

# Shrnutí dostupných softwarových produktů pro parametrický návrh konstrukcí

*L. Svoboda, M. Růžička, L. Kurilla*

Zde je třeba nejprve vysvětlit některé dále používané pojmy:

- **AEC** je zkratka pro "Architecture, Engineering and Construction". Je to obecně použitelná zkratka pro různá odvětví průmyslu. Ve stavebnictví slouží pro vyjádření propojení profese architekta, projektanta a statika. Můžeme tedy mluvit o "AEC firmě" nebo o "AEC počítačovém modelu".
- **CAD** je zkratka pro "Computer-aided design" - počítačem podporované projektování.
- **BIM<sup>1</sup>** je zkratka pro "Building Information Model/Modelling". V AEC průmyslu je dnes tento pojem skloňován stále více a často se hovoří o analogii přechodu od CADu k BIMu podobně jak se nedávno odehrál přechod od kreslení rukou k CADu. Pojem BIM zahrnuje proces vytváření a spravování dat o stavebním dílu během celého jeho životního cyklu. Výsledkem tohoto procesu pak je "informační model budovy" (Building Information Model), který integruje všechny informace o budově počínaje architektonickým návrhem (geometrie budovy, prostorové vztahy), konstrukčním návrhem (projektová dokumentace, statické schéma) až po proces výstavby a údržby (prováděcí výkresy). Obvykle se jedná o 3D model vytvářený pomocí specializovaných CAD systémů. Díky tomuto integračnímu procesu můžou architekti, stavební inženýři, stavební firmy a vlastníci budov rychleji a efektivněji vytvářet a koordinovat digitální dokumentaci k stavebnímu dílu tak, aby byla možná změna v kterékoli fázi projektu. Změna která bude vést k efektivnějšímu a lacinějšímu návrhu a nezpůsobí chaos ve smyslu nekoordinovaného předělávání už hotové dokumentace. Bez použití procesu informačního modelu budovy jsou změny v některých fázích projektu dokonce úplně nemožné.
- **IAI<sup>2</sup>** je zkratka pro "International Alliance for Interoperability". Je to divize standardizační organizace ISO (International Standards Organization), která se stará o datové standardy IGES, STEP, IFC a další. IAI byla založena v roce 1995 americkými a evropskými AEC firmami spolu s výrobcí softwaru, od roku 2005 vystupuje jako mezinárodní členská organizace BuildingSMART.
- **NURBS<sup>3</sup>** je zkratka pro "Non-uniform rational basis spline" (Neuniformní racionální B-splajn křivky). Jedná se o matematickou reprezentaci 3D geometrie, která umožňuje přesně popsat jakýkoliv tvar od jednoduché 2D linie, kružnice, oblouku, nebo spline křivky až po nejsložitější 3D formu organické volné plochy nebo tělesa. Díky jejich flexibilitě a přesnosti můžete používat NURBS modely v libovolném procesu od přípravy, ilustrace a animace až po analýzu a výrobu. NURBS je nejlepší 3D modelovací technologie pro designéry. Ti tak mohou lépe zachytit a vyjádřit myšlenku, která je v každém kroku modelování přesně definovaná pro výrobu. NURBS je dnes osvědčená technologie, která se používá většinou pro design, 2D

---

<sup>1</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_Information\\_Modeling](http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling)

<sup>2</sup> [www.buildingsmart.com](http://www.buildingsmart.com)

<sup>3</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/NURBS>, [http://lubovo.misto.cz/\\_MAIL\\_/curves/nurbs.html](http://lubovo.misto.cz/_MAIL_/curves/nurbs.html)

kreslení, CAM, strojírenství, výrobu prototypů, analýzu modelů, renderování, animaci a ilustraci.

- **OpenNURBS<sup>4</sup>** je iniciativa, která poskytuje uživatelům a vývojářům CAD, CAM a dalších grafických softwarů nástroje pro práci s NURBS geometrií. Poskytuje specifikace souborových formátů, zdrojové kódy ke knihovnam pracujícím s NURBS křivkami, technickou podporu atd. Nástroje, podpora i členství je zdarma. Ukázkovou aplikací s plně implementovanými NURBS nástroji je modelerRhinoceros.

Data popisující vlastnosti a geometrii daného objektu mohou být v souboru uložena dvěma způsoby:

- **předřazený styl** (legacy style) - v hlavičce souboru jsou uvedeny vlastnosti objektu a je zde popsáno, jakým způsobem bude zaznamenána geometrie. Dále už následují pouze čísla zachycující vlastní geometrii objektu bez dalších vysvětlujících popisků. Takovéto soubory jsou přehledné, ručně i strojově lehce čitelné a mají malou velikost. Nicméně, tyto formáty jsou méně flexibilní, protože vyžadují pevnou hierarchii a posloupnost.
- **značkovací styl** (markup style) - na rozdíl od předřazeného stylu je zde význam každého čísla (nebo úzké skupiny čísel) popsán pomocí klíčového slova nacházejícího se bezprostředně před číslem. Vlastnosti objektu (obvykle uvedené na začátku souboru) jsou také označeny klíčovými slovy. Značkovací styl nevyžaduje pevnou strukturu, podporuje náhodný přístup i paralelní vstup/výstup, atd.

Datové formáty používané ve stavebnictví můžeme podle obecnosti rozdělit na:

- **obecné** – formáty se dají použít pro manipulaci se zcela libovolnými daty, jde například o obecný XML formát.
- **Product manufacturing information** – komplexní formáty, které slouží pro uchování veškerých informací o produktu (zde o stavebním dílu). Ve stavebnictví jsou využívány především v BIM modelování (viz níže). Jsou to hlavně formáty STEP a IFC.
- **geometrické** – jednoduché formáty sloužící k popisu jednoho typu geometrie plus přidružených vlastností. Jsou to například formáty IGES, VTK, OBJ, atd.

## 1. XML formát

XML je zkratka pro "Extensible Markup Language". Je to obecný značkovací jazyk pro elektronickou výměnu libovolných dat. Jazyk byl vyvinut a standardizován konsorciem W3C<sup>5</sup> v XML 1.0 specifikaci a v několika dalších souvisejících specifikacích, které jsou nezávislé a otevřené. Umožňuje snadné vytváření konkrétních značkovacích jazyků/formátů (tzv. aplikací) pro různé účely a různé typy dat. Přestože XML bylo určeno především pro publikování dokumentů, tak díky jeho jednoduchosti a obecné použitelnosti lze využít pro reprezentaci libovolných datových struktur. Existuje mnoho různých programovacích rozhraní, které vývojáři mohou používat pro přístup k XML datům, a několik schémat systémů, které mají pomoci v definici XML aplikací.

---

<sup>4</sup> <http://www.opennurbs.org/>

<sup>5</sup> <http://www.w3.org>

Jak už bylo řečeno, pokud má být XML jazyk využíván pro přenos konkrétního typu dat (pro nás jsou to data o stavebním dílu), musíme na základě obecného XML nadefinovat vlastní XML jazyk - aplikaci. Několik aplikací XML bylo v oboru stavebnictví vytvořeno. Mezi více rozšířené patří třeba VTK XML formát. Jako ukázkou lokálního formátu můžeme jmenovat společnost Nemetschek Scia, která má vlastní XML aplikaci, pomocí které se implicitně ukládají veškeré data vytvořená v jejich statickém výpočtovém softwaru.

## 2. STEP formát

STEP<sup>6</sup> je zkratka pro "STandard for the Exchange of Product model data". Jedná se o standardizovaný ISO formát pro reprezentaci a výměnu "informací o výrobě produktu". Oficiální titul je "Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange". STEP je velmi obecný formát, který si klade za cíl poskytnout mechanismus, jenž je schopen popsat veškeré (nejen geometrické) vlastnosti/informace o produktu během celého jeho životního cyklu, nezávisle na konkrétním systému. Formát je vytvořen tak, že je vhodný nejen pro pouhou výměnu dat v souborech, ale také může být využit jako základ pro archivaci a databázové sdílení informací o výrobcích.

Typicky STEP lze použít pro výměnu dat mezi CAD systémy určenými pro výrobu, konstrukci, údržbu produktů, data management atd. Může se jednat o informace týkající se mechanického nebo elektrického návrhu, geometrického kótování a tolerancí, analýzy a zpracování, plus doplňující informace specifické pro různá odvětví průmyslu, jako je automobilový průmysl, letectví, pozemní stavby, loďářství, těžba ropy a zemního plynu, zpracování rostlin a další.

Ve stavebnictví byl využíván na datovou výměnu např. s programem Dlubal (RSTAB, RSFEM). Do budoucna lze ale očekávat, že STEP (i další formáty) bude nahrazený formátem IFC, který využívá jeho výhod, ale je určený přímo pro používání ve stavebnictví. Tento přechod však není u konce a STEP je v současnosti v některých oblastech stále výhodnější než standardní IFC. Využíván je hlavně zpracovatelskými firmami (výrobci ocelových konstrukcí).

## 3. IFC formát

IFC<sup>7</sup> (Industry Foundation Classes) je datový model (~souborový formát) založený na 3D geometrii, vytvořený s cílem usnadnit interoperabilitu a sdílení dat napříč různými aplikacemi používanými v oblasti stavebnictví. Byl navržen cíleně pro potřeby BIM procesu a je zde běžně používán. Jedná se o objektově orientovaný souborový datový formát založený na definici tříd, které reprezentují konkrétní stavební "prvky" (tvary, stavební elementy, procesy, apod.) a obsahují jejich plný popis (nosník = geometrie, průřez, materiál atd.) tak, aby mohly být pohodlně využívány softwarovými aplikacemi během návrhu, výstavby a vlastního života budovy.

IFC datový formát má nezávislou a otevřenou specifikaci, která není řízena jedním prodejcem/firmou nebo skupinou prodejců. Specifikace je registrována jako ISO/PAS 16739 a v současné době je v procesu schvalování mezinárodní standardizační komisí ISO. IFC model byl původně vyvinut Mezinárodní aliancí pro interoperabilitu IAI a od roku 2005 je IFC specifikace oficiálně vyvíjena a spravována organizací BuildingSMART.

Množství komerčních softwarových balíčků IFC formát podporuje již dnes. Většina systémů poskytuje IFC import a/nebo export v rámci své standardní verze balíku. Některé

---

<sup>6</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/ISO\\_10303](http://en.wikipedia.org/wiki/ISO_10303)

<sup>7</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_Foundation\\_Classes](http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes)

firmy nabízejí on-line aktualizaci IFC převodníků, které lze nainstalovat nezávisle na základním vydání (plug-in, add-on). A existují také produkty třetích stran, které umožňují práci s IFC daty. Pro udržení lepší kompatibility mezi různými aplikacemi nabízí IAI certifikační program umožňující dodržovat základní kvalitu IFC podpory.

Z certifikovaných aplikací pro architektonický návrh můžeme jmenovat třeba ADT2006, AutoCAD Architecture a Revit Building (firma Autodesk), nebo Allplan, ArchiCAD, MicroStation Triforma, atd. Ze statických aplikací je to momentálně pouze Scia Engineer 2008 (Nemetschek). Z necertifikovaných je to například Adobe Acrobat 9 Pro Extended (pouze import) nebo Rhinoceros (plugin ve vývoji<sup>8</sup>).

Kromě komerčních firem se formát IFC podporován i v akademické a státní sféře. Několik vysokých škol a výzkumných ústavů (především v Německu)<sup>9</sup> pracuje na souvisejících tématech a přispívají k rozvoji IFC technologie. Díky svému zaměření na jednoduchou interoperabilitu mezi softwarovými platformami učinila dánská vláda použití formátu IFC povinné pro veřejně podporované stavební projekty.

IAI poskytuje několik specifikací, návodů, příkladů a nástrojů, které podporují vývoj softwarových řešení využívajících výhod IFC datového modelu. Pro vývojáře/programátory jsou k dispozici obecné knihovny (toolbox), které poskytují základní funkcionalitu (např. čtení a zápis IFC souboru) pro různé programovací jazyky (C++, Java, VB). Dalším důležitým nástrojem je "IFC Model Server". Je to více-uživatelský databázový server, který nabízí, kromě základní služby datového úložiště, také podporu pro webové služby, podporu tenkých klientů, atd.

IFC specifikace je k dispozici v několika různých verzích - IFC 1.5.1, IFC 2.0, IFC 2x, IFC 2x2, IFC 2x3. IFC datový model lze ukládat a přenášet mezi aplikacemi ve dvou formátech<sup>10</sup>:

- **IFC-EXPRESS** - ASCII datový formát, který je definován stejně jako souborový formát STEP<sup>11</sup>, toto je výchozí IFC formát pro výměnu informací.
- **ifcXML** - XML datový formát, který byl definován organizací W3C jako "XML schema 1.0"<sup>12</sup>, pro člověka je dobře čitelný, ale je obvykle o 300-400% větší než předchozí formát.

Oba formáty zachází se stejnými daty konzistentně a mohou být mezi sebou bezpečně konvertovány v obou směrech. Data v obou formátech jsou uložena v:

- **souboru** – koncovka .ifc je používána pro IFC-EXPRESS formát, .ifcXML pro XML formát, .ifcZIP pro oba formáty v komprimované podobě.
- **SQL databázi** – obvykle se jedná o IFC Model Server, který využívá IFC schéma jako základ databázové struktury<sup>13</sup>.

Žádný aplikační software neimplementuje celou IFC specifikaci. IFC výměny dat je dosaženo pomocí jednotlivých podskupin specifikace IFC, které se nazývají "pohledy" - "views". Každý pohled je navržen tak, aby vyhověl jinému druhu výměny dat. Aktuálně jsou k dispozici nebo se vyvíjí tyto pohledy:

<sup>8</sup> [http://www.visualarq.com/?page\\_id=697](http://www.visualarq.com/?page_id=697)

<sup>9</sup> [http://www.ifcwiki.org/index.php/Research\\_Activities](http://www.ifcwiki.org/index.php/Research_Activities)

<sup>10</sup> <http://www.iai-tech.org/products/ifc-overview>

<sup>11</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/ISO\\_10303](http://en.wikipedia.org/wiki/ISO_10303)

<sup>12</sup> <http://www.w3.org/XML/Schema#dev>

<sup>13</sup> <http://cic.vtt.fi/projects/ifcsvr/>

- **IFC2x3 Extended Coordination View** - podskupina IFC pro koordinaci architektonických a konstrukčních činností během fáze návrhu stavby
- **IFC2x3 Structural Analysis View** - podskupina IFC sloužící k popisu výpočetního modelu, na kterém se provádí statická analýza
- **IFC2x3 Quantity Take-off View** - podmnožina IFC poskytující informace o množství jednotlivých prvků BIM modelu potřebné např. pro odhad nákladů
- **IFC2x3 Operation & Maintenance View** - podmnožina IFC poskytující informace o příslušenství budovy - seznam prostorů, vestavěných zařízení, nábytku, atd.

#### 4. VTK formát

VTK<sup>14</sup> je zkratka pro "Visualization Toolkit". Jedná se o otevřený, volně dostupný software pro zpracování trojrozměrných úloh počítačové grafiky, zpracování obrazu a vizualizace výsledků numerických simulací. Pro potřeby tohoto softwarového balíku byl vyvinut otevřený souborový formát<sup>15</sup> čitelný v běžných textových editorech. Tento VTK formát má dvě rozdílné varianty:

- **Simple Legacy Format** - jednoduchý formát s předřazeným stylem. Je to původní VTK formát, který ale trpí nedostatky předřazeného stylu (viz výše), proto byl vyvinut XML formát.
- **VTK XML formát** - využívá výhod značkovacího jazyku XML. I když je tento formát mnohem složitější, než původní "Simple Legacy Format", je flexibilnější a podporuje mnoho dalších funkcí. Dostává proto přednost před původním VTK formátem kdykoli je to možné. Hlavní motivací pro jeho rozvoj bylo usnadnění paralelního vstupu/výstupu, podpora pro kompresi, přenosné binární kódování, náhodný přístup, ukládání dat do více souborů s příslušnou koncovkou dle významu dané podskupiny dat, atd.

#### 5. IGES formát

IGES<sup>16</sup> je zkratka pro "Initial Graphics Exchange Specification". Jedná se o otevřený, volně dostupný formát dat, který umožňuje digitální výměnu graficky ztvárněných informací pro vektorové CAD konstrukční systémy a další aplikace. Standard podporuje výměnu technických výrobních dat CAD modelů pro tří-dimenzionální modely v geometrii volných NURBS povrchů a křivek, nebo reprezentace objemového modelování (uzavřené NURBS povrchy, BRep objekty). Standard však nepodporuje klasickou polygonální geometrii modelu (konečně prvková síť), tato geometrie se dá využít pouze s pomocí některých rozšíření<sup>17</sup>. Formát taky zahrnuje dvou-dimenzionální reprezentace v podobě tradičních technických výkresů (např. schémat zapojení). Reprezentace modelu se dále využívá pro analýzu a ostatní zpracovatelský průmysl.

IGES soubor je složen z 80-ASCII záznamů (délka záznamu z éry děrných štítků). Jednou z jedinečných vlastností standardu IGES je, že se jedná o první ANSI rekurzivní standard. Aktuální a poslední zveřejněný standard je verze 5.3 (1996). O deset let později byl IGES nahrazen formátem STEP, který zůstává nejvíce používanou normou pro CAx a PMI.

<sup>14</sup> [www.vtk.org](http://www.vtk.org)

<sup>15</sup> <http://www.vtk.org/VTK/img/file-formats.pdf>

<sup>16</sup> [en.wikipedia.org/wiki/IGES](http://en.wikipedia.org/wiki/IGES), [http://www.uspro.org/documents/IGES5-3\\_forDownload.pdf](http://www.uspro.org/documents/IGES5-3_forDownload.pdf)

<sup>17</sup> [http://www.okino.com/conv/imp\\_iges.htm](http://www.okino.com/conv/imp_iges.htm)

Formát však nezánikl, ujal se u různých CAD a 3D softwarů (Maya, Rhinoceros, atd.). V současné době je více než 200 různých variant souborů IGES, které jsou součástí exportních balíků. Každý výrobce softwaru interpretuje asi 600 stran specifikací formátu. To přináší řadu problémů a klade nárok na volbu správného nastavení při exportu.

## 6. OBJ formát

Jedním z často užívaných formátů pro přenos modelů mezi různými 3D programy je formát s koncovkou OBJ. Byl původně vyvinut společností Wavefront, ale vzhledem k tomu, že jde o otevřený formát, je častou součástí exportních a importních zásuvných modulů v produktech jiných společností. U OBJ se jedná o ASCII (textový formát), který je dobře čitelný i v textovém editoru. Méně známá i méně užívaná je jeho binární varianta, která má ale i odlišnou koncovku (.MOD). Z hlediska importu a exportu architektonických modelů je zajímavé, že formát umožňuje ukládat i informace o texturách a hladinách modelu, což je důležité pro zobrazení materiálů a barev. Ve své specifikaci OBJ umožňuje ukládat jak polygonovou tak NURBS geometrii křivek a ploch. To je pro možné budoucí využití z hlediska grantového projektu vhodné. K nesporným výhodám tohoto formátu patří jeho jednoduchost a přehledná struktura. Díky tomu je možné s těmito soubory velice dobře pracovat. Možnost ukládat hladiny a textury by pak bylo možné využít v pozdějších fázích řešení grantového projektu při zobrazování zpětné vazby ze statických programů. Formát je velmi vhodný pro komunikaci obecné geometrie. Pokud je nám známo nepoužívá se pro komplexnější architektonické AEC modely, které by nesly označení pro jednotlivé stavební konstrukce. Pokud by ale byl vytvořen pro export OBJ formátu nový zásuvný modul, mohou být tyto dodatečné informace ukládány do textových poznámek, které může soubor obsahovat. Poznámky jsou uváděny na samostatných řádcích, kde prvním znakem je znak #.

Ačkoliv v současné době slouží formát pro komunikaci obecné geometrie bez větších nedostatků. Jeho stáří se může ukázat problematické z hlediska budoucího vývoje, zejména specifikace geometrií, které mohou být nově používány. Samotný tvůrce formátu, společnost Wavefront se později sloučil se společností Alias a nově vzniklá společnost byla pak za několik dalších let koupena společností Autodesk. V současné době tedy nelze předpokládat budoucí vývoj tohoto formátu.

## 7. DWG formát

V technických programech včetně těch architektonických je DWG jedním z nejužívanějších formátů. Hlavním důvodem je to, že se jedná o nativní formát často používaného programu Autodesk AutoCAD. Jedná se o uzavřený binární formát a jeho tvůrcem je společnost Autodesk, která ostatním výrobcům poskytuje podklady a knihovny pro tvorbu exportních a importních zásuvných modulů. To se však týká jen vybraných výrobců software a tuto možnost například nemají přímí konkurenti programu AutoCAD jako jsou společnosti z mezinárodního IntelliCAD Technology Consortium, které nabízejí alternativní IntelliCAD s velmi podobnou funkcí jako AutoCAD za zlomek ceny. Přesto je kvůli nutnosti bezproblémové komunikace DWG nativním formátem pro IntelliCAD i další obdobné programy. To je možné díky organizaci Open Design Alliance, které pro tyto výrobce i vývojáře software vyvíjí vlastní knihovny. Ty pak umožňují více či méně bezproblémovou komunikaci. Licencování těchto knihoven není drahou záležitostí nicméně se opět jedná o placené produkty, což filozofii našeho přístupu k řešení grantového projektu nevyhovuje. Dalšími nevýhodami formátu DWG jsou jeho relativně časté aktualizace a závislost na jedině

velké společnosti. Z hlediska budoucího vývoje také může být problematická nemožnost ukládat NURBS geometrii křivek a ploch.

## 8. DXF formát

Zde se jedná pravděpodobně o nejvíce podporovaný formát pro 2D a 3D geometrii vůbec. Je taktéž vyvíjen společností Autodesk, ale v tomto případě je možná jak binární tak ASCII varianta a vývojářům je zdarma k dispozici obsáhlá dokumentace. Formát má přesně definovanou strukturu, která obsahuje všechny entity a objekty 3D modelu včetně hladin, barev, bloků, tabulek, externích referencí a podobně. Z hlediska účelu řešeného v grantovém projektu se tato struktura jeví jako příliš složitá a obsahující informace, které nejsou pro naše účely zapotřebí. Z nevýhod také zůstává závislost vývoje formátu na jediné společnosti; jeho časté aktualizace, které by mohli mít za následek nutnost stejně častých aktualizací vyvíjených aplikací; a nemožnost práce s křivkami a plochami v geometrii NURBS.

## 9. SQL databáze

V první fázi řešení projektu jsou také zkoumány možnosti exportu geometrie do SQL databáze. Takový postup by pravděpodobně našel uplatnění jak v dalších projektech financovaných z veřejných zdrojů a řešených na FSv ČVUT v Praze (spolupříjemce), tak v praktických problémech řešených v projektech společnosti Cubespace (příjemce grantové podpory). Lze předpokládat, že tento postup je možný u 3D programů, které podporují obecné programovací jazyky jako jsou VBA (Visual Basic for Applications), C++ či C# nebo intepretovaný jazyk Python. Z programů využívaných pro architektonické navrhování se to tedy například týká programů AutoCAD, IntelliCAD, Rhinoceros 3D nebo freewarového programu Blender 3D. Posledně jmenovaný podporuje jazyk Python, který je včetně rozmanitých knihoven také zdarma.

Na konkrétním případě bylo testováno propojení 2D a 3D programu 4M IntelliCAD 6.6 CZ PRO s MySQL databází. Pro správu databáze byl využit lokální server Apach a aplikace PHPMyAdmin pod operačním systémem Windows. Zmíněné databázové aplikace jsou k dispozici zdarma a fungují i na volně dostupném operačním systému Linux. Samotný CAD program i prostředí VBA jsou však stavěny výhradně pro operační systém Windows a připojení k databázi vyžadovalo instalaci přídatných DLL knihoven, které jsou sice k dispozici zdarma, ale jejich poskytovatelem je společnost Microsoft. To stejné platí i pro prostředí pro programování s jazyce VBA. Vzhledem k velkému rozšíření a současné cenové dostupnosti těchto platforem to však neznamená žádnou komplikaci.

Existuje ale také mnoho programů, které mají své vlastní programovací jazyky specifické jen pro ně a zde může být propojení s SQL databází složitější. Všechny z nich však umožňují uložení textového souboru a tento soubor pak může být formátován přímo jako dump databázové tabulky v textovém formátu. Databázová aplikace by pak měla být schopná tuto tabulku importovat.

## 10. ANSYS

ANSYS<sup>18</sup> je robustní programový balík založený na metodě konečných prvků, je určen pro řešení rozsáhlých lineárních i nelineárních (fyzikálně i geometricky) úloh mnoha různých kategorií: strukturální, teplotní, teplotně-mechanické, elektromagnetické, akustické atd. Výhodou je multiplatformnost, možnost spouštění v příkazové řádce (batch mode) a možnost

<sup>18</sup> <http://www.svsfem.cz/index.php/public/page.php?lang=cz&pgid=81>, www.ansys.com

dopsání libovolného modulu v několika programovacích jazycích. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

### **11. SCIA Engineering**

Scia Engineer je softwarová platforma pro statiky vyvíjená společností Nemetschek Scia. Modeluje, analyzuje a navrhuje širokou škálu konstrukcí. Jedná se o vespělý, uživatelsky přívětivý balík, který podporuje mnoho formátů včetně BIM modelování (SDNF, DSTV, Step Steel, IFC, XML, DWG, DXF, VRML atd.). Výhodou aplikace je dvousměrné propojení (konstrukční model je načten přímo z CAD programu a provedené změny jsou zaslány zpět) s CAD modelářem Allplan, ArchiCAD (Structural Work Link), Vectorworks, Tekla Structures, Revit (Autodesk), Etabs atd. Nevýhodou je pořizovací cena a absence skořepinových prvků.

### **12. RFEM Dlubal**

RFEM je program pro statický výpočet libovolných 3D konstrukcí vyvíjená společností Ing. Software DLUBAL. Základní program zahrnuje modelování, výpočet vnitřních sil a deformací, tiskový protokol a import/export dat. K dispozici je řada přídatných modulů, které slouží pro dimenzování a další speciální výpočty (stabilita, dynamika apod.). Jedná se o vespělý, uživatelsky přívětivý balík, který podporuje mnoho formátů včetně BIM modelování (ACIS, DSTV, SDNF, IGES, DXF, IFC, STEP atd.).

### **13. OOFEM**

OOFEM je zkratka pro "Object Oriented Finite Element Method code". Jedná o otevřený výpočetní nástroj založený na metodě konečných prvků, implementovaný v jazyce C++ na základě důsledné aplikace postupů objektově orientovaného programování. Vlastní balík v současné době poskytuje širokou škálu nástrojů pro řešení statických problémů a v případě omezené funkčnosti jej lze velmi rychle doplnit o nové funkce. To je možné především díky tomu, že tento program byl v průběhu minulých let aktivně využíván a rozvíjen členy týmu z Fakulty stavební ČVUT.