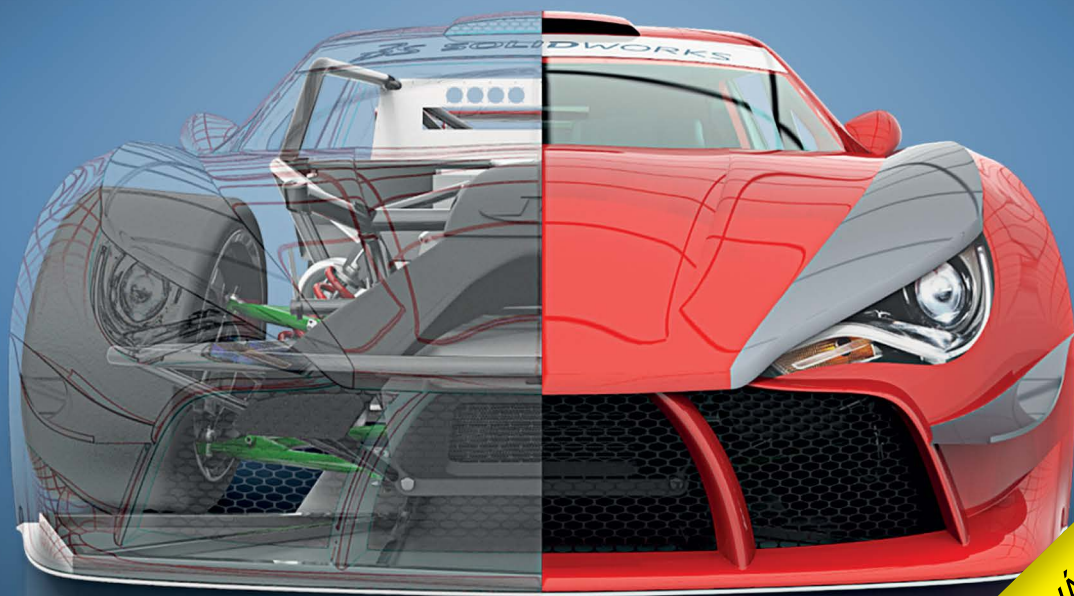


Učebnice

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

SOLIDWORKS



UKÁZKOVÁ
KAPITOLA
ZDARMA

Učebnice SOLIDWORKS

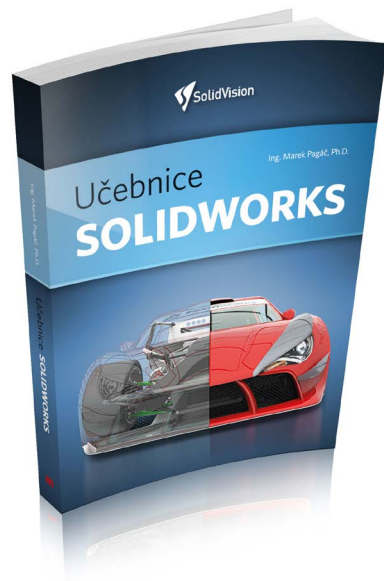
vás prostřednictvím spousty praktických příkladů na 380 stranách naučí rychle a přitom důsledně ovládat strojírenský CAD systém SOLIDWORKS a jeho nejpoužívanější specializované nástroje.

Následující stránky přinášejí ukázkovou kapitolu věnovanou pevnostním výpočtům a simulacím. Celou knihu si můžete objednat v e-shopu:

www.solidvision.cz/ucebnice

OBSAH KNIHY

1. Proč používat 3D CAD
2. Úvod do SolidWorksu
3. Základy skicování
4. Základy modelování
5. Referenční geometrie a křivky
6. Pokročilé skicování
7. Pokročilé metody modelování
8. Základy tvorby sestav
9. Pokročilá práce se sestavami
10. Výkresová dokumentace
11. Pokročilá správa dokumentace
12. Plechové díly
13. Svařované díly a konstrukce
14. Modelování a úprava ploch
15. Pevnostní výpočty a simulace



Učebnice SOLIDWORKS

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Editor: Ing. Ondřej Zelený

Redakční a grafické zpracování: Ing. Jan Homola

Vizualizace na titulní straně: Dassault Systèmes

Vydalo Vydavatelství Nová média, s. r. o., se sídlem Bašty 413/2 v Brně – www.novamedia.cz
Vydání knihy podpořila společnost SolidVision, s. r. o. – www.solidvision.cz

SOLIDWORKS a další názvy produktů používané v této knize jsou ochrannými známkami společnosti Dassault Systèmes.

© Vydavatelství Nová média, s. r. o., 2017

Pevnostní výpočty a simulace

15

■ Úvod

Kontrola konstrukčního návrhu by měla být samozřejmou a častou součástí běžného procesu vývoje produktu. S její pomocí by se měl konstruktér průběžně ujišťovat, že jeho návrh bude spolehlivý a bezpečný, případně nebude trpět nadváhou přebytečného materiálu.

Nejpoužívanější kontroly návrhů představují pevnostní analýzy. Jejich primárním cílem je prověřit reakci součásti na nějaký zátěžný stav, přičemž běžného konstruktéra nejčastěji zajímá pevnost součásti. Typicky pevnostní analýza řeší, jaké napětí vznikne v materiálu součásti a jak se součást zdeformuje, když nějakou její část pevně uchytime a jinou zatížíme určitou silou či tlakem.



Obrázek 15.1 Takovýto výsledek opravy není přípustný (zdroj: foreignaffairs.us).

OBSAH KAPITOLY

Úvod do pevnostních výpočtů

Koeficient bezpečnosti
a mez kluzu

Metoda konečných prvků

Ověření návrhu

SolidWorks SimulationXpress

Lineárně statické úlohy

Volba okrajových podmínek

Hodnocení výsledků
kontroly návrhu

Úprava návrhu
a opětovné ověření

UKÁZKOVÁ
KAPITOLA
ZDARMA

Podle velikosti deformace lze zkontrolovat, jestli součást bude po zatížení stále ještě ve funkčním tvaru. Zároveň je možné vypočítané napětí porovnat s charakteristikami materiálu součásti (nejčastěji s mezí kluzu materiálu) a tím ověřit, jestli nedojde k trvalé deformaci součásti, případně k jejímu úplnému porušení (ani jedno není žádoucí).

Koeficient bezpečnosti

Pro jednoduché vyhodnocení spolehlivosti součásti se používá koeficient bezpečnosti. Jedná se o poměr mezi dosaženým či vypočítaným napětím a maximální dovolenou materiálovou hodnotou (obvykle mezí kluzu) a udává **rezervu v namáhání součásti**. Koeficient bezpečnosti musí být vždy vyšší než 1, podle materiálu, konstrukční oblasti a typu namáhání třeba i několikrát (například v letectví).

Mez kluzu

Nejběžnější konstrukční materiál, tedy ocel, se mimo jiné vyznačuje pružným chováním. To znamená, že při zatížení se dočasně deformuje (ohne, protáhne) a když zatížení pomine, tak se vrátí do původního tvaru a velikosti. Pokud však zatížení překročí určitou hranici, tak se deformace stává trvalou, což je pro většinu návrhů nepřijatelné. Této hranici se říká mez kluzu.

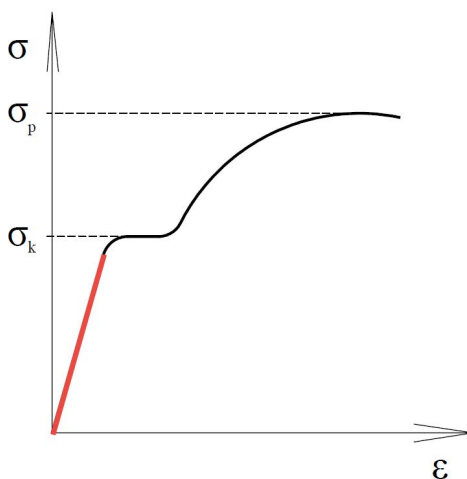
Pevnostní výpočty pomocí metody konečných prvků

V minulosti se pevnostní výpočty řešily ručně. S příchodem počítačů však postupně začaly vznikat automatizované výpočetní nástroje založené na tzv. metodě konečných prvků (MKP).

MKP je numerická výpočtová metoda vhodná pro řešení nejrůznějších typů úloh, například pevnostních, teplotních, frekvenčních a dalších. Narozdíl od výpočtů pomocí analytických vzorečků, kterými je možné běžně zvládnout průhyb jednoduchého nosníku, umožňuje MKP řešit libovolně tvarově komplikované součásti.

Materiál	Koeficient bezpečnosti
ocel	$k = 1,2 - 2$
kalená ocel	$k = 1,2 - 2$
šedá litina	$k = 4 - 5$
hliník	$k = 8 - 10$

Tabulka 15.1 Koeficienty bezpečnosti podle materiálu pro konstrukci běžných strojů a zařízení.



Obrazek 15.2 Vztah mezi napětím a deformací určuje tzv. Hookův zákon (σ - napětí; σ_k - mez kluzu; σ_p - mez pevnosti (porušení materiálu), ϵ - deformace). Červeně vyznačená část představuje lineárně-pružnou oblast.

Princip MKP spočívá v rozdělení geometrie součásti na velký počet malých, jednoduchých tvarů, například jehlanů nebo krychliček, kterým se říká prvky. Prostorově uspořádané prvky vytvářejí tzv. síť prvků, která ve výpočtu nahrazuje původní geometrii součásti. Každý prvek této sítě je popsán sadou jednoduchých rovnic, které reprezentují tuhost jeho materiálu, zatěžující sílu i výsledné posunutí způsobené tímto zatížením. Setříděním všech rovnic do matice je možné přenášet vypočítaná posunutí na vzájemně sousedící prvky a tak postupně určit celkovou deformaci součásti, například průhyb. Derivací posunutí v jednotlivých prvcích pak lze určit jejich napětí a následně i průběh na-

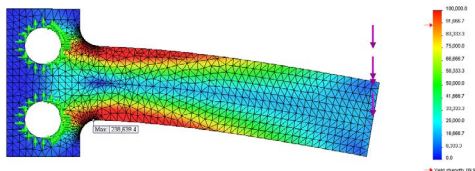
pět v celé součásti. Samotný výpočet spočívá ve vyřešení soustavy všech zmíněných rovnic. Z matematického hlediska se jedná o docela jednoduchý výpočet, pro jehož řešení se používá obyčejná Gaussova eliminační metoda, neboli ze střední školy známé řešení soustavy X rovnic o X neznámých. Jenom to X bývá trochu větší – běžné úlohy mívají desetitisíce či statisíce rovnic.

■ Ověření návrhu v SolidWorksu

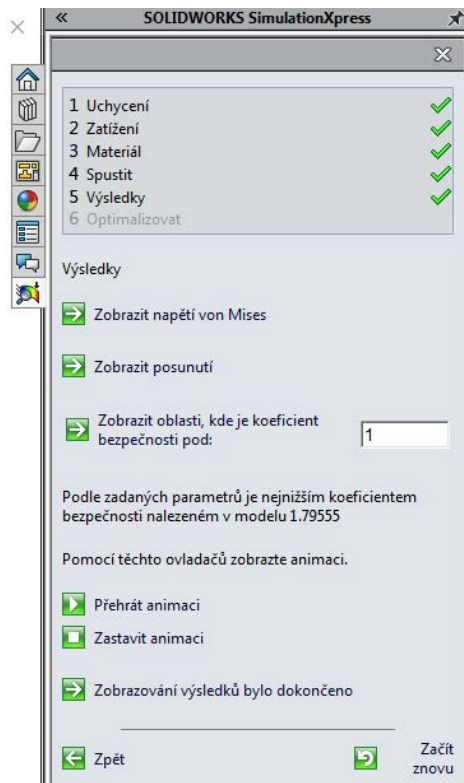
Základní pevnostní kontrolu jednotlivých dílů je možné provést pomocí nástroje SimulationXpress, který je bezplatný a dostupný v každé instalaci SolidWorksu.

SimulationXpress je řešen jako průvodce, v němž snadno vyberete materiál součásti a určíte, které plochy mají být uchycené a na které má působit zatěžující síla či tlak. Jediným kliknutím se spustí výpočet a během pár vteřin jsou k dispozici výsledky. Prvním z nich je studie bezpečnosti, která pomocí barev přehledně zobrazí kritická místa modelu. Snadno lze ale zobrazit i další grafické výsledky jako průběh napětí a průběh posunutí (deformace modelu). Výsledky se dají animovat a je možné je uložit do závěrečné zprávy nebo do formátu prohlížeče. Na závěr, po posouzení výsledků, se konstruktér může rozhodnout dokonce i pro jednoparametrovou optimalizaci modelu.

Nastavení a výsledky pevnostní kontroly se automaticky ukládají do dokumentu dílu. Při změně geometrie modelu pak stačí jen znovu spustit nástroj SimulationXpress a jediným kliknutím nechat kontrolu návrhu zaktualizovat.



Obrázek 15.4 Zobrazení vypočítaného průběhu napětí na síti prvků pomocí barevné mapy.



Obrázek 15.3 SimulationXpress, nástroj na pevnostní kontrolu, má podobu přehledného průvodce.

Výsledky kontroly návrhu nástrojem SimulationXpress

- hodnota nejmenšího nalezeného koeficientu bezpečnosti,
- grafické znázornění kritických oblastí modelu (barevná mapa),
- zobrazení deformovaného tvaru včetně uvedení měřítka deformace,
- průběh redukovaného napětí (Von Mises) na modelu s označením míst s maximálním a minimálním napětím,
- průběh deformace modelu s označením míst s maximální a minimální deformací.

■ Omezení nástroje SimulationXpress

Jak už bylo zmíněno výše, SimulationXpress je nástroj určený pro základní kontroly. Je nutné počítat s tím, že jeho použití má určité omezení, kterými jsou:

- lineárně statické výpočty,
- pouze jednotlivé díly,
- omezené podmínky uchycení,
- omezené podmínky zatížení.

V případě, že by tato omezení byla pro vaše reálné úlohy a výpočty příliš limitující, je možné sáhnout po profesionálně vybaveném nástroji SolidWorks Simulation.

Lineárně statické výpočty

SimulationXpress umí řešit pouze úlohy v oblasti lineární statiky. Tyto úlohy jsou z hlediska strukturálních analýz nejjednodušší, přesto však nejčastěji řešené. Aby byla úloha lineárně statická, musí splňovat následující podmínky či omezení:

- zatěžování probíhá v lineárně pružné oblasti (tedy uvažuje se ideálně pružný materiál s nekonečně vysokou mezí kluzu),
- v průběhu času se nesmí měnit okrajové podmínky (tedy uchycení součástí i zatěžující síly či tlaky jsou neměnné a nezatěžují součást skokově),
- způsobená posunutí jsou zanedbatelně malá (tedy deformace součástí vlivem zatížení nesmí významným způsobem měnit tvar součástí).

Výpočty jednotlivých dílů

SimulationXpress umí provádět pouze výpočty jednotlivých dílů. Není tedy možné provádět kontroly sestav a řešit tzv. kontaktní úlohy, kdy se uvažuje opření jedné součásti o druhou, vlivem čehož dojde k zamezení posunu a tím zvýšení pevnosti celé sestavy.

Omezené podmínky uchycení

Uchycení představuje podepření součásti, jehož účelem je zamezení pohybu součásti jako reakce na působící zatížení. SimulationXpress umí pracovat pouze s nejjednodušším typem uchycení, kterým je vetknutí. To zamezí jakémukoliv posunu v uchycené oblasti součásti. Typickým příkladem je tyč zabetonovaná do zdi či podlahy.

Omezené podmínky zatížení

Jako zatížení souhrnně označujeme veškeré síly, tlaky, kruty a všechny ostatní vnější vlivy působící na součást. SimulationXpress umí součást zatížit pouze silami a tlaky, které působí na plochy modelu.



Zadání i řešení příkladů a cvičení v této knize vychází z připravených dokumentů, které obsahují předchystané skici, prvky nebo celé modely. Instrukce, odkud soubory stáhnout a kam je umístit, naleznete na začátku učebnice v části **Instrukce ke stažení souborů k příkladům a cvičením.**

Příklad 15.1

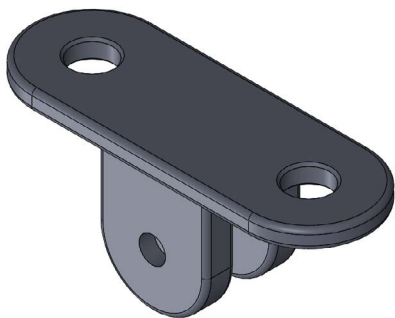
■ Kontrola návrhu uložení kladky

Při studiu této učebnice jste si mohli všimnout, že jsme již několikrát při řešení úloh použili první modelovaný díl → uložení kladky. Na tomto modelu jsme si ukázali postup návrhu od skici až po hotový model a představili jsme si vytváření konfigurací i tvorbu výkresové dokumentace. Na závěr vývoje dílu zbývá ověřit návrh pevnostní analýzou, kterou provedeme pomocí nástroje SolidWorks SimulationXpress.

Postup ověření návrhu

1 Stáhněte si soubor www.mujsolidworks.cz/15.zip a rozbalte jej. Otevřete si díl **15-1.sldprt** a uložte jej pod názvem **15-1-a.sldprt**.

UKÁZKOVÁ
KAPITOLA
ZDARMA



Obrázek 15.5 Model dílu uložení kladky.

2 Modelem je uložení kladky, se kterým jste se mohli v této učebnici setkat již několikrát.

Volba materiálu a definice okrajových podmínek

Příklad řešíme jako lineárně statickou úlohu se zanedbatelným posunutím, konstantním zatížením a předpokladem, že se materiál bude při všech zatíženích chovat zcela pružně.

I. Materiál

Jako materiál dílu zvolíme ocel **Obyčejná uhlíková ocel**. Materiálové hodnoty této oceli jsou ve výchozí knihovně materiálů SolidWorksu a nemusíte tedy nic dohledávat v tabulkách. Povinné parametry materiálu pro pevnostní kontrolu v SimulationXpress jsou tyto:

- Youngův modul pružnosti, $E = 210000 \text{ MPa}$
- Poissonovo číslo, $\mu = 0,28$
- mez kluzu, $\sigma_k = 220 \text{ MPa}$
- hustota, $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$

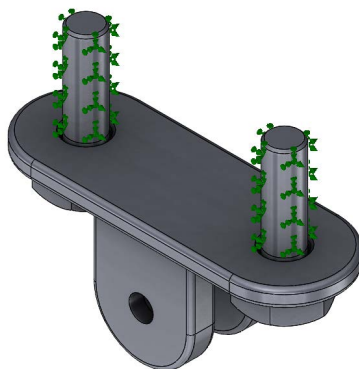
Youngův modul pružnosti udává, jak se materiál prodlouží při určitém napětí. Poissonovo číslo udává, jak se budou měnit příčné rozměry součásti v závislosti na jejím prodloužení. Mez kluzu se využije při vyhodnocení závěrů analýzy, byť na samotný pevnostní výpočet nemá vliv.

II. Okrajové podmínky

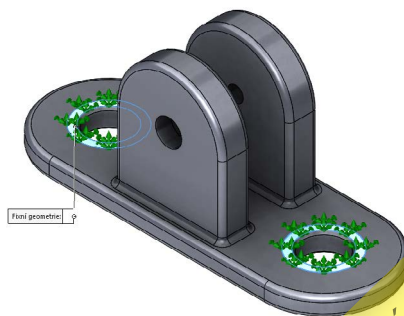
Jako okrajové podmínky souhrnně označujeme všechna uchycení a zatížení součástí. Účelem uchycení je zamezení pohybu součásti jako reakce na působící zatížení. Zatížení představuje veškeré síly a tlaky, které působí na plochy modelu.

a) Uchycení

Ideální uchycení naší součásti by bylo pomocí šroubů, které by byly zašroubované ve zdi nebo do ocelové konstrukce (znázorněno na Obrázku 15.6). My si však zadání okrajových podmínek trochu zjednodušíme a provedeme výpočet bez šroubů, kdy uložení kladky uchytíme za plochy ve tvaru mezikruží vytvořené z rozdělovací křivky (viz Obrázek 15.7). Ve skutečnosti se jedná o plochy, kde se stýká základna s hlavou šroubu. Na těchto plochách bude materiál vetknut a tím pádem zcela tuhý.



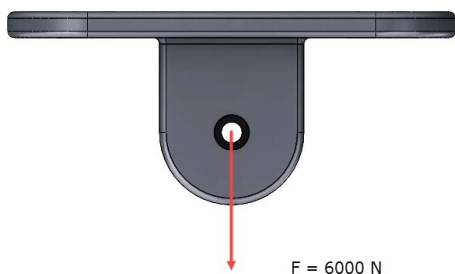
Obrázek 15.6 Ideální uchycení dílu.



Obrázek 15.7 Zjednodušené uchycení.

b) Zatížení

Plochy děr v úchytech zatížíme silou F o velikosti **6 000 N**, která bude směřovat kolmo od základny. Velikost zatížení si můžete představit jako závaží o hmotnosti 600 kg, která visí na laně. Lano je zavěšené na čepu, který je umístěn v dírách úchytů.

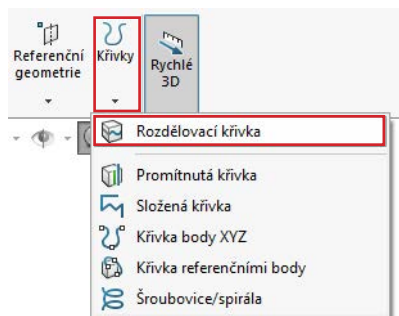


Obrázek 15.8 Schéma zatížení dílu.

A. Příprava modelu

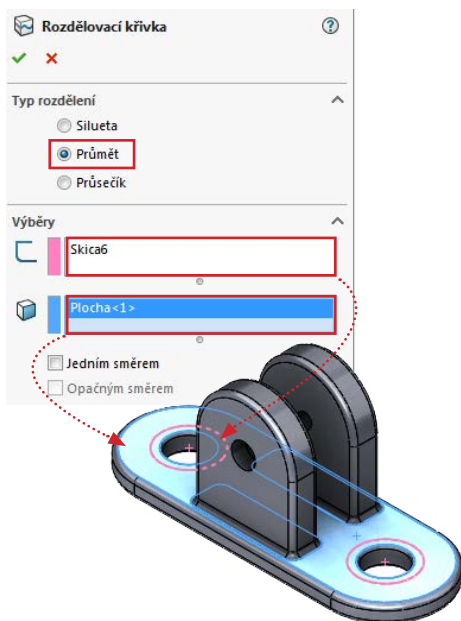
3 V dílu **15-1-a.sldprt** můžete vidět vytvořenou skicu **Skica6**, která obsahuje dvě kružnice o průměrech 25 mm. Pomocí těchto kružnic a příkazu **Rozdělovací křivka** vytvoříme plochy ve tvaru mezikruží, které poslouží pro definici uchycení.

4 Ze záložky **Prvky** → **Křivka** vyberte příkaz **Rozdělovací křivka**.

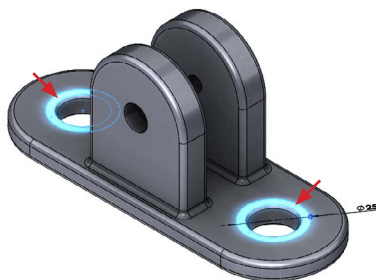


5 V **PropertyManageru Rozdělovací křivka**:

- vyberte volbu **Průmět**,
- vyberte skicu **Skica6**,
- vyberte horní plochu základny.



6 Dokončíte příkaz potvrzovacím tlačítkem.

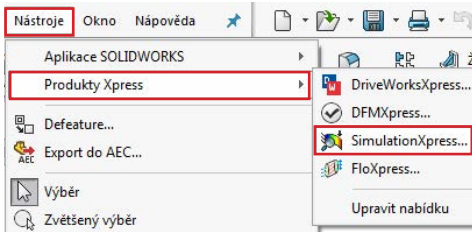


Obrázek 15.11 Plochy vytvořené rozdělovací křivkou poslouží k definici uchycení.

B. Nastavení a provedení výpočtu

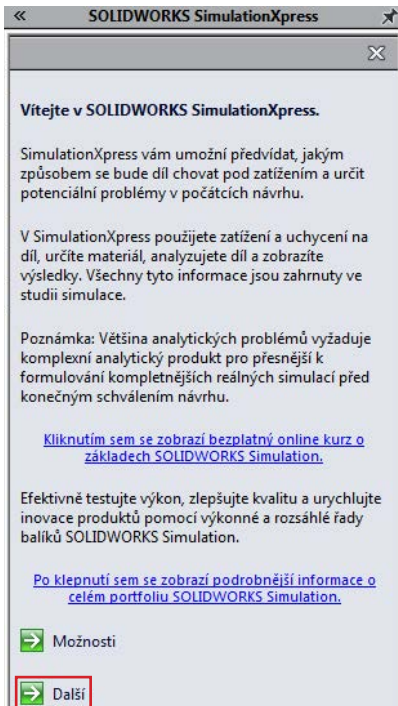
7 Spustíte SolidWorks SimulationXpress z menu **Nástroje** → **Produkty Xpress**.

UPOZORNĚNÍ V některých případech vyžaduje SimulationXpress registraci produktu. Jak zaregistrovat produkty Xpress, se dozvíte na portálu MujSolidworks.cz v článku **Jak spustit a zaregistrovat produkty Xpress**.



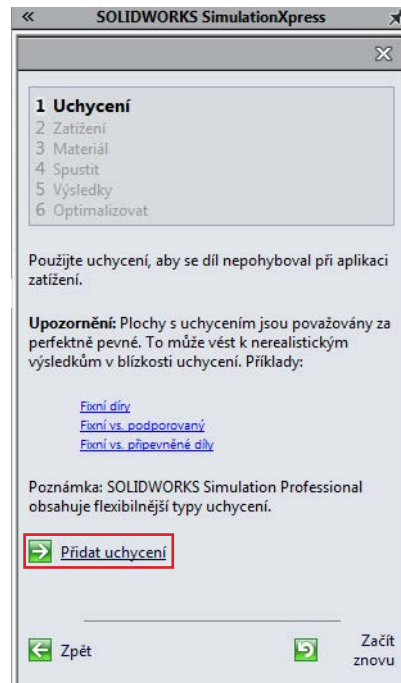
8 V pravé části obrazovky se spustí průvodce **SOLIDWORKS SimulationXpress**. Prostředí průvodce je přehledné a jednoduché pro zadání okrajových podmínek, materiálu a spuštění ověření návrhu.

9 Pod tlačítkem **Možnosti** se skrývá okno, kde můžete nastavit jednotky. Ve výchozím nastavení jsou nastaveny jednotky podle SI.

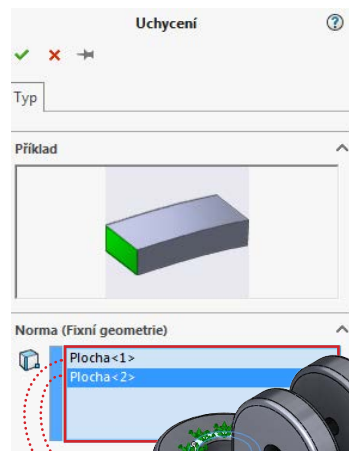


10 Pokračujte tlačítkem **Další**.

11 V prvním kroku průvodce (**Uchycení**) klikněte na tlačítko **Přidat uchycení**.



12 V **PropertyManageru Uchycení** vyberte mezikruhové plochy na základně a klikněte na potvrzovací tlačítko.



Pevnostní výpočty a simulace

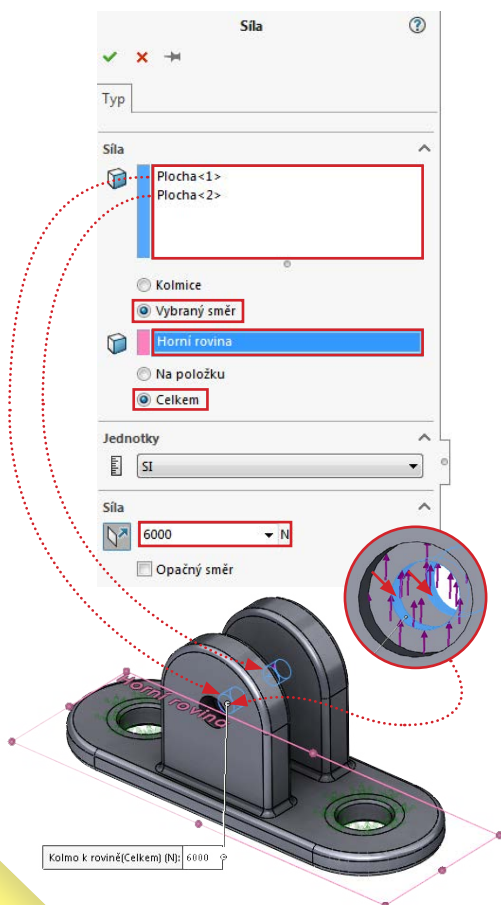
UKÁZKOVÁ KAPITOLA ZDARMA

13 V průvodci pokračujte tlačítkem **Další**.

14 V druhém kroku (**Zatížení**) klikněte na tlačítko **Přidat sílu**.

15 V **PropertyManageru Síla**:

- vyberte na každém úchytu válcovou plochu menší díry (označené červenými šipkami)
- použijte volbu **Vybraný směr**,
- vyberte rovinu **Horní** (na ni bude zatěžující síla kolmá),
- použijte volbu **Celkem**,
- zadejte velikost síly **6 000 N**.



16 Před potvrzením definice síly zkontrolujte, zda síla (fialové náhledové šipky) působí ve směru kolmém od základny.

17 Potvrďte přidání síly a v průvodci pokračujte tlačítkem **Další**.

18 Ve třetím kroku průvodce (**Materiál**) klikněte na tlačítko **Vybrat materiál**.

19 Vyberte z knihovny materiál **Obyčejná uhlíková ocel**, klikněte na tlačítka **Použít** a **Zavřít**. Materiálové vlastnosti musí být shodné s výchozím zadáním dle bodu **I. Materiál**.

20 Pokračujte tlačítkem **Další**.

21 Ve čtvrtém kroku průvodce (**Spustit**) klikněte na tlačítko **Spustit simulaci**.

22 Proběhne výpočet a spustí se animace předpokládané deformace dílu. Střední část základny se bude prohýbat ve směru působící síly, úchyty (packy) se budou rozevírat od stran.

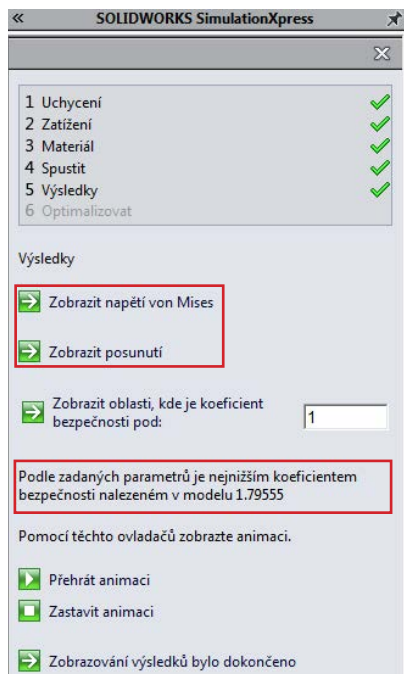


23 Po vizuální kontrole deformování dílu pokračujte v průvodci SimulationXpress tlačítkem **Ano, pokračovat**.

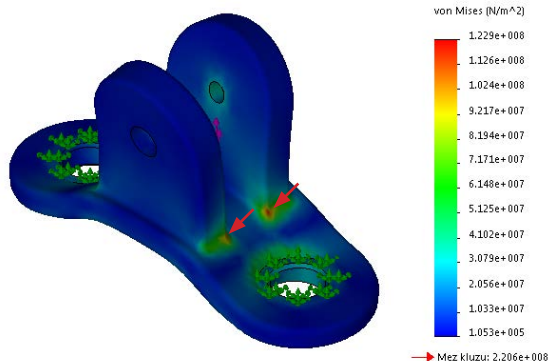
24 V pátém kroku průvodce (**Výsledky**) jsou tlačítka pro zobrazení výsledků:

- **Zobrazit napětí von Mises**,
- **Zobrazit posunutí**.

Pod tlačítka je uvedený výsledek → koeficient bezpečnosti určený podle poměru vypočítaného napětí a meze kluzu. Výslednou hodnotou je **1,79**. Podle doporučených hodnot pro ocelové materiály ($k = 1,2$ až 2) lze již nyní usuzovat, že uložení kladky namáhání vydrží.



Název modelu:15-1-a
 Název studie:SimulationXpress Study-(Výchozí-)
 Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Stress
 Měřítko deformace: 1070.06



C. Vyhodnocení výsledků

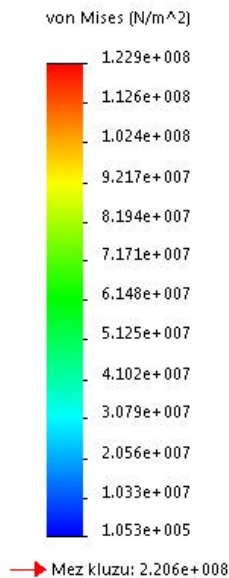
I. Výsledné napětí

25 Zobrazte výsledky napětí kliknutím na tlačítko **Zobrazit napětí von Mises**.

26 Výsledky modelu jsou znázorněny barevnou mapou na deformované geometrii. Při hodnocení výsledků je nutné brát v úvahu měřítko (je zobrazeno v infoboxu v levém horním rohu grafické plochy), které má aktuálně hodnotu 1070. To znamená, že znázorněná deformace je 1070× větší, než ve skutečnosti.

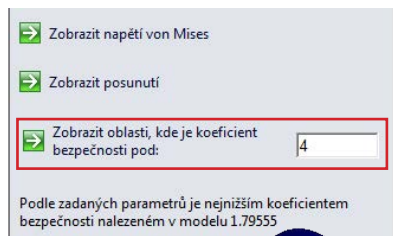
27 Z barevné mapy, která pokrývá povrch modelu, lze vyhodnotit výsledky průběhu napětí (kritická místa). Modrou barvou jsou znázorněna místa, kde působí jen minimální napětí. Kritická místa (špičky napětí) se zobrazují červenou barvou.

28 Nejvyšší napětí se v tomto případě vyskytuje v rozích v přechodu mezi úchyty a základnou (na obrázku vyznačeno červenou šipkou). Jak bylo patrné i z animace předpokládané deformace součásti, tak v této oblasti bude součást hodně ohýbaná, a tudíž i namáhaná.



29 Podívejte se na velikosti napětí na stupnici na obrázku vlevo. Největší napětí je 122 MPa, které je významně menší, než napětí na mezi kluzu 220 MPa (hodnota zcela dole, označená červenou šipkou). Kontrolou návrhu jsme zjistili, že působení silového zatížení nepřekročí mez kluzu a nedojde tak k porušení nebo k trvalé deformaci materiálu.

30 Místa, kde dojde nejdříve k porušení materiálu, zobrazíte také použitím hodnoty koeficientu bezpečnosti většího, než je vypočítaná hodnota. Pokud by například naše uložení kladky bylo součástí výtahu, kde by byl předepsaný minimální koeficient o hodnotě 4, tak zapište do pole **Zobrazit oblasti, kde je koeficient bezpečnosti pod:** číslo 4 a potvrďte kliknutím.



Červeně se na modelu zvýrazní místa, kde je koeficient bezpečnosti menší než 4 (tedy kde vypočítané napětí dosáhlo více než 1/4 meze kluzu).

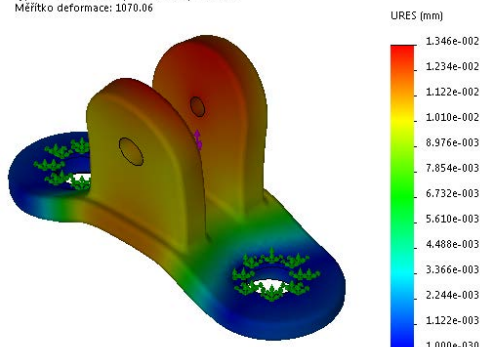


II. Výsledné posunutí

- 31** Klikněte na tlačítko **Zobrazit posunutí**.
- 32** Při vizuálním hodnocení výsledků je nutné brát opět v úvahu měřítko (1070× větší).
- 33** Barvená mapa se hodnotí stejně jako v případě výsledků napětí. K největšímu posunutí dojde v místě, kde je povrch červený.

34 Přesné hodnoty posunutí pro vyhodnocení výsledků zjistíme opět ze stupnice vpravo. Největší posunutí je zhruba 0,01 mm, což je z hlediska rozměrů součásti zanedbatelná

Název modelu:15-1-a
Název studie:SimulaceXpress Study(Výchozí)
Typ obrázku: Statické posunutí Displacement
Měřítko deformace: 1070.06



hodnota, která nemá na hodnocení výsledků praktický vliv. Zároveň však splňuje podmínku lineárně statické úlohy ohledně malých posunutí.

Zvolte mezi těmito dvěma typy zpráv:

- Generovat zprávu
- Generovat soubor eDrawings

35 Pokud si přejete vygenerovat výslednou zprávu, pokračujte v průvodci Simulation-

Xpress tlačítkem **Zobrazování výsledků bylo dokončeno** a zvolte typ zprávy:

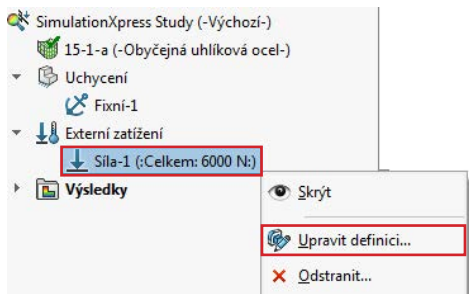
- a) **Generovat zprávu** (Microsoft Word),
- b) **Generovat soubor eDrawings** (formát prohlížeče).

D. Změna výchozích parametrů

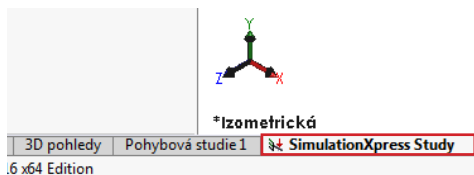
V praxi se může někdy stát, že dojde ke změně návrhu či celého projektu a tím i ke změněm v zadání pevnostní kontroly. Jindy zase například chcete provést výpočet pro větší, špičkovou hodnotu zatížení.

Zopakujme nyní výpočet s větším silovým zatížením **12 000 N** (tedy zhruba 1200 kg) a pro větší přesnost výpočtu zjmeníme hustotu sítě. Zároveň předpokládejme, že minimální požadovaný koeficient bezpečnosti je 1,3.

36 Klikněte pravým tlačítkem na prvek **Externí zatížení** → **Sila-1** ve **FeatureManageru SimulationXpress Study**.

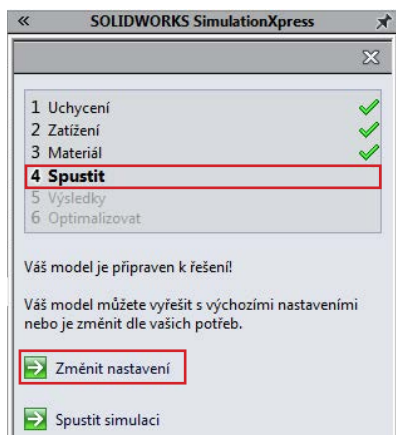


TIP Pokud nevidíte strom *FeatureManageru SimulationXpress Study*, je to z toho důvodu, že buď nemáte zapnutý nástroj SimulationXpress nebo nemáte přepnutou záložku *SimulationXpress Study* dole v levé části grafické plochy.



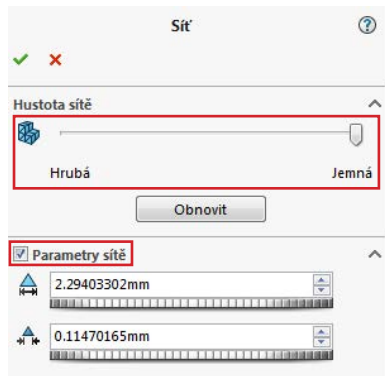
37 V místní nabídce vyberte příkaz **Upravit definici** a následně změňte v **PropertyManageru Síla** velikost působící síly na **12 000 N**. Úpravy dokončete potvrzovacím tlačítkem.

38 Klikněte na krok **Spustit** v průvodci SimulationXpress a pak na tlačítko **Změnit nastavení**.



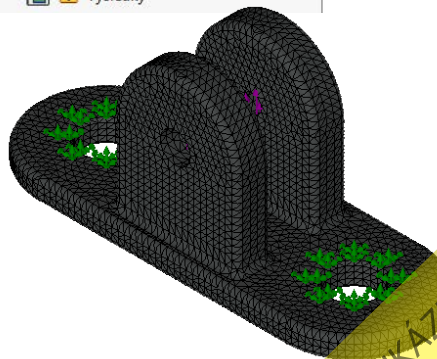
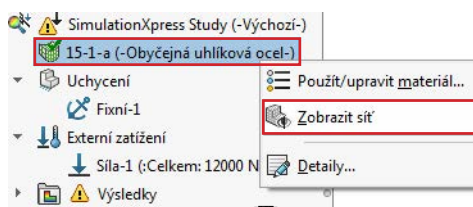
39 Klikněte na tlačítko **Změnit hustotu sítě**.

40 Přesnost výsledků výpočtu souvisí mimo jiné i s nastavením hustoty sítě: hrubá síť = nízká přesnost, jemná = vysoká přesnost. V **PropertyManageru Síť** změňte velikost sítě posuvníkem směrem doprava (nejjemnější). Po zatržení volby **Parametry sítě** se můžete podívat, jaké rozměry budou mít prvky sítě po jejím zjemnění.

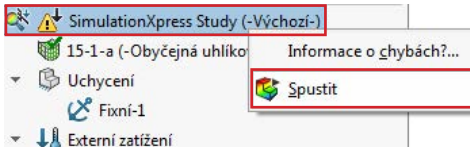


41 Potvrďte úpravy.

42 Po aktualizaci zobrazte síť prostřednictvím místní nabídky **Zobrazit síť** po kliknutí pravým tlačítkem na prvek **15-1-a (Obyčejná uhlíková ocel)** ve **FeatureManageru**.



43 Nyní klikněte pravým tlačítkem na vrcholový prvek **FeatureManageru** → **SimulationXpress Study** a z místní nabídky vyberte příkaz **Spustit**.

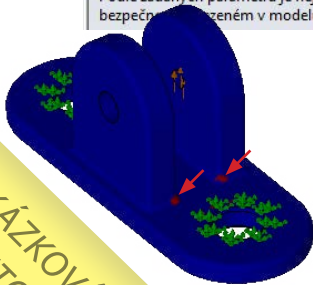
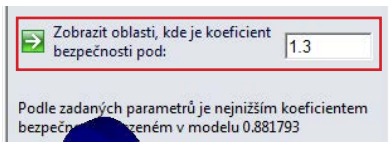


TIP Studii můžete spustit i z průvodce pomocí tlačítka **Spustit simulaci**.

44 Zkontrolujte v animaci průběh deformace, která je stejná jako v předchozí studii (měnila se pouze zatěžující síla, ne směr působení). Pokračujte tlačítkem **Ano, pokračovat**.

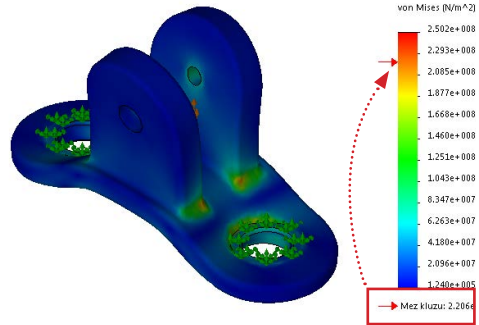
45 Nejmenší koeficient bezpečnosti vychází po změně zatěžující síly **0,88**. Výsledek je víc než o polovinu menší, než při zatížení silou 6 000 N. Kdyby byla ponechána stejná hustota sítě (stejná přesnost výpočtu jako předchozí), byla by lineární závislost patrnější → koeficient by byl 0,897 (což si můžete zkusit sami vypočítat, když v nastavení hustoty sítě necháte obnovit výchozí hodnoty a znovu spustíte výpočet).

46 Nyní si pro zobrazení nastavte hodnotu koeficientu bezpečnosti **1,3**. Nebezpečná místa modelu, kde je koeficient bezpečnosti nižší než požadovaný, můžete vidět zvýrazněna červenou barvou.



47 Klikněte na tlačítko **Zobrazit napětí von Mises**.

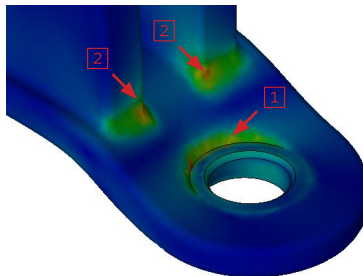
Název modelu: 15-1-1
Název studie: SimulationXpress Study-Výchozí-1
Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Stress
Měřítko deformace: 518,604



48 Na modelu se vyskytují místa, která jsou zatížena napětím větším, než je mez kluzu. Proto se také objevila na stupnici napětí vpravo i hodnota meze kluzu (220 MPa).

49 Tato místa mají oranžovou, nebo červenou barvu a dojde v nich k trvalé deformaci či přímo porušení materiálu. Jedná se prakticky o dvě místa:

- v oblasti uchycených ploch [1] – ty však můžeme z hodnocení výsledků vyloučit, protože tyto plochy jsou vetknuté, a tudíž zcela tuhé (jakákoliv deformace v této oblasti modelu vyvolá v místě vetknutí nepřiměřeně velké a nereálné napětí),
- opět v rozích mezi úchyty a základnou [2] – v této oblasti bude reálná součást opravdu nejlépe namáhaná.



Z výsledků je zřejmé, že stávající konstrukce uložení kladky by pravděpodobně nevydr-

žela zvýšené namáhání. Součást by zřejmě neselhala zcela (nepraskla by), nicméně zatěžování až na hranici meze kluzu už reálně hrozí tím, že se součást trvale zdeformuje.

E. Úprava návrhu

Pokud má součást odolávat zatížení 1200 kg, tak bude nutné její návrh patřičně přizpůsobit. Je možné provést několik opatření:

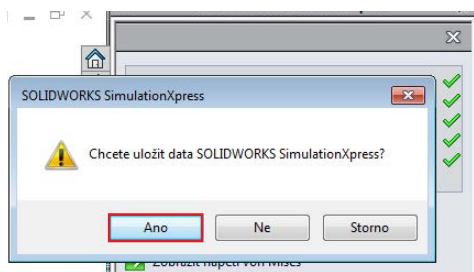
- upravit návrh zesílením úchyty (zejména v jejich spodní části) a zvětšením tloušťky základny,
- zlepšit únosnost konstrukce použitím lepšího materiálu (s větší mezí kluzu).

Zároveň lze provést i obě opatření současně.

a) Změna rozměrů

50 Zavřete průvodce SimulationXpress křížkem vpravo nahoře.

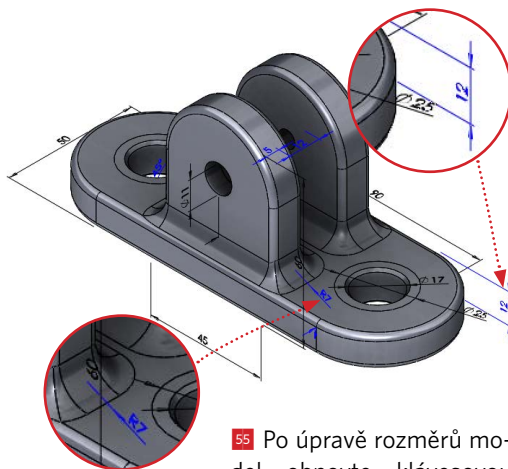
51 V okně varovného hlášení **Chcete uložit data SolidWorks SimulationXpress?** Pokračujte tlačítkem **Ano**.



52 Díl **15-1-a.sldprt** uložte.

53 Upravte rozměr základny. Tloušťku **8 mm** zvětšíte na **12 mm**.

54 Změňte i velikost poloměru zaoblení mezi úchyty a základnou → prvek **Zaoblit4**. Velikost poloměru zaoblení zvětšíte z **2 mm** na **7 mm**.



55 Po úpravě rozměrů model obnovte klávesovou zkratkou **Ctrl + B**.

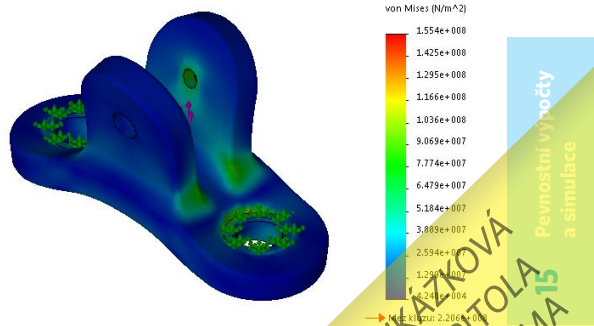
56 Spustíte **Průvodce analýzou SimulationXpress** ze záložky **Analýza** a pokračujte tlačítkem **Další**.

57 Po uložení dat (krok 51) zůstaly nastaveny všechny okrajové podmínky a materiál, proto pokračujte kliknutím na čtvrtý krok (**Spustit**) a vyberte tlačítko **Spustit simulaci**.

58 Výsledný koef. bezpečnosti je **1,41**. Maximální napětí (155 MPa) je pod mezí kluzu. Změna návrhu pomohla zvýšit únosnost uložení kladky, která zatížení 12 000 N s malou rezervou odolá.

59 Nyní díl **15-1-a.sldprt** zavřete bez ukládání.

Název modelu: 15-1
Název studie: SimulationXpress Study(-Východí-)
Typ obrázku: Statická analýza uztovího napětí Stress
Měřítko deformace: 926.642



UNIKÁTNÍ VÝPOČTY
KAPITOLA 15
ZDARMA

Pevnostní výpočty
a simulace

b) Změna materiálu

60 Znovu si otevřete díl **15-1-a.sldprt**, který neobsahuje provedené změny v návrhu (zvětšená tloušťka základny a poloměry zaoblení).

61 Spusťte SimulationXpress.

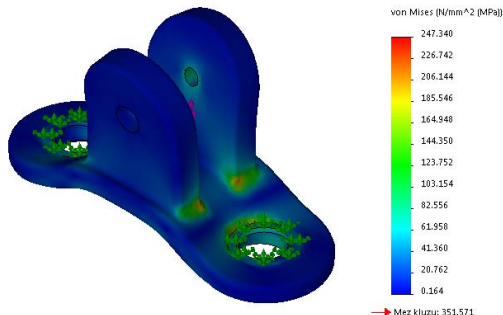
62 Pokračujte tlačítkem **Další** a pak klikněte na třetí krok (**Materiál**).



63 Klikněte na tlačítko **Změnit materiál** a vyberte z knihovny materiál **AISI1020**, jehož mez kluzu je 351 MPa a spusťte simulaci.

64 Výsledný koeficient bezpečnosti je nyní **1,42**. Maximální napětí (247 MPa) je pod mez kluzu. Změna materiálu se zachováním původní geometrie pomohla rovněž zvýšit únosnost uložení kladky, která zatížení 12 000 N s malou rezervou odolá.

Název modelu: 15-1-a
Název studie: SimulationXpress Studie(Výchozí)
Typ obrádku: Statická analýza uzlové napětí Stress
Měřítko deformace: 494.723



F. Shrnutí

Interpretace výsledků z kontrol návrhů je uvedena v následující tabulce. Z výsledků vyplývá, že úprava geometrie nebo změna materiálu pomohly zvýšit únosnost uložení kladky. Rozhodnutí, kterou variantu použít, je na konstruktérovi, který by měl do úvahy také vzít způsob výroby a její celkový objem (počet kusů), cenu materiálu atd.

Zatížení	Materiál	Návrh	Mez kluzu	Typ sítě	Max. napětí	Koef. bezp.	Vyhovuje?
6000 N	obyčejná ocel	původní	220 MPa	střední	122 MPa	1,79	ano
12 000 N	obyčejná ocel	původní	220 MPa	jemná	250 MPa	0,88	ne
12 000 N	obyčejná ocel	upravený	220 MPa	jemná	155 MPa	1,41	ano
12 000 N	AISI1020	původní	351 MPa	jemná	247 MPa	1,42	ano

tabulka 15.2 Porovnání výsledků různých variant pevnostních výpočtů součásti z Příkladu 15.1.

UKÁZKOVÁ
KAPITOLA
ZDARMA

O autorovi

Ing. Marek Pagáč, Ph.D., je zkušeným uživatelem softwaru SolidWorks s více než desetiletou praxí. V současné době pracuje jako odborný asistent na Katedře obrábění, montáže a strojírenské metrologie Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava, kde se věnuje aplikacím průmyslového 3D tisku. Během strojírenských studií na střední průmyslové škole v Bruntále opakovaně uspěl v celostátní soutěži „Nejlepší programátor CNC obráběcích strojů“ a v soutěžích v CAD modelování. Autor knihy řadu let přispívá do časopisu **Konstruktér** a na web **Konstrukter.cz**, zároveň je hlavním tvůrcem obsahu pro komunitní portál **Mujsolidworks.cz**.

Portál Mujsolidworks.cz

Unikátní český portál Mujsolidworks.cz kombinuje v jednom funkčním celku on-line magazín, diskusní fórum a nabídky práce se zaměřením na konstruktéry a uživatele softwarových řešení SOLIDWORKS. V moderním responzivním webovém rozhraní najdete tipy, návody, rady a zajímavé aktuality připravované českou redakcí s úzkou vazbou na odborníky z oddělení technické podpory společnosti SolidVision.

O společnosti SolidVision

Společnost SolidVision, s. r. o., je předním českým dodavatelem 3D CAD systému SOLIDWORKS se širokým zázemím pro obchodní i technickou podporu. Další významnou oblastí působnosti společnosti jsou produkty a služby pro PLM řešení, CAM řešení SolidCAM a 3D skenování.

Knihu si můžete objednat na e-shopu www.solidvision.cz/ucebnice.

Chcete se naučit pracovat s jedním z nejrozšířenějších strojírenských CAD systémů na světě?

Učebnice SOLIDWORKS vás srozumitelnou a přehlednou formou provede jeho ovládáním, od tvorby skic přes díly, sestavy a výkresy až po náročnější úlohy, jako je konstruování plechových dílů a svařenců nebo pevnostní výpočty.

Tato kniha byla zpracována tak, **aby se vám s její pomocí dobře učilo**. Používání funkcí a nástrojů profesionálního CAD systému SolidWorks je prezentováno prostřednictvím více než **stovky praktických příkladů** na reálných dílech a sestavách, s nimiž se běžně setkáte v praxi.

S využitím mnohaletých zkušeností odborníků z technické podpory společnosti SolidVision vám autor knihy v patnácti kapitolách názorně předvede a **vysvětlí vše podstatné**, co je pro ovládnutí SolidWorksu potřeba. K rychlému pochopení popisovaných postupů pomáhají stovky barevných ilustrací, jež každý příklad a cvičení doprovázejí **krok za krokem**.

Ke všem příkladům v této učebnici jsou pro čtenáře připraveny **digitální podklady** (soubory dílů, sestav a výkresů), které lze zdarma stáhnout z portálu **Mujsolidworks.cz**.



ISBN 978-80-270-0918-3



9 788027 009183

 **Vydavatelství
Nová média**