

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Дипломске академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: CAD/CAM технологије

Број индекса: 30/2004

Бојан Д. Ракоњац

**Развој и примена STEP стандарда у
савременим CAD системима
Дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Горан Девеџић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши систематизацију података везану за еволуциони развој и области примене STEP стандарда. У оквиру рада приказати стадијуме развоја STEP стандарда, основу на којој се стандард заснивао и концептуални приступ у његовом даљем развоју. За конкретни предмет за потребе предузећа „Wacker Neuson” д.о.о. из Крагујевца, извршити моделирање склопа дела руке ископавача EW-65, у 3 комерцијално доступна CAD софтвера и извршити анализу међусобне компатибилности употребљених програма при конверзији модела у STEP формат, као и функционалност и компатибилност при употреби бесплатних програма за преглед STEP датотека.

Дипломски рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Разлог за примену неутралних формата за размену информација,
3. Еволуциони развој и структура STEP стандарда,
4. Области примене STEP-а у машинском инжењерству,
5. Предности и мане STEP стандарда,
6. Приступ у даљем развоју,
7. Практична примена у 3 CAD softvera на задатом моделу склопа,
8. Закључак,
9. Литература.

Препоручена литература:

- [1] Девеџић, Г., CAD/CAM технологије, Машински факултет у Крагујевцу, Универзитета у Крагујевцу, 2009.
- [2] Девеџић, Г., Софтверска решења CAD/CAM система, Машински факултет у Крагујевцу, Универзитета у Крагујевцу, 2009.
- [3] Xu X., Nee A.Y.C., Advanced design and manufacturing based on STEP, University of Auckland, 2009.
- [4] Kemmerer J, S., STEP - The Grand Experience, 1999.

Крагујевац, септембар 2016. године

Ментор:
Проф. др. Горан Девеџић

Садржај

1. Уводна разматрања.....	2
2. Појава потребе за разменом података о производима и процесима.....	3
3. Еволуција STEP стандарда.....	7
4. Дефиниција STEP формата	14
5. Структура STEP стандарда и апликационих протокола.....	19
6. Физичка репрезентација STEP стандарда – Part 21.....	28
7. Преглед STEP апликационих протокола	33
I. AP201 - Експлицитно скицирање (ISO 10303-201:1994).....	34
II. AP203 - Конфигурациојом контролисано 3D моделирање машинских делова и склопова (ISO 10303-203:1994).....	35
III. AP214 - Основни подаци за процес механичког дизајна у аутомобилској индустрији (ISO 10303-214:2001).....	36
IV. AP224 - Дефинисање машинских делова за планирање процеса машинске обраде (ISO 10303-224:1999)	37
8. Конверзија у STEP, прецизност, предности у односу на преводиоце.....	39
9. Компресија STEP формата.....	43
10. Будућност STEP стандарда	46
11. Практична разматрања.....	52
I. Израда модела у CATIA V5 R20 софтверском окружењу	55
II. Израда модела у Autodesk Inventor Professional 2015 софтверском окружењу.....	60
III. Израда модела у ZWSOFT ZW3D 2015 SP софтверском окружењу.....	65
IV. Провера STEP датотека у софтверу за преглед и провера компатибилности међу употребљеним CAD системима	69
V. Анализа структуре STEP датотека у програму за преглед текста.....	75
12. Закључак	78
13. Литература.....	79

1. Уводна разматрања

Савремена производња базирана је на захтевима тржишта, што доводи до скраћивања периода развоја нових и унапређења постојећих производа, скраћивања целог животног циклуса производа и условно - увођење унапређења у све аспекте производње, како би се редуковао временски период од идеје до реализације и уопште смањили трошкови производње, повећавајући маргину за профит, односно конкурентност на тржишту.

Битну улогу у том процесу има размена информација на релацији муштерија – продавац - произвођач (– подизвођач), при чему је потребно ускладити пренос информација на целом путу, како би се минимализовао губитак или измена података у том процесу и смањили трошкови преноса. Са увођењем рачунарских система у савремене производне системе, процес је од идеје до реализације убрзан, али и усложњен, јер је на тржишту од почетка присутно више различитих произвођача софтвера, чија софтверска решења функционишу базирано на различитим стандардима.

Идеја о универзалном стандарду за дељење и размену података постоји већ дуже од 40 година, али и данас постоји више праваца развоја, од којих међу најпознатије спада и STEP, базиран на ISO 10303 стандарду, и представља тему овог рада.

У другом поглављу разматрају се разлози за појаву потребе универзалног стандарда за размену информација међу различитим CAD/CAM/CAE системима.

У трећем поглављу објашњен је развојни пут ISO 10303 стандарда за размену података од најранијег концепта PDES-а, до тренутног модуларног приступа примене апликационих протокола и имплементација класа усаглашености у STEP преводиоце.

У четвртном поглављу објашњени су концепти на којима се STEP стандард заснива, као и по чему се разликује од других неутралних формата у употреби.

У петом поглављу представљена је унутрашња структура и сви најбитнији елементи који су део STEP стандарда, као и њихова међусобна релација.

У шестом поглављу је објашњена физичка примена STEP стандарда у виду најзаступљенијег Part21 формата, базираног на EXPRESS језичкој шеми, на једноставном примеру.

У седмом поглављу представљен је преглед свих актуелних апликационих протокола са информацијом о томе у којој су фази развоја, као и осврт на најбитније апликационе протоколе из угла машинског инжењерства.

У осмом и деветом поглављу разматрани су аспекти имплементације STEP стандарда у погледу геометријске и структурне прецизности конверзије, начина за заобилажење проблема, као и остварених уштеда у простору за складиштење.

У десетом поглављу се више говори о даљим правцима развоја STEP стандарда, проблемима на које се наилази, и дугорочном значају овог и других неутралних формата, у концепту нове индустријске револуције.

У једанаестом поглављу је на практичном примеру узета у разматрање употребљивост STEP формата у савременом PLM окружењу, са директним упоређивањем остварених резултата у различитим програмским пакетима.

2. Појава потребе за разменом података о производима и процесима

Почеци индустријске револуције везују се за 18. век, када креће масовнија производња индустријских производа широке потрошње. У самом почетку, производ се израђивао употребом присутног физичког модела и преношењем димензија са модела на производ. Први покушај израде техничких цртежа какве познајемо данас се везује за дело "La Geometrie Descriptive", аутора Гаспард Монгеа, који је у својој књизи описао теорију пројектовања модела у три равни, димензионирање и приказивање специфичних пресека. До тада, радник је најчешће израђивао цео производ, тј. све његове подсклопове и делове, али нови приступ омогућио је да се процес производње раслоји, па чак да и подизвођачима.

Скоро 200 година, процес израде није се мењао, све до увођења у употребу првих индустријских CAD (Computer Aided Design) и CAM (Computer Aided Manufacturing) система, који су убрзали процес израде, складиштења и размене техничких цртежа, тј. дводимензионалних репрезентација физичког модела.



Слика 1: Еволуциони развој способности описивања производа

Иако је увођење рачунара у употребу представљало велики напредак и уштеду у времену, и даље у великим компанијама није постојала усклађеност стандарда и најчешће је у употреби било пар различитих, међусобно некомаптибилних система. Како би софтвери били у могућности да размењују информације о репрезентацијама модела, било је потребно да те информације буду форматиране разумљиво тим системима, тј. увођење "неутралног" интер-операбилног формата.

Проширењем употребе CAD, CAM и PLM софтвера у различитим областима (машинство, електроника, електрика, електромеханика), донело је са собом потребу да се ефикасно врши размена података о производима и процесима са добављачима или

купцима, при чему и сама производња или дизајнерско одељење такође може бити екстерно (енгл. “outsourced”). У таквим условима, потребно је да размењени подаци о производу или процесу буду комплетни, квалитетни и у складу са стандардима.

CAD размена података подразумева употребу различитих софтверских технологија и метода за превођење података из једног у други CAD систем. Иако је најбитније пренети информације које се тичу геометрије производа (био у питању жичани модел, површина или запремински модел), пожељно је да приликом преношења информација буду сачувани и детаљи везани за структуру склопа, подаци о моделским формама, аутору и верзији модела итд.

Кроз време су се развила 3 основна принципа за конверзију и трансфер података између различитих CAD система:

- Директни извоз и увоз из једног у други CAD систем;
- Директни преводиоци, који захтевају присуство оба CAD система;
- Неутрални формати за размену података – STEP, STL, IGES, итд.

Поједини CAD системи су способни да отварају различите формате, развијене за друге CAD системе, мада је већина тих формата „затворена“ и није доступна за тумачење, па је ова оперативност најчешће доступна само међу софтверским пакетима истог произвођача.

Суочене са овом појавом, веће компаније, произвођачи CAD софтвера, су развиле софтверске алате који раде као преводиоци између CAD система различитих произвођача (о чему ће бити речи у наредним поглављима), употребом свог интерног формата, од којих поједини омогућавају проверу и ревизију података у току процеса превођења. Неки од ових преводилаца раде као самостално решење, док други захтевају присуство једног или оба CAD система на рачунару на коме се врши конверзија, јер се користе кодом ових система (API-јима), како би извршили читање и упис података.

Обзиром да сваки CAD систем поседује свој метод тумачења информација о моделу, увек постоји могућност да у процесу превођења дође до неког губитка података, такође и из разлога што су неутрални формати најчешће ограничени врстом и количином информација коју могу да садрже. Из тог разлога, најбитнији задатак је правилно дефинисати шта је потребно превести од понуђених информација:

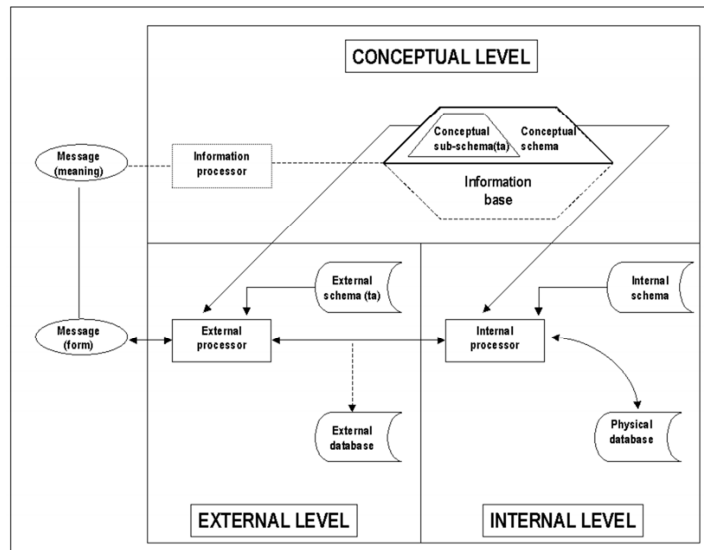
- Уколико је у питању 3D модел, потребно је превести информације о геометрији модела, али и додатне податке – да ли је у питању жичани модел, површ, или запремински модел (енгл. “solid”);
- Уколико је у питању склоп, потребно је задржати тачну структуру тог склопа и постојећа ограничења;
- Уколико је потребно превести техничке цртеже, жичана структура ће бити преведена без проблема; међутим коте, коментари, форматирање текста и линија могу представљати проблем.

Проблем такође може да настане и услед сувише сачуваних информација. Уколико приликом превођења пренесемо сувише параметарских ограничења на моделу, из разлога чувања историје развоја модела, корисник може у новом „увозном“ систему бити ограничен могућностима модификације модела.

Најчешћи начин превођења и преношења информација из једног у други CAD систем је путем неутралних формата, при чему први систем извози податке у том формату, а други их чита. Неки од ових неутралних формата су дефинисани од стране међународних организација (нпр. STEP, IGES), док су други постали опште

прихваћени, због честе примене, иако су у власништву појединих компанија (нпр. DXF).

Први неутрални формат који је нашао примену у индустрији 70-их година 20. века био је IDEF0, следили су IDEF1 и IDEF1X, развијени од стране америчког ваздухопловства, а за потребе програма ICAM (енгл. „Integrated Computer Aided Manufacturing“). Принцип рада се заснивао на принципу шеме са слике 2: концептуалног, интерног и екстерног начина прегледа информација, тј. на 3 нивоа.



Слика 2: Принцип функционисања IDEF формата

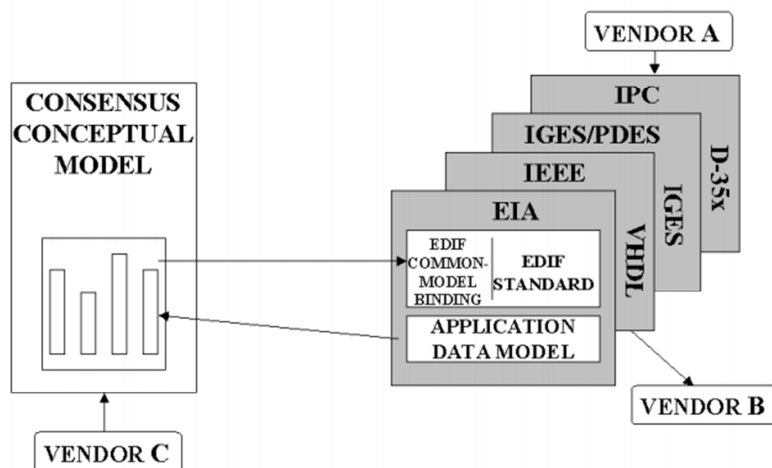
Правим напретком на пољу развоја неутралних формата може се сматрати појављивање и развој IGES формата (енгл. “Interim/Interchangeable Graphics Exchange Specifications/Standard”, формат је мењао назив), а почетак идеје за развој IGES-a се везује за 1979. годину и састанак неколико великих издавача CAD софтвера, који су на том састанку били условљени да почну са сарадњом на овом пољу. Организација која ће се бавити развојем IGES-a је формирана на пролеће 1980. године, од стране америчког Националног Бироа за Стандарде (енгл. „National Bureau for Standards – NBS“). У развоју иницијалне верзије стандарда, која је издата већ у јануару 1980. године, учествовало је неколико великих компанија, попут Боинга, Џенерал Елетрика, НАСА-е, итд.

Паралелно са развојем IGES-a, у Европи се појављује још неколико стандарда, који се развијају на националном нивоу:

- АЕСМА - развијан од стране компанија европске авиоиндустрије, из потребе размене информација међу произвођачима. Иако је имао интегрисане напредне функције (као што је нпр. приказ сложених површи), стандард је брзо избачен из употребе;
- VDA-FS, VDA-IS - немачки стандард, развијан за потребе аутоиндустрије, за размену информација о сложеним површинама и кривама, био је подсет IGES стандарда (није садржао све функције), на коме је и развијан и у себи је садржао информације о техничким цртежима, 2D и 3D геометрију, аналитичке и *free-form* површи;

- SET - француски стандард развијан од 1983. године за потребе националних произвођача, заснован је на основама IGES-a, и за његов развој били су заинтересоване француска авио и ауто индустрија. Верзија 1.1 представљена је међународној заједници, као покушај стандардизације на међународном нивоу.

Развој више стандарда који су се бавили истим проблемом, довео је до ситуације да се појавила потреба да се формира један стандард који ће их све заменити, и из тог разлога је одржан састанак 1984. године у IEEE (енгл. „Institute for Electrical and Electronics Engineers Coordinating Committee“), где је се дошло до идеје да се упореде сви стандарди (принцип на слици 3), и утврди се где се они преклапају у приказу информација, а где представљају искорак у односу на друге. Ово је представљало почетак развоја STEP-a, о коме ће више речи бити у следећем поглављу.



Слика 3: Концепт упоређивања стандарда и њихово усаглашавање

Иако су поједини неутрални формати за размену података јако дуго у употреби (IGES се користи од јануара 1980. године, када је објављен као стандард NBSIR 80-1978, од стране U.S. National Bureau of Standards), и данас је приметан убрзан развој неутралних формата, као резултат потребе за разменом података између различитих софтверских пакета. Постоје 2 основна разлога за напредак и развој у CAD технологијама за размену података:

- Потреба за олакшаном сарадњу између различитих CAD система, који су у употреби у великим компанијама;
- Потреба за повећаном поузданошћу у раду са дигиталним моделима, како би дозволили бољу визуелизацију, моделирање у датом окружењу, симулацију и анализу великих склопова, пре израде самог производа.

Друга ставка је уједно и био један од првих успеха „лаких“ неутралних формата за размену података (попут IGES-a и STEP-a), који су развојем компјутерског хардвера добили могућност употребе за приказ и анализу великих склопова и инжењерских система.

3. Еволуција STEP стандарда

Иницијативу за дефинисањем новог формата је покренула Међународна организација за стандарде (енгл. „International Standards Organization“) 1984. године, због потребе за развојем свеобухватног формата за електронску размену података о производу међу различитим PLM (енгл. „Product Lifecycle Management“) системима. Област употребе STEP формата је много шира од других формата за размену, преваходно од IGES-а, формата који се у тренутку развоја STEP-а користио већ око 5 година.

1984. године начињен је почетни напор како би се установио нови стандард. На састанку те године, затражено је од учесника самита да формулишу како би нови стандард требао да изгледа, на основу већ постојећих међународно препознатих стандарда, који би притом био компатибилан унапред, тј. чије би новије верзије биле компатибилне са ранијим верзијама стандарда и дата-процесора. Прва верзија предлога издата је у јулу 1984. године, у склопу PDES иницијативе (енгл. „Product Data Exchange Specification“), што ће представљати основу за развој STEP-а. Овај извештај је представљао теоријску вежбу - основу, како би требало изградити стандард за бележење информација о репрезентацији модела, при чему се требало фокусирати на 2 аспекта посла:

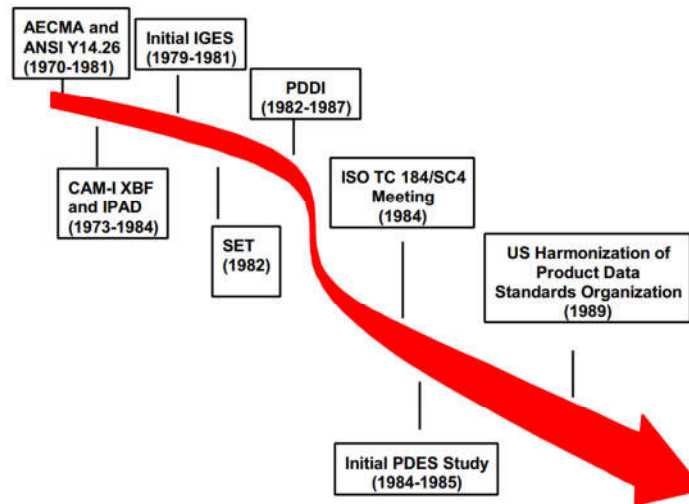
- на логичке информације које је стандардом потребно забележити и
- на физички механизам бележења и размене тих информација.

Иако се очекивало да ће овај рад резултирати новом верзијом IGES стандарда, он је уствари представљао основу за PDES, на коме ће радити ISO комитет, који ће касније бити одговоран за развој STEP стандарда.

У априлу исте године, због великих притисака у круговима компанијама електронске индустрије, дошло је до идеје о формирању организације за хармонизацију стандарда (HPS – енгл. „Harmonization of Product Data Exchange“). Задатак организације био је да упореди 4 прихваћена стандарда (IPC, IGES, IEEE, EIA), где се преклапају, а где су поједини испред других, и као резултат је дефинисана методологија и процес за хармонизацију тих стандарда; издата је прва верзија координисаног информационог модела ANSI/HPS-100. Предложен је следећи метод којим би се водио процес хармонизације, што је потицало из идеје тима који је радио на хармонизацији, да ће ново развијени стандард у себи обухватити сва 4, већ постојећа стандарда:

- Прикупљање постојећих концептуалних модела стандарда за репрезентацију података;
- Надзор и сортирање елемената постојећих стандарда, како би се утврдило који су елементи јединствени, а који се преклапају, при чему се елементи који се преклапају представљају генеричким, који покривају укључене стандарде;
- Тестирање преноса информација међу постојећим стандардима, применом усаглашеног генеричког модела и провера тачности пренетих информација;
- Хармонизација и развој модела, на основу резултата тестова;
- Стандардизовање успешно тестираних модела кроз STEP, и по потреби стандардизовање на националном нивоу;
- Прихваћене моделе начинити саставним делом STEP стандарда;

- Развој апликационих протокола за поједине области интересовања, на основу хармонизованих постојећих модела, а у складу са потребама индустрије.



Слика 4: Историјски развој неутралних стандарда

Чак и пре званичног објављивања резултата ANSI/HPS-100 модела, рад на IGES-у је показао шта је потребно за квалитетан развој стандарда:

- Тим сачињен од стручњака из различитих области (програмери, администратори база података, експерти из области рада, добављачи, тестери, модератори пројекта);
- Трениран и сталан тим људи који раде на развоју (без потребе за сталним до-обучавањем), са добрим лидером пројекта и дугорочном обавезом да на пројекту раде;
- Активна и честа комуникација чланова тима, како би се обезбедио стабилан проток информација;
- Познавање принципа информационог моделирања;
- Установљено је да стандард може бити брзо развијен, ако су услови одговарајући - да је тачно (и уско) дефинисана област стандарда, да су укључени само елементи за које је сигурно да су неопходни, да је радна група мала и добро повезана;
- Да захтеви који требају бити испуњени буду добро дефинисани и прецизни, како би се спречила или умањила слободна интерпретација о потребама за имплементацију стандарда;
- Да се дефинише методологија за тестирање усклађености са стандардом, што је потребно урадити што пре у самој фази развоја.

Највећи разлог зашто је идеја о развоју општеприхваћеног CAD стандарда наишла на толику подршку и одобравање је разумевање великих компанија да ће учествовањем у развоју повећати своје тржиште, и након што је кроз стандарде који су претходили STEP-у доказана сврсиходност ове акције, појавио се велики осећај потребе за формално стандардизованим методом за размену информација међу CAD системима.

У почетку развоја, разликовале су се иницијативе PDES и STEP, да би даљим развојем Product Data Exchange Specification постао Product Data Exchange using STEP, и једино су се 2 иницијативе разликовале унутар самог комитета који је радио на

њиховом развоју. Основа са којом се STEP развија је да у себи садржи све раније националне стандарде у оквиру једног заокруженог пакета, са идејом да се фокус помери са саме информације о моделу, на то шта представљена информација значи и у којој је релацији са другим информацијама о моделу.

Први састанак на тему развоја новог стандарда одржан је 11. јула 1984. године у склопу релевантног подкомитета за стандарде ISO TC184/SC4 (Technical committee 184, Sub Committee 4), са идејом да нови стандард обезбеди бележење информација о дигиталној репрезентацији модела у неутралном формату, без губитка комплетности и интегритета података, кроз читав животни циклус производа (део Резолуције 2 са тог састанка). Том приликом донето је неколико резолуција, од којих је најважнија горе наведена, а којом је одлучено да се бави новоснована IGES/PDES организација (IPO). Предложено је да PDES представља основу за развој STEP стандарда.

Основни проблеми којима се радна група бавила били су:

- формални програмски језик за опис модела;
- методологија за описивање података о производу.

Извештај, као резултат рада комитета, садржао је предлог да архитектура модела садржи 3 основне категорије модела (на слици 5):

- дисциплински модели - како су експерти из материје видели примену модела, развијани су за потребе примене у областима AEC производа: архитектуре, инжењерства и конструкције (Architecture/Engineering/Construction);
- ресурсни модели - представљају делове описа производа, који су коришћени од стране више дисциплинских модела, садрже геометрију, топологију, структуру производа, и друге моделе описа који су се бавили информацијама о производу;
- глобални модели - представљају неформални опис повезаности између дисциплинских модела и логичког нивоа, формираног од модела генеричких ресурса.



Слика 5: Архитектура иницијалног PDES предлога

Пошавши од чињеница да је модел репрезентација, тј. идеализација стварног феномена, а не сам феномен, и да представља његову поједностављену форму, а узимајући у обзир само оне аспекте феномена који су битни за његово представљање за одговарајућу намену, чланови комитета су се нашли пред проблемом да изаберу одговарајући моделски језик, који би обезбедио робусно предстаљање модела високе комплексности, као што су модели

рађени у STEP-у. Већина доступних моделских језика тог времена (ADM, ER, IDEF1X, NIAM) није била комплетна и/или није била у складу са потребама STEP-а. PDES организација предложила је употребу 2 различита моделска језика - NIAM и IDEF1X; такође почело се са развојем новог моделског језика, који је имао лексичку уместо графичке синтаксе (као код претходна 2) - моделског језика EXPRESS. Посматрано из угла различитих научних дисциплина, NIAM језик највише је одговарао АЕС моделима (Architectural / Engineering / Construction); IDEF1X је одговарао дисциплинама везаним за производњу, а EXPRESS за описивање топологије и геометрије ресурсних модела. Иако су велики утицај у правцу развоја стандарда од самог почетка имали извори финансирања и други спољни фактори, по многима, EXPRESS је сматран јединим избором, када је у питању лексички језик, који би био у стању да задовољи потребе прорачунавања адекватне репрезентације модела, на основу датих информација. EXPRESS је такође садржао способност дефинисања процедуралних ограничења, која није била пожељна, по мишљењу стручњака који се баве моделирањем информација. Оно што су учесници пројекта очекивали је да ће нови моделски језик бити у стању да развију у периоду од само пар година, што се на крају показало нетачним (прошло је 10 година од почетка рада на пројекту до ISO стандардизације). На крају, EXPRESS је еволуирао из језика McDonnell Douglas PDDI, који је представљао дериват PASCAL-а. У току развоја, дуже време је за потребе STEP-а у примени било више моделских језика паралелно, али је на крају прихваћена употреба EXPRESS-а, као моделског језика STEP-а.

Како је развој напредовао, дошло се до концепта IPIM-а (енгл. „Integrated Product Information Model“) - сви до тада постојећи информациони модели о производу превођени су у EXPRESS моделски језик и комбиновани у целину, из које би тим који ради на развоју могао да имплементира поједине моделе. Сваки од постојећих модела могао је да служи као ресурс за дефинисање другог, новог модела. Овакав приступ, приказан на слици 6, обезбедио је велику флексибилност тиму који је радио на развоју, али је захтевао велику пажњу у процесу интеграције, јер је постојала могућност да модели формирани на различитим основама послуже за описивање истог циља. Постојала је и могућност конфликта због ресурса који су имали исту функцију, а различито име или - исто име, а различиту функцију.



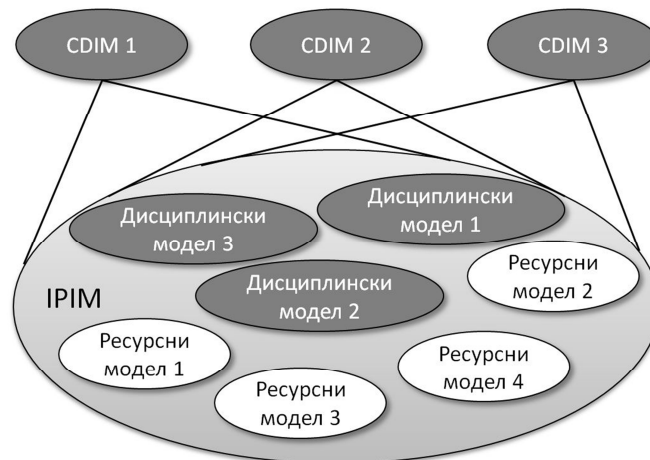
Слика 6: Принцип формирања модела на основу постојећег IPIM-а

За потребе превођења свих постојећих модела у IPIM, искоришћен је EXPRESS моделски језик, при чему је коришћена "замрзнута" верзија EXPRESS-а, како би се избегла ситуација да се нови модели развијају упоредо са развојем самог језика. На основу до тада одрађеног материјала, припремљена је прва некомплетна верзија

стандарда 1987. године, која је поднета ISO комитету као предлог, а која је у себи садржала:

1. Физичку структуру датотека (ISO TC 184/SC4/WG1 N279);
2. Мапирање начина превођења физичког модела у EXPRESS (ISO TC 184/SC4/WG1 N280);
3. Увод, област и опис STEP-а (ISO TC 184/SC4/WG1 N283);
4. Методе тестирања (ISO TC 184/SC4/WG1 N285);
5. EXPRESS моделски језик (ISO TC 184/SC4/WG1 N287);
6. IPIM (ISO TC 184/SC4/WG1 N284).

Поднети предлог је прихваћен као прелиминарна верзија новог стандарда, а до пуне, одобрене верзије проћи ће још 7 година. Убрзо након тога, одустало се од концепта IPIM-а, јер се показао као непрактичан за имплементирање, јер је долазило до преклапања појединих модела. Ово је водило ка концепту развоја CDIM-а (енгл. „Context Driven Integrated Models“), са улогом да се кроз CDIM-ове дефинишу корисни делови IPIM-а и изврши њихов даљи развој, имплементација и валидација. Концепт CDIM-а, приказан на слици 7, представљао је основу за каснију појаву и развој апликационих протокола, који ће постати основа модерног STEP стандарда. Са увођењем CDIM-а, почела се напуштати равна структура, која је била заступљена кроз концепт јединственог ентитета IPIM-а. Први развијени CDIM, покривао је област размене података о 3D моделу производа у конфигурацијом контролисаној средини, и касније се развио у један од прва 2 апликациона протокола - AP-203 (ISO 10303-203:1994).



Слика 7: Концепт CDIM-а

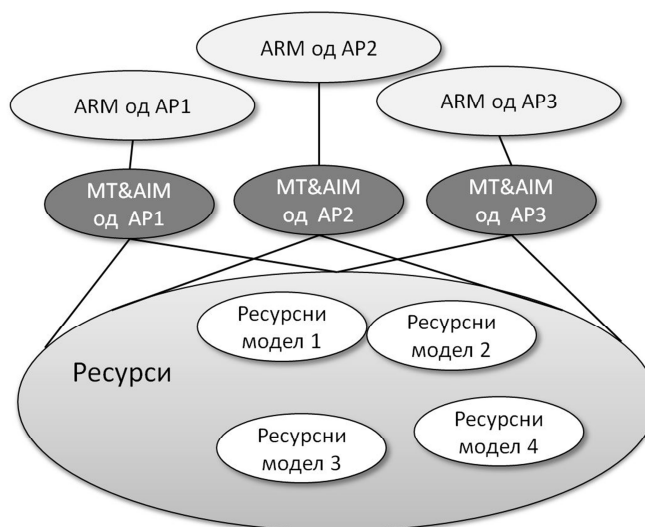
У даљем развоју стандарда, 1988. године, први пут се помиње концепт апликационог профила (енгл. „Application Profile“), који је касније преименован у апликациони протокол (енгл. „Application Protocol“). Сврха му је дефинисана тако да:

1. Конкретно дефинише информације неопходне за одређену намену модела;
2. Дефинише метод размене информација за ту намену и
3. Пружи основне принципе за тестирање усађености са стандардом.

Прихватање концепта апликационих протокола, приказаног на слици 8, променило је саму основу архитектуре која је дефинисана на почетку пројекта, формирајући

основу за робустнији стандард, и боље разумевање елемената који се налазе у склопу стандарда.

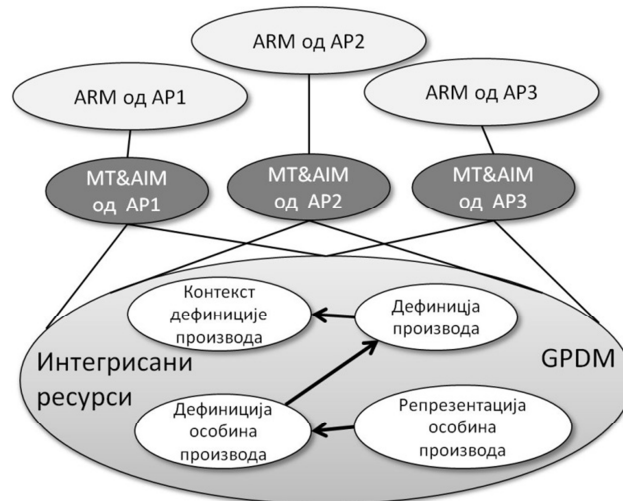
Појава апликационог протокола изазвала је потребу за креирањем апликационог референтног модела - ARM (енгл. „Application Reference Model“), којим су јасно дефинисани модели са тачно одређеним областима употребе и функционалним захтевима, према сваком појединачном апликационом протоколу. ARM представља генерички модел који пружа захтевану функционалност апликационог протокола. За дефинисање везе између AP и ARM користе се табеле за мапирање - MT (енгл. „Mapping Tables“) и апликацијом интерпретирани модели AIM (енгл. „Application Interpreted Model“), који пружају формалан опис мапирања између ARM-а и ресурсних модела. Методологија апликационих протокола се базира на експлицитним и добро документованим елементима потребним за поједини апликациони протокол, из чега се појавио проблем да ресурсни модели из IPIM-а могу да представе исте информације на више алтернативних начина, па је као решење одлучено да сваки AP треба да има развијен јединствени начин формирања свог референтног модела.



Слика 8: Концепт употребе апликационих протокола

Приступило се развоју модела за планирање, са функцијом да се боље дефинишу област и природа потреба генеричких информација, али и да се анализирају потенцијални ресурсни модели, како би се идентификовале јаке и слабе тачке и дефинисао план развоја у будућности. Формирани модел је креиран по принципу "top-down" (од врха на доле), насупротив генералном приступу рада у развоју STEP-а - "bottom-up". Као резултат рада, настао је GPDM (енгл. „Generic Data Product Model“), који је пружио структуру за моделе који су служили као ресурси за апликационе протоколе; ови модели ће бити интегрисани у оно што ће касније постати познато као интегрисани ресурси - IR (енгл. „Integrated Resources“).

Као компоненте апликационог протокола, AIM формално описује интерпретацију генеричких информација о производу, у контексту одређене примене, користећи ресурсе нижег нивоа кроз GPDM. Апликациони референтни модел има приступ GPDM-у кроз табеле мапирања и AIM, као на графику, на слици 9.



Слика 9: Примена GPDM-а

Захваљујући подршци великих компанија, које препознају значај развоја STEP-а, долази до убрзаног напретка у радовима и у јуну 1990. године формирана је прва верзија STEP-а, која је у себи садржала:

1. Преглед стандарда (ISO 10303-1);
2. EXPRESS (ISO 10303-11);
3. Физичку репрезентацију података ((ISO 10303-21);
4. Методе тестирања усаглашености (ISO 10303-31);
5. GPDM (ISO 10303-41);
6. Предстаљање облика ((ISO 10303-42);
7. Презентацију (ISO 10303-46);
8. Скицирање (ISO 10303-101);
9. Предлог једног или више апликационих протокола, као приоритет је предложен AP ISO 10303-201 - експлицитно скицирање.

Као приоритет, придодат је развој апликационог протокола AP-203 (3D моделирање моделских форми и склопова), из разлога већ постојеће подршке ове функције у другим међународним стандардима, што је успорили или потпуно привремено зауставило рад на другим апликационим протоколима

Почетком 1993. године, иницијално издање STEP-а је послато на одобравање, а одобрено је у децембру 1994. године, као стандард ISO 10303:1994 - Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange, након 10 година рада релевантног подкомитета за стандарде. Велики део посла односио се на развој инфраструктуре формата, који ће омогућити да он остане “fp” (енгл. “future proof”) у наредном периоду.

Прва верзија STEP формата је имала неколико недостатака, који су исправљени од стране Међународне организације за стандарде, кроз листу грешака (енгл. „Technical Corrigendum“), издату наредне године, тако да постоји и верзија стандарда ISO 10303-21:1995 (са корекцијама). Последња верзија, која је данас у употреби, је ISO 10303-21:2002, која укључује све исправке и екстензију за присуство више секција података.

Могућности STEP-а покривају потребе различитих грана индустрије (архитектура, грађевинарство, авио, ауто, електроиндустрија, процесне фабрике и бродоградња) које су заузврат активно подржавале развој овог стандарда.

4. Дефиниција STEP формата

"The overall objective of STEP is to provide a mechanism that describes a complete and unambiguous product definition throughout the lifecycle of a product, independent of any computer system" [1].

„STEP (енгл. „STandard for the Exchange of Product model data“) је ISO стандард (ISO 10303) за размену података о производима и процесима чија је улога обезбеђивање подршке аутоматизацији пројектовања у индустријском окружењу” [3]. То је репрезентација информација, са свим неопходним механизмима и дефиницијама, са улогом да омогући размену података о производу/процесу. Све информације садржане у STEP датотеци (дизајн, процес израде, коришћење, одржавање, уклањање из употребе, итд.), генерисане у процесу извоза из употребљеног софтверског система, могу бити употребљене у различите сврхе, при чему компјутерски системи могу бити на различитим локацијама, али циљ остаје исти – информације морају бити у формату који ће гарантовати да оне буду протумачене комплетно и једнако, независно од употребљеног CAD/CAM система.

Један од примера употребе STEP стандарда је у аутомобилској индустрији. Узмимо за пример израду блока мотора аутомобила, за чију је израду задужен дизајнер из матичне компаније, радећи у њему доступном, комерцијалном CAD софтверском систему. CAD репрезентација модела блока је специфична за тај систем и његовог издавача, али такође систем садржи и STEP излазни модул, који репрезентацију модела "преводи" у неутрални STEP формат - Part 21 физички документ STEP-а, користећи одговарајући апликациони протокол (AP 203) и класу усаглашености. У неутралном формату, информација се шаље инжењеру компаније подизвођача, који користећи други CAD систем, који такође има имплементирану подршку за исти апликациони протокол, врши читање и превођење послатих информација, у CAD специфични формат и репрезентацију послатог дизајна блока мотора. Такође, могућ је и повратан ток информација, истим принципом, уколико производни инжењер жели да предложи дизајнеру неко друго дизајнерско решење за израду блока, у складу са могућностима производног процеса.

Приликом развоја STEP стандарда (ISO 10303:1994) кренуло се са следећим претпоставкама:

1. Област употребе STEP-а обухвата све информације о производу из било ког степена развоја производа у било којој индустрији;
2. STEP ће подржавати потпуну и јасну размену података о производу међу апликационим системима;
3. STEP ће подржавати потпуно и јасно чување података;
4. STEP ће подржавати дељење података међу апликационим системима;
5. STEP ће пружити унапређену поузданост и ефикасност у односу на друге стандарде;
6. STEP ће подржавати компатибилност имплементације унапред и уназад (енгл. "upward and downward"); биће у стању да се развија и мора бити у стању да подржи измене;
7. Неопходна је гарантована компатибилност са другим стандардима;
8. Имплементацију STEP-а ће бити могуће тестирати, како би се гарантовало прихватање стандарда од стране корисника.

Као што је већ наглашено, STEP би требао да подржава размену и дељење података и њихово архивирање.

Размена података (engl. "Data exchange") је трансфер података између 2 апликације, при чему је STEP-ом дефинисан формат података о производу који се пребацују, при чему свака апликација у свом формату држи своју копију података који се пребацују.

Дељење података (енгл. „Data sharing“) подразумева приступ и рад на једној копији истих података о производу, од стране више апликација, паралелно. STEP је дизајниран са идејом да омогући интерфејсом истовремени рад на подацима од стране више апликација.

Чување података (енгл. „Data archiving“) представља дугорочно чување података, а као неутралан формат, STEP је адекватан алат за ову намену. Као што ће касније бити речи, (компресовани) STEP предстаља и уштеду у простору при архивирању података. Такође, структурни елементи STEP-а могу да подрже даљи развој самог производа.

Постављањем основних постулата STEP-а, организација која се бави његовим развојем закључила је да је област примене стандарда огромна, и да као такав, нигде неће бити имплементиран у целости, па је пожељно да се стандард подели у мање делове, који би појединачно могли бити смислено и сврхисходно имплементирани, не губећи потребну функционалност и садржавајући само најнеопходније елементе за предвиђену намену, тј апликацију. Сам концепт појединачних сегмената STEP-а развијао се у складу са потребама индустрија које га користе.

Приликом постављања основа стандарда, дефинисано је да је потребно радвојити дефинисање података од процеса њихове размене, као и од моделског језика у употреби, како би се могло гарантовати успешан развој процеса чувања, дељења и размене података. Раздвајање спецификације података од метода имплементације има 2 предности:

1. Спецификација података може бити проширена без потребе да се промени метод имплементације;
2. Једна спецификација података о производу може бити употребљена са више различитих метода имплементације.

STEP стандард има структуру на 3 нивоа:

- Ниво апликације - представља везу између корисника и STEP модела и садржи све информације и опис области на које се модел односи;
- Логички ниво – улога му је да да опис података у складу са предефинисаном структуром података који се размењују, како би процес размене података био независан од CAD система који се користи;
- Физички ниво – улога му је да дефинише адекватне структуре и формат података неопходних за креирање датотеке за размену, на ефикасан и брз начин.

Основна разлика између STEP-а и других најчешће коришћених формата (нпр. IGES) је у томе што они као основну информациону целину имају ентитет, док је основна информациона целина STEP-а софтверска апликација, која у себи садржи различите врсте ентитета. На тај начин, размена података се изводи на нивоу апликација, задржавајући висок ниво асоцијативности и међусобних веза у ентитетима.

Основна методологија STEP-а се огледа у модуларној структури, тј. отвореној архитектури, што омогућава високу флексибилност и могућност доградње и усавршавања постојећих модела, уколико се за то укаже потреба. У употреби су бројни модели који припадају различитим „дисциплинама“ или „шемама“ (машински производи, електро производи, бродоградња, аутоиндустрија итд.), при чему су све дисциплине стандардизоване појединачним подстандардима.

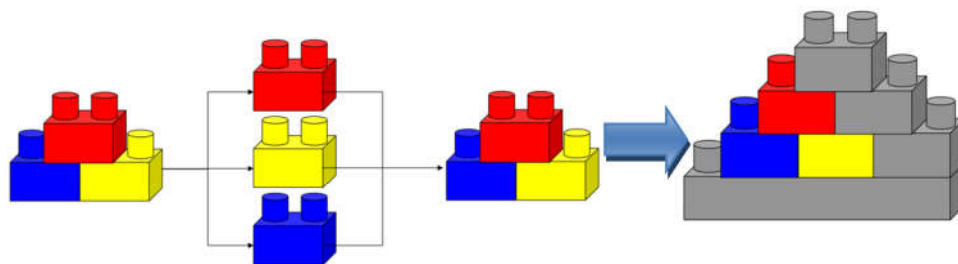
За разлику од другог најчешће употребљаваног стандарда, IGES-a, STEP стандард садржи све информације из животног циклуса производа – конструкционе податке, податке о производном циклусу, квалитету, толеранцијама и анализама производа.

STEP је настао пратећи успех претходно употребљаваних неутралних формата *IGES*, *SET* и *VDAFS*. Идеја иза развоја STEP формата била је да се дефинише стандард који ће у потпуности бити могуће интерпретирати од стране изабраног CAD/CAM софтвера, тј. све садржане информације ће аутоматски бити препознате и обрађене, без потребе за интервенцијом корисника, на тај начин избегавајући утицај људског фактора (и последично људске грешке).

STEP и други неутрални формати представљају компјутерски разумљиве податке о производу и циљ постојања ових формата је да пружи неутралан механизам способан за описивање производа кроз његов животи циклус и размену података између међусобно некомпатибилних CAD софтвера, али такође представља и основу за имплементирање, дељење и архивирање датотека производа.

Неке од главних карактеристика STEP формата, по којима је данас и највише познат у круговима корисника, су:

- STEP је 2D/3D формат за пренос, дељење и архивирање података;
- STEP стандард се и данас развија и усавршава, како налази нове примене;
- Као неутралан формат, STEP је подржан од стране свих већих CAD софтвера тренутно у употреби;
- Способан је да чува податке о запреминским моделима, као и о геометријским површима, и врло је поуздан када се врши трансфер једноставних модела;
- Постоје различити апликациони протоколи за различиту врсту намена (*AP203* - за опште 3D моделе, *AP214* - подаци који се користе за дизајн у ауто и авиоиндустрији, итд.);
- Појединачни делови у моделу су груписани у подсклопове и склопове, и приликом конверзије у неутрални STEP формат велики склопови се деле у појединачне STEP документе, који се потом поново комбинују у CAD систему у коме се врши увоз склопа из STEP-а. Поново формирани склопови могу се као такви учинити подсклопом другог већег склопа (приказано на слици 10);



Слика 10: Прекомпоновање приликом конверзије "CAD систем 1" → STEP → "CAD систем 2" и уградња у други склоп

- Почетни дизајн модела се ради у изабраном CAD систему, али различити системи нуде различит ниво функционалности, што омогућава трансфер 3D геометрија у између конкурентских софтверских пакета;
- Већина преводаца модерних CAD система нуди добру подршку за STEP, што даје могућност кориснику да проблем лоше конверзије модела реши комбиновањем различитих софтвера;

- Други шире заступљени модели нису у стању да изврше конверзију сложених облика, без већих губитака у величини датотеке, јер се величина документа несразмерно повећава појавом комплексније геометрије модела.
- Најновији STEP формат је уназад компатибилан са старијим верзијама, што га чини савршеним за архивирање;
- Као врло робустан формат, STEP представља најчешћи избор у великим производним системима, где се комбинују софтвери са различитим могућностима за приказ и анализу модела и дефинисање производног процеса, и као основни формат у употреби елиминише потребу за сталном конверзијом међу различитим форматима (компатибилним са специфичним софтверима), олакшавајући проверу уклапања у главном склопу и смањујући трошкове конструисања.

Поред STEP-а, и данас су у употреби још неки неутрални формати:

- IGES - стандард који је прихваћен раније за 2D и 3D жичане моделе и размену површинске геометрије;
- ACIS - 3D формат сличан STEP-у, али са мањом подршком CAD софтвера;
- VRML - 3D формат намењен визуелизацији;
- DXF - формат за размену 2D цртежа и 3D модела за AutoCAD софтвер.

Обзиром на обим стандарда, STEP је подељен на мање, појединачно независне целине - апликационе протоколе. Они су дефинисани у складу са потребама појединих грана у којима се примењују (нпр. аутоиндустрија, бродоградња, процеси производње), и у склопу једног протокола налазе се само они неопходни подаци о моделу/процесу за ту одређену примену.

STEP апликациони протокол који је у почетку био највише у употреби је AP 203 (ISO 10303-203), и по функцији је најсличнији IGES стандарду, тј. служи за трансфер геометријског модела производа, информације о склопу и генералне информације о конфигурацији (верзија дела, ауторска права итд.). Овај, и други апликациони протоколи дефинисани су кроз класе усаглашености (енгл. „Conformance Classes”), које представљају подсетове целог садржаја појединачног апликационог протокола, који у целости морају бити имплементирани од стране STEP преводиоца, како би преводилац био у складу са стандардом и процес преводјења извео тачно. Већина компанија која се бави развојем CAD софтвера има STEP преводиоце који су у складу са бар једном класом усаглашености (најчешће CC1 за AP 203), а најчешће са комбинацијом 2 или више класа.

Данас је највише у употреби AP 214 – “Core data for automotive mechanical design processes”, који има знатно ширу примену од AP 203, па тако садржи и податке о производним алатима и плановима за стандардне производне методе, стандардне каталоге делова, податке о толеранцијама, техничке цртеже, NC кôд и кинематске податке потребне за симулацију израде. Произвођачи софтвера прилагођавају постојеће преводиоце, направљене за раније дефинисане апликационе протоколе (као нпр. AP 203), усклађујући их са новоуведеним класама усаглашености.

Као што је раније речено, STEP формат има примену, сем у преношењу информација које се тичу самог модела, и у целом производном циклусу (од идеје до реализације производа и производног процеса), па су из тог разлога развијани појединачни апликациони протоколи, који служе и за пренос података из CAD у CAM системе. Процес креирања NC кôда захтева да моделска форма коју CAM систем добије из CAD система буде без грешака и недоследности, које су могле да настану у

процесу превођења информација. Из тог разлога, размена података мора бити подржана и одговарајућим пратећим алатима за идентификацију и корекцију тих грешака. Ови алати се најчешће налазе у склопу самих САМ софтверских решења. У модерном PLM окружењу, размена података између CAD и САМ система мора, сем трансфера геометрије модела, да омогући и трансфер података о процесу израде (енгл. “Product Manufacturing Information”), на релацији дизајнер – технолог или обрнуто. Из тог разлога, развијени су посебни апликациони протоколи са овом наменом (нпр. STEP-NC AP 238 – CAD, САМ и NC подаци о процесу машинирања).

5. Структура STEP стандарда и апликационих протокола

STEP формат покрива велики распон различитих типова производа (електронске производе, електро-механичке, бродоградњу, производне фабрике итд.), али и целокупне производне циклусе (од дизајна производа до његове израде и уклањања из употребе). Списак се ажурира, како се и сам стандард унапређује, а сваки од покривених стандарда се означава посебном ознаком ISO 10303-XXX (приказаним на слици 10), где је XXX ознака специфичног подстандарда. Сваки од делова је уједно и део главног ISO 10303 стандарда и његов је зависан део. Свака од појединачних примена STEP-а је дефинисан као појединачни AP (енгл. „Application Protocol”), па су тако данас неки од протокола у употреби:

- AP 201 – експлицитно скицирање (енгл. “explicit drafting”);
- AP 202 – асоцијативно скицирање (енгл. „associative drafting”);
- AP 203 – механички CAD системи;
- AP 207 – планирање и дизајн пресерских алата за лимове;
- AP 210 – монтажа, повезивање и паковање електро и електронских компонената и инсталација;
- AP 212 – дизајн и инсталација електротехничких компонената.

Потреба за модуларизацијом STEP стандарда се јавила из следећих разлога:

- како би се смањили високи трошкови развоја нових апликационог протокола;
- како би се повећала могућност употребе делова већ постојећих апликационих протокола, или да би се повећала употребљивост постојећег протокола, имплементацијом нових карактеристика, у складу са пословним потребама;
- како би се осигурала повећана употребљивост већ постојећих делова стандарда појединачног апликационог протокола у новом апликационом протоколу, истих или сличних карактеристика;
- како би се избегло креирање додатне идентичне документације базиране на карактеристикама које одговарају једном или више апликационих протокола;
- како би се осигурала могућност поновне употребе података развијених за један апликациони протокол у неком, каснијем, развоју других протокола.



Слика 11: Нумерација делова ISO 10303 стандарда

Нумерација делова стандарда (ISO 10303-XXX, на слици 11) је донекле комплексна и правило које се прати је следеће:

- „01X” се односи на дефинисане ресурсе;
- „02X” се односи на методе имплементације;
- “03X” се односи на валидацију преводилаца (енгл. “translators”) и усклађеност са стандардом;
- „04X”-“09X” садржи интегрисане генеричке ресурсе - GR (енгл. „Generic Resources”);
- „1XX” се односи на интегрисане апликационе ресурсе - AR (енгл. „Application Resources”);
- “2XX” се односи на апликационе протоколе – AP (енгл. “Application Protocol”);
- “5XX” се односи на апликацијом интерпретиране конструкције – AIC (енгл. „Application Interpreted Construct”);
- "1XXX" се односи на апликационе модуле - AM (енгл. "Application Module").

Архитектура STEP докумената



Слика 12: STEP архитектура

STEP архитектура, приказана на слици 12, има 4 најважнија дела:

- Методe описивања (енгл. „Description methods”);
- Методe имплементације (енгл. „Implementation Methods”);
- Тестирање усаглашености са стандардом (енгл. „Conformance testing”);
- Спецификацију података који се архивирају и размењују (енгл. „Data Specification”).

Методe описивања представљају прву значајну компоненту STEP-а. То су заједнички механизми за дефинисање конструкције података о производу, и садрже формалну спецификацију моделског језика развијеног за STEP - EXPRESS-а и EXPRESS-G-а. Сем тога, садрже и графичку форму тог језика, принципе инстанцирања EXPRESS модела, и принципе мапирања језика. Методe описивања су дефинисане кроз ISO 10303-10. Приступ, да је за потребе STEP стандарда развијен нов моделски језик,

је крајње иновативан приступ стандардном развоју, а о квалитету развијеног језика говори и чињеница да је нашао примену и ван ISO 10303 стандарда.

Методе имплементације - Implementation Methods (IM) представљају другу значајну компоненту стандарда, представљајући стандардне технике имплементације информационе структуре, одређене од стране одређеног апликационог протокола. STEP имплементациони метод дефинише начин на који је конструкција података одређена користећи STEP методе описивања мапиране у том методу. Ова компонента у себи садржи структуру физичког документа за размену података, дефиницију интерфејса за приступ подацима и начин повезивања са EXPRESS-ом. Методи имплементације дефинисани су ISO 10303-20 серијом делова. Један пример је “SDAI” (енгл. „Standard Data Access Interface”), којим се дефинише принцип за размену података дефинисаних у EXPRESS програмском језику са апликацијама урађеним у другим програмским језицима (C, C++, Fortran).

Приступ да се методи описивања и методи имплементације раздвоје не представља типичан приступ, али у теорији треба да пружи могућност компатибилности са новијим/старијим верзијама приликом имплементације STEP-а, иако не представља једини ограничавајући фактор.

Тестирање усклађености - Conformance testing (дефинисано кроз ISO 10303-30) је трећа битна компонента стандарда, и у склопу њега налазе се методологија и оквири тестирања, као и апстрактни (лабораторијски) тестови. Ова компонента даје тачно дефинисане оквири за тестирање усклађености и друге врсте тестирања, дефинишући како се извршава тестирање имплементација различитих STEP делова стандарда. Апстрактни тестови (енгл. „Abstract Test Suites”) садрже скуп лабораторијских тестова потребних за успешно имплементирање одређеног STEP апликационог протокола. Сваки од тестова дефинише које информације је потребно пружити за имплементацију током тестирања, као и начин на који те информације треба да се искористе за процену способности имплементације. Квалитетним дефинисањем метода тестирања, даје се подршка даљем успешном развоју дата-процесора, а успешном имплементацијом очекује се размена података без губитка информација.



Слика 13: Структура спецификације података

Спецификација података (слика 13) представља последњу, најбитнију компоненту стандарда, дефинисану кроз:

- Апликационе протоколе (енгл. „Application Protocols“);
- Апликацијом интегрисане конструкције (енгл. „Application Integrated Constructs“);
- Апликационе ресурсе (енгл. „Application Resources“);
- Генеричке ресурсе (енгл. „Generic Resources“).

Интегрисани ресурси су основни градивни елементи са функцијом описивања производа у било којој фази употребе или развоја. Интегрисани ресурси чине колекцију модела дефинисаних у EXPRESS програмском језику, и представљају крајњи скуп ентитета чије инстанце имају примену у STEP документима и базама података. Они заједно чине јединствен, концептуалан модел података о производу. Иако се интегрисани ресурси користе као основа за развијање апликационих протокола, они се не имплементирају појединачно, већ представљају компоненте чијим се комбиновањем и усавршавањем усклађују са планираним моделом. Интегрисани ресурси се састоје из 3 серије делова:

- Генерички ресурси (енгл. „Generic Resources“);
- Апликациони ресурси (енгл. „Application Resources“) и
- Генерички ресурси усвојени из других ISO стандарда.

Прва два типа ресурса имају сличну намену и форму, да служе као основа за развој апликационих протокола, у различитим врстама примене, и као такви представљају контекстно и апликационо независне стандарде спецификације података.

Генерички ресурси су основа за употребу различитих апликација (тј. апликационих протокола) и дефинисани су серијом стандарда ISO 10303-„04X“ и покривају следеће области:

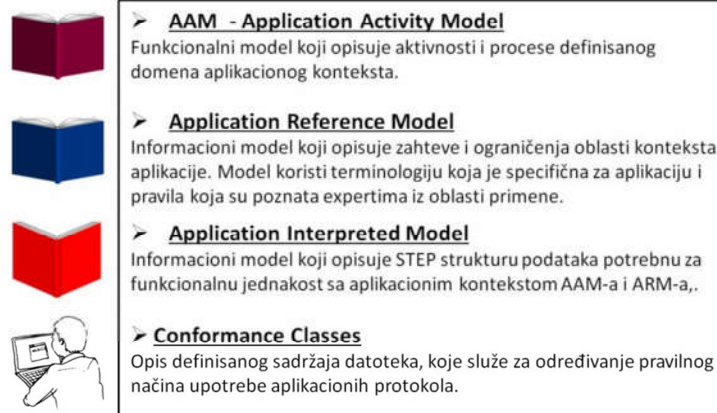
- Опис производа и подршку (ISO 10303-41);
- Геометријски и тополошки опис производа (ISO 10303-42);
- Репрезентацију структуре производа (ISO 10303-43);
- Конфигурацију структуре производа (ISO 10303-44);
- Опис материјала (ISO 10303-45);
- Визуелну презентацију производа (ISO 10303-46);
- Толеранције мера (ISO 10303-47) и
- Структуру процеса и приоритете.

Апликациони (интегрисани) ресурси су концепти података за одређену намену (апликацију), који својом основом подржавају заједничке потребе више сродних апликационих протокола. Неки од примера апликационих ресурса су ревизија техничких цртежа, котирање и сл., и они се могу применити у свим апликационим протоколима који укључују употребу техничких цртежа.

Генерички и апликациони ресурси представљају основу STEP апликационих протокола, и идеја напретка стандарда је паралелан равој интегрисаних ресурса са порастом потреба нових апликационих протокола.

Генерички ресурси усвојени из других ISO стандарда су 2 усвојена ресурса: аритметика и алгебарски изрази (Part 20 из ISO 13584) и време (Part 40 из ISO 15531), са функцијом основног описивања података о производу,

Sadržaj Aplikacionog Protokola



Слика 14: Структура апликационог протокола

Апликациони протокол (чија је структура приказана на слици 14) представља централну компоненту за имплементацију STEP стандарда за одређену намену. У себи садржи одговарајући EXPRESS модел који задовољава потребе информација за специфичну улогу података који се користе, користећи један или више метода имплементације. Структура стандарда је развијена тако да подржава даљи развој апликационих протокола.

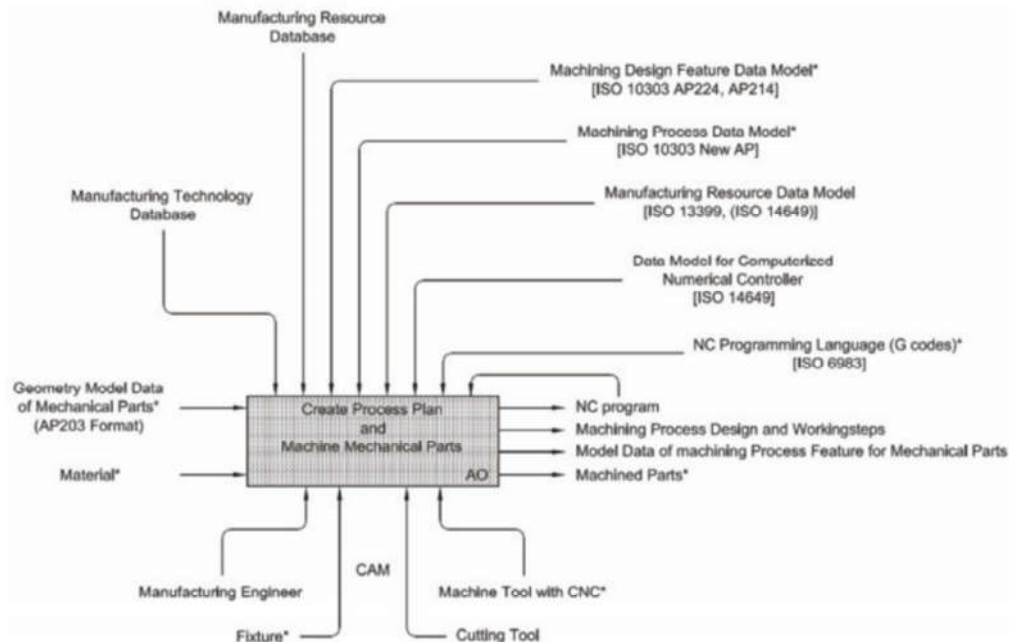
Када је концепт апликационог протокола први пут уведен, AP је имао 3 основне градивне јединице:

- Application Activity Model (AAM) - модел тока активности и података кроз апликацију;
- Application Reference Model (ARM) - модел (структура) података потребна за одређену апликацију и
- Application Interpreted Model (AIM) - метод превођења података из ARM-а у систем у који се врши имплементација STEP-а, употребом интегрисаних ресурса.

Даљим развојем, у употребу су ушла још 3 врсте делова, како би се успешно модуларизовао стандард:

- Unif Of Functionality (UOF) - сет ентитета и повезаних конструкција из ARM, који обављају једну или сет повезаних функција;
- Application Interpreted Construct (AIC) - представља интерпретацију UOF-а употребом интегрисаних ресурса;
- Application Module (AM) - представља "минијатурни" апликациони протокол.

Апликациони модел активности - Application Activity Model (AIM), приказан на слици 14, представља основу за развој новог апликационог протокола, приказујући модел активности и токова података које протокол треба да покрије, графичком методом, дефинисаном IDEF0 језиком, где су активности приказане квадратима, а размењени подаци, токови и ограничења се означавају стрелицама. Основни модел се усавршава и свака од активности се детаљније дефинише. Током развоја, број стрелица се смањује и фокус се помера на оне које остану у предложеном моделу, који служи као основа за грађење ARM-а. Изградњом ARM-а, AAM више нема функцију.



Слика 15: Пример Application Activity Model-a

Апликациони референтни модел - Application Reference Model (ARM) представља модел података који је неопходан за одређену апликацију, тј. намену. ARM је дефинисан терминологијом области примене (апликације), тако да га особље које ради на развоју модела може разумети. Сам модел се најчешће развија од стране експерата из одређеног поља примене, који доносе одлуку који ентитети (ресурси) треба да уђу у модел, као и који би њихови атрибути требали да буду. Опис модела се ради у EXPRESS, EXPRESS-G или IDEF1X моделском језику.

Апликацијом интерпретирани модел - Application Interpreted Model (AIM) је компонента апликационог протокола која чини основни информациони модел за имплементирање, дефинисан у EXPRESS програмском језику. Кодирање се извршава кроз табеле мапирања (mapping tables), формат који је формално дефинисан и заједнички за цео STEP стандард. Процес кодирања најчешће одрађује експерт из STEP-a, пошто су за успешно кодирање потребни добро знање базе интегрисаних ресурса, формата табела за мапирање и стратегија мапирања. Мањи број апликационих протокола у својој основи има ARM, и ови апликациони протоколи су разумљиви експертима из области које покривају, јер је мапирање директно. Један од примера је AP 203. Остали апликациони протоколи у основи користе кодирање ентитетима из Part 41, дефинишући кроз EXPRESS изразе атрибуте генеричким ентитетима, како би имали одређене вредности. Још једна од предности употребе ARM-a је што Part 21 израђен његовом употребом заузима 5 до 10 пута мање простора од истог модела урађеног употребом AIM-a.

Функционална јединица - Unit of Functionality (UOF) представља подкомпоненту апликационог референтног модела једног апликационог протокола, која у себи садржи ентитете и повезане елементе конструкције, који заједно подржавају неку одређену функционалност. Више апликационих протокола израђено је експлицитном употребом UOF-a, као нпр. AP 240, који садржи 11 функционалних јединица (неке од њих су: design_exception, administrative, library_reference, manufacturing_machine_tool_resources).

Апликацијом интерпретирана конструкција - Application Interpreted Construct (AIC) представља спецификацију података (структуру и семантику) која задовољава потребе описа производа више (сродних) апликационих протокола. AIC је интерпретација функционалне јединице (UOF-а) употребом STEP интегрисаних ресурса. Конструкција се развија на основу потреба два или више апликационих протокола, чијим се упоређивањем спецификација долази до заједничке функционалне основе, на основу које се формира стандардизован AIC. Новоразвијен AIC се касније може применити за потребе нових апликационих протокола са истом/сличном основом, што представља и основу за употребу истих дата-процесора у процесу превођења. На основу формиране библиотеке спецификација, у даљем развоју нових протокола долази до уштеде у времену и уложеним средствима, користећи већ дефинисану стандарду спецификацију, чиме се смањило обим документације, и повећала усклађеност међу различитим апликационим протоколима, базираним на истим основама. AIC су дефинисани кроз ISO 10303-"5XX" серију стандарда. Већина AIC-а данас је достигла ниво међународног стандарда (у употреби су AIC 10303:501 до 10303:523) и приказани су у Табели 1.

Табела 1: Преглед апликацијом интерпретираних конструкција (AIC)

Ознака	Опис	Ознака	Опис
10303-501	Edge-based wireframe	10303-512	Faceted boundary representation
10303-502	Shell-based wireframe	10303-513	Elementary boundary representation
10303-503	Geometrically bounded 2D wireframe	10303-514	Advanced boundary representation
10303-504	Draughting annotation	10303-515	Constructive solid geometry
10303-505	Drawing structure and administration	10303-517	Mec. design geometric presentation
10303-506	Draughting elements	10303-518	Mec. design shaded presentation
10303-507	Geometrically bounded surface	10303-519	Geometric tolerances
10303-508	Non-manifold surface	10303-520	Associative draughting elements
10303-509	Manifold surface	10303-521	Manifold subsurface
10303-510	Geometrically bounded wireframe	10303-522	Machining features
10303-511	Topologically bounded surface	10303-523	Curve swept solid

Апликациони модул - Application Module (AM) представља кључну компоненту модуларизације иницијалне STEP архитектуре. AM се може упоредити са минијатурним апликационим протоколом, који садржи само део функционалности целог протокола. У структури апликационог модула, постоји одговарајућа референца, која би одговарала ARM-у на нивоу апликационог протокола - модулом интегрисани модел (MIM - енгл. „Module Integrated Model“). MIM представља интерпретацију ARM-а, користећи STEP интегрисане ресурсе. Дobar пример употребе апликационих модула је AP 203, који се састоји из 75 модула. До сада је дефинисано неколико стотина апликационих модула, који се нумерисани као ISO 10303-"1XXX". Апликациони модули се стандардизују као техничке спецификације, како би се умањило напор и време потребни за усвајање новог ISO стандарда.

Апликациони модули садрже добар део техничког садржаја који се у почетној STEP структури налазио у склопу једном апликационог протокола, чија се сврха у новој структури сада помера ка пословној намени у индустријској примени и имплементацији апликационих модула.

Постоје три основна типа апликационих модула:

- основни модули (енгл. "foundation modules") - пружају основну структуру нижег нивоа, која се може груписати у веће структуре ради имплементације (не имплементира се самостално);

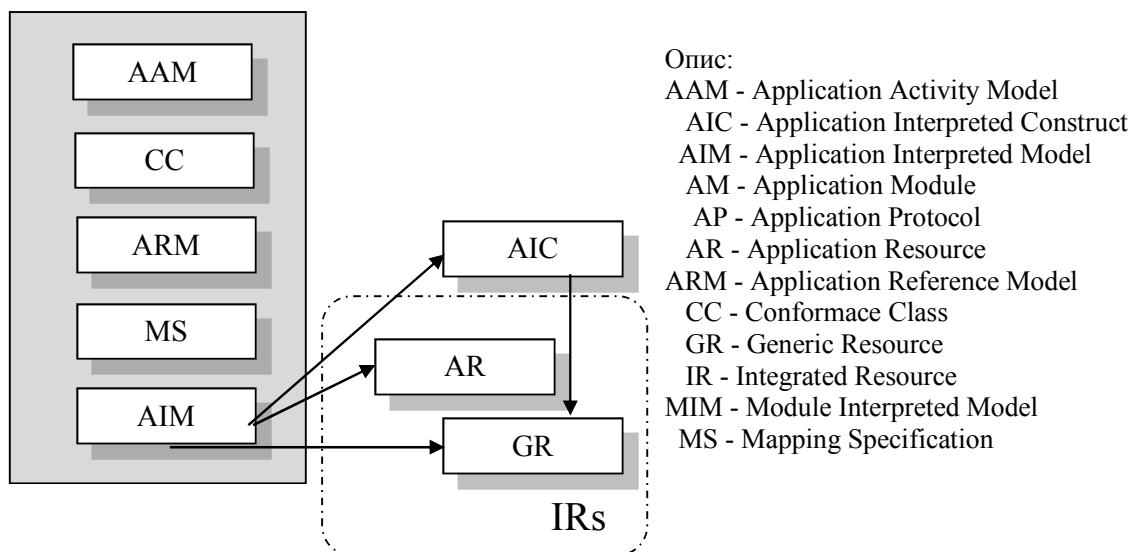
- модули за имплементирање (енгл. "implementation modules") - могу се имплементирати самостално и у оквиру њих могу бити дефинисане различите класе усаглашености (CC – енгл. "conformance classes") и
- AP модули - идентични су имплементационим модулима, разликују се само називом и врстом, при чему један апликациони протокол може користити AP модул другог апликационог протокола.

Апликациони протоколи у себи садрже класе усаглашености - Conformance Classes (CC) - дефинисани подсет апликационог протокола, које се може смислено имплементирати и као такав послужити као основа за тестирање усклађености са стандардом. Сваки апликациони протокол у себи може садржати једну или више класа усаглашености, који се могу имплементирати тако да у потпуности задовоље потребе за одређену намену, без потребе за имплементацијом целог AP-а. О разумевању класа усаглашености ће више речи бити у наредном поглављу, посвећеном појединим апликационим протоколима и њиховим класама. Спецификација класе усаглашености се састоји из списка или описа ентитета и повезаних конструктивних елемената у апликацијом интерпретираном моделу, који се налазе у тој класи усаглашености и морају бити имплементирани од стране апликације, која је усклађена са том класом. Најбољи пример апликационих протокола и класа усаглашености који су већ нашли комерцијалну примену су:

- AP 203 са 12 класа усаглашености (CC1a, CC1b, ... , CC6a i CC6b) и
- AP 214 са 20 класа усаглашености (CC1, CC2, ... , CC20), које покривају целу област дизајна у аутомобилској индустрији.

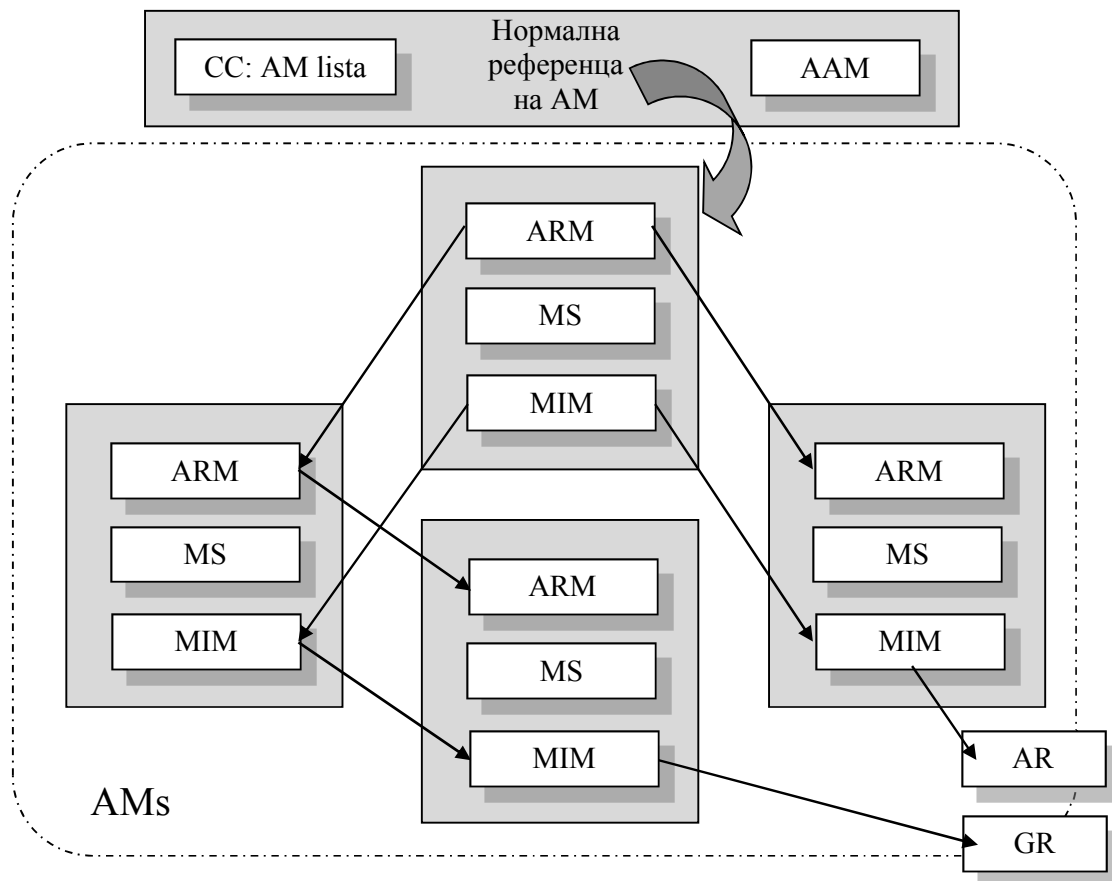
Већина CAD/CAM софтверских компанија је увела тек неколико класа усаглашености у своје преводиоце, тако да се, када се говори о усаглашености са апликационим протоколом, мора поменути и о којој класи или класама усаглашености је реч. Најбољи пример је управо AP 214, за који још увек не постоји комерцијални преводилац који је поштује више класе усаглашености од CC1 i CC2, које су функционалности сличне онима из протокола AP 203.

Обзиром да STEP стандард обухвата подршку производима различитих области машинства, електронике, електротехнике, бродоградње, грађевинарства и других сродних области рада, од самог старта се јавила потреба за модуларизацијом стандарда и његовим гранањем. На сликама 16 и 17 је приказана иницијална и модерна (модуларна) структура STEP архитектуре, са њиховим градивним елементима.



Слика 16: Иницијална STEP архитектура

Модуларни приступ проширује примену концепта AIC (енгл. "Application Interpreted Construct") из иницијалне ISO 10303 архитектуре, кроз укључивање значајних делова апликационог референтног модела апликационих протокола. Основа новог приступа је разумевање и уклађивање захтева, нових, као и оних већ документованих у постојећим апликационом протоколима, групишући их у лакше примењиве апликационе модуле.



Слика 17: Модуларна STEP архитектура

6. Физичка репрезентација STEP стандарда – Part 21

Кроз апликационе протоколе дефинисан је начин чувања и врста информација о производу или процесу. Њихова примена се огледа у формирању физичких датотека, које у складу са употребљеним апликационим протоколима, служе за чување, дељење и пренос података међу различитим CAD или CAM системима, кроз 3 врсте датотека, које се једним именом могу дефинисати као STEP-File, са екстензијом **.stp** или **.step**.

Физичка репрезентација података по STEP стандарду је дефинисана кроз следеће типове датотека:

- Part 21 (.p21) - овај тип докумената представља физичку репрезентацију примене STEP стандарда по ISO 10303-21 и основни је тип документа који служи за размену података међу апликацијама. Структура и кодирање .p21 датотека дефинисано је у складу са одређеном EXPRESS шемом.
- Part 25 (.p25) и Part 28 (.p28) представљају репрезентацију података у складу са синтаксом XML (eXtensible Markup Language) програмског језика, дефинисану према ISO 10303-11 стандарду и EXPRESS шеми. Мапирање података је дефинисано од оригиналне EXPRESS шеме, ка синтакси репрезентације у XML-у, при чему било која EXPRESS шема може бити приказана и у XML-у. Part 28 је током развоја подељен у 2 стандарда - ревидирани Part 28 и Part 25, и оба се данас развијају као техничке спецификације (TS).

Више пажње посветићемо Part 21 стандарду, који данас представља основно средство за употребу STEP формата.

Обзиром да је STEP датотека кодирана у ASCII формату, лако се отвара у текст едиторима, као линије кода, што њихово читање и тумачење чини врло једноставним. ISO 10303-21 дефинише механизам кодирања у коме се записују подаци из модела, по предефинисаној EXPRESS шеми, али сама шема није дефинисана у ISO 10303-21 стандарду.

Део ISO 10303 стандарда који дефинише механизам који омогућава описивање елемената производа или процеса, одређен је стандардом ISO 10303-11, кроз EXPRESS програмски језик. То је објектно оријентисан програмски језик за размену података, којим се дефинише модел података, али и њихова семантика. Основна информациона целина је ентитет (скуп података, ограничења или операција), а скуп ентитета чини модел, док је семантика модела садржана у везама које су успостављене између ентитета током превођења из CAD система који употребљавамо. Ентитети се представљају објектним моделима (шемом објеката и њиховим инстанцама), пример једног таквог модела је кружница, дефинисана центром кружнице (који представља инстанцу објекта тачка, одређена са 3 коте – “x”, “y” и “z”) и њеним радијусом (који је реалан број).

Једна од најбитнијих карактеристика STEP формата је његова прилагодљивост, као резултат одлуке да се стандард базира на EXPRESS програмском језику, као основном средству за описивање информација модела. Употреба формалног програмског језика гарантује прецизност и уједначеност при тумачењу података и предстаља добру основу за даљи развој и имплементирање нових стандарда.

Два главна елемента дела ISO 10303-11 стандарда којим је дефинисан EXPRESS програмски језик су:

- спецификација синтаксе структуре за размену података – дефинисање појединачних објектних модела (шема);
- мапирање из схеме *EXPRESS* програмског језика на синтаксу структуре за размену података (*STEP* стандарда).

Као што је већ речено у ранијим поглављима, постоје 2 основне верзије STEP стандарда - ISO 10303-21:1994 и ISO 10303-21:2002. Стандард из 1991. године садржи грешке, које су исправљене техничком корекцијом из 1995. године, па се препоручује употреба стандарда из 2002. године. Још једна разлика је то што старији стандард обавезује на примену кратких назива (енгл. „SHORT_NAMES“), који су присутни као опција у новијем стандарду, као и могућност употребе вишеструких секција података у новијој верзији, иако се ово ретко примењује у пракси. Такође, први стандард подржава само интерно мапирање, у случају сложених инстанци ентитета, док новији стандард има 2 класе усаглашености:

- Класа усаглашености 1: користи интерно мапирање, које је компактније;
- Класа усаглашености 2: користи екстерно мапирање, које би у теорији требало да обезбеди бољу оперативност, али се у пракси не примењује, због потенцијалних компликација у раду са пост-процесорима.

На слици 18 је дат минимални пример једне **Part 21** датотеке:

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(
/* description */ (Minimalni AP214 primer sa jednim part-om'),
/* implementation_level */ ('2;1'));
FILE_NAME(
/* name */ ('Demonstracija',
/* time_stamp */ ('2015-08-22T10:12:53',
/* author */ ('Bojan Rakonjac'),
/* organization */ ('FINK'),
/* preprocessor_version */ (' ',
/* originating_system */ ('IDA-STEP',
/* authorization */ (' '));
FILE_SCHEMA (('AUTOMOTIVE_DESIGN { 1 0 10303 214 2
1 1}'));
ENDSEC;
DATA;
#10=ORGANIZATION('O0001','FINK','company');
#11=PRODUCT_DEFINITION_CONTEXT('part definition',#1
2,'manufacturing');
#12=APPLICATION_CONTEXT('mechanical design');
#13=APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('', 'automotive_
design',2003,#12);
#14=PRODUCT_DEFINITION('O',$,#15,#11);
#15=PRODUCT_DEFINITION_FORMAT('1',$,#16);
#16=PRODUCT('A0001','Test Part 1','',(#18));
#17=PRODUCT_RELATED_PRODUCT_CATEGORY('part',$,(#16)
);
#18=PRODUCT_CONTEXT('',#12,'');
#19=APPLIED_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#10,#20,(#16));
#20=ORGANIZATION_ROLE('id owner');
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```

Слика 18: Пример кода .p21 датотеке

Документ се састоји из 2 дела, која су назначена почетним речима ISO-10303-21:

- *HEADER section* (заглавље) се састоји из 3 или 6 група у предефинисаном распореду, при чему сви елементи сем елемената *time_stamp* и *FILE_SCHEMA* не морају да садрже податке;
- *DATA section* садржи податке о апликацији, поштујући предефинисану *EXPRESS* схему.

Као што је већ речено, *HEADER* секција се састоји из 3 или 6 група:

- Група *FILE_DESCRIPTION* садржи кратак опис модела који је у *STEP*-у (енгл. „Description“) и описног је карактера (коментар аутора модела), као и информације о верзији документа која је имплементирана (енгл. „Implementation level“). „Implementation_level“ се изражава у формату "X;Y", где X дефинише верзију STEP формата (за X "1"=ISO10303-21:1994, "2"=ISO 10303-21:1995 и "3"=ISO 10303-21:2002) и Y одређује врсту мапирања модела ("1" за интерно мапирање и "2" за екстерно мапирање);
- Група „FILE_NAME“ садржи неколико редова података (*string*-ова):
 - „name“ - име које може одговарати имену модела у бази, врсти података који се налазе у овој бази, без строго дефинисаног правила;
 - „time_stamp“ - време када је фајл креиран;
 - „author“ - име и адреса аутора (у случају потребе за контактом);
 - „organization“ - име организације или компаније аутора;
 - „preprocessor_version“ - име и верзија препроцесора којим је изведен STEP документ;
 - „originating_system“ - име и верзија CAD система из кога је изведен STEP документ;
 - „authorization“ - име особе која је одобрила употребу тог документа;
- „FILE_SCHEMA“ одређује једну од постојећих EXPRESS схема/протокола, којима се дефинише начин управљања информацијама у „DATA“ секцији документа. Информација "10303 214" се односи на моделе који се користе за дизајн у ауто индустрији, по апликационом протоколу AP214.

Следеће 3 групе у оквиру „HEADER“ дела су опционе и појављују се само у верзији стандарда ISO 10303-21:2002:

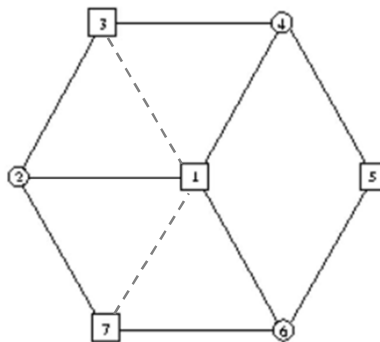
- „FILE_POPULATION“ представља списак свих ентитета у постојећем моделу, а у складу са дефинисаном EXPRESS шемом. Ово се ради прикупљањем информација из одређених секција података и референтних инстанци из осталих секција података;
- „SECTION_LANGUAGE“ омогућава дефинисање језика за све или одређене секције података. Ова информација се користи у оним EXPRESS шемама/протоколима у којима није могуће на други начин дефинисати употребу одређеног језика, што је битно за линије кода које садрже информације о имену и опису модела;
- „SECTION_CONTEXT“ даје могућност да се дефинишу додатне информације за све или поједине секције података (нпр. која шема се користи за коју секцију података);
- „DATA“ секција садржи податке о ентитетима модела, поштујући схему одређену у *HEADER* секцији документа. Кодирање овог дела документа се ради по следећим упутствима:
 - “Instance name” - Интерни назив појединачног ентитета модела, који се дефинише у оквиру самог документа и није применљив екстерно, тј. у случају да се исти садржај поново изведе из STEP-а у нови документ, интерни назив ће се променити. Чува се у формату "#1234", при чему број мора бити већи од 0 и не већи од 2⁶³. У случају да постоји само 1 ентитет модела, он се дефинише на следећи начин (као у примеру):

```
#16=PRODUCT ('A0001','Test Part 1',' ',(#18));
```

↓ ↓
интерни назив и опис модела

- У случају да постоји више инстанци ентитета у STEP документу, користи се интерно или екстерно мапирање:
 - Екстерно се користи у случају да постоји више од једног излазног ентитета (енгл. „Leave entity“), при чему се све појединачни називи инстанци ентитета дају независно у алфабетном редоследу, са свим вредностима ентитета груписаним заједно у заградама;
 - Интерно мапирање се најчешће користи у случају да постоји само један комплексни излазни ентитет. Кодирање је слично оном које се користи за ентитет који има само једну инстанцу.

Саме инстанце ентитета, чија је основна улога да садрже информације о геометрији моделских форми, описане су једноставним примером са слике 19, а код инстанце са ове скице следи на слици 20:



Слика 19: Пример једног једноставног ентитета

33D32945 STP File, STP Format Version 1.0	SECTION Terminals
SECTION Comment	Terminals 4
Name "Odd Wheel"	T 1
Creator "T. Koch, A. Martin and S. Voss"	T 3
Remark "Example used to describe the STP data format"	T 5
END	T 7
	END
SECTION Graph	SECTION Coordinates
Nodes 7	DD 1 80 50
Edges 9	DD 2 30 50
E 1 2 1	DD 3 55 5
E 1 4 1	DD 4 105 5
E 1 6 1	DD 5 130 50
E 2 3 1	DD 6 105 95
E 3 4 1	DD 7 55 95
E 4 5 1	END
E 5 6 1	
E 6 7 1	EOF
E 7 2 1	
END	

Слика 20: Код инстанце приказане на слици 19

Инстанце моделских форми пишу се у редовима, и све што се у реду налази иза знака # се не узима у обзир (и представља коментар корисника датотеке), као и празни редови у коду инстанце. Свака инстанца почиње редом:

33D32945 STP File, STP Format Version 1.0

који садржи број који служи као идентификациони кључ. Сама инстанца је подељена у неколико секција које садрже обавезне делове:

- „SECTION“ - врста (име) секције;
- „END“ - крај појединачне секције;
- „EOF“ - налази се на крају инстанце и означава крај датотеке (енгл. „End Of File“).

У примеру се налазе следеће секције, структурисане у редовима, при чему информација у реду може бити у форми целих бројева (*integer*) или текста (*string*). На почету сваког реда налази команда која дефинише која се врста информације у том реду кода налази:

- „Comment“ - Садржи основне информације о инстанци, као нпр. назив (Name), датум креирања (Date), име аутора (Creator), и додатне информације у форми коментара (Remark);
- „Graph“ - у овој секцији су дефинисане тачке (*N - nodes*) и линије (*E - edges*), преко њихових крајњих координата. Може садржати следеће команде:
 - „Nodes“ - број чворова;
 - „Edge“s - број ивица, дефинисаних 2 крајњим тачкама;
 - „Arcs“ - број лукова дефинисаних 2 крајњим тачкама и радијусом;
 - „E“ - спецификација сваког чвора;
 - „A“ - спецификација сваког лука;
- „Terminals“ - ова секција дефинише информацију о свим кључним (дефинишућим) тачкама инстанце:
 - „Terminals“ - број кључних тачака;
 - „T“ - број тачке са списка свих тачака из секције *Coordinates*;
- „Coordinates“ - секција садржи информације о координатама тачака, изражене на следећи начин:

DD 1 80 50

где DD означава код поједине тачке, "1" је редни број тачке, а "80 50" су X и Y координате, респективно.

Од свих секција, једино је секција *Graphs* необавезног типа, јер садржи информације о усмереним графичима (нпр. лукови). У случају да секција не би садржала информације о усмерењу графика, у инстанци би било могуће дефинисати два пресликана кружна лука са идентичним карактеристикама (крајње тачке и радијус лука). Секције *Comment* и *Coordinates* су обавезне, јер садрже основне информације о инстанци и геометрији инстанце, и притом, сви елементи ових секција који су наведени изнад морају бити присутни у коду, и са идентичним форматирањем.

7. Преглед STEP апликационих протокола

Табела 2 садржи преглед активних STEP апликационих протокола, као и њихов статус у процесу ISO стандардизације.

Табела 2: Списак и статус активних STEP апликационих протокола

Апл. Прот.	Година	Статус *	Опис
AP201	1994	IS	Експлицитно скицирање
AP202	1997	IS	Асоцијативно скицирање
AP203	1994	IS	Конфигурациојом контролисано 3D моделирање машинских делова и склопова
AP203 2 nd	2004	TS	
AP204	2002	IS	Машински дизајн са репрезентацијом ограничења
AP207	1999	IS	Планирање и дизајн пресерских алата
AP209	2001	IS	Структурна анализа метала и композита и повезани дизајн
AP210	2001	IS	Електронски склопови, везе и њихова размена
AP210 2 nd		DIS	
AP212	2001	IS	Електротехнички дизајн и инсталације
AP214	2001	IS	Основни подаци за процес механичког дизајна у аутомобилској индустрији
AP214 2 nd	2004	IS	
AP215	2003	IS	Дефинисање распореда у бродоградњи
AP216	2004	IS	Обликовање бродских форми
AP218	2004	IS	Бродска структура
AP219	2006	DIS	Управљање процесом провере димензија делова и склопова
AP221	2006	DIS	Функциони подаци и схематско представљање за процесна постројења
AP223	2006	CD	Размена дизајна и информација о производним деловима за ливене делове
AP224	1999	IS	Дефинисање машинских делова за планирање процеса машинске обраде
AP224 2 nd	2001	IS	
AP224 3 rd	2006	IS	
AP225	1999	IS	Градња елемената употребом експлицитних репрезентација облика
AP227	2001	IS	Просторно планирање фабрика
AP227 2 nd	2005	IS	
AP229	2006	NWI	Дизајн и подаци о призоводном процесу кованих делова
AP232	2002	IS	Паковање основних техничких података и њихова размена
AP233	2005	AWI	Представљање података о инжењерским системима
AP235	2005	CD	Подаци о материјалима за дизајн и верификацију производа
AP236	2005	DIS	Производни и пројектни подаци у производњи намештаја
AP238	2006	DIS	Апликациони интерпретирани модели за CNC машине
AP239	2005	IS	Подршка животној циклусу производа
AP240	2005	IS	Планови нумеричке контроле процеса за машинирање делове

*Статус апликационог протокола може бити:

- IS - међународни стандард (енгл. "International Standard");
- DIS - радна верзија међународног стандарда (енгл. "Draft International Standard");
- CD - радна верзија комитета (енгл. "Committee Draft");
- WD - радна верзија (енгл. "Working Draft");
- PWI - прелиминарна радна верзија (енгл. "Preliminary Work Item");
- NWI - нови предмет рада (енгл. "New Work Item");
- AWI - одобрени предмет рада (енгл. "Approved Work Item");
- TS - техничка спецификација (енгл. "Technical Specification");
- TC - листа техничких корекција (енгл. "Technical Corrigendum").

Процес постизања међународног консензуса о новом апликационом протоколу је веома детаљан, и од иницијалног предлога (прелиминарне радне верзије) до објаве међународног стандарда за нови апликациони протокол може проћи и до 5 година.

Развој STEP апликационих протокола достиже тачку у којој бројни стандарди постају међународни стандарди, и у овом тренутку преко 20 апликационих протокола је достигло статус "IS". То је прави тренутак да развојни тимови CAD/CAM софтвера прошире подршку и имплементацију за STEP.

Није довољно рећи да је је апликациони протокол имплементиран у софтвер, ако он има подршку за одређени APxxx, зато што већина протокола има више класа усклађености ("conformance classes"), које представљају подсетове апликационог протокола, који се могу смислено имплементирати, без потребе да се апликациони протокол у целости софтверски подржи. Најбољи примери су комерцијално добро подржани протоколи AP203 (12 класа) и AP214 (20 класа).

У наредним поглављима размотрићу неколико најбитнијих апликационих протокола, са аспекта машинског инжењерства.

I. AP201 - Експлицитно скицирање (ISO 10303-201:1994)

AP201 је издат 1994. године, када је иницијално и представљен STEP, и био је међу првим протоколима који су достигли статус међународног стандарда. Основна намена му је размена компјутерски читљивих података о техничким цртежима и подацима који дефинишу производ.

У склопу стандарда се налази следеће:

- Представљање техничких цртежа, са сврхом размене података, прилагођено за употребу у машинском инжењерству, архитектури и грађевинарству;
- Представљање производа у правим димензијама у форми техничког цртежа, за потребе апликација у којима је потребна 1:1 геометријска размера;
- Представљање техничких цртежа, којима се приказују поједине фазе дизајна;
- Представљање појединих ревизија цртежа;
- Представљање дводимензионих моделских форми и трансформација употребљених за формирање цртежа;
- Представљање осталих информација у склопу техничких цртежа, који се не односе на димензионе мере, у склопу заглавља;

- Хијерархијска структура цртежа, детаља и пресека/погледа моделске форме;
- Механизми груписања елемената представљених на цртежима;
- Други административни подаци, који се тичу идентификације аутора, датума израде, верзије документа итд.

Обзиром да је ово један од првих стандардизованих протокола, он не садржи:

- Представљање тродимензионе моделске форме и детаља који нису представљени цртежима;
- Историју размене цртежа и дефиницију заглавља у тродимензионом систему;
- Структуру листе материјала, која је компјутерски разумљива ("bill of materials");
- Строгу примену стандарда за техничко цртање и податке о материјалу (густина, маса, момент инерције);
- Друге податке потребне за аутоматску израду техничких цртежа и штампаних копија.

Овај стандард нема више класа усаглашености (енгл. "Conformance Classes").

II. AP203 - Конфигурациојом контролисано 3D моделирање машинских делова и склопова (ISO 10303-203:1994)

У склопу овог стандарда се налазе следеће информације:

- Представљање машинских елемената и склопова;
- Представљање података који се односе на фазе развоја производа;
- Измене дизајна и документацију процеса измене;
- Пет врста репрезентације модела који садрже: жичану и површинску форму без топологије, жичану форму са топологијом, сложене површинске форме са топологијом, представљање граничних форми са и без површина ("faceted boundary representation", "boundary representation");
- Информације које се односе на дизајн производа, компанију, детаље око процеса израде, површинске обраде, и друге информације које дефинише дизајнер;
- Податке који се односе на процес одобравања за употребу и податке о испоручиоцу цртежа (податке о уговору, класа поверљивости података склопа и/или појединих делова);
- Податке који се тичу или се добијају анализом или тестирањем дизајна, и који се узимају у обзир приликом разматрања измена дизајна.

Овај стандард се састоји из 12 класа усклађености, које су дефинисане на следећи начин:

- CC 1a и 1b: Информације које се односе на дизајн производа, без информација о моделској форми;
- CC 2a и 2b: CC 1a и 1b са геометријском 3D моделском формом у виду жичаног или површинског модела;
- CC 3a и 3b: CC 1a и 1b са 3D моделом са тополошким приказом;
- CC 4a и 4b: CC 1a и 1b са сложеним површинским моделом са тополошким приказом;
- CC 5a и 5b: CC 1a и 1b са површинским граничним формама;

- CC 6a и 6b: CC 1a и 1b са напредним граничним формама.

AP203 је доживео и ревизију издату 2004 године (ISO 10303-203:2004), у којој су додати боје, слојеви, историја моделске форме, димезије и толеранције димензија, и подаци из CC 1a и 1b су замењени PDM шемом ("Product data management").

Новине у односу на оригинални AP203 су:

- могућност представљања појединих инстанци дела у оквиру склопа;
- додатни, шести начин представљања дела, као запреминског модела у 3 димензије;
- нови начин представљања геометријских моделских форми, са употребом боја, слојева и група;
- геометријске и димензионе толеранције примењене на геометријске моделске форме и
- текстуалне прибелешке и информације које се тичу геометријске моделске форме.

ISO 10303-203:2004 има само једну класу усклађености.

III. AP214 - Основни подаци за процес механичког дизајна у аутомобилској индустрији (ISO 10303-214:2001)

Основна намена AP214 је размена информација међу различитим апликацијама, које подржавају развојни процес возила. Следеће информације се налазе у склопу овог апликационог протокола:

- Производи произвођача аутомобила и њихових добављача, који могу бити у форми делова (каросерије, шасије, погонске групе, ентеријера), склопова делова, алата и склопова алата;
- Информације о процесу које се односе на релације између делова и алата који служе за њихову производњу, као и информације;
- Подаци који дефинишу део, као и поједине фазе развоја дела;
- Измене дизајна дела, као и верзије дела и документацију којом је забележен процес измена;
- Идентификацију стандардних делова, засновано на међународним, националним или индустријским стандардима;
- Подаци који се односе на појединачне добављаче делова (информације о њима, детаље уговора, итд.);
- Један од 8 начина представљања модела дела/склопа: као 2D/3D жичани модел, геометријски ограничена моделска форма, тополошки ограничена моделска форма, запреминска моделска форма, итд;
- Комбиновани начин представљања склопова делова и/или алата, на два или више од 8 дефинисаних начина (хибридни модел);
- Подаци који се односе на репрезентовање облика производа;
- Документација о производу у форми техничких цртежа (експлицитно и асоцијативно);
- Другу документацију у форми која је одређена неким другим ISO стандардом (глинени модел, NC код или текстуални подаци);

- Подаци за симулацију кинематичких кретања и структура (нпр. кретање брисача);
- Подаци о толеранцијама и подаци о деловима (површинска обрада, маса, густина, врста материјала итд.).

AP214 има 20 класа усклађености, које се могу груписати на следећи начин:

- CC1 - CC5 односе се на CAD/CAM информације;
- CC6 - CC10 односе се на структуру производа и управљање конфигурацијама;
- CC11 - CC13 односе се на планирање процеса;
- CC14 - CC15 односе се на дизајн базиран на моделским формама;
- CC16 - CC17 односе се на симулације и контролу квалитета;
- CC18 - CC19 односе се на контролу и управљање планирањем процеса са 3D моделима и размену и дељење ових података;
- CC20 односи се на свеукупно складиштење и чување података (садржи све изнад наведено, као и начине имплементирања база података за чување, повраћај и архивирање свих информација о производу).

AP214 је доживео ревизију у децембру 2003. године (AP 214 2nd, ISO 10303-214:2003), којом су уклоњене мање грешке које су примећене приликом употребе AP214, без измена у функционалности и области примене оригиналног стандарда. Друга ревизија стандарда (AP 214 3rd) је урађена како би се AP214 ускладио са OMG стандардом PLM сервиса и омогућило повезивање 2 стандарда.

IV.AP224 - Дефинисање машинских делова за планирање процеса машинске обраде (ISO 10303-224:1999)

Овим апликационим протоколом су дефинисане информације које су неопходне да би се дефинисао процес машинске израде једног дела. Подаци о производу засновани су на постојећем дизајну дела, употребом процеса машинске обраде. У оквиру овог стандарда се налазе следеће информације о производу:

- Информације о појединачном делу насталом процесом машинске обраде;
- Технолошке моделске форме које ће бити произведене процесима стругања или глодања;
- Машинске моделске форме за дефинисање облика, неопходних за производњу дела;
- Административни подаци о купцу, како би се омогућило праћење пријема поруџбина до производње;
- Подаци о одобрењу за израду дела;
- Идентификација статуса радног налога за израду дела;
- Праћење стања залиха материјала, са циљем праћења историје производње дела;
- Праћење модификација дизајна дела, које се односе на процес обраде.

Обзиром да се овај протокол базира на процесу машинске израде, ван описа се налазе информације о резултатима процеса планирања производње, склопови и композитни делови, делови од лима, као и појединачне моделске форме дела.

AP224 у првој ревизији (ISO 10303-224:2001) функционално је проширен на још пар нових начина машинске израде делова (просецање, извлачење, израда ребара и

профилно обликовање), добио је унапређену функционалност већ постојећих начина машинске обраде, као и могућност комбиновања различитих начина обраде. У другој ревизији AP224 (ISO 10303-224:2006) додата је могућност израде зупчаника.

Сем AP224, још пар апликационих протокола се "бави" процесом машинске израде делова (AP219, AP223, AP239 и AP240). Из тог разлога, неопходно је ускладити елементе и очекивања која су постављена пред различите процесе машинске обраде у овим протоколима. Обзиром да сви ови протоколи имају у себи сличне информације (димензије и толеранције, геометријска ограничења, карактеристике дела, информације о предмету обраде, податке о процесу машинске обраде), неопходно је усклађивање сличних протокола, како би се осигурала конзистентност и интегритет информација о производном процесу кроз цео процес машинске обраде. Ово треба узети у обзир у светлу тога да модерни производни процеси постављају нове захтеве о количини података о производу, јер су апликације у стању да обраде семантички богатије информације и захтевају више од геометријске моделске форме дела.

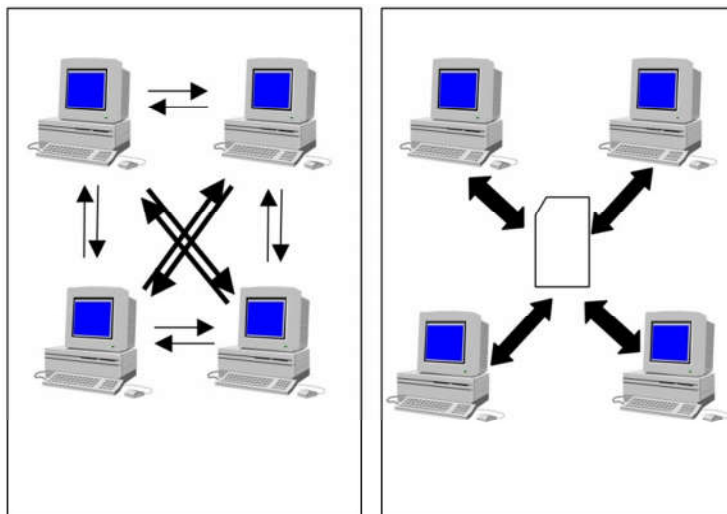
8. Конверзија у STEP, прецизност, предности у односу на преводиоце

Као што је раније поменуто, процес конверзије информација које се преносе из једног у други формат CAD софтвера може бити урађен директно између поменутих софтвера (ако у склопу њих постоји подршка за то), или путем независно развијених софтверских решења од стране тзв. "3rd party" произвођача софтвера, који развијају независна софтверска решења за најчешће употребљаване CAD системе.

Неки од независних софтверских решења су:

- Cimsoftек - подршка за бројне формате употребљаване у MCAD софтверу;
- Compunix - Служи за конверзију формата између софтверских решења CATIA, Unigraphics и Pro/Engineer;
- PTC - директни преводиоци геометрије за CATIA, PDGS, CADAM;
- Theorem Solutions - преводилац између CADDs, CATIA, SolidEdge, SolidWorks, Unigraphics, Mechanical Desktop, Pro/Engineer софтверских решења;
- Spatial - конверзија између CATIA, Pro/Engineer, Parasolid, ACIS;
- Сем ових "offline" решења, постоје и бројни интернет (тзв. „online”) сервиси, који нуде исту врсту услуге, чији су корисници најчешће мала и средња предузећа, а које обезбеђују неки од већих контрибутора у STEP пројекту (STEP Tools Inc, Cimfotек, Theorem Solutions, UGSolutions, PlanetCAD, PDES, итд).

Као што се раније кроз историју показало, употреба наменских "преводилаца", за конверзију између појединачних CAD/CAM система, се показала као сигуран, али спор и непрактичан процес, који је повећавао потребу за бројем преводилаца за N (CAD/CAM) система на N*N преводилаца (приказ на слици 21), повећавајући умногоме и трошкове развоја.



Слика 21: Употреба преводилаца за пренос информација о производу и употреба неутралног формата

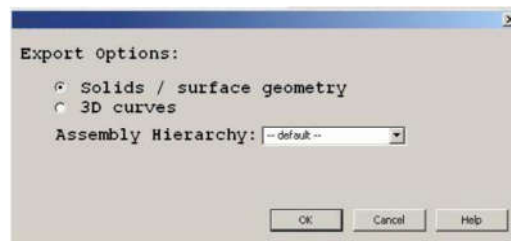
Управо ту се огледа предност STEP формата у односу на друге начине превеђења информација из једног у други софтверски пакет, јер STEP подршка која је имплементирана у најчешће употребљавана софтверска решења, мора бити имплементирана у складу са одређеним апликационим протоколом, односно неком од класа усаглашености тог протокола, чиме се потребан ниво интеракције корисника и софтвера, како би конверзија била успешна (без грешака), своди на минималан ниво.

STEP документи се креирају конверзијом кода геометријског дизајна урађеног у CAD софтверу у тела и површи у STEP формату кода, као у примеру на слици 22:

<pre> ACI:Go=ucigBbPöU: ~w-rñi >nēI]bāIS?> xOāu IAQV 0 'Xxiip,y... B XēKl 3N<bi xēñ ēuOx cū B öT p öÜp K*ē 'w üGi 'öeÜ'.BÖt DE K zç'xiy biöf@9bi v'] f ?50 s[Qy 9 D(]Me'Æy E s v't 3NZ 'ÆV'öÖ INAIÇI kø 9ü-(YOE\$>7@ A 42 @. s& A öeEQW ü q ±VÄ'±me-RÜK&@(eBiM: I EipÇ YDü/T<¶.b8Ö 1 _ A '@@A e<<(Yx A<?{Ea=Üciö ' ^', eá?': e äiä~ l çÖā K'~ I #+>7i¶ i '<Y K K ÖZz: E&·AN r9c C H Öbijz e27 Öiu 'ö A A* \\ua*aö >Y F AuS ö@(eYkU e)F¶CI K' = Ç&äv B(u^) I X I ö] cö0A I YēL öM(Tc\$>U Hö* I ä% E\$ glçbiP lg'ñ >^ K i Ü Kre dp I)SN AqZ- S. - ' %> Çk ' Yer 9ÖiMG'±KÜöE d4j ÄEK8 Aäi O ~ i^= f' (EI\$ ' öEi I<ç l'>{ Çx 9 >^:z I'yi9y'Ä üEp8A*@ I << I? Xv/PÄ>7ÖGÄ s VQOn÷Ze-Ä9qW>>x IÜÜ\$ Icf÷ÜÖc I ü </pre>	<pre> ISO-10303-21; HEADER: FILE_DESCRIPTION (('STEP AP203'), '1'); FILE_NAME ('Part3.STEP','2007-07-11T16:14:00Z'); FILE_SCHEMA (('CONFIG_CONTROL_DESIGN')) ENDSEC; DATA: #1 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #31, #2 = ADVANCED_FACE ('NONE', (#198), # #3 = EDGE_LOOP ('NONE', (#4, #17, #9, #4 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #16, #5 = MANIFOLD_SOLID_BREP ('NONE', #145 #6 = ADVANCED_FACE ('NONE', (#191), # #7 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #8, #8 = EDGE_CURVE ('NONE', #15, #11, #189 #9 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #10, #10 = EDGE_CURVE ('NONE', #13, #11, #18 #11 = VERTEX_POINT ('NONE', #177); </pre>
---	---

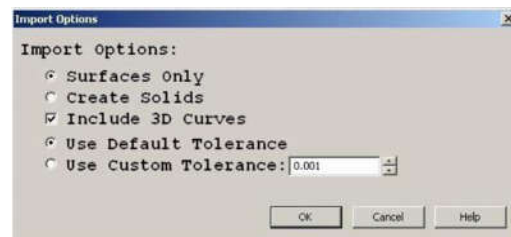
Слика 22: Типични CAD формат (лево) и STEP формат (десно)

Приликом извоза STEP докумената из CAD софтвера, различите опције за извоз података су доступне (пример на слици 23), у зависности од врсте преводиоца који се користи (извоз само тела или површи, очување структуре склопа, итд.):



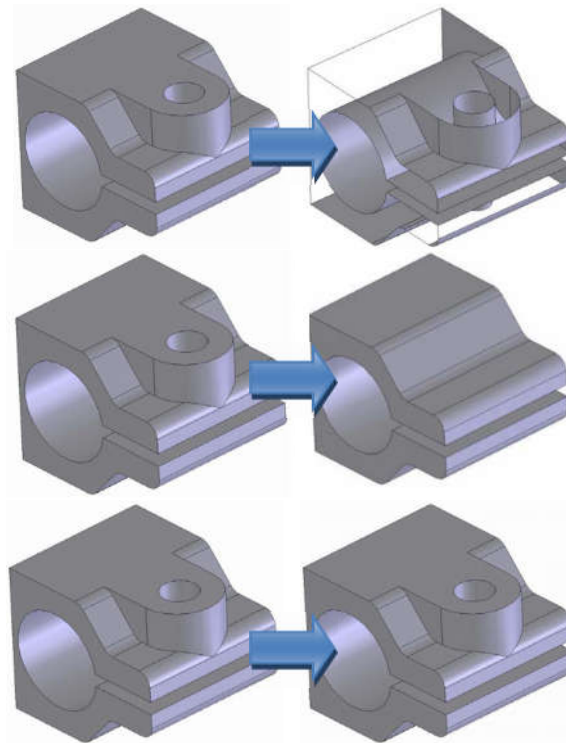
Слика 23: Опције за извоз дела у STEP формат

Приликом увоза STEP докумената у CAD систем (пример на слици 24), постоје различите опције којима се дефинише шта ће се од информација задржати у новом моделу (задржати само површи или креирати запреминске моделе, укључити/искључити линије и тачке, подесити толеранције, итд.):



Слика 24: Опције за увоз STEP-а у CAD систем

Приликом конверзије у STEP формат, долази до копирања 3D елемената и површинске геометрије оригиналног CAD дела, при чему линије, криве и тачке оригиналног документа могу бити пренете у нови формат, а координате, јединице мере и толеранције се не мењају. Током процеса конверзије, може доћи до појаве аномалије на моделу (недостајуће моделске форме или недостајуће површи), тако да је пожељна визуелна контрола модела приликом увоза, као на примеру на слици 25.



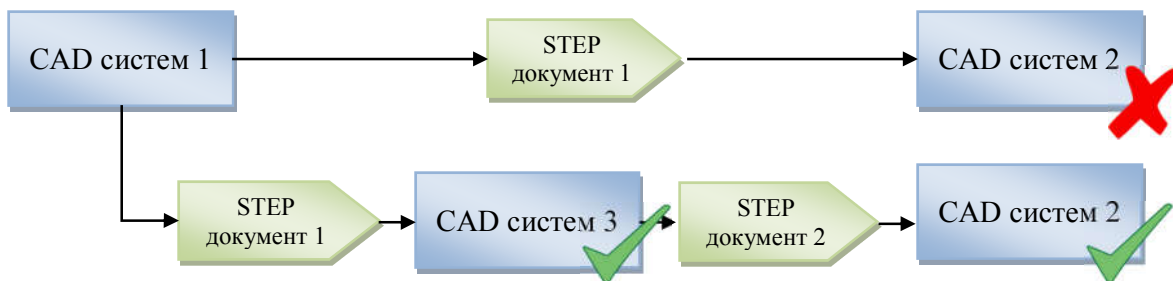
Слика 25: Примери увоза у CAD систем:

I ред - некомплетне површи

II ред - недостајуће моделске форме

III ред - успешна конверзија у новом CAD систему

У случају да дође до неадекватног препознавања модела из STEP формата, постојање аномалија најчешће ће бити пријављено од стране самог CAD система, кроз форму извештаја (енгл. „Error log“). Подешавањем опција приликом увоза у CAD систем могу се избећи овакви проблеми, као и смањивањем толеранција, што ће омогућити CAD систему да лакше препозна и повеже границе (енгл. „Boundaries“). Још једна од опција је употреба трећег CAD система, при чему би релација превођења изгледала као на слици 26.



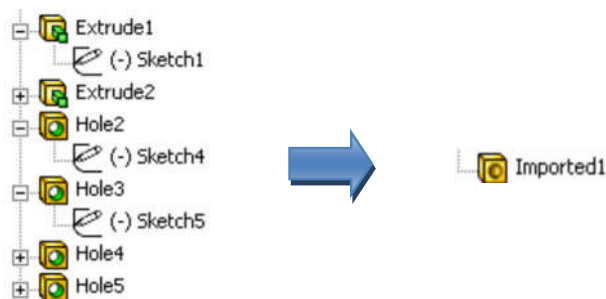
Слика 26: Процес превођења између 2 CAD система

Проблеми који настају приликом увоза из неутралног формата у CAD систем, најчешће су условљени комплексношћу модела или мањком способности система из кога се врши извоз да правилно изврши процес превођења. Коришћењем установљених процедура приликом израде самог модела, као и системом покушаја и грешке, могуће је решити скоро све проблеме који се у процесу конверзије у STEP могу појавити.

Три најчешће врсте проблема које се јављају приликом конверзије STEP формата су:

- Проблем прецизности у конверзији;
- Проблеми са „квалитетом“ модела;
- „Неслагање“ моделских форми – ентитета.

Приликом извоза у STEP и каснијег увоза модела из STEP-а у CAD софтвер, основне геометријске моделске форме која су присутне у оригиналном документу се губе, чиме се смањује функционалност модела, као у примеру на слици 27. Како би се компензовао мањак основних моделских форми, директне измене на конвертованом моделу се могу вршити у софтверу у којем се врши увоз модела из STEP-а.



Слика 27: Структура дела у CAD софтверу и структура након увоза из STEP-а

9. Компресија STEP формата

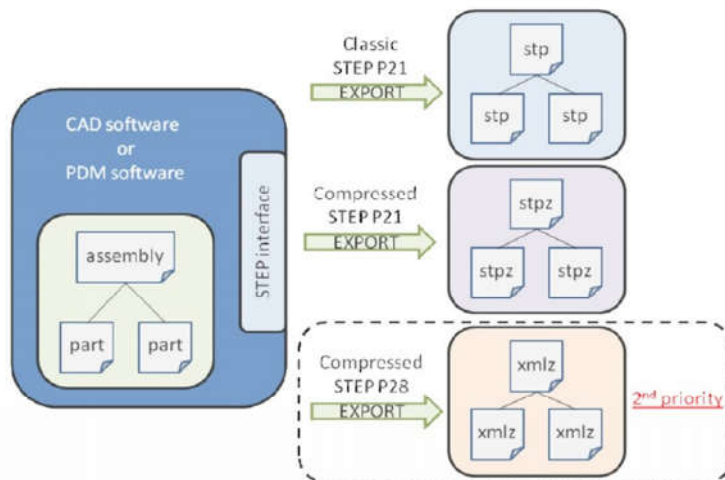
Обзиром да STEP налази све већу примену у индустрији, захваљујући континуираном развоју нових стандарда, и сама величина STEP докумената се услед комплексности производа повећава. Увођењем у употребу STEP AP 242, који има примену у савременој авио и аутомобилској индустрији, још више се убрзава овај процес. Из тог разлога дошло је до потребе да се редукује величина излазних датотека и оптимизује процес размене међу системима. Из ове потребе долази и до развоја компресованих датотека, које примену налазе у свим значајнијим апликационим протоколима (AP 203, AP 209, AP 214, AP 242 итд.), са фокусом на прецизности 3D геометрије, 3D PMI (енгл. “Product Manufacturing Information”), 3D полигоналној геометрији, итд.

STEP формат ће у већини ситуација заузимати мање простора у односу на друге CAD формате, због једноставније геометрије дела, при чему ће (због постојања библиотеке делова – „Bill of materials”) елементи склопа који се понављају бити дефинисани само једном, још више повећавајући уштеду у простору. Па ипак, комплексна геометрија ће довести до повећања укупног простора потребног за чување.

Приступ компресији STEP докумената је по принципу који је дефинисан по IFCZIP споразуму, и примењује се на ASCII и XML формат докумената (*.p21 и *.p28), пошто за бинарне документе (*.p26) не може наћи примену, јер је уштеда простора занемарљива. Како би се компресовани STEP фајлови разликовали од нативних, промењена им је екстензија из *.stp у *.stp.Z, тј. из *.xml у *.xml.Z.

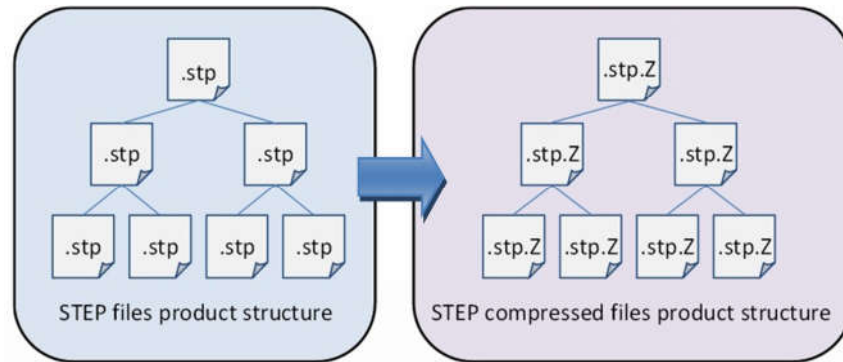
Компресија STEP докумената се обавља на нивоу појединачне датотеке, при чему се за компресију примењује PKZIP алгоритам за компресију докумената, који је распрострањен у употреби и софтверски добро подржан (WinZip, Windows Compressed Folders, Info-Zip, zlib, Mac OS-X итд.). Приликом компресије датотека, примењују се 2 основна правила:

- У свакој компресованој датотеци налази се само по 1 STEP датотека;
- Име компресованог STEP документа је исто као и име оригиналне STEP датотеке, при чему се мења само екстензија, из *.stp у *.stp.Z.



Слика 28: Компресија STEP датотека

Процес компресије (слика 28 и 29) и декомпресије датотека је применљив на целокупну структуру STEP-а, па ће тако и склопови (који садрже и информације о структури производа) и појединачни делови склопа бити компресовани употребом истог механизма:

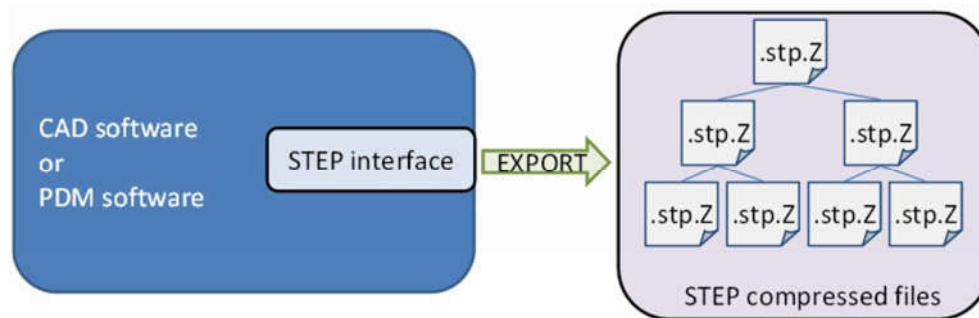


Слика 29: Компресија склопа

STEP процесори CAD софтвера који су данас у употреби углавном су способни да препознају и обраде компресовани STEP формат, а процес декомпресије се такође може обавити и употребом комерцијалног софтвера (нпр. Winzip), и након тога се распаковане датотеке могу нормално отворити у жељеном софтверу.

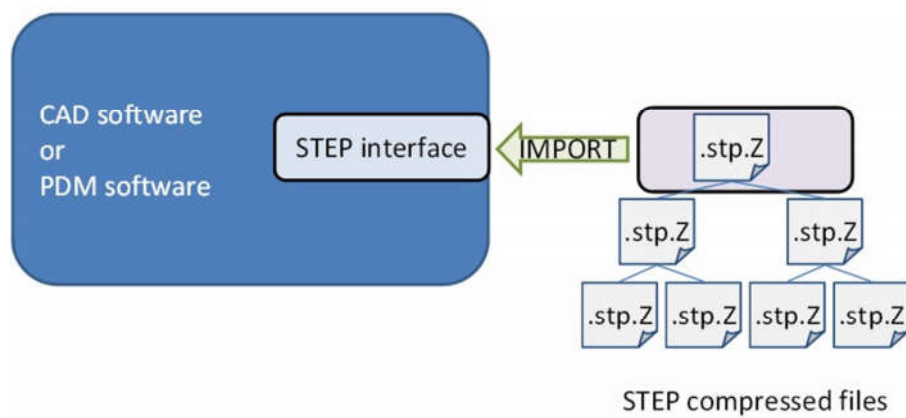
Извоз и увоз STEP докумената се изводи употребом жељеног пре/постпроцесора, који је у стању да аутоматски препозна да ли је датотека компресована (на основу постојеће екстензије), при чему је међу корак креирање некомпресованог STEP документа и затим његова компресија у STEP (при извозу), односно декомпресија у некомпресовани формат и затим увоз у CAD софтвер.

Приликом извоза формира се читава структура склопа којег извозимо, као на слици 30.



Слика 30: Извоз компресоване STEP датотеке

Приликом увоза, потребно је изабрати стабло целог склопа, док ће систем након тога аутоматски повезати, распаковати и увести све повезане датотеке, као на слици 31.



Слика 31: Увоз компресоване STEP датотеке

Корист од компресовања STEP докумената се огледа у уштеди простора од 60 до 85%, у односу на некомпресовани STEP документ, као у приказу у табели 3, на основу примера датих у литератури.

Табела 3: Поређење компресованог и некомпресованог STEP формата, примењено на STEP AP-214

Пример	Величина оригиналне датотеке	Некомпресовани STEP докуменат	Компресовани STEP докуменат	Уштеда простора
Део (мала комплексност)	1.73 MB	2.2 MB	311 KB	86%
Део (умерена комплексност)	37.9 MB	57.1 MB	8.1 MB	86%
Део (велика комплексност)	60.2 MB	172.3 MB	26.7 MB	85%
Склоп (12 елемената)	82 MB	188 MB	37.6 MB	80%

10. Будућност STEP стандарда

У периоду самог зачетка рада на развоју новог међународног стандарда, у производним круговима је била општеприхваћено постојање потребе за размену информација међу различитим CAD/CAM и PLM системима. Амерички IGES стандард већ је био у употреби, али својом обухватношћу није задовољавао потребе модерне индустрије.

На развоју новог стандарда радила је међународна ISO организација, у сарадњи са NIST (енгл. „National Institute for Standards and Technology“). Сам процес био је јако дуг и мукотрпан, са не увек добрим резултатима. И данас се може рећи да за размену података важи следеће:

- Још увек се у употреби већински налазе национални стандарди;
- Велике компаније се још увек одлучују за имплементацију једног или више сродних, међусобно компатибилних система;
- При преласку са једног на други производни циклус и даље се губе значајне информације;
- Папир још увек има своју улогу у процесу размене информација.

У табели 4 се може видети преглед области примене осталих најзаступљенијих формата, као и где су најзаступљенији.

Табела 4: Преглед најчешће употребљаваних стандарда и њихова примена

	IGES	SET	VDA-FS	EDIF	POSC	DXF
Авиоиндустрија	Примарни формат	Да				Да
Аутоиндустрија	Примарни формат	Да	Да			Да
Грађевинарство						Примарни формат
Производни погони	Да	Да				Да
Нафтна индустрија					Примарни формат	Да
Бродоградња	Да					Да
Електро-индустрија	Да	Да		Да		
Потрошачка добра	Да					Да

Сем наведених, постоје и позитивни аспекти који су дошли до изражаја:

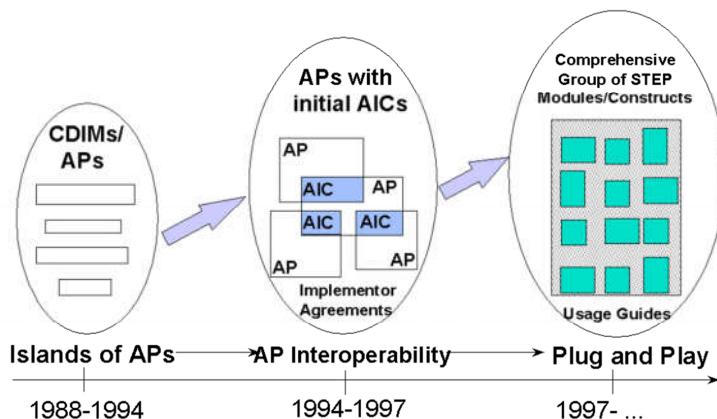
- STEP стандард има све већу примену и већу област имплементације;
- Подршка STEP алатима се повећава и све је више комерцијално доступних софтвера који су конкурентни на тржишту;
- STEP све више налази примену у ланцима снабдевања и у процесу сарадње са добављачима.

Све ово води до тога да се у будућности очекује да ће се стати са развојем националних стандарда, а велике компаније ће напредовати ка примени више различитих система у свом производном процесу. Захваљујући STEP-у, очекује се смањење времена циклуса развоја производа, знатно смањујући трошкове развоја, као и трошкове управљања подацима.

Све промене које се дешавају у развоју STEP-а се пре увођења у употребу требају детаљно тестирати и верификовати, пре него што постану део интернационалног стандарда. То је знатно лакше урадити пре него што постану део стандарда, него по његовој верификацији. При увођењу промена, пројектанти стандарда су се водили једним правилом - све промене које се уведу морају бити компатибилне са даљим развојем стандарда и од овог правила се треба одступити само у случају да већ прихваћен стандард садржи грешку који је кроз техничку корекцију (енгл. "corrigendum") потребно исправити.

Више значајних проблема се појавило у скоријој прошлости, а тичу се даљег развоја STEP формата, због великог обима ISO 10303 стандарда, као и потребе да се прати и бележи даљи развој стандарда. Праћење развоја представља највећи проблем, јер за прихватање нових апликационих протокола потребан консензус међународних комисија, припрема детаљне документације, као и провера и одобравање кроз сваку од појединачних фаза развоја. Као последица свега, ради се ревизија процеса одобравања, како би сам процес био мање обиман, бржи и флексибилнији. Измене би такође требале да омогуће бољу интероперативност између различитих делова стандарда, омогућавајући повезивање података из различитих апликационих протокола (нпр. комбиновање машинских и електронских компонената). Доста пажње посвећује се хармонизацији стандарда који су тренутно у развоју, а односе се на сличне области примене.

Еволуциони развој STEP-а, приказан на слици 32, показао је прави пут у коме стандард треба да се креће - од основног интегрисаног IPIM модела, ка апликационим протоколима и могућности да се информације дефинисане AP-има размењују и деле, уколико су апликациони протоколи базирани на заједничкој основи.



Слика 32: STEP еволуциони процес

Још једна битна карактеристика STEP-а је употреба EXPRESS програмског језика, који је развијан специфично за потребе овог стандарда. EXPRESS има своје недостатке, пошавши од тога да су га развили инжењери за инжењере, тако да се може рећи да није практичан да би нашао ширу примену. EXPRESS описује ограничења

помоћу функција и процедура, јер је овај концепт ближи инжењерима, уместо логички-оријентисаних конструкција, које примењују математичари. У току су процеси на развоју EXPRESS-а, ради се на мањим и већим изменама које би донеле могућност да се кроз EXPRESS бележе и информације о пословним, сем производних процеса. Други битан процес на коме се ради јесте мапирање програмског језика, од стране ISO SC4 комитета, под називом EXPRESS-X. То је програмски језик који ће донети могућност дефинисања односа међу структурама у 2 информациона модела - EXPRESS-а и EXPRESS-X-а. Овим мапирањем се очекује да ће процес имплементације STEP-а постати лакши. Иако EXPRESS-X још увек није стандард, више произвођача софтвера већ раде на развоју и имплементацији система за превођење.

Једна од битних карактеристика STEP стандарда на којој је и даље потребно радити је интероперабилност међу апликационим протоколима. Поставља се питање како најбезболније омогућити да се базе података и интеграција због размене информација обављају између 2 или више апликационих протокола, са могућношћу да се разликују уноси у базу између тих апликационих протокола. Као што је већ речено, у будућности ће се нови протоколи градити превасходно од модуларних компонената, али ће и даље постојати потреба да се одради мапирање информација и конструкција међу протоколима. Треба нагласити да и сада 2 апликациона протокола исту информацију тумаче на различити начин, у зависности од начина примене самог апликационог протокола, што може довести и до погрешног тумачења јединствене информације. Још један од проблема који се помиње је неусклађеност речника у употреби. Обзиром да су на развоју стандарда радиле стотине стручњака из различитих области, на нестандардизованој основи, може се појавити ситуација да се иста реч односи на 2 различита процеса, или да се исти процес ословљава различитим речима (нпр. "grind"- "grinding", "mill"- "milling", итд.). Ово је једна од битнијих ставки која и данас значајно подстиче даљи развој и усклађивање стандарда.

Основа на којима се развој STEP-а базира је да информације забележене овим стандардом морају бити компатибилне са новијим верзијама које буду следиле, тј. да цео стандард буде „future-proof“. Подаци о производу/производима које компанија развија/производи представљају битан део вредности сваке компаније, тако да је могућност чувања, тумачења, коришћења и будућег коришћења информација једна од битнијих ставки модерног бизниса. Из овог разлога, свака од модификација дизајна и функционалности која нађе свој пут до STEP-а не сме угрозити технички интегритет информација и компатибилност са старијим верзијама стандарда. Обзиром да развој стандарда није готов, нормално је очекивати да ће још унапређења наћи свој пут кроз процес ISO стандардизације, али је неопходно да све промене које буду имплементирани допринесу томе да STEP информациони модел буде и остане стабилна, комплетна и недвосмислена дефиниција података о производу. Свака промена која би била имплементирана требало би да допринесе повећању стабилности, комплетности и јасноће стандарда.

Када се говори о способностима овог стандарда да се користи у сврху архивирања података, за велике компаније ово представља највећи дугорочни бенефит његовог имплементирања и употребе. Архивирање података на овај начин ће обезбедити дугорочну репрезентацију производа, у односу на употребу нативних формата софтвера у употреби. Употребом нативних формата, компаније се обавезују да системе који се користе за њихово тумачење задрже у употреби и дуго након што се њихова употребљивост и функционалност могу сматрати превазиђеним, и престану да буду део стандардног производног циклуса нових производа. Авио и бродска индустрија су најбољи пример потребе за дугорочним чувањем и анализом података, јер се дизајн

њихових производа уз модификације може користити и по више деценија, док се системи на којима се подаци користе избацују из употребе као застарели после мање од пола деценије. Обзиром да је већина нових производа развијена накнадним модификацијама постојећих производа (најчешће се задржи до 80% дизајна), постаје очигледан разлог потребе за тумачењем података који се чувају у базама. Из овог разлога, све више компанија се okreће употреби STEP-a као неутралног формата, који ће обезбедити да се подаци који се чувају буду компатибилни и са наредним верзијама.

Један од начина убрзавања дизајнерског процеса је употреба стандардних делова, из предефинисаних библиотека делова. Данас се стандардним делом не могу сматрати само једноставни елементи (попут завртњева, вођица, вентила), већ и много комплекснији склопови, који налазе примену у више различитих производа (најочигледнији пример је склоп мотора и мењача, који се могу користити на више различитих аутомобилских платформи). У току је развој стандарда библиотеке делова, у оквиру стандарда ISO 13584, чији су поједини делови већ постали део међународног стандарда. Сврха ове иницијативе је да се омогући размена информација о производима, на основу постојећих стандардизованих библиотека делова, чиме би се дизајнерима омогућио приступ овим библиотекама на идентичан начин, са идентичним информацијама. Стандардизоване библиотеке делова су критичне за размену података о производу, зато што ће омогућити организацијама да размењују податке у оквиру великих система. Најочигледнији пример њихове намене је бродоградња, где склопови броје десетине и стотине хиљада (потенцијално стандардизованих) делова. Па ипак, због различите намене ова два стандарда (ISO 10303 и ISO 13584), као и због различитих временских дистанци са којих је кренуо њихов развој, постоје поједини проблеми у процесу усклађивања - најочигледнији су другачији интереси њихових корисника, као и различит темпо развоја појединих компонената, што отежава њихово усклађивање. На њиховом решавању заједничким напорима раде чланови развојних комитета оба стандарда.

Употреба параметарског моделирања је данас битан део дизајнерског и инжењерског процеса, којим се знатно скраћује време потребно за развој производа, и увођење потребних, накнадних модификација, које могу бити уочене као потребне у даљем развоју. Обзиром да се велики део нових производа већ базира на постојећем ранијем дизајну, параметарско моделирање, као и способност бележења намера конструктора при дизајнирању дела представљају веома битну ставку за корисника. Већина модерних CAD система приликом употребе даје све ове могућности, али их је, обзиром да су релативно касно ушле у употребу, до сада било немогуће укључити у STEP стандард. У току је развој интегрисаних ресурса који би укључили и параметарске димензије, геометријска ограничења и моделске форме у процес размене и дељења података о производу. Нови ресурси ће омогућити динамичке способности за моделирање делова, који би се могли модификовати изменом вредности димензијских параметара, који би утицали на друге карактеристике или димензије производа, које је дефинисао конструктор. Када могућност приказивања параметарских модела и употребе параметарског моделирања буде доступна у STEP-у, она ће врло брзо наћи примену и у наредним апликационим протоколима који буду развијани. Група која се бави развојем подршке за параметарско моделирање, коју води NIST (енгл. "National Institute for Standards and Technology"), има 3 дугорочна циља:

- Способност бележења разлога, на основу којих су доношене одлуке о дизајну производа;
- Представљање еволуције дизајна производа - прикупљање информација о динамичком развоју производа, од најранијих фаза до коначног детаљног дизајна

(најсличније "историји" која се користи у раду у многим комерцијалним софтверима);

- Репрезентација знања (енгл. „Knowledge-based Engineering”) - бележење базе знања, на основу којих су дефинисана ограничења и усмерења приликом развоја производа.

Горе наведене карактеристике и данас су слабо заступљене у комерцијално доступним форматима за чување података.

STEP почиње да игра све битнију улогу у инжењерским анализама у модерним индустријама где овај део анализе битно утиче на коначан производ (нпр. авиоиндустрија), тако да се веће компаније залажу за развој апликационих протокола који би подржали ову врсту активности, заснивајући своје напоре на већ постојећим апликационим протоколима, као и ESPRIT моделу за инжењерске анализе. Спроведе се иницијални напори да се дефинише базни модел за њихово извршавање (EACM - енгл. "Engineering Analysis Core Model"), који ће потом бити интегрисан у постојеће интегрисане ресурсе, интегрисане апликационе ресурсе и апликационе протоколе који су повезани са формама и инжењерским анализама. Додатне анализе, попут кинематских анализа, карактеристика материјала, и информација о интеграцијама система ће бити укључене, како пројекат буде напредовао. За сада су планирана 3 апликациона протокола:

- Карактеристике материјала - подржаваће размену и дељење информација о еластичним и не-еластичним карактеристикама материјала, замору и карактеристикама лома;
- Аеро/термо еластичност - подржаваће размену и дељење информација које се користе у симулацији интеракције међу компонената објекта који су у лету и ваздуха;
- Анализа динамичких механизма - подржаваће размену и дељење информација које се користе у динамичкој симулацији механизма са еластичним везама.

Довољно је поменути да су компаније попут Boeing-a, Lockheed Martin-a и NASA-e залажу да се пројекат базира на њиховим, већ постојећим пројектима и иницијативама.

Када се говори о будућности технологије размене информација, тешко је не поменути да је четврта индустријска револуција – формирање виртуелно-физичких производних система, већ у току. У питању је тренд аутоматизације и размене података о производним технологијама. Циљ је креирати „паметну фабрику“, у оквирима модуларно структурираних модерних фабрика, у којој информатички системи врше надзор процеса, креирајући виртуелну репрезентацију физичке реалности, и на основу ње вршити доношење децентрализованих одлука.

Путем интернета, уређаји који су на мрежи комуницирају и сарађују међусобно, као и са корисницима, на интерном, али такође и крос-функционалном нивоу. Основна идеја која стоји иза четврте индустријске револуције је да је, повезујући машине, радне налоге, системе и бизниси, и формирајући интелигентне мреже дуж целог ланца вредности, могуће узајамно остварити контролу једни других.

Концепт „Индустрија 4.0“ је настао као пројекат немачке владе, којим се промовише компјутеризација производње, а први пут се као појам помиње 2011. године, на сајму у Хановеру. 2012. године представљен је сет инструкција за имплементацију, као резултат ове иницијативе.

Постоје четири основна принципа Индустрије 4.0:

- Интероперабилност – способност машина, уређаја, сензора и људи да се повежу и комуницирају међусобно;

- Транспарентност информација – способност информатичких система да створе виртуелну копију физичког света, обогаћујући је информацијама добијеним путем сензора;
- Техничка подршка – у виду подршке техничких система људима, сакупљањем, обрадом и визуелизацијом информација, потребних за решавање проблема и доношење одлука;
- Децентрализовање доношења одлука – способност физичких система да доносе одлуке самостално, све док не постоје интерференце које би захтевале додатне инструкције људи који врше надзор и управљање системом.

Концепт виртуелно-физичких система омогућава да објекти буду идентификовани и локализовани и да им се може приступити. На тај начин, предмети производње постају носиоци информација, као објекти у мрежи инстанци истог предмета, али захваљујући додељивању појединачних информација појединим предметима, могуће је остварити доследност производних процеса и анализирати историје измена. Предмети производње такође су повезани и са структуром модела целог производа, као и подацима о планирању процеса, па на тај начин могу самостално контролисати свој производни процес. На примеру једноставног дела, систем на основу скенирања структуре одређује ком склопу део припада, а на основу тога одређује и план производње, као и зоне у којима се други делови тог склопа налазе.

Да би концепт да предмети производње буду носиоци информација био могућ, неопходно је да предмети имају дефинисану одговарајућу спецификацију потребних информација, дефинишући одређени информациони модел компоненте. Он се добија издвајањем из информационог модела производа, где STEP стандард налази примену, пошто нуди тај приступ. У процесу четврте индустријске револуције, носиоци информација играју битну улогу, јер представљају везу на релацијама између сензора, машина, радних налога, корисника и целокупних производних система.

11. Практична разматрања

У практичном делу рада разматрана је примена STEP стандарда у модерном производном окружењу, на примеру из машинске индустрије, конкретно у изради дела конструкције покретног ископавача Wacker Neuson EW65, приказаног на слици 33.



Слика 33: Ископавач Wacker Neuson EW65

Као што је у уводном делу рада речено, у савременим производним окружењима, произвођачи се често окрећу подизвођачима радова и добављачима, задуженим за израду и снабдевање појединих подсклопова и склопова коначног производа, у складу са достављеном пројектном документацијом. У конкретном случају, компанији Wacker Neuson из Крагујевца је од матичне компаније достављена документација следеће садржине:

- Технички цртежи са основним димензијама, у .dxf формату, са функцијом контроле квалитета/димензија појединих елемената израђеног дела;
- Модел предмета израде, испоручен у STEP формату, у виду .stp датотеке;
- Друга пратећа документација (рокови, тражени обим производње).

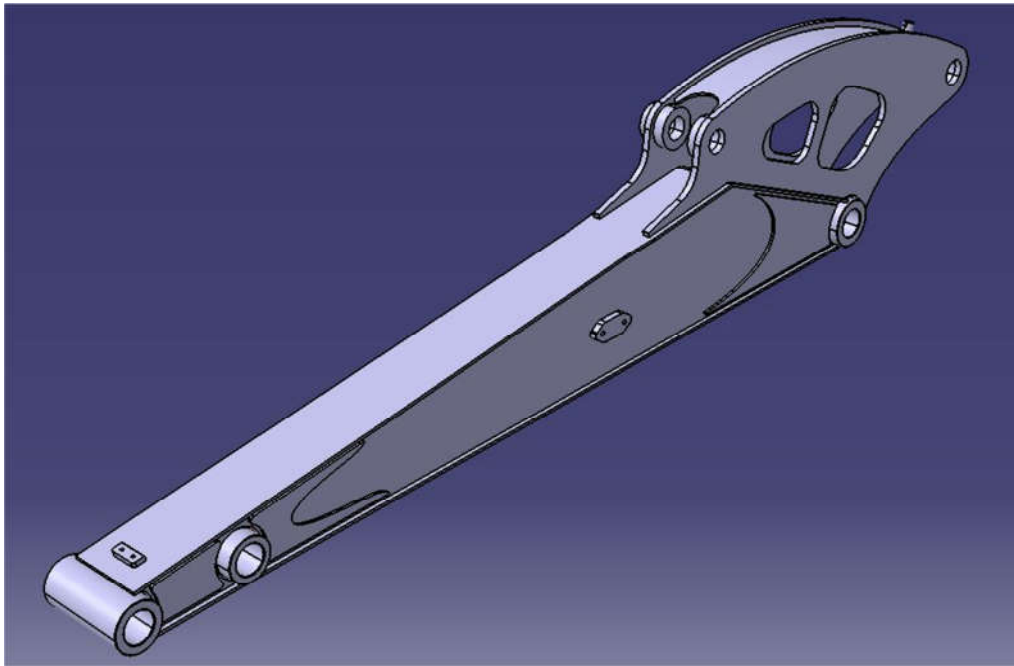
Одлука произвођача је да својим добављачима испоручује пројектну документацију у овом формату, како би неутралисао могућност некомпатибилности употребљаваног CAD софтвера страна које сарађују. На основу достављене документације, добављач има следеће задатке:

- Да на основу достављеног модела формира алат и дефинише производни процес за израду дела;
- Да на основу достављеног захтева одреди рокове за почетак испоруке;
- Да на основу формираног алата и дефинисаног процеса одреди трошкове производње.

У практичном делу рада разматрања ће бити базирана око следећих основа:

- Израда делова склопа у 3 комерцијална CAD софтвера (CATIA V5 R20, Autodesk Inventor 2015, ZWSOFT ZW3D 2015 SP);
- Израда склопа из моделираних делова, и конверзија склопа у STEP формат, са разматрањем опција за извоз које су у изабраним софтверима понуђене (избор апликационог протокола, прецизност, итд.) , као и осврт на уштеду у заузећу простора на диску;
- Отварање STEP датотека из сва 3 CAD софтвера у 2 неутрална програма за преглед STEP датотека – STP Viewer 2.3.0 и AB Viewer 11, као и провера комплетности/тачности модела;
- Увоз STEP датотека из једног у друге CAD софтвере, са освртом на резултате конверзије, ниво сачуваних информација и могућност појаве грешака у конверзији.
- Упоредивање кода STEP датотека, прегледом у програму Notepad++ v6.9.1.

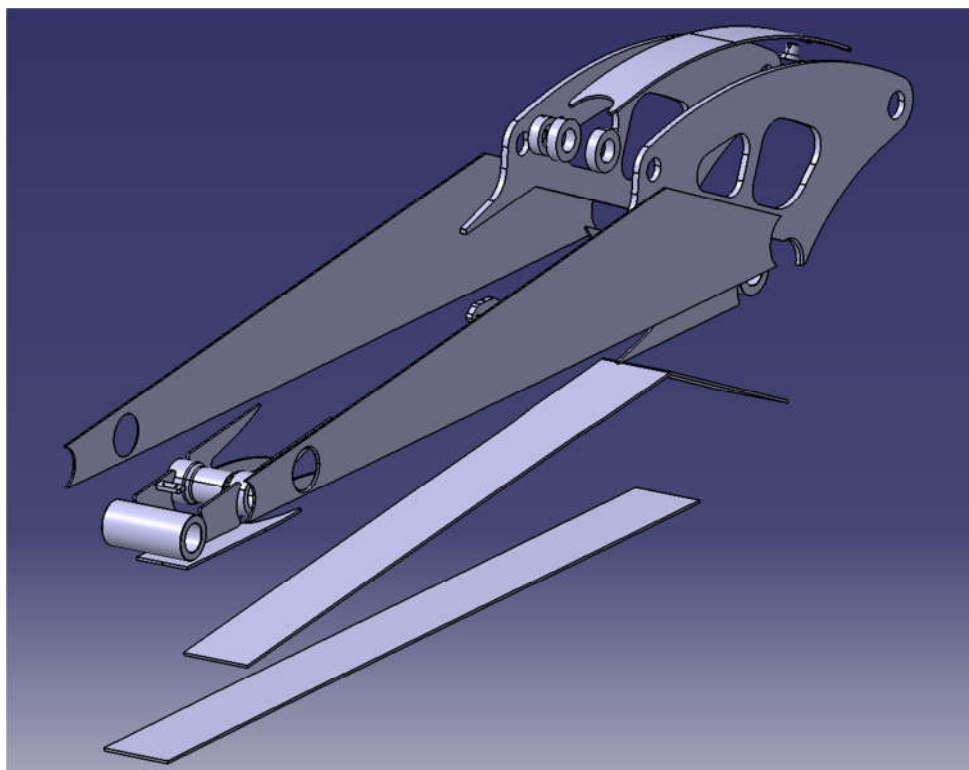
Део који је обрађен у практичном делу рада има производну ознаку „Loffelstiel Lang E14-102”, и представља један од делова из асортимана производње компаније „Wacker Neuson“ д.о.о. из Крагујевца. Модел склопа је приказан на слици 34.



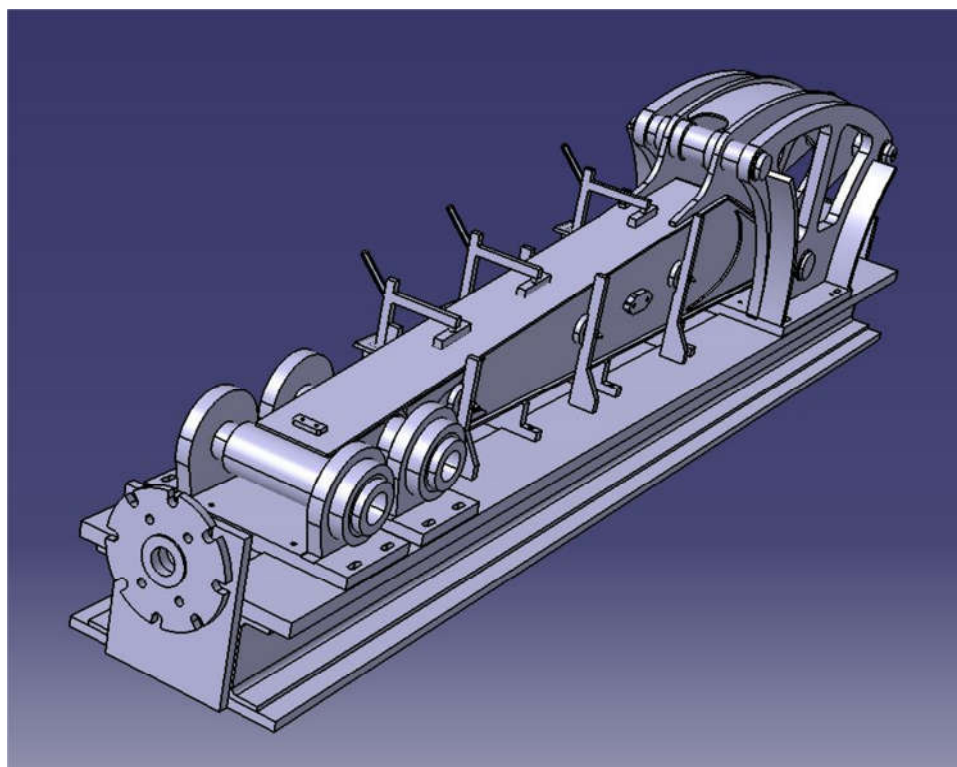
Слика 34: Loffelstiel Lang E14-102

Склоп приказан на слици 34 израђује се као заварени склоп елемената, производни процес подразумева:

- Исецање појединих делова склопа из лимених табли одговарајуће дебљине плазма сечењем (делови склопа су приказани на слици 35);
- Монтирање делова склопа у одговарајући стезни алат (приказано на слици 36);
- Тачкасто заваривање делова склопа, у стезном алату, како би се избегло деформисање склопа у процесу заваривања;
- Линијско заваривање делова склопа по завршетку процеса тачкастог заваривања;
- Машинска обрада отвора, по завршеном склопу, како би положај отвора био у задатим толеранцијама.



Слика 36: Делови склопа Loffestiel Lang E14-102

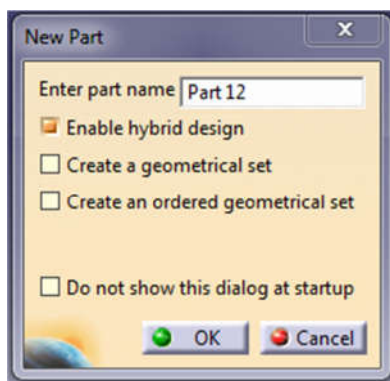


Слика 36: Loffestiel Lang E14-102 у стезном алату

I. Израда модела у CATIA V5 R20 софтверском окружењу

На основу задатог предмета израде приступа се изради 3D моделских форми у софтверском пакету CATIA V5 R20. Обзиром да ће процес израде модела бити поновљен у три софтверска пакета, поступак израде неће у потпуности бити приказан у оквиру овог рада.

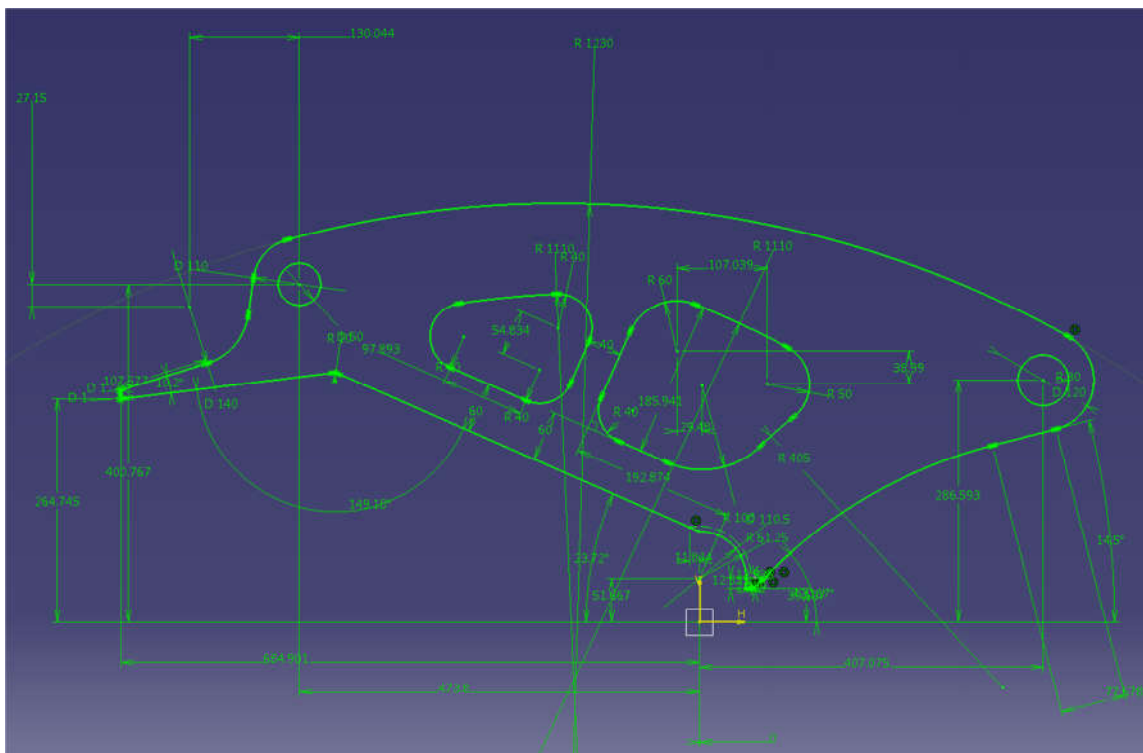
Изради модела приступа се кроз модуле „Mechanical design”, односно “Part design” за појединачне елементе склопа и “Assembly design”, како би се оформио цео склоп, а на основу техничког цртежа. Уласком на „Mechanical design”, бирам из стабла „Part design”, и дефинишем назив новог дела, као на слици испод:



Слика 37: Дефинисање назива дела

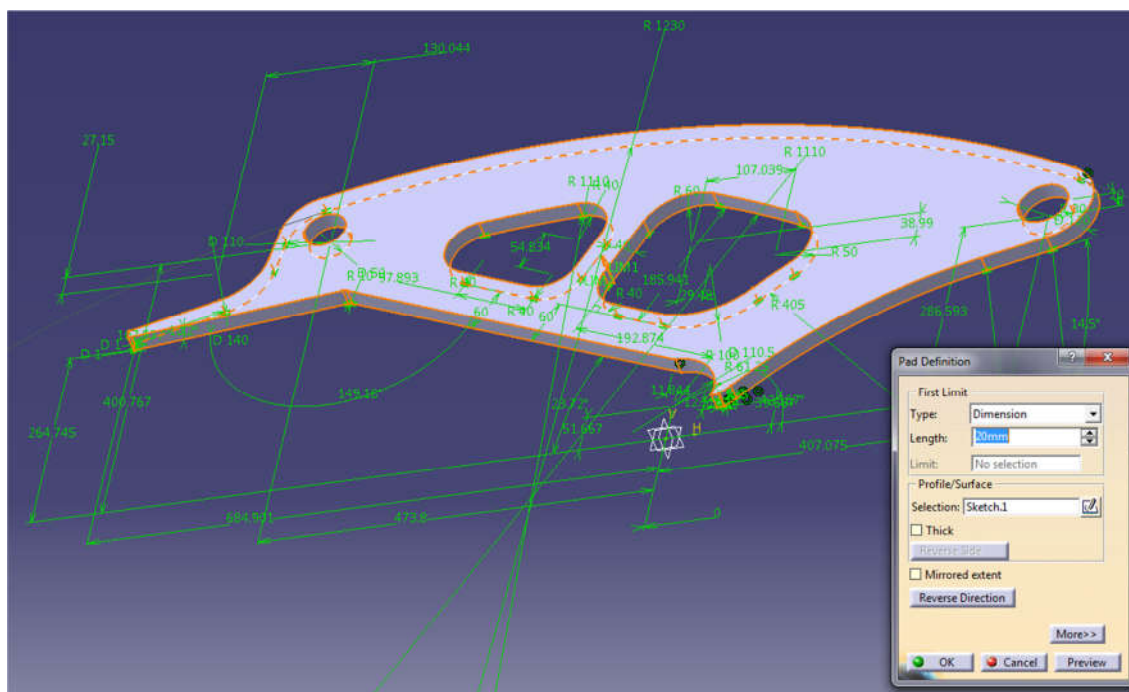
Након тога приступа се изради геометријске скице, употребом алата „Sketcher” , као на слици 38, при чему се најчешће користе следећи алати:

-  - за скицирање правих линија;
-  - за скицирање кружница и кружних лукова;
-  - за скицирање кружних лукова, почев од крајњих тачака;
-  - за скраћивање конструкционих и помоћних линија;
-  и  - за дефинисање геометријских ограничења (углови, растојања, дужине, паралелности, тангентности, итд.).



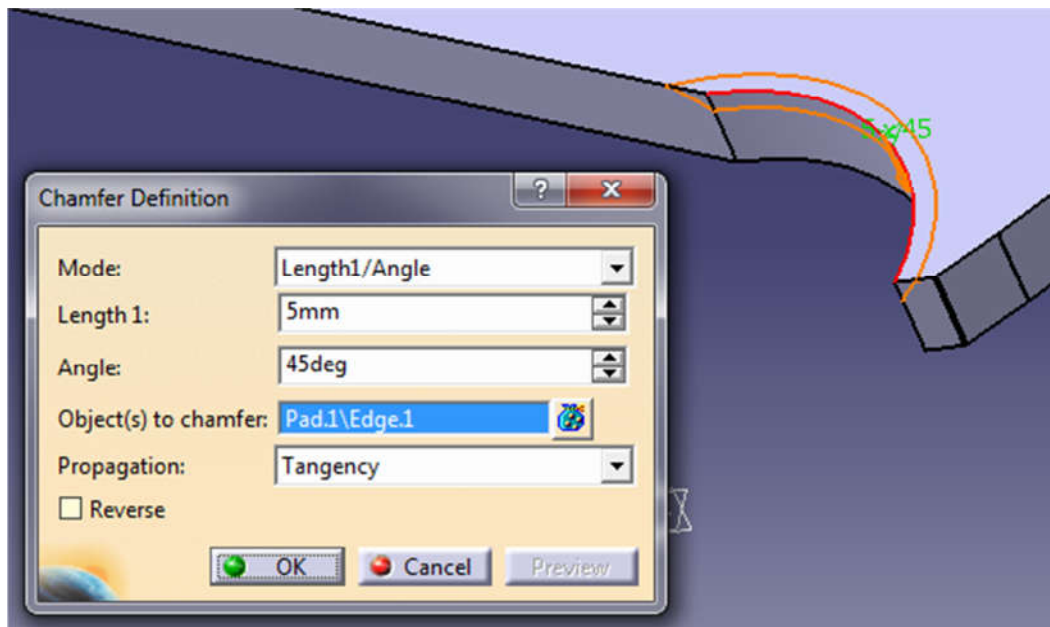
Слика 38: Геометријска скица дела израђена у CATIA V5 R20

По завршетку скице, изласком из “Sketcher”-а и на основу израђене скице, употребом алата „Pad” , креира се моделска форма, као на слици 39:



Слика 39: Геометријска моделска форма

Део је комплетиран обарањем ивице под углом од 45 степени, дебљине 5 милиметара, као на слици 40:

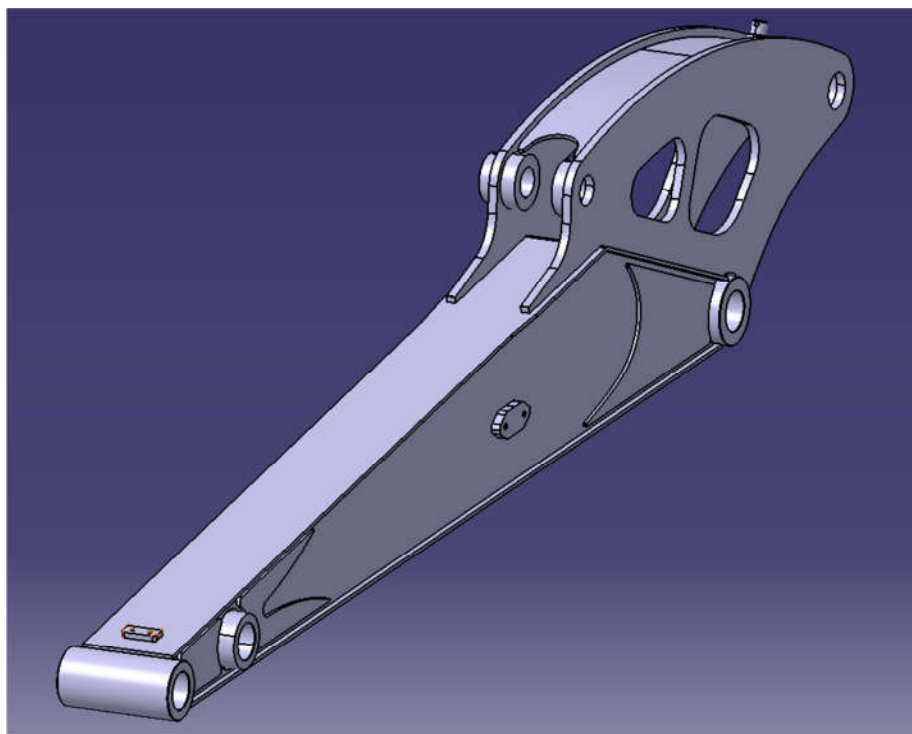


Слика 40: Обарање ивице употребом алата „Chamfer” 

По изради свих делова, прелази се на израду склопа, употребом модула “Assembly design” у оквиру “Mechanical design”-а, при чему се користе следећи алати:

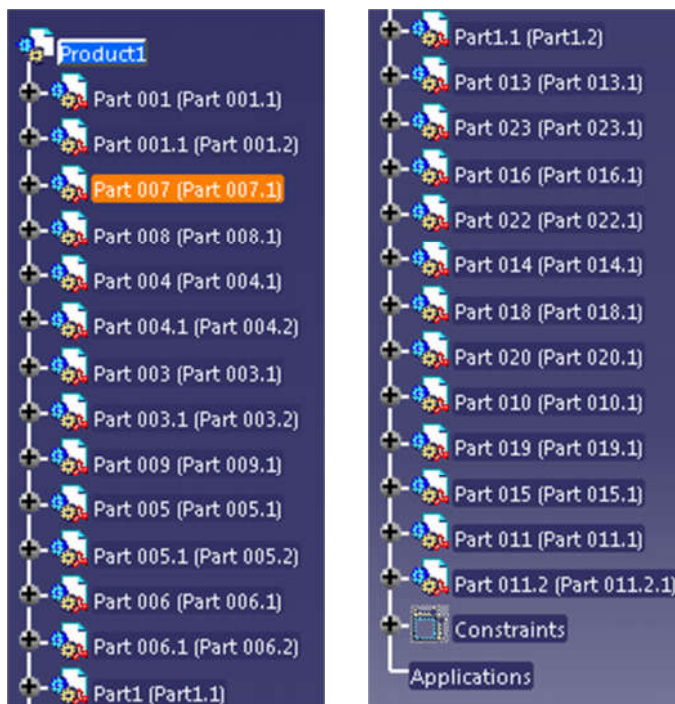
-  - за увоз нове компоненте склопа;
-  - за фиксирање компоненте која ће бити референца осталим компонентама у склопу;
-  - за просторну манипулацију компонентама склопа;
-  - за дефинисање саосности отвора, кружница, кружних лукова и сл;
-  - за дефинисање контакта међу 2 површи;
-  - за дефинисање растојања међу 2 површи, осе, ивице и сл;
-  - за дефинисање угла међу 2 површи, радијуса, ивице и сл.

По завршетку рада у модулу „Assembly design”, цео склоп има форму приказану на слици 41.



Слика 41: Склон Loffestiel Lang E14-102 у CATIA V5 R20

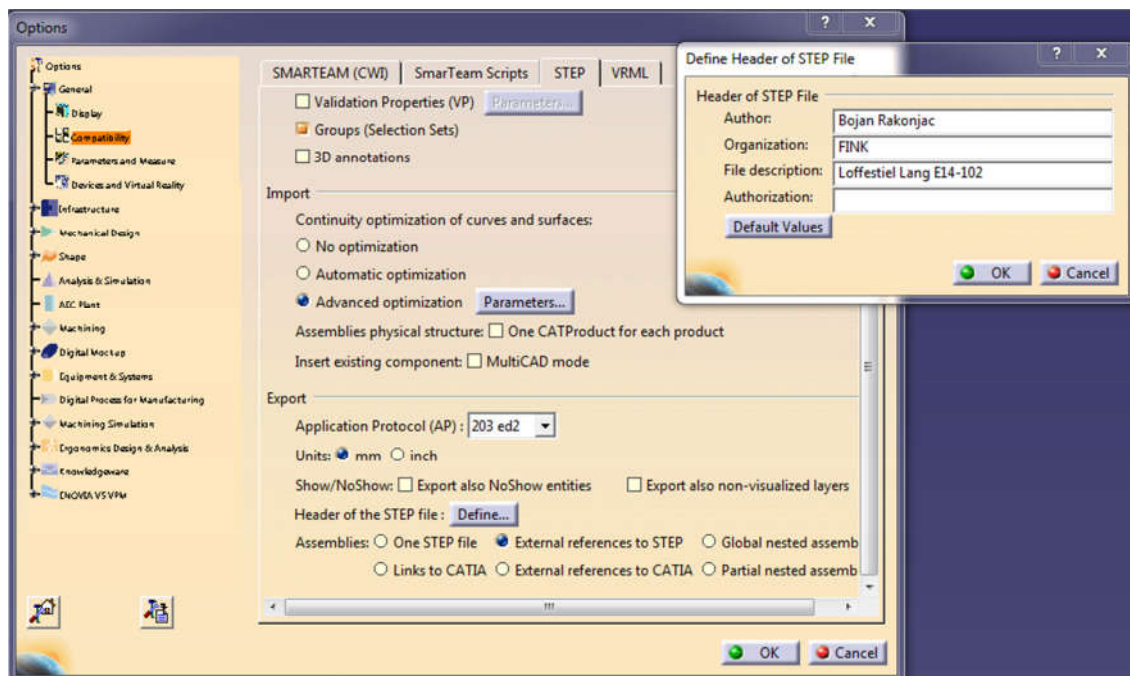
По завршетку модела, стабло модела има структуру приказану на слици 42.



Слика 42: Стабло модела Loffestiel Lang E14-102 у CATIA V5 R20:
ограничења и делови који формирају склоп

Комплетан склоп има величину 3.25 MB, у коју улазе датотеке делова појединачних моделских форми, као и датотека која представља склоп целог модела. При извозу из нативног CATIA формата у .stp датотеку, CATIA V5 R20 нуди опције за извоз приказане на слици 43. Најбитнија подешавања се односе на:

- оптимизацију извоза која се односи се на толеранције, изабрано је 0.001mm;
- избор апликационог протокола по коме ће модел бити извезен (AP203, AP203 ed2, AP214,);
- јединице мере (милиметри или инчи);
- избор извоза невидљивих и сакривених ентитета и површина – искључено;
- дефинисање заглавља документа (аутор, организација, додатни опис);
- начин на који се извозе склопови – као јединствена датотека за цео модел или као појединачни делови који формирају модел.

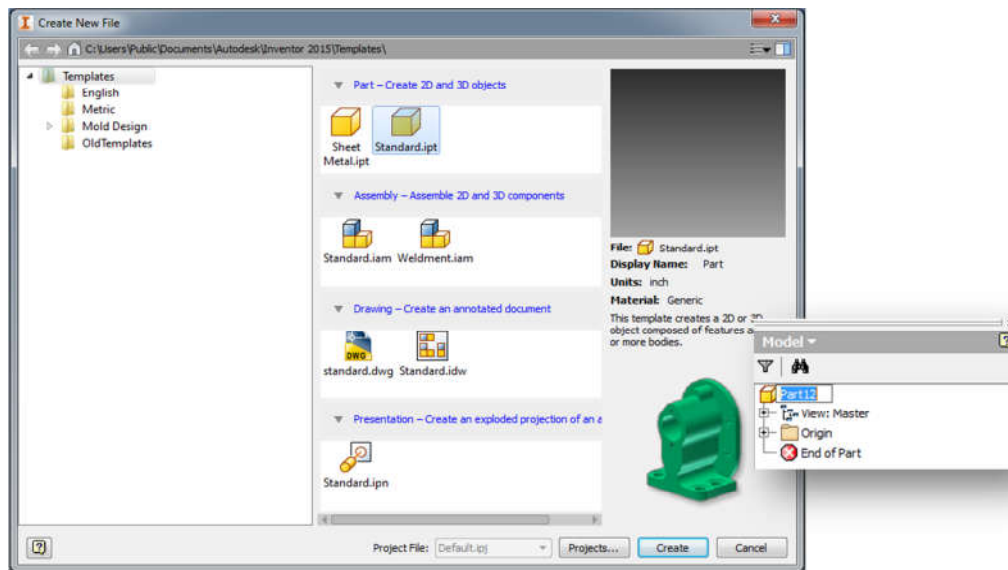


Слика 43: Опције за извоз .stp датотека из CATIA V5 R20 софтверског пакета

За извоз је одабран апликациони протокол AP203, у верзији 2, и склоп је звезен као појединачни делови, при чему укупна величина свих датотека износи 822 KB, остварујући уштеду од 74.6%. у заузећу на диску. При извозу модела у виду једног документа (склоп са свм деловима), излазна датотека је величине 784 KB, остварујући уштеду од 76.4%.

II. Израда модела у Autodesk Inventor Professional 2015 софтверском окружењу

Изради модела у софтверском окружењу Autodesk Inventor Professional 2015 приступа се избором опције  „New” у почетном менију, чиме се отвара избор, као на слици 44, у коме је потребно изабрати „Standard.ipt“, након чега се мења назив из стабла модела, узимајући као референцу већ урађени модел у софтверу CATIA V5 R20.

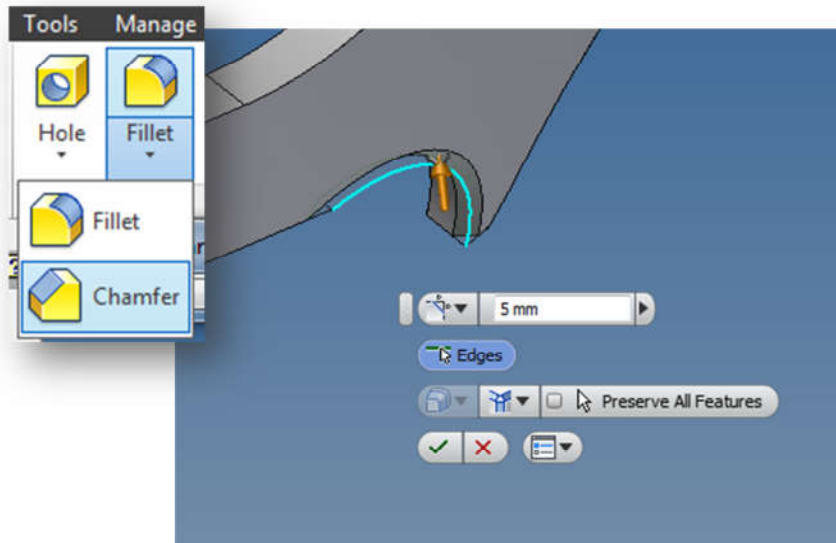


Слика 44: Избор израде новог дела у Autodesk Inventor Professional 2015 и дефинисање назива дела

Из менија „3D Model“ треба изабрати алатку за израду 2D цртежа „Create 2D Sketch”, и на основу доступне техничке документације приступити изради геометријске скице, при чему се најчешће користе следећи алати:

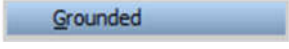
-  Line  Spline  Spline Control Vertex  Spline Interpolation - за скицирање линија и кривих;
-  Circle Center Point  Circle Tangent - за скицирање кружница;
-  Rectangle Two Point  Rectangle Two Point Center  Slot  Center Point Arc  Polygon - за скицирање сложенијих моделских форми;
-  Fillet  Chamfer - за припрему оборених ивица;
-  Trim  Extend  Split  Mirror - за манипулацију постојећим моделским формама;
-  Dimension - за дефинисање основних конструкционих ограничења (дужине, растојања, углови, радијуси и сл.);
-        - за дефинисање унапред одређених геометријских ограничења (тангентност, паралелност, симетричност, управност, хоризонталан/вертикалан положај и сл).

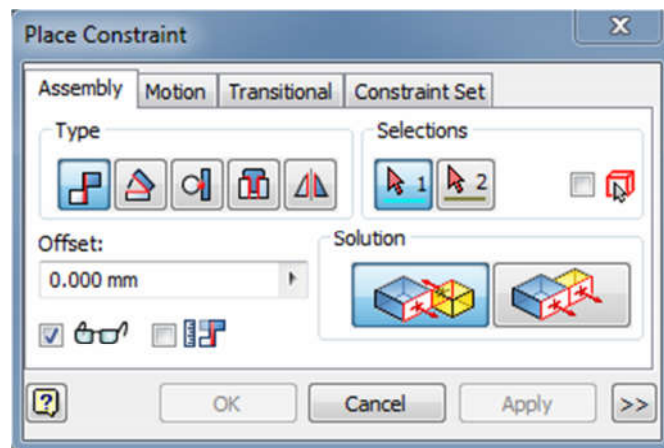
Завршена скица дела приказана је на слици 45.



Слика 47: Обарање ивице употребом алата „Chamfer”

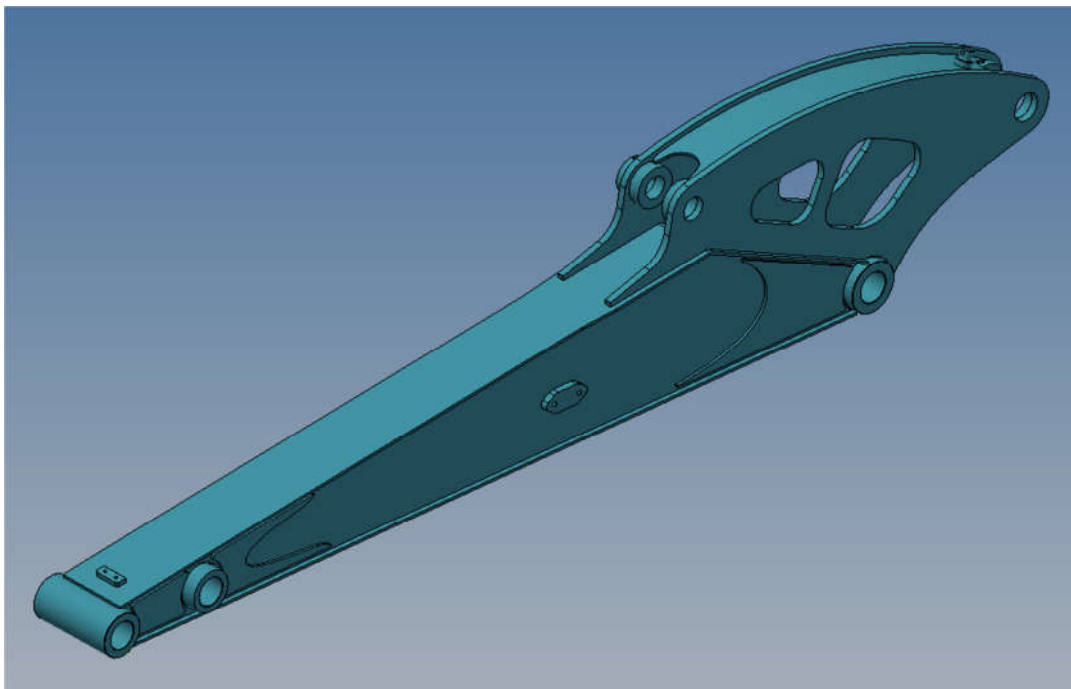
По изради свих делова, прелази се на израду склопа модела, избором „New”, односно “Standard.iam” из отвореног прозора, при чему се користе следећи алати:

-  - за увоз компоненте склопа, из менија “Component”;
-  - за фиксирање једне компоненте која ће бити референца осталим компонентама у склопу, отварањем менија десним кликом на део из стабла модела;
- Остала ограничења се дефинишу избором једног од алата са слике 48, одређивањем димензије коју дефинишемо, и избором делова који учествују у том ограничењу.



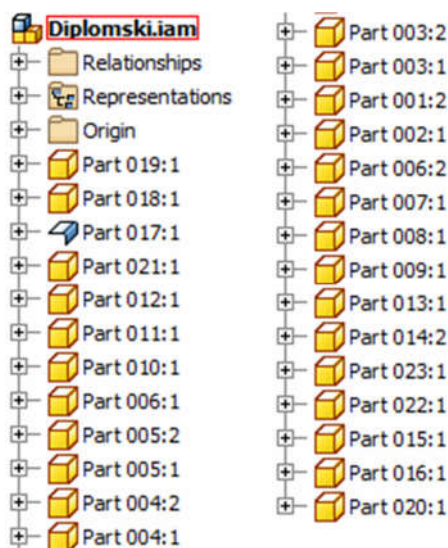
Слика 48: Дефинисање врсте ограничења у Autodesk Inventor Professional 2015:
растојање, угао, тангентност, саосност и симетричност

По завршетку рада у “Assembly View” начину рада, цео склоп има форму приказану на слици 49.



Слика 49: Склон Loffestiel Lang E14-102 у Autodesk Inventor Professional 2015

По завршетку модела, стабло модела има структуру приказану на слици 50.

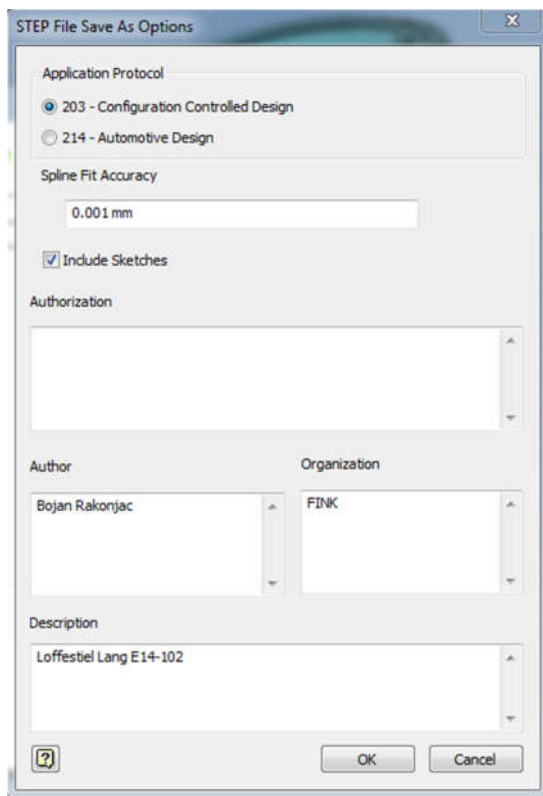


Слика 50: Стабло модела Loffestiel Lang E14-102 у Autodesk Inventor Professional 2015: ограничења, референти координатни систем и делови који формирају склоп

Комплетан склоп има величину 3.82MB, у коју улазе датотеке делова појединачних моделских форми, као и датотека која представља склоп целог модела. При извозу из нативног Inventor формата у .stp датотеку, Autodesk Inventor Professional 2015 нуди опције за извоз приказане на слици 51. Подешавања које је могуће извршити су:

- избор апликационог протокола по коме ће се вршити конверзија – AP203 или AP214;

- оптимизацију извоза која се односи се на толеранцију прецизности за сложене површи, подешено је на 0.001mm;
- подаци који се налазе у заглављу документа: аутор, организација и додатни опис).

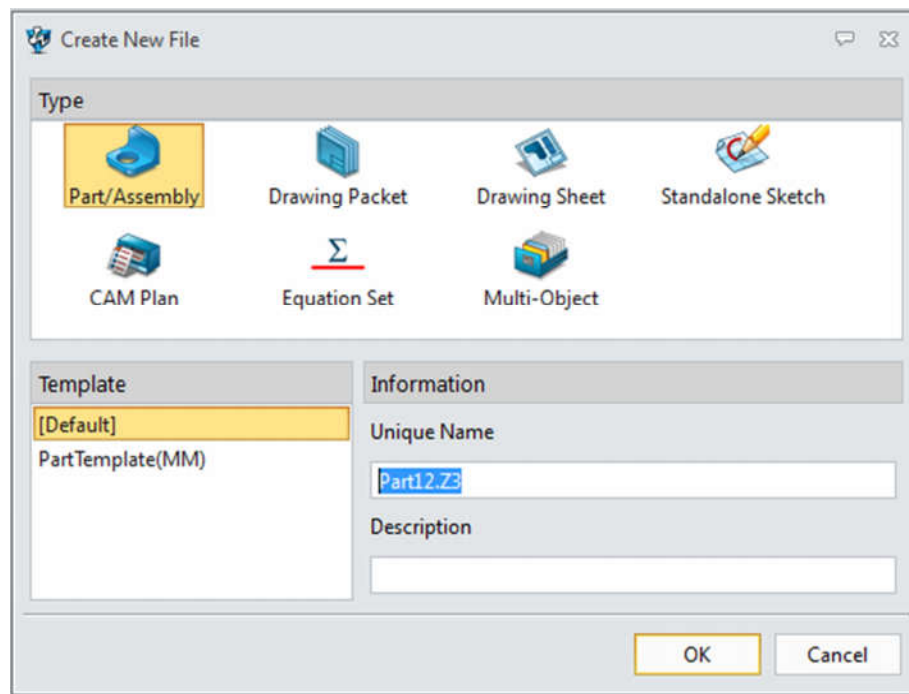


Слика 51: Опције за извоз .stp датотека из Autodesk InventorProfessional 2015 софтверског пакета

За извоз је одабран апликациони протокол AP203, при чему величина .stp датотеке износи 690 KB, остварујући уштеду од 82.3%. у заузећу на диску у односу на оригиналну документацију у нативном Inventor формату.

III. Израда модела у ZWSoft ZW3D 2015 SP софтверском окружењу

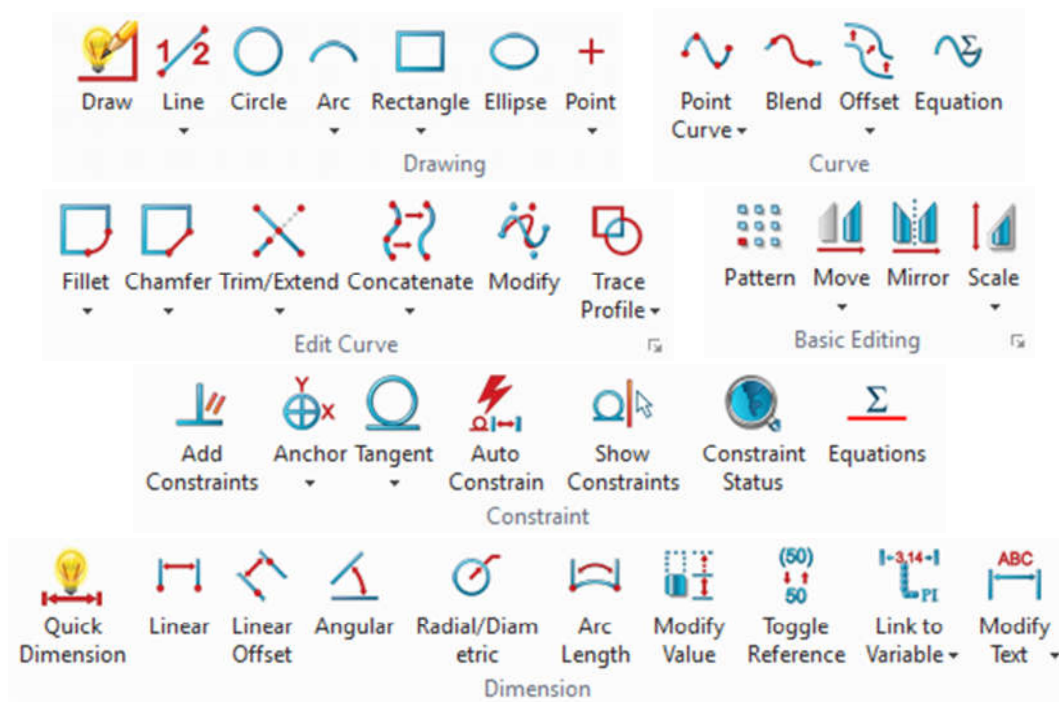
Изради модела у софтверском окружењу ZWSoft ZW3D 2015 SP приступа се избором опције „New” у почетном менију, чиме се отвара избор, као на слици 52, у коме је потребно изабрати „Part/Assembly”, након чега се дефинише назив у „Part12”, узимајући као референцу већ урађени модел у софтверу CATIA V5 R20.



Слика 52: Избор израде новог дела у ZWSOFT ZW3D 2015 и дефинисање назива дела

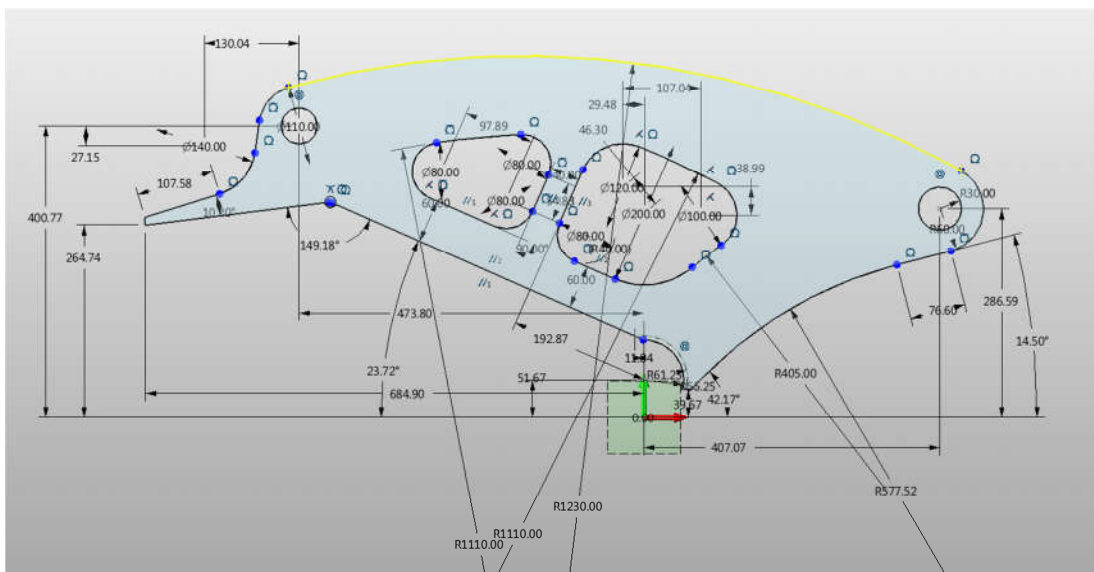
Из менија „Shape” бира се алат “Insert Sketch” и избором једне од равни са радне површине почиње рад на скицирању моделске форме, на основу техничке документације, при чему се најчешће користи менијима и алатима приказаним на слици 53:

- „Drawing”, у оквиру којих су алати за скицирање сложених контура, линија, тачака, кружница, лукова, правоугаоних моделских форми и других облика;
- „Curve”, у оквиру кога се налазе алати за скицирање комплексних кривих;
- „Edit Curve”, којима вршимо корекције раније урађених моделских форми;
- „Basic Editing”, којима се врше основне трансформације раније урађених моделских форми;
- „Constraint”, којима се постављају унапред предефинисана ограничења на скици (попут паралелности, тангентности, паралелности, колинеарности, итд.);
- „Dimension”, којима се дефинишу димензиона ограничења на скици (попут дужина, растојања, углова, пречника, дужина кружних лукова итд.).



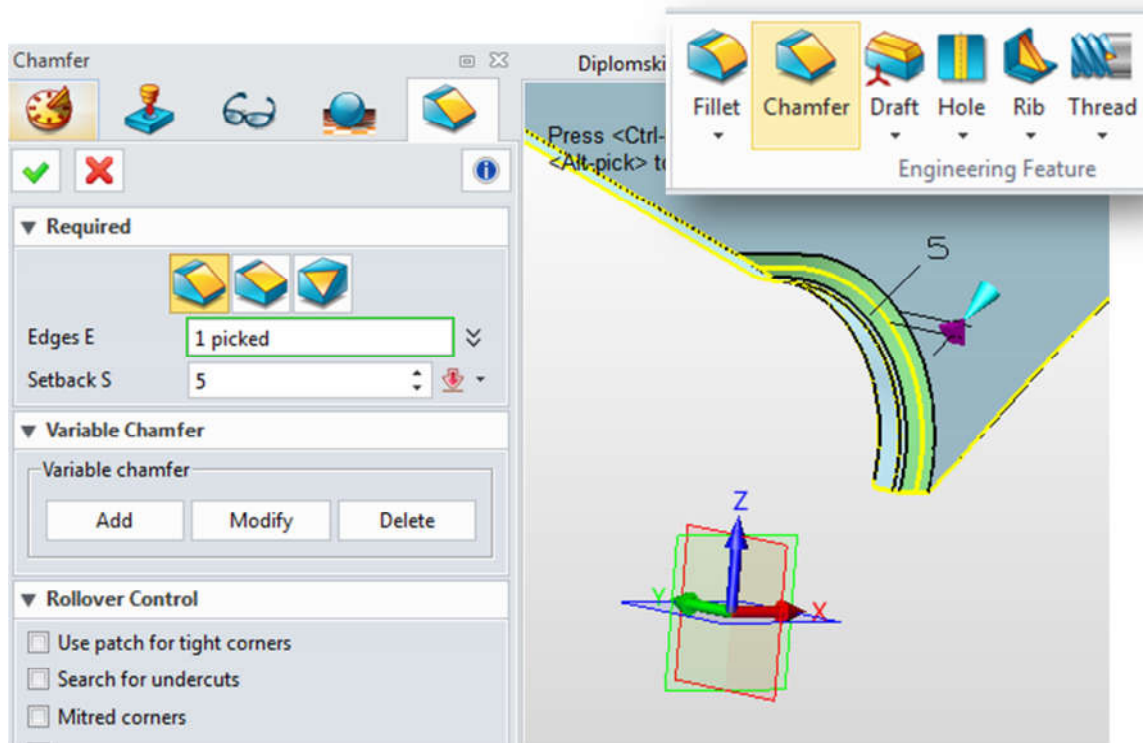
Слика 53: Избор алата при изради новог дела у ZWSOFT ZW3D 2015 SP

Завршена скица дела који је скициран приказана је на слици 54.



Слика 54: Геометријска скица дела, израђена у ZW3D 2015

Након употребе команде „Extrude“, део се комплетира обарањем ивице под углом од 45 степени, дубине 5mm, употребом алата „Chamfer“, као што је приказано на слици 55.

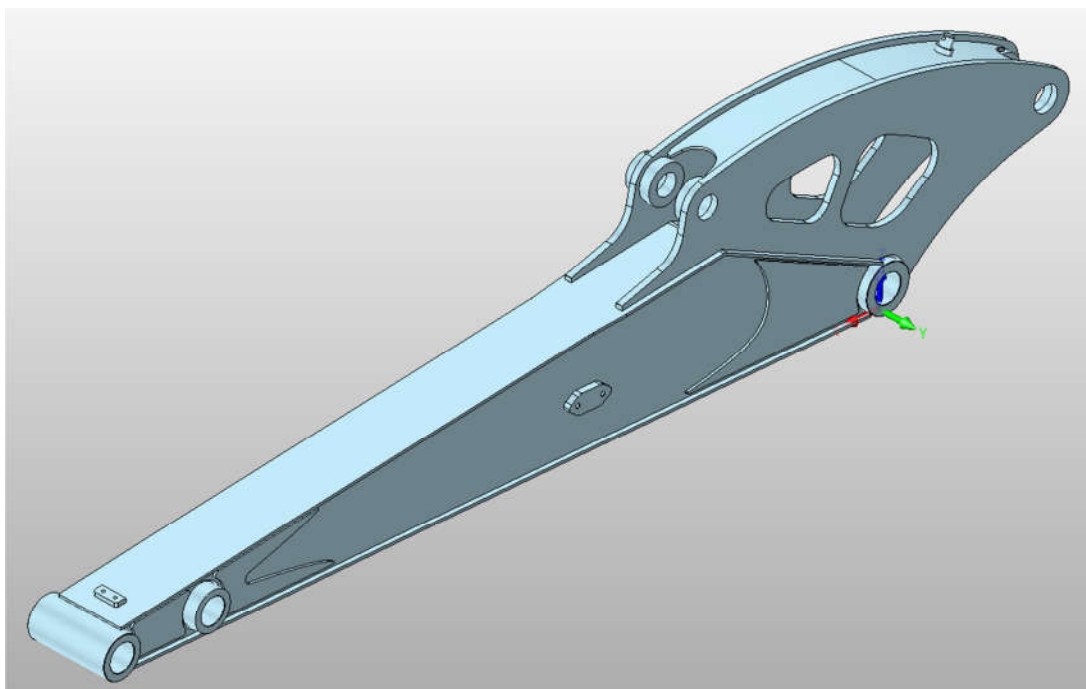


Слика 55: Обарање ивице употребом алата „Chamfer”

По изради свих делова, прелази се на израду склопа модела, избором „New”, односно “Part/Assembly” из отвореног прозора, преласком на картицу стабла склопа, тј. у мени „Assembly” при чему се користе следећи алати:

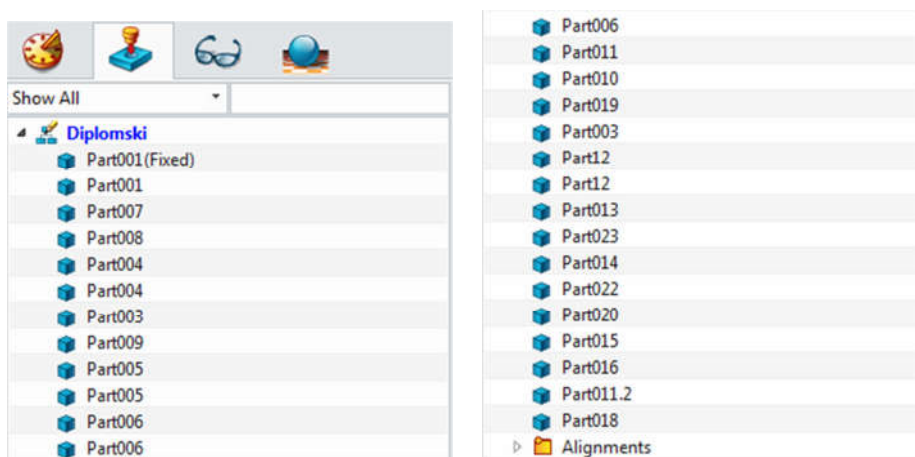
- - за дефинисање саосности отвора, кружних лукова и сл;
- и - за дефинисање паралелности и управности линија и површина;
- - за дефинисање угла међу 2 површи, радијуса, ивице и сл;
- - за дефинисање растојања међу 2 површи, осе, ивице и сл.
- и - за просторну манипулацију деловима.

По завршетку рада у “Assembly” начину рада, цео склоп има форму приказану на слици 56.



Слика 56: Склоп Loffestiel Lang E14-102 у ZWSoft ZW3D 2015 SP

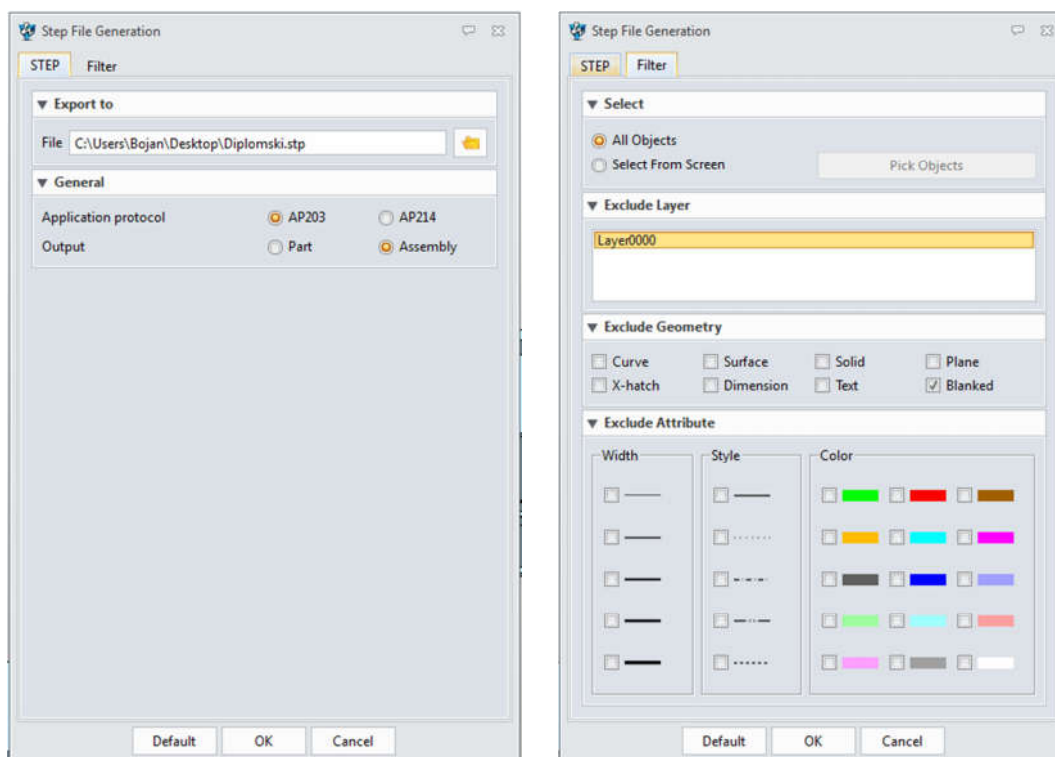
По завршетку модела, стабло модела има структуру приказану на слици 57.



Слика 57: Стабло модела Loffestiel Lang E14-102 у ZWSoft ZW3D 2015 SP: делови који формирају склоп и дефинисана феометријска ограничења

Комплетан склоп има величину 3.41 MB, у коју улазе датотеке делова појединачних моделских форми, као и датотека која представља склоп целог модела. При извозу из нативног ZW3D формата у STEP датотеку, ZWSoft ZW3D 2015 SP нуди опције за извоз приказане на слици 58. Подешавања које је могуће извршити су:

- Избор апликационог протокола између AP203 и AP214;
- Извоз у форми једног дела, или у форми склопа;
- Избор геометријских и других елемената на којима не треба извршити конверзију у STEP формат (попут кривина, површи, равни, димензија).



Слика 58: Опције за извоз .stp датотека из ZW3D 2015 софтверског пакета

За извоз је изабран апликациони протокол AP203, као и у случају претходних софтверских пакета, и склоп је конвертован прво у виду појединачних делова, при чему величина датотеке износи 704 KB, остварујући уштеду од 79.8% у заузећу на диску. При извозу модела у виду једног дела (без појединачних моделских форми), излазна датотека је величине 1.02 MB, остварујући уштеду од 70.1% у заузећу простора.

IV.Провера STEP датотека у софтверу за преглед и провера компатибилности међу употребљеним CAD системима

Датотеке које су настале конверзијом по AP203 апликационом протоколу из три употребљена софтвера ће бити упореређена по питању компатибилности у приказу у два независна програма за преглед STEP формата и унакрсним тестирањем у сва три CAD система.

У табели 5 је упоредан приказ величина докумената (у бајтовима) који су формиран извозом у STEP, величина оригиналних докумената, са приказом компресије података која се остварује конверзијом у STEP, као и величина остварена додатном ZIP компресијом (у Total Commander-у):

Табела 5: Упоредни резултати посматрања STEP датотека у програмима STP Viewer и AB Viewer

CAD систем, и тип STEP датотеке	Апликац. протокол	Величина у нативном формату	Величина у .stp формату	Уштеда простора	WinZIP компресија	Уштеда простора
CATIA V5R20 / 1 документ	AP203 ed2	3,414,742	802,734	76.4%	137,432	95,9%
CATIA V5R20 / пој. документи	AP203 ed2		866,328	74.6%	188,813	94.5%
Inventor 2015 / 1 документ	AP203	4,002,816	705,642	82.3%	133,307	96,7%
ZW3D 2015 / 1 документ	AP203	3,581,429	721,433	79.8%	192,991	94,6%
ZW3D 2015 / склоп = 1 део	AP203		1,072,190	70.1%	132,570	96,3%

Визуелна провера конверзије у STEP формат извршава се у програмима STP Viewer v2.3.0 и AB Viewer 11, при чему се посматрају следећи документи:

- STEP из CATIA V5 R20 софтвера, по AP203 ed2 протоколу, која у оквиру 1 датотеке формира цео склоп;
- STEP из CATIA V5 R20 софтвера, по AP203 ed2 протоколу, која у оквиру појединачних датотека склопа и делова формира цео склоп;
- STEP из Autodesk Inventor 2015 Professional софтвера, по AP203 протоколу, која у оквиру 1 датотеке формира цео склоп;
- STEP из ZWSoft ZW3D 2015 SP софтвера, по AP203 протоколу, која у оквиру 1 датотеке формира цео склоп;
- STEP из ZWSoft ZW3D 2015 SP софтвера, по AP203 протоколу, која у оквиру 1 датотеке формира цео склоп;
- STEP из ZWSoft ZW3D 2015 SP софтвера, по AP203 протоколу, која у оквиру 1 датотеке формира склоп у форми 1 дела;

Визуелна провера подразумева проверу присуства свих моделских форми, са изостанком грешака попут недостајућих моделских форми, недостајућих површи и сл, као и задовољавајући приказ кривих и комплексних површи.

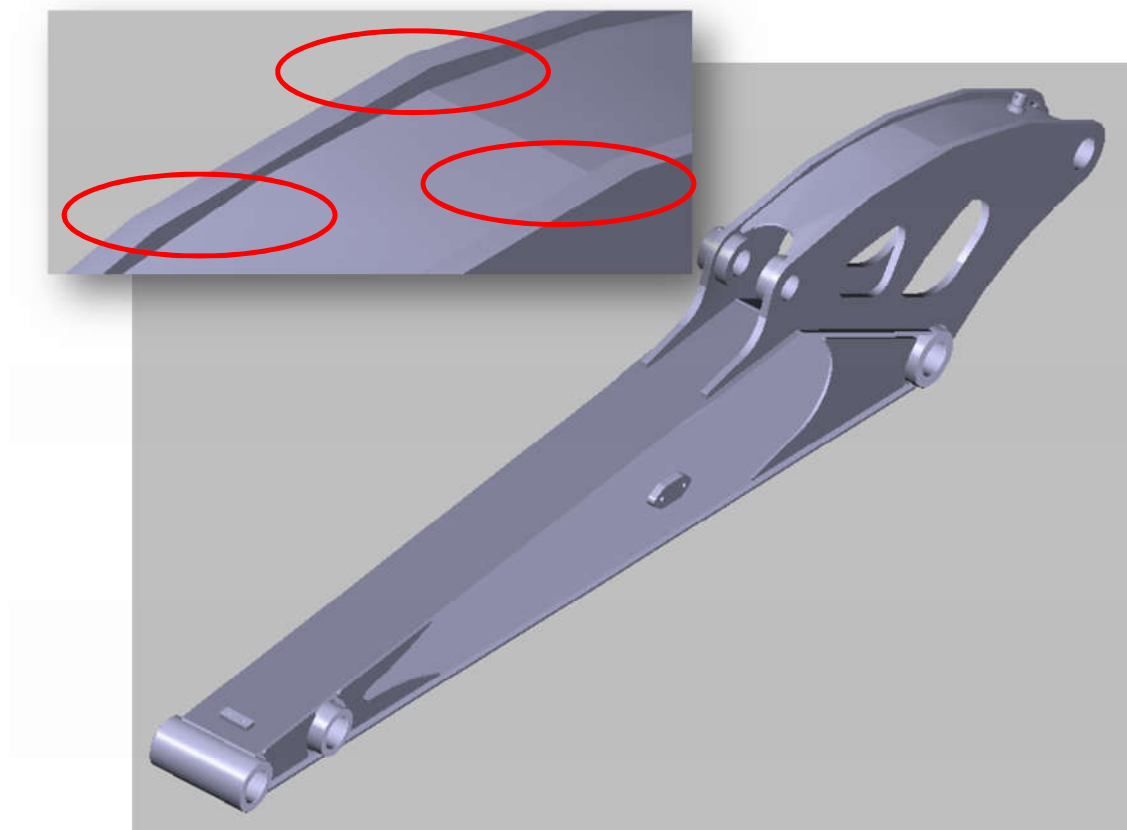
У табели 6 је упоредни приказ резултата отварања STEP датотека у 2 поменута софтвера:

Табела 6: Упоредни резултати посматрања STEP датотека у програмима STP Viewer и AB Viewer

CAD систем, и тип STEP датотеке	Апликац. протокол	Софтвер за приказ	STEP документ успешно отворен?	Приказ без грешака?	Коментари
CATIA V5R20 / 1 документ	AP203 ed2	STP Viewer	ДА	ДА	Прецизност кр. лукова
		AB Viewer	ДА	ДА	Прецизност кр. лукова
CATIA V5R20 / пој. документи	AP203 ed2	STP Viewer	ДА	ДА	Прецизност кр. лукова
		AB Viewer	ДА	ДА	Прецизност кр. лукова
Inventor 2015 / 1 документ	AP203	STP Viewer	НЕ	-	Гашење програма
		AB Viewer	НЕ	-	Без приказа
ZW3D 2015 / 1 документ	AP203	STP Viewer	ДА	ДА	Прецизност кр. лукова
		AB Viewer	ДА	ДА	Прецизност кр. лукова
ZW3D 2015 / склоп = део	AP203	STP Viewer	ДА	ДА	Најбољи приказ
		AB Viewer	ДА	ДА	Најбољи приказ

Након провере свих комбинација CAD софтверских окружења и употребљених начина извоза STEP датотека из њих, употребљени софтвери STP Viewer и AB Viewer су у 80% случајева успешно отворили .stp документе. У случају .stp датотека које су настале извозом из Inventora, оба софтвера су препознала документе (на основу екстензије „*.stp“), али нису успели да их отворе (STP Viewer) или прикажу (AB Viewer).

У свим случајевима када је програм за преглед отворио STEP модел, приказ је био потпун, без изосталих моделских форми или површи. У свим случајевима приказа постоји замерка на прецизност приказа лукова и сложених површи, која је у најмањој мери била присутна код документа који је конвертовао WZ3D, формирајући од склопа један део, при чему је та датотека по величини већа од свих осталих. У свим случајевима, приказ кружних лукова је био са умањеном прецизношћу (као на слици 59), што је изражено било код форми са већим радијусима, док се са смањењем радијуса смањивала и грешка у приказу. Произвођачи софтвера често, зарад бржег приказа, оптимизују програме да брзина рада буде испред квалитета приказа, што би могло да објасни ову појаву.



Слика 59: Умањени квалитет приказа кружних лукова у АВ Viewer-у

Унакрсно тестирање софтвера је изведено по истом принципу, увозом STEP датотека из једног у преостала 2 система, резултати су приказани у табели 7.

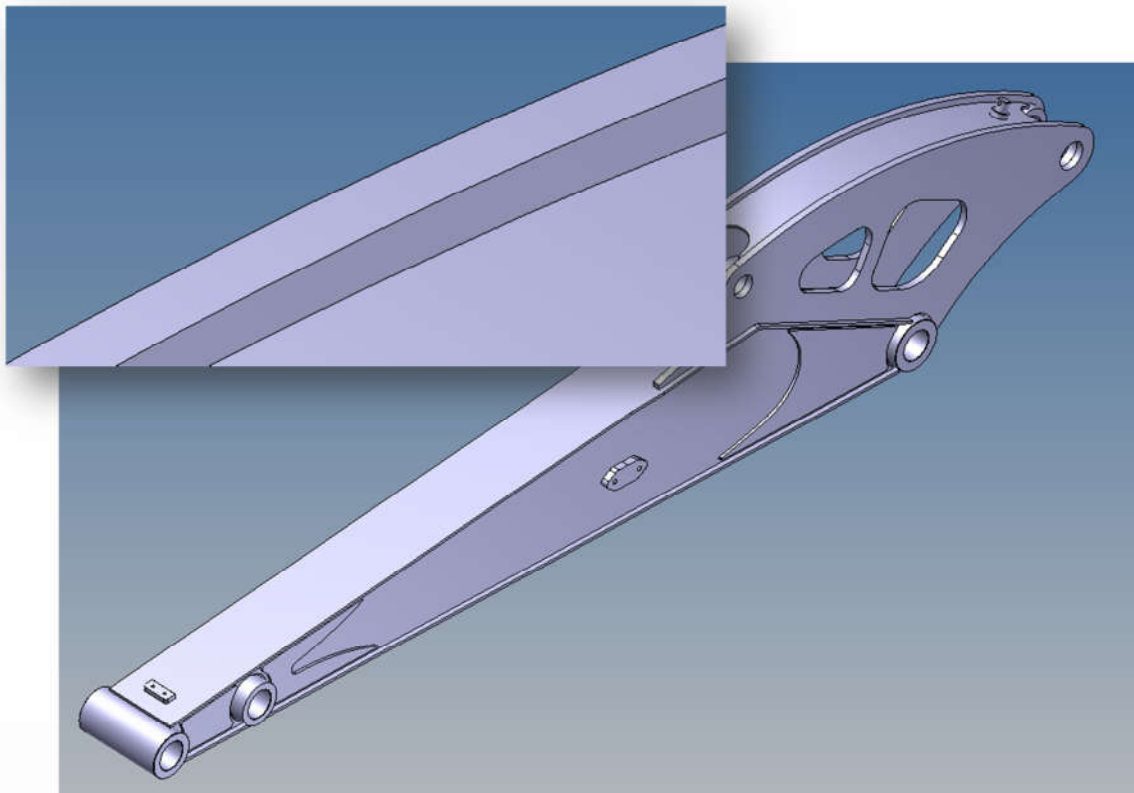
Табела 7: Резултати тестирања STEP датотека у хетерогеним CAD системима

CAD систем, и тип STEP датотеке	Апликац. протокол	CAD систем у који се увози	STEP документ успешно отворен?	Приказ без грешака?	Коментари
CATIA V5R20 / 1 документ	AP203 ed2	Inventor	ДА	ДА	
		ZW3D	ДА	ДА	
CATIA V5R20 / пој. документи	AP203 ed2	Inventor	НЕ	-	Без приказа
		ZW3D	НЕ	-	Без приказа
Inventor 2015 / 1 документ	AP203	CATIA	ДА	ДА	
		ZW3D	ДА	ДА	
ZW3D 2015 / 1 документ	AP203	CATIA	ДА	ДА	
		Inventor	ДА	ДА	
ZW3D 2015 / склоп = део	AP203	CATIA	НЕ	-	Без приказа
		Inventor	ДА	ДА	

Након провере свих комбинација CAD система у којима је склоп моделиран, приметно је непостојање 100% компатибилности међу извезеним STEP моделима.

Конверзија из CATIA V5 R20 је рађена по новијем AP203 ed2 апликационом протоколу, који омогућава да се склоп изведе идентично као што је то и у оригиналном формату – као један документ који представља склоп и појединачне датотеке за сваки његов део. Ово је представљало проблем за друге CAD системе који нису били у стању да отворе и прикажу STEP датотеку конвертовану по новијем стандарду, са употребом нових могућности. С друге стране, ни CATIA није била у стању да прикаже модел који је конвертован у ZW3D програму из склопа у појединачни део, али и сама не нуди опцију за конверзију склопа у део.

У поређењу са програмима намењеним само за преглед, не и корекцију STEP докумената, сва три CAD програма су остварила знатно бољу прецизност у приказу кривих и комплексних површина, што води до закључка да су програми за преглед оптимизовани за бржи рад, на уштрб квалитета приказа. Исти детаљ са слике 59, отворен у AB Viewer-у, у Autodesk Inventoru (на слици 60) не показује трагове губљења квалитета геометрије кривих и сложених површина.



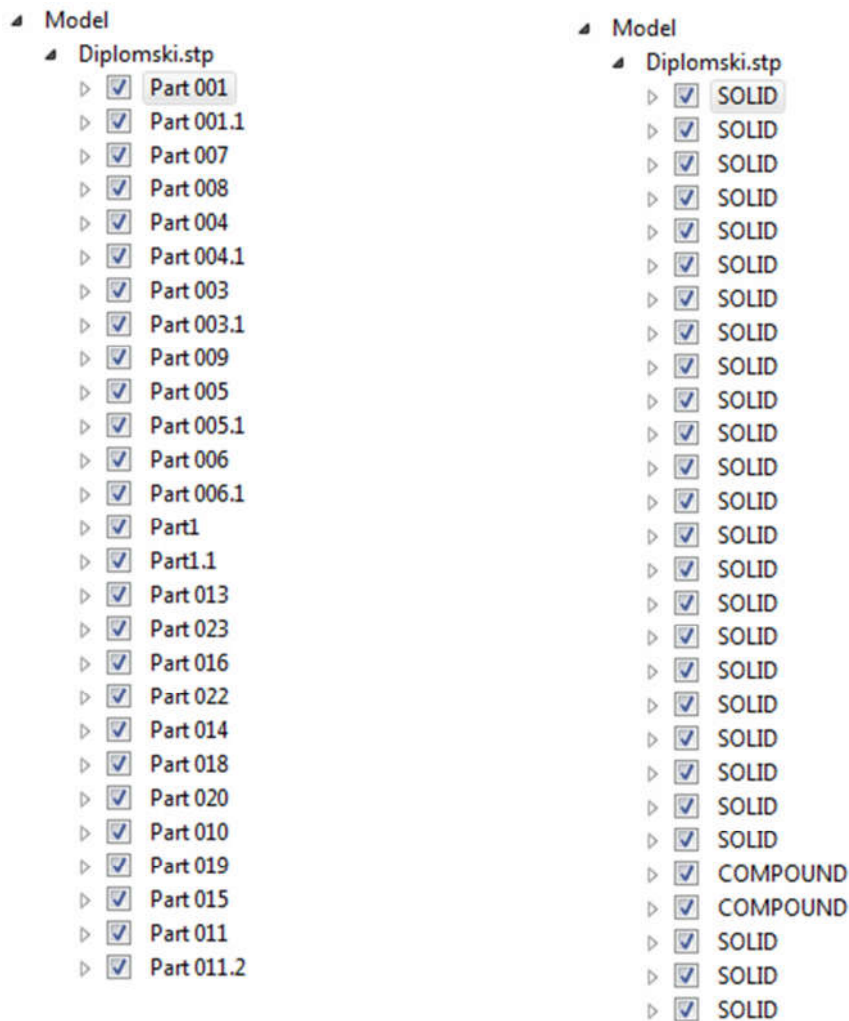
Слика 60: Квалитет приказа кружних лукова у Autodesk Inventor 2015 Professional

Приликом извоза из CAD система у STEP приметно је следеће:

- Историја модела (геометријске скице) делова склопа се губи у конверзији, тако да је једини начин да се дође до димензија делова поновно премеравање моделских форми и исцртавање геометријских скица референцирањем;
- Губе се подаци о геометријским ограничењима у склопу, тако да се по конверзији делови склопа могу слободно померати у свим правцима и ротирати по

свим осама, док се дефинисан положај делова у склопу по увозу STEP документа иницијално задржава;

- Структура модела је у свим случајевима када је увоз био могућ – очувана (пример на слици 61), независно од тога да ли је датотека представљала склоп (када су форме биле представљене као делови) или је цео склоп био у форми једног дела (при чему су сами делови били моделске форме тог дела);
- Сва три CAD система не нуде исти ниво прилагодљивости конверзије, што значи да апликациони протоколи нису у истој мери имплементирани у програме, већ су у питању различите класе усаглашености имплементације са апликационим протоколом. Као што је раније речено, не постоји обавеза имплементације целог апликационог протокола, да би он успешно функционисао.



Слика 61: Структура склопа модела у програму AB Viewer:

- у случају склопа појединачних делова (лево) и
- у случају да је склоп представљен као део (десно)

V. Анализа структуре STEP датотека у програму за преглед текста

У шестом поглављу говорило се о структури STEP датотека, које могу бити у форми:

- Part21 датотеке (по одговарајућој EXPRESS шеми) и
- Part25 и Part28 датотека (базираним на синтакси XML програмског језика).

STEP документи који су настали конверзијом из три CAD софтвера који су коришћени су базирани на EXPRESS шеми, и као такви су кодирани у ASCII коду (енгл. “American Standard Code for Information Interchange”, Амерички стандардни код за размену информација). Захваљујући томе, подложни су веома великом степену компресије, што доноси уштеде приликом складиштења, али такође значи и да се могу отворити у већини данас доступних текст едитора.

За анализу излазних датотека коришћен је програм Notepad++, при чему су разматрана два документа који су експортирани из програма CATIA V5 R20 – као јединствена датотеку и као скуп докумената који формирају склоп. На овај начин могуће је упоредити која је разлика у формирању модела кроз јединствену датотеку, односно референцирањем на друге документе.

На слици 62 приказан је део кода јединствене STEP датотеке из софтвера CATIA.

```

1 ISO-10303-21:
2 HEADER:
3 FILE_DESCRIPTION(('Loffestiel Lang E14-102'), '2:1'):
4
5 FILE_NAME('Diplomski.stp', '2016-09-16T00:07:19+00:00', ('Bojan Rakonjac'), ('FINK'), 'CATIA Version 5 Release 20 GA (IN-10)', 'CATIA V5 STEP AP203 Edition 2', 'none'):
6
7 FILE_SCHEMA(('AP203_CONFIGURATION_CONTROLLED_3D_DESIGN_OF_MECHANICAL_PARTS_AND_ASSEMBLIES_MIM_IF ( 1 0 10303 403 2 1 2)')):
8
9 ENDSEC;
10 /* file written by CATIA V5R20 */
11 DATA:
12 #1=PRODUCT('Product1','', '#2') ;
13 #31=PRODUCT('Part 001','', '#2') ;
14 #574=PRODUCT('Part 001.1','', '#2') ;
15 ...
16 #13564=PRODUCT('Part 011.2','', '#2') ;
17 #2=PRODUCT_CONTEXT(' ', '#1, 'mechanical') ;
18 #1=APPLICATION_CONTEXT('configuration controlled 3D design of mechanical parts and assemblies') ;
19 ...
20 (Kod koji definiše geometriju dela)
21 ...
22 #557=NEXT_ASSEMBLY_USAGE_OCCURRENCE('Part 001.1', 'Part 001.1', '#17, #39, ' ') ;
23 #1099=NEXT_ASSEMBLY_USAGE_OCCURRENCE('Part 001.2', 'Part 001.2', '#17, #374, ' ') ;
24 #1734=NEXT_ASSEMBLY_USAGE_OCCURRENCE('Part 007.1', 'Part 007.1', '#17, #1118, ' ') ;
25 ...
26 #13547=NEXT_ASSEMBLY_USAGE_OCCURRENCE('Part 011.1', 'Part 011.1', '#17, #13122, ' ') ;
27 #14440=NEXT_ASSEMBLY_USAGE_OCCURRENCE('Part 011.2.1', 'Part 011.2.1', '#17, #13566, ' ') ;
28 ...
29 (Kod koji definiše geometriju dela)
30 ...
31 ENDSEC;
32 END-ISO-10303-21:
33

```

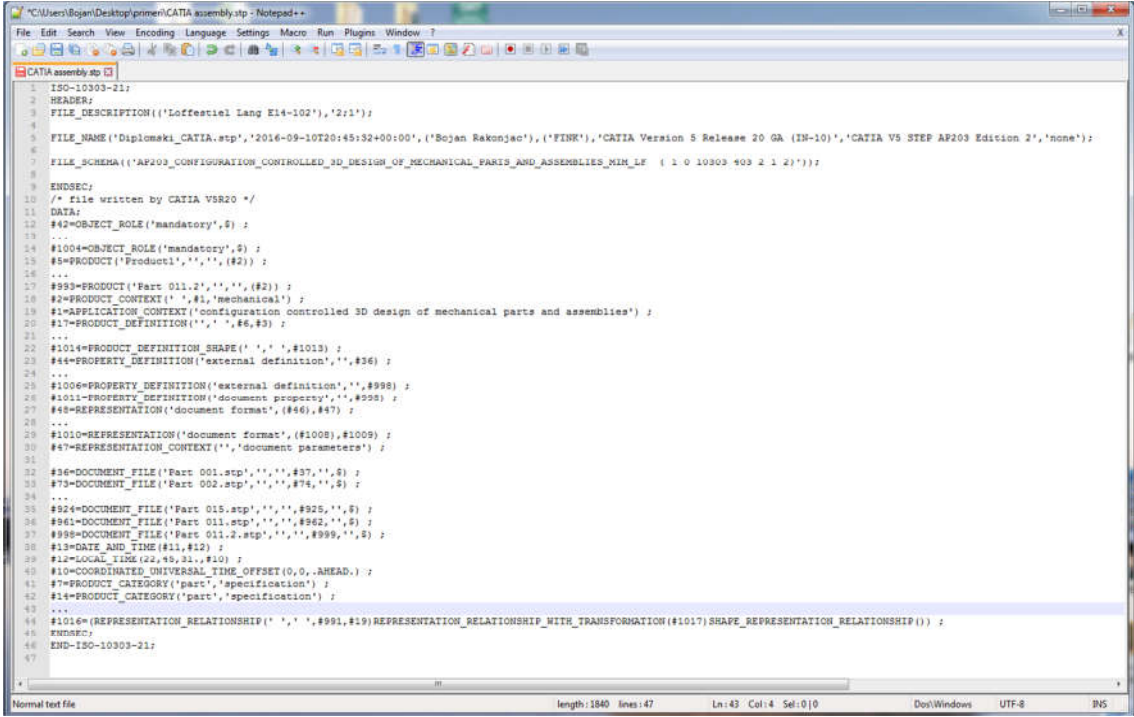
Слика 62: Приказ секција кода целог склопа модела у оквиру једне датотеке у програму Notepad++

На почетку документа према стандарду налазе се опис модела, информације о аутору модела, софтверу у коме је модел направљен, апликационом протоколу и верзији STEP формата по којој је конверзија урађена, као и начину мапирања, тј. именовања делова у датотеци. На почетку се налазе и коментари које систем који ради преводјење оставља, попут информације о томе у ком је програму модел рађен.

Највећи део тела датотеке, која почиње командом „DATA” чини геометријски код који дефинише положај тачака, линија, кружница, равни, лукова и сложених површи,

обзиром да је у питању јединствена датотека, која не повлачи референце ка другим документима за појединачне делове. На почетку датотеке налази се и списак свих делова, чија је геометрија приказана, док се при крају налазе информације о њиховом положају у склопу. Тело датотеке завршава се командом „ENDSEC”, што представља крај секвенце, док се “ISO-10303-21” односи на употребу Part21 репрезентације података, употребом EXPRESS програмске шеме.

На слици 63 приказан је део кода главне STEP датотеке, у случају када је склоп формиран из више докумената.



```

1 ISO-10303-21;
2 HEADER;
3 FILE_DESCRIPTION(('Loffestiel Lang E14-102'),'2/1');
4
5 FILE_NAME('Diplomski_CATIA.stp','2016-09-10T20:45:32+00:00',('Bojan Rakonjac'),('FINH'),'CATIA Version 5 Release 20 GA (IN-10)','CATIA V5 STEP AP203 Edition 2','none');
6
7 FILE_SCHEMA(('AP203_CONFIGURATION_CONTROLLED_3D_DESIGN_OF_MECHANICAL_PARTS_AND_ASSEMBLIES_MIM_LF (1.0 10303 403 2 1 2)'));
8
9 ENDSEC;
10 /* File written by CATIA V5R20 */
11 DATA;
12 #42=OBJECT_ROLE('mandatory',5);
13 ...
14 #1004=OBJECT_ROLE('mandatory',5);
15 #5=PRODUCT('Product1','',('2')) ;
16 ...
17 #993=PRODUCT('Part 011.2','',('2')) ;
18 #2=PRODUCT_CONTEXT('','',('mechanical')) ;
19 #1=APPLICATION_CONTEXT('configuration controlled 3D design of mechanical parts and assemblies') ;
20 #17=PRODUCT_DEFINITION('','',('2',#5,#93)) ;
21 ...
22 #1014=PRODUCT_DEFINITION_SHAPE('','',('1013)) ;
23 #44=PROPERTY_DEFINITION('external definition','',('36)) ;
24 ...
25 #1006=PROPERTY_DEFINITION('external definition','',('998)) ;
26 #1011=PROPERTY_DEFINITION('document property','',('558)) ;
27 #48=REPRESENTATION('document format',('46',#47)) ;
28 ...
29 #1010=REPRESENTATION('document format',('1008',#1009)) ;
30 #47=REPRESENTATION_CONTEXT('','',('document parameters')) ;
31
32 #36=DOCUMENT_FILE('Part 001.stp','',('37',#1)) ;
33 #73=DOCUMENT_FILE('Part 002.stp','',('74',#1)) ;
34 ...
35 #924=DOCUMENT_FILE('Part 015.stp','',('925',#1)) ;
36 #961=DOCUMENT_FILE('Part 011.stp','',('962',#1)) ;
37 #998=DOCUMENT_FILE('Part 011.2.stp','',('999',#1)) ;
38 #13=DATE_AND_TIME('21,21)) ;
39 #12=LOCAL_TIME('22,45,21,21)) ;
40 #10=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.,AHEAD)) ;
41 #7=PRODUCT_CATEGORY('part','specification') ;
42 #14=PRODUCT_CATEGORY('part','specification') ;
43 ...
44 #1016=(REPRESENTATION_RELATIONSHIP('','',('991',#19)REPRESENTATION_RELATIONSHIP_WITH_TRANSFORMATION(#1017)SHAPE_REPRESENTATION_RELATIONSHIP())) ;
45
46 ENDSEC;
47 END-ISO-10303-21;

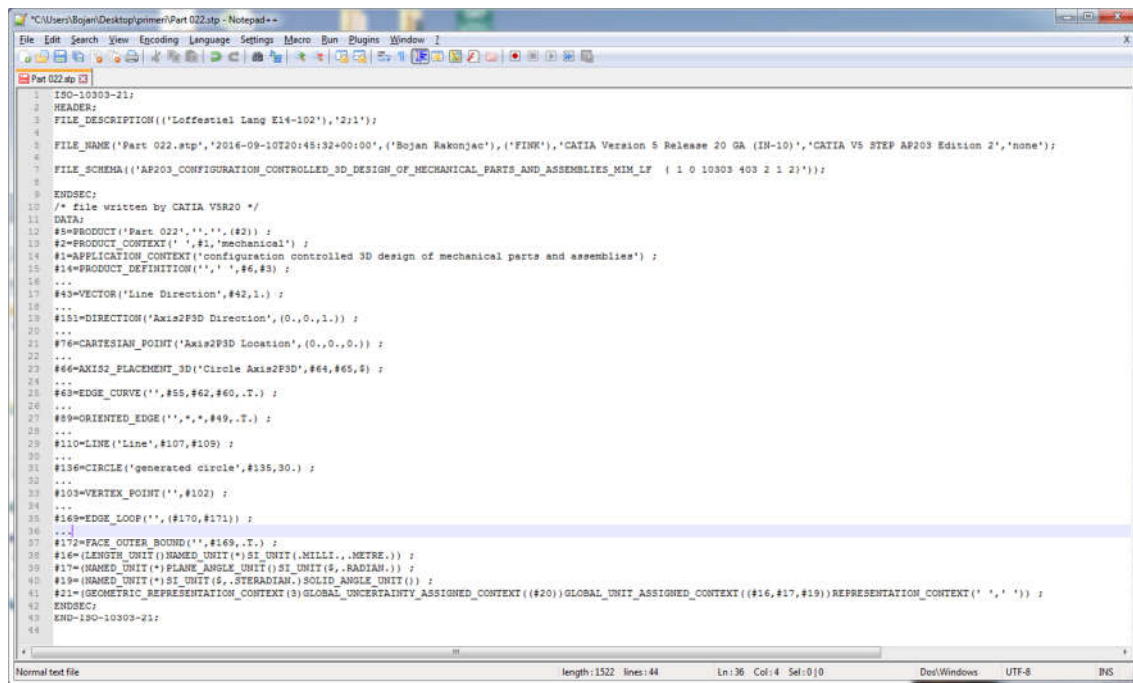
```

Слика 63: Приказ секција кода склопа модела у оквиру више датотека у програму Notepad++

На почетку документа као и у претходном случају налазе информације дефинисане стандардом, и додатни коментари које креира систем у коме је модел рађен.

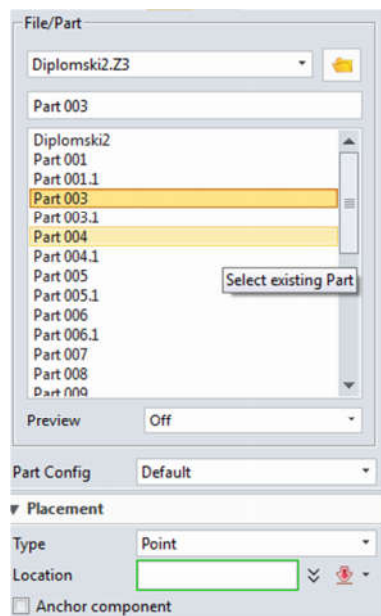
За разлику од модела који чини јединствена датотека, овај документ је знатно мањи, јер се у телу датотеке не садржи геометрија свих делова, већ се на њих позива референцирањем по имену датотеке, при чему се појединачни делови у STEP формату налазе у истом фолдеру, као и главни документ који формира склоп. На овај начин, кроз ову датотеку дефинисане су само информације о имену, положају и значају позиваних делова у склопу. Као и у прошлом случају, датотека се завршава командом „ENDSEC”, односно са “ISO-10303-21”.

Секције кода датотеке појединачног дела на који се датотека склопа позива дат је на слици 64. Као што се на примеру види, после стандардног заглавља датотеке, у телу се налазе информације о геометрији дела – о тачкама, осама, линијама, оријентисаним страницама, кружницама, кривама итд. Крај датотеке је идентичан као у преходна 2 случаја.



Слика 64: Приказ секција кода појединачног дела скопа у програму Notepad++

У односу на чување свих делова у једној датотеци, референцирањем на друге датотеке омогућава се да се поједини делови склопа користе и увозе самостално, по потреби, без потребе за конверзијом или чувањем целог склопа. Неки од модерних програма (попут ZW3D 2015) подржавају селекцију само одређених делова склопа при увозу (као на слици 65).



Слика 65: Мени за увоз појединачног дела склопа из јединствене STEP датотеке у програму ZWSoft ZW3D 2015 SP

12. Закључак

Процес индустријализације у XVIII веку био је покретач убрзаних унапређења у производном процесу, који је покренуо ствари од копирања карактеристика физички присутног модела ка креирању првих техничких цртежа, раслојавању и секвенцирању процеса производње и дељењу процеса ка добављачима. Са увођењем рачунара у употребу у другој половини XX века, знатно је убрзана издрада техничке документације, али иста доводи до потребе за олакшаном разменом информација међу хетерогеним CAD системима. Први неутрални формати за размену информација се користе већ од седамдесетих година, али не доносе велико унапређење, већ само даље усложњавање већ постојеће комплексне ситуације са стандардима.

На основу заједничке иницијативе крајем те деценије, креће се са развојем универзалног стандарда који временом еволуира од PDES-а ка STEP-у. Еволуција STEP-а је преко 30 година дуг процес за који се не може рећи да је завршен, нити се дефинитивно може рећи да ће икада бити завршен, јер концепт стандарда подразумева стално унапређивање, како би му повећала функционалност и проширило подручје примене, при том се увек водећи идејом да стандард остане уназад компатибилан са претходним верзијама.

У овом раду покривена је историјска потреба за појавом неутралног формата, његов еволуциони развој, који је покретала група аутора - ентузијаста, стручњака из различитих области, и идеја концепта да се стално развија и усавршава, у складу са потребама различитих индустријских грана. STEP је напредовао од универзалног ка модуларном, нудећи путем апликационих протокола корисницима све више прилагођавања ка одређеној намени.

STEP технологија доноси значајне редукције трошкова, побољшање квалитета производа и скраћено време развојног и производног циклуса компанијама које је употребљавају. Користи се да олакша сарадњу различитих произвођача, удаљених добављача и корпоративних партнера, кроз географски и технички удаљене системе. STEP не служи само као алат за интеграцију и размену података о производима и производним процесима, већ посредно доприноси интеграцији компанија, глобалној конкурентности, ефикаснијем архивирању и поновној употреби података, и заједничком решавању сложених предузетничких и производних проблема.

У другом делу рада, кроз практичну примену STEP-а, приказана је његова употребна вредност данас, на примеру израде подсклопа грађевинске машине кроз више комерцијалних CAD софтвера и њихову компатибилност у раду са неутралним STEP форматом.

На основу остварених тестирања, може се закључити да:

- STEP нуди олакшану размену информација међу хетерогеним CAD системима, по цену ограничене функционалности (губљењем историје модела) и још увек ограничене компатибилности (настале услед недовољне документације о имплементираним апликационим протоколима и класама усаглашености);
- STEP представља велику уштеду у простору и залог за будућност компанијама које га користе и улажу у његов развој, јер је базиран на основи да увек буде увек уназад компатибилан, па због тога има велику подршку у актуелним CAD системима.
- STEP као отворени стандард за даљи развој има јако добру подршку чак и у бесплатним програмима који су лаки за коришћење и хардверски незахтевни, омогућавајући свакоме да ради на развоју нових апликационих протокола.

13. Литература

- [1] Kemmerer J, S., STEP - The Grand Experience, 1999.
- [2] Група аутора, STEP application handbook ISO 10303 v3, SCRA, 2006.
- [3] Девеџић, Г., CAD/CAM технологије, Машински факултет у Крагујевцу, Универзитета у Крагујевцу, 2009.
- [4] Девеџић, Г., Софтверска решења CAD/CAM система, Машински факултет у Крагујевцу, Универзитета у Крагујевцу, 2009.
- [5] Xu X., Nee A.Y.C., Advanced design and manufacturing based on STEP, University of Auckland, 2009.
- [6] McDermott, P., Using STEP for production data transfer, General dynamics, 2007
- [7] Pratt, M. J., Introduction to ISO 10303 – The STEP Standard for Product Data Exchange, 2000.
- [8] Boy, J., Roche, P., Recommended practices for STEP file compression, 2013.
- [9] Lofreddo, D., Fundamentals of STEP implementation.
- [10] Anderl R., Industrie 4.0 – Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production, 2014.
- [11] Ћукović S., Devedžić G., Pankratz F., Ghionea I., Subburaj K., Praktikum za CAD/CAM – Augmented Reality, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac
- [12] Девеџић Г., Ћуковић С., Петровић С., Максић Ј., 3Д моделирање производа – методичка збирка задатака, Факултет инжењерских наука, Крагујевац

КОРИСНЕ ИНТЕРНЕТ АДРЕСЕ:

- www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=33713, приступљено 19.08.2015.
- <http://steinlib.zib.de/format.php>, приступљено 25.11.2015.
- <http://www.steptools.com/>, приступљено 25.11.2015.
- <http://www.zwsoft.com/zw3d/>, приступљено 10.09.2016.
- <http://www.3ds.com/products-services/catia/>, приступљено 10.09.2016.
- <http://www.autodesk.com/products/inventor/overview>, приступљено 10.09.2016.
- <http://stpviewer.com>, приступљено 10.09.2016.
- <http://cadsofttools.com/company/news/abviewer11/>, приступљено 10.09.2016.
- <https://notepad-plus-plus.org/>, приступљено 10.09.2016.