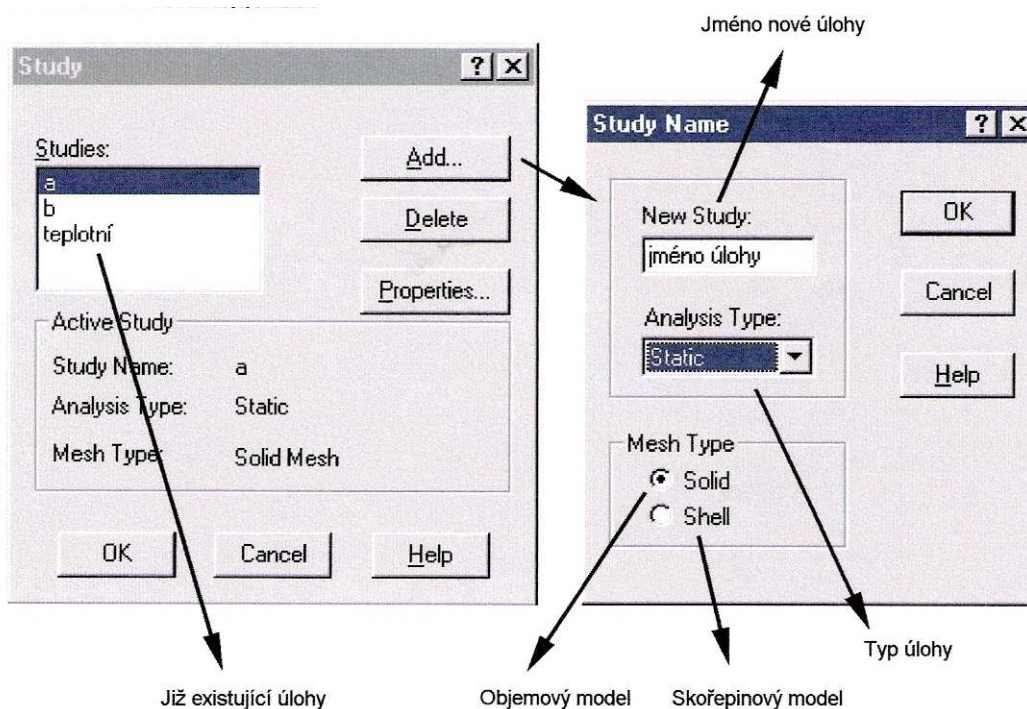
P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR



Obr. 4. Základní menu - 3.část

Popis menu ze stromové struktury

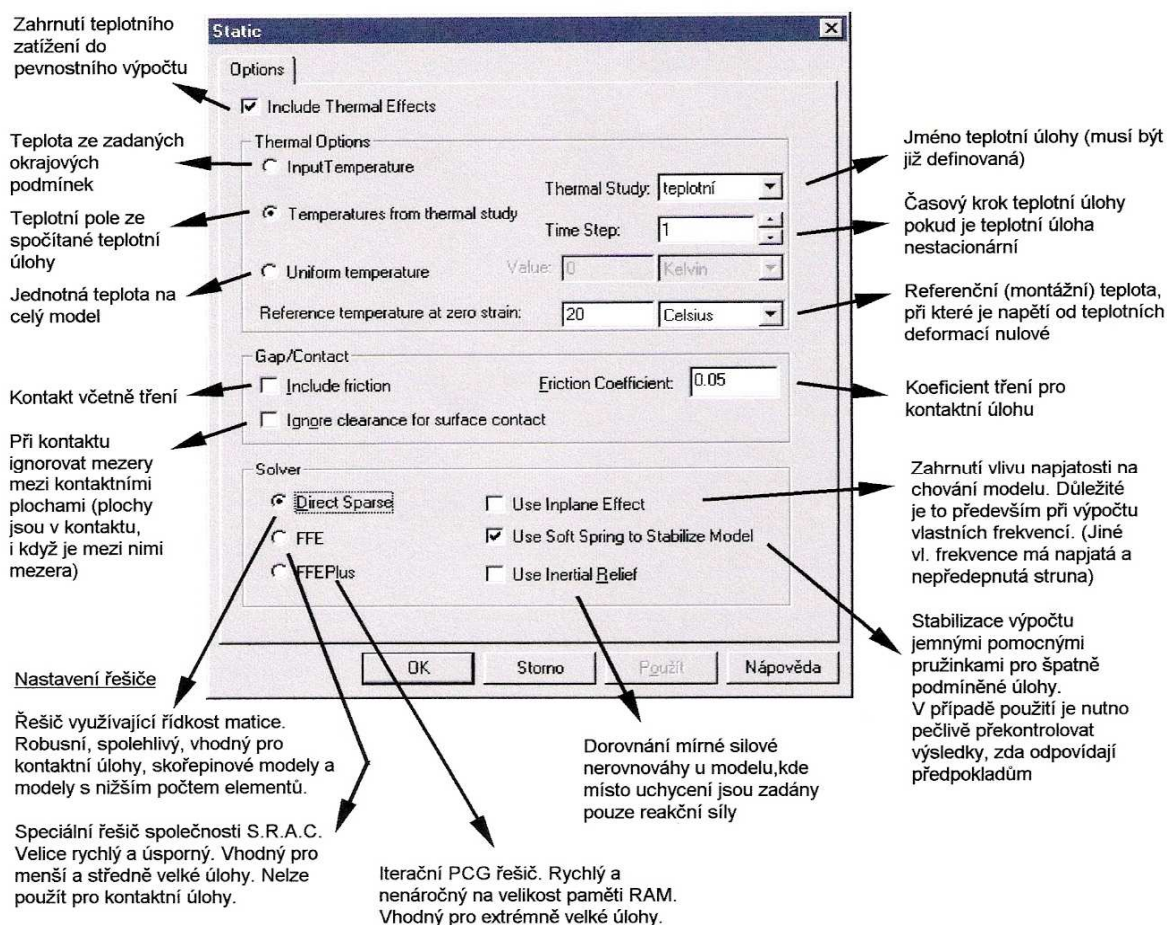
Přidání nového výpočtu



Obr. 5. Dialogové okno pro přidání nového výpočtu

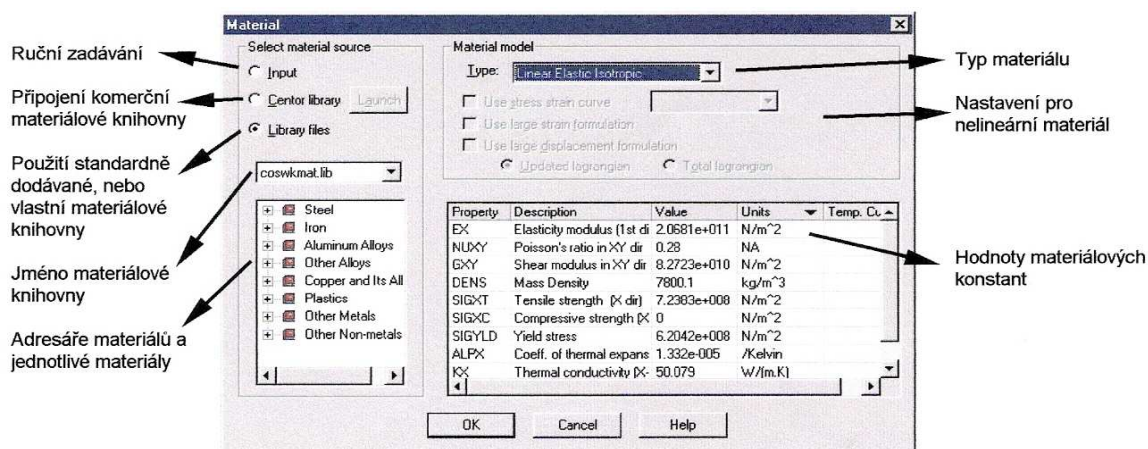
P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

Nastavení výpočtu



Obr. 6. Dialogové okno pro nastavení výpočtu

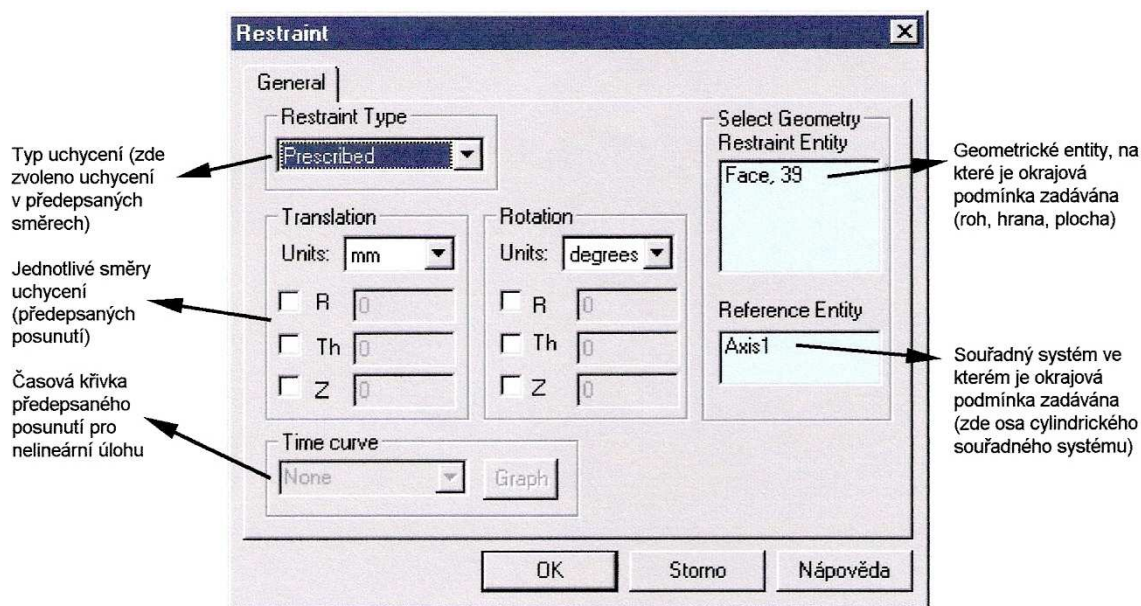
Zadání materiálu



Obr. 7. Dialogové okno pro zadání materiálu

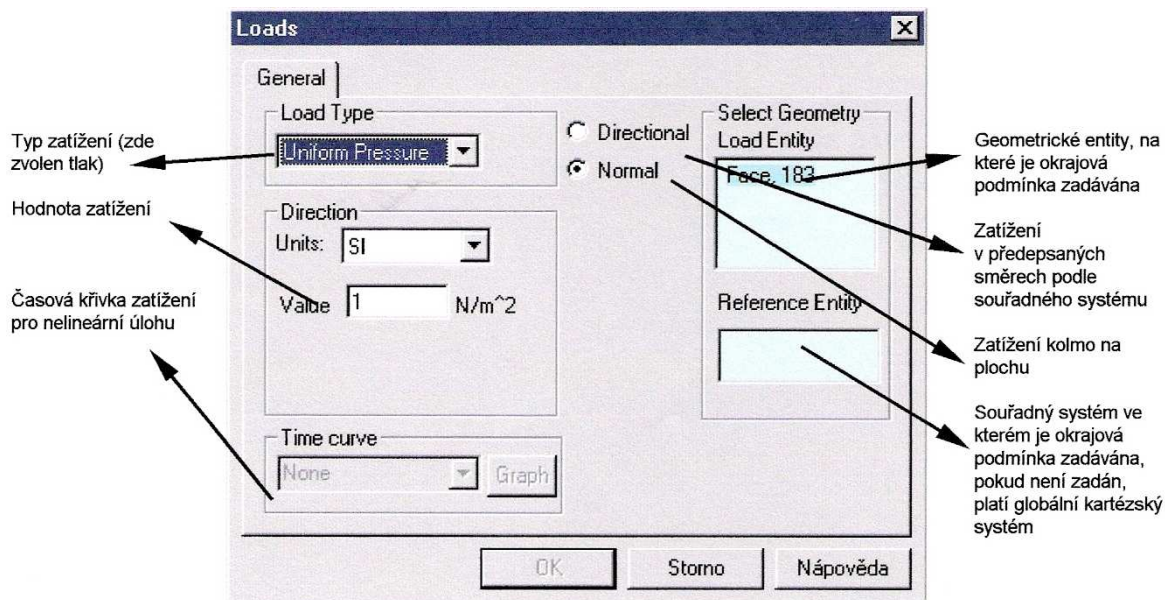
P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

Uchycení



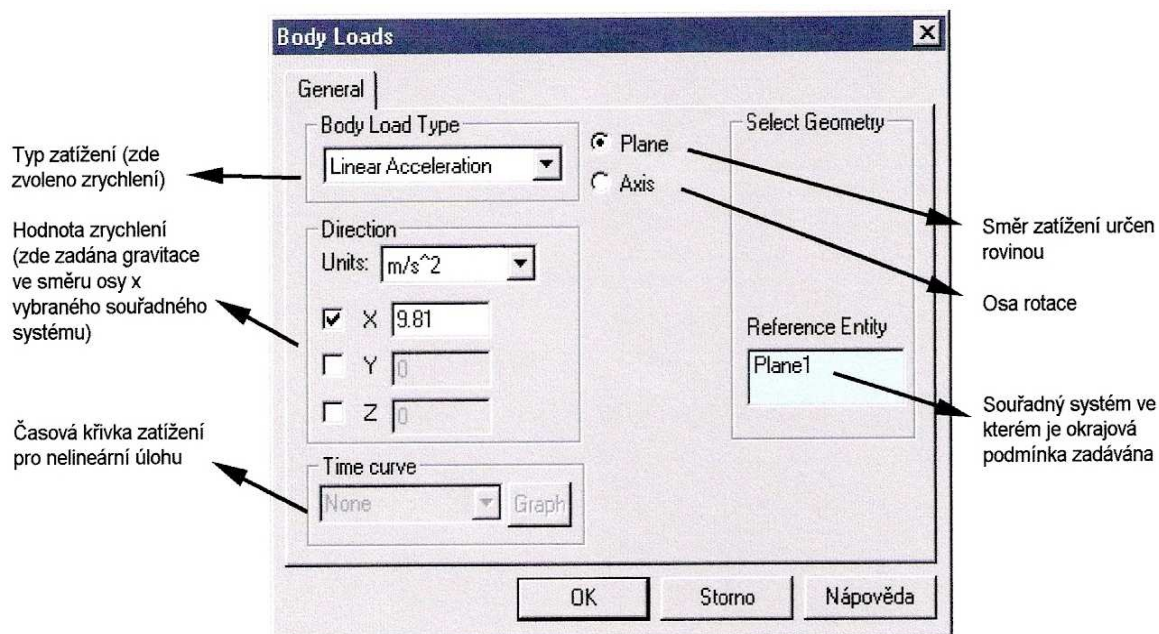
Obr. 8. Dialogové okno pro zadání uchycení součásti

Zatížení



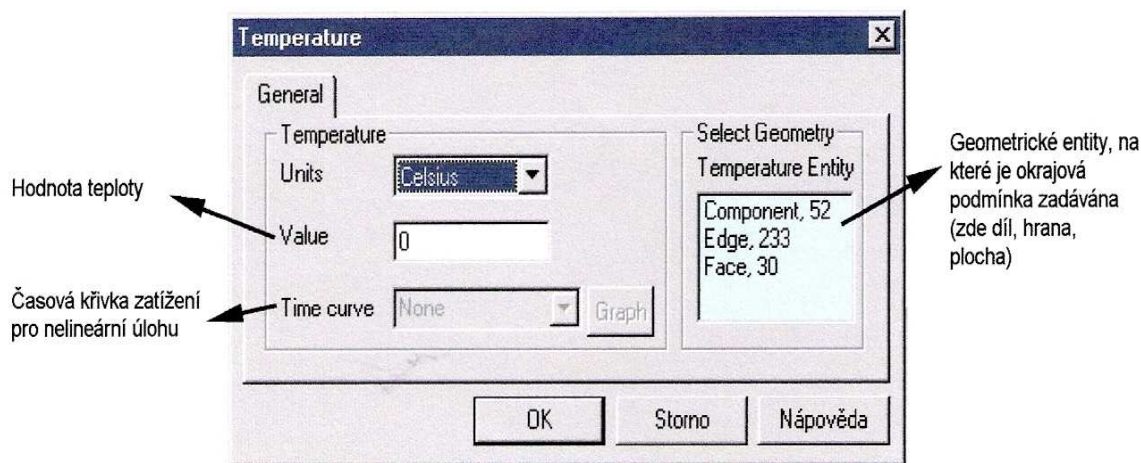
Obr. 9. Dialogové okno pro zadání zatížení

Setrvačné síly



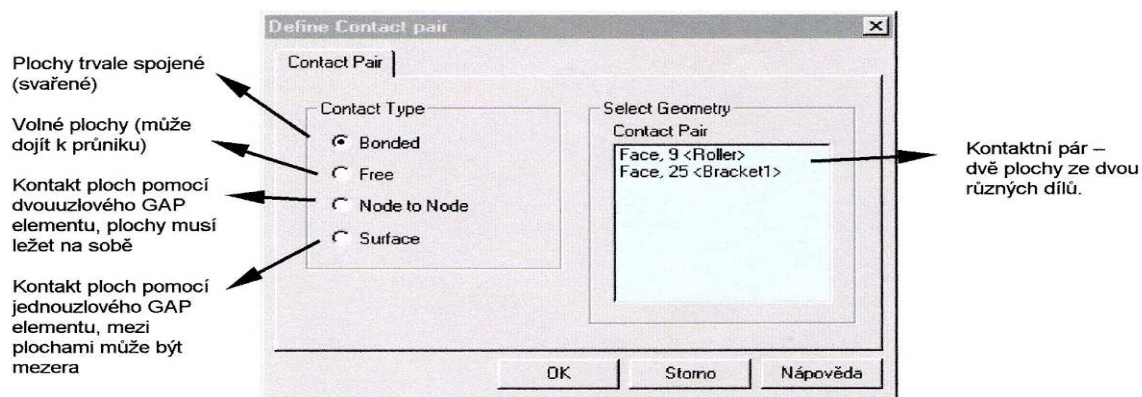
Obr. 10. Dialogové okno pro zadání setrvačné síly

Teplotní zatížení v pevnostní úloze



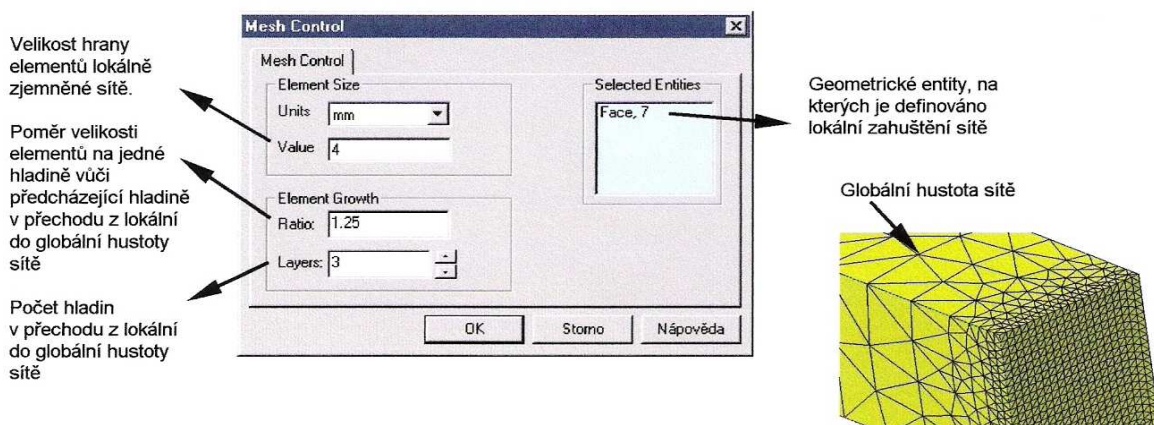
Obr. 11. Dialogové okno pro zadání teplotního zatížení

Definice kontaktního páru



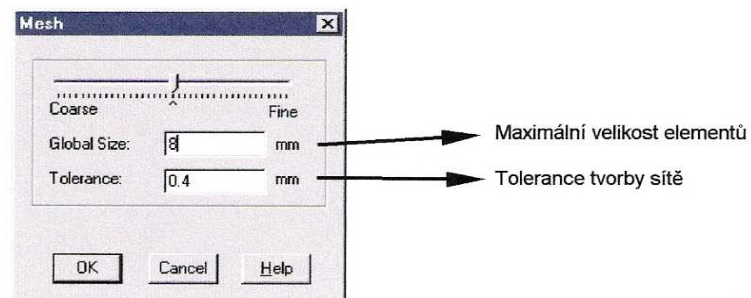
Obr. 12. Dialogové okno pro definování kontaktního páru

Tvorba výpočetní sítě - lokální zjemnění



Obr. 13. Dialogové okno pro tvorbu výpočetní sítě - lokálního zjemnění

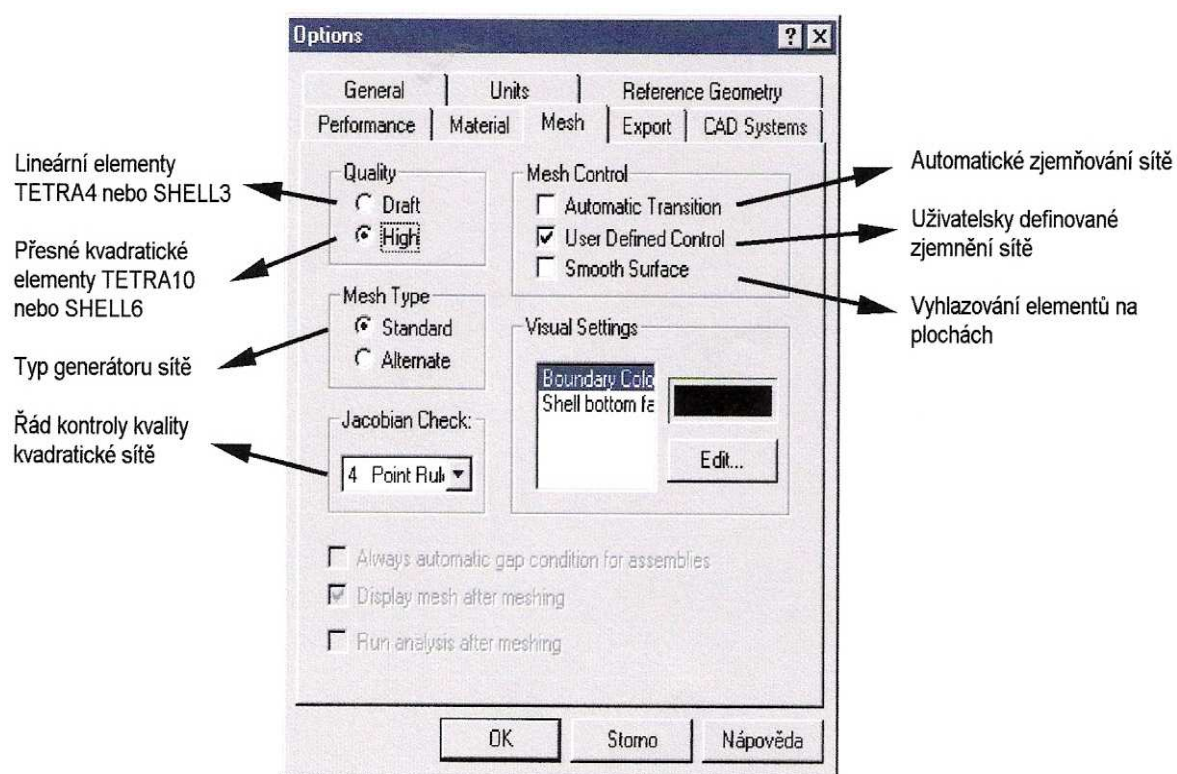
Tvorba výpočetní sítě - generace elementů



Obr. 14. Dialogové okno pro tvorbu výpočetní sítě - generace elementů

P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

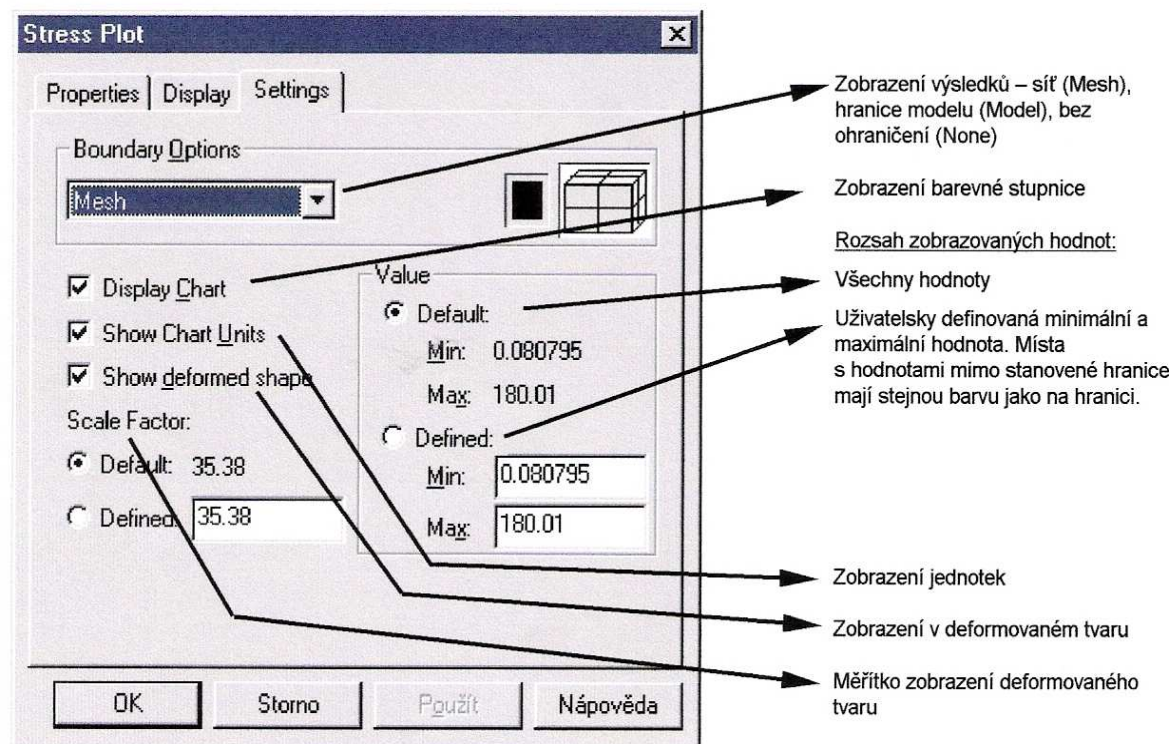
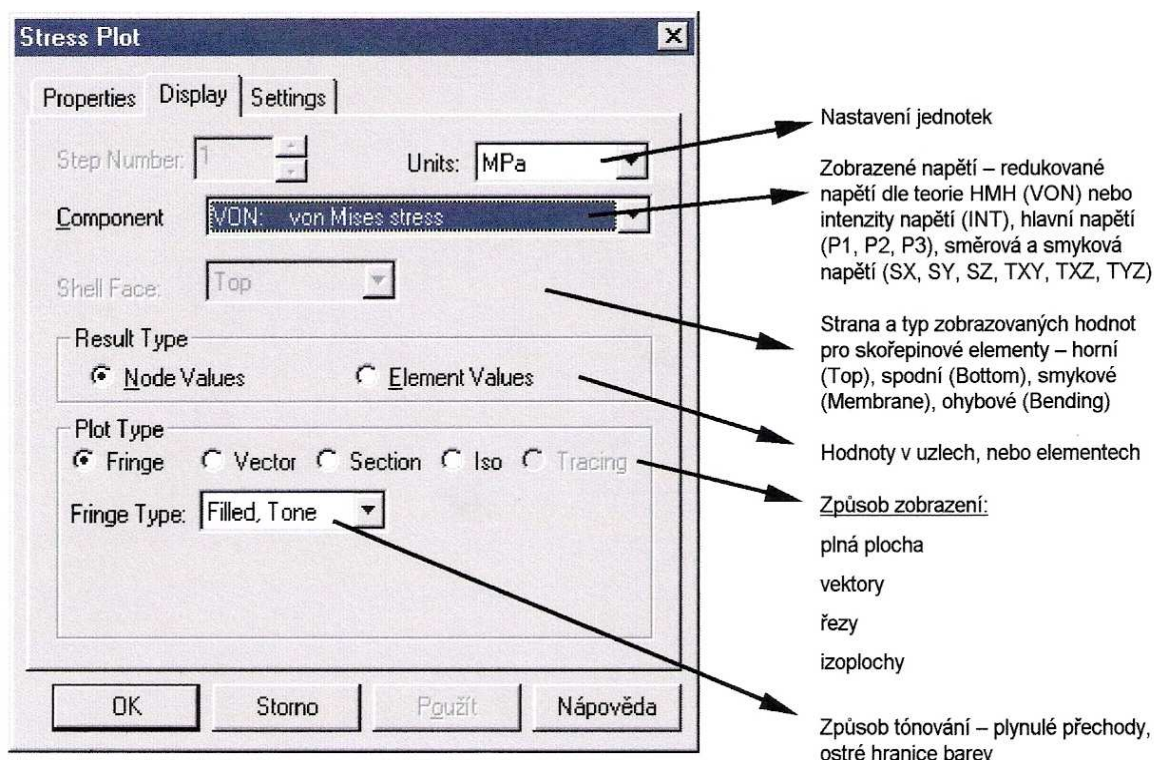
Tvorba výpočetní sítě - doporučené nastavení generátoru sítě



Obr. 15. Dialogové okno pro tvorbu výpočetní sítě - nastavení generátoru sítě

P 14 : Koncepcce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

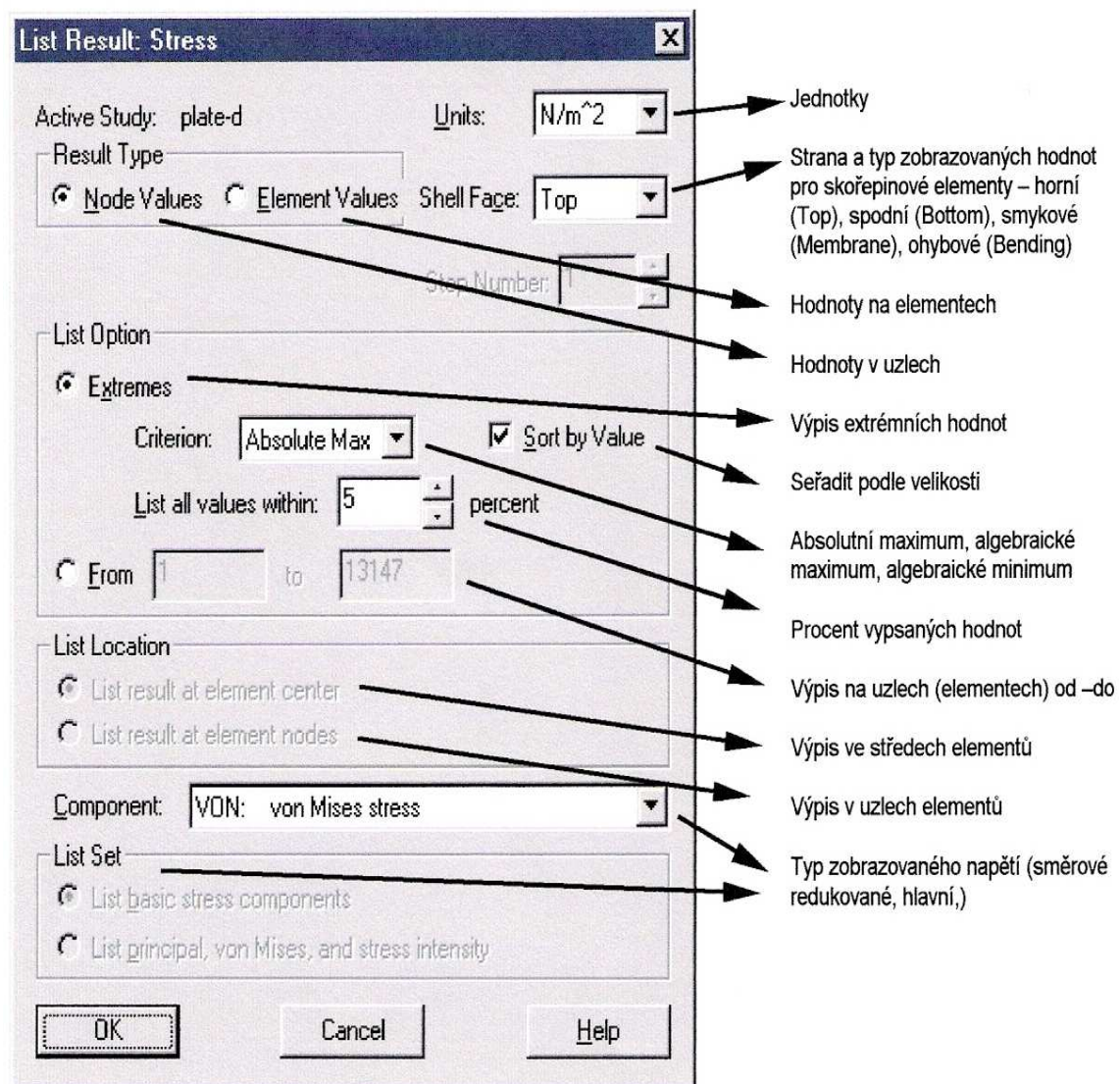
Zpracování výpočtu - zobrazení napětí



Obr. 16. Dialogové okno pro zpracování výpočtu - zobrazení napětí

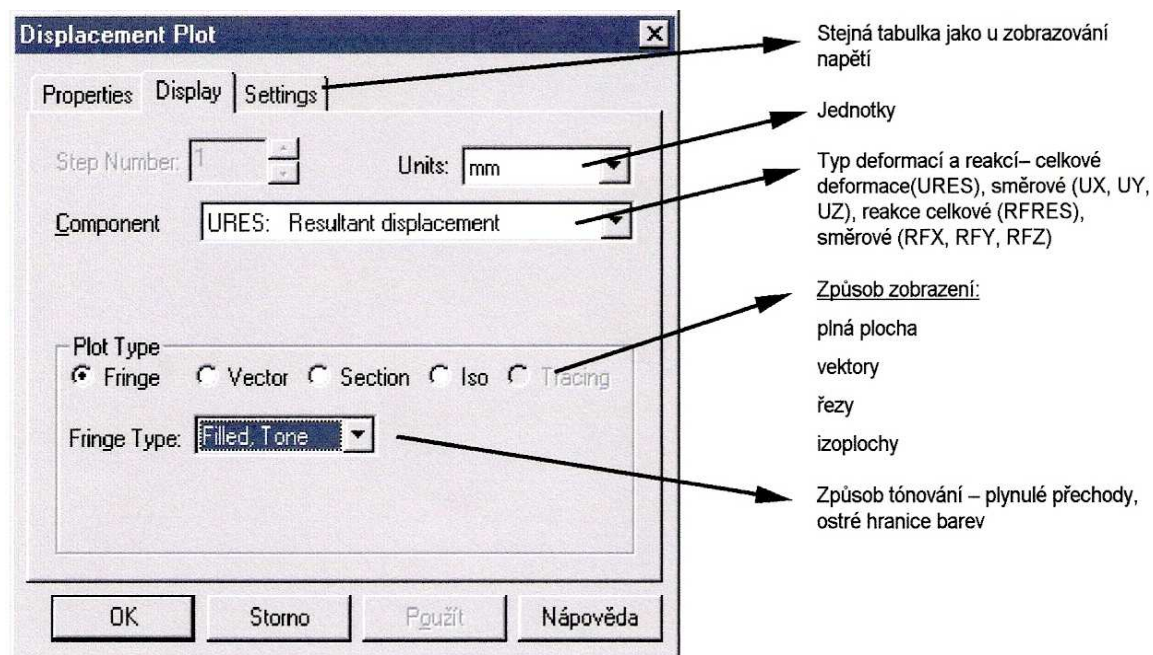
P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

Zpracování výpočtu - výpis hodnot napětí

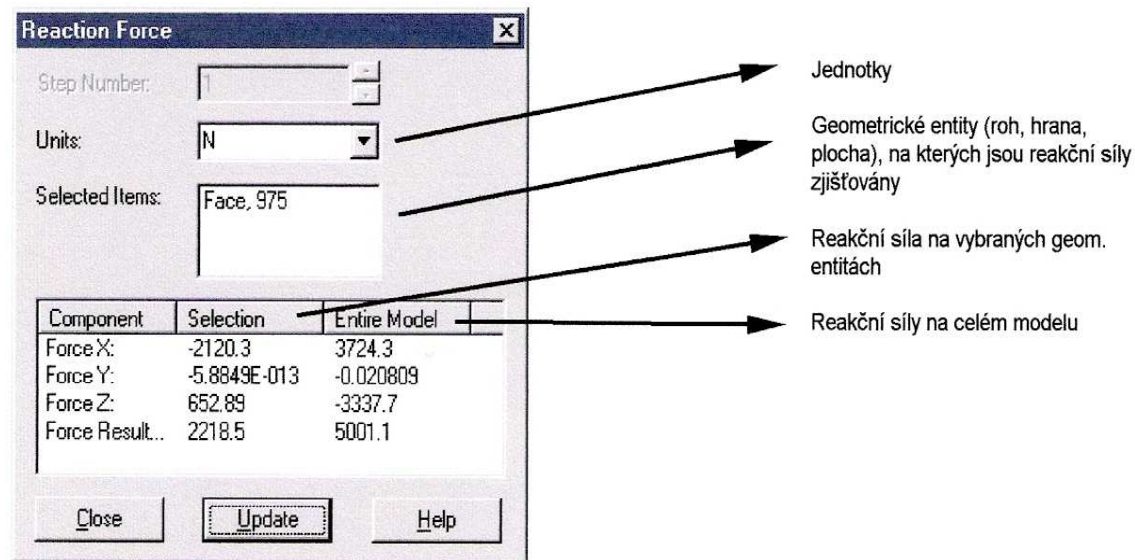


Obr. 17. Dialogové okno pro zpracování výpočtu - výpis hodnot napětí

P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR
Zpracování výpočtu - zobrazení deformací a reakčních sil



Obr. 18. Dialogové okno pro zpracování výpočtu - zobrazení deformací a reakčních sil
Výpis reakčních sil

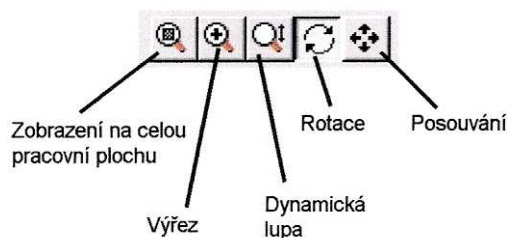


Obr. 19. Dialogové okno pro výpis reakčních sil

P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

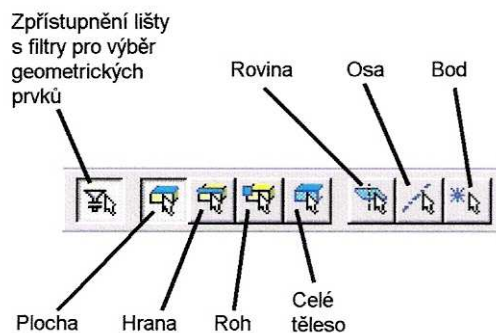
Další položky dostupné z tlačítek nástrojových lišt a z roletových menu

Umístění modelu



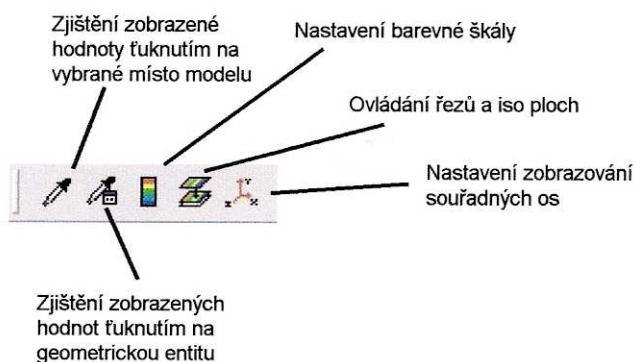
Obr. 20. Nástrojový panel pro umístění modelu

Filtry pro výběr geometrických entit



Obr. 21. Nástrojový panel pro výběr geometrických entit

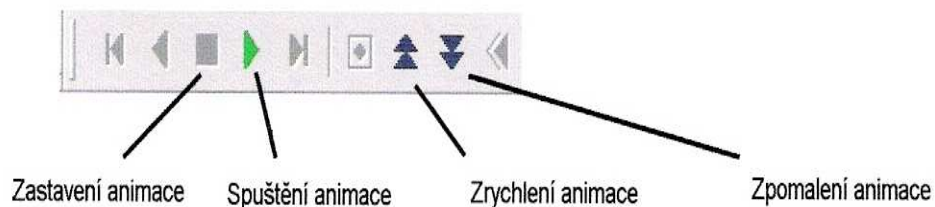
Nástroje na zpracování výsledků



Obr. 22. Nástrojový panel pro zpracování výsledků

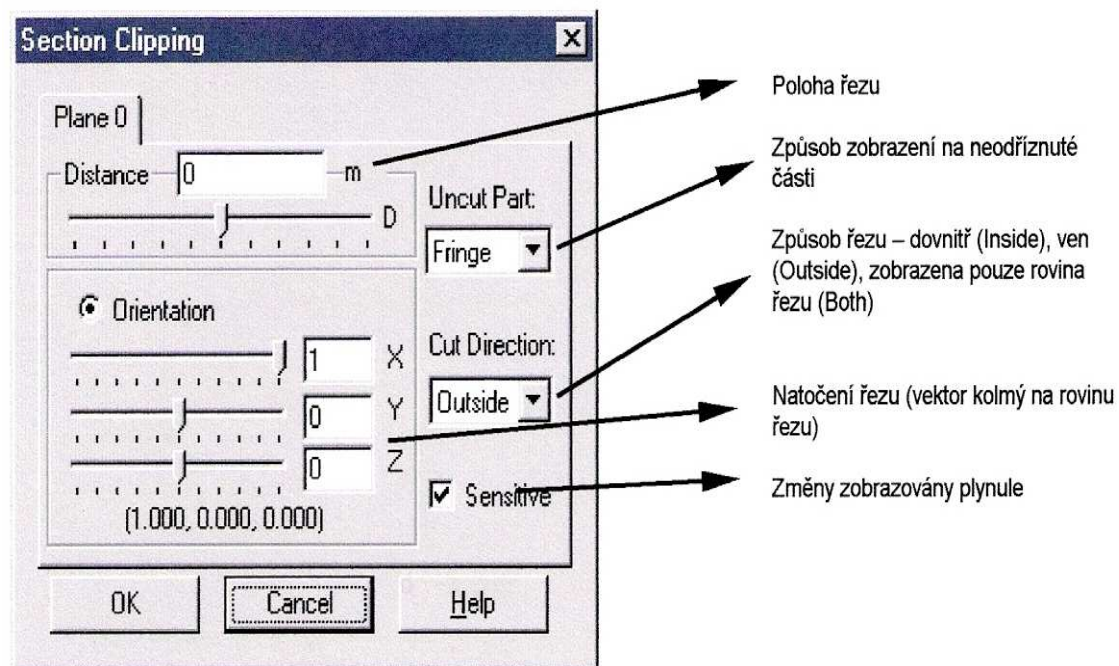
P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

Animace výsledků



Obr. 23. Nástrojový panel pro animaci výsledků

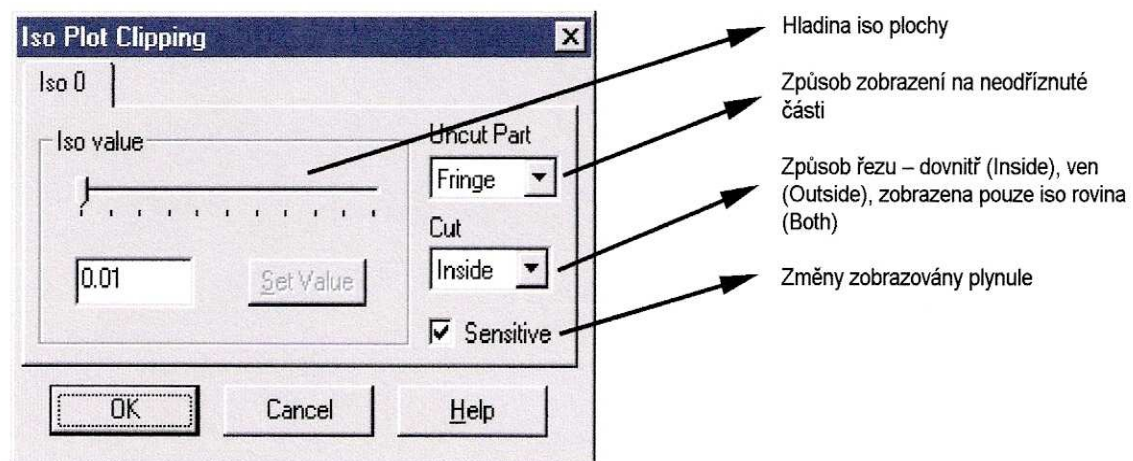
Zpracování výsledků - manipulace s řezy



Obr. 24. Nástrojový panel pro manipulaci s řezy

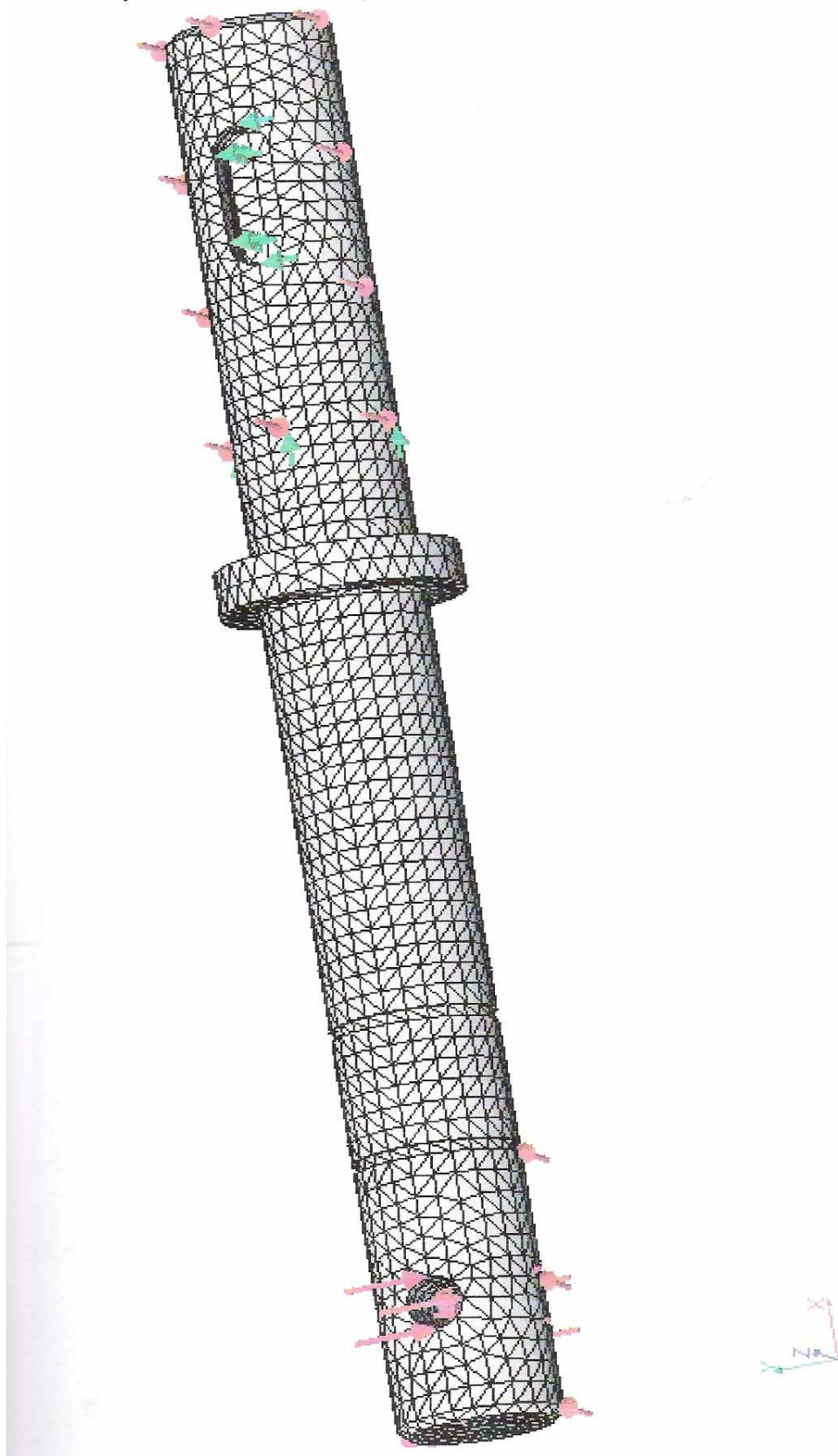
P 14 : Koncepce a přehled vybraných příkazů programu COSMOS/M – DesignSTAR

Zpracování výsledků - manipulace s iso plochami

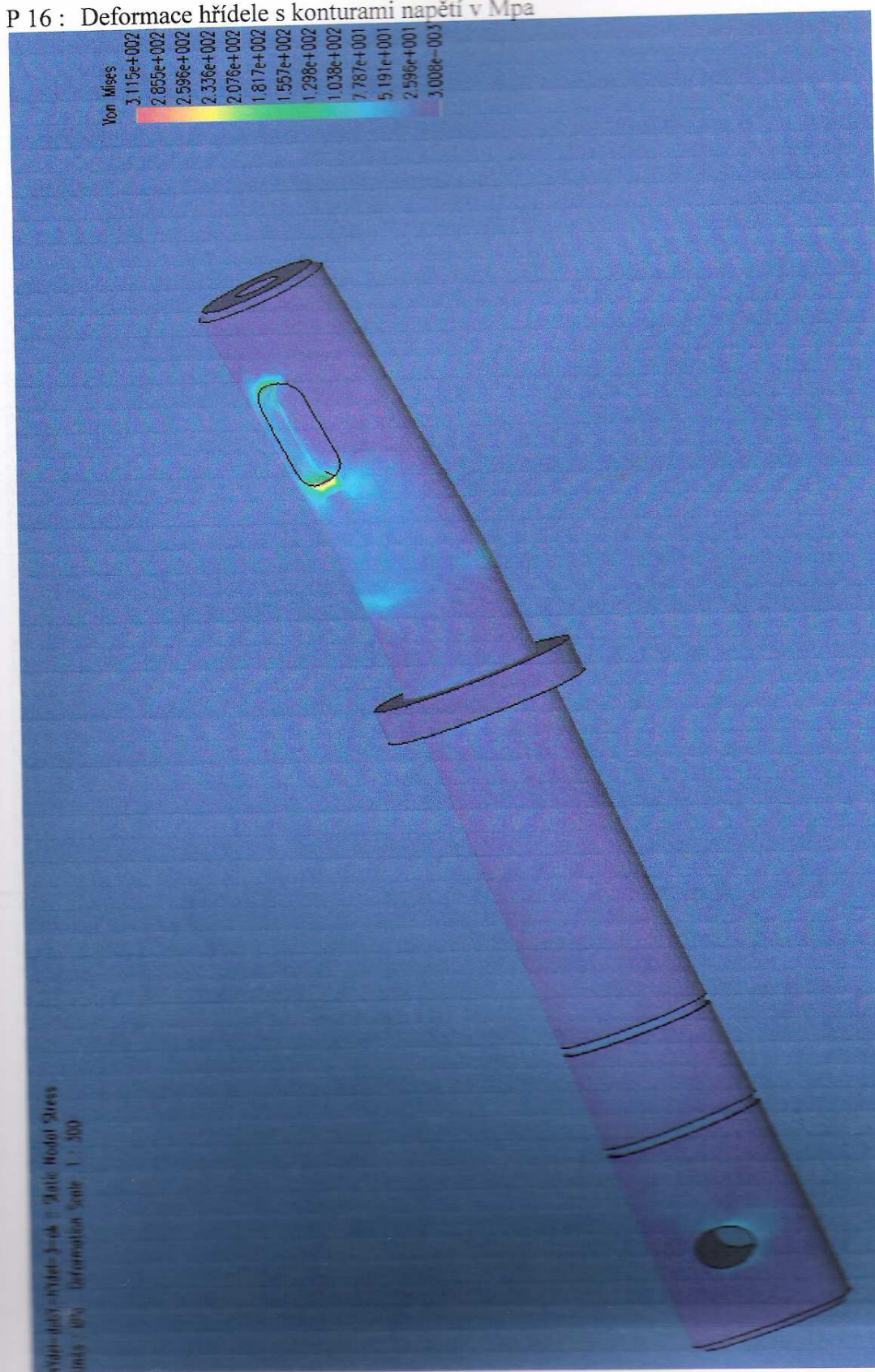


Obr. 25. Nástrojový panel pro manipulaci s iso plochami

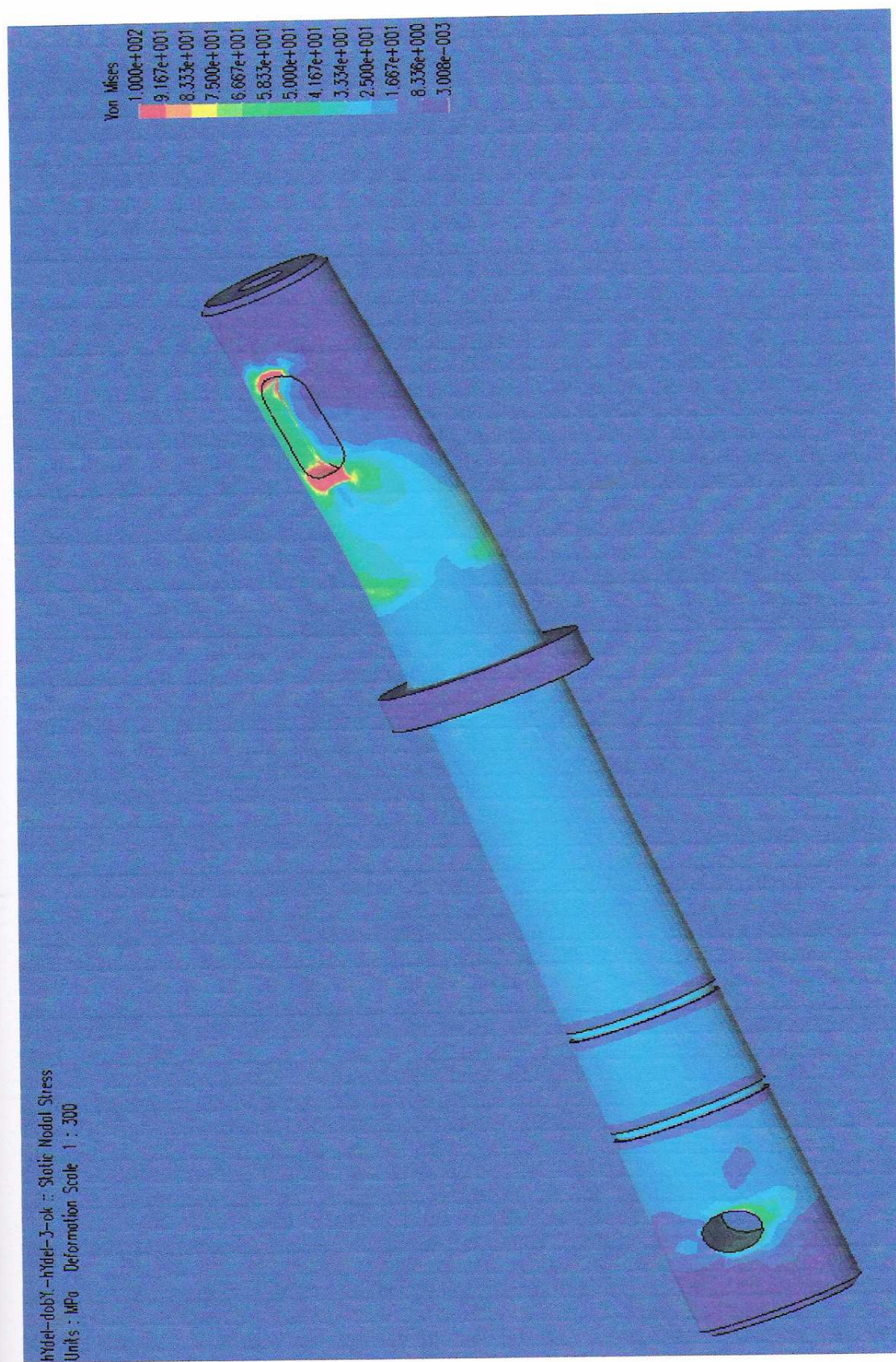
P 15 : Výsledné zatížení a uchycení hřídele s vygenerovanou sítí



P 16 : Deformace hřídele s konturami napětí v Mpa



P 17: Deformace hřídele s konturami napětí o max. velikosti 100 MPa



P 18 : Deformace hřídele s konturami v mm

