

PREHOD V CELOVITO OPREDELITEV CAD-MODELA (MBD)

Uroš Urbas, Nikola Vukašinić, Ivan Demšar

Izveček:

Inženirska risba je univerzalna metoda prenosa in prikaza konstrukcijskih zahtev. Že od pojava 3D modelirnih programov pa se obljublja pohitritev tega koraka. Celovita opredelitev modela ali MBD je vzhajajoča tehnologija, ki omogoča hitrejši razvojni cikel in hitrejšo izdelavo in dimenzijsko kontrolo. Je ena od komponent industrije 4.0 in predstavlja boljši način prenosa podatkov med vsemi deležniki v življenjskem ciklu izdelka. MBD omogoča avtomatski prenos informacij iz faze konstruiranja v kasnejše procese, kot sta proizvodnja in kontrola kakovosti. V članku so predstavljeni tehnologija MBD in koraki pri njeni uporabi, prav tako pa primer uporabe MBD na modelu hidravličnega valja.

Ključne besede:

MBD, celovita opredelitev modela, CAD, 3D dokumentacija, tolerance, obdelava

1 Uvod

Digitalizacija razvojnih in proizvodnih procesov je v zadnjih desetletjih temeljito spremenila način dela v industrijskih podjetjih. Zadnji mejnik, ki sisteme v podjetjih veže na način dela iz preteklosti, je priprava 2D tehnične dokumentacije. Tradicionalni proces izdelave 2D risb iz 3D modelov predstavlja delovno intenzivni prepis informacij, ki že obstajajo, v način, ki je razumljiv končnemu uporabniku. Zaradi potrebne količine človeškega dela v tem procesu je postal ta postopek pogost vir zamud, težav pri komunikacijah in napačnih ali neažurnih informacij.

Časi, ki so na razpolago za procese osvajanja izdelka in dimenzijske kontrole kakovosti izdelkov, so postali vse krajši z razvojem proizvodnih in informacijskih tehnologij ter s krajšanjem razvojnih ciklov. Istočasno se kompleksnost izdelkov, geometrijske tolerance in zahteve po kakovosti vse bolj povečujejo. Tehnologija modelov 3D-CAD, obogatenih z dodatnimi informacijami o izdelku (MBD – angl. Model Based Definition in PMI – angl. Product and Manufacturing Information), se s tem razlogom uveljavljajo v večini CAD-okolij in v sistemih za vodenje podatkov o izdelkih PDM (angl. – Product Data Management). PMI je prenesen z MBD skupaj z modelom in metapodatki. Sestavljen je iz anotacij in atributov, ki definirajo geometrijo in specifikacije [1]. Vključuje pa:

- ▶ geometrijske dimenzije in tolerance (GD&T – angl. Geometric Dimensions and Tolerances),
- ▶ 3D anotacije,
- ▶ dimenzije,
- ▶ kvaliteto površin in obdelavo,

- ▶ materiale,
- ▶ zvarne simbole in
- ▶ kosovnice.

Z zapisom vseh ključnih podatkov o izdelku se zmanjšujejo potrebe po izdelavi 2D dokumentacije, krajšajo razvojni časi in manjšajo možnosti napak med procesom razvoja izdelka. Še vedno pa se za individualno in serijsko kontrolo izdelkov praviloma pripravlja ločena kontrolna in merilna dokumentacija, pogosto še vedno v 2D obliki. Na *sliki 1* je prikazan prehod iz proizvodnje, ki temelji na 2D risbi, do prehoda v okolje, ki sloni na 3D modelu in risbi s 3D pripisi (MBE – angl. Model Based Enterprise). Večina podjetij je že naredila prehod iz glavne 2D risbe v 2D risbo, narejeno s 3D programom. Redka podjetja so to nadgradila v tretjo stopnjo. Četrta pa je še precej neizkoriščena.

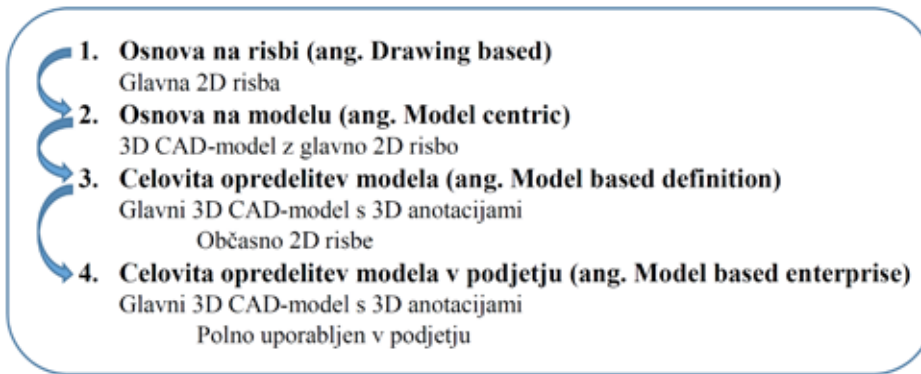
MBD omogoča digitalno nit (ang. digital thread) za tok informacij skozi življenjsko dobo produkta [2], [3]. S celovitim informacijskim modelom izdelka se izpolni eden od pogojev za prehod v pametno tovarno, ki omogoča individualno in računalniško podprto obravnavo vsakega proizvoda.

Celovita opredelitev modela v podjetju ali MBE pa je zadnja stopnja, kjer se 3D CAD-model uporablja za celoten življenjski cikel produkta v podjetju. Verzija, imena, povezave in ostali tehnični podatki so avtomatsko uporabljeni v poročilih, dokumentaciji in ostalih dokumentih.

PMI, vključen v MBD, izboljša in skrajša razvojni cikel izdelka, saj uporabniki lahko vključijo procesne informacije v fazi snovanja, in tako omogoča boljšo komunikacijo, manj napak, hitrejše in zanesljivejše upravljanje sprememb [5].

Metoda je predvsem uporabna v industrijah z zahtevnimi izdelki in sestavi, saj se ob tem uporabljajo

Uroš Urbas, mag. inž., **doc. dr. Nikola Vukašinić**, univ. dipl. inž., **dr. Ivan Demšar**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Slika 1 : Prehod v MBD in MBE (povzeto po [4])

različne informacije o izdelku in izdelavi. Sem spada letalska in avtomobilska industrija, ki za popis izdelka potrebuje več kot samo popis geometrije. Če so izdelki enostavni, kjer visoka natančnost in geometrijske tolerance ne pridejo v poštev, prednosti MBD ne pridejo do izraza.

Prednosti MBD

MBD obljublja več prednosti pred tradicionalnim načinom dela. Te so:

- ▶ MBD je lažje interpretirati. Vse informacije so v 3D pogledu. Ni problema z nejasnimi pogledi na risbah.
- ▶ Model MBD se izdelava hitreje. Potrebno je narediti le model, ne tudi risbe.
- ▶ Model MBD je vedno posodobljen. V tradicionalnem načinu potrebujemo model in risbe, v načinu MBD pa le model. Risba izhaja iz modela, ki pa se lahko distribuira posebej. Sistema PDM in PLM morata v načinu MBD slediti le eni datoteki. Prednost pri MBD je ta, da je potrebno vzdrževati le eno datoteko.
- ▶ MBD prinaša avtomatizacijo. S semantičnimi PMI je možno avtomatizirati postopke v kasnejših fazah življenja produkta.

MBD je od klasičnega načina mnogo boljši pri kontroli verzij oziroma revizijah. Podjetja imajo veliko problemov pri ohranjanju povezav med risbami in modeli. Tu so normalno nastopili sistemi PDM (ang. Product Data Management), vendar 2D PDF-i kmalu niso več na sistemu in niso več povezani, ko se pošiljajo in kopirajo po podjetju. Velikokrat se zgodi, da se posodobi model, risbe pa ne.

2 Vrste zapisov pri MBD

Funkcionalnosti MBD so najboljše, če imajo vsi isto programsko okolje, kar privede do tega, da morajo vsi uporabljati isti paket. Če se večje podjetje odloči za določen program, se večkrat to isto zahteva od njihovih dobaviteljev.

Alternativa za to so nevtralni 3D formati. Vsak proizvajalec programske opreme za CAD ima svoj

osnovni format, ki je optimiziran za njihov program. Ko potrebujemo prenos iz enega formata v drugega, pa potrebujemo nevtralne 3D formate. Večina modelirnih programov podpira branje in pisanje nevtralnih formatov.

Pri nevtralnih formatih se moramo zavedati še grožnje njihovega obstoja. Moramo zagotoviti, da bo obstajal še 20 in več let, kolikor zahtevajo nekatere industrije. Zato se mora najti rešitev v standardiziranih nevtralnih formatih. Nevtralni formati pa imajo to slabost, da izhajajo iz glavnega modela, ki ga je potrebno vedno posodobiti, ko se posodobi model. Drug problem pa je, da se večkrat izgubijo tudi informacije o značilkah, uporabljenih za izdelavo modela.

Izbor nevtralnih formatov smo znižali na 4, saj so široko uporabljani, zanesljivi in imajo potencial za nadaljnjo uporabo. Izbrani formati so STEP (ang. STandard for the Exchange of Product model data), 3D XML (ang. eXtensible Markup Language), JT (ang. Jupiter Tessellation) in 3D PDF (ang. Portable Document Format). Predvsem pa so široko uporabljani na področju ogleda inženirskih podatkov, izmenjave podatkov, vključno z natančno geometrijo, uporabo za digitalni prototip, dokumentacijo in arhiviranje in uporabo 3D informacij v okoljih PDM/PLM.

Za MBD in s tem povezano ponovno uporabo informacij je trenutno najbolj primeren STEP AP 242. Industrijski standard, ki definira prikaz GD & T v 3D prostoru, je [6] ASME Y14.41-2012 [7] in služi tudi kot osnova za standard ISO 16792. Modelno osnovano konstruiranje (ang. Model Based 3D Engineering) je standardizirano v ISO STEP AP 242 [8]. Obstaja več različnih načinov, kako prikazovati PMI-podatke v STEP-formatu [9]. Obstaja semantična predstavitev, v kateri je PMI shranjen v računalniško berljivem načinu. To omogoča avtomatsko izrabo podatkov za ponovno uporabo in za posodobitve zasnov, proizvodnje, merjenje, kontrolo kakovosti in za druge kasnejše aplikacije. Semantična predstava je omogočena samo z AP242.

Drugi način je grafična predstavitev, na kateri je PMI prikazan v načinu, ki je berljiv za človeka (je viden na 3D modelu). Grafična predstavitev je podprta tudi v starejših in bolj razširjenih STEP-protokolih,

kot sta STEP 203 in STEP 214. Dva načina grafične predstavitve PMI-elementov in pripisov v AP242 sta z mnogokotnimi črtami (polilinjami) in s ploskovno (ang. tessellated) predstavitvijo, kar pomeni, da so informacije lahko prikazane razbite v geometrijske elemente. Tako je možen točno tak prikaz kot v CAD-sistemu.

Čeprav je 3D PMI ena glavnih lastnosti STEP 242, pa je celoten obseg veliko širši. ISO STEP AP 242 med drugim pokriva tudi planiranje procesov, kontrolno podatkov, 3D kompozitni dizajn in podatke o sestavu.

Semantični zapis PMI in ustrezen prenos teh informacij v kasnejše faze omogoča avtomatizacijo na področju CNC-programiranja, analize toleranc, merjenja s CMM (ang. Coordinate-measuring machine) in tudi prikaz in uporabo teh informacij v okolju obogatene, virtualne in mešane resničnosti [10].

2.1 Glavne prepreke in napake pri uporabi MBD

Uporabniki morajo razumeti standarde za GD & T, da se pokažejo glavne prednosti. Zmotno je mišljenje, da bo MBD avtomatiziralo izdelavo PMI in GD & T. Z napačno uporabo MBD lahko prihaja do napak, ki pa bi jih z uporabo 2D risb enostavno skrili ali spremenili.

Eden glavnih pogojev, ki morajo biti izpolnjeni za povečanje uporabe MBD, je podpora proizvajalcev programskih paketov za 3D modeliranje. Morajo biti kompatibilni in omogočati uporabo in prenos informacij iz enega v druge program.

2.2 Kako poteka delo z MBD, AP242, prenos podatkov v druge programe

Pravilen zapis PMI v modelirnem okolju je nujen za omogočanje MBE. Konstruktorji potrebujejo znanje o kasnejših procesih in fazah življenja produkta. Zahteva preusmeritev v konstruiranje za proizvodnjo (ang. design for manufacturability).

Glavna vprašanja, ki si jih morajo postaviti podjetja pred implementacijo MBD, so:

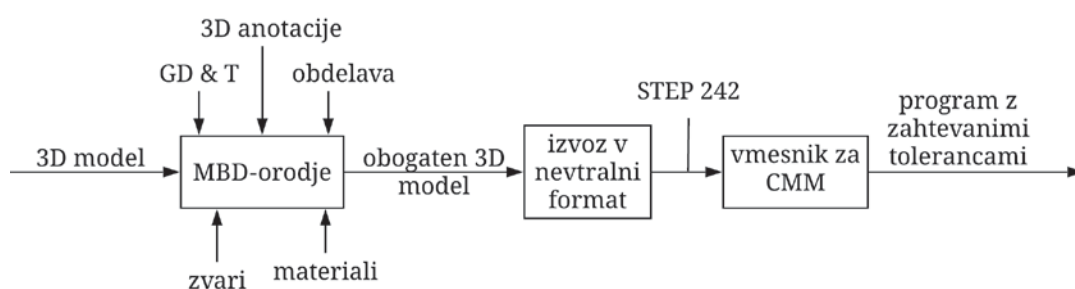
- ▶ Poznamo GD & T?
- ▶ Kakšen je naš CAD-sistem?
- ▶ Znamo postaviti PMI na CAD-model, ali vemo, kakšne so možnosti in omejitve?
- ▶ Kako želimo uporabiti podatke v nadaljnjih fazah?

MBD je najlažje uporabljati, če potekajo vse faze izdelka v enem podjetju in vsi uporabljajo isti program. Če neko podjetje razvija CAD-model, drugo izvaja analize in tretje izdeluje končne izdelke, se morajo podjetja uskladiti glede kompatibilnosti programskega okolja. Če to ni možno, potrebujemo nevtralne formate za izmenjavo podatkov. Že prej smo omenili, da je STEP 242 za to najbolj primeren format. Pri delu [11] je bil narejen pregled možnosti prenosa informacij med posameznimi 3D programi. Test se je izvedel tako, da se je iz posameznega programa najprej izvozila datoteka STEP 242, nato uvozila v isti program in nato še v druge. Testi so pokazali, da se pri vseh modelirnih orodjih prenesejo PMI-informacije v STEP-format. Nekoliko manj uspešen pa je bil ponovni uvoz STEP-formata s PMI-informacijami v programe, saj se je izgubilo kar nekaj grafičnih zapisov, semantični pa so ostali.

3 Uporaba MBD v proizvodnji in kontroli kakovosti

V literaturi je kar nekaj primerov uporabe MBD za avtomatiziranje procesov v fazi izdelave in kontrole kakovosti.

V članku [12] so ugotovili, da je mogoče doseči največ prihrankov z avtomatskim programiranjem CMM. Izvedli so test, s katerim so izdelali in pomerili izdelke s konvencionalnimi in MBD-principi. Ugotovili so uporabne vrednosti MBD, vendar je za doseg uporabne vrednosti potrebno najprej usposobiti kader. Več časa in pozornosti je potrebno posvetiti izdelavi modela, vendar kasneje ni potrebno izdelati tehnične risbe. Pri uporabi CMM je bila ugotovljena velika izboljšava z uporabo MBD, ker so se informacije v program za CMM prenesle neposredno iz MBD.



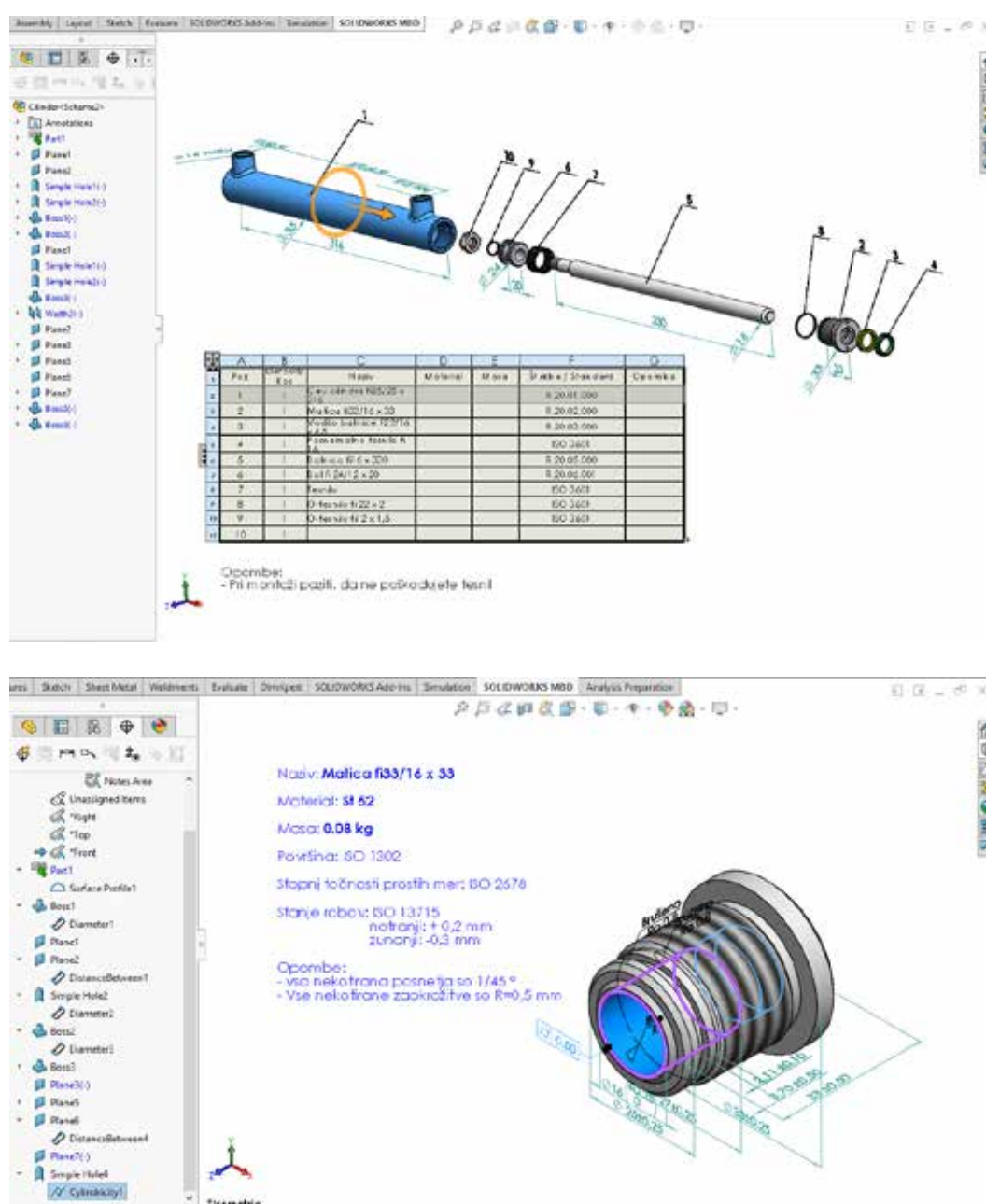
Slika 2 : Uporaba MBD v procesu kontrole kakovosti

Avtorji v članku [13] so podobno ugotovili, da je MBD primeren za definiranje GD & T in uporabo tega za s PMI vodeno kontrolo kakovosti, validacijo in analizo. Skrajšal se je čas za inšpekcijo izdelkov v proizvodnji.

V članku [14] so avtorji testirali uporabnost MBD in MBE. Z uporabo PMI, zapisanega v STEP AP 242, so naredili poizkus, kakšne so razlike v izdelavi s klasično metodo in z MBD. Naredili so več različnih modelov in jih dali izdelati v različna podjetja. Ugotovili so, da je bilo z uporabo MBD manj napak v dobavljenih kosih, saj so imeli proizvajalci na voljo 3D model. Krajši je bil tudi čas dobave. Druga razlika, ki so jo zaznali, je čas celotnega procesa izdelave načrta. V povprečju je

bil čas, potreben za izdelavo polnih kotirnih mer in pripisov s konvencionalnim procesom, 60 ur. To vključuje izdelavo načrta, izdelavo in kontrolo kakovosti. Z uporabo MBD se to skrajša na 15 ur, kar je 75-odstotno zmanjšanje povprečnega časa za celoten cikel.

Na *sliki 2* je prikazana ponovna uporaba informacij, zapisanih v postopku MBD za procese v kasnejših fazah življenja produkta, v tem primeru za kontrolo kakovosti s CMM. Inženirju tako ni potrebno ponovno vnašati predpisanih toleranc z načrtov. S tem se pospeši proces in preprečijo napake pri vnosu vrednosti. Od vmesnika za napravo (CMM) je odvisno, ali potrebujemo nevtralni format ali osnovni model.



Slika 3: Uporaba MBD na primeru sestava (zgoraj) in komponente (spodaj) hidravličnega valja v okolju Solidworks

4 Uporaba MBD na primeru bata hidravličnega valja v okolju SolidWorks

V nadaljevanju je predstavljen praktični prikaz izdelave MBD na primeru hidravličnega valja. Predstavljena sta primera uporabe MBD v primeru sestava (*Slika 3 - spodaj*) in izbrane komponente (*Slika 3 - zgoraj*). Vrste informacij, vsebovane v MBD, se namreč razlikujejo glede na vrsto modela. V primeru sestava MBD vključuje vse podatke, ki so potrebni in pomembni za montažo produkta (kosovnica, pozicije, gabaritne mere, priključne mere, ujemi, opombe za montažo itd.). MBD posamezne komponente mora vsebovati informacije, potrebne za izdelavo in tehnično kontrolo izdelka (oblika, dimenzijske tolerance, geometrijske dimenzije in tolerance, kvalitete površin in obdelavo, material, oznake ipd.).

Proces izdelave obogatene CAD-modela poteka tako, da se najprej definira PMI. To vključuje definiranje anotacijskih ravnin, dodajanje dimenzij in toleranc ter dodajanje geometrijskih toleranc skupaj z bazami. Ti elementi se praviloma postavljajo na določene ravnine. Sledi izdelava 3D pogledov in urejanje PMI. To se kasneje lahko uporabi v 2 ali 2,5D dokumentaciji. 2,5D dokumentacija omogoča normalno uporabo dokumentacije s prednastavljenimi 2D pogledi, primernimi za tisk, v elektronskem pregledovalniku pa omogoča tudi 3D pregled. Za izdelavo 3D PDF je potrebna izdelava ustrezne predloge in priprava pogledov. Večina modelirnih programov že ima opcijo objave v 3D PDF ali v druge nevtralne formate, kot je STEP 242.

5 Izdelava 2,5D dokumentacije

MBD vsekakor stremi k proizvodnji brez papirja in risb. Toda v začetnih fazah implementacije se nima smisla omejiti samo na uporabo celovito opredeljenih 3D modelov. MBD omogoča izdelavo standardnih in posebnih pogledov in projekcij modelov in tako tudi izdelavo 2,5D dokumentacije. Ker se praviloma tudi 3D PMI postavlja v standardne poglede, se te informacije enostavno prenesejo na dokumentacijo. Tako se ta dokumentacija lahko natisne ali pa uporablja elektronska verzija. Ta dokumentacija se od standardne razlikuje tudi v tem, da so informacije povezane. V primeru klika na dimenzijo se osvetli površina, na katero se nanaša. V primeru dela na sestavu se s klikom na kosovnico osvetli izbrani kos na sestavu. Vse to omogoča bolj pregledno delo z dokumentacijo. *Slika 4* prikazuje hidravlični valj v 2,5D dokumentaciji.

Pomemben vidik je tudi varnost podatkov v 3D datoteki. V primeru izdelave kosa pri zunanem izvajalcu se lahko tako s predajo dokumenta z vsemi podatki izdajo ključni podatki. Vendar obstajajo rešitve, kot je 3D PDF, kjer se lahko iz 3D modela enostavno izdelajo pogledi z informacijami, PDF se zaklene ter tako omogoči varnost. 3D PDF omogo-

ča prikaz PMI, nima pa možnosti semantičnega prenosa informacij v kasnejše faze razvoja.

6 Zaključek

Pokazali smo, da MBD in MBE omogočata krajše čase od zasnove do proizvodnje. Z avtomatskim prenosom podatkov je omogočen tudi hitrejši prenos informacij, z manj napakami, kar privede tudi do nižjih stroškov. Pomembno je, da podjetja nadaljujejo ta prehod v MBD. Osredotočiti se je potrebno na dve prednosti, ki jih prinaša MBD – avtomatizacija in ena glavna datoteka.

3D PDF omogoča bolj pregledno 2D dokumentacijo, prav tako tisk dokumentacije na papir, kjer bi bilo potrebno. Za najboljšo uporabo avtomatizacije, ki jo ponuja MBD, pa je potrebno uporabiti STEP, kjer se informacije prenesejo v kasnejše faze življenja produkta. Nevtralni formati torej rešujejo uporabo različnih modelirnih programov, še vedno pa je problem v tem, da je te nevtralne formate potrebno izvoziti iz osnovnih formatov, v katerih spreminjamo in urejamo podatke in parametre o izdelku. Tako lahko le z redno uporabo in posodabljanjem osnovnih formatov zagotavljamo ažurnost vseh potrebnih podatkov o izdelku.

Viri

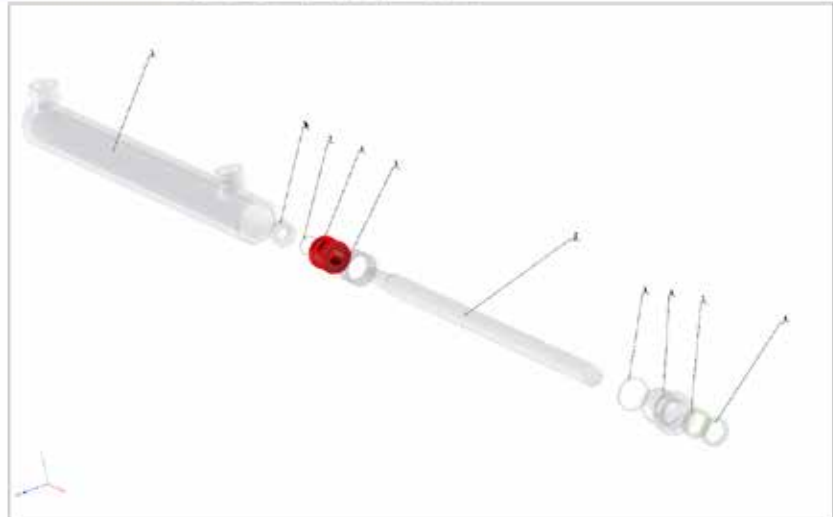
- [1] S. P. Frechette, A. T. Jones, in B. R. Fischer, „Strategy for Testing Conformance to Geometric Dimensioning & Tolerancing Standards“, Twelfth CIRP Conf. Comput. Aided Toler., let. 10, str. 211-215, jan. 2013.
- [2] Allison Barnard Feeney, Simon P. Frechette, in Vijay Srinivasan, „A portrait of an ISO STEP tolerancing standard as an enabler of smart manufacturing systems“, CIRP Conf., let. 2018.
- [3] E. Morse idr., „Tolerancing: Managing uncertainty from conceptual design to final product“, CIRP Ann., let. 67, št. 2, str. 695-717, jan. 2018.
- [4] NIST, „Technical Data Package for Advanced Enterprise“, 2014.
- [5] SIEMENS, „Product and Manufacturing Information (PMI)“. [Na spletu]. Dostopno na: https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/9645_tcm1023-4581.pdf. [Pridobljeno: 26. nov. 2019].
- [6] Robert Lipman, „STEP File Analyzer and Viewer User Guide (Update 5)“, NIST Adv. Manuf. Ser., let. 2018, št. 10, str. 6-200.
- [7] ASME, „Y14.41-2012: Digital Product Definition Data Practices – Engineering Drawing and Related Documentation Practices“, Am. Soc. Mech. Eng., let. 2012.
- [8] ISO, „10303-242:2014. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering – Second edition“, let. 2014.

Številka kosa	R.20.00.000	Datum:	8. 01. 2020
Opombe		Revizija:	2.1
		Material:	
		Masa:	1.85

ODOBRITVE		
NAZIV	IME	DATUM
IZDELAL	Urbas U.	18.12.2019
KONTROLIRAL	Vukašinović N.	23.12.2019
ODOBRIL	Demšar I.	23.12.2019

GENERAL NOTES
 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 MODEL IS REQUIRED TO COMPLETE PRODUCT DEFINITION
 FOR ALL NON-DIMENSIONED FEATURES IN THIS DOCUMENT
 ALL DIMENSIONS OBTAINED FROM THE MODEL ARE BASIC
 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 THE GENERAL TOLERANCE FOR ALL UNTOLERANCED
 SURFACES = 0.2MM
 INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ASME Y14.5

Pos.	Delovni list	Štuka	Standard	Masota	Masa	Opomba
1	Čevl cilindra 532	1	R.20.01.000			
2	Matica 833/16	1	R.20.02.000			
3	Vodilo osovne 12	1	R.20.03.000			
4	Planirnalno železo	1	ISO 3401			
5	Stativca 819 x 330	1	R.20.05.000			
6	Špat 24/12 x 20	1	R.20.06.001			
7	Tavnilo	1	ISO 3401			
8	Očrtenilo 5.22 x 2	1	ISO 3401			
9	Očrtenilo 112 x 1	1	ISO 3401			
10		1				



Slika 4 : Hidravlični valj v 2,5D dokumentaciji

[9] CAX Impelentor Forum, „Representation and Presentation of Product Manufacturing Information (PMI) (AP242)“, let. 2014.

[10] U. Urbas, R. Vrabič in N. Vukašinović, „Displaying Product Manufacturing Information in Augmented Reality for Inspection“, 52nd CIRP Conf. Manuf. Syst. CMS Ljubl. Slov. June 12–14 2019, let. 81, str. 832–837, jan. 2019.

[11] David Križaj, „Analiza STEP standarda AP242 in preizkus usklajenosti sodobnih CAD-modelirnikov z njim, Zaključna naloga“, 2018.

[12] R. Bosiaci, „Exploring the feasibility of supply chain data reuse through standardsbased interoperability for MBD“, Prod. Data J., let. 2017, str. 42–45.

[13] F. Z. Fang, Z. Li, A. Arokiam, in T. Gorman, „Closed Loop PMI Driven Dimensional Quality Lifecycle Management Approach for Smart Manufacturing System“, 9th Int. Conf. Digit. Enterp. Technol. – Intell. Manuf. Knowl. Econ. Era, let. 56, str. 614–619, jan. 2016.

[14] T. D. Hedberg, J. Lubell, L. Fischer, L. Maggiano, in A. B. Feeney, „Testing the Digital Thread in Support of Model-Based Manufacturing and Inspection“, J. Comput. Inf. Sci. Eng., let. 2016.

Transition to Model-Based Definition

Abstract:

The engineering drawing is a universal method of conveying design intent. Ever since the first 3D modelling software, there was a promise of skipping the drawing step. Model based definition is a rising technology, which enables a faster development cycle, manufacturing and dimensional control. It is a component of industry 4.0 and presents a better way of data transfer. MBD offers an automated transfer of information created in the design phase to later processes, such as manufacturing and inspection. The article presents the MBD technology and the steps in its use. An example of using MBD on a hydraulic cylinder is also presented.

Keywords:

MBD, Model Based Definition, CAD, 3D documentation, tolerances, surface treatment