

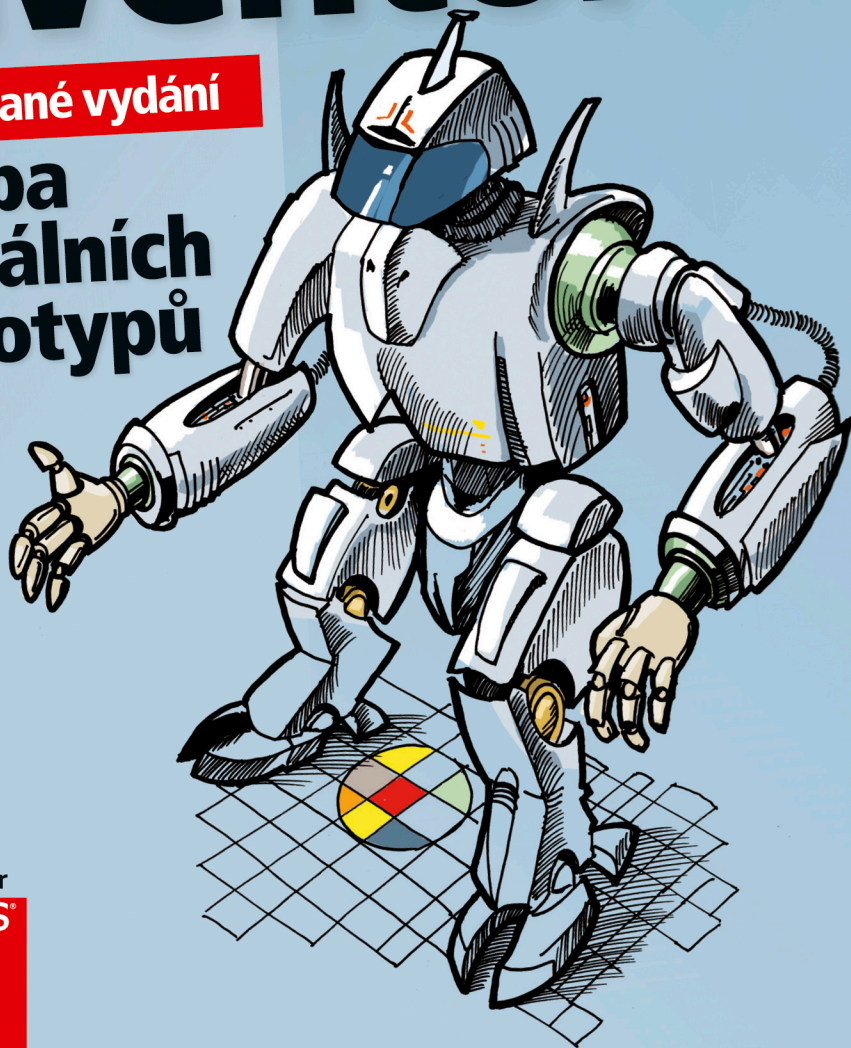
učebnice

Petr Fořt, Jaroslav Kletečka

Autodesk Inventor

3. aktualizované vydání

**Tvorba
digitálních
prototypů**



computer
press

Petr Fořt
Jaroslav Kletečka

Autodesk Inventor
Tvorba digitálních prototypů
3. aktualizované vydání

Computer Press
Brno
2012

Autodesk Inventor

Tvorba digitálních prototypů

3. aktualizované vydání

Petr Fořt, Jaroslav Kletečka

Obálka: Martin Sodomka

Odpovědný redaktor: Michal Janko

Technický redaktor: Jiří Matoušek

Objednávky knih:

<http://knihy.cpress.cz>

www.albatrosmedia.cz

eshop@albatrosmedia.cz

bezplatná linka 800 555 513

ISBN 978-80-251-3728-4

Vydalo nakladatelství Computer Press v Brně roku 2012 ve společnosti Albatros Media a. s. se sídlem Na Pankráci 30, Praha 4. Číslo publikace 16 158.

© Albatros Media a. s. Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být kopírována a rozmnožována za účelem rozšiřování v jakékoli formě či jakýmkoli způsobem bez písemného souhlasu vydavatele.

 **ALBATROS** MEDIA a.s.



OBSAH

Předmluva **8**

Kapitola 1

Úvod **9**

Product Lifecycle Management	11
Modelování jako změna myšlení	11
Tvorba digitálních prototypů	13
Od parametrického modelování k funkčnímu navrhování.....	15
Adaptivní modelování v sestavách.....	18
Automatizace tvorby variant součástí a sestav	20

Kapitola 2

Než začnete modelovat **23**

Pracovní prostředí Autodesk Inventoru	24
Pracovní plocha pro modelování	25
Pracovní plocha pro tvorbu výkresů	26
Nápověda a výukové pomůcky.....	27
Uživatelské přizpůsobení Autodesk Inventoru	28
Obsluha aplikace pomocí Marking Menu (Směrové nabídky)	29
Vytvoření souboru	30
Uložení souboru	31
Inventor Design Assistant	31
Prohlížeč součástí.....	32
Prohlížeč součástí v módu Modelování součástí	34
Prohlížeč součástí v módu Modelování sestav	36
Prohlížeč součástí v módu Tvorba výkresů	37
Prohlížeč součástí v módu Presentace	38
Zásady práce s Prohlížečem součástí	38
Konstruktérský zápisník.....	39
Nástroje pro řízení pohledu.....	40
ZOOM a posun pohledu	40
Nástroje pro úpravu prostorového pohledu	41
Dynamická vizualizace	45
Fyzikální vlastnosti materiálů	47



Kapitola 3

Pracovní prvky a konstrukce náčrtů **49**

Pracovní prvky.....	50
Náčrtové roviny.....	52
Definice pracovních rovin pomocí modifikátorů	53
Konstrukce náčrtů.....	58
Přiřazení náčrtu.....	59
Kreslení náčrtů	60
Promítané konstrukce	65
Geometrické vazby.....	66
Kolmost.....	68
Rovnoběžnost	68
Tečnost.....	69
Totožnost.....	69
Soustřednost.....	69
Kolineárnost.....	69
Horizontální.....	70
Vertikální	70
Stejně.....	70
Symetrické	70
Vyhlazený přechod G2	71
Pevný bod	71
Rozměrové parametry.....	72
Náčrty v modelech	77
Adaptivní náčrty.....	78
3D náčrty.....	80

Kapitola 4

Modelování součástí **83**

Vysunutý prvek.....	85
Zkosení.....	87
Zaoblení.....	88
Díra	91
Rotovaný prvek.....	95
Zrcadlení prvku.....	97
Tvorba závitů	98
Šablonování	100
Tažený prvek.....	103
Spirála.....	106
Skořepina	108
Žebrování.....	110
Rozdělení plochy nebo součásti	112



Zešikmení plochy	113
Obdélníkové pole	116
Kruhové pole	118
Ohnutí součástí	120
Posunutí plochy	121
Reliéf	122
Obtisk	123
Zesílení / Odsazení plochy nebo modelu	124
Prodloužení plochy	126
Nahrazení plochy	127
Odstranění plochy	128
Sešití plochy	129
Zaplátování ploch	130
Oříznutí plochy	131
Oprava importovaných ploch	132
Náhled na řez tělesem	133
Technologie DWG TrueConnect	134
Tvorba variantních iSoučástí	138
Tvorba uživatelských iPrvků	144

Kapitola 5

Modelování součástí z plechu**149**

Modelování součástí z plechu	150
Tvorba rotačních součástí z plechu	163
Postupné rozviny	163
Urychlení práce s geometrií plechových součástí	164

Kapitola 6

Modelování sestav**167**

Umístění komponentu	170
Viditelnost stupňů volnosti	171
Vazby součástí v sestavách	172
iVazby	176
Zrcadlení komponent	180
Pole komponent	182
Výměna komponenty	183
Vytvoření nového komponentu	184
Posun komponentu	185
Otočení komponentu	186
Kontrola kolizí	186
Řezy sestavou	188
Normalizované součásti a profily	189
Metodika práce v sestavách	190



Kapitola 7

Adaptivní modelování v sestavách **197**

Adaptivní modelování.....198

Kapitola 8

Svařované součásti **207**

Svařované součásti208

Kapitola 9

Vizualizace a animace **217**

Vizualizace součástí a sestav218

Animace sestav222

Pokročilá animace s využitím Inventor Studia.....226

Prezentační vizualizace pomocí Autodesk Showcase.....227

Kapitola 10

Tvorba výkresů **231**

Nastavení norem kreslení.....233

Základní pohled.....234

Promítnutý pohled235

Pomocný pohled236

Řez237

Částečný řez240

Průřez.....241

Detail242

Přerušený pohled243

Podložený pohled.....244

Více výkresových listů.....245

Náčrty ve výkresech247

Úpravy výkresových pohledů248

Vlastnosti výkresu250

Definice nových formátů a značek.....251

Tvorba nové výkresové šablony.....253

Využití panelu Poznámky výkresu254

Kótování výkresů.....254

Osy ve výkresových pohledech258

Drsnost povrchu.....259

Geometrické tolerance.....260

Označení svarů.....262

Pozice, kusovník.....263

Texty a značky265



Kapitola 11

Konstrukční a analytické nástroje **269**

Jaké jsou potřeby strojírenské konstrukce?	270
Funkční navrhování	272
Strojírenská příručka v elektronické podobě	273
Kalkulátory pro oborové výpočty	275
Generátory konstrukčních celků	275
FEM analýzy	277
Dynamická simulace	281
Návrh potrubí	287
Návrh rámu	292
Metodika realizace projektu	296

Kapitola 12

Cvičení a ukázky z praxe **299****Rejstřík** **315**

PŘEDMLUVA

V oblasti produkce nových, případně inovovaných výrobků se objevují s nástupem digitálních technologií v posledních dvou desetiletích nástroje pro akceleraci předvýrobních etap. Zásadním oborovým zlomem je přechod z klasického konstruování na počítačovou grafiku. Jistá úroveň konzervatismu, lidem často vlastní, se otrásá v pomyslných základech s nástupem zcela nových postupů řešení. Skutečnou technologickou revolucí je v oblasti průmyslového navrhování v posledních letech nasazení digitálního modelování zapadajícího do strategie správy životního cyklu výrobku. Tyto metody s sebou přináší zásadní změny myšlení a metodiky zpracování projektů.

Klasický postup „představ si těleso a pak vytvoř výkres“ je nahrazen technologií, která řeší předvýrobní fázi pomocí virtuálních prototypů. Model se stává nejen zdrojem informací pro odvození výkresové dokumentace, ale i podkladem pro jeho další konstrukční, analytické a technologické zpracování. Popis geometrie pomocí parametrů a rovnic navíc umožňuje modifikaci navrhovaných součástí a promítnutí změn na úroveň návazných operací.

Autodesk Inventor jde ovšem za hranice základní funkčnosti aplikace pro tvorbu digitálních modelů výrobků. Je souhrnem nástrojů a pomůcek, které jsou jinak využívány při vývoji v tradičních podobách tabulek, norem, výpočtových vztahů a technických analýz. Tvorba projektu v Autodesk Inventoru je nyní spjata s funkčním designem jako nikdy dříve.

Zvládnutí nové metodiky práce integrované se znalostmi aplikací musí být nedílnou součástí zavádění konkurenceschopných řešení. Ve finále vždy rozhoduje produktivita a čas. Proto i firma Autodesk zúročuje své dlouhodobé zkušenosti s řešením „metodicky zvládnutých“ aplikací v produktu Autodesk Inventor. Technologie adaptivního modelování a funkčního navrhování poskytuje ve spojení s intuitivním aplikačním desktopem široké možnosti řešení návrhu nových výrobků přímo v trojrozměrné grafice digitálních modelů.

Tato učebnice vychází svou koncepcí z dlouhodobých projektů, které jsou realizovány ve spolupráci autorů, průmyslové praxe, informačního portálu *AutodeskClub.cz* a *DesignTech.cz*. Učebnice je postavena na úzkém propojení teoretického výkladu a metodických cvičení. Důvodem je především snadný přechod na zcela nový produkt a zvýraznění rozdílnosti v přístupu jeho obsluhy s okamžitou možností procvičení dané problematiky.

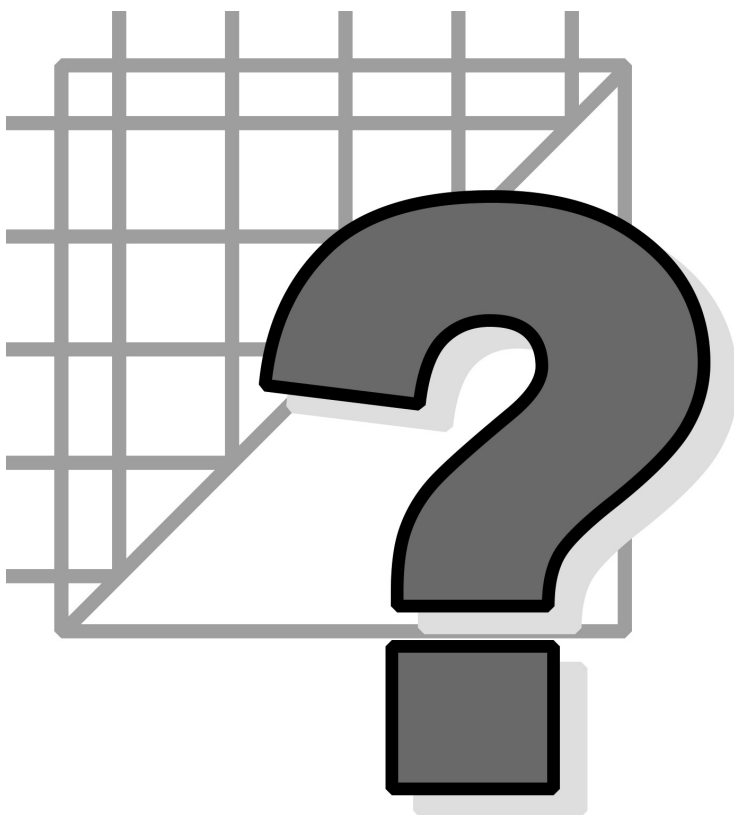
Učebnice je doplněna odbornou podporou portálu *DesignTech.cz*, který je zaměřen na průmyslové nasazení digitálních technologií a její metodickou výuku. Portál je vytvářen ve spolupráci s VOŠ a SPŠ ve Žďáře nad Sázavou, s dodavateli software řešení a průmyslem.

Učebnice je určena všem, kteří hledají metodicky zpracovanou učebnici a návod, jak začít s integrací tvorby digitálních prototypů ve výuce, školeních a praxi.

Autoři

KAPITOLA 1

ÚVOD





Aplikace nových postupů, které poskytují moderní informační technologie, není možná bez vysoké úrovně znalostí. Výpočetní technika se teprve tehdy stává opravdovým nástrojem pro podporu lidského myšlení.

Dostupnost kvalitní a dostatečně výkonné výpočetní techniky v posledních letech umožňuje využívat efektivnější postupy v oblasti počítačového navrhování a přípravy výroby. Nový výrobek se stává virtuálním prototypem v elektronické podobě, který může být kompletně navrhnout a zkontrolován včetně simulace jeho výroby na osobním počítači.

Moderní technologie nám umožňují vrátit se k podstatě prostorového myšlení a představivosti, které je pro navrhování daleko přirozenější a efektivnější. Je samozřejmé, že klasická koncepce tvorby 2D výkresové dokumentace ještě zůstane v některých oborech dlouho základním zdrojem informací, ale i zde může znamenat využití prostorových modelů urychlení a zkvalitnění vývoje. Potenciálem znalostí konstruktérů, technologií a návazných oborů nemusí být plýtváno v oblastech, které dokáže zpracovat výpočetní technika v podstatně kratším čase a vyšší kvalitě.

Výuka jakékoliv aplikace výpočetní techniky má svá určitá specifika. Jedná se o vysoce kreativní činnost s použitím nejmodernější techniky. Na počátku našeho záměru sestavit metodiku výuky parametrického a adaptivního modelování stála snaha sestavit učebnici, která by svou metodikou odpovídala hlavní myšlence Autodesk Inventoru, což je srozumitelnost a intuitivnost. Proto jsme zvolili koncepci průřezových příkladů. V kapitolách je vždy nezbytně nutná teorie podpořena okamžitou tvorbou ukázkového příkladu.

Nasazení počítače přináší v oblasti prostorového modelování nejen změnu vyjadřovacích prostředků, ale také zcela zásadní změnu myšlení. Model výrobku nevzniká pouze v myšlení konstruktéra, ale může být okamžitě realizován v modelovacím softwaru.

Kvůli snadné orientaci v problematice je proto velmi vhodné mít základní přehled o tradičních metodách konstruování a o problematice norem. Doporučujeme vám například učebnice, na které navazuje tato kniha nejen svou koncepcí, ale také metodickým začleněním do vzdělávacího procesu na středních školách. Dalším informačním médiem může být pro vás Internet, především portály:

www.autodeskclub.cz – informační portál věnovaný kompletní produktové řadě společnosti Autodesk. Najdete zde především celou řadu odborných tipů, zkušeností a průběžných informací. Na informačním portálu můžete také získat studentské verze aplikací.

www.designtech.cz – informační portál, který je vytvořen s ohledem na současný rozvoj problematiky aplikované informatiky v oblasti strojírenství. Základním modelem, který je využit při tvorbě obsahu portálu, je správa životního cyklu výrobku (PLM – Product Lifecycle Management). Informační portál doplňuje naše učebnice o stovky metodických článků a zkušeností z komerčních projektů vytvořených pomocí různých produktových řešení. Obsah portálu je vytvářen v úzké spolupráci s mezinárodní průmyslovou praxí a dodavateli software řešení.



Product Lifecycle Management

V současnosti si již neumíme efektivní navrhování nových výrobků bez použití digitálních postupů představit. Tyto metody nejenže řeší vlastní konstrukční část předvýrobní etapy výroby, ale také pak možnosti modifikací již stávajících výrobků. Například navrhujeme nový automobil a jeho relativně jednoduchou úpravou dosáhneme vytvoření nové varianty.

Oblast **PLM** (Product Lifecycle Management) je v současné době nejkompaktnějším popisem správy životního cyklu výrobku v produkční sféře. Ve své podstatě rozšiřuje původní řešení **CIM** (Computer Integrated Manufacturing) o nové oblasti, které vycházejí z posílení orientace produkce na zákaznické potřeby.

Pojem PLM je ve své podstatě spíš souhrnnou a zobecněnou filosofií produkce výrobku než konkrétními aplikacemi pro řešení konstrukce, přípravy výroby nebo datové komunikace. Lze tedy říci, že určitá společnost vyvíjející software pro strojírenství má řešení PLM. To ovšem zahrnuje konkrétní aplikace **CAD** (Computer Aided Design), **CAE** (Computer Aided Manufacturing), **FEM** (Finite Element Method), **CAM** (Computer Aided Manufacturing) a **PDM** (Product Data Management).

PLM v sobě tedy sdružuje jak systémy, postupy a nástroje pro řešení problematiky přímo svázané s realizací nového, případně inovovaného výrobku, tak systémy, nástroje a postupy pro zabezpečení správy vlastního digitálního obsahu. Integrovanou součástí PLM je přímá podpora ekonomických, účetních, správních a marketingových činností. Celková podstata PLM je výrazně flexibilní vůči zákaznickým potřebám, které proces jako celek významně ovlivňují.

Modelování jako změna myšlení

Efektivita modelování vychází z podstaty vyjádření základní myšlenky návrhu nového výrobku. Původní myšlenka zobrazená v naší představivosti, která je dále zobrazena do pohledů a řezů na výkres nebo v 2D systému, je nahrazena prostorovým modelem vytvořeným ve 3D systému. Tento model je zdrojem geometrie nového výrobku, která může být dále využita pro další zpracování, kontroly a výrobu.

Existuje samozřejmě celá řada argumentů pro i proti nasazení modelování do praxe. Jedná se ovšem především o výraznou pozici klasických konstrukčních metod a mnohdy o problémy technického a organizačního charakteru.

Překážkou je také vzájemná nekompatibilita aplikací pro modelování znemožňující přenos geometrie součástí a sestav včetně jejich topologie. Je tak problematické zajistit kooperaci firem využívajících nekompatibilní aplikace.

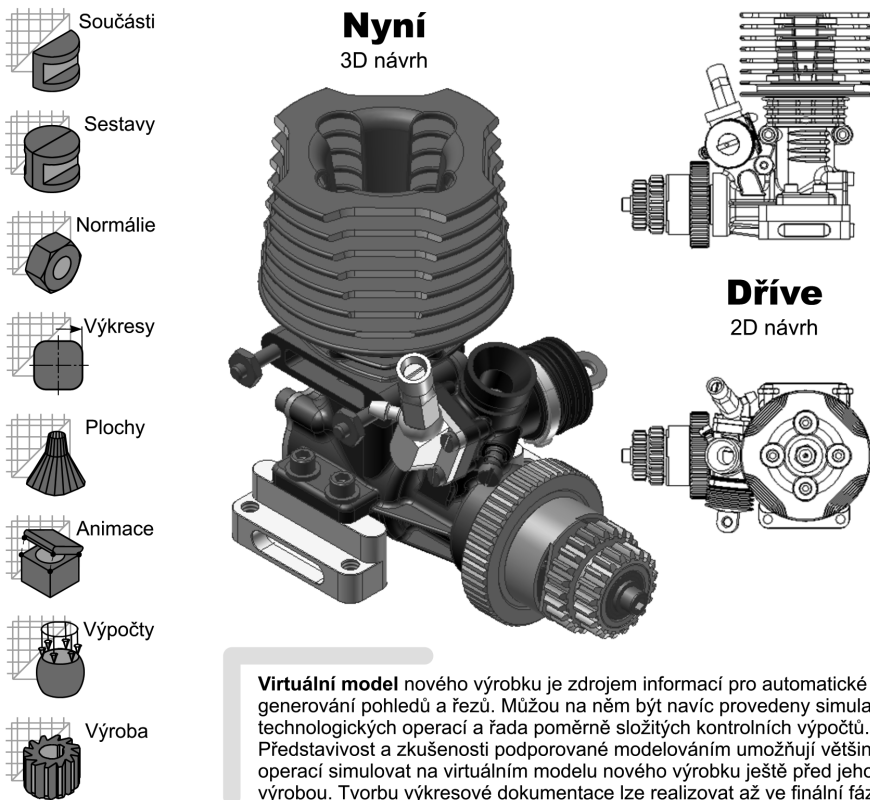
Modelování je bezesporu budoucností navrhování ve všech nejen strojírenských oborech. Potlačení rutinních prací a přímá podpora prostorové představivosti poskytují zcela netradiční postupy a možnosti při návrhu nových výrobků. Letecký a automobilový průmysl jsou toho přímým důkazem.

Metodika nasazení nových postupů modelování a jejich integrace se stávající činností společnosti je poměrně náročnou fází v zavádění aplikovaných informačních technolo-



gií. Požadavky kladené na uživatele a vývojové týmy v průběhu zavádění nových technologií jsou jedním z nejcitlivějších míst. Je nutné si uvědomit, že i sebelepší počítač vyžaduje kreativní přístup a odborné znalosti svého uživatele. Jedná se o pouhý nástroj, který musí zaručit efektivitu, přesnost a kvalitu řešení.

Modelování je zásadní změnou vyjadřovacích prostředků a přístupu



Obrázek 1.1 Podstata modelování jako změny vyjadřovacích prostředků

Dalším aspektem pro úspěšné zavedení PLM technologií v praxi je propracovaná metodika jejich použití a eliminace chyb. Za metodiku považujeme především to, jak a podle jakých pravidel bude software využíván pro kreativní práci. Společným jmenovatelem v současné době je dodržování mezinárodních norem a předpisů. Je jasné, že si to vyžaduje stále výraznější specializace výrobců dodávajících mnohdy celé části výrobku jako černé schránky, od kterých konstruktér vyžaduje určitou specifickou funkčnost.

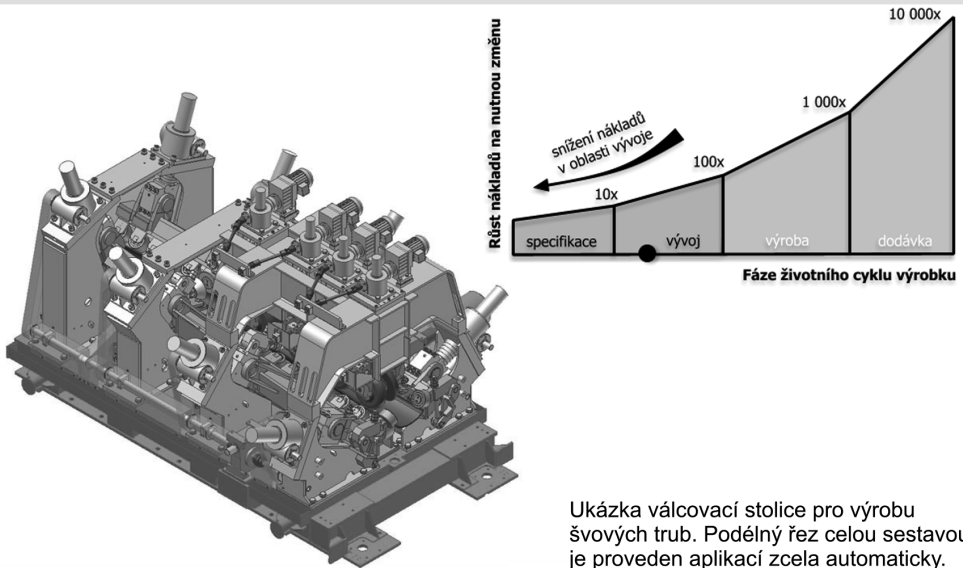
Rozhodující slovo při realizaci projektu hraje čas, za který je možné vytvořit dokumentaci a předat ji výrobě. Celkový trend je zkracování doby potřebné pro návrh a vývoj výrobku. Důležitou roli v této oblasti hraje také mezinárodní spolupráce realizačních týmů a jejich vazba na výrobu. Právě v této oblasti nachází stále častější uplatnění výměna digitálních informací a bezpečné správy dat.



Tvorba digitálních prototypů

Autodesk Inventor svým určením zapadá do řešení předvýrobní fáze produkce nových, případně inovovaných výrobků mapovaných správou životního cyklu. V současné době již nelze hovořit o Autodesk Inventoru pouze jako o CAD aplikaci. Díky řadě integrovaných nástrojů a zcela nových analytických postupů mapuje celý návrhový proces daleko komplexněji. Výraznou úlohu při těchto činnostech hraje především propojení tradičních postupů navrhování s pokrokovými technikami tvorby virtuálních modelů výrobků. Finálním efektem je pak především zkrácení času nutného pro realizaci projektu a snížení nákladů. Detailně se této problematice budeme věnovat v předposlední kapitole této učebnice.

Ukázka použití modelování v Autodesk Inventoru z praxe



Postupy navrhování pomocí digitálních modelů umožňují výrazně názornější tvorbu projektů.

Obrázek 1.2 Válcovací stolice pro výrobu trub a graf úspor v závislosti na fázi projektu

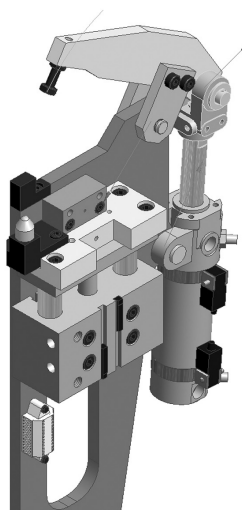
Autodesk Inventor umožňuje nahradit rutinní práci konstruktérů a technologů moderními postupy. Na digitálně definovaných modelech je možné provést řadu úprav a optimalizací bez nutnosti nákladné výroby prototypu. Výhodou počítačového návrhu je jeho těsná návaznost na následné technologické činnosti. Vytvořené geometrie lze využít například pro programování obráběcích strojů. Samostatnou kapitolou je spojení vytvořených objektů do rozsáhlých sestav a počítačových simulací.

Obecně lze postupy, které jsou postaveny na principech 3D navrhování, označit jako zlomové a revoluční. Ze své podstaty mění zcela průběh návrhu a především konstrukčního řešení výrobku.



Pro jednoduchou představu uveďme například variantní řešení krytu vysavače. Modelování umožňuje nejen realizovat vlastní design krytu v řadě variant, ale také prověřit jeho kinematickou funkčnost. Je možné provést detailní studii zaplnění formy nebo kontrolu mechanických vlastností krytu. V závěru je vytvořena výkresová dokumentace, která je plně asociativní s modelem. Desítky pohledů a řezů jsou automaticky upravovány podle změn základního modelu automaticky. Kóty jsou přirozeně více dílem konstruktéra.

Nasadit nové nástroje do produkční činnosti s sebou přináší i zcela nové problémy. V řadě případů se jedná o změnu podstaty metodiky konstrukce, která klade zvýšené nároky na uživatele a jejich progresivní myšlení. Zajištění konkurenceschopnosti produkční společnosti je bez těchto nástrojů v současné době ovšem nemyslitelné.



Obrázek 1.3 Hlavní oblasti problémů řešených pomocí Autodesk Inventoru

Pozice Autodesk Inventoru jako efektivního nástroje pro výuku vychází ze dvou základních aspektů. Jedná se o produkt navazující na tradici AutoCADu ve školství, který navíc poskytuje výborně metodicky zvládnuté nástroje pro modelování. Intuitivnost jednotlivých funkcí a jejich možnosti posouvají možnosti nasazení parametrického a adaptivního modelování do výuky o velký krok vpřed.

Autodesk Inventor je ovšem především nástrojem pro produktivní navrhování nových výrobků. Navazuje na parametrické modelování zcela netradičními prvky adaptivního modelování v sestavách, které zjednodušuje tvorbu a modifikace vlastních součástí.

Hlavní devizou Autodesk Inventoru je bezesporu extrémně snadná obsluha a efektivní tvorba velmi složitých součástí a sestav, která v praxi znamená snadné zaškolení obsluhy a rychlý přechod na modelování.

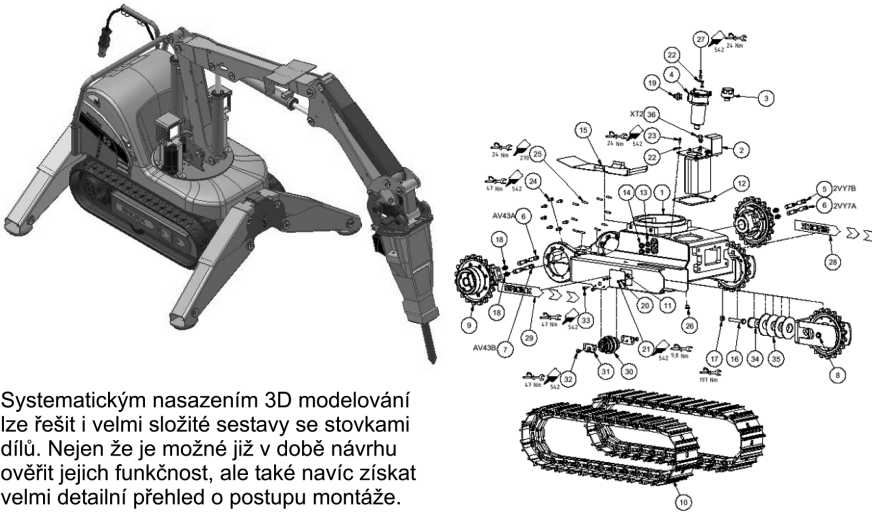


Od parametrického modelování k funkčnímu navrhování

Jádrem vyspělých 3D konstrukčních aplikací je většinou parametrický modelář. Pro modelování součástí může být využito načrtnutých a umístovaných konstrukčních prvků, generátorů součástí nebo databáze normálií. Zobrazení součástí na výkrese v pravoúhlém promítání lze odvodit přímo z prostorového modelu systémem generování pohledů a řezů.

Prostorový parametrický model součásti poskytuje řadu informací nejen o geometrických charakteristikách, ale také o vzájemných polohách a vazbách součástí v sestavách. Konstruktor nebo návrhář získává aplikací prostorových modelů možnost neomezené práce s virtuálním objektem. Nemusí být již omezen pouhým použitím 2D pohledů vytvořených na základě ortogonálního promítání.

Modelování pro řešení složitých sestav



Systematickým nasazením 3D modelování lze řešit i velmi složité sestavy se stovkami dílů. Nejen že je možné již v době návrhu ověřit jejich funkčnost, ale také navíc získat velmi detailní přehled o postupu montáže.

Švédská firma **Brokk** využila Autodesk Inventor pro návrh strojů a zařízení pro zemní práce.

www.brokk.com

Obrázek 1.4 Modelování sestav v Autodesk Inventoru

V současné době neexistuje progresivnější a produktivnější metoda tvorby geometrických dat nového výrobku. Pro podnik či firmu, která má vlastní vývoj nových produktů, je tento směr tím nejefektivnějším s možností jednoduché tvorby variant.

Autodesk postupně integruje nové technologie do Autodesk Inventoru. Nejedná se pouze o nástroje rozšiřující možnosti aplikace v oblasti navrhování, ale především ty, které sblížují tvorbu projektu ve virtuálním prostředí s každodenními pomůckami konstruktéra. Obrazně řečeno v Autodesk Inventoru najdete vše potřebné, pro co jste



jinak při konstrukci museli brát do ruky kalkulačku, strojnické tabulky, normy, případně algoritmy technických výpočtů. Jedná se především o postupné sblížování aplikací CAD / CAE / FEM.

Za parametrický model považujeme takový, který je matematicky popsán pomocí parametrů. Na modelu jsou definovány charakteristiky jeho geometrických částí a vzájemné vztahy s jinými součástmi, pokud jsou v sestavě. U takto vytvořeného modelu nejsou rozměry a další charakteristiky určeny konkrétními hodnotami, ale pomocí proměnných, výrazů a rovnic, které vzájemně spolu souvisí. Po dosazení několika základních konkrétních hodnot dojde k výpočtu skutečných rozměrů součásti.

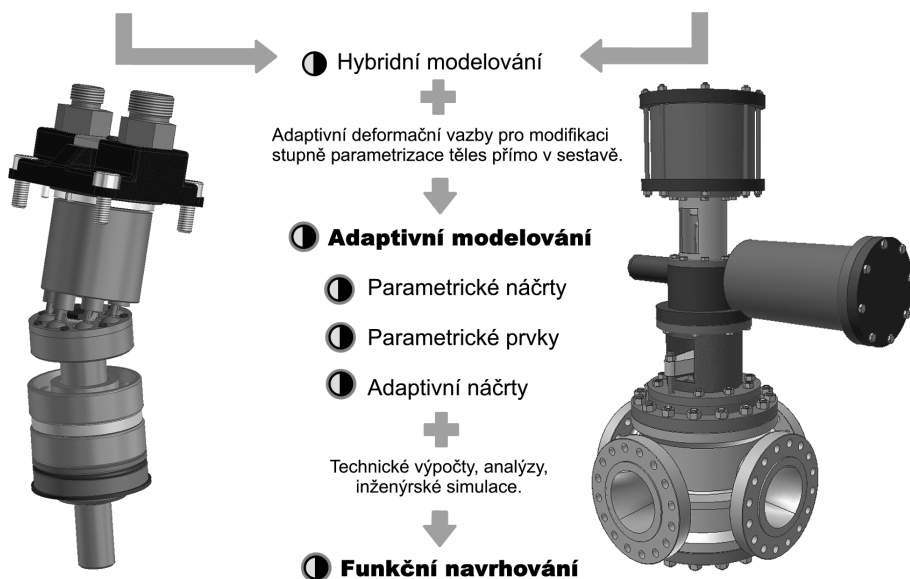
Koncepce navrhování v Autodesk Inventoru

○ Klasické modelování

- Objemová primitiva
- Neparametrické prvky

● Parametrické modelování

- Parametrické náčrtý
- Parametrické prvky



Obrázek 1.5 Koncepce tvorby digitálního modelu v Autodesk Inventoru

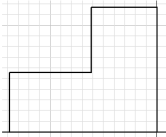
Konstruktor-návrhář začíná tvorbu nového výrobku od prostorového modelu součásti. Model je vytvořen obdobnými technikami jako u klasického modelování, často pomocí náčrtů a prvků bez ohledu na prvotní přesné rozměry všech geometrických prvků.

Náčrtý konstrukčních prvků se skládají z jednotlivých objektů (oblouky, úsečky), které jsou svázány pomocí **geometrických vazeb**. Vazby omezují stupně volnosti při tvorbě náčrtu a definují jeho geometrii, například vzájemnou rovnoběžnost, kolmost nebo soustřednost objektů. Rozměry náčrtů a prvků popisují a řídí podle **rozměrových parametrů (kót)**.

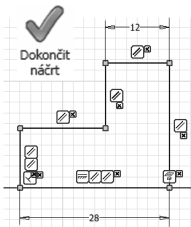


Podstata parametrického modelování

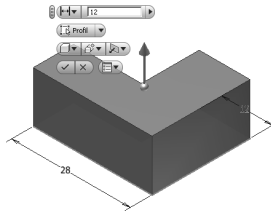
1 Definice náčrtu tvořícího model



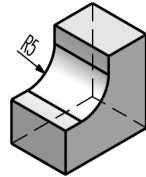
2 Parametrizace a přiřazení vazeb



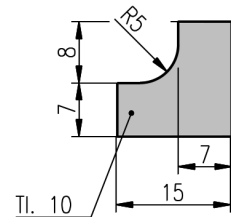
3 Vytvoření modelu



4 Úprava modelu



5 Vytvoření výkresu a jeho aktualizace



- Rozměrové parametry:**
Definují rozměry náčrtů a konstrukčních prvků
- Geometrické vazby:**
Definují vzájemné vztahy objektů tvořících náčrt

Obrázek 1.6 Parametrické modelování

Na jednoduchém příkladu si vysvětlíme podstatu parametrického modelování. Jedná se o relativně obecný postup využívaný standardně i v jiných aplikacích.

- ◆ Výchozí objekty pro parametrické modelování mohou být definovány pomocí 2D náčrtů (profilů) nebo předdefinovaných modelů. Jednotlivé možnosti jsou dány především vspělostí jádra parametrického modeláře.
- ◆ Dalším krokem při tvorbě parametrického modelu je vytvoření vzájemných vazeb jednotlivých prvků náčrtu. **Geometrické vazby** definují geometrické parametry, například vzájemnou rovnoběžnost, kolmost nebo soustřednost jednotlivých čar tvořících náčrt.
- ◆ Konstrukér-návrhář pokračuje v tvorbě nového výrobku, respektive prostorového modelu. Model je vytvořen obdobnými technikami jako u klasického modelování, často bez ohledu na přesné rozměry. Jednotlivým rozměrům jsou přiřazeny rozměry (kóty), které nazýváme **rozměrové parametry**. Ty definujeme konkrétními hodnotami nebo výrazem.
- ◆ Po návrhu parametrického modelu můžeme zadat počítači příkaz k vytvoření jednotlivých výkresových pohledů, řezů a detailů. Výsledkem je výkres, který se po doplnění kót (nejsou-li odvozeny z parametrů), formátu a dalších náležitostí stává plnohodnotnou výkresovou dokumentací.

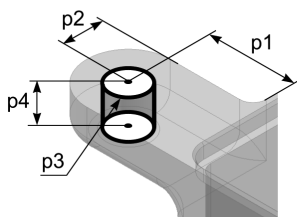


- ◆ Zde ovšem možnosti parametrického modelování nekončí. Je možné kdykoliv se vrátit k původnímu modelu a provést jeho modifikaci. Veškeré změny se automaticky promítají do předem vytvořených pohledů, které tvoří výkresovou dokumentaci.

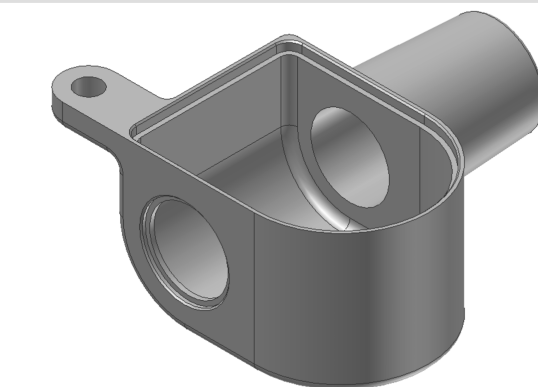
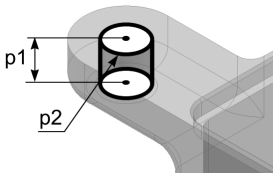
Konstruktor se stává opravdovým návrhářem, který se již tolik nemusí zabývat náležitostmi výkresové dokumentace. Veškeré modifikace jsou relativně snadné, soustředí se pouze na úpravu parametrů a geometrické charakteristiky modelu. Ostatní, od regenerace tvaru součásti, vazeb až po opravu výkresové dokumentace, zajistí počítač.

Úplná a částečná parametrizace

Úplná parametrizace



Částečná parametrizace



Poznámka:

Naším cílem při modelování by mělo být vždy plně určit geometrii součástí pomocí geometrických vazeb a rozměrových parametrů nebo pomocí adaptivních vazeb. Částečná parametrizace způsobuje nepředvídatelné chování geometrie při modifikacích součástí, podsestav a sestav.

Obrázek 1.7 Úplná a částečná parametrizace

Jednotlivé modeláře se právě v požadovaném **stupni parametrizace** liší. Některé vyžadují úplnou parametrizaci, bez níž nemůžete dále pokračovat. V jiných modelářích naopak stačí při návrhu modelu zadat pouze jeho geometrii a několik definičních rozměrů.

Adaptivní modelování v sestavách

Autodesk Inventor přišel před lety na trh s modelovacími systémy s efektivní filozofií modelování. Modifikované algoritmy umožňují definovat a modifikovat součásti přímo v sestavách bez nutnosti jejich přesné definice pomocí geometrických vazeb a rozměrových parametrů. V praxi to znamená především minimalizaci času, který je potřebný pro návrh funkčnosti nového výrobku již ve fázi vlastního návrhu zařízení.

Na obrázku je zobrazena sestava mechanismu, který je sestaven z několika součástí. Tradiční postup je založen na vytvoření všech součástí a jejich sestavení do funkčního celku. Veškeré součásti jsou popsány separátními parametry, které určují jejich rozměry a geometrii. Pokud chceme zajistit jejich vzájemnou provázanost, je nutné jednotlivé parametry provázat. Ukázkou může být například provázání parametrů průměrů $d1 = d2$. Modifikace vnitřního průměru $d1$ pak automaticky modifikuje průměr zátky $d2$.



Adaptivní modelování definuje tento problém zcela jinak. Pokud chcete definovat průměr zátky d_2 , odvodte jej přímo z průměru otvoru pomocí **adaptivních vazeb**. Prakticky nepotřebujeme pro řešení tohoto problému definovat jedinou rovnici. Průměr zátky je definován jako adaptivní a je „plasticky“ upraven pomocí adaptivních vazeb podle díry.

Parametrické a adaptivní modelování

Parametricky:



Obě součásti se vymodelují a položí se rovnost $d_1 = d_2$

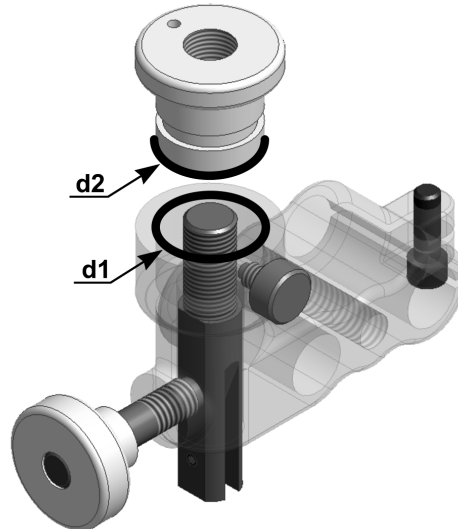
Adaptivně:



Průměr d_1 je modifikován deformační vazbou proti d_2

Poznámka:

Deformační vazba vzniká překročením stupňů volnosti dané součásti a aktivací adaptivity u konkrétního prvku součásti. Rozměr je pak přímo řízen sestavou (součást se chová „plasticky“).



Obrázek 1.8 Parametrické a adaptivní modelování

Později v této učebnici si na konkrétních příkladech vysvětlíme podstatu této efektivní techniky návrhového modelování sestav. Jedná se o silný nástroj, který přibližuje modelování myšlení a požadavkům na tvorbu funkčního celku součástí již ve fázi návrhu.

Nástroje pro modelování v Autodesk Inventoru poskytují intuitivní možnosti pro tvorbu součástí a sestav. Jedná se o tradiční postupy optimalizované z hlediska uživatelského do tří základních skupin:

- ◆ Nástroje pro tvorbu součástí pomocí parametrických a adaptivních náčrtů
- ◆ Nástroje pro modelování pomocí konstrukčních prvků
- ◆ Nástroje pro modelování pomocí uživatelsky definovaných konstrukčních prvků

Všechny skupiny nástrojů lze libovolně při modelování kombinovat. Je pouze na uživateli aplikace, jaký postup a metodiku tvorby modelu zvolí. Tento problém nelze přesně popsat, může být závislý na řadě faktorů určených především složitostí modelu součástí nebo sestavy. Již v počátku tvorby modelu často narazíte na otázku, jak řešit konkrétní postup. Také z tohoto důvodu jsme zvolili pro naši učebnici výklad problémů pomocí průřezových příkladů.

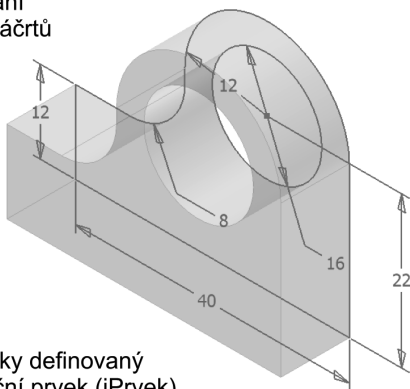
Velmi výkonným nástrojem jsou především uživatelsky definované konstrukční prvky. Autodesk Inventor je využívá pod názvem **iPrvky**. Jsou použitelné především při kon-



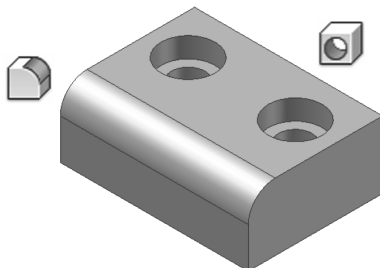
strukci odvozených tvarů a prvků modelovaných součástí. Lze tak například efektivně vytvořit složitou tvarovou drážku na součásti včetně možnosti modifikace jejich rozměrů a polohy. Navíc mohou být prvky uloženy do centrální databáze pro využití v jiných projektech.

Přístupy k modelování používané v Autodesk Inventoru

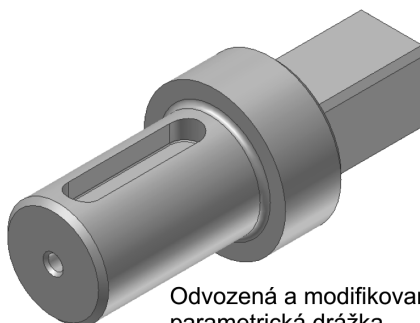
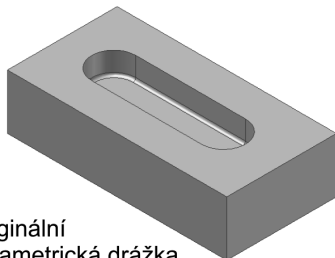
Modelování pomocí náčrtů



Modelování pomocí konstrukčních prvků



Uživatelsky definovaný konstrukční prvek (iPrvek)



Originální parametrická drážka

Odvozená a modifikovaná parametrická drážka

Obrázek 1.9 Přístupy k modelování

Automatizace tvorby variant součástí a sestav

Matematický popis modelů součástí přímo určuje možnost jejich modifikace pomocí soustavy proměnných. Lze tak snadno generovat odvozené modifikace již existujících součástí. Do důsledku vytvoření nové varianty znamená pouze zadání nových hodnot proměnných do předem připravených tabulek. Tyto tabulky mohou být vytvořeny přímo v aplikaci nebo v externím tabulkovém editoru.

Variantně generované součásti jsou vhodné především při řešení rutinních návrhů opakujících se prvků. Teoreticky podobných generátorů využívají například algoritmy pro tvorbu normalizovaných součástí. Ve firmě si tak můžete vytvořit varianty všech vyráběných výrobků a jejich modifikací a ty přímo integrovat do nových projektů. Pro tvorbu variantních součástí musí být splněny tyto základní požadavky:

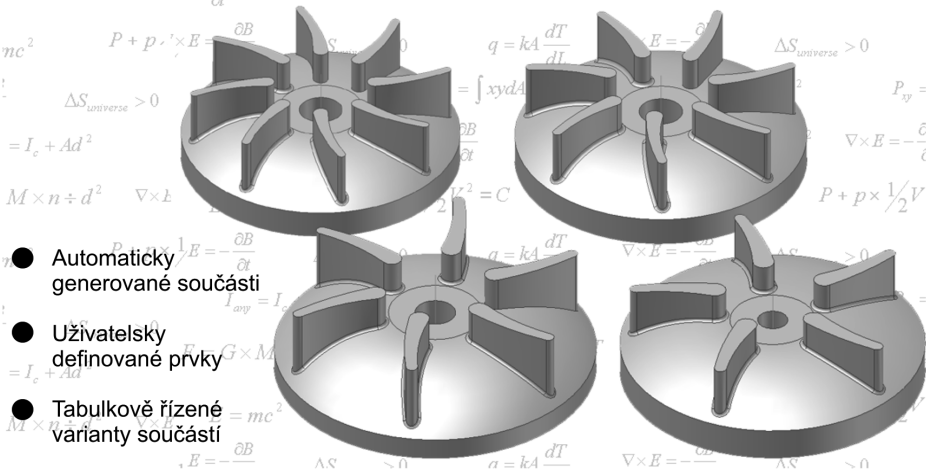


- ◆ Tvarová podobnost všech prvků součásti
- ◆ Možnost definice vzájemných prvků jako samostatných celků nebo skupin (lopatka kola)
- ◆ Řešení definované modifikace bez kolize v předem definovaném rozsahu hodnot
- ◆ Matematicky řešitelné definice geometrických prvků

Je zřejmé, že přesná a spolehlivá definice modifikovatelných součástí vyžaduje poměrně rozsáhlé zkušenosti s jednotlivými funkcemi programu. Proto jsme zařadili tuto oblast problematiky až za samostatné modelování. Doporučujeme proto nejprve detailně zvládnout fázi modelování součástí. Velký důraz je také nutné klást především na postup matematického definování rozměrových parametrů a zápis matematických vztahů.

Automatické generování variant součástí

	RA	H1	RB	RC	RD	L1	UH1EL	H2	LOPATKY	DIRA	RADIUS
1	50 mm	20 mm	14 mm	75 mm	19 mm	26 mm	8 deg	10 mm	5 ul	10 mm	1 mm
2	55 mm	22 mm	16 mm	60 mm	21 mm	29 mm	10 deg	12 mm	6 ul	14 mm	1 mm
3	60 mm	24 mm	18 mm	80 mm	23 mm	32 mm	12 deg	14 mm	7 ul	18 mm	1,5 mm
4	65 mm	26 mm	20 mm	85 mm	25 mm	35 mm	16 deg	16 mm	8 ul	20 mm	1,5 mm



- Automaticky generované součásti
- Uživatelsky definované prvky
- Tabulkově řízené varianty součástí

Obrázek 1.10 Generování variant součástí

Za nejvyšší úroveň modifikovatelnosti návrhu lze bezesporu považovat variantní generování celých sestav. Součásti jsou modifikovány na základě globálních proměnných parametrů, které řídí celou sestavu jako celek.

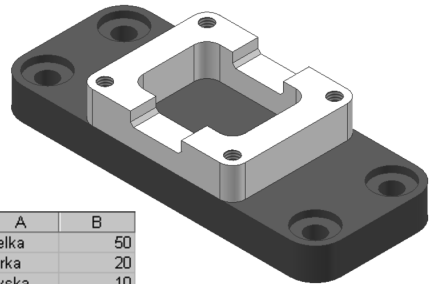
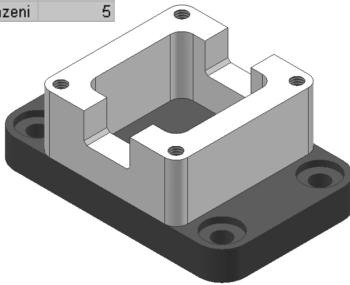
Při modelování variantních sestav nachází výrazné uplatnění adaptivní modelování. Velké množství navzájem provázaných parametrů je nahrazeno adaptivními vazbami. Obrazně řečeno „plastické součásti“ se pak deformují v závislosti na celkové modifikaci geometrie. Ta je řízena hodnotami v externě definované tabulce.

Výrazný podíl adaptivních postupů modelování můžete také využít při modelování variantních svarek. Jedná se také o jistou podobu sestav vytvářených podle určitých pravidel v samostatném modulu Autodesku Inventoru.



Automatické generování variant sestav s adaptivními prvky

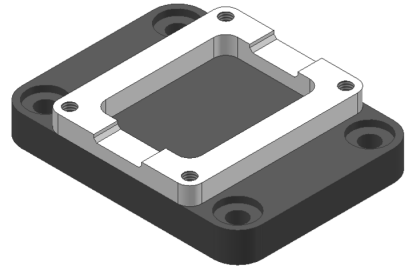
	A	B
1	Delka	40
2	Sírka	25
3	Vyska	15
4	Odsazení	5



	A	B
1	Delka	50
2	Sírka	20
3	Vyska	10
4	Odsazení	2

- Automaticky generované sestavy
- Součásti řízené adaptivními vazbami
- Minimalizace podmínek a matematických vztahů

	A	B
1	Delka	40
2	Sírka	30
3	Vyska	8
4	Odsazení	1



Obrázek 1.11 Variantně generované sestavy

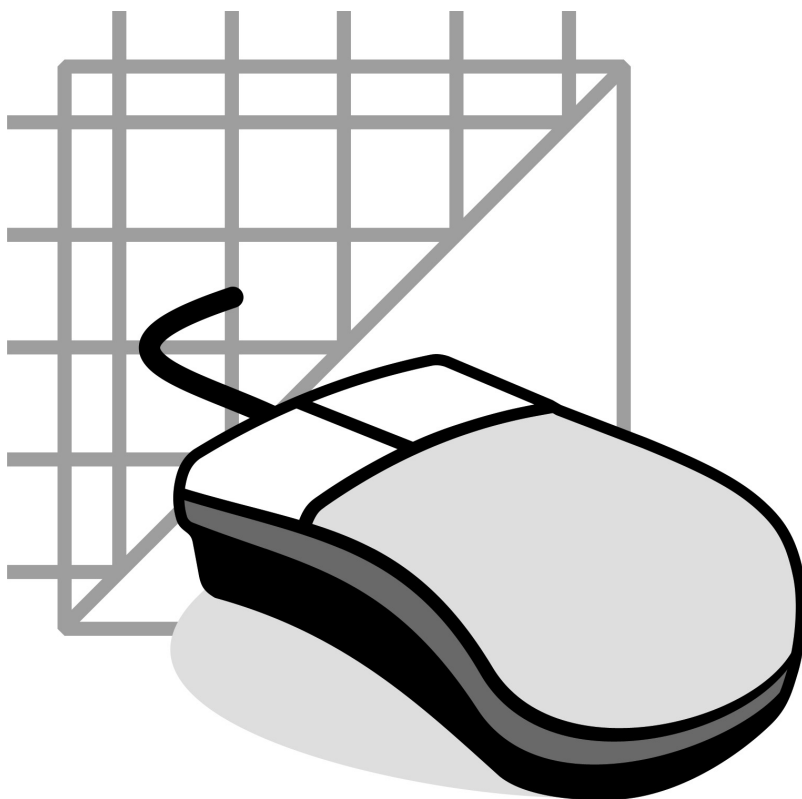


Otázky a cvičení:

1. Vysvětlete, jaké komponenty hardwaru mají rozhodující vliv na funkčnost Autodesk Inventoru.
2. Vysvětlete podstatu parametrického modelování a adaptivního modelování v sestavách.
3. Jaké techniky modelování můžete využít pro modelování v Autodesk Inventoru?
4. Na jakém principu je založeno automatické generování součástí a variantních sestav?

KAPITOLA 2

NEŽ ZAČNETE MODELOVAT





Pracovní prostředí Autodesk Inventoru

Autodesk Inventor je již od počátku navržen jako aplikace poskytující vysoký komfort obsluhy jednotlivých funkcí. Firma Autodesk se zamýšlí nejen nad funkčností, ale především nad metodikou obsluhy. Na jednotlivých prvcích obsluhy a funkcích je výrazně zřetelný směr vývoje k tzv. „jednodenní produktivitě“.

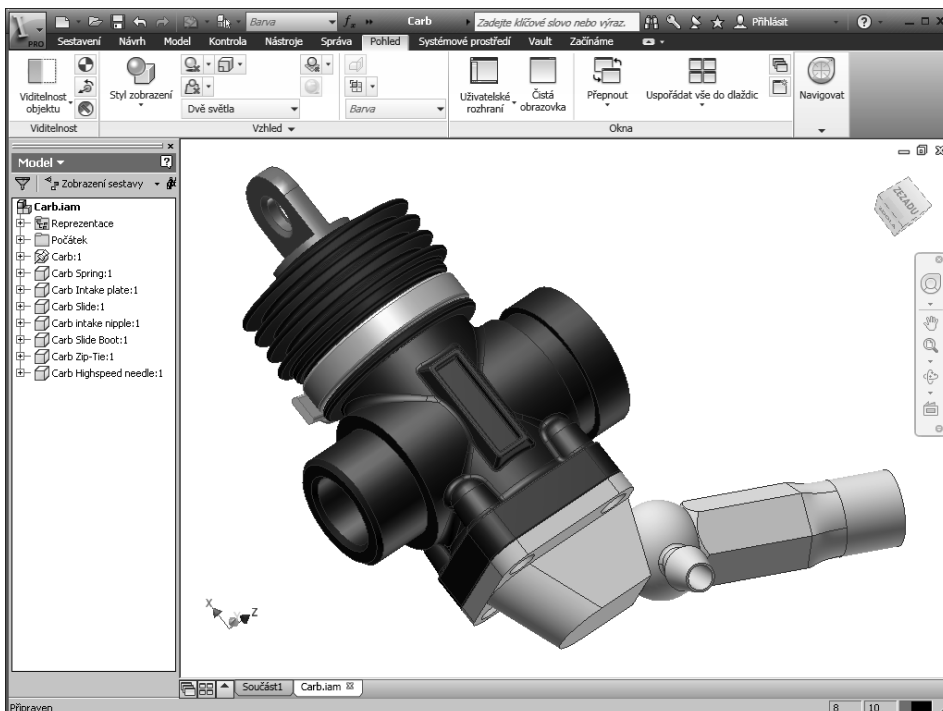
Obslužné prvky Inventoru jsou navrženy tak, aby poskytovaly maximálně intuitivní ovládání všech modelovacích operací. Je nutné si uvědomit, že parametrické a adaptivní modelování je poměrně výraznou změnou vyjadřovacích prostředků a každá maličkost může výrazně znesnadnit osvojení aplikace pro produktivní práci.



Vyzkoušejte:

Spustte Autodesk Inventor a prohlédněte si pracovní prostředí aplikace.

- ◆ **Ikona souřadného systému** charakterizuje aktuální pracovní plochu
- ◆ **Prohlížeč součástí** pro přehledný pohyb v topologii modelu a jeho editaci
- ◆ **Panely nástrojů** určené k aktivaci příkazů
- ◆ **Roletové nabídky** pro aktivaci nastavení a některých příkazů



Obrázek 2.1 Pracovní prostředí Autodesk Inventoru



Prohlížeč součástí je typickým nástrojem používaným ve většině aplikací pro modelování. Je nezbytnou pomůckou využívanou v průběhu tvorby modelu součástí a sestav. Vlastní rozložení pracovní plochy a zobrazené nástroje jsou sestaveny do skupin. Je tak eliminováno zobrazování nepotřebných funkcí pro konkrétní činnost:

- ◆ Modelování součástí a odvozené módy
- ◆ Modelování sestav a odvozené módy
- ◆ Tvorba prezentací
- ◆ Tvorba výkresů

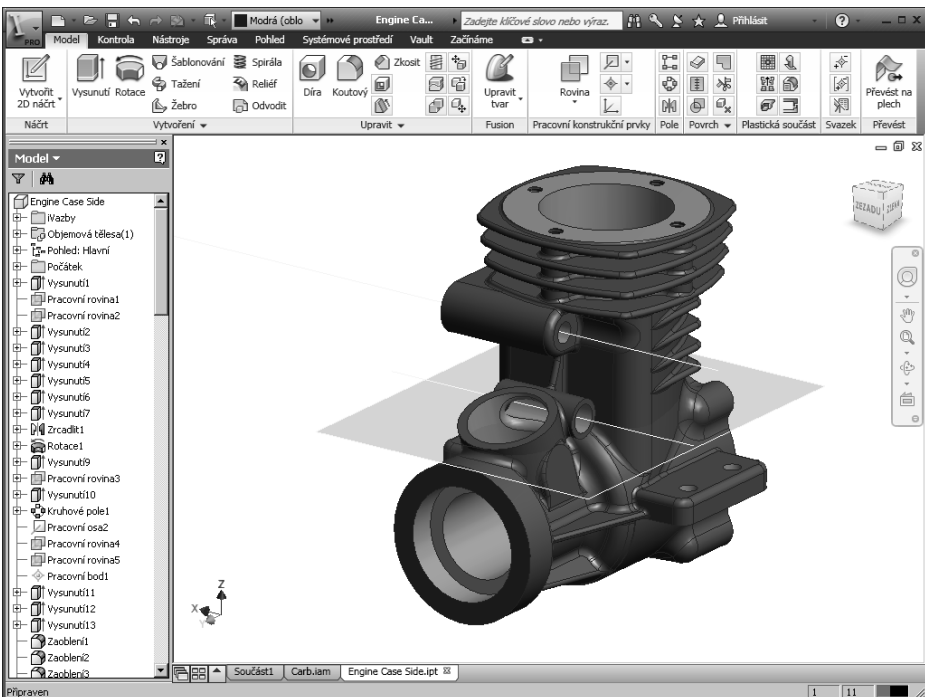
Pracovní plocha pro modelování

Obslužné prvky jsou zobrazeny již při aktivaci příslušného módu aplikace založením nového souboru. Je tak výrazně potlačena existence nepoužívaných nástrojů a tím zjednodušeno pracovní prostředí pouze na využívané nástroje.



Vyzkoušejte:

Otevřete libovolný model součásti z ukázkových příkladů Autodesk Inventoru a prohlédněte si pracovní plochu a aktivované nástroje. Soubory součástí mají příponu ***.ipt**, sestavy ***.iam**.



Obrazek 2.2 Pracovní plocha pro modelování



Všimněte si především změn v panelech nástrojů a v Prohlížeči součástí, který obsahuje popis struktury aktivního modelu, který jste načetli do pracovního prostředí aplikace. Mód modelování pracuje výhradně ve 3D zobrazení a umožňuje vytváření součástí, sestav a prezentací. Autodesk Inventor poskytuje v režimu modelování také modifikované módy pro modelování svarků a plechových součástí.

Pracovní plocha pro tvorbu výkresů

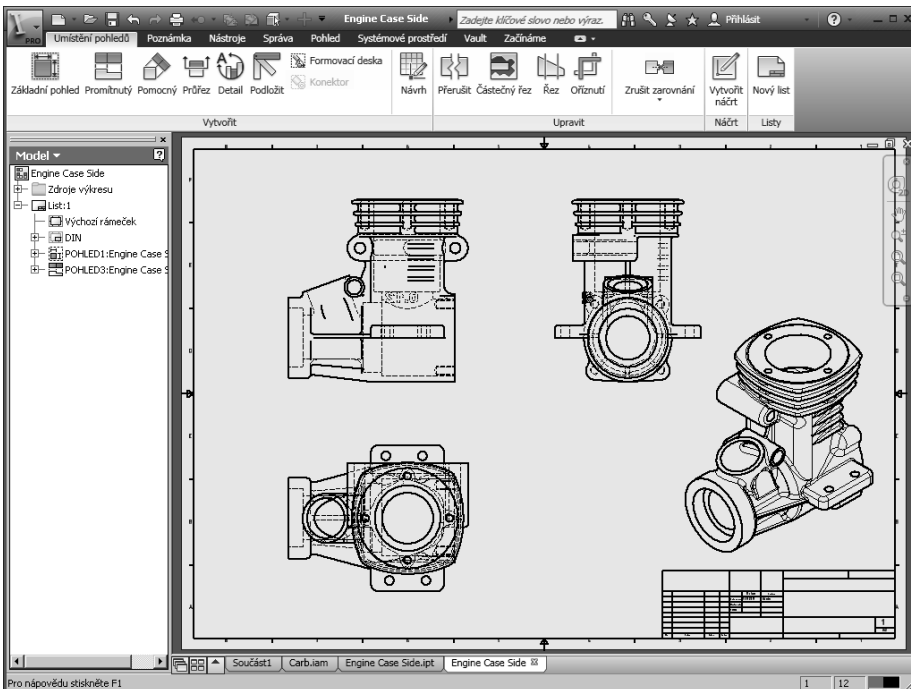
AutoCAD využívá pro tvorbu výkresů speciálního pohledového výkresového prostoru. Také v Autodesk Inventoru je zvolena obdobná koncepce tvorby výkresu. Za výkres považujeme soustavu pohledů a řezů, které jsou asociativně provázány s modelem a jsou z něj prakticky odvozeny pomocí předem definovaného promítání. Veškeré modifikace modelu jsou automaticky zobrazovány ve výkrese.

V Autodesk Inventoru není ovšem již možné v módu modelování vytvářet výkresovou dokumentaci, jako je tomu u AutoCADu. Veškeré nástroje pro tvorbu výkresů jsou dostupné pouze v módu pro tvorbu výkresů.



Vyzkoušejte:

*Otevřete libovolný výkres z ukázkových příkladů Autodesk Inventoru a prohlédněte si pracovní plochu a aktivované nástroje. Soubory součástí mají příponu *.idw.*



Obrázek 2.3 Pracovní plocha pro vytváření výkresů



Nápověda a výukové pomůcky

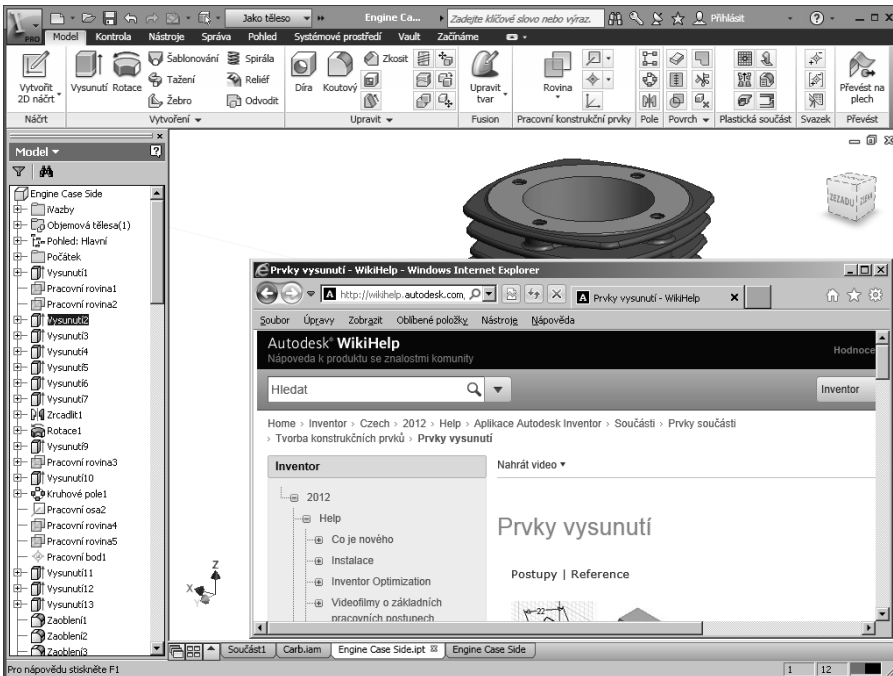
Osvojení nového produktu vyžaduje systematické studium jeho možností. Pryč jsou doby, kdy byla nápověda v aplikacích pouze výčet funkcí, který byl pro osvojení produktu prakticky nepoužitelný. Multimediální aplikace a existence moderních technologií poskytují tvůrcům aplikací rozsáhlé možnosti v integraci pomůcek, které usnadňují jejich obsluhu.

Autodesk Inventor poskytuje svým uživatelům hned několik pomůcek pro zdárné řešení problémů s obsluhou a základními postupy při navrhování nových výrobků:

- ◆ **Nápověda (F1)** obsahující výčet funkcí a jejich charakteristiku pomocí WikiHelp.
- ◆ **Autodesk WikiHelp** poskytující typizované příklady pro využití jednotlivých funkcí.
- ◆ **Design doctor** pro nápovědu při řešení problémů vzniklých nestandardními postupy.

Nespornou výhodou produktů Autodesku je rozsáhlá podpora národních lokalizací jednotlivých produktů. Také nápověda v Autodesk Inventoru není výjimkou a proto je vhodné nápovědě věnovat i u začínajících uživatelů dostatečnou pozornost.

Autodesk poskytuje také celou řadu informací na svých nebo partnerských informačních serverech. V naší republice bude bezesporu nejzajímavější server www.autodesk.com nebo www.autodeskclub.cz. Existuje také celá řada diskusních skupin na téma modelování.



Obrázek 2.4 Pracovní prvky v Autodesk WikiHelp



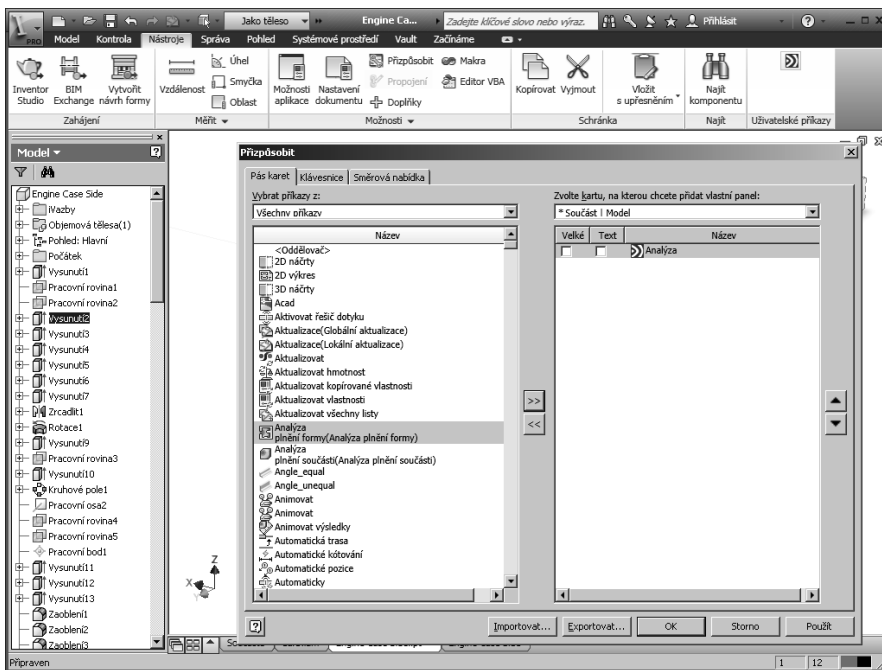
Uživatelské přizpůsobení Autodesk Inventoru

Každý uživatel může mít své specifické požadavky na obsluhu aplikace a její funkce. Autodesk Inventor poskytuje dvě základní možnosti uživatelského přizpůsobení:

- ◆ Obecná nastavení aplikace a modifikace panelů nástrojů
- ◆ Podpora maker a Visual Basic aplikací

Pro začínajícího uživatele připadají v úvahu především změny základního nastavení aplikace prováděné pomocí přehledně uspořádaného dialogového panelu **Nástroje** → **Přizpůsobit**. Naleznete zde nastavení pracovního prostředí, nastavení systémová a nastavení, která modifikují vlastnosti Autodesk Inventoru z hlediska přístupu k systémovým prostředkům. Úpravy jednotlivých skupin nástrojů lze realizovat podle níže uvedeného obrázku:

- ◆ Aktivujte dialogový panel **Nástroje** → **Přizpůsobit**.
- ◆ Zvolte seznam všech dostupných příkazů.
- ◆ Šipkou přemístěte příslušný příkaz na zvolený pás karet příkazů.



Obrázek 2.5 Modifikace pásu karet nástrojů

Pro pokročilejší uživatele je určena podpora maker a samostatně vytvořených aplikací ve Visual Basicu. Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) nabízí programovací

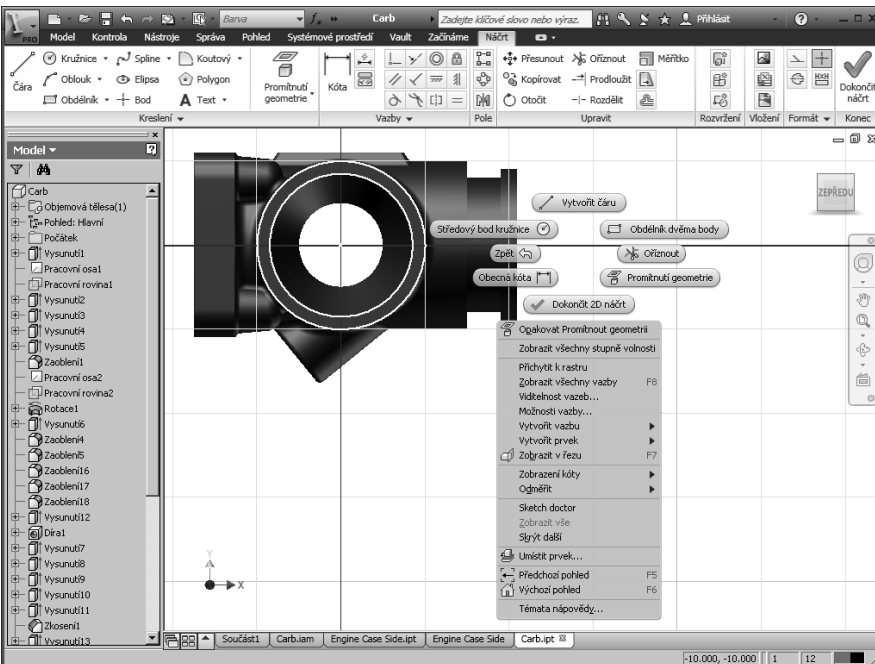


prostředí pro Autodesk Inventor. VBA můžete použít pro přístup k rozhraní Autodesk Inventoru a vytvořit tak programy, které budou například automaticky opakovat požadované úkony. Detailní popis integrace maker a aplikací do Autodesk Inventoru najdete v samostatné sekci Autodesk Inventor API Programming Help. Naleznete zde také detailní popis tvorby add-in aplikací ve formě *.exe nebo *.dll programů.

Obsluha aplikace pomocí Marking Menu (Směrové nabídky)

Marking Menu umožňují efektivní obsluhu aplikace v oblasti obsluhy základních funkcí. Autodesk si vzal inspiraci z produktové řady Alias a využil k ovládání Autodesk Inventoru zcela novou metodu. V případě, že je stisknuto při standardní konfiguraci pravé tlačítko myši, je zobrazena nabídka příkazů, mezi kterými lze přecházet plynulou rotací výběrového pole ve směru, případně proti směru hodinových ručiček. Jednotlivé příkazy jsou aktivovány stiskem levého tlačítka myši.

Mód Marking Menu je závislý na pravě prováděné operaci. Jiný obsah Marking Menu je zobrazen v průběhu tvorby náčrtu a jiný například v módu modelování součásti pomocí základních konstrukčních operací. Bleskovou aktivací příkazu oceníme bezesporu při často se opakujících operacích, například při srážení a zaoblování hran. Nemalé urychlení práce spočívá také v minimalizaci pohybu myši po obrazovce, který je jinak nutný pro aktivaci příkazů z klasických nabídek.



Obrázek 2.6 Obsluha aplikace pomocí Marking Menu (Směrové nabídky)

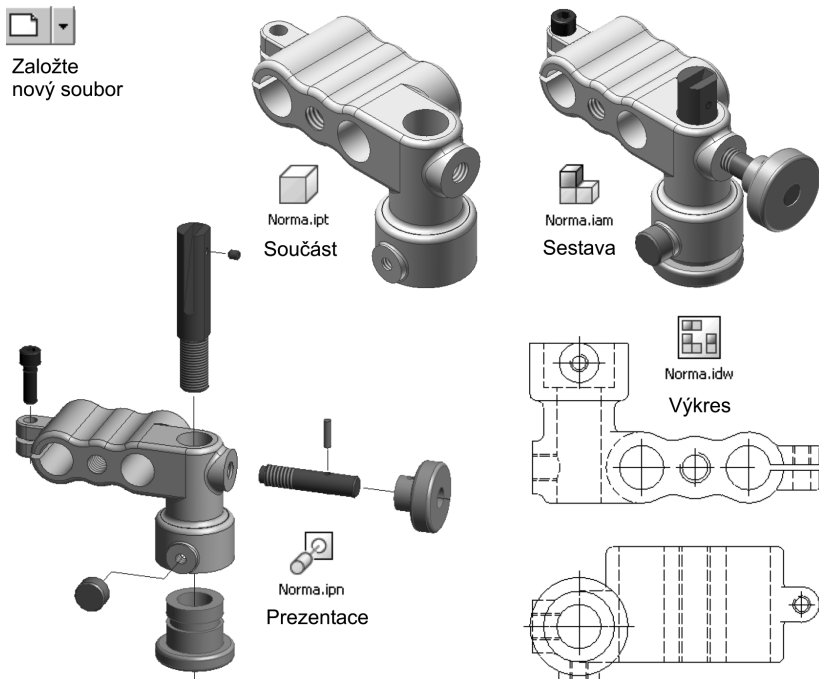


Vytvoření souboru

Jak jsme již uvedli, Autodesk Inventor má rozvrženy jednotlivé moduly do samostatných celků, řešících problematiku modelování a tvorbu výkresové dokumentace. Jedná se o tradiční podobu běžnou v moderních aplikacích pro modelování. Uspadňuje se tak nejen obsluha, ale také licencování produktu při rozsáhlejším množství modulů. Autodesk Inventor poskytuje uživatelům tyto základní moduly aktivované v průběhu zakládání nového souboru:

- ◆ **Modelování součástí** umožňuje vytvářet součásti pomocí objemů a ploch (*.ipt)
- ◆ **Modelování součástí z plechu** je speciálně vytvořený modul pro plechy (*.ipt)
- ◆ **Modelování sestav** využíváme pro tvorbu sestav nebo adaptivních součástí (*.iam)
- ◆ **Modelování svarků** je speciálně vytvořený modul pro tvorbu svařovaných sestav (*.iam)
- ◆ **Tvorba prezentace** se využívá pro animaci prezentací a montážních postupů (*.ipn)
- ◆ **Výkresová dokumentace** vytváří ze všech modelů pohledy, řezy a výkresy (*.idw)

Aktivace Autodesk Inventoru v jednotlivých módech



Poznámka: Při modelování je také možné využít modifikované módy součástí **Plech** a **Svarek**.

Obrázek 2.7 Založení nového souboru v jednotlivých modulech



Uložení souboru

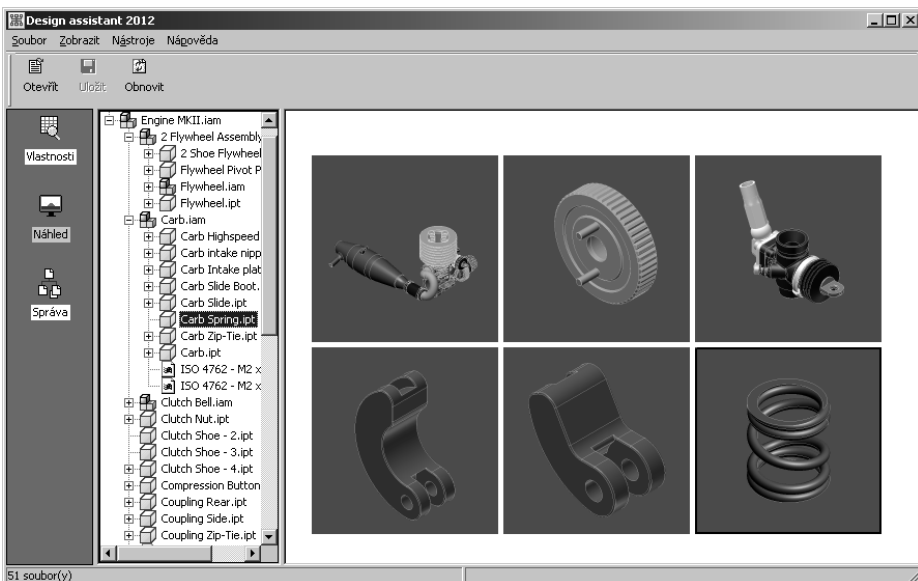
Soubory v Autodesk Inventoru jsou ukládány tradičním způsobem do předem založené složky projektu. Je nutné si uvědomit, že výsledná sestava není vytvořena jako jediný soubor, ale jako celá soustava souborů odpovídajících jednotlivým součástem v sestavě. Jedinou výjimkou jsou opakující se díly, které přirozeně tvoří pro každý specifický díl pouze jediný soubor. Při přenosu dat tedy musíme vždy dbát na přenos všech požadovaných souborů. Typickou ukázkou je předávání návrhů prostřednictvím intranetu nebo Internetu.

Data pro dálkové přenosy vždy maximálně komprimujte. Ideální je využít archivačních programů ukládajících do archivu záznam pro opravu dat (recovery record). Zde může být výbornou pomůckou například archivační program ZIP nebo integrovaná funkce Autodesk Inventoru Pack and Go... Soubory jsou ukládány podle konkrétního modulu, ve kterém byly vytvořeny, s příponou odpovídající výše uvedenému popisu.

Inventor Design Assistant

Design Assistant je nástroj, který pomáhá nalézt, sledovat a spravovat soubory Autodesk Inventoru a souvisejících textových a tabulkových procesorů nebo textových editorů. Lze hledat podle vztahů mezi soubory, vytvořit zprávy o souborech a pracovat se spojeními mezi soubory Autodesk Inventoru.

Okno Design Assistant zobrazíte pomocí Průzkumníka Microsoft Windows. Aplikace je řešena jako přehledný prohlížeč zobrazující detailní náhledy na vytvořené součásti.



Obrázek 2.8 Design Assistant pro snadnou správu součástí a sestav



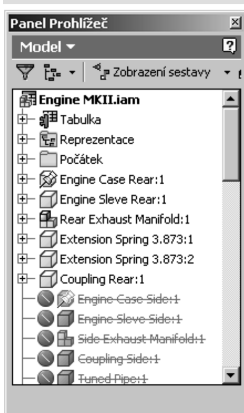
Prohlížeč součástí

Při tvorbě součástí lze sledovat určité návaznosti jednotlivých fází řešení nového návrhu. Model může být vytvořen řadou postupů, ale tyto lze zobecnit do několika základních bodů, které jej výstižně charakterizují:

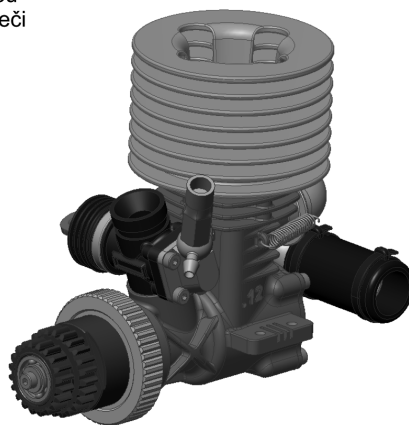
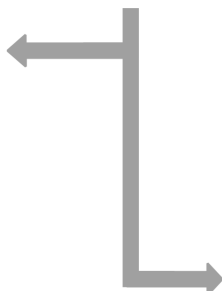
- ◆ Pohledem na součást rozhodneme, jak může být rozdělena na jednoduché tvary.
- ◆ Určíme charakteristický prvek, který použijeme jako základní.
- ◆ Ujasníme si, v jakém pořadí budeme vytvářet další konstrukční prvky.
- ◆ Určíme metody, které použijeme pro tvorbu konstrukčních prvků.
- ◆ Během vytváření konstrukčních prvků si je prohlédneme a korigujeme představu o tom, jaký budou mít prvky vzájemný vztah.
- ◆ Jakmile si ujasníme strategii, můžete zrevidovat konstrukční prvky a dokončit model.

Prvotní strategii tvorby modelu vyjadřujeme v návrhu jednoduchými modulárními pojmy. Jakmile se objeví změny, které jsou v návrhářské činnosti obvyklé, můžete model snadno upravit pomocí parametrických a adaptivních schopností Autodesk Inventoru. Topologie vznikajícího modelu je detailně zobrazena objektovým přehledem v **Prohlížeči součástí**.

Prohlížeč součástí



Veškeré součásti jsou zobrazeny v Prohlížeči součástí jako ikony



Základní funkce Prohlížeče součástí řízené pravým tlačítkem myši:

1. Úprava viditelnosti součástí
2. Editace prvků součástí
3. Tvorba poznámek
4. Řízení adaptivity



Soubor **Engine MKII.iam** naleznete ve vzorových příkladech Autodesk Inventoru.

Poznámka: Funkce Prohlížeče součástí jsou závislé na módu Součást, Sestava, Výkres, Presentace.

Obrázek 2.9 Prohlížeč součástí



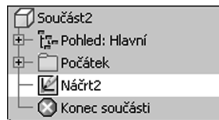
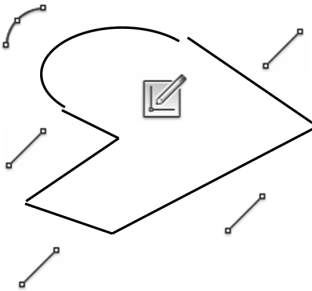
Prohlížeč součástí je ve své podstatě grafickou prezentací všech konstrukčních prvků, které obsahuje součást, sestavu, prezentaci nebo výkresové pohledy. Všechny prvky jsou zde zobrazovány v přesném pořadí, jak jsou vytvářeny v průběhu tvorby modelu. Koncepte prostředí Prohlížeče součástí vychází z objektového popisu hierarchie (stromu) popisujícího prvky modelu a jejich vzájemné vazby.

V prohlížeči součástí se můžeme prakticky vrátit pomocí nástrojů až na úroveň náčrtů, zrevidovat geometrii modelu, upravit parametrické kóty a geometrické vazby. Veškeré změny modelu jsou programem zaznamenávány a po aktualizaci provedeny včetně úpravy výkresové dokumentace. Prohlížeč součástí tedy zachycuje veškeré změny v topologii modelu a je často jedinou pomůckou, jak se ve vytvořeném modelu „vyznat“.

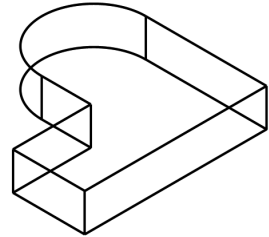
Pokud model dostaneme v kooperaci, je prohlížeč prakticky jediným zdrojem informací o všech konstrukčních prvcích a jejich vazbách použitých konstruktérem při navrhování.

Jak funguje Prohlížeč součástí?

1 Hrubý náčrt

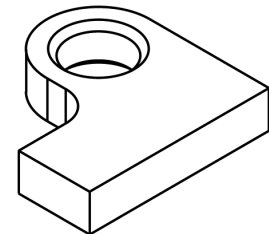
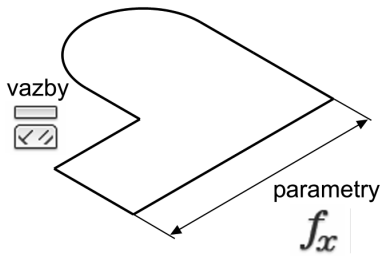
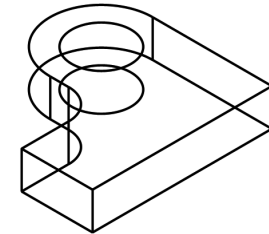
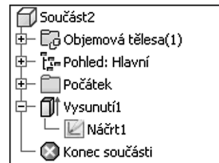


3 Parametrický model



2 Přesný náčrt formují:

- parametrické kóty
- geometrické vazby



Obrázek 2.10 Funkce Prohlížeče součástí



Z obrázku je zřejmá přímá vazba modelovaných prvků a aktualizace topologie modelu. V Prohlížeči součástí mohou být zobrazeny také pomocné objekty, které byly využity při modelování. Vzhled Prohlížeče součástí je závislý na aktivovaném módu Autodesk Inventoru:

- ◆ Modelování součástí a součástí z plechu
- ◆ Modelování sestav a svařovaných sestav
- ◆ Tvorba prezentace
- ◆ Tvorba výkresové dokumentace

Pochopení základů práce s Prohlížečem součástí je v aplikacích pro navrhování výrobků pomocí parametrického a adaptivního modelování zásadní problém.

Prohlížeč součástí v módu Modelování součástí

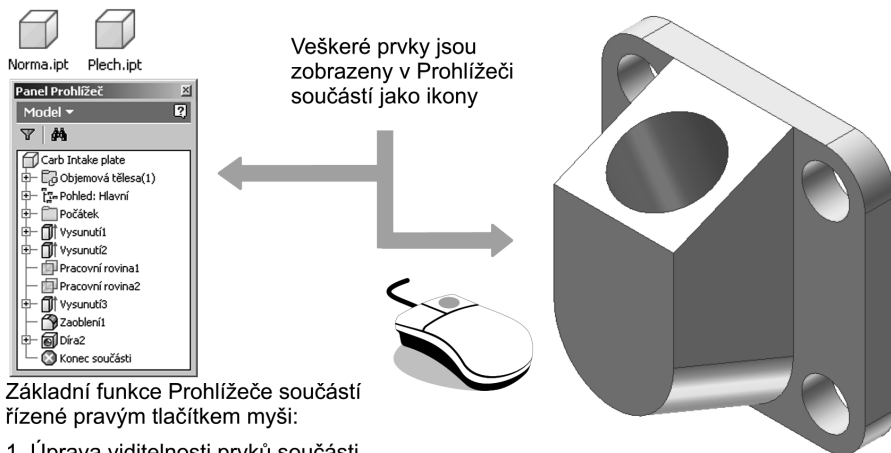
Je základní podobou prohlížeče, která se aktivuje při založení nové samostatné součásti nebo součásti z plechu. Veškeré objekty, jako jsou například prvky modelů, roviny, osy, náčrty, jsou prezentovány ikonou. Pokud je topologie modelu složitější, jsou jednotlivé celky uloženy v samostatných větvích. Detailní rozložení objektů je pak možné získat poklepnutím na rozbalovací ikoně „plus“.



Vyzkoušejte:

Otevřete v Autodesk Inventoru soubor **Carb Intake plate.ipt**, který je uložen v adresáři ukázkové sestavy spalovacího motoru. Prohlédněte si položky v Prohlížeči součástí.

Prohlížeč součástí v módu modelování součástí



Základní funkce Prohlížeče součástí řízené pravým tlačítkem myši:

1. Úprava viditelnosti prvků součásti
2. Editace prvků součásti
3. Tvorba poznámek
4. Řízení adaptivity
5. Modifikace v závislosti na typu prvku



Soubor **Carb Intake plate.ipt** naleznete ve vzorových příkladech Autodesk Inventoru.

Obrázek 2.11 Prohlížeč v módu modelování součástí



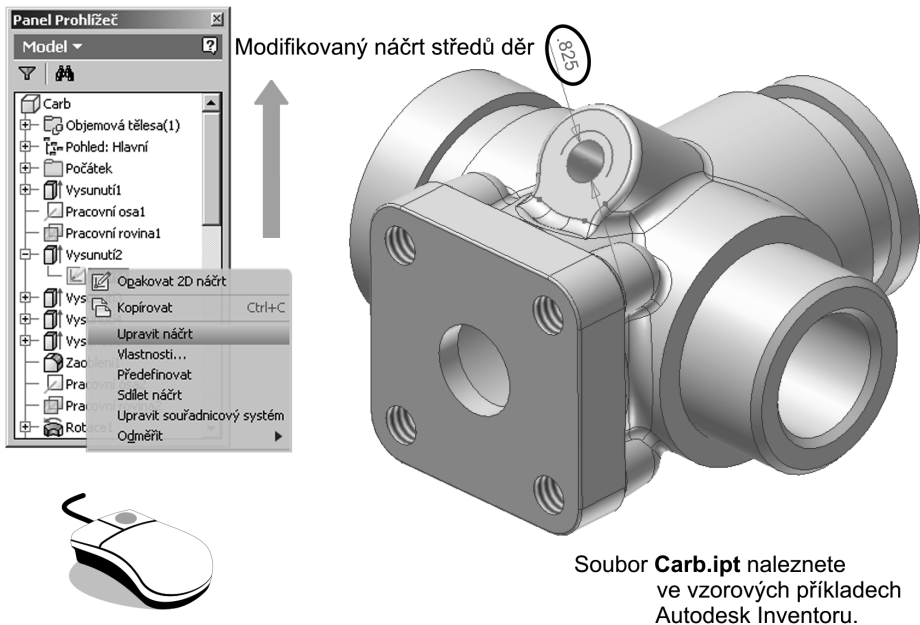
Prohlížeč součástí není ovšem jen přehledovým nástrojem, ale umožňuje detailní studii topologie vznikajícího modelu a aktivaci celé řady užitečných funkcí. Jejich aktivace se provádí pomocí místní nabídky zobrazené pravým tlačítkem myši.



Vyzkoušejte:

Otevřete v Autodesku Inventoru soubor **Carb.ipt**, který je uložen v adresáři ukázkové sestavy spalovacího motoru. Vyzkoušejte funkci pravého tlačítka myši a místní nabídky.

Použití prohlížeče součástí pro modelování součástí



Poznámka: Každý prvek součásti lze upravit v Prohlížeči součástí pomocí pravého tlačítka myši.

Obrázek 2.12 Použití prohlížeče pro úpravu náčrtu

Nelze obecně říct, že jsou funkce dostupné v prohlížeči určeny přímo pro tvorbu geometrie součástí a sestav, ale slouží především pro:

- ◆ Modifikace existujících konstrukčních prvků a náčrtů
- ◆ Řízení viditelnosti jednotlivých objektů
- ◆ Řízení adaptivních modifikací a sdílených náčrtů
- ◆ Tvorbu poznámek pomocí Konstruktérského zápisníku

V prohlížeči mohou také existovat objekty, které jsou pouze připraveny pro vytvoření. Jedná se o soustavu tří globálních rovin, tři globální osy a globální počátek. Tyto objekty jsou součástí všech modelů a mohou být využity až po jejich vytvoření.



Prohlížeč součástí v módu Modelování sestav

Sestava je základním konstrukčním prvkem většiny výrobků. Proto zvládnutí práce se sestavami pomocí prohlížeče znamená výrazně urychlit tvorbu návrhu nového výrobku. Pokud je aktivován Autodesk Inventor v módu modelování sestav, můžete využít celé řady postupů vycházejících z parametrického nebo adaptivního modelování:

- ◆ Sestavení dílů vytvořených v módu modelování sestav
- ◆ Vkládání normalizovaných součástí z databáze podle mezinárodních norem
- ◆ Návrhářské modelování součástí v sestavách pomocí adaptivity

Jednotlivé součásti v prohlížeči jsou opět prezentovány v topologii sestavy jako ikony. Neobsahují ovšem aktivní topologii vlastních modelů součástí. Ta je zobrazena až dvojitým klepnutím na ikoně požadované součásti. Aktivní součást v sestavě poznáte velmi jednoduše veškeré okolní součásti jsou výrazně zpřůhledněny.



Vyzkoušejte:

Otevřete v Autodesk Inventoru sestavu **Carb.iam**, která je uložena v adresáři ukázkové sestavy spalovacího motoru. Prostudujte prohlížeč a jednotlivé zobrazené součásti a normálie.

Prohlížeč součástí v módu modelování sestav

Norma.iam Svarenc.iam

Panel Prohlížeč

Model

Zobrazení sestavy:

- Carb.iam
 - Reprezentace
 - Počátek
 - Carb:1
 - Carb Spring:1
 - Carb Intake plate:1
 - Carb Slide:1
 - Carb intake nipple:1
 - Carb Slide Boot:1
 - Carb Zip-Tie:1
 - Carb Highspeed needle:1
 - ISO 4762 M2 x 5:5

Umístit z Obsahového centra

Normalizované součásti vkládáme z Obsahového centra

Soubor **Carb.iam** naleznete ve vzorových příkladech Autodesk Inventoru.

Základní funkce Prohlížeče součástí řízené pravým tlačítkem myši:

1. Správa součástí tvořících sestavu
2. Tvorba a editace vazeb součástí



Obrázek 2.13 Modelování sestav a umístění objektů z obsahového centra

Každá jedinečná součást, to znamená bez opakování, je prezentována fyzicky samostatným souborem uloženým v pracovní složce projektu nebo v připojených složkách. Pokud tento soubor fyzicky neexistuje, není v pracovní ploše zobrazen a program při načítání sestavy ohlásí nedostupnost součásti chybovým hlášením.



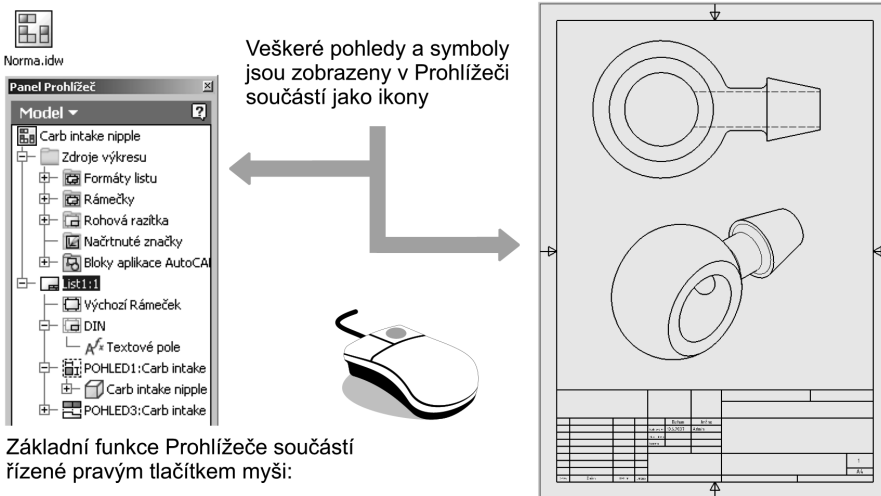
Jednotlivé součásti mohou být v prohlížeči aktivovány, případně podle potřeby vypnuty. Je tak možné detailně editovat v sestavě přímo určitou sestavu nebo součást, která je při aktivovaných součástech problematicky dostupná a nedostačuje ani separátní zviditelnění pomocí rozdílné průhlednosti okolních součástí.

Modifikovanou sestavou prohlížeče je mód modelování svařovaných sestav. Poskytuje navíc technologicky orientované nástroje pro přípravu svařových ploch a vlastní svařování daným typem svaru. Navíc Autodesk Inventor umožňuje jednostrannou konverzi existující sestavy na svařovanou konstrukci.

Prohlížeč součástí v módu Tvorba výkresů

Výkresová dokumentace je i v době 3D modelování nepostradatelným výstupem pro většinu současných technologických operací a výrobu. Existuje relativně malé množství oblastí, kde nemusí být výstupem z modelovacího systému výkresová dokumentace. Ta je samozřejmě vytvořena s velkým podílem automatického generování pohledů a řezů a především je úzce asociativně svázána se zdrojovým modelem součásti nebo sestavy.

Prohlížeč součástí v módu tvorby výkresů



Základní funkce Prohlížeče součástí řízené pravým tlačítkem myši:

1. Vytváření nových výkresových listů
2. Správa pohledů a řezů
3. Modifikace pohledů a řezů



Soubor **Carb intake nipple.iam** naleznete ve vzorových příkladech Autodesk Inventoru.

Obrázek 2.14 Tvorba výkresů

Prohlížeč součástí v módu tvorby výkresové dokumentace zastupuje funkci určitého organizátora celé výkresové dokumentace. Jednotlivé objekty zastupují listy, pohledy a normalizované prvky výkresů v podobě razítek a formátů. Vlastní kóty a značky, pokud nejsou dokresleny do výkresu jako načrtnuté prvky, se v prohlížeči nezobrazují. Autodesk Inventor umožňuje ve svých novějších verzích vytvářet přímo formát *.idw, případně formát AutoCADu *.dwg.



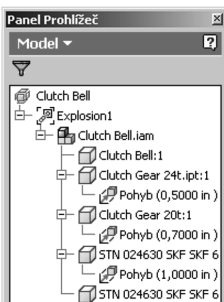
Prohlížeč součástí v módu Presentace

Prostorové modelování poskytuje nejen možnost vytvářet sestavení, ale také pomocí animačních techniky nové výrobky prezentovat pro potřeby obchodní, reklamní nebo montáž. Animace je relativně jednoduchý postup vytváření sekvence obrázků. Objekty jsou přemísťovány po předem definovaných drahách.

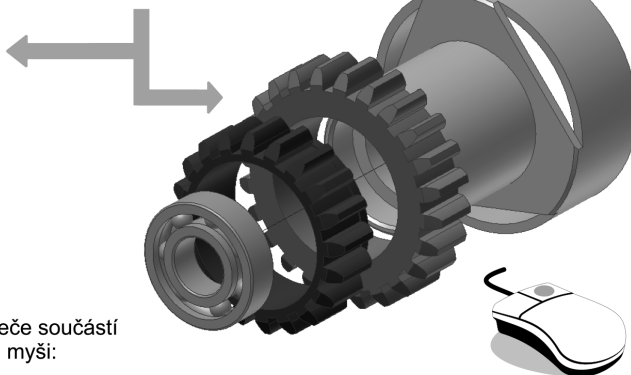
Prohlížeč součástí v módu montážní prezentace



Norma.ipn



Veškeré součásti a pohyby jsou zobrazeny v Prohlížeči součástí jako ikony



Základní funkce Prohlížeče součástí řízené pravým tlačítkem myši:

1. Tvorba prezentačních pohledů
2. Nastavení rozpadu sestavy
3. Tvorba animace montáže sestavy



Soubor **Clutch Bell.iam** naleznete ve vzorových příkladech Autodesk Inventoru.

Obrázek 2.15 Presentace rozpadu sestavy na součásti

Prohlížeč součástí je v módu animace především nástrojem pro kontrolu a řízení pohybu jednotlivých objektů v prezentaci nebo nástrojem pro řízení automatického rozpadu sestavy.

Zásady práce s Prohlížečem součástí

Je zřejmé, že Prohlížeč součástí je komplexním nástrojem pro práci v parametrickém nebo adaptivním modeláři. Při jeho používání je nutné mít vždy na paměti několik zásad a ty dodržovat při jeho použití:

- ◆ Dodržovat přehledné uspořádání prvků ve skupinách.
- ◆ Při modelování součástí maximálně využívat konstrukčních příkazů (pole, kopie).
- ◆ Součásti v sestavách, pokud to je možné, sestavovat podle skutečného postupu montáže.
- ◆ Strukturovat složitější sestavy do podsestav.
- ◆ Vytvořit jednotná pravidla pro komentáře a metodické popisky.



Modelování s sebou přináší i určitá úskalí. Topologie modelu může u složitějších součástí obsahovat stovky prvků a u sestav stovky jedinečných dílů. Je tedy jasné, že perfektně zvládnutá metodika a příprava zakázek znamená bezesporu základní požadavek na její úspěch. V případě mnohdy mezinárodní spolupráce je tento požadavek ještě stěžejnější.

V praxi jsou zcela běžné případy, kdy je nutné charakterizovat velmi detailně nejen pravidla pro modelování sestav, ale také jednotlivých dílů.

Konstruktérský zápisník

Je nástrojem, který umožňuje v průběhu tvorby projektu detailní popis vybraných objektů v prohlížeči. Je založen na poznámkovém bloku, který umožňuje přiřazení poznámek s 2D nebo 3D náhledy ke konkrétním objektům. Konstruktérský zápisník může využít nejen sám tvůrce modelu, ale může výrazně usnadnit správně koncipovanými poznámkami orientaci v modelu.



Vyzkoušejte:

Otevřete v Autodesk Inventoru součást **Engine Case Side.ipt**, která je uložena v adresáři ukázkové sestavy spalovacího motoru. Vytvořte poznámky k vámi zvoleným objektům.

Tvorba poznámek v Konstruktérském zápisníku

Panel Prohlížeč

Model

Všechny prvky lze v Autodesk Inventoru popsat poznámkou

Admin 10. června 2007
Modifikovatelný rozměr je možné změnit přímou editací pomocí Prohlížeče součásti.

Panel zápisníku

Komentář

Pohled

Šipka

← Předchozí poznámka

→ Další poznámka

Soubor **Engine Case Side.ipt** naleznete ve vzorových příkladech Autodesk Inventoru.

Poznámka: Poznámky k prvkům se využívají především u složitých modelů součástí a sestav.

Obrázek 2.16 Konstruktérský zápisník

Objekty v prohlížeči vybírejte kurzorem myši. Aktivace zápisníku se ukrývá pod názvem **Vytvořit poznámku**. Zápisník také obsahuje základní nástroje pro formátování textu a tvorbu jednoduchých kreseb. Těchto možností můžete využít především u obsáhlejších problémů.



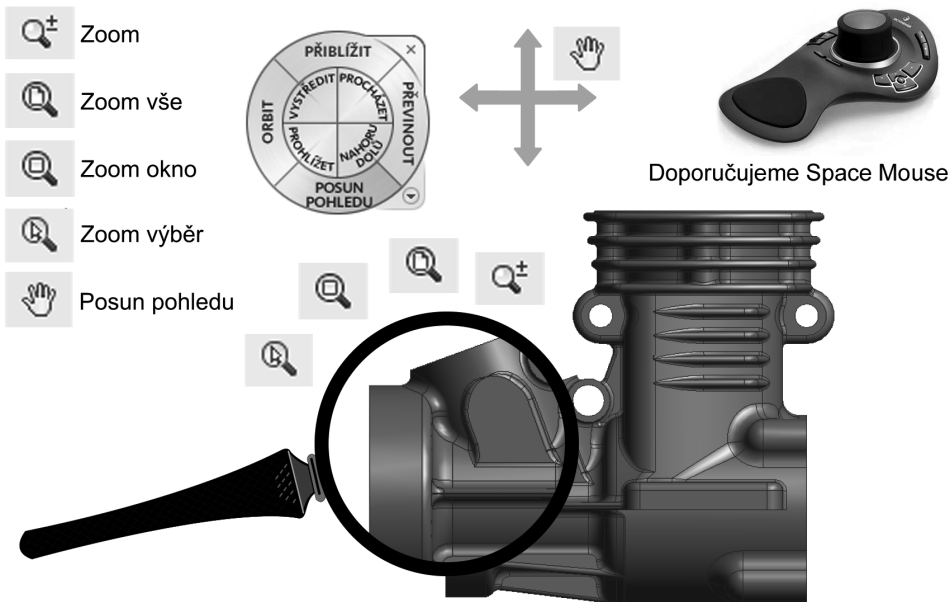
Nástroje pro řízení pohledu

Umožňují přehledný pohyb v prostoru a po výkrese, detailní prohlížení, regeneraci a přesklopení. Patří mezi nejpoužívanější pomůcky u řady grafických programů. Všechny tyto funkce si kladou za cíl jednoduchý pohyb a orientaci v průběhu práce a jsou často přímo urychlovány grafickým procesorem prostřednictvím ovladače grafické karty (akcelerace). Existují i zcela netradiční pomůcky pro řízení pohledu. Jedná se především o různé typy speciálních zařízení pro pohyb jak v rovině, tak v prostoru. Osobně považuji za jeden z nejlepších výrobků z této oblasti **3D mouse** (www.3dconnexion.com). Aplikací těchto pomůcek můžete výrazně urychlit rutinní funkce ZOOM a Posun.

ZOOM a posun pohledu

Můžeme přirovnat k zvětšovacímu sklu, pod kterým si prohlížíme dříve nečitelný obraz. Tuto funkci nazýváme zkráceně **ZOOM** a umožňuje úpravu zvětšení aktuálního pohledu. V Autodesk Inventoru lze využít několika možností pro úpravu stupně zvětšení. Většinu funkcí lze vyvolat transparentně, tedy v průběhu práce s jiným příkazem (například při modelování zaoblení). S velikostí monitoru a vyšším rozlišením se četnost použití funkce ZOOM snižuje. Pokud vyžadujete pouze posunutí pohledu bez úpravy zvětšení, můžete využít příkaz **Posun**.

Zoom a posun pohledu



Tip: Základní funkce pro Zoom a Posun pohledu lze přepínat pravým tlačítkem myši.

Obrázek 2.17 Funkce ZOOM a Posun



Autodesk Inventor poskytuje čtyři základní techniky pro zvětšování objektů a jeden posun:

- ◆ **ZOOM** umožňuje souvislou úpravu zvětšení objektů.
- ◆ **ZOOM Vše** zobrazuje na ploše všechny existující objekty.
- ◆ **ZOOM Okno** modifikuje výřez pohledu pomocí okna.
- ◆ **ZOOM Výběr** zobrazuje maximálně zvětšenou vybranou oblast (plochu).

Rychlost funkcí pro řízení obrazovky je závislá na typu zobrazení, množství objektů a výkonu zobrazovacího systému. Vzhledem k dynamickému výpočtu scény v závislosti na počtu viditelných objektů je možné detailním zobrazením tyto funkce urychlit.

Nástroje pro úpravu prostorového pohledu

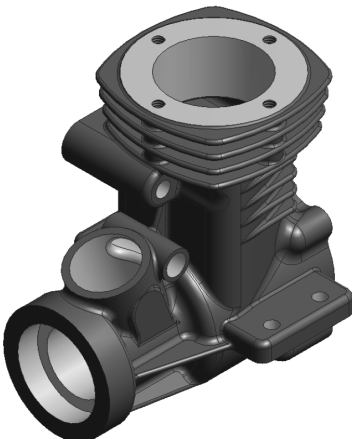
Výrazný posun ve vývoji grafických akceleratorů s podporou funkcí **OpenGL** v posledních letech umožňuje zobrazování prostorových objektů v kvalitě blížící se klasické vizualizaci. Výkonné grafické akcelerátory poskytují 3D aplikacím nejen dostatečný zobrazovací výkon, ale také precizně zobrazované materiály.

Autodesk Inventor poskytuje pro řízení prostorového pohledu tři základní skupiny funkcí. Všechny lze aktivovat pomocí příslušných ikon v panelech nástrojů:

- ◆ Řízení typu zobrazení součástí pomocí ortografické a perspektivní kamery
- ◆ Řízení prostorového pohledu pomocí 3D Orbitu (funkce Otočit)
- ◆ Aktualizace pohledu podle vybrané roviny

Typ prostorového zobrazování součástí

 Ortografická kamera



 Perspektivní kamera



Obrázek 2.18 Typ prostorového zobrazování součástí



Modelované součásti jsou dynamicky zobrazovány pomocí hardwaru akcelerace již v průběhu samotného modelování. Prakticky máme interaktivní náhled na součást, kterou je možné zobrazit ve dvou základních typech názorného zobrazení:

- ◆ **Ortografická kamera**, u které nedochází ke zkreslení geometrie vlivem vzdálenosti
- ◆ **Perspektivní kamera**, která modifikuje pohled se vzdáleností

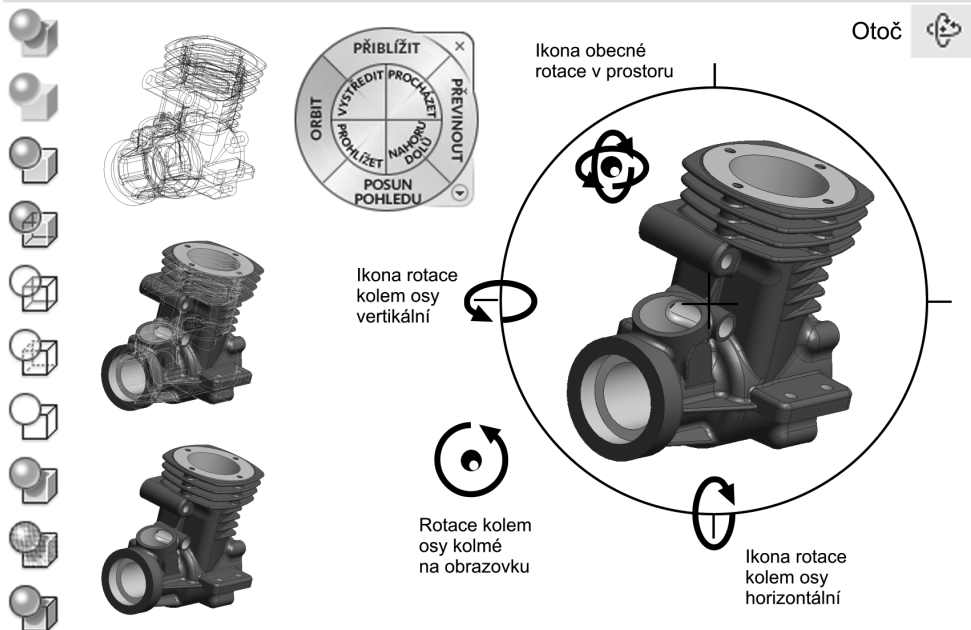
Pro praktickou práci je vhodná především Ortografická kamera. Použití perspektivy může způsobit nepřehlednost a někdy obtížnou orientaci v modelu. Používá se převážně pro názorné zobrazení a potřeby prezentace.

Z podstaty vektorové grafiky je zřejmé, že součásti jsou v průběhu modelování vytvářeny skupinami vektorových čar a křivek. Tento princip je přirozeně zachován také v Autodesk Inventoru. Umožňuje precizní přepočty modifikované geometrie součástí a je prakticky jediným vhodným typem zobrazování objektů v CAD systémech, ať 2D nebo 3D.

Takto vzniklá drátová konstrukce je v podstatě základem pro definici ploch, které jsou proloženy mezi jednotlivými dráty. Modely mohou být zobrazovány podle potřeby jako:

- ◆ **Drátové konstrukce**, vhodné především pro vlastní modelování
- ◆ **Stínované konstrukce s vypnutými dráty**, vhodné pro přehledný pohled na model
- ◆ **Stínované konstrukce se zapnutými dráty**, vhodné pro editaci objektů

Obecná rotace v prostoru



Obrázek 2.19 Obecná rotace pomocí 3D Orbitu



Vlastní typ zobrazení a jeho využívání při modelování je v praxi spíše záležitostí zvyku jednotlivých uživatelů. Berte prosím tyto výše uvedené body spíše jako doporučení, nikoliv jako pravidlo, které je nutné dodržovat.

Pro pohyb v prostoru využívá Autodesk Inventor tradičního nástroje **3D Orbit**. Jedná se o opravdovou klasiku, která byla navržena původně pro vizualizační a animační program z vývojové dílny Autodesku 3D Studio MAX a 3D Studio VIZ. Později byl tento nástroj integrován prakticky do všech aplikací této firmy. Tento příkaz byl podle našeho názoru trochu nešťastně v Autodesk Inventoru přejmenován na **Otoč**.

Obsluha 3D Orbitu je zřejmá z obrázku. V pracovní ploše se nachází kružnice, která definuje oblasti, které modifikují pohyb kamery kolem modelu. Obsluha vyžaduje trochu cviku, ale jejím zvládnutím získáte prakticky absolutní vládu nad pohledem na model.



Vyzkoušejte:

Otevřete v Autodesku Inventoru součást **Engine Case Side.ipt**, která je uložena v adresáři ukázkové sestavy spalovacího motoru. Vyzkoušejte příkaz **Otoč**.

Autodesku se díky optimalizaci uživatelského prostředí podařilo do jediného nástroje integrovat také další funkce, které jsou aktivovány často celou řadou nástrojů. Stiskem mezerníku v průběhu příkazu **Otoč** je aktivován mód přednastavených pravoúhlých a izometrických pohledů na model. Můžete tak velmi jednoduše aktivovat pohled do potřebné promítací roviny nebo názorné izometrické zobrazení výběrem příslušné šipky, která definuje směr pohledu na součást.

Přednastavené pohledy



Přednastavené pohledy vybírejte klepnutím myši na šípkách

Obrázek 2.20 Přednastavené pohledy



Přestože se pohybujeme neustále v prostorovém zobrazení, musíme se často vrátit při modelování do roviny a eliminovat třetí osu. Jedná se především o kreslení náčrtů a různých prvků, které jsou tvořeny ve své podstatě výchozí 2D geometrií. Tyto prvky prakticky v modelování součástí převažují. Práce například s obecně rozloženou křivkou v prostoru je opravdu velmi náročná a z tohoto důvodu se snažíme řešení prostorového problému zjednodušit na jednodušší, rovinné prvky.

Tyto prvky nazýváme v parametrickém a adaptivním modelování náčrty. Jedná se o geometrii, která je nakreslena v počátku svého zrodu bez výrazných požadavků na přesnost. Snažíme se dodržet pouze přibližný vzhled geometrie. Tyto náčrty jsou dále formovány, jak se dozvíme v následující kapitole, pomocí rozměrových parametrů a geometrických vazeb.

Pro nezakreslený pohled do rovin náčrtů a obecných rovin na součástech poskytuje Autodesk Inventor funkci **Podívat na**. Tato funkce umožňuje normálový (pravoúhlý) pohled do zvolené roviny. Všechny zobrazené objekty jsou zobrazeny přirozeně.



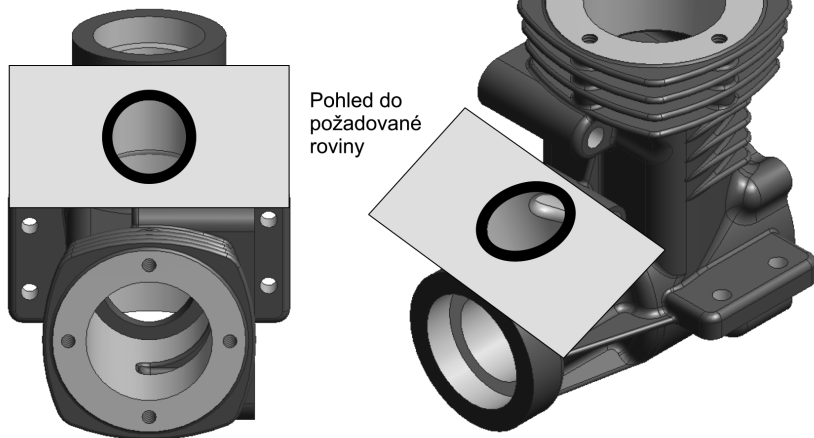
Vyzkoušejte:

Otevřete v Autodesku Inventoru součást **Engine Case Side.ipt**, která je uložena v adresáři ukázkové sestavy spalovacího motoru. Vyzkoušejte funkci **Podívat se na**.

Pohled do požadované roviny



Podívat na



Poznámka: Tuto funkci využijete především pro rychlý pohled do náčrtové roviny.

Obrázek 2.21 Pohled do požadované roviny

Všechny typy pohledů jsou nezbytnou pomůckou při modelování. Doporučujeme všem uživatelům detailní procvičení této problematiky. Správné použití jednotlivých funkcí může nejen usnadnit orientaci v prostoru, ale především urychlit práci na modelovaném objektu.



Dynamická vizualizace

Závěrem kapitoly se zmíníme o funkci, která je výsledkem dlouholetého vývoje oblasti počítačové grafiky a především algoritmů prostorového zobrazování v reálném čase pomocí standardu OpenGL. U zrodu tohoto standardu pro integraci grafických funkcí (API) stojí bezesporu firma produkující superpočítače pro počítačovou grafiku, firma Silicon Graphics.

Standard OpenGL byl postupně převzat a integrován z prostředí Unixu i na platformu Microsoft Windows. Přímá spolupráce aplikace s grafickými ovladači výkonných akceleračních karet umožňuje zobrazovat objekty v prostoru tak, jak to bylo dřív prakticky možné pouze pomocí technologie statické vizualizace.

Dynamická vizualizace

Neprůhledné materiály



Kombinované materiály



Průhledné materiály



Materiály s texturou



Sklo a kov



OpenGL



Pamatujte: Grafické zobrazení je závislé na kvalitě akceleračního hardwaru.

Obrázek 2.22 Dynamická vizualizace

Podstatou dynamické vizualizace je přiřazení povrchů vektorovým modelům. Prakticky se jedná o přiřazení rastrových textur jednotlivým plochám na součásti a zajištění jejich správné orientace. Materiály lze rozdělit podle existence textury do dvou základních kategorií:

- ◆ **Materiály nemapované**, které nejsou tvořeny texturou, pouze skupinou odstínů
- ◆ **Materiály mapované**, jejichž vzhled radikálně ovlivňuje rastrová mapa

Autodesk Inventor přirozeně neobsahuje detailní možnosti nastavení parametrů ovlivňujících přirozené zobrazování objektů, jak tomu je například v 3DS MAX. Ale přesto se Autodesku podařilo za cenu určitých kompromisů zcela bravurně tento problém zvládnout. Uživatel si může podle svého uvážení přiřadit součástem a plochám materiály ří-



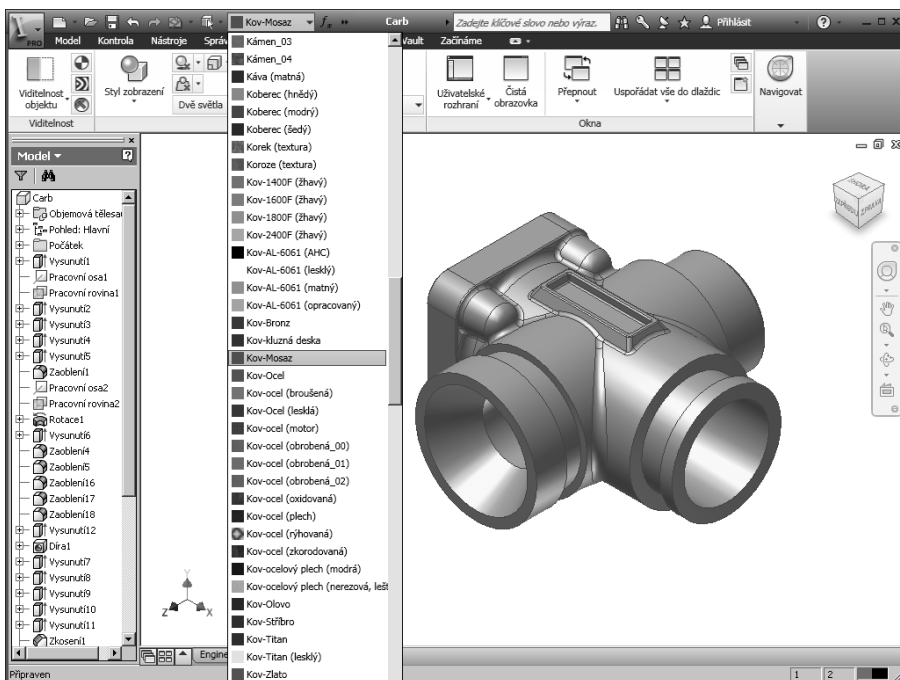
zené jediným nástrojem. U materiálů je možné navíc řídit jejich průhlednost, a je tedy možné efektně modelovat součásti ze skla, transparentních plastů apod. Pro začínající uživatele je vhodnější využít nabídky již vytvořených materiálů. Ta je dostatečně pestrá, ovšem je závislá při otevření součásti vytvořené ve starší verzi Autodesk Inventoru na množství existujících materiálů.



Vyzkoušejte:

Otevřete v Autodesk Inventoru součást **Carb.ipt**, která je uložena v adresáři ukázkové sestavy spalovacího motoru. Pokuste se přiřadit materiály z nabídky.

- ◆ Rozbalte výběr předdefinovaných materiálů.
- ◆ Zvolte myší požadovaný materiál.
- ◆ Vzhled součásti bude modifikován pomocí zvoleného materiálu.



Obrázek 2.23 Přiřazení materiálů celé součásti

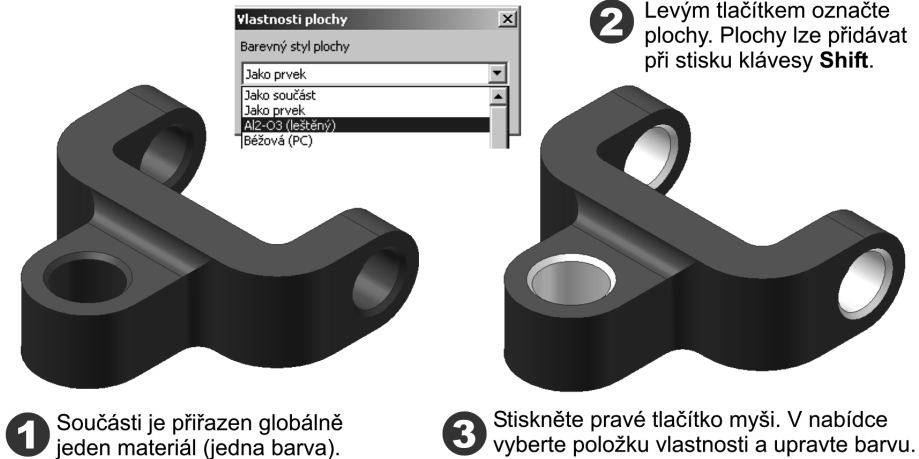
Vhodnou kombinací materiálů můžete výrazně zpřehlednit například sestavu nebo můžete využít model přímo v prezentaci nebo reklamním prospektu. Kvalita vlastního zobrazení materiálů je ovlivněna řadou parametrů, které jsou vázány především na podporu OpenGL funkcí vašeho grafického akcelerátoru a kvalitu ovladače. Pokud je využito špatného ovladače, může dojít dokonce k zhroucení geometrie vektorových modelů.

Materiály lze přiřazovat v Autodesk Inventoru také na úrovni jednotlivých ploch. Můžete tak zvýraznit například tolerované rozměry nebo obráběné plochy. Postup přiřazení



materiálů jednotlivým plochám je zobrazen na následujícím obrázku. Opět upozorníme na to, že zpětná kompatibilita modelů může ovlivnit požadovaný výsledek. Použitím vhodné kombinace materiálů můžete dosáhnout nejen vyšší názornosti, ale také efektního vzhledu součásti pro účely prezentace.

Modifikace materiálu na úrovni ploch



Obrázek 2.24 Přiřazení materiálu jednotlivým plochám

Fyzikální vlastnosti materiálů

V Autodesk Inventoru jsou data materiálu definovaná formátem materiálu přiřazeným k součásti. Šablona použitá pro tvorbu součástí obsahuje obvykle více formátů materiálu a materiál vyberete při tvorbě součásti.

Chcete-li změnit definici materiálu v Autodesk Inventoru, použijte nastavení v dialogu zobrazeném pomocí nabídky **Správa** → **Editor stylů**. Tyto parametry nejsou nijak provázány s volbou používanou pro vizualizaci součástí, navzájem se neovlivňují.

Chcete-li zobrazit přiřazení materiálu a jiné fyzikální vlastnosti součásti, vyberte **iVlastnosti** a pak kartu **Fyzikální vlastnosti**. Ty budou pak využity pro výpočty.

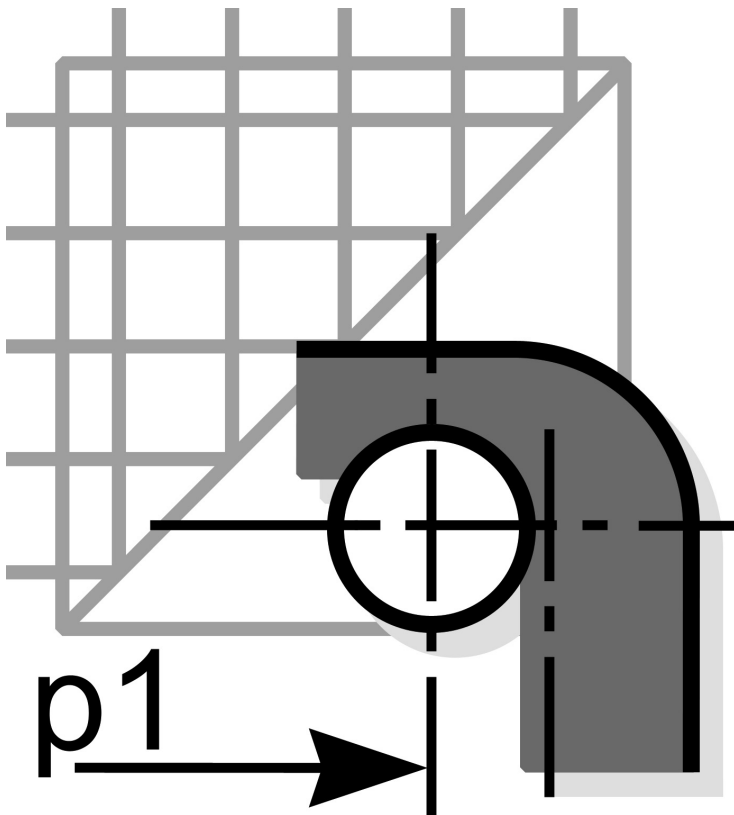


Otázky a cvičení:

1. Popište uživatelský interface Autodesk Inventoru.
2. Vysvětlíte, jaké módy Prohlížeče součástí znáte a jak je lze aktivovat v průběhu založení nového souboru.
3. Jaké nástroje můžeme využít v Autodesk Inventoru pro řízení pohledu?
4. Otevřete libovolnou sestavu z adresáře příkladů Autodesk Inventoru a upravte podle vlastní fantazie materiály přiřazené jednotlivým součástem a materiálovou kartu.

KAPITOLA 3

PRACOVNÍ PRVKY A KONSTRUKCE NÁČRTŮ





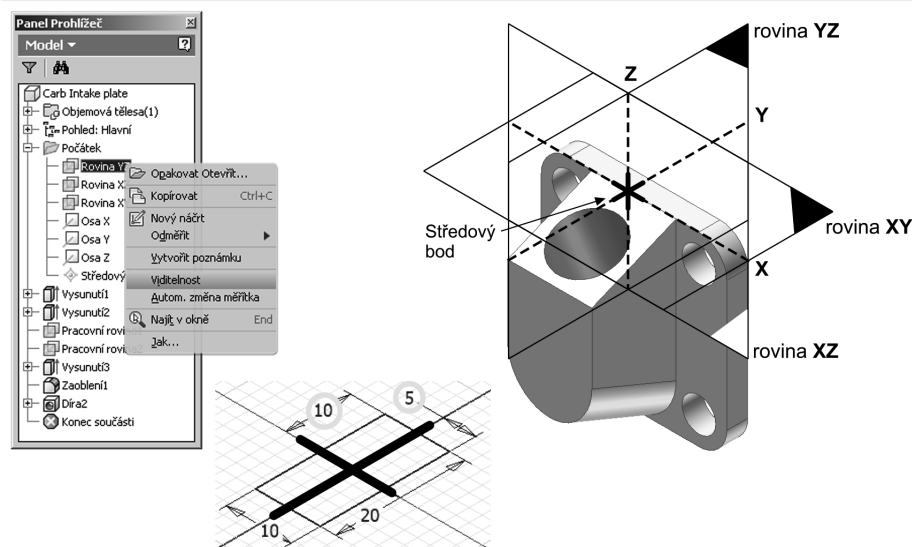
Pracovní prvky

Bezchybná orientace v prostoru je základním předpokladem pro zdárné modelování. Objekty jsou zobrazovány v globální soustavě souřadných os. Poloha souřadného systému může být samozřejmě libovolně modifikována.

V parametrickém a adaptivním modelování by ovšem klasický způsob transformace souřadného systému vytvořil velmi nepřehledný a složitý systém pro popis geometrie modelu součástí. Velké množství transformací by znamenalo vytvoření a uložení řady poloh včetně orientace souřadnic.

Aplikace pro parametrické a adaptivní modelování proto přichází ze zcela novými pomůckami pro zjednodušení práce v prostoru. Pomůcky se snaží jednoduchým způsobem vystihnout charakteristické prvky vhodné pro popis geometrie a polohy modelu v prostoru.

Základní pracovní roviny



Tip: Pokud chcete využít při konstrukci náčrtu referenční osy pro tvorbu parametrů, musíte osy do náčrtu promítnout.

Obrázek 3.1 Základní pracovní roviny, osy a bod

Obecná definice bodů v prostoru je velmi nenázorná a problematická nejen pro začínajícího uživatele. Naše představivost se velmi často dostává mimo své možnosti. Pro přesnou práci je tedy důležité správně definovat body, osy a roviny, kterých můžeme použít při modelování. Souhrnně označujeme tyto objekty společným názvem **Pracovní prvky**.

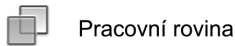
Autodesk Inventor definuje tři typy pracovních prvků:

- ♦ **Pracovní rovina** je libovolná rovina xy používaná především pro následnou aktivaci náčrtové roviny, vytvoření dalších pracovních rovin a základen pro kótování.



- ◆ **Pracovní osa** definovaná pomocí části rotačního tvaru. Je vždy vytvořena pro vybranou rotační plochu nebo zaoblení.
- ◆ **Pracovní bod** je libovolný bod v prostoru definovaný pomocí souřadného systému nebo pomocí módů uchopení objektu.

Pracovní prvky



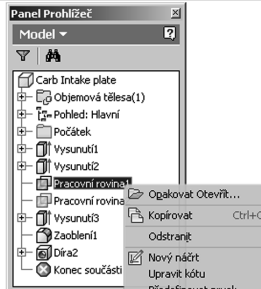
Pracovní rovina



Pracovní osa



Pracovní bod



Pracovní osa

Pracovní bod

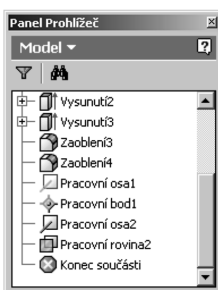
Pracovní rovina

Poznámka: Všechny pracovní prvky jsou vytvářeny v Prohlížeči součástí. Zde můžete upravit jejich viditelnost.

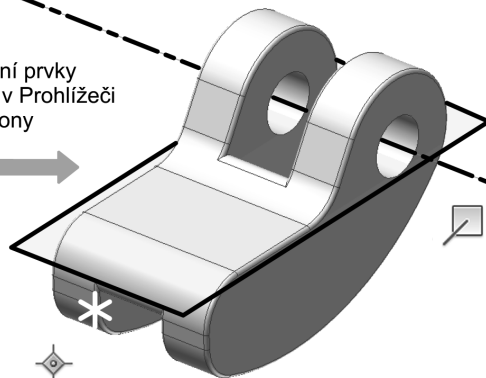
Obrázek 3.2 Druhy pracovních prvků

Veškeré pracovní prvky se zobrazují v prohlížeči součástí jako samostatné objekty. Může zde být také řízena jejich viditelnost. Pokud jsou na pracovní prvky navázány určité části modelu, není je možné odstranit bez ztráty navázaných částí. Při modifikaci topologie modelu proto zpočátku nemažte pracovní prvky, o kterých nevíte přesně, k čemu jsou určeny.

Použití pracovních prvků v Autodesk Inventoru



Veškeré pracovní prvky jsou zobrazeny v Prohlížeči součástí jako ikony



Základní funkce Prohlížeče součástí řízené pravým tlačítkem myši:

1. Editace pracovních prvků
2. Řízení viditelnosti pracovních prvků
3. Tvorba poznámek

Soubor **Clutch Shoe - 3 .ipt** naleznete ve vzorových příkladech Autodesk Inventoru.

Poznámka: Při existenci velkého množství pracovních prvků je vhodné nepoužívané prvky skrýt.

Obrázek 3.3 Použití pracovních prvků v Autodesk Inventoru



Náčrtové roviny

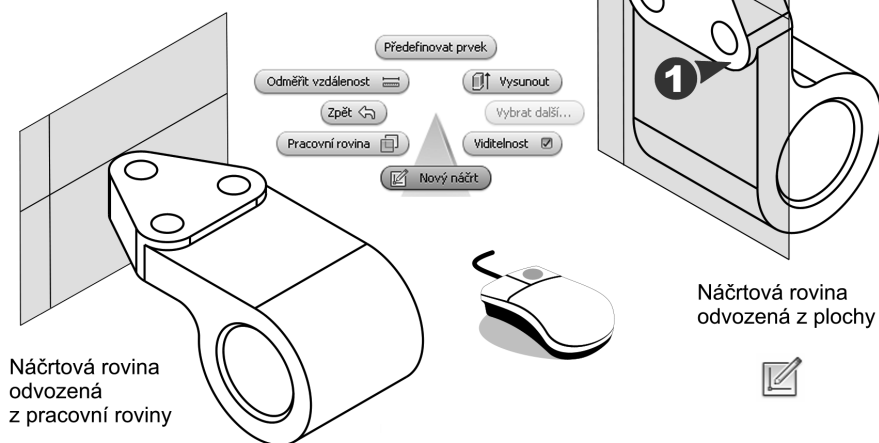
Nejpoužívanější pomůckou definovanou pomocí pracovních prvků jsou náčrtové roviny. Jedná se o libovolnou orientovanou rovinu xy, ve které kreslíme náčrty, vytváříme profily načrtnutých prvků nebo definujeme řezy. Na problematice tvorby náčrtových rovin si vysvětlíme postup definice pracovních prvků, protože je zde blízká souvislost.

Náčrtové roviny mají všestranné použití jak při modelování součástí, tak při tvorbě ploch. Správné pochopení jejich tvorby je velmi důležité pro zvládnutí libovolné aplikace pracující na základě parametrického a adaptivního modelování. Programy se doslova předhánjí ve funkcích zajišťujících co možná nejjednodušší definice požadované polohy náčrtových rovin.

Náčrtová rovina

Je libovolná rovina, ve které je konstruován náčrt. Je jí možné odvodit z libovolné rovinné plochy na součásti nebo z již existující pracovní roviny.

- 1 Vyberte rovinnou plochu na součásti nebo pracovní rovinu
- 2 Stiskněte pravé tlačítko myši a aktivujte **Nový náčrt**



Obrázek 3.4 Metody odvození náčrtové roviny

V učebnici Autodesk Inventoru používáme pro pojmenování rovin standardní terminologie používané v řadě parametrických modelářů. V podstatě se setkáte s pojmenování Work Plane (**pracovní rovina**) a Sketch Plane (**náčrtová rovina**).

Za náčrtovou rovinu považujeme, mimo jiné, libovolnou aktivní pracovní rovinu, které vytváříme například náčrt nové součásti. Jinak řečeno, můžeme definovat libovolné množství pracovních rovin, ale pouze jedna je vždy aktivní (náčrtová).

Postupy definice náčrtových rovin jsou různé. Je jen na uživateli, který způsob zvolí jako efektivní. U začínajících uživatelů samozřejmě chvíli trvá, než získají určitý cit pro jejich



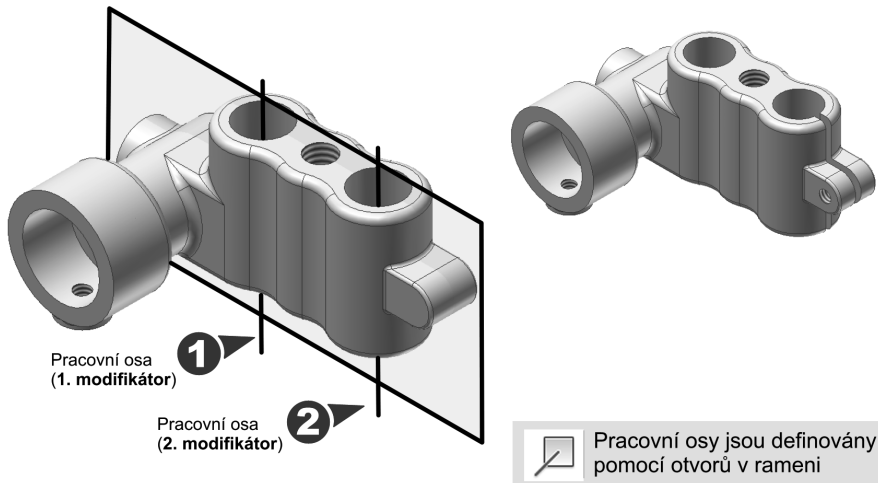
optimální volbu. Modely lze popsat řadou kombinací pracovních prvků; často existují varianty vedoucí k cíli podstatně rychleji. V některých kombinacích naopak není ani možné danou polohu roviny zajistit. Dokonale prostudujte následující problematiku a snažte se pochopit princip vytváření pracovních a náčrtových rovin.

Definice pracovních rovin pomocí modifikátorů

Jsou mocnou metodou pro tvorbu pracovních a odvozených náčrtových rovin v libovolných polohách. Metoda **odvození pracovních rovin z existující rovinné plochy** na součásti je vázána na rovinnou geometrii součásti a případnou polohu základních pracovních rovin.

Metoda **vytvoření pracovních rovin pomocí modifikátorů** naopak umožňuje definici libovolné pracovní a případné náčrtové roviny pomocí hran a ploch na součásti a pomocí pracovních os a bodů. Doporučujeme ji ale používat pouze tehdy, když nemůžete rovinu přímo odvodit z existujících rovinných ploch na modelované součásti.

Pracovní rovina definovaná pomocí dvou os nebo hran



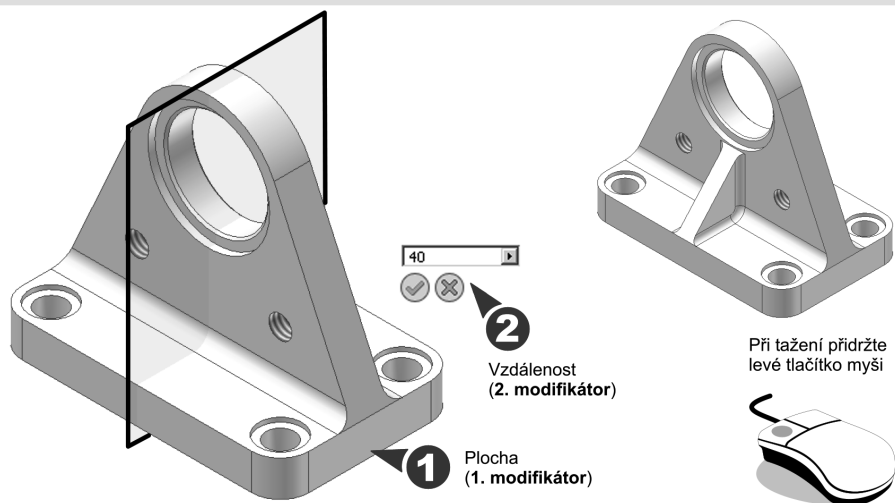
Obrázek 3.5 Pracovní rovina definovaná pomocí dvou os

Následující obrázky a texty zobrazují základní případy, které mohou nastat při definici náčrtových, respektive pracovních rovin. Je samozřejmě nemožné uvést v této učebnici příklady pro všechny kombinace modifikátorů, ale principiálně je jejich použití stejné.

Za **modifikátor** považujeme libovolný pracovní bod, hranu, osu součásti nebo vzdálenost a úhel. Při definici je nutné zadat pouze správné pořadí modifikátorů. Vždy sledujte náhled, který vám Autodesk Inventor zobrazuje.

Připomeňme, že jediný principiální rozdíl mezi náčrtovou a pracovní rovinou spočívá v možnosti vytvářet 2D náčrty.

Ekvidistantní pracovní rovina v definované vzdálenosti

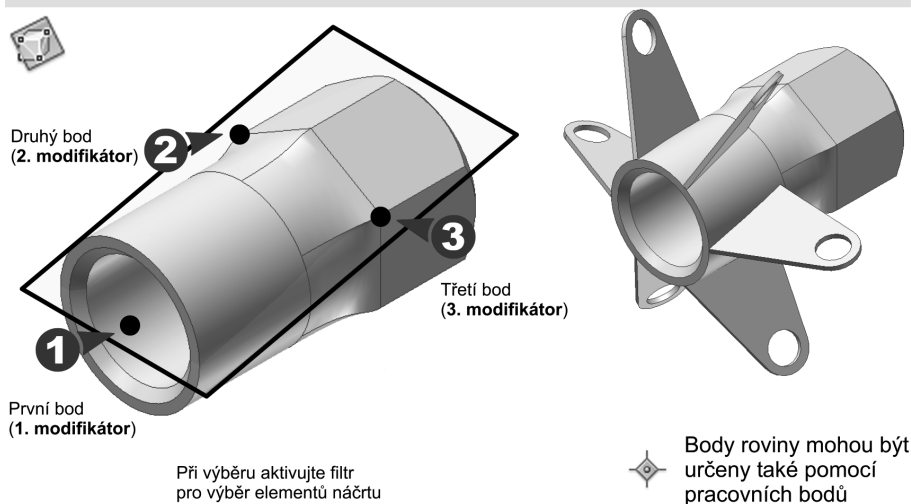


Obrázek 3.6 Ekvidistantní pracovní rovina

Správná volba modifikátorů a jejich použití pro definici pracovní roviny vždy vychází z charakteristik modelované součásti. Výchozí modifikátory volte v pořadí:

- ♦ **Pracovní roviny** jsou nejjednodušším modifikátorem.
- ♦ **Pracovní osy a hrany** jsou nejběžnějším modifikátorem.
- ♦ **Pracovní body** používáme především ve specifických případech.

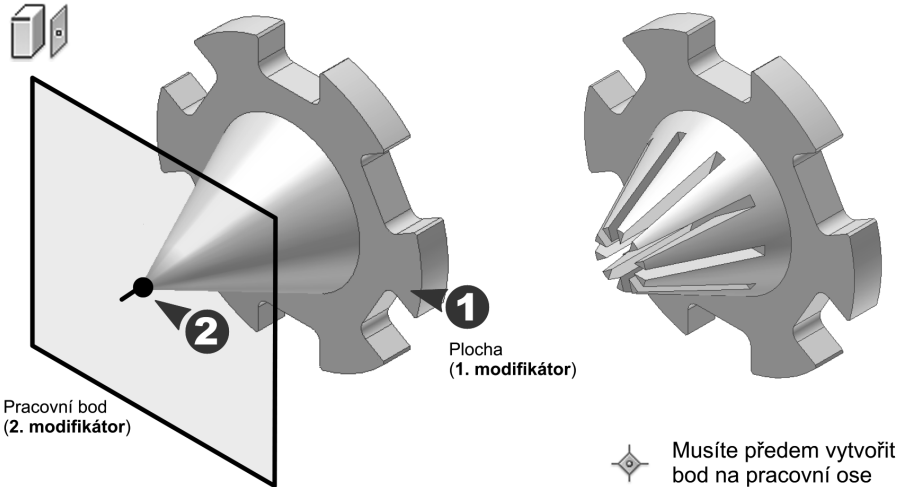
Pracovní rovina definovaná pomocí tří bodů



Obrázek 3.7 Pracovní rovina definovaná pomocí bodů



Pracovní rovina definovaná vrcholem

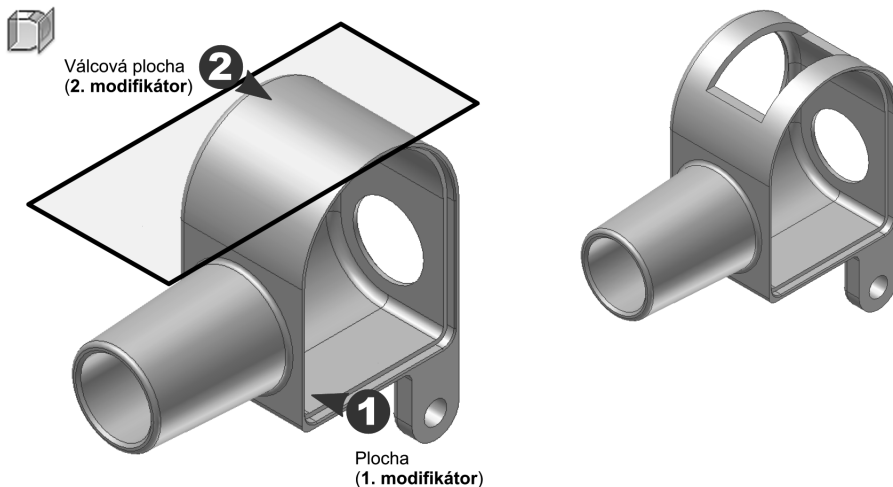


Obrázek 3.8 Pracovní rovina procházející vrcholem

Pracovní roviny lze vytvářet prakticky neomezeně v jejich počtu. Uvědomte si ovšem, že topologie modelu musí být co možná nejjednodušší. Proto ani extrémní počet pracovních rovin nepřispívá k přehlednosti modelu.

Vlastnosti již vytvořených pracovních rovin lze libovolně modifikovat pomocí prohlížeče součástí. Již existující pracovní roviny mohou být zdrojem pro vytvoření nových pracovních rovin. Lze toho využít především při řešení složitějších problémů.

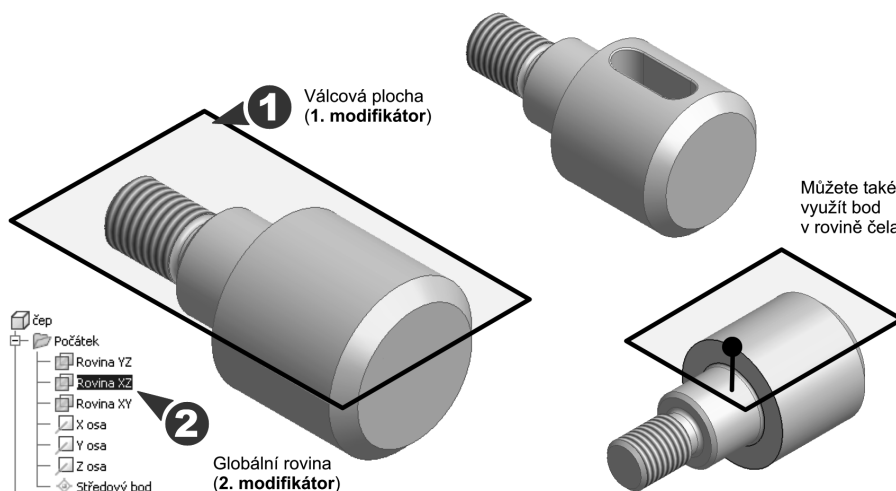
Pracovní rovina definovaná válcovou plochou a rovnoběžnou rovinou



Obrázek 3.9 Tečná pracovní rovina rovnoběžná s existující plochou na součásti



Tečná pracovní rovina rovnoběžná s globální rovinou

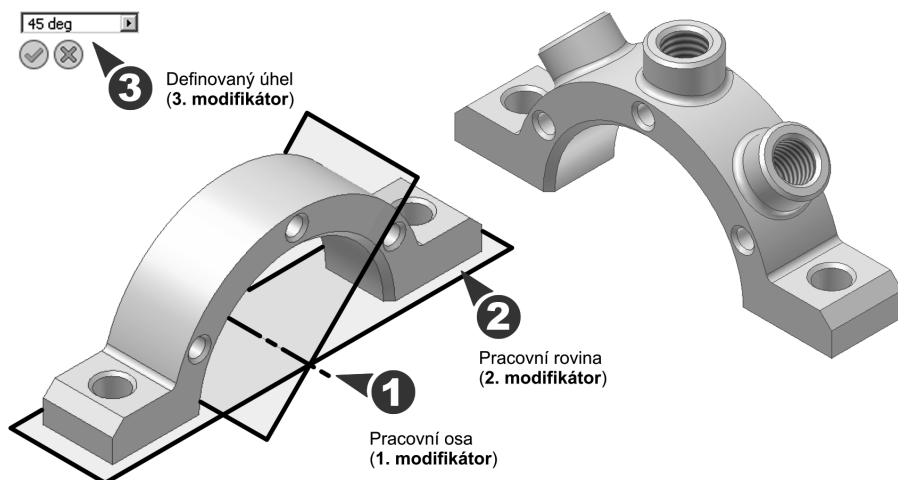


Obrázek 3.10 Tečná pracovní rovina

Autodesk Inventor poskytuje netradiční možnost řízení polohy pracovních rovin pomocí pomocných náčrtů. Existující definiční hrany nebo pracovní osy mohou být nahrazeny triviálními náčrti. Lze tak například modifikovat polohu pracovní roviny pomocí změny polohy úsečky v náčrtu.

Takto definované pracovní roviny lze využít především pro snadnou modifikaci polohy prvku součásti, který je přímo vytvořen v této pracovní rovině.

Pracovní rovina definovaná osou a úhlem k existující rovině

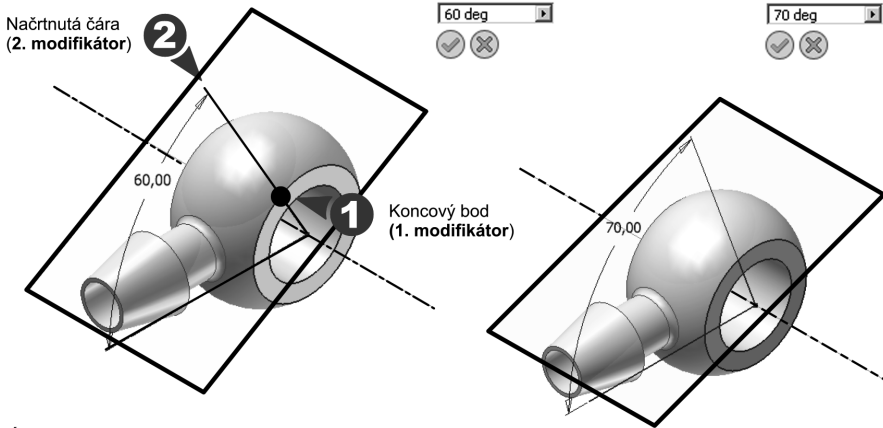


Obrázek 3.11 Pracovní rovina definovaná úhlem



Při konstrukci pomocných řídicích náčrtů můžete využít všech pravidel a zásad, které budou detailně popsány později v této kapitole. Tyto náčrty jsou pouze referenční geometrií a neovlivňují přímo geometrii modelované součásti.

Pracovní rovina řízená náčrtem



Úhel, případně vzdálenost konstrukčních prvků, lze navázat na prvky náčrtu.

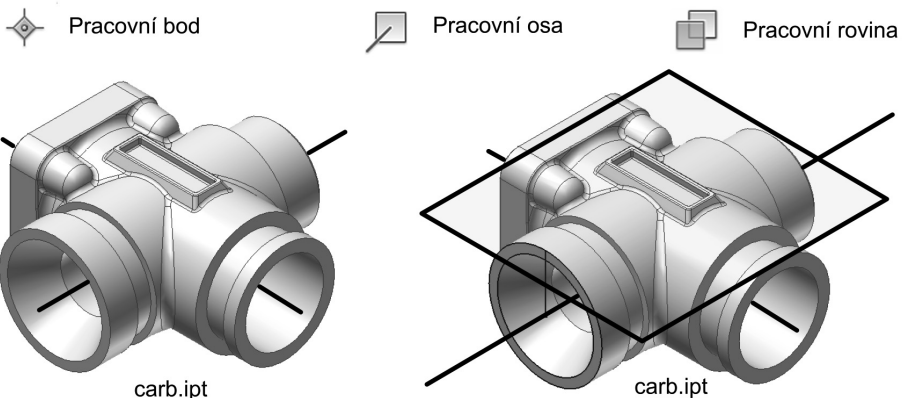
Obrázek 3.12 Pracovní rovina řízená náčrtem

Libovolná pracovní rovina může být po jejím vytvoření aktivována jako náčrtová rovina pro konstrukci parametrických náčrtů nebo pomocné referenční geometrie.



Otázky a cvičení:

1. Vymenujte druhy pracovních prvků.
2. Vysvětlete základní rozdíl mezi pracovní a náčrtovou rovinou.
3. Otevřete libovolnou součást z ukázkových příkladů a vytvořte několik pracovních rovin.



Obrázek 3.13 Cvičení – pracovní prvky



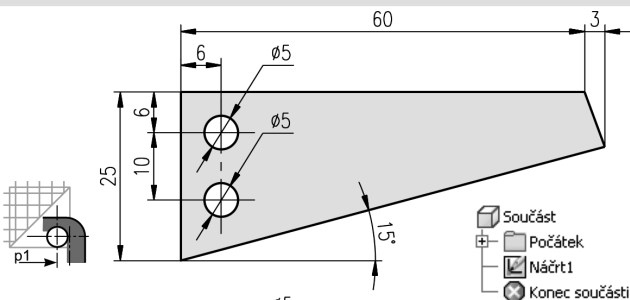
Konstrukce náčrtů

Prvním krokem při vytváření modelu součásti je tvorba náčrtu. Náčrt geometrie modelu by měl být jednoduchý a měl by zhruba odpovídat tvarem a velikostí výslednému modelu. Po nakreslení hrubého náčrtu provádíme jeho vyhodnocení, při kterém dochází k připojení předpokládaných rozměrových parametrů a geometrických vazeb.

Typy náčrtů z hlediska stupně parametrizace

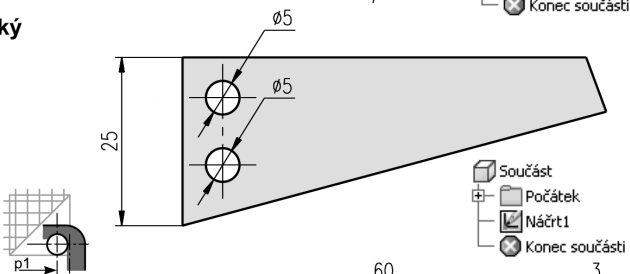
Náčrt plně parametrický

- Je popsán plně pomocí rozměrových parametrů a geometrických vazeb.
- Geometrie i rozměry náčrtu jsou modifikovány změnou rozměrových parametrů a geometrických vazeb.



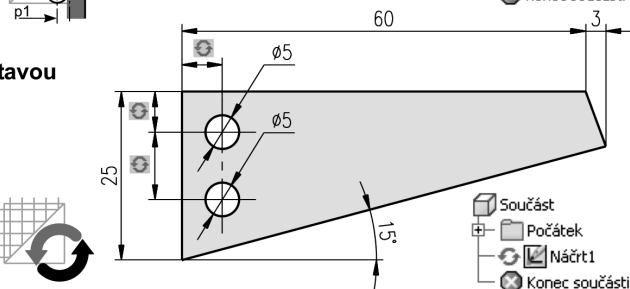
Náčrt částečně parametrický

- Popis geometrie náčrtu je pouze částečný nebo zcela chybí.
- Modifikovat lze pouze geometrické prvky, které mají přiřazeny rozměrové parametry a geometrické vazby.



Náčrt adaptivní řízený sestavou

- Je popsán částečně pomocí rozměrových parametrů a geometrických vazeb. Neurčené rozměry jsou řízeny adaptivní vazbou na rozměry součástí v sestavě.



Obrázek 3.14 Typy náčrtů podle stupně parametrizace

Náčrty můžeme rozdělit především podle úrovně jejich parametrizace na tři základní typy, které jsou využitelné pro modelování součásti a případnou tvorbu pomocné geometrie:

- ◆ **Náčrty plně parametrické**, které jsou plně geometricky určené
- ◆ **Náčrty částečně parametrické**, které jsou částečně geometricky určené
- ◆ **Náčrty adaptivní** – částečně parametrické náčrty řízené geometrií součásti v sestavě



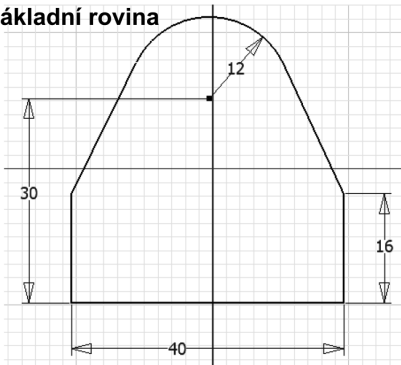
Autodesk Inventor podporuje modelování pomocí všech typů výše uvedených náčrtů. My budeme zpočátku výhradně využívat plně parametrické náčrt, které jsou pro začínajícího uživatele nejpřijatelnější a přitom zaručí definici geometrie součásti bez nebezpečí jejího zhroucení při následných modifikacích a úpravách. Částečně parametrické náčrt jsou výhodné pouze ve fázi návrhu nové součásti bez požadavků na geometrickou a rozměrovou přesnost všech jejich prvků. Adaptivní modelování tvoří určitý kvalitativní posun a jeho podstatu si vysvětlíme v dalších kapitolách této učebnice.

Přiřazení náčrtu

Tímto pojmem rozumíme vytvoření náčrtu v předem definované náčrtové rovině. Autodesk Inventor nerozlišuje pojem náčrt a náčrtová rovina tak detailně jako například Mechanical Desktop. Příkaz pro přiřazení náčrtu byl modifikován do jediného příkazu **Náčrt**.

Přiřazení náčrtu

Základní rovina



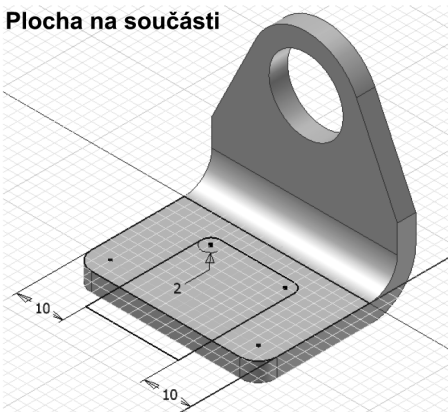
Náčrt vytvoříte výběrem roviny nebo plochy a stiskem tlačítka



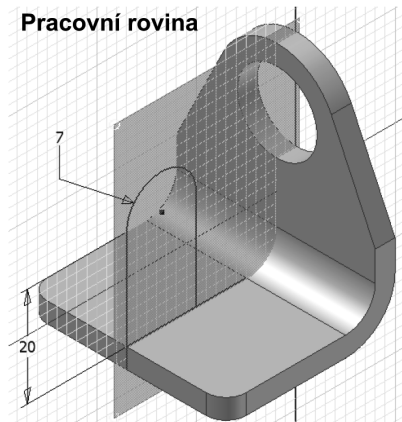
Konec součásti

V Prohlížeči součástí se vytvoří náčrt

Plocha na součásti



Pracovní rovina



Obrázek 3.15 Přiřazení náčrtu

Autodesk Inventor umožňuje v podstatě tři základní možnosti, jak přiřadit náčrtovou rovinu pro tvorbu náčrtu:

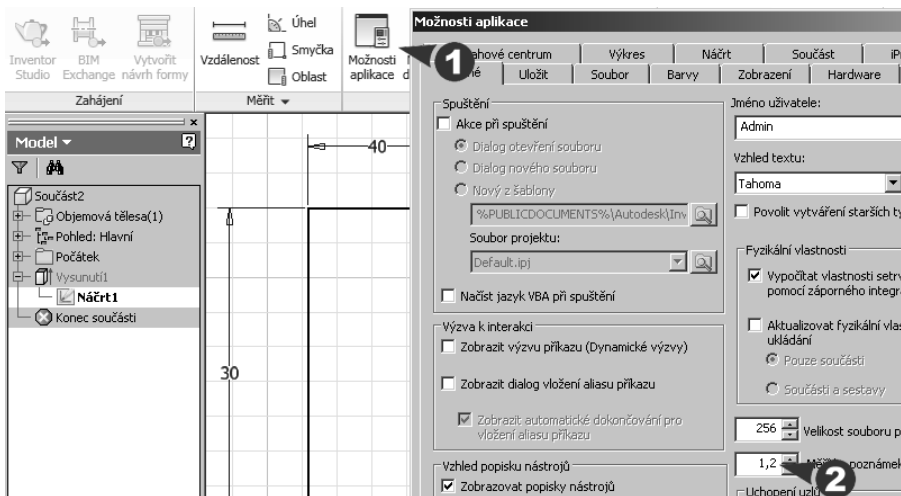


- ◆ **Konstrukce náčrtu v základní rovině** je základní možností pro tvorbu náčrtu po založení nového souboru součásti nebo součásti z plechu. Náčrtová rovina je zobrazena ve standardním nastavení jako rastr. Využívá se výhradně pro definici počáteční geometrie.
- ◆ **Odvození náčrtu z libovolné rovinné plochy** je efektivní a snadné i pro začínající uživatele. Náčrtová rovina je pomocí ikony pro přiřazení náčrtu odvozena z libovolné rovinné plochy na součásti. Nutnou podmínkou je existence této rovinné plochy.
- ◆ **Aktivace náčrtu v libovolné pracovní rovině** se provádí obdobným způsobem jako u předchozího případu. Aktivní náčrtová rovina není fyzicky vytvořena, ale pouze aktivována z již vytvořené pracovní roviny. V prohlížeči součástí je takto vytvořená rovina zobrazena jako nový prvek.

Kreslení náčrtů

Postupně si v následující části vysvětlíme problematiku kreslení náčrtů v aktivované náčrtové rovině. Zpočátku budeme uvažovat pouze s náčrtem umístěným v základní rovině. Postupy pro tvorbu náčrtů v dalších rovinách jsou identické. Postup kreslení náčrtu můžeme rozdělit:

- ◆ Kreslení vlastní geometrie náčrtu
- ◆ Definice geometrických vazeb
- ◆ Definice rozměrových parametrů (kót)



Obrázek 3.16 Nastavení velikosti popisek



Poznámka:

Pro experimentování s náčrtu i pro práci je vhodné předem upravit velikost popisek podle výše uvedené obrázku, případně nastavit vhodné barevné rozvržení pracovní plochy.



Před začátkem kreslení je dobré si provést rozvahu o tvaru a velikosti hrubého náčrtu. Vždy je snazší kreslit a upravovat jednoduché náčrty, které můžeme spojovat při tvorbě složitějších tvarů. Náčrty kreslíme vždy tak, že dbáme pouze na přibližnou geometrii, nikoli na rozměry a přesnou polohu geometrie. Při kreslení náčrtu můžeme využívat **trasování vazeb a uchopení**.

Trasování vazeb umožňuje v rámci určité tolerance detekovat požadovanou polohu objektu v náčrtu vůči objektům již existujícím nebo referenčním rovinám. Například při kreslení čáry je automaticky přiřazena horizontální nebo vertikální geometrická vazba, pokud se přiblížíme příslušným polohám. Trasování vazeb může být překážkou u poloh v rámci této tolerance, a proto musíme například úhel s osou x nakreslit větší mimo a toleranci trasování.

Uchopení objektů umožňuje obdobně jako u AutoCADu automaticky detekovat významné body, jako jsou koncové body úseček, středy kružnic, polovina délký apod.

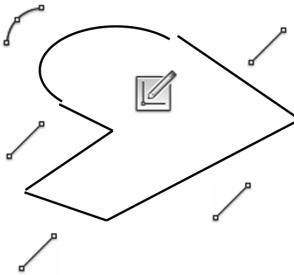


Vyzkoušejte:

Založte nový soubor součásti, uložte jej na disk a nakreslete pomocí nástrojů pro kreslení zobrazený náčrt. Ověřte funkčnost trasování vazeb a uchopení objektů.

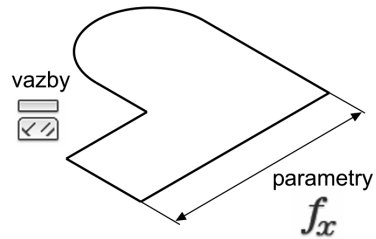
Proč kreslit pouze náčrty?

1 Hrubý náčrt



2 Přesný náčrt formují:

- parametrické kóty
- geometrické vazby
- adaptivní vazby



Poznámka: Náčrt je formován pomocí rozměrových parametrů a geometrických vazeb.

Obrázek 3.17 Kreslení náčrtu

- ◆ Pro kreslení výchozích náčrtů geometrie součástí používejte úsečky, křivky, oblouky, kružnice a elipsy. Nástroje jsou uloženy pod příslušnými ikonami funkcí pro konstrukci náčrtů. Definiční body objektů zadáváme pomocí levého tlačítka myši.
- ◆ Jednotlivé objekty náčrtu (úsečky a oblouky) mohou být navzájem přetažené nebo mezi nimi může být mezera. Doporučujeme ovšem dodržovat provázanost koncových bodů jednotlivých objektů tvořících náčrt. Další úpravy řeší geometrické vazby.



- ◆ Rozměry objektů a polohu v souřadném systému lze odečítat na indikátoru souřadnic, ale není to bezpodmínečně nutné. Považujte v této chvíli jakýkoli odpočet souřadnic za nežádoucí a zavádějící.
- ◆ Pokud návrh obsahuje opakující se prvky, načrtněte jeden a potom jej kopírujte do libovolné pozice nebo pole.
- ◆ Objekty jednoho náčrtu musí ležet ve stejné náčrtové rovině.

Nástroje pro kreslení náčrtů

- Úsečka
- Spline křivka
- Kružnice středem a poloměrem
- Tečná kružnice
- Elipsa
- Oblouk třemi body
- Tečný oblouk
- Oblouk středovým bodem
- Obdélník dvěma body
- Obdélník třemi body
- Bod
- Polygon
- A** Vytvořit text
- Importovat body z tabulky

1 Aktivujte náčrt

Posun a rotace souřadného systému náčrtu

Kreslete pouze náčrt!

~~19,575 mm, 19,248 mm~~

	A	B	C	
1	x	y	z	
2	10	10	0	2D bod
3	5	20	25	3D bod

Důležité upozornění: Všechny objekty lze přesně konstruovat obdobně jako v AutoCADu pomocí souřadného systému. Kreslí se ale přibližné náčrt, které se upravují pomocí rozměrových parametrů a geometrických vazeb.

Obrázek 3.18 Nástroje pro kreslení náčrtů

Kreslení náčrtů provádíme v Autodesku Inventoru velmi podobně jako v AutoCADu. Nástroje jsou rozděleny do několika základních kategorií, které obsahují ikony jednotlivých příkazů:



- ◆ Nástroje pro kreslení objektů
- ◆ Nástroje pro úpravu objektů
- ◆ Nástroje pro konstrukci objektů
- ◆ Nástroje pro tvorbu objektů pomocí promítání (tvorba referenční geometrie)

Máme tak možnost využít prakticky všechny nástroje známé z aplikací pro 2D konstruování. Mnohdy jsou uživatelsky optimalizovány a mají zvýšen komfort obsluhy přítomností dialogových panelů a optimalizovaným zadáváním parametrů. Při kreslení jednotlivých objektů mějte vždy aktivní příslušný **výběrový filtr**. Jeho hodnota by měla být nastavena na elementy náčrtů. Ušnadněte si tak následnou dodatečnou úpravu těchto objektů pomocí myši.

Konstrukce objektů může být zpřesněna trasováním vazeb a uchopením významných bodů. Vazba na skutečný rozměr součásti a poměry rozměrů jsou ovšem na rozdíl od tradičních postupů 2D konstrukce určeny rozměrovými parametry a geometrickými vazbami. Definice souřadnic z příkazové řádky je určitě jednou z metod přesného kreslení, ale v Autodesk Inventoru není nutná a prakticky neexistuje. Stejně jako jsme v AutoCADu pro definici přesných rozměrů využívali různých pomocných konstrukcí (ekvidistanta), zde je využijeme především pro definici rozměrů parametrů.

Při kreslení náčrtů je standardně zobrazen pomocný **Rastr**. Jedná se více o názornou pomůcku pro zvýraznění polohy náčrtové roviny než o prakticky využitelný konstrukční nástroj. Zobrazení rastru lze řídit pomocí několika základních voleb v dialogovém panelu **Nástroje** → **Možnosti aplikace** → **Náčrt**. Můžete zde upravit:

- ◆ **Zobrazení čar rastru**, které po deaktivaci zviditelní pouze základní osy
- ◆ **Přichycení k rastru** využijete pouze v minimálním množství konstrukčních příkladů

Uživatelé AutoCADu se jistě zeptají, proč tedy na tyto funkce musíme u AutoCADu dbát a u Autodesk Inventoru spíš znamenají kosmetické přizpůsobení pracovního prostředí. Odpověď vám bude přirozeně jasná již v průběhu modelování součástí. U klasického 2D konstruování a modelování jsou vždy geometrie a rozměry součástí definovány jako výchozí prvek ovlivňující hodnoty na kótách délek a úhlů. U parametrických aplikací jsou naopak geometrie a rozměry součástí přímo řízeny hodnotami na kótách délek a úhly (přesné rozměrové parametry a geometrické vazby). Adaptivní modelování postupy parametrického modelování optimalizuje a řídí vybrané rozměry součástí a také náčrtů pomocí vazeb na související součásti v sestavě.

Při konstrukci náčrtů můžete objekty nejen vytvářet, ale také libovolně upravovat. Pro základní úpravu využíváme charakteristické body objektů. Opět musí být aktivován výběrový filtr na položce vybrat elementy náčrtů. Lze tak například modifikovat již existující oblouk v náčrtu nebo polohy koncových bodů úseček.

Úpravy pomocí charakteristických bodů vychází přímo z podstaty vektorového zobrazení. Objekty jsou tvořeny body, které tvoří hranice vektorů. Zvládnutí práce s charakteristickými body umožňuje jednoduchou manipulaci a úpravu objektů.

Toto je pouze náhled elektronické knihy. Zakoupení její plné verze je možné v elektronickém obchodě společnosti eReading.