

Učebnice SOLIDVORKS

UKAZKOVA KAPITOLA



Učebnice SOLIDWORKS

vás prostřednictvím spousty praktických příkladů na 420 stranách naučí rychle a přitom důsledně ovládat strojírenský CAD systém SOLIDWORKS a nejpoužívanější specializované nástroje, které jsou v něm obsaženy.

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

www.solidvision.cz/ucebnice



Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Učebnice SOLIDWORKS

Vydavatelství Nová média, s. r. o.

Učebnice SOLIDWORKS

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Editor: Ing. Ondřej Zelený Redakční a grafické zpracování: Ing. Jan Homola Technická korektura: Tomáš Lehar, Michaela Hašková Vizualizace na titulní straně: Dassault Systèmes Tisk a vazba: Tiskárna Helbich, a. s.

Vydalo Vydavatelství Nová média, s. r. o., se sídlem Výstaviště 1 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., 2020

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této knihy nesmí být kopírována za účelem rozšiřování v jakékoliv formě bez písemného souhlasu vydavatele.

2. vydání

ISBN 978-80-270-8730-3

Obsah

Jak pracovat s touto knihou

Doporučení autora	
Instrukce ke stažení souborů ke knize	
Instrukce ke stažení šablon	

1 Proč používat 3D CAD

Způsob práce v CAD systému
Od skici k dílu a sestavě
Parametrizace a asociativita
Objemové a plošné modelování
Materiálové a fyzikální vlastnosti
Výkresová dokumentace
Plechové díly
Svařence
Pevnostní analýza
Pohybová analýza sestavy
Fotorealistické vizualizace a renderování

2 Úvod do SolidWorks

Uživatelské rozhraní	23
Ovládání a používání myši	25
Místní nabídka	26
Gesta myši	27
Panel zkratek	28
Panel nástrojů Průhledné zobrazení	28
Orientace pohledu	29
Volič pohledů	30
Režim zobrazení	31
Počátek souřadnicového systému a primární roviny	33
Klávesové zkratky	34

Nastavení systému	34
Panely nástrojů	35
Dokumenty SolidWorks	36
Doplňkové moduly	37

39

3 Základy skicování

13

13 13 14

22

23

Záměr návrhu	39
Práce se skicou a entitami	41
Příklad 3.1: Založení nového dílu,	
volba roviny a založení skici	42
Příklad 3.2: Seznámení se skicou	44
Příklad 3.3: Ukončení skici	46
Příklad 3.4: Opětovná úprava skici	46
Příklad 3.5: Skicovací režim klik-klik	47
Příklad 3.6: Skicovací režim táhnout-pustit	47
Vazby skici	48
Příklad 3.7: Rovnoběžná vazba	53
Příklad 3.8: Soustředná vazba	53
Příklad 3.9: Odebrání vazby v PropertyManageru	54
Příklad 3.10: Odebrání výběrem vazby	55
Příklad 3.11: Odebrání vazby příkazem	
Zobrazit/odstranit vazby	55
Skicovací nástroje	56
Příklad 3.12: Skicovací nástroje	56
Stav skic a entit	60
Kóty	62
Příklad 3.13: Tvorba, vazbení a kótování skici	62
Příklad 3.14: Opětovná úprava	
a kótování existující skici	64
Příklad 3.15: Kreslení navazujících oblouků	66
Příklad 3.16: Kótování průsečíku dvou přímek	67
Příklad 3.17: Kótování vzdálenosti	
oblouků a kružnic	68

Příklad 3.18: Kótování úhlu	69
Příklad 3.19: Kótování délky oblouku	69
Příklad 3.20: Kótování úhlu oblouku	70
Cvičení 3.21: Seznámení se skicou	
Navázání tečných oblouků	70
Cvičení 3.22: Trasa pro modelování	
kancelářské sponky	70
Cvičení 3.23: Kreslení kružnic a oblouků	71
Cvičení 3.24: Kreslení kružnic a přímek	71

4 Základy modelování

Desta	70
FIVKy	75
Souvisiost 2D skicovani a tvorba prvku	74
Jak prvky ovlivnují záměr návrhu	/5
Příklad 4.1: Uložení kladky	77
Předběžný výběr	83
Změna vzhledů	85
Fotorealistické zobrazení	86
Příklad 4.2: Konzola	87
Skica z obrysů a sdílená skica	91
Změny návrhu	93
Příklad 4.3: Jak pořadí prvků ovlivňuje model	94
Příklad 4.4: Přesunutí prvku ve FeatureManageru	97
Příklad 4.5: Opravy chyb modelu	100
Příklad 4.6: Vymazání prvku z FeatureManageru	105
Tvorba polí	106
Příklad 4.7: Tvorba polí	107
Příklad 4.8: Lineární pole k odkazu	110
Příklad 4.9: Kruhové pole	112
Kosmetické závity	112
Příklad 4.10: Kosmetické závity	113
Cvičení 4.11: Kotouč spojky	115
Cvičení 4.12: Kluzné ložisko	115
Cvičení 4.13: Rukojeť	116
-	

5	Referenční	geometrie	a křivky	117
_		0	·· ··· · · · · · · · · · · · · · · · ·	

Referenční geometrie	117
Roviny	118
Parametry příkazu Rovina v PropertyManageru	119
Příklad 5.1: Rovina odsazená od Přední roviny	119
Příklad 5.2: Rovina rovnoběžná	
s rovinnou plochou modelu	120
Příklad 5.3: Rovina skloněná pod zadaným úhlem	120
Příklad 5.4: Rovina mezi plochami	121
Příklad 5.5: Rovina kolmá ke	
koncovému bodu přímky	122
Příklad 5.6: Rovina procházející třemi body	122
Příklad 5.7: Rovina tečná k válcové ploše	
a kolmá k primární rovině	123
Příklad 5.8: Rovina tečná k válcové ploše	
a rovnoběžná s primární rovinou	124
Příklad 5.9: Jak rovinu zobrazit nebo skrýt	124
Křivky	125

Příklad 5.10: Rozdělovací křivka a siluetní hrany	125
Příklad 5.11: Promítnutá křivka	127
Příklad 5.12: Šroubovice	127
Příklad 5.13: Šroubovice s proměnlivým stoupáním	128
Cvičení 5.14: Pružina s proměnlivým stoupáním	130
Cvičení 5.15: Pružina z rozdělovací a složené křivky	130
Cvičení 5.16: Vlákno žárovky	130

6 Pokročilé skicování

Tečnost geometrie Džílad 6.1: Vačka – geometrie tečně	131
	122
	132
Křívka řízená rovnící	133
Příklad 6.2: Čelní ozubení s přímými zuby	134
Tvarové entity	139
Příklad 6.3: Drážka pro těsné pero na hřídeli	140
Mnohoúhelník	142
Příklad 6.4: Kreslení mnohoúhelníku	142
Text	143
Příklad 6.5: Jak vytvořit text	143
Příklad 6.6: Vložení obrázku do grafické plochy	143
3D skica	144
Příklad 6.7: Obecné 3D skicování	146
Příklad 6.8: 3D skica na rovině	150
Příklad 6.9: Profil jeřábového háku	151
Příklad 6.10: Modelování šroubu	
se šestihrannou hlavou a maticí	151
Příklad 6.11: Modelování pružiny	
pokročilým způsobem	152
Příklad 612: Pružná podložka	152
	152

7 Pokročilé metody modelování

Pokročilá nastavení základních prvků	153
Priklad 7.1: Odebrani po piochu	154
Priklad 7.2: Odebrani opačne strany	155
Příklad 7.3: Přechodové zaoblení vrcholů	156
Vícetělové díly	157
Příklad 7.4: Tvorba objemových těl	
a jejich řazení ve složce	158
Příklad 7.5: Využití těl a přímých úprav	
při úpravě dílu	160
Příklad 7.6: Odečtení těl	161
Příklad 7.7: Mřížka s kulovým povrchem a prolisem	163
Manipulace s těly a vazbení	165
Příklad 7.8: Rozdělení dílu a pootočení těla	167
Příklad 7.9: Pastorková hřídel	169
Nástroje pro přímou úpravu dílů	171
Příklad 7.10: Přesunutí plochy pootočením	171
Příklad 7.11: Odstranění plochy	172
Tažení po křivce	173
Příklad 7.12: Kancelářská sponka	174
Příklad 7.13: Náramek	175
Příklad 7.14: Láhev	175

Cvičení 7.15: Závlačka Cvičení 7:16: Karabina	176 177
Cvičení 7.17: Potrubí s přepadem	177
Spojení profilů	178
Cvičení 7.18: Trychtýř	179
Příklad 7.19: Tělo láhve	181
Cvičení 7.20: Jeřábový hák	182
Konfigurace	184
Příklad 7.21: Konfigurace rozměrů	185
Globální proměnné a rovnice	188
Příklad 7.22: Globální proměnné a rovnice	
na modelu kvádru	188
Cvičení 7.23: Skica pro modelování čelního	
ozubeného kola s přímými zuby	189
Import a export cizích datových formátů	191
Příklad 7.24: Import modelu do SolidWorks	
ve formátu STEP	193
Export modelů do formátu STL	
a příprava dat pro 3D tisk	199
Příklad 7.25: Postup ukládání modelu	
do formátu STL	201

8 Základy tvorby sestav

Založení nové sestavy	204
Příklad 8.1: Maltézský mechanismus	205
Zásady zadávání názvů dokumentů	205
FeatureManager v sestavách	207
Přidávání součástí do sestavy	207
Přesouvání a otáčení součástí	208
Vazby v sestavách	209
Práce s vazbami	211
Práce se součástmi	211
Příklad 8.2: Sestava pístu klikového mechanismu	212
Zobrazování součástí v sestavách	216
Uzamknutí rotace součástí	217
Podsestavy	220
Příklad 8.3: Sestava klikového mechanismu	220
Otevření součásti ze sestavy	225
Vlastnosti součásti	225
Kopírování projektu	226

9 Pokročilá práce se sestavami 227

Pole a zrcadlení součástí	227
Příklad 9.1: Šachy (lineární pole)	228
Příklad 9.2: Kotoučová spojka (kruhové pole)	228
Příklad 9.3: Zrcadlení opačné verze	229
Prvky sestavy	231
Příklad 9.4: Vrtáno po svaření	231
Úprava součástí v sestavě	233
Příklad 9.5: Úprava rozměru dílu v sestavě	233
Modelování v kontextu sestavy	235
Analýzy a kontroly sestavy	236
Příklad 9.6: Detekce kolizí	237

Pokročilé vazby	238
Upřesňující vazby	239
Příklad 9.7: Vazba symetrická	239
Příklad 9.8: Vazba mezní úhel	240
Strojní vazby	241
Příklad 9.9: Vačkový mechanismus	241
Příklad 9.10: Vazba drážka	243
Příklad 9.11: Vazba Ozubená tyč	244
Rozložené pohledy	246
Příklad 9.12: Rozložený pohled sestavy	
klikového mechanismu	246
Animace a pohybové studie	251
Příklad 9.13: Animace pohybu	
klikového mechanismu	252
Příklad 9.14: Animace rozložení a složení	
sestavy v pohybové studii	254
Ovladač vazeb	255
Velké sestavy	256

10 Výkresová dokumentace 259

Výkresy v SolidWorks	259
Formáty výkresů	260
Měřítko výkresu	260
Popisové pole	260
Kusovník	261
Materiálové vlastnosti	261
Uživatelské vlastnosti	261
Tvorba nového výkresu	262
Rozvržení pohledů na výkresu	264
Příkazy pro tvorbu výkresů	265
Příklad 10.1: Uložení kladky	265
Příklad 10.2: Výkres střižnice	277
Příklad 10.3: Výkres hřídele	281
Cvičení 10.4: Vložení popisů a poznám	ek 283
Příklad 10.5: Výkres sestavy a kotoučové	spojky 284
Příklad 10.6: Výkres rozložené sestavy	287

11 Pokročilá práce s dokumenty 289

Typy dokumentů SolidWorks	289
Odkazy dokumentů	290
Práce s odkazy	292
Příklad 11.1: Kopírování dokumentů se změnou	
názvu a nahrazením odkazů	293
Příklad 11.2: Kopírování dokumentů v Průzkumníku	
Windows a ruční nahrazení odkazů	295
Příklad 11.3: Kopírování projektu v SolidWorks	296
Příklad 11.4: Přejmenování součástí	
v Průzkumníku Windows	298

12Plechové díly299

Metodika navrhování plechových dílů	299
Princip modelování plechových dílů	301

FeatureManager plechových dílů	303
Výkresová dokumentace plechových dílů	305
Parametry ohybu plechových dílů	305
Prvky pro navrhování plechových dílů	308
Příklad 12.1: Plechový díl a výkres	308
Cvičení 12.2: Plechový díl #1	319
Cvičení 12.3: Plechový díl #2	319
Příklad 12.4: Export výkresu do formátu DXF	320
Příklad 12.5: Jak vytvořit prvek v dočasně	
narovnaném tvaru	321
Příklad 12.6: Práce s rohy	325
Příklad 12.7: Schránka na čajovou svíčku	328
Cvičení 12.8: Plechové spojení profilů	331
Cvičení 12.9: Převod ohnutého modelu	
na plechový díl	332
Cvičení 12.10: Převod rozvinutého modelu	
na plechový díl	332
Cvičení 12.11: Plechový díl #3	332

13 Svařované konstrukce 333

Princip modelování svařovaných konstrukcí	333
FeatureManager svařovaných konstrukcí	334
Tabulka přířezů	335
Profily	337
Prvky pro navrhování svařovaných konstrukcí	338
Příklad 13.1: Svařovaný rám stolu	339

Příklad 13.2: Jak vytvořit a přidat		
do knihovny vlastní profil		345
Příklad 13.3: Svařovaná konstrukce fotbalové	branky	348
Příklad 13.4: Schůdky do bazénu		355

14Práce s plochami359

Plochy, povrchy, objemy	360
Příklad 14.1: Základní práce s plochami	361
Příklad 14.2: Pokročilá práce s plochami	373
Příklad 14.3: Záplaty a zaoblení	386

15 Pevnostní výpočty a simulace 403

Ověření návrhu v SolidWorks	405
Omezení nástroje SimulationXpress	406
Příklad 15.1: Kontrola návrhu uložení kladky	406

Poděkování

Při tvorbě této knihy mi byl významnou oporou tým technické podpory společnosti SolidVision. Poděkování patří Ondrovi Zelenému, Tomovi Leharovi a Míše Haškové za připomínky a zpětnou vazbu při testování funkčnosti návodů všech příkladů a cvičení. Dále bych chtěl poděkovat dlouholetému kamarádovi Honzovi Homolovi a Vydavatelství Nová média za velmi pěkné grafické a redakční zpracování této učebnice.

- Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Jak pracovat s touto knihou

Doporučení autora

Cílem učebnice je vysvětlit začínajícím uživatelům krok za krokem základní principy konstruování a postupy práce v CAD softwaru SolidWorks. V patnácti přehledně a chronologicky členěných kapitolách naleznete jak množství základních informací a teoretických poznatků, tak i jejich praktickou aplikaci do postupů řešených úloh. V kapitolách najdete také zadání ke cvičením, která zkuste zpracovat samostatně. Pokud si nebudete vědět rady, řešení naleznete v postupech uvedených na portálu Mujsolidworks.cz. S tímto webem je celá učebnice úzce provázána.

Tato učebnice neslouží jako manuál. Je dobré si během studia uvědomit, že při řešení příkladů z této knihy i z portálu Mujsolidworks.cz lze postupovat různými způsoby. Po dokončení každého příkladu, či cvičení se zkuste zamyslet, zda lze k výsledku dojít i jinou cestou. Pokud vás napadne alternativní řešení, vyzkoušejte je. Opravdový konstruktér z vás bude pouze tehdy, pokud se vám podaří nalézat a volit ty nejvhodnější cesty vedoucí k optimálnímu návrhu.

Instrukce ke stažení souborů k příkladům a cvičením

Zadání většiny příkladů a cvičení vychází z připravených dokumentů, které obsahují předpřipravené skici, prvky i celé modely. Bez nich často není možné návody a postupy

Než zahájíte studium

I Na www.mujsolidworks.cz/ucebnice si stáhněte podklady ke studiu této knihy. Soubory k příkladům a cvičením a šablony SolidWorks si uložte do patřičných složek podle instrukcí na další straně.

Po spuštění SolidWorks si zobrazte Nástroje pro rychlý přístup:

- a. Otevřete si nový díl.
- b. Použijte menu Nástroje → Vlastní.
 c. Na záložce Panely nástrojů použijte

volbu Zobrazit v pruhu nabídek:



Po spuštění SolidWorks vypněte na záložce Prvky funkci Rychlé3D:



Před skicováním vypněte na záložce Skica funkce Instant2D a Stínované obrysy skici:



v této učebnici používat. K dispozici jsou navíc i řešení příkladů a cvičení, případně výkresy ve formátu PDF.

Z webu **www.mujsolidworks.cz/ucebnice** si můžete stáhnout buď soubory s podklady jednotlivých kapitol (**3.zip** až **15.zip**) nebo soubor **ucebnice.zip**, který obsahuje podklady ke všem příkladům a cvičením v knize a navíc také všechny použité šablony.

Každá rozbalená složka obsahuje podsložky, jejichž názvy jsou totožné s čísly příkladů a kapitol. Komprimované složky doporučujeme stáhnout a rozbalit do složky Mujsolidworks, kterou si vytvořte na pevném disku nebo na ploše. Například cesta k souborům k **Příkladu 4.2** může po rozbalení **4.zip** vypadat třeba takto: **C:\Mujsolidworks\4\4-2**.

Instrukce ke stažení šablon

Stáhněte si šablony dílu, sestavy, výkresu, formáty listů výkresu, šablony kusovníku a tabulek. Usnadní vám práci s řešením příkladů a cvičných úloh. Z webu **www.mujsolidworks.cz/ucebnice** si stáhněte komprimovanou složku **0-sablony.zip**, která obsahuje potřebné šablony v podsložkách:

- 1-Šablony dokumentů
- 2-Formáty listů
- 3-Kusovníky a tabulky

Šablony musíte rozbalit a umístit do správných cílových složek:

- Cesty k cílovým složkám pro umístění šablon se mohou lišit podle toho, jakou verzi SolidWorks používáte (v názvech složek dále nahraďte **20xx** číslem vaší verze).
- Obdobně se může lišit i název složky, ve které máte SolidWorks nainstalován.

Šablony dílu, sestavy, výkresu a formáty listů výkresu se kopírují do složky C:\ProgramData, která je při standardním nastavení operačního systému Windows skrytá. Pro její otevření přepište do adresního řádku v Průzkumníku Windows celé cesty uvedené níže nebo je jednoduše překopírujte z webu www.mujsolidworks.cz/ucebnice.

Složku **C:\ProgramData** můžete otevřít také tak, že do adresního řádku Průzkumníku Windows napíšete text **%programdata%**.

Umístění šablon dílu, sestavy a výkresu Ze složky 1-Šablony dokumentů zkopírujte následující soubory do cílové složky C:\ProgramData\SOLIDWORKS\SOLID-WORKS 20xx\templates a nahraďte jimi existující (výchozí) šablony SolidWorks:

- Díl.prtdot
- Sestava.asmdot
- Výkres.drwdot

TIP Cestu cílové složky nemusíte přepisovat ručně, okopírujte si ji na webu **www.mujsolid-works.cz/ucebnice**.

Umístění formátů listů

Do cílové složky C:\ProgramData\SOLID-WORKS\SOLIDWORKS 20xx\lang\czech\ sheetformat zkopírujte ze složky 2-Formáty listů všechny formáty listů (AO až A4) s příponami *.slddrt.

Umístění šablon kusovníku a tabulek

Tyto šablony jsou umístěny v instalační složce SolidWorks. Pokud jste SolidWorks nainstalovali do jiné složky než výchozí, pak je nutné podle toho následující cestu patřičně upravit.

Do složky C:\Program Files\SOLIDWORKS Corp\SOLIDWORKS\lang\czech zkopírujte ze složky 3-Kusovníky a tabulky tyto soubory:

- Kusovník Mujsolidworks.sldbomtbt
- Tabulka přířezů Plechy Mujsolidworks.sldwldtbt
- Tabulka přířezů Svařence Mujsolidworks.sldwldtbt
- sheetformats.txt

Pevnostní výpočty a simulace

📕 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 uchytíme a jinou zatížíme určitou silou či tlakem.



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

15

OBSAH KAPITOLY

Ověření návrhu v SolidWorks

Omezení nástroje SimulationXpress

> UKAZKOVÁ KAPITOLA TDARMA

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 několikanásobně (například v letectví).

Mez kluzu

Nejběžnější konstrukční materiál, tedy ocel, se mimo jiné vyznačuje pružným chováním. To znamená, že při zatížení se dočasně zdeformuje (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 nepřípustné. 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 běžtis zvládnout průhyb jednoduchého nosníku, un AMKP řešit libovolně tvarově komplikovaby soutasti.

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.



Obrázek 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-

pětí v celé součásti. Samotný výpočet spočívá ve vyřešení soustavy všech zmíněných rovnic. Z matematického hlediska se jedná o docela iednoduchý výpočet pro jehož řešení se používá obvčeiná Gaussova eliminační metoda, neboli ze střední školv známé řešení soustavy X rovnic o X neznámých. Jenom to X bývá trochu větší - běžné úlohv mívaií desetitisíce či statisíce rovnic.

Ověření návrhu v SolidWorks

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

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 neimenšího 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 maximální HAR ARNA a minimálním napětím,
- průběh deformace modelu s míst s maximální a minimální de

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 součásti i zatěžující síly či tlaky jsou neměnné a nezatěžují součást skokově),
- způsobená posunutí jsou zanedbatelně malá (tedy deformace součásti vlivem zatížení nesmí významným způsobem měnit tvar součásti).

Výpočty jednotlivých dílů

SimulationXpress umí provádět pouze výpocty jednotlivých dílů. Není tedy možné provádět kontroly sestav a řešit tzv. kontaktní úlohy, tz- se uvažuje opření jedné součásti o druhou, tz- viřten čehož dojde k zamezení posunů a tím ty višet zevnosti celé sestavy.

Omezené podmínky uchycení

Uchycení představuje určité 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 a jeho 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

Otevřete si díl **15-1.sldprt** a uložte jej pod názvem **15-1-a.sldprt**.



Obrázek 15.5 Model dílu uložení kladky.

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 uhlí***ková ocel*. Materiálové hodnoty této oceli jsou ve výchozí knihovně materiálů SolidWorks a nemusíte tedy nic dohledávat v tabulkách. Povinné parametry materiálu pro pevnostní kontrolu v SimulationXpress jsou tyto:

- Youngův modul pružnosti, E = 210000 MPa
- Poissonovo číslo, μ = 0,28
- mez kluzu, $\sigma_k = 220$ MPa
- hustota, ρ = 7800 kg/m³

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, protože na samotný pevnostní výpočet nemá vliv.

II. Okrajové podmínky

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

a) Uchycení

ldeální 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.



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 umístěný v dírách úchytů.



Obrázek 15.8 Schéma zatížení dílu.

A. Příprava modelu

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 → Křivky vyberte příkaz Rozdělovací křivka.



PropertyManageru Rozdělovací křivka: Fyvberte volbu Průmět, Foerte skicu Skica6, Vyřeje horní plochu základny.



Dokončete příkaz potvrzovacím tlačítkem.



Obrázek 15.11 Plochy vytvořené rozdělovací křivkou poslouží k definici uchycení.

B. Nastavení a provedení výpočtu

Z Spusťte 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**.

Nást	troje Okno 🖈 🏠 🗋	• 🖄 • 🕻	-	⊣ • • •	
	Aplikace SOLIDWORKS	, k	řivce rillů	Zaoblit Lineárni	
	Produkty Xpress		DriveWorksXpress		
P	Publikování prostředků…	(DF	MXpress mulationXpress	
80 100	Defeature	đ	JFIoXpress		
ALC	Export do AEC			Jpravit nabídku	

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

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



Pokračujte tlačítkem Další.

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



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

🗧 Zpět

Začít

znovu

5



V průvodci pokračujte tlačítkem Další.

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

¹⁵ ∨ 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.

Sila 2 Typ Sila 1 Plocha<1> Plocha<25 ○ Kolmice Ovybraný směr O Na položku Celkem Jednotky SI Sila 6000 07 Opačný směr Kolmo k rovině(Celkem) (N): 6888

Před potvrzením definice síly zkontrolujte, Tas zotejla (fialové náhledové šipky) působí ve Honěrit plmém od základny. Potvrďte přidání síly a v průvodci pokračujte tlačítkem **Další**.

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

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**.

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

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



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

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

- · Zobrazit napětí von Mises,
- Zobrazit posunutí.

Pod tlačítky je uvedený výsledek \rightarrow 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.





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.

von N	1ises (N/m^2)
-	1,228e +08
	1,106e+08
	9,830e+07
	8,602e+07
_	7,375e+07
-	6,147e+07
-	4,920e+07
	3,693e+07
-	2,465e+07
-	1,238e+07
	1.043e+05

Mez kluzu: 2,206e +08

²⁹ Podíveite se na velikosti napětí na stupnici na obrázku vlevo. Největší napětí je 122 MPa, které ie významně menší než napětí na mezi kluzu 220 MPa (hodnota zcela dole, označená červenou šipkou). Kontrolou návrhu jsme zjistili, že působení silového zatížení nepřekroć mez kluzu a nedojo deforAltion UKALICIOLA KAPITOARMA tak k porušení n k trvalé materiálu

C. Vyhodnocení výsledků

I. Výsledné napětí

Zobrazte výsledky napětí kliknutím na tlačítko Zobrazit napětí von Mises.

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.

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. 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.



II. Výsledné posunutí

Klikněte na tlačítko Zobrazit posunutí.

Při vizuálním hodnocení výsledků je nutné brát opět v úvahu měřítko (1070× větší).

Barevná mapa se hodnotí stejně jako v případě výsledků napětí. K největšímu posunutí dojde v místě, kde je povrch červený.

Přesné hodnoty posunutí pro vyhodnoce-Tay-výsledků zjistíme opět ze stupnice vpravo. Tay-výsledků zi posunutí je zhruba 0,01 mm, což je stupnice vpravo. Tay-výsledků ze stupnice vpravo. Tay-výsledk



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



Generovat soubor eDrawings

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 změnám 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 zjemníme hustotu sítě. Zároveň předpokládejme, že minimální požadovaný koeficient bezpečnosti je 1,3.

Klikněte pravým tlačítkem na prvek Externí zatížení → Síla-1 ve FeatureManageru SimulationXpress Study.

* *	SimulationXpress Study (-Výchozí- 😻 📣 15-1-a (-Obyčejná uhlíko 🛞 Uchycení	-) vá ocel
•	Fixní-1 Externí zatížení Síla-1 (:Celkem: 6 000 N:)	
•	🖪 Výsledky	🙀 Upravit definici
	🐝 Stress (-von Mises-) 💕 Displacement (-Výsledné	Detaily
	🥵 Deformation (-Posun-)	N Skrýt

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



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

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

«	SOLIDWORKS SimulationXpress
	X
1	Uchycení 🗸
2	Zatížení 🛷
3	Materiál 🖌
4	Spustit
5	Výsledky
0	Optimalizovat
Vái Vái nel	š model je připraven k řešení! š model můžete vyřešit s výchozími nastaveními bo je změnit dle vašich potřeb.
∋	Změnit nastavení
-	Spustit simulaci

Klikněte na tlačítko Změnit hustotu sítě.

 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.

	5	áť –	(?)
~	×		
Husto	ota sítě		^
8			
	Hrubá		Jemná
		Obnovit	
🗹 Pa	rametry sítě		^
	2.29403302m	m	-
		1111111111111	
	0.11470165m	m	
7 .			

41 Potvrďte úpravy.

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



INYNÍ 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*.

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

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).

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-a Název studie: SimulationXpress Study(-Výchozí-) Typ obrázku: Static uzlové napěti Stress Měřitko deformace: 518,611



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).

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 nejvíce 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 úchytů (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

2 Zavřete průvodce SimulationXpress křížkem vpravo nahoře.

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





Upravte rozměr základny. Tloušťku 8 mm zvětšete na 12 mm.

☑ Změňte i velikost poloměru zaoblení mezi úchyty a základnou → prvek Zaoblit4. Velikost poloměru zaoblení zvětšete z 2 mm na 7 mm.



Spusťte Průvodce analýzou Simulation-Xpress ze záložky Analýzy a pokračujte tlačítkem Další.

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

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.

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



b) Změna materiálu

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

Spustte SimulationXpress.

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

Klikněte na tlačítko Změnit materiál a vvberte z knihovny materiál AISI 1020, jehož mez kluzu je 351 MPa a spusťte simulaci.

SOLIDWORKS SimulationXpr	ess X
	X
1 Uchyceni	v
2 Zatížení	1
3 Materiál	1
4 Spustit	
5 Výsledky	
6 Optimalizovat	
Materiál přířazený tomuto dílu je: AISI 1020	
Materiál přířazený tomuto dílu je: AISI 1020 Youngův modul pružnosti: 2e+011N/m^2 Moz kluzu: 3.51571e+008N/m^2	
Materiál přířazený tomuto dílu je: AISI 1020 Youngův modul pružnosti: 2e+011N/m^2 Mez kluzu: 3.51571e+008N/m^2 Změnit materiál	

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



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. Ten 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
C,	12 000 N	obyčejná ocel	upravený	220 MPa	jemná	155 MPa	1,41	ano
t,	ZIR OOO N	AISI 1020	původní	351 MPa	jemná	247 MPa	1,42	ano
The pure second se								

O autorovi

Ing. Marek Pagáč, Ph.D., je zkušeným uživatelem softwaru SolidWorks s více než patnáctiletou 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. V tomto atraktivní oboru se neustálé vzdělává a připravuje se na obhajobu habilitační práce. Během strojírenských studií na Střední průmyslové škole a Obchodní akademii v Bruntále opakovaně uspěl v celostátní soutěži "Nejlepší programátor CNC obráběcích strojů" a v soutěžích v CAD modelování. Autor knihy řadu let přispívá do strojírenských časopisů a zároveň je již šestým rokem hlavním tvůrcem obsahu pro komunitní portál **Mujsolidworks.cz**. S nadšením se věnuje popularizaci vědy a techniky, 3D tisku a moderních metod konstruování.

Portál Mujsolidworks.cz

Unikátní český portál Mujsolidworks.cz kombinuje v jednom funkčním celku on-line magazín a diskusní fórum 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 největším dodavatelem 3D CAD systému SOLIWORKS v České republice. Má široké zázemí pro obchodní a technickou podporu pro zákazníky i školy. Významnou oblastí působnosti společnosti jsou také další produkty a služby pro PLM řešení, řešení SolidCAM, 3D skenování a 3D tisk. Vyvíjí a dodává unikátní CNC frézky především pro školy.

MŮJSOLIDWORKS.CZ

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 SolidWorks 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.





