

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ**  
**A METROLOGIE**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Analýza dopadů a rizik vyplývajících ze změny nosného CAD  
systému v oblasti vývoje produktu**

**Analysis of the impacts and risks resulting from a change in  
the supporting CAD system in the area of product development**

AUTOR: Bc. Lukáš Nevstával

STUDIJNÍ PROGRAM: Výrobní Inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Tomíček Jan, Ph.D.

**PRAHA 2023**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nevstával** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **485357**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výrobní inženýrství**  
Specializace: **Bez specializace**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Analýza dopadů a rizik vyplývajících ze změny nosného CAD systému v oblasti vývoje produktu**

Název diplomové práce anglicky:

**Analysis of the impacts and risks resulting from a change in the supporting CAD system in the area of product development**

Pokyny pro vypracování:

Nosný CAD systém je základním zdrojem dat pro mnoho oblastí počítačem podporované výroby zejména v oblasti automotive. Proto je změna nosného CAD zásadním vstupem do prostředí TPV. Z důvodu přípravy na dopady a rizika v konkrétním podniku v rámci DP proveďte tyto kroky:

1. Rešerše na téma nosný(základní) CAD SW - nasazení, napojení a vazby.
2. Analýza stávajícího stavu nosného CAD ve Škoda auto - využijte moderní nástroje analýzy (SWOT ad.).
3. Návrh možných řešení pro zjištěné vstupní podmínky a kritéria hodnocení.
4. Varianty řešení a jejich hodnocení.
5. Vyhodnocení variant, závěry a doporučení analýzy.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

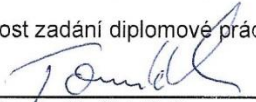
**Ing. Jan Tomíček, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

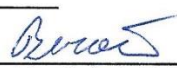
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


Datum zadání diplomové práce: **03.04.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2023**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

  
Ing. Jan Tomíček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
Ing. Libor Beránek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

27.4.2023  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne: .....

.....

Podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za cenné konzultace, které mi pomohly k dokončení této práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Škoda Auto a.s., a to konkrétně oddělení konstrukčních metod a systémů vozu, za poskytnutí důležitých rad a informací. Také děkuji panu Prof. Alfredu Katzenbachovi za zodpovězení mých otázek. Děkuji i svým rodičům a blízkým za podporu během studia.

# **Anotace**

Autor: Bc. Lukáš Nevstával

Název DP: Analýza dopadů a rizik vyplývajících ze změny nosného CAD systému v oblasti vývoje produktu

Rozsah práce: Počet stran: 105

Počet obrázků: 20

Počet tabulek: 8

Počet příloh: 9

Školní rok vyhotovení: 2022/2023

Škola: ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Vedoucí práce: Ing. Tomíček Jan, Ph.D.

Anotace: Tato diplomová práce se zabývá analýzou dopadů a rizik vyplývajících ze změny nosného CAD systému ve firmě Škoda Auto, a to v oblasti vývoje. V první části pokládá nezbytný teoretický základ. V druhé části proběhla analýza aktuálního stavu CAD systému v podniku, která stanovila požadavky na možné následníky. Poté byla provedena důkladná analýza dvou nejpravděpodobnějších variant nového řešení, jejich hodnocení a následně porovnání spojené se závěrečným doporučením.

## **Klíčová slova**

CAD, systém, PDM, PLM, datový formát, CAA aplikace, CATIA, NX

# Annotation

Author: Bc. Lukáš Nevstával

Title: Analysis of the impacts and risks resulting from a change in the supporting CAD system in the area of product development

Extent: Number of pages: 105

Number of pictures: 20

Number of tables: 8

Number of attachments: 9

Academic year: 2022/2023

University: CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

Department: Department of Machining, Process planning and Metrology

Supervisor: Ing. Tomíček Jan, Ph.D.

Annotation: This diploma deals with the analysis of the impacts and risks resulting from a change in supporting CAD system in Škoda Auto precisely in the area of development. In the first part it lays the necessary theoretical foundation. In the second part, there was carried out a current state analysis of CAD systems in the company to determine the requirements for possible successors. Then, a thorough analysis of the two new most likely solutions was conducted, their evaluation and subsequent comparison together with a final recommendation.

## Keywords

CAD, system, Data format, PDM, PLM, CAA application, CATIA, NX

# Obsah

1.	Úvod .....	11
2.	Historie CAD .....	13
2.1.	Vznik .....	13
2.2.	Šedesátá léta .....	13
2.2.1.	Bézierovy křivky .....	13
2.3.	Komerční vývoj CAD v 70. letech .....	14
2.3.1.	B-Spline .....	14
2.3.2.	NURBS .....	14
2.3.3.	Oslo algoritmy .....	15
2.3.4.	Tvorba drátěných modelů .....	15
2.3.5.	Povrchové modelování .....	15
2.3.6.	Modelování solidů (těles) .....	15
2.4.	Strukturální změny v odvětví CAD v 80. letech .....	16
2.4.1.	Pracovní stanice UNIX .....	16
2.4.2.	IBM MODEL 5150PC .....	16
2.4.3.	Pro/ENGINEER .....	16
2.4.4.	Vyrovnění se konkurenci .....	17
2.5.	Konsolidace odvětví CAD v 90. letech .....	17
3.	Vývojové trendy CAD .....	19
3.1.	Umělá Inteligence v CAD .....	19
3.1.1.	SOLIDWORKS xDesign .....	20
3.1.2.	Generativní design .....	21
3.2.	Aplikace CAD v rozšířené realitě .....	21
3.2.1.	Virtuální realita .....	22
3.2.2.	Rozšířená realita .....	22
3.2.3.	Smíšená realita .....	22
3.3.	Aplikace CAD v 3D tisku: integrace designu a výroby .....	23

4.	Aplikace CAD systému.....	24
4.1.	Geometrické modelování.....	24
4.2.	Konstrukční analýza .....	24
4.3.	Přezkoumání a vyhodnocení návrhu .....	25
4.4.	Automatizované kreslení .....	26
5.	Výhody CAD systémů.....	27
5.1.	Zlepšení produktivity v oblasti konstrukce .....	27
5.2.	Kratší dodací lhůty .....	27
5.3.	Analýza návrhu.....	27
5.4.	Méně konstrukčních chyb .....	28
5.5.	Flexibilita návrhu.....	28
5.6.	Standardizace.....	28
5.7.	Srozumitelnější výkresová dokumentace .....	28
5.8.	Výrobní výhody .....	28
5.9.	Tvorba výrobní databáze.....	29
6.	Product Data Management .....	30
6.1.	Správa souborů.....	31
6.1.1.	AD-HOC metody.....	32
6.1.2.	PDM metody.....	33
6.2.	Product Lifecycle Management.....	34
7.	CAD datové formáty .....	35
7.1.	Obsah CAD souborů .....	36
7.2.	Product Data Exchange .....	37
8.	Proces vývoje produktu v automotive .....	39
8.1.	Fáze definice.....	39
8.2.	Fáze konceptu .....	40
8.3.	Předvývojová fáze.....	40
8.4.	Fáze sériového vývoje .....	41



8.5.	Počáteční fáze výroby.....	41
9.	Společnost Škoda Auto.....	42
9.1.	Organizace Škoda Auto.....	42
10.	Analýza aktuálního stavu .....	44
10.1.	CATIA .....	46
10.1.1.	CATIA V5.....	47
10.1.2.	CATIA V6.....	47
10.1.3.	CATIA 3DEXPERIENCE .....	48
10.2.	PTC CREO.....	48
10.3.	Nástroje.....	49
10.3.1.	DoLittle.....	49
10.3.2.	VW Netline.....	49
10.3.3.	Validat.....	50
10.3.4.	OUTGEN.....	50
10.3.5.	CAVA .....	51
10.3.6.	RPS/LTA.....	51
10.3.7.	VTPart Creator .....	52
10.3.8.	WebNTA.....	53
10.3.9.	ELENA.....	53
10.3.10.	EETools .....	54
10.3.11.	CADGlyph.....	54
10.3.12.	3DCaliper.....	54
10.3.13.	VW ModelCheck .....	54
10.3.14.	VW Modpar .....	55
10.4.	PDM systémy.....	55
10.4.1.	HyperKVS.....	56
10.4.2.	ECA .....	57
10.4.3.	CONNECT .....	57

10.5.	Shrnutí současného stavu .....	57
11.	Návrh možných řešení .....	60
11.1.	NX.....	62
11.1.1.	IT Administrativa .....	62
11.1.2.	Funkcionalita .....	63
11.1.3.	Uživatelé .....	65
11.1.4.	Datový formát.....	65
11.1.5.	PDM systém.....	67
11.1.6.	Shrnutí přechodu na NX.....	68
11.1.7.	Hodnocení přechodu na NX.....	69
11.2.	3DEXPERIENCE .....	71
11.2.1.	IT Administrace.....	72
11.2.2.	Funkcionalita .....	73
11.2.3.	Uživatelé .....	75
11.2.4.	Datový formát.....	75
11.2.5.	PDM systém.....	76
11.2.6.	Shrnutí přechodu na 3DExperience.....	78
11.2.7.	Hodnocení přechodu na 3DExperience .....	80
12.	Doporučení varianty.....	82
13.	Závěr .....	85
14.	Citovaná literatura .....	86
15.	Seznam obrázků.....	96
16.	Seznam tabulek.....	96
17.	Seznam příloh .....	97

# 1. Úvod

V této diplomové práci jsem se zabýval změnou nosného CAD systému ve firmě Škoda Auto, přesněji v oblasti vývoje produktu. Pro práci bylo využito volně dostupných informací a interních materiálů, které bylo možné uvést při zachování duševního vlastnictví Škoda Auto. S ohledem na velký počet zkratk, které bylo nutné vysvětlit, byly všechny zkratky objasněny v textu namísto tradičního seznamu zkratk, protože vysvětlení je mnohdy nutné v kontextu věci.

Počítačem podporovaný návrh (CAD) lze chápat jako využití počítačových systémů při tvorbě, úpravě, analýze nebo optimalizaci návrhu. Jedná se o tvorbu jakéhokoliv návrhu, při kterém je použito počítače. Moderní CAD systémy jsou založeny na interaktivní počítačové grafice (ICG). ICG vytváří uživatelsky orientovaný systém, v němž je počítač pověřen vytvářením, zobrazováním a transformací dat ve formě obrázků nebo symbolů. Uživatelem CAD systému je návrhář, který počítači předává data a příkazy prostřednictvím některého z několika vstupních zařízení. Návrhář vytváří obraz pomocí příkazů, které spouští požadované softwarové podprogramy uložené v počítači. Ve většině systémů je obraz sestaven ze základních geometrických prvků: bodů, čar, kružnic atd., které lze upravovat podle přání konstruktéra: zvětšovat, zmenšovat, přesouvat na jiné místo na obrazovce, otáčet a transformovat [1].

CAD software se skládá z počítačových programů pro implementaci počítačové grafiky v systému a aplikačních programů pro usnadnění konstrukčních procesů. Příklady těchto aplikačních programů zahrnují analýzu napětí a deformace součástí, dynamickou odezvu mechanismů, výpočty přenosu tepla a programování numerických řídicích částí. Pro automobilový průmysl představují tyto a další aplikační programy nepostradatelné pomocníky při vývoji nového automobilu. Může se ale stát, že jejich aktuální systém už nestačí jejich požadavkům nebo se stává časem zastaralý. Část automobilového odvětví se nyní nachází v situaci, kdy musí svůj aktuální CAD systém aktualizovat, nebo vyměnit za nový, a to kvůli končící podpoře systému CATIA V5-6. Tento systém je používán například v automobilce Bayerische Motoren Werke GmbH (BMW), ale také například ve Škoda Auto, a jeho podpora končí v roce 2030 [1] [2].

Změna systému CAD v tak velkém podniku jako je Škoda je významným počinem, který vyžaduje pečlivé a důkladné plánování. Než se společnost pustí do takového přechodu, je nezbytné zvážit různé scénáře a posoudit související rizika. Ještě předtím, než je možné provést důkladnou analýzu stávajícího CAD systému a navrhnout možné následníky, je nezbytné vytvořit komplexní přehled o historii a vývojových trajektoriích systémů CAD. Kromě toho je důležité seznámit se s aplikacemi CAD systémů a s procesem vývoje automobilu, jelikož díky tomu lze lépe pochopit jejich potenciální přínosy a jejich soulad se specifickými potřebami společnosti Škoda Auto. Nesmí být opomenut ani systém správy produktových dat a konstrukční datové formáty, které tento systém spravuje. Všechny tyto znalosti umožňují informovanější rozhodovací proces.

## 2. Historie CAD

Vývoj systémů CAD podnítl revoluci v mnoha průmyslových odvětvích, zejména ve strojírenství, výrobě a architektuře. Od svého vzniku v roce 1957 prošla technologie navrhování modelů na počítačích vlnami vývoje, které byly ovlivňovány širšími společenskými a technologickými vlivy. Výsledkem je, že většina světa, který dnes kolem sebe vnímáme, byla formována systémem CAD [3].

### 2.1. Vznik

Před zavedením počítačů se většina výpočtů pro konstrukci staveb a strojů prováděla v papírové formě, což zahrnovalo zdlouhavé výpočty a tvorbu výkresů. Ve 40. a 50. letech 20. století byl motivací pro vývoj počítačů především tlak armády na optimalizaci a výrobu zbraní. V této době, v roce 1957, vyvinul "otec CADu", Dr. Patrick J. Hanratty, program PRONTO (Program for Numerical Tooling Operations). Jednalo se o první komerční programovací systém pro numerické řízení (NC), který sloužil pro intenzivní konstrukční výpočty, čímž ušetřil čas a zvýšil produktivitu [3].

### 2.2. Šedesátá léta

Na počátku vývoje CAD v 60. letech 20. století probíhaly inovace v oblasti CAD prostřednictvím spolupráce oddělených skupin vývojářů na univerzitách a v automobilovém a leteckém průmyslu. Vysoká cena typické technologie v té době způsobovala nízkou dostupnost a vedla k tomu, že vývoj probíhal v rámci skupin. Zatímco automobilové a letecké společnosti si ponechávaly svůj výzkum v soukromí, technologie CAD mohla stále rychle postupovat vpřed díky výzkumníkům po celém světě, kteří otevřeně sdíleli a navazovali na práci ostatních. Výsledkem byl relativně souběžný vývoj několika forem modelování v průběhu 60. a 70. let, které dnes tvoří páteř modelovacích programů [4; 5].

#### 2.2.1. Bézierovy křivky

Kolem roku 1960 navrhl Pierre Bézier vedení společnosti Renault, aby vyvinulo metodu matematického definování povrchu automobilů. O pět let později byla tato práce v plném proudu a v roce 1972 už Renault vytvářel digitální modely a používal data k řízení frézovacích strojů. Společnost tento systém nazvala UNISURF a nakonec se stal důležitou součástí softwaru CATIA společnosti

Dassault Systèmes. Klíčovým aspektem této práce byl vývoj známých Bézierových křivek a ploch, které se dodnes používají v mnoha grafických aplikacích [4; 6].

## 2.3. Komerční vývoj CAD v 70. letech

S pokrokem v oblasti CAD v celosvětovém měřítku a s rozvojem hardwaru se rozšířila možnost komerčního využití CAD. Do čela se dostalo pět společností, které ovládly stále se rozšiřující trh. Na počátku 70. let to byly společnosti Applicon a Computervision, později se přidaly společnosti Auto-trol Technology, Calma a M&S Computing. Tento prudký nárůst komerční dostupnosti CAD byl úzce spojen s rostoucí dostupností minipočítačů, které postupně změnilo počítač ze sběratelského artiklu v běžný produkt. Během deseti let se CAD rychle změnil z odvětví opomíjeného na odvětví s miliardovou hodnotou [3].

### 2.3.1. B-Spline

V roce 1973 popsal Richard Risenfeld v roce 1973 nový přístup nazvaný B-spline. B-spline křivky jsou křivky volného tvaru, které jsou tvořeny z jednotlivých segmentů Bézierových křivek stejného stupně, které jsou k sobě spojeny s co nejvyšší třídou spojitosti [3].

### 2.3.2. NURBS

Syracuse Ken Versprille se zabýval definicí racionální B-spline. Svou doktorskou práci na toto téma dokončil v roce 1975 před nástupem do společnosti Computervision. Versprille je mnoha lidmi považován za tvůrce NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) [4].

NURBS jsou matematické reprezentace 3D geometrie, které dokáží přesně popsat jakýkoli tvar od jednoduché 2D čáry, kružnice, oblouku nebo křivky až po nejsložitější 3D organický povrch nebo těleso. Díky své flexibilitě a přesnosti lze modely NURBS použít v jakémkoli procesu, od ilustrací a animací až po výrobu [7].

Rozdíl mezi povrchy NURBS a B-spline je v tom, že povrchy NURBS jsou racionální. To znamená, že ke každému bodu popsanému na povrchu je přiřazena váha a vyjádření parametrizace křivky se rovnají racionálně lomeným funkcím [7].

### 2.3.3. Oslo algoritmy

Dalším krokem byl vývoj Oslo algoritmu. Na začátku roku 1979 se Riesenfeld a jeho žena Elaine Cohenová rozhodli pracovat ve skupině CAD v Centrálním institutu, což byla výzkumná skupina spojená s univerzitou v Oslu. Společně s Tomem Lychem definovali soubor matematických technik, které podstatně rozšířily funkčnost B-splinů. Jedná se o rekurzivní metodu pro aktualizaci reprezentace B-spline křivek přidáním dalším bodů [4].

### 2.3.4. Tvorba drátěných modelů

Tvorba drátěných modelů byla dalším pokrokem, který pomohl přenést 2D kreslení do grafického uživatelského rozhraní. Čáry byly spojeny s body v prostoru a tvořily 3D strukturu modelu. Potíž s tímto typem modelování spočívala v tom, že vyžadovalo ruční práci při odstraňování skrytých čar, které bránily dalším krokům během modelování [4].

### 2.3.5. Povrchové modelování

Cílem automobilových a leteckých společností bylo vytvořit hladší povrch, aby snížily odpor vzduchu a zvýšily rychlost svých vozidel. Výzkum založený na Beziérových křivkách a technologii B-rep umožnil definovat povrchy a jejich celkový tvar, chyběla však možnost definovat vnitřek objektu [4].

### 2.3.6. Modelování solidů (těles)

Modelování těles začalo být možné díky práci několika skupin výzkumníků v 70. letech 20. století. Zatímco modelování povrchů nezahrnovalo vnitřní strukturu objektů, modelování těles definovalo vztahy mezi povrchy, což umožnilo vytvářet plnohodnotná tělesa [4].

Finanční prostředky a zdroje, které podpořily činnost skupiny Cambridge CAD Group v roce 1965, zajistila britská vláda. V roce 1969 začala skupina vyvíjet software pro modelování pevných těles na systému Digital PDP-7. V roce 1970 se ke skupině připojil Ian Braid, který se zaměřil na psaní modelovacího kódu se zvláštním důrazem na datové struktury. Výsledkem jeho diplomové práce byl BUILD-1, systém pro modelování těles prezentovaný na veletrhu PROLOMAT, který využíval logiku Boolean, jednoduchou geometrii a obrázky ve stupních šedi. BUILD-1 umožňoval konstrukci rovinných a válcových ploch pouze na základní

úrovni, ale částečně odkrýval, co by mohlo přinést modelování těles, jako například analýza hmotnosti a generování řezných drah nástrojů [4].

## 2.4. Strukturální změny v odvětví CAD v 80. letech

80. léta 20. století byla pravděpodobně nejvýznamnějším obdobím, pokud jde o vývoj odvětví CAD. Odvětví CAD prošlo několika strukturálními změnami, které změnily individuální i kolektivní proces navrhování. Nové technologické trendy vytvořily základ pro rozvoj CAD a inovace CAD zároveň podnítily technologický rozvoj, přičemž každý z nich přispěl k formování toho druhého [4].

### 2.4.1. Pracovní stanice UNIX

Na trh byla uvedena pracovní stanice se systémem UNIX, která umožnila větší kontrolu nad procesem navrhování a lepší přístup k technologii, umožňující 3D modelování. UNIX byl v té době hlavním operačním systémem, většinou psaný v programovacím jazyce C, který vyvinuly Bell Telephone Laboratories [4].

### 2.4.2. IBM MODEL 5150PC

V roce 1981 představila společnost IBM svůj první osobní počítač (PC), model 5150. S rozšířenou pamětí, dvěma přihrádkami na diskety a dostupností barevného a monochromatického displeje se osobní počítač změnil z amatérského sběratelského předmětu na legitimní běžný produkt. PC se stal dostupnějším a vhodnějším prostředkem pro práci než pracovní stanice. Tím se měnil celkový přístup k CADu. Následoval další vývoj softwaru CAD, který byl stále dostupnější a také efektivnější. Prvním programem vydaným pro IBM PC krátce po založení společnosti Autodesk byl program AutoCAD [4].

### 2.4.3. Pro/ENGINEER

Společnost Parametric Technology Corporation (PTC) otřásla CAD průmyslem koncem roku 1987, kdy představila program pro parametrické modelování založený na prvcích s názvem Pro/ENGINEER. Přestože měl software určité technické nedostatky, ukázal se mimořádně schopný a řada společností zahájila pilotní instalace, aby tuto novou technologii porovnal se stávajícími staršími systémy, které v té době většina z nich používala. Kromě společností Dassault Systèmes a SDRC procházeli všichni konkurenti společnosti PTC



obtížným přechodem od výroby a/nebo prodeje počítačového hardwaru a současně se museli vypořádat se zásadní změnou softwaru, pokud si chtěli udržet své stávající zákazníky. Pro/ENGINEER nepřicházel s novými koncepty a funkcemi, ale společnost PTC odvedla vynikající práci při marketingu tohoto softwaru a poměrně rychle začala odebírat zakázky ostatním dodavatelům [4].

#### 2.4.4. Vyrovnání se konkurenci

Konec 80. let přinesl boj mezi vývojáři softwaru CAD, kteří se snažili vyrovnat uživatelskému rozhraní a možnostem softwaru Pro/ENGINEER. To otevřelo dveře novým formátům, jako byly Parasolid a ACIS, které byly později integrovány do nových parametrických CAD programů. Parasolid vyvinula společnost Shape Data Limited pro další společnosti, které si jej mohly licencovat pro použití ve svých vlastních produktech. ACIS, vyvinutý společností Spatial, byl prodán mnoha vývojářům CAD softwaru – především AutoCADu, který si tento formát licencoval v roce 1990 [4].

### 2.5. Konsolidace odvětví CAD v 90. letech

V 90. letech 20. století byl počítač konečně schopen provádět výpočty, které 3D CAD vyžadoval. To vedlo ke krizi pro pracovní stanice se systémem UNIX. Ačkoli mnoho uživatelů vyžadovalo výkon procesoru, který poskytovaly pracovní stanice UNIX, mnozí byli naprosto spokojeni s výkonem osobních počítačů. Tento přechod z UNIXu na PC byl transformační. Software CAD začal být pomalu dostupný milionům inženýrů a spotřebitelů, kteří si dříve tuto technologii nemohli dovolit [3].

V roce 1995 byl vydán první významný CAD systém pro Windows – SolidWorks. Byl tak úspěšný, že jej po pouhých dvou letech v roce 1997 koupila společnost Dassault Systèmes za 320 milionů dolarů. Ještě téhož roku byl vydán Solid Edge, program založený na ACIS. V následujícím roce byl vydán program Mechanical Desktop společnosti Autodesk – její první produkt pro 3D modelování těles, který se rychle stal nejprodávanějším CAD softwarem na světě. Společnost Autodesk pokračovala v úspěchu vydáním produktu Autodesk Inventor v roce 1999 [3].

Většina programů CAD dosáhla koncem 90. let stejného bodu. Všechny nabízely podobné funkce. Tlak na nové inovace ve světě CAD se konečně začal

zpomalovat. Místo toho se nyní zájem soustředil na software pro správu produktových dat, který byl úspěšně použit při bezpapírovém návrhu 777 společnosti Boeing s programem CATIA [3].

Na konci desetiletí, kdy došlo k zpomalení tempa dalšího technologického vývoje, přešlo mnoho původních vývojářů CAD z 60. let do nových, větších společností. Tyto společnosti se nakonec konsolidovaly do čtyř hlavních konkurentů: Autodesk, Dassault Systèmes, PTC a UGS (nyní Siemens PLM) [3].

## 3. Vývojové trendy CAD

CAD systémy prochází neustálým vývojem, který je přímo závislý na vývoji technologií. Pro analýzu dopadů a rizik změny CAD systému je nutné podívat se na to, jaké jsou aktuální vývojové směry [8].

Průmyslové revoluce posledních několika století od roku 1760 do současnosti utvářely celkovou povahu vznikajících technologií. V současné době se tempo vývoje zrychluje. CAD se formuje tak, aby odpovídal těmto rychlým změnám v dynamice mezi technologiemi a lidmi, zejména v udržování tempa a inovacích spolu s průmyslem 5.0 [8].

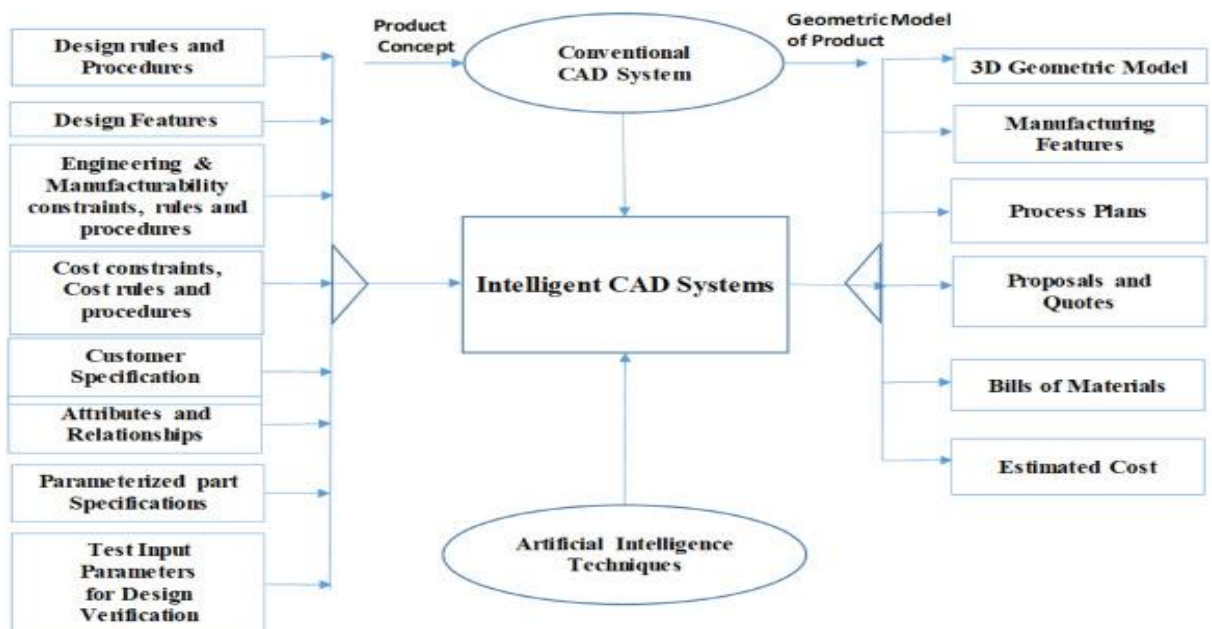
### 3.1. Umělá Inteligence v CAD

Dříve se termín "umělá inteligence" (AI) používal k popisu schopnosti strojů napodobovat lidskou inteligenci prostřednictvím učení a uvažování při řešení složitých problémů. Mnozí výzkumníci v oblasti umělé inteligence v poslední době tento přístup zpochybňují a charakterizují umělou inteligenci z hlediska racionality, která neomezuje způsob, jakým lze inteligenci charakterizovat. Inteligentní stroje uvažují a rozhodují se samostatně a bezchybně v souladu se svým designem nebo předem nastaveným programem. V posledních letech se společností podařilo vytvořit účinné a efektivní inteligentní CAD prostředí začleněním AI do svých systémů. Začlenění umělé inteligence do systému CAD výrazně zkrátí dodací lhůtu produktů a vytvoří prostředí pro navrhování založené na znalostech [8].

První nápady na nutnou integraci umělé inteligence do CAD se vyskytovaly již od roku 1965. Brown a Chandrasekaran zkoumali otázky hierarchické struktury a strategie řešení problémů během rutinního navrhování. Rao (1989) vyčlenil hlavní oblasti, na které se soustředí výzkum inteligentního navrhování. Podle jeho návrhu je vývoj zaměřen na malé jednoduché inteligentní návrhové systémy, rozsáhlé inteligentní návrhové systémy (prostřednictvím propojení několika AI), inteligentní analýzy a inteligentní grafické rozhraní. Inteligentní grafické rozhraní rozšiřuje systémy CAD o nástroje, které mohou zlepšit přesnost a preciznost návrhů, a tím zvýšit produktivitu a kvalitu práce. Panarotto a další (2020) vytvořili metodu pro vytváření různorodých koncepcí modelu založenou na kombinaci funkčního modelování a CAD. Metoda OMFG využívá nově navržený

model pro určení funkce a klíčové geometrie výrobku. Následně dojde k propojení konceptu návrhu výrobku s automatizací návrhu (DA – Design Automation). Podle jejich zprávy je účelem pomoci vývojářům výrobků prozkoumat větší množství odlišných návrhů v raných fázích vývoje tím, že zohlední geometrická kritéria a funkci výrobku. Miller a kol (2018) rozšířili model CAD o popisky atribut a chování výrobku. Tyto informace byly dříve k dispozici v samostatných aplikacích. Vytvoření inteligentního návrhového systému však dosud zůstává horkým předmětem výzkumu [8].

Obrázek 1 ukazuje, jak lze konvenční CAD převést na inteligentní systém CAD. Proces spojení CAD a AI se nazývá model-based reasoning (MBR). Pomocí kvantitativní a kvalitativní analýzy předpovídá interakce, které by mohly existovat mezi různými částmi návrhu [8].



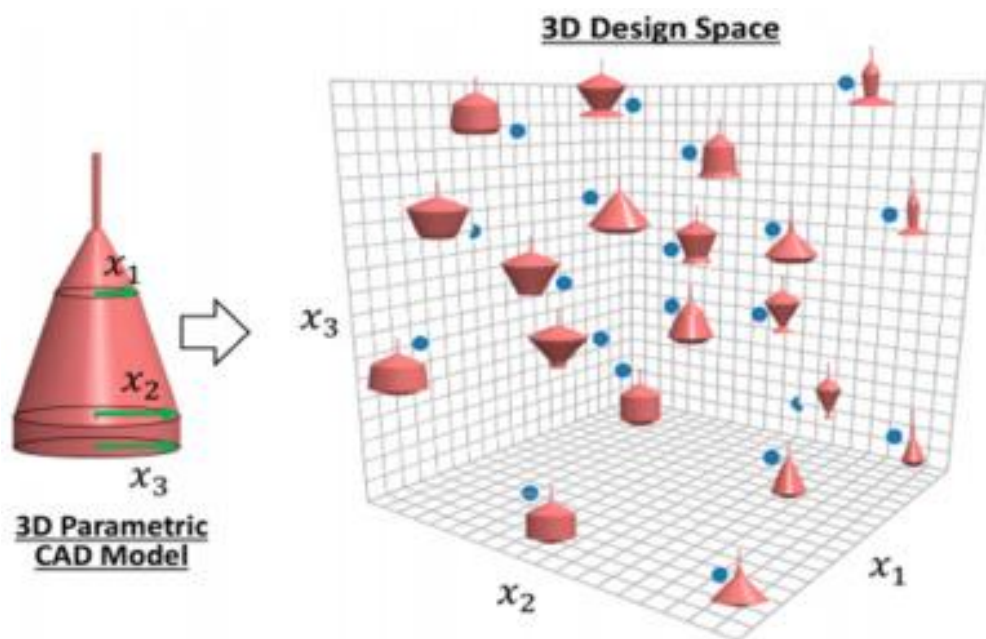
Obrázek 1: Schéma inteligentního CAD systému [8]

### 3.1.1. SOLIDWORKS xDesign

Společnost Dassault Systemes, vlastník softwaru SOLIDWORKS, je jednou z předních firem, které integrovaly umělou inteligenci do svých konstrukčních produktů. Společnost představila xDesign, který využívá AI jako nástroj pro kreslení a modelování. V systému SOLIWORKS xDesign mohou uživatelé okamžitě nasadit různá řešení konstrukčních úkolů prostřednictvím cloudové spolupráce. Operátor nejprve vytvoří model a definuje omezení. Poté xDesign vygeneruje díl prostřednictvím umělé inteligence integrované do svého systému na základě omezení definovaných uživatelem [8].

### 3.1.2. Generativní design

Generativní design je dalším využitím umělé inteligence vyvinutý společností Autodesk. Metoda funguje tak, že se náhodně mění parametry v již definovaných mezích, aby se na základě vestavěného parametrického CAD systému vygenerovala sada charakteristických návrhů. Khan a Awan (2018) navrhli techniku generativního designu (GDT), která propojuje počítačový program (Jaya Program) a CAD pro vytváření inovativních návrhů. Na obrázku 2 jsou znázorněny různé alternativy 3D modelu CAD pro stropní svítidlo s využitím AI při zohlednění zadaných kritérií [8; 9]



Obrázek 2: Ukázka Generative Design [9]

### 3.2. Aplikace CAD v rozšířené realitě

S příchodem CAD systémů je možné pozorovat výrobek ve 3D ještě před jeho výrobou. V současné době se modely CAD používají i mimo 3D modelování. Pomocí CAD se simulují efekty a plánuje práce. Stále však existuje mezera v tom, že CAD neposkytuje imerzní vizualizaci a interaktivní simulace, jaké je možné vidět ve virtuální realitě (VR), rozšířené realitě (AR) a smíšené realitě (MR). Napodobit reálný svět pomocí tradičních technologií CAD je obtížné. V technologii rozšířené reality se však model vytvořený v softwaru CAD načte do platforem VR, AR a MR, aby bylo možné provést interaktivní simulace a detailní konceptualizaci [8].

### 3.2.1. Virtuální realita

Technologie virtuální reality je typ virtuální simulace, která využívá počítačovou simulaci k vytvoření a prožití virtuálního světa reálného systému. Uživatelé technologie virtuální reality jsou během simulace plně ponořeni do uměle vytvořeného prostředí. Dvěma typickými charakteristikami VR jsou ponoření a interakce. V současné době se VR modernizuje tak, aby využívala různé senzory (rozpoznávání očí, hlasu a gest) pro interakci s informačním prostředím v kombinaci s interakcí v reálném světě. Regassa (2020), navrhl a simuloval robotický manipulátor s 6° volnosti pomocí VR nástroje nazvaného "Virtual Universe Pro" software. V jeho výzkumu nejprve vytvořil 3D model robotického manipulátoru pomocí softwaru CAD SolidWorks a poté je jeho kompletní pohyb naprogramován a řízen pomocí programu PLC (Programmable Logic Controllers) ve virtuální realitě. Problém optimalizace CAD pro VR spočívá v tom, že kinematické vztahy vytvořené v programech CAD nejsou po importu do platform VR k dispozici. Musí se využívat externích programů pro obohacení exportovaných dat. Cílem je, aby export a import probíhal automaticky, a to se zachováním kompletnosti dat [8].

### 3.2.2. Rozšířená realita

Rozšířená realita je napůl virtuální a napůl reálná počítačová technologie. Rozšířená realita je druh výpočetní techniky pracující v reálném čase, která využívá polohu obrazu z kamery v kombinaci s odpovídajícím obrazem ze stejného úhlu. Cílem technologie AR je, aby došlo k zobrazení digitálního objektu do reálného světa. Lai a další (2020) představili systém, který se skládá z multimodálních instrukcí předávaných pomocí AR a podpořených umělou inteligencí pro rozpoznávání nástrojů, aby se snížil čas a chybovost při montážní operacích. Pro rozpoznávání nástrojů byla použita umělá inteligence s datasetem skládajícího se z CAD představitelů nástrojů [8].

### 3.2.3. Smíšená realita

Smíšená realita je nová technologie, která kombinuje virtuální realitu a rozšířenou realitu. Pro smíšenou realitu se používají náhlavní soupravy jako je Holo Lens. Tyto displeje na hlavě obsahují kamery, které neustále mapují prostředí uživatele. Hlavním rozdílem oproti AR je, že při použití smíšené reality jsou

digitální objekty schopné interakce s reálným světem. Je tedy například možné pokládat virtuální tužku na fyzický stůl [8].

### 3.3. Aplikace CAD v 3D tisku: integrace designu a výroby

Jedním z praktických využití CAD je technologie 3D tisku. V technologii 3D tisku je třeba nejprve vytvořit model 3D objektu v odpovídající velikosti a rozměrech a poté jej pomocí softwaru CAD uložit. Soubor CAD obsahuje pokyny nebo pravidla, kterými se řídí 3D tiskárny. Určuje, kolik materiálu musí být nanášeno a kam má být umístěn. Technologie 3D tisku vyrábí díly přidáváním vrstvy po vrstvě na základě určených parametrů. Na rozdíl od subtraktivních výrobních systémů nevyžaduje složité nastavení, chladicí kapaliny ani další doplňkové nástroje. Je velmi hospodárná a efektivní, a to zejména pro jednotlivé díly a malé série. Lze s ní vyrábět složité předměty, které se s konvenčním systémem obrábění vyrábějí velmi obtížně. Využití CAD pro trojrozměrný návrh a modelování výrobků je nevyhnutelný krok pro všechny technologie 3D tisku [8].

## 4. Aplikace CAD systému

Konstrukce tradičně probíhala na rýsovacích prknech a návrh se dokumentoval ve formě podrobného technického výkresu. Tento proces je velice časově náročný. Využití počítače a CAD systému přináší značné ulehčení. Oblasti funkcí CAD systému lze rozdělit do 4 funkčních oblastí [10]:

- 1) Geometrické modelování
- 2) Technická analýza
- 3) Přezkoumání a vyhodnocení návrhu
- 4) Automatizované kreslení

### 4.1. Geometrické modelování

Geometrické modelování se zabývá matematickým popisem geometrie objektu. Matematický popis umožňuje zobrazit obraz objektu a manipulovat s ním na grafickém terminálu. Software, který poskytuje možnost geometrického modelování, musí být navržen tak, aby jej mohl efektivně používat člověk, ale aby zároveň nezatěžoval počítač více, než nezbytně nutné [10].

Při geometrickém modelování existují různé metody reprezentace objektů. Základní forma používá k reprezentaci objektů drátěné rámy. Při využití této formy je objekt tvořen pomocí vzájemně propojených čar. Geometrické modelování se dělí na 3 typy [10]:

- 1) 2D Dvourozměrná reprezentace se používá pro plochý objekt
- 2) 2 1/2D Umožňuje zobrazovat trojrozměrný objekt, ale jen pokud u něj neexistují detaily bočních stěn
- 3) 3D slouží pro realizaci trojrozměrného modelování

Nejpokročilejší metodou je modelování tzv. solidů ve 3D. Tato metoda obvykle používá geometrické tvary těles nazývaná primitiva, která slouží ke konstrukci objektu uvnitř softwaru. Konstrukce takového tělesa probíhá přímo na grafickém terminálu použitím různých tvarových prvků [10].

### 4.2. Konstrukční analýza

Při tvorbě téměř každého konstrukčního návrhu je zapotřebí provést určitý typ analýzy. Analýza může zahrnovat výpočty napětí a deformace, přenosu tepla, frekvencí, zrychlení, rychlosti a odezvy na různé vnější vlivy. Analýza může být



provedena za pomoci standardního CAD softwaru, nebo lze použít jiný specializovaný software. Většina sad CAD softwarů obsahuje analyzační software, který je schopen analýzy metodou konečných prvků a výpočtu hmotnostní vlastnosti komponent [10].

Hmotností analýza je jednou z analytických funkcí CAD systémů, která má pravděpodobně nejširší uplatnění. Poskytuje informace o vlastnostech analyzovaného tělesa, jako je plocha, hmotnost, objem, těžiště a moment setrvačnosti [10].

Pravděpodobně nejvýkonnější analytickou funkcí je metoda konečných prvků. Metoda konečných prvků rozdělí objekt na velké množství konečných prvků (většinou obdélníky a trojúhelníky), které tvoří vzájemně propojenou síť uzlů. Počítač s dostatečnou výpočetní kapacitou je schopen analyzovat chování celého objektu z hlediska napětí, deformace, přenosu tepla a dalších charakteristik výpočtem chování každého uzlu [10].

Některé systémy mají možnost automaticky definovat uzly a strukturu sítě na daném objektu při dodržování zadaných parametrů metody konečných prvků. Výstupem takové analýzy může být tabulka nebo grafická reprezentace pro snadnou vizualizaci uživatelem. Například u rozboru napětí a deformace může být zobrazen vychýlený tvar vlivem deformace překrytý původním návrhem, nebo může být deformace vyjádřena pomocí barevného rozhraní [10].

### 4.3. Přezkoumání a vyhodnocení návrhu

Při posuzování návrhu je často užitečný postup zvaný vrstvení. Dobrou aplikací vrstvení je například překrytí geometrického obrazu konečného tvaru obráběného dílu obrazem hrubého odlitku. Tím se zajistí, že na odlitku bude k dispozici dostatek materiálu pro dosažení konečných rozměrů při obrábění. Tento postup lze aplikovat na různé technologie ke kontrole předešlého kroku.

Dalším souvisejícím postupem přezkoumávání návrhu je kontrola přesahů. Jedná se o analýzu konstrukční sestavy, u níž hrozí, že součásti sestavy by mohly zaujímat stejný prostor [10].

Jednou z nejzajímavějších vyhodnocovacích funkcí, která je k dispozici u některých CAD systémů, je simulace kinematiky. Tato funkce umožňuje

animovat pohyb jednoduchých mechanismů. Simulace pohybu částí umožňuje zabránit kolizi jednotlivých součástí mechanismu [10].

#### 4.4. Automatizované kreslení

Automatizované kreslení zahrnuje vytváření technické výkresové dokumentace přímo z CAD databáze. U některých prvních adaptérů systémů CAD byla právě automatizovaná tvorba výkresové dokumentace hlavním důvodem k investici. CAD systémy totiž dokážou zvýšit produktivitu tvorby výkresové dokumentace až 5krát oproti ručnímu kreslení [10].

Některé grafické funkce těchto systémů jsou právě pro kreslení velice výhodné. K těmto funkcím patří automatická generace řezů, změny rozměrů výkresu, detaily požadovaných oblastí a možnost rotace součástí [10].

## 5. Výhody CAD systémů

V této kapitole byly přiblíženy výhody implementace CAD systému. Všechny tyto výhody by měl nový CAD systém poskytovat nebo zvyšovat oproti stávajícímu systému. Existuje mnoho výhod CAD systémů, ale pouze některé z nich lze snadno změřit. Některé z nich jsou nevyčíslitelné a projevují se v kvalitnější práci a v relevantnějších a použitelnějších informacích. Některé z výhod použití CAD systému jsou zmíněny níže [10].

### 5.1. Zlepšení produktivity v oblasti konstrukce

CAD pomáhá zvýšit produktivitu projektování tým, že zkracuje čas potřebný k vypracování koncepčního návrhu a jeho analýze. Je také možné snížit nároky na pracovní sílu pro daný projekt. Zvýšení produktivity v procesu tvorby konstrukčního návrhu za pomoci počítače závisí na [10]:

- Složitosti výkresu
- Opakované použití prvků
- Míra symetrie
- Rozsahu využití knihovny uživatelsky definovaných tvarů a entit

### 5.2. Kratší dodací lhůty

Interaktivní CAD je ze své podstaty rychlejší než tradiční ruční návrh. Urychluje přípravu výkazů a kusovníku. Hotovou sadu výkresů součástí a dokumentaci lze připravit v relativně krátkém čase. Zkrácení průběžných časů při návrhu vede ke zkrácení doby, která uplyne mezi přijetím objednávky zákazníka a dodáním hotového výrobku. Zvýšení produktivity konstruktérů sníží čas konstrukce v celkové době realizace výroby [10].

### 5.3. Analýza návrhu

Použití softwaru pro analýzu návrhu, například pomocí metody konečných prvků, zkracuje čas a zvyšuje přesnost návrhu. Místo čekání na zpětnou vazbu z analytického oddělení může konstruktér provádět analýzu sám na svém pracovišti [10].

## 5.4. Méně konstrukčních chyb

Interaktivní systémy CAD mají přirozenou schopnost lépe se vyhnout chybám v návrhu, kreslení a dokumentaci. K těmto chybám dochází při ručním zpracování [10].

## 5.5. Flexibilita návrhu

Interaktivní systémy CAD, kromě generování obsahu s vysokou přesností a opakovatelností, nabízí možnost jednoduché úpravy návrhu dle požadavků zákazníka. Původní výkresy a zprávy jsou uloženy v databázi systému a jsou snadno přístupné. Informace o revizích mohou být zachovány a nové výkresy se změnami mohou být vytvořeny bez zničení předchozích verzí [10].

## 5.6. Standardizace

Jednotná databáze a operační systém poskytující společný základ pro návrh, analýzu a výkresovou dokumentaci. Výkresová dokumentace vytvořena CAD systémem je při správném nastavení rovnou standardizována [10].

## 5.7. Srozumitelnější výkresová dokumentace

Použitím 3D zobrazení a modelování těles je snadnější pochopit vlastnosti a funkce součástí. Tvar tělesa není nutno myšlenkově rekonstruovat z 2D výkresů. Mnoho softwarů umožňuje vygenerování 3D modelu z 2D modelu [10].

## 5.8. Výrobní výhody

Další výhodou je možnost využití návrhu jako základ pro řadu navazujících výrobních operací. Jedná se například o [10]:

- Počítačem podporované plánování procesu
- Počítačem podporovaná kontrola
- Příprava NC programů
- Příprava montážní dokumentace a kusovníku
- Kódování a klasifikace součástí
- Plánování a řízení výroby
- Plánování montáže

## 5.9. Tvorba výrobní databáze

Možná nejdůležitějším důvodem k použití CAD systémů je možnost vytvořit databázi potřebnou pro výrobu výrobku. V konvenčním výrobním cyklu bylo prací konstruktéra, aby vypracoval technické výkresy, které byly následně použity výrobními inženýry na vypracování technologické dokumentace. Činnost spojená s návrhem výrobku byla oddělená od plánování procesu. Jednalo se dvoufázový postup. Tento postup byl časově náročný a zahrnoval zdvojené úsilí konstruktérů a výrobních inženýrů. V integrovaném systému CAD/CAM je vytvořeno přímé spojení mezi návrhem výrobku a výrobou. Cílem CAD/CAM je automatizovat nejen určité fáze konstrukce a výroby, ale i přechodu mezi nimi [10].

Výrobní databáze obsahuje všechna data vygenerovaná během návrhu výrobku, geometrická data, kusovník, materiálový list atd., ale i data, která jsou nezbytně nutná pro výrobu, založená na konstrukčním řešení [10].

## 6. Product Data Management

Správa výrobních dat (PDM) jsou softwarové systémy, které podporují správu technických dat i procesních informací ve fázi vývoje výrobku i po ní. Správa výrobních dat zahrnuje organizaci, strukturování, ukládání a sledování informací o výrobku vytvořených konstrukčním týmem při provádění konstrukčních činností a při vývoji výrobku. Cílem PDM je poskytnout týmům zabývajících se návrhem výrobku správná data a informace ve správný čas pro přijímání správných rozhodnutí o návrhu. PDM nabízí významné výhody, jako je mezioborová spolupráce, zkrácení doby vývoje výrobku, snížení složitosti přístupu k informacím a zlepšení řízení projektu [10].

Množství údajů o výrobku vygenerovaných ve fázi návrhu je obecně značné. Tato data mají charakteristiku předběžných a iterativních údajů a většinu času se vyznačují různorodými formáty a složitými vztahy. Data o výrobku se navíc často vyvíjejí v průběhu návrhového cyklu, protože vývoj často trvá dlouhou dobu, zejména u složitého produktu. Logika návrhu se může s rozvojem vědy a techniky měnit, což vede k revizím dat, souborů a parametrů. Tým zabývajících se návrhem výrobku je často geograficky rozptýlen, což zvyšuje složitost správy a přístupu k datům a informacím o výrobku, proto se efektivní organizace a správa masivních dat o výrobku stává zásadní pro podporu vývoje výrobku obecně [10].

Na počátku 80. let si mnoho velkých společností uvědomilo, že jejich efektivita je výrazně snížena papírovou správou dat. Protože v té době nebyly k dispozici žádné komerčně dostupné systémy, nezbývalo jim nic jiného než vyvinout vlastní řešení pro skladování a práci s daty. Koncem 80. let si řada softwarových společností začala uvědomovat potenciální trh efektivních systémů pro správu dat a začala uvádět na trh první generaci komerčních systémů PDM. Většina těchto dodavatelů již v té době působila na trhu softwaru pro CAD/CAM, takže vývoj PDM byl přirozeným rozšířením jejich produktů a služeb pro stávající zákazníky. Od konce devadesátých let se pozornost přesunula na zlepšování životních cyklů výrobků, tj. na PLM (Product Life-cycle Management) s cílem zlepšit produktivitu v celém podniku, a nejen v jednom oddělení nebo konkrétním procesu. Také lokální software z prvních let byl postupně nahrazen novým alternativním, tzv. cloudovým, který obvykle využívá internet a odstraňuje nutnost instalace jakéhokoli softwaru v počítači uživatele. Takový software nabízí

výhody, jako je například vzdálený provoz softwaru, což může vést ke značným úsporám nákladů [10].

Systemy PDM se v průmyslových aplikacích stále častěji používají k dlouhodobé archivaci informací o výrobku a také ke zlepšení spolupráce a komunikace v celém procesu návrhu, k podpoře oddělených konstrukčních týmů prostřednictvím pokročilého sdílení dokumentů, ke sledování změn informací o výrobku a ke kontrole konstrukčních dokumentů. Zavedení systémů PDM způsobilo změnu ve způsobu řízení procesů navrhování a ve způsobu spolupráce jednotlivých konstruktérů. Kromě toho se PDM software stává čím dál dostupnějším, což vede k neustálému vývoji a rozšíření oblastí použití [10].

PLM je určen ke správě informací o výrobku v průběhu celého životního cyklu, mezinárodní studie však odhalila, že zavádění PLM se stále omezuje především na návrh výrobku. V současné době je PLM aktivním tématem výzkumu, a to zejména v oblasti integrace dodavatelského řetězce a integrace podnikových procesů do celkového vývojového životního cyklu výrobku. Nicméně v praxi jsou PDM a PLM často zaměnitelné, a to zejména z hlediska vývoje výrobku [10].

## 6.1. Správa souborů

Ve fázi vývoje produktu vzniká velké množství dat. Jedná se o data o produktu a procesní data ve formě souborů, dokumentů, diagramů atd. Typická data související s produktem zahrnují geometrii CAD, technické výkresy, specifikace, projektové plány, soubory dílů a sestav, kusovníky, data simulací, požadavky na konstrukční změny atd. a jsou sdílena v průběhu celé fáze vývoje, a to i mimo oblast vývojového oddělení. Data a informace související s výrobkem jsou uloženy ve formě papírových dokumentů, digitálních souborů a informací získaných a uložených v databázích [10].

Správa informací v moderních projektech je typicky charakteristická několika vlastnostmi [10]:

- Velké množství digitálních informací o výrobku generovaných různými softwary je často uloženo v různých formátech.

- Dokumenty často procházejí během fáze vývoje výrobku několika revizemi, které mohou být iniciovány a dokončovány různými konstruktéry a inženýry z různých oborů. Přístup k dokumentům musí být řízen napříč vstupními členy.
- Dokumenty jsou vzájemně velmi provázané, takže změny v jednom dokumentu se mohou promítat do ostatních.
- Sdílení dat a spolupráce při návrhu probíhá mezi členy návrhového týmu v různých místech.

Nezákladnější funkcí systému PDM je správa a sdílení digitálních souborů. V jakémkoli týmovém projektu, ať už velkého nebo malého rozsahu, je správa a sdílení souborů mezi členy týmu zásadní. PDM nabízí vynikající možnosti podpory správy souborů [10].

### 6.1.1. AD-HOC metody

Ad-hoc metody správy souborů fungují poměrně dobře pro samostatné soubory, jako jsou dokumenty Word a tabulky Excel. Pro složitější správu souborů CAD však rychle selhávají [10].

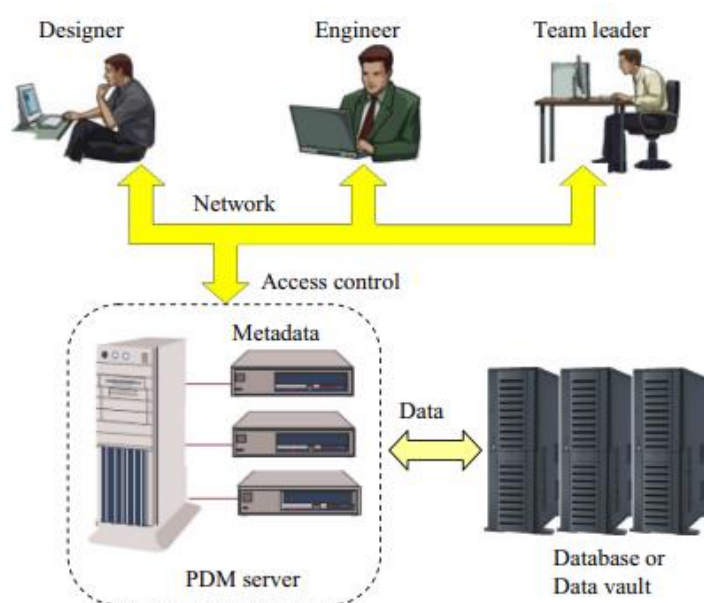
Jednoduché a hojně využívané jsou e-mailové přílohy, sdílení souborů přes síťové složky a přenosná média (USB). Tento typ správy je však náročný na údržbu a plně nepodporuje přístup více uživatelů k datům z různých systémů. Hlavní problém spočívá v tom, že distribucí souboru více příjemcům se okamžitě vytvoří více instancí souboru bez mechanismu pro kontrolu verzí nebo porovnání. V některých případech mohou příjemci narazit na problémy při otevírání souborů. Například pokud je odeslán soubor sestavy CAD, nemusí být otevřen, protože odkazované soubory součástí nemusí být správně umístěny kvůli nesprávnému písmenu na cestě ke složce [10].

Ačkoli Ad-hoc metody fungují při správě souborů a sdílení návrhových dat do jisté míry, v praxi jsou méně žádoucí. Neexistuje standardizovaný systém revizí. Revize provedené v dokumentech nejsou strukturované. Změny mezi dokumenty nejsou explicitně zachyceny, čímž se ztrácí postupný vývoj a zdokonalování mezi verzemi dokumentů. Kromě toho nemusí existovat standardizovaná místa, která jsou přístupná všem návrhářům [10].



## 6.1.2. PDM metody

Systémy PDM se pokoušejí řešit problémy správy souborů strukturováním stávajících metainformací o dokumentech, přidáváním těchto metainformací a zajištěním dodržení pravidel pro přístup, sdílení, úpravy a vytváření dokumentů. Metadata jsou v digitálním kontextu data používaná k popisu souboru nebo obsahu dokumentu. Metadata v systému PDM řídí vztah dokumentu k ostatním dokumentům a určují pravidla, jak systém propojuje informace. Základy fungování systémů PDM při správě souborů jsou znázorněny na obrázku 3 [10].



Obrázek 3: Schéma PDM systému [10]

Systémy PDM nabízejí funkce na straně serveru i na straně uživatele. Typické systémy PDM umožňují řízený přístup do složek dokumentů pomocí zabezpečeného přihlášení. Jednotliví projektanti mají možnost řízeného přístupu k přihlašování/odhlašování do dokumentů, aby se zajistilo, že změny nebudou prováděny současně, což by vedlo ke konfliktům v dokumentech. Podporují také řízení pracovních postupů a automatické sledování dokumentů pro upozornění členů návrhového týmu při provedení změny. Existují funkce pro zvýraznění změn pro následnou kontrolu, schválení a uvolnění dokumentu. Poskytují ukládání dokumentů ve sdíleném umístění s možností vytvářet specializovaná umístění a vyhledávání dokumentů na základě bohatších popisů dokumentů. Standardizují také schémata revizí, což je pro správu dat zásadní. Kromě toho, že umožňují sdílení dokumentů, jsou systémy PDM obvykle úzce integrovány se softwarem CAD jako doplňky [10].

## 6.2. Product Lifecycle Management

Správa životního cyklu výrobku (PLM) označuje správu dat a procesů používaných při návrhu, konstrukci, výrobě, prodeji a servisu výrobku v průběhu celého jeho životního cyklu a v celém dodavatelském řetězci. Správa životního cyklu výrobku má dlouhou historii v oblasti výroby, ale v dnešní podobě tento termín obecně označuje softwarové řešení a širší případ použití, než je pouze výrobní proces [11; 12].

PLM software pomáhá organizacím vyvíjet nové produkty a uvádět je na trh mnohem efektivnějším a udržitelným způsobem. Integruje procesy pro každou fázi životního cyklu výrobku napříč globalizovanými dodavatelskými řetězci a usnadňuje sledování a sdílení dat v celém řetězci – od počátečního návrhu přes výrobu až po řízení dodavatelského řetězce. Řešení PLM mohou pomoci týmům spolupracovat a pracovat společně bez ohledu na to, kde se nacházejí, s využitím společného záznamu podnikových dat o výrobku, jako jsou požadavky na díly a materiál, technické změny, pracovní postupy a předpisy. Obohacení o chytré technologie, jako je umělá inteligence, mohou moderní řešení PLM poskytovat v reálném čase přehled o výkonnosti výrobků, zpětné vazbě od zákazníků a trendech na trhu [11; 12].

## 7. CAD datové formáty

Soubor CAD (Computer-Aided Design) je výstupem softwaru CAD, který obsahuje informace o navrženém objektu. Může se skládat z 2D nebo 3D dat a používají ho návrháři, inženýři, výrobci, vědci a digitální umělci. Určujícím znakem souboru CAD je jeho formát. Existují neutrální, nativní a kernelové formáty souborů CAD [13]

Neutrální formáty souborů, jako jsou *STEP* a *IGES*, byly vypracovány jako průmyslové standardy čitelné většinou modelovacích platform CAD. Specifikace těchto formátů jsou veřejně dostupné a spravují je společnosti nebo konsorcia. Například *IGES* vyvinul Národní úřad pro normy, zatímco *STEP* je produktem CAX IF. Nativní formáty, např. *SOLIDWORKS*, *CATIA* a *DWG*, vytvářejí hlavní dodavatelé CAD. Pro jejich import do nástrojů CAD třetích stran je nutná konverze [13].

Kernelové formáty jsou odvozeny od populárních geometrických modelovacích jader, z nichž nejběžnější jsou *ACIS* a *Parasolid*. Modelovací jádro CAD je součástí modelovacího softwaru, který definuje, jak matematicky popisuje tvar. Kernelové formáty nejlépe spolupracují se softwarem, který je postaven na příslušném modelovacím jádru. Příklady těchto formátů jsou zobrazeny v tabulce 1. V této tabulce jsou uvedeny běžně používané názvy formátů dle jejich datových přípon [13].

Tabulka 1: příklad CAD formátů [13]

Neutrální formáty	Kernelové formáty	Nativní
<i>DXF</i>	<i>ACIS</i>	<i>CATIA</i>
<i>IFC</i>	<i>Open CASCADE</i>	<i>DWG</i>
<i>IGES</i>	<i>Parasolid</i>	<i>PTC Creo</i>
<i>JT</i>	<i>Rhino</i>	<i>Siemens NX</i>
<i>STEP</i>		<i>Solid Edge</i>
<i>3D PDF</i>		<i>Solidworks</i>
<i>3DS</i>		<i>3D XML</i>
<i>3MF</i>		
<i>FBX</i>		
<i>OBJ</i>		
<i>PLY</i>		
<i>PRC</i>		
<i>STL</i>		
<i>U3D</i>		
<i>VRML</i>		
<i>X3D</i>		

## 7.1. Obsah CAD souborů

Soubor CAD může uchovávat různá data týkající se geometrie, topologie, struktury výrobku, metadat a vizuálních atributů [13].

Geometrická reprezentace může být tvořena pomocí sítí (polygonální reprezentace) nebo B-Rep (reprezentace hranic). Tělesa B-Rep jsou definována pomocí přesných geometrických entit, zatímco síťové modely jsou aproximací B-Rep se zjednodušenými hranicemi. Geometrické entity uchovávají informace o rozměrech a geometrických vlastnostech, jako je objem, plocha a střed hmotnosti. Různé formáty souborů CAD mají různou podporu pro reprezentaci geometrie, přičemž *IGES* podporuje B-Rep, *STL* a *VRML* polygony a *JT* podporuje obojí [13].

Topologie je faktorem pouze pro soubory s B-Rep. Topologie definuje ořezání základní geometrie a ukládá informace o konektivitě. Dobrá topologie umožňuje předvídatelnou modifikaci, animaci a efektivní využití paměti. Různé formáty CAD mají různé typy topologických entit a specifické požadavky na jejich reprezentaci [13].

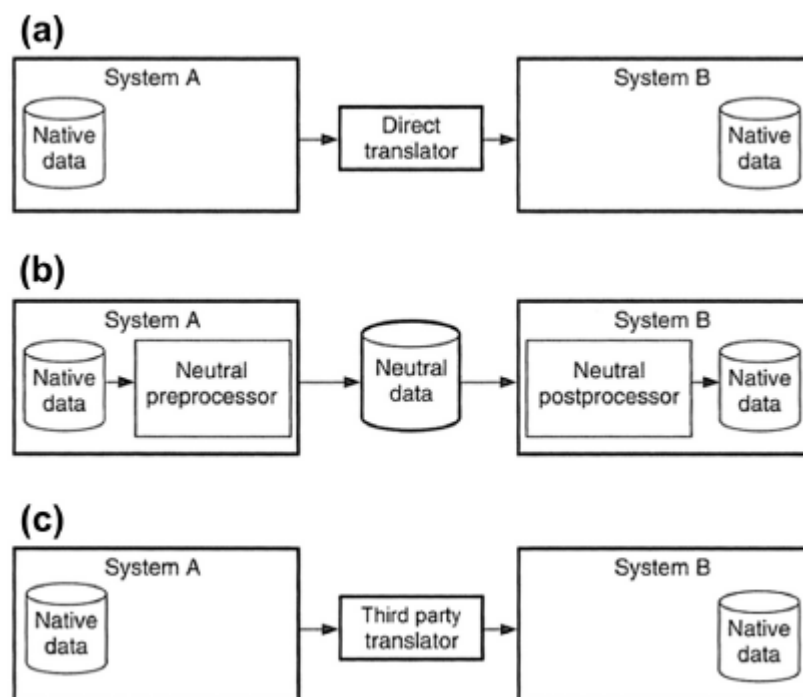
Struktura výrobku v souborech CAD se týká hierarchického uspořádání dílů a sestav. Díly jsou jednotlivé objekty, zatímco sestavy se skládají ze vzájemně propojených objektů. Struktura výrobku umožňuje funkce, jako je strom prvků většinou na levé straně CAD systému, zkoumání vzájemných vztahů a manipulace s prvky modelu [13].

Soubory CAD obsahují také metadata, která zahrnují názvy a ID objektů, uživatelem definované vlastnosti, vrstvy a informace o výrobku a jeho výrobě. Metadata poskytují specifické informace týkající se použití modelu, validace a kroků zpracování. Dostupnost a podpora metadat se u jednotlivých formátů CAD liší. Například formát *STL* tato data naprosto postrádá [13].

Reprezentace vizuálních atributů v souborech CAD zahrnuje vlastnosti, jako jsou barvy, materiály, textury, styly čar a zdroje světla. Tyto atributy zlepšují vzhled a porozumění CAD modelu. Různé formáty CAD mají různou podporu pro vizuální atributy, jako je tomu například u metadat [13].

## 7.2. Product Data Exchange

Obecně existují tři praktické možnosti překladu dat z jednoho systému CAD do druhého: přímý překlad modelu, neutrální výměna souborů a překladače třetích stran, jak je znázorněno na obrázku 4, kde se systém A nazývá zdrojový a systém B cílový systém. Hlavní systémy CAD, jako jsou SolidWorks, Creo, NX a CATIA, přímo čtou a/nebo zapisují jiné formáty CAD, a to jednoduše pomocí možností otevřít soubor a uložit soubor jako (obrázek 4 (a)). Dalším běžným způsobem převodu je převod prostřednictvím zprostředkujícího neutrálního formátu, jak je znázorněno na obrázku 4(b). Zdrojový systém CAD exportuje do neutrálního formátu a cílový systém CAD čte a převádí data do své nativní podoby. Některé formáty jsou nezávislé na dodavatelích CAD a jsou definovány standardizačními organizacemi, například *IGES* a *STEP*. Existuje řada společností, které se specializují na překlady dat a poskytují software, který dokáže přečíst data jednoho systému a zapsat informace ve formátu jiného systému. Tyto systémy mají svůj vlastní proprietární meziformát (obrázek 4 (c)) [10].



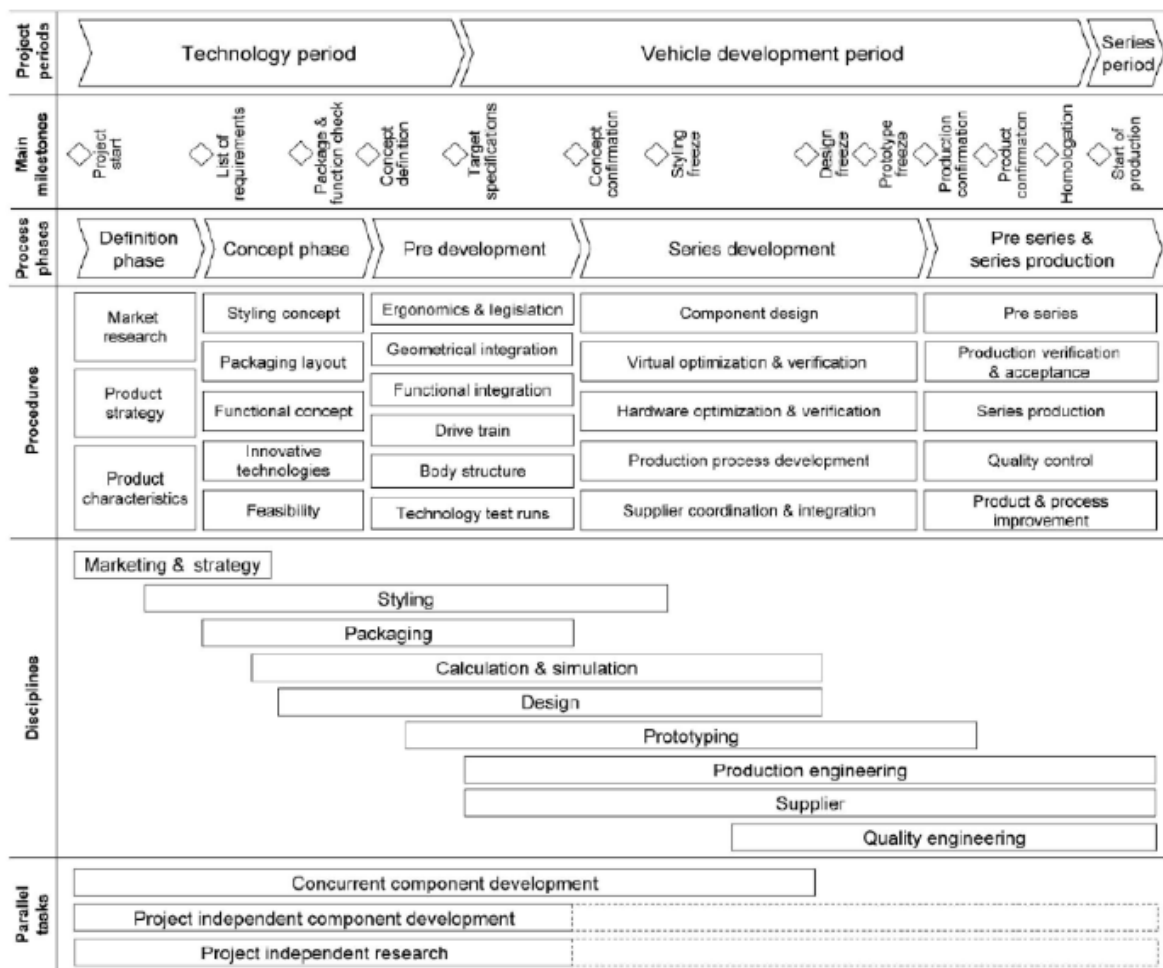
Obrázek 4: Schéma Product Data Exchange [10]

Vzhledem k tomu, že každý systém CAD má vlastní metodu popisu geometrie, a to jak z matematického, tak strukturálního hlediska, dochází při překladu dat z jednoho systému do druhého vždy k určité ztrátě informací.

Formáty mezisouborů jsou také omezené v tom, co mohou popisovat, a mohou být interpretovány odlišně jak zdrojovým, tak cílovým systémem. Při překladu dat mezi systémy je proto důležité určit, co je třeba přeložit. Pokud navazující proces nepředpokládá žádné další úpravy, je potřebný pouze geometrický model. Jestliže se předpokládá změna návrhu, musí být zachovány informace o prvcích a strom modelu. Obecně platí, že pro různé konstrukční činnosti je vyžadován různý převod dat [10].

## 8. Proces vývoje produktu v automotive

Moderní vozidlo se skládá z několika tisíc dílů. Kromě přepravy cestujícího z bodu A do bodu B je do vozu integrována celá řada dalších funkcí, které zajišťují např. bezpečnost, ekologické standardy nebo pohodlí cestujících. Pro vytvoření takto složitého stroje je zapotřebí flexibilní vývojový a výrobní proces, jak je vidět například na obrázku 5 [14].



Obrázek 5: Příklad procesu vývoje automobilu [15]

Proces vývoje automobilu se v zásadě skládá z pěti hlavních procesních fází: fáze definice, fáze koncepce, předvývoj, sériový vývoj a počáteční fáze výroby [14].

### 8.1. Fáze definice

Fáze definice zahrnuje sestavení charakteristik nově vyvíjeného vozu. Obsahuje průzkum trhu, požadavků zákazníků a legislativních mezních podmínek. Kromě toho se zvažují strategické aspekty související s výrobcem, např. integrace plánovaného modelu do stávajících platforem. Na konci definiční fáze je sestaven

seznam specifikací, který poskytuje požadavky pro následně vyvíjené vozidlo. V této počáteční fázi se používají CAD-data stávajících modelů a platform automobilů, aby došlo k technickému a ekonomickému vyhodnocení potenciálu plánovaného automobilu [16].

## 8.2. Fáze konceptu

Samotný proces vývoje začíná fází konceptu, která zahrnuje kompletní uspořádání vozidla včetně designu a ergonomie vozidla, jakož i vývoj karoserie a komponentů. Počínaje stylistickými pracemi se sestavuje architektura vozidla a integrují se všechny komponenty. Moduly hnacího ústrojí se přebírají ze stávajících platform nebo se vyvíjejí nově, včetně nových technologií, např. elektrického nebo hybridního hnacího ústrojí. Celá koncepční fáze je v různých typech výskytu silně spjata s CAD. Pro tvarové práce se aplikuje počítačem podporovaný styling (CAS), počítačem podporovaný design (CAD) a také související počítačem podporované inženýrství (CAE). CAE zahrnuje digitální makety (DMU) a různé typy simulací, např. kinematickou simulaci (MBS), simulaci konečných prvků (FEM) pro simulaci namáhání, odolnosti a nárazů, jakož i simulaci počítačové dynamiky tekutin (CFD) pro zkoumání aerodynamiky a tepelného hospodářství. Všechny tyto úlohy CAE jsou zásobovány geometrickými a funkčními daty z centrálního modelu CAD. Výsledky simulace se přenášejí zpět do modelu CAD a používají se pro potvrzení konstrukce nebo pro úpravy určitých součástí a modulů. Model CAD tak hraje hlavní roli ve fázi koncepce nového vozu [16].

## 8.3. Předvývojová fáze

Předvývojová fáze je pokračování fáze vývoje konceptu s ohledem na podrobné technologické a ekonomické aspekty. Zahrnuje dokončení stylistických prací a 3D návrhu všech komponent, modulů a i dalekosáhlou validaci. Kromě virtuálního vývoje se prototypy modulů a dokonce i vozidel testují a zkoumají na zkušebních stanovištích a na silnici. V této fázi je nový model vozu kompletně vyvinut v CAD a slouží jako podklad pro výrobní inženýrské úlohy. Tímto způsobem jsou do vývoje stále více zapojováni dodavatelé. Z hlediska CAD je v této fázi náročný přenos dat z centrálního modelu CAD do simulačních postupů a naopak, stejně jako mezi výrobcem vozu a externími partnery. Na konci této fáze je vyvinut nový model vozu včetně všech modulů a technologií [16].



## 8.4. Fáze sériového vývoje

Fáze sériového vývoje má silný vztah k vývoji výroby a integraci dodavatelů včetně logistiky, montážních procesů a inženýrství kvality. V této fázi slouží virtuální model vozidla, reprezentovaný v komplexní struktuře CAD, jako základ pro dalekosáhlé zkoumání postupů souvisejících s výrobou. To vyžaduje rozsáhlou výměnu dat mezi konstrukcí vozidla a výrobním oddělením, přičemž konečný návrh je ovlivněn požadavky z výroby. Na konci této fáze je kompletně vyvinut jak model nového vozu, tak jeho postup výroby a jsou definovány všechny interakce s výrobními zařízeními a dodavatelem [16].

## 8.5. Počáteční fáze výroby

Závěrečná fáze vývoje vozu zahrnuje předsériovou a sériovou produkci. Finální nastavení montážní linky a optimalizace logistiky se provádí během výroby prvních předsériových modelů. Patří sem finální nastavení strojů a robotů a také šetření týkající se kvality, např. v lakovně nebo z hlediska tolerancí. Stejně jako v průběhu celého vývoje poskytuje centrální CAD model vozidla data pro doladění výroby a montáže. Po homologaci nového vozu na cílových trzích začíná fáze sériové výroby. Během sériové výroby se centrální model CAD reviduje v případě vylepšení souvisejících s modelem nebo výrobou [16].

## 9. Společnost Škoda Auto

Po počáteční výrobě jízdních kol a motocyklů byly v Mladé Boleslavi v roce 1905 vyrobeny první osobní automobily značky Škoda. Po celou dobu své existence zaujímá společnost v automobilovém průmyslu nezaměnitelné postavení. Stala se silnou, mezinárodně úspěšnou společností, která působí po celém světě a svým zákazníkům nabízí celkem jedenáct modelových řad [16].

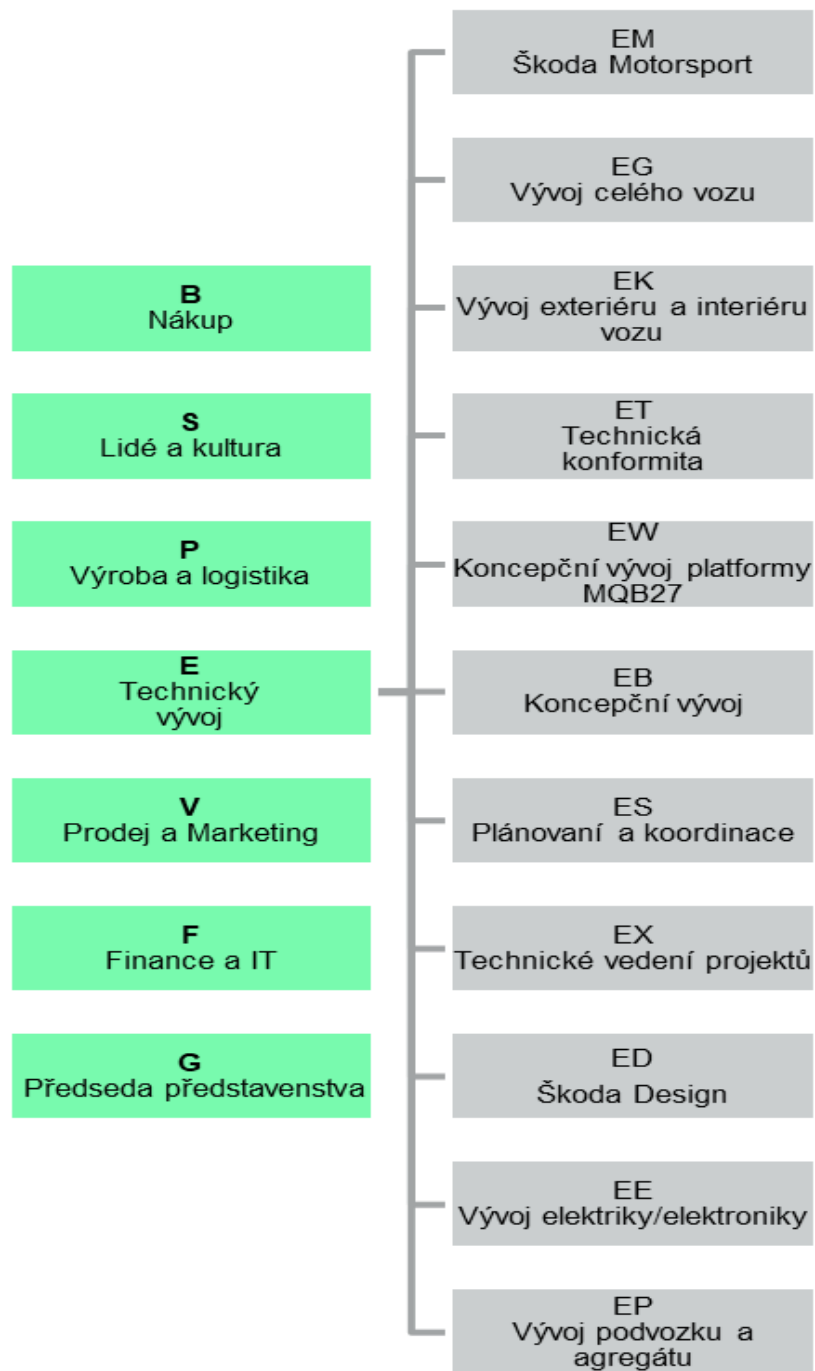
Škoda Auto je dlouhodobě pilířem české ekonomiky a v současné době zaměstnává v České republice více než 35 000 lidí. Dbá také na to, aby byla dobrým sousedem ve všech regionech, kde působí, z hlediska společenské odpovědnosti [16].

Společnost sídlí v Mladé Boleslavi, kde se nachází i jeden z jejich výrobních závodů, další dva se nachází v Kvasinách a ve Vrchlabí. Vozidla s okřídleným šípem se však vyrábějí také v Číně, na Slovensku, v Indii, většinou prostřednictvím koncernových partnerství, a na Ukrajině ve spolupráci s místním partnerem. Výroba vozů Škoda v Rusku byla v souvislosti s ruskou invazí na Ukrajinu pozastavena, pozastaven byl i vývoz na ruský trh [16].

### 9.1. Organizace Škoda Auto

Organizační struktura Škoda Auto je v první řadě tvořena ze sedmi oddělení, které jsou pojmenovány písmeny G (předseda představenstva), F (Finance a IT), V (Prodej a marketing), P (Výroba a logistika), E (Technický vývoj), S (Řízení lidských zdrojů) a písmenem B (Nákup). Obecné rozdělení společnosti je zobrazeno na obrázku 6. Každé oddělení se dále rozvětňuje a jejich název je doplněn odpovídajícím písmenem nebo číslicí. Například oddělení konstrukčních metod a systémů vozu je označeno ES/4 [17].

Tato diplomová práce se zabývá změnou nosného CAD systému v oblasti vývoje produktu. Tudíž se soustředí na oblast E (Technický vývoj), která zaměstnává téměř 2500 lidí. Oblast technického vývoje se zabývá vývojem designu, celého vozu, karoserie, podvozku, agregátu, elektřiny a elektroniky. Zároveň má na starost řízení vývojových procesů a stanovení termínové a finanční realizace vývojových projektů [17].



Obrázek 6: Organizace Škoda Auto

## 10. Analýza aktuálního stavu

Pro analýzu dopadů a rizik změny nosného CAD systému v oblasti vývoje produktu je nejdříve nutné analyzovat aktuální stav CAD systému, který je právě teď implementován ve Škoda Auto. Pro finální shrnutí analýzy bude použita metoda SWOT.

Analýza aktuálního systému stanoví požadavky na možné následníky. Následně budou navrženy možné způsoby řešení problému a ty se podrobí důkladné analýze. Výsledky analýzy budou zobrazeny pomocí metody SWOT a budou zhodnoceny pomocí definovaných kritérií v kapitole 11.

Podobný postup vývoje automobilu, jako je popsán v kapitole 8, je aplikován i ve společnosti Škoda Auto. Společnost rozlišuje 6 částí vývoje automobilu, a to předvývoj, definici konceptu/ produktu, zajištění konceptu, sériový vývoj, přípravu sériové výroby a náběh. Během těchto milníků vzniká velké množství CAD dat a je s nimi zacházeno různě.

Analýza CAD systému využívaného ve společnosti o velikosti Škoda Auto by byla bez dostatečné strukturalizace náročná a velice chaotická. Bylo tedy nutné oblast vývoje rozčlenit na menší celky. Po konzultaci s oddělením konstrukčních metod a systémů vozu došlo k rozdělení na několik oblastí, a to na vývoj karoserie, interiéru a exteriéru, výfukové soustavy, agregátu, palivové soustavy, elektrických svazků a podvozku. Každá z těchto oblastí má společné rysy a také svoje specifika, které je nutné brát v potaz při návrhu a hodnocení řešení. Ke každé oblasti byl přiřazen použitý CAD systém, nástroje rozšiřující jeho funkce a použité metody správy dat.

Podle výše uvedeného rozdělení byla vyplněna tabulka 2.

Tabulka 2: Tabulka se systémy a nástroji

Oblast vývoje	Využitý CAD	Nástroje	Správa dat
Karoserie	CATIA	DoLittle, CAVA, Validat, VT Part Creator (svařování), RPS/LTA, WebNTA, OUTGEN, Syncrofit, VW Netline, VW Pebble	Hyper KVS, CONNECT
Interiér a exteriér	CATIA	DoLittle, CAVA, Validat, RPS/LTA, WebNTA, OUTGEN, CADGlyph, VW Netline	Hyper KVS, CONNECT
Výfuková soustava	CATIA	DoLittle, Validat, RPS/LTA, WebNTA, OUTGEN, VW Netline	Hyper KVS, CONNECT
Agregát	CREO, CATIA	DoLittle, VW MODELCHECK, 3DCaliper, VW Modpar	Hyper KVS, ECA, CONNECT
Palivová soustava	CATIA	DoLittle, Validat, RPS/LTA, WebNTA, OUTGEN, VW Netline, VWG Tankvol	Hyper KVS, CONNECT
Konstrukce elektrických svazků (Elektrika/ Elektronika)	CATIA	Validat, ELENA, EETools	Hyper KVS, CONNECT
Podvozek	CATIA	DoLittle, Validat, RPS/LTA, WebNTA, OUTGEN, VW Netline	Hyper KVS, CONNECT

Další kapitoly se zabývají popisem používaných CAD systémů, nástrojů a PDM systému, které byly zaneseny do tabulky 2.

## 10.1. CATIA

V současné době existuje mnoho různých typů 3D modelovacího softwaru pro různé typy uživatelů v závislosti na jejich potřebách, od začátečníků až po profesionály. Software CATIA (Computer-Aided Three dimensional Interactive Application) je kompletní multiplatformní řešení pro počítačem podporované navrhování, výrobu, strojírenství, 3D a PLM. Tento software, který uvádí na trh výrobce Dassault Systèmes, je ideální pro vytváření těles, povrchů, sestav, výkresů, výrobu a analýzu. Stejně jako Solidworks je program vybaven výkonnými nástroji pro parametrické modelování a fotorealistické vykreslování. CATIA však nabízí pokročilejší funkce pro povrchy a moduly pro různá průmyslová odvětví [18].

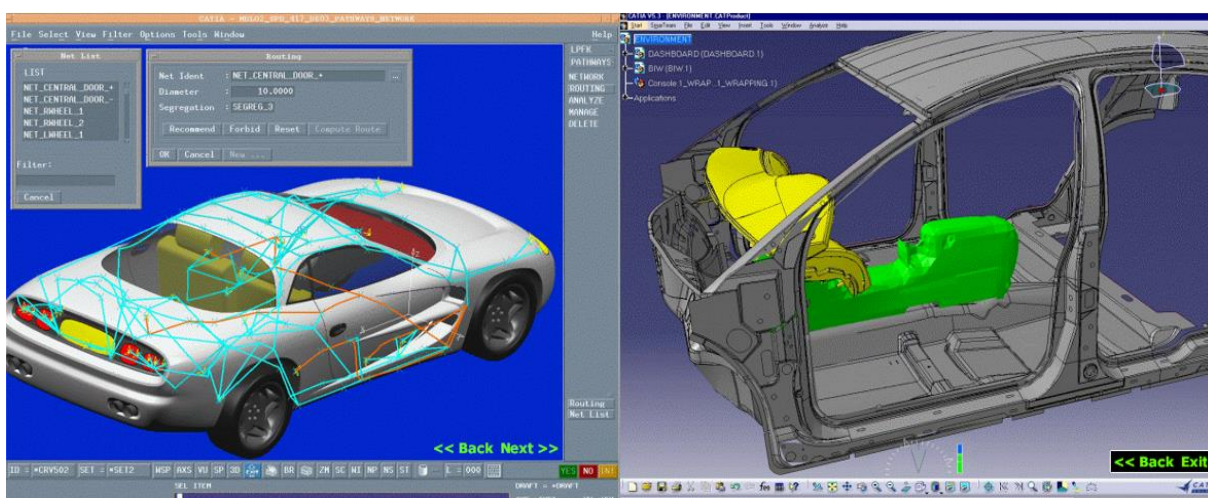
CATIA byla vyvinuta v 70. letech 20. století, původně pro interní potřeby týmů Dassault Systèmes, zejména pro vývoj stíhacích letounů Mirage. Později byl program využíván i pro další dopravní prostředky v různých odvětvích, například v leteckém, automobilovém nebo námořním průmyslu. Od svého vzniku až do současnosti týmy Dassault Systèmes pokračovaly v inovacích a vylepšování funkcí softwaru, až dospěly k nejnovější verzi CATIA (Catia V5-3DX (3DExperience)). Jedná se bezpochyby o jeden z nejpoužívanějších CAD programů v mnoha průmyslových odvětvích [19; 20].

Jak již bylo zmíněno, software byl původně vyvinut pro použití v leteckém průmyslu, a proto je považován za komplexní nástroj, který používají především inženýři a konstruktéři v automobilovém a leteckém průmyslu. Stavebnictví může tuto technologii využít také při vývoji architektonických modelů, jako tomu bylo například v případě Guggenheimova muzea v Bilbao [18].

CATIA dokáže vytvářet parametrické i neparametrické 3D modely. Program je kompatibilní se systémy Windows, Solaris, IRIX a HP-UX. CATIA je k dispozici v angličtině, francouzštině, němčině, italštině, japonštině, čínštině, korejštině a ruštině. Kromě toho je software k dispozici ve dvou typech v závislosti na požadované funkčnosti: CATIA V5-6 a CATIA 3DExperience [21].

### 10.1.1. CATIA V5

Verze CATIA V5 je především CAD software používaný pro parametrické i neparametrické modelování. Je schopen pracovat společně s výrobky různých značek. CATIA V5 v podstatě nahradila starší verzi CATIA V4 přidáním dalších funkcí, snadnějším použitím, podporou dalších platforem atd. Porovnání uživatelského rozhraní je vidět na obrázku 7. CATIA V5 je v současnosti nejpoužívanější verzí v průmyslu. CATIA V5 poskytuje uživatelům CAD nejen možnosti navrhovat, ale také provádět základní analýzu metodou konečných prvků a základní obrábění bez nutnosti doplnění o produkty SIMULIA a DELMIA [18; 22; 23].



Obrázek 7: Porovnání uživatelského rozhraní [24]

### 10.1.2. CATIA V6

Způsob modelování se v CATIA V6, nové generaci systému, ve srovnání s CATIA V5 výrazně nezměnil. Změny se totiž uskutečnily jinde. Kromě toho, že grafické uživatelské rozhraní (GUI) vypadá úplně jinak, je nyní doplněno o systém pro správu dat o výrobku (PDM) a správu životního cyklu výrobku (PLM), ENOVIA. Výhody systému ENOVIA, který je připojen k samotné CATIA V6, spočívají v tom, že klade důraz na vlastnictví modelů, odstraňuje problémy s modelováním související se správou odkazů a také umožňuje ukládat data na jednom centrálním místě, čímž umožňuje přístup odkudkoli [18; 22; 23].

### 10.1.3. CATIA 3DEXPERIENCE

CATIA 3DEXPERIENCE je v podstatě další iterací CATIA V6, ale je součástí platformy 3DExperience. Zahrnuje správu produktových dat (PDM) a řízení životního cyklu výrobku (PLM) prostřednictvím softwaru ENOVIA s dodatečnou integrací dalších produktů společnosti Dassault Systèmes, jako jsou SIMULIA, DELMIA a další. Cílem platformy 3DEXPERIENCE je začlenit se i do jiných oblastí podniku, než je konstrukce. Poskytuje efektní webový PLM i možnost prohlížení modelů bez nutnosti instalace dalších aplikací [18; 22; 23].

### 10.2. PTC CREO

PTC CREO, dříve známý jako Pro/ENGINEER, je systém vyvinutý společností PTC (Parametric Technology Corporation), který poskytuje robustní sadu nástrojů pro tvorbu, analýzu a optimalizaci 3D návrhů výrobků. Je široce používán v různých průmyslových odvětvích včetně automobilového a leteckého průmyslu [25; 26].

Jednou z klíčových předností softwaru PTC CREO je jeho parametrický, na prvcích založený způsob modelování. To znamená, že konstruktéři mohou vytvářet modely definováním a manipulací s parametry a funkcemi, což umožňuje snadné úpravy a přizpůsobení návrhů v průběhu celého procesu vývoje výrobku. Díky parametrickému modelování dochází při změně návrhu k automatické aktualizaci všech souvisejících součástí, což snižuje počet chyb. Podporuje 2D i 3D modelování a poskytuje širokou škálu nástrojů pro skicování, práci se sestavami a tvorbu výkresů. Kromě možností modelování nabízí systém i analytické a simulační funkce pro simulaci zatížení, mechanismů, kinematiky a sekvence pohybů [26].

PTC CREO je součástí balíčku pro správu životního cyklu (PLM) Windchill společnosti PTC, jehož součástí je systém pro správu výrobních dat (PDM) s názvem ECA. Další jeho výhodou je rozsáhlá knihovna rozšíření a modulů, které rozšiřují jeho funkce. Patří mezi ně nástroje pro animace, počítačem podporovanou výrobu (CAM), návrh forem a další. Je kompatibilní s různými formáty souborů, což umožňuje bezproblémovou integraci s jinými systémy CAD. Zároveň je velice uživatelsky přívětivý kvůli svému intuitivnímu rozhraní [26; 27].



### 10.3. Nástroje

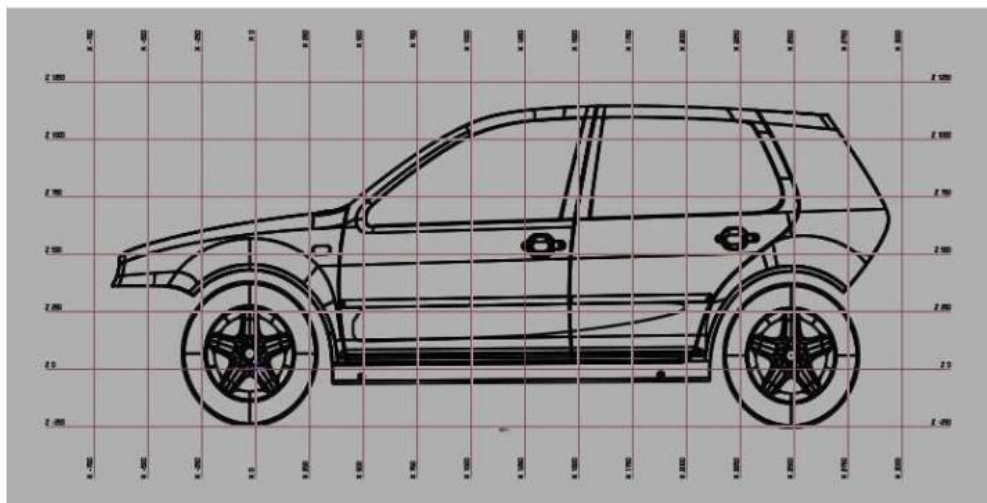
Nástroje pro CAD systémy jsou softwarové aplikace, které rozšiřují možnosti základního softwaru o další vlastnosti a funkce. Mohou být vyvinuty dodavatelem softwaru CAD nebo vývojáři třetích stran a lze je integrovat pomocí rozhraní API (Application Programming Interface) [28].

#### 10.3.1. DoLittle

Jedná se o doplněk, který je integrován do programu CATIA i do programu CREO a využívá se během celého procesu vývoje ve všech oblastech. DoLittle usnadňuje konstruktérovi práci při tvorbě vícejazyčného výkresu. Z DoLittle databáze se vybere předem připravený text, který bude vkládán do výkresů [29].

#### 10.3.2. VW Netline

VW Netline poskytuje uživatelům CATIA funkci, pomocí které lze v CATIA CATDrawings i v půdorysu a v libovolném řezu vytvořit síťové čáry s odpovídajícím popiskem a s nastavitelnou vzdáleností síťových čar. Aplikace Netline poskytuje funkce pro vytváření, úpravu a mazání síťových linií. Síť se vytváří pomocí typu a šířky čáry, vzdálenosti čar, velikosti a polohy textu. Hlavní funkcí používanou v koncernu je promítnutí tzv. globálního souřadného systému automobilu dle interní normy s označením VW 02001 do pohledu na výkrese, což usnadňuje orientaci. Na obrázku 8 je taková síť vidět [30].



Obrázek 8: Síť vytvořena pomocí VW Netline [30]

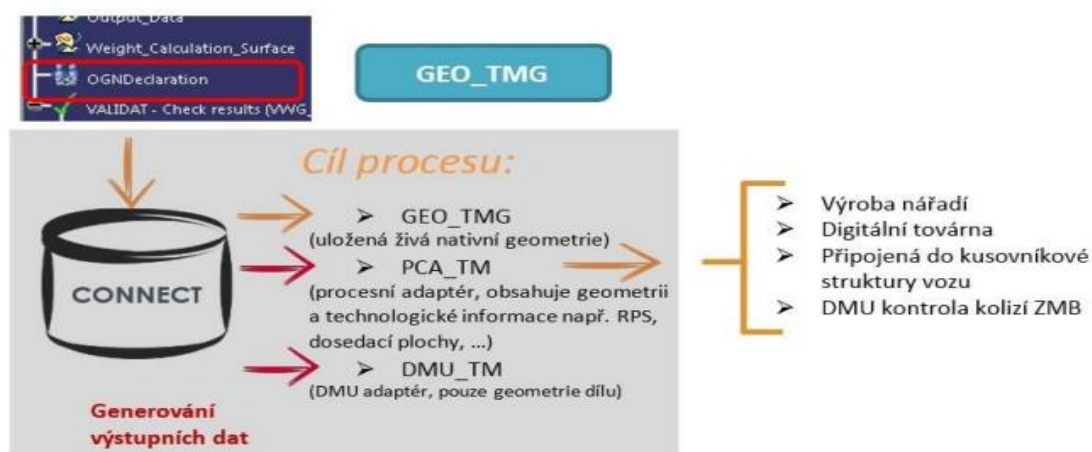
### 10.3.3. Validat

Validat je program, který provádí kontrolu kvality CAD dat vytvořených v systému CATIA. Provádí se jednak formální kontrola struktury souborů a dále geometricko-matematická analýza dat. Kvalitu dat kontroluje podle standardů mezinárodní organizace SASIG PDQ a interních norem VW 01059-6. Validat je plně integrován v systému CATIA jako CAA (Component Application Architecture) aplikace, což je název API napsaného v programovacím jazyce C++ pro CATIA. Největší výhodou softwaru je grafické znázornění výsledků kontroly a tvorba výstupního protokolu umožňující rychlou a přesnou lokalizaci nevyhovujících elementů a provedení následné opravy [31].

### 10.3.4. OUTGEN

Pro zachování ochrany duševního vlastnictví a snížení velikosti předávaných CAD dat do procesu uvolnění konstrukčního stavu vozu je dle normy VW 01059-6 nutné vytvářet tzv. adaptéry. Adaptéry jsou CATParty se zjednodušeným obsahem. To znamená, že se jedná o datový formát přizpůsobený výměně dat [32].

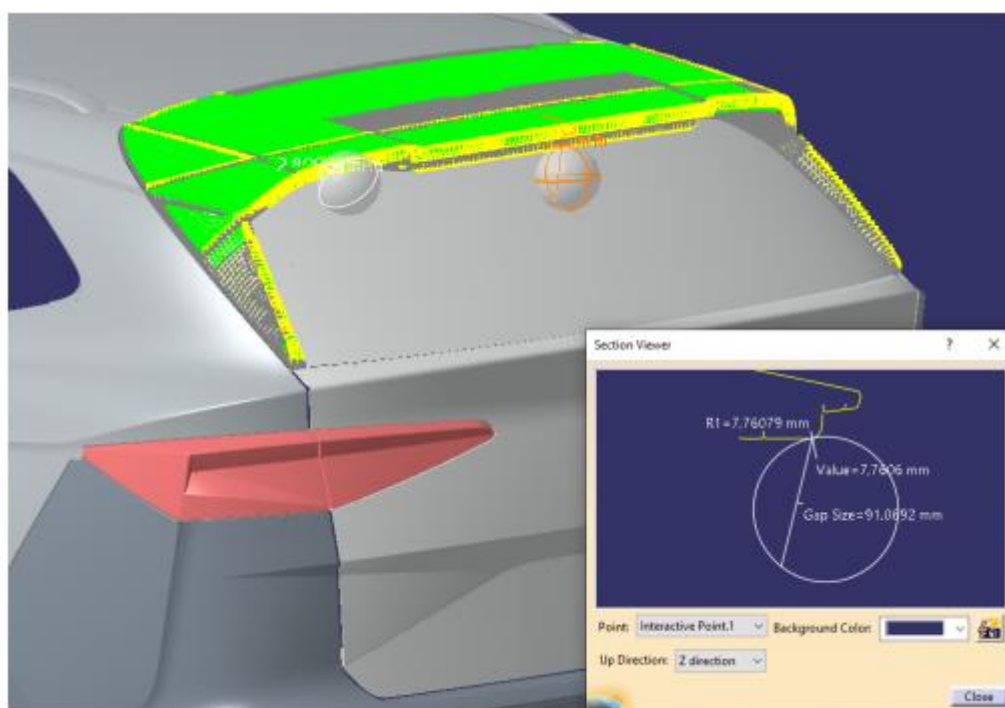
K vytváření těchto adaptérů slouží CAA aplikace OUTGEN, kde je dle interní normy VW 01059-6-3 určen obsah vstupních dat a pomocí které se v parametrických CATIA souborech definují deklarace výstupních adaptérů. Do PDM Systému CONNECT se ukládají data, která obsahují deklarace přiřazené aplikací OUTGEN. Deklarace z aplikace OUTGEN určují typ adaptéru, který se vygeneruje v systému CONNECT. Postup tvorby adaptérů je vidět na obrázku 9 [32].



Obrázek 9: Postup tvorby adaptérů [32]

### 10.3.5. CAVA

Nástroj CAVA (Catia Automotive Extensions Vehicle Architecture) funguje jako CAA aplikace od firmy Technia v systému CATIA. Aby byla zaručena bezpečnost vozidla pro řidiče, posádku i ostatní, podléhá homologačním předpisům (ECE, EWG, FMVSS, SAE, atd.). Tento nástroj umožňuje v průběhu vývoje automobilu průběžnou kontrolu geometrií povrchů dílů a sestav. Po zadání vstupních dat je možné hodnotit vnitřní a vnější minimální zaoblení a vyhovění požadavku opravitelnosti čelního a zadního nárazníku. Na obrázku 10 je vidět hodnocení vnějších poloměrů na části vozu ENYAQ. CAVA je nepostradatelnou součástí vývoje karoserie, interiéru a exteriéru [33; 34; 35].

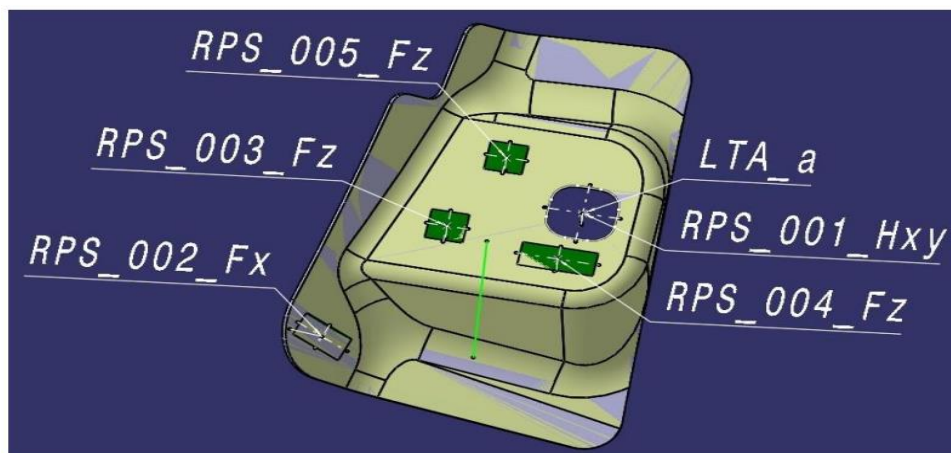


Obrázek 10: Hodnocení vnějšího průměru pomocí CAA CAVA [35]

### 10.3.6. RPS/LTA

RPS/LTA je spojení dvou nástrojů, a to RPS Tool a LTA. RPS (Reference Point System) je systém referenčních bodů a ploch, který má zajistit jednoznačné ustavení dílů a zaměření. Slouží také k zajištění správných rozměrů sestav (jednoznačné vzájemné poloze dílů). Po definování RPS systému je následně zpracován do CAD dat pomocí CAA aplikace RPS Tool. RPS prvky mohou být zobrazeny v modulární tabulce. Další výhodou je, že RPS prvky jsou automaticky aktualizovány, pokud dojde ke změně geometrie nebo polohy. Příklad použití je vidět na obrázku 11 [36].

LTA (Loch Tool Applikation) je CATIA aplikace pro tvorbu otvorů na plošných modelech. Na obrázku 11 je vidět díl s definovaným RPS systémem a vytvořeným otvorem pomocí LTA. Funkce RPS/LTA jsou využívány hlavně při práci s plechovými díly [36].



Obrázek 11: Díl s definovaným RPS a otvorem [36]

### 10.3.7. VTPart Creator

Dalším důležitým krokem při vývoji vozidla je definování spojovacích elementů v CAD datech. Funkce VTPart Creator jsou výpočet tloušťky kombinace materiálů, umístění spojovacích prvků a definice jejich spojovací sekvence. Spojovací prvky, které je schopen VTPart Creator specifikovat, jsou například svary pomocí různých technologií, lepené spoje a spoje pomocí normalizovaných materiálů. Aplikace této funkce je vidět na obrázku 12 [37].

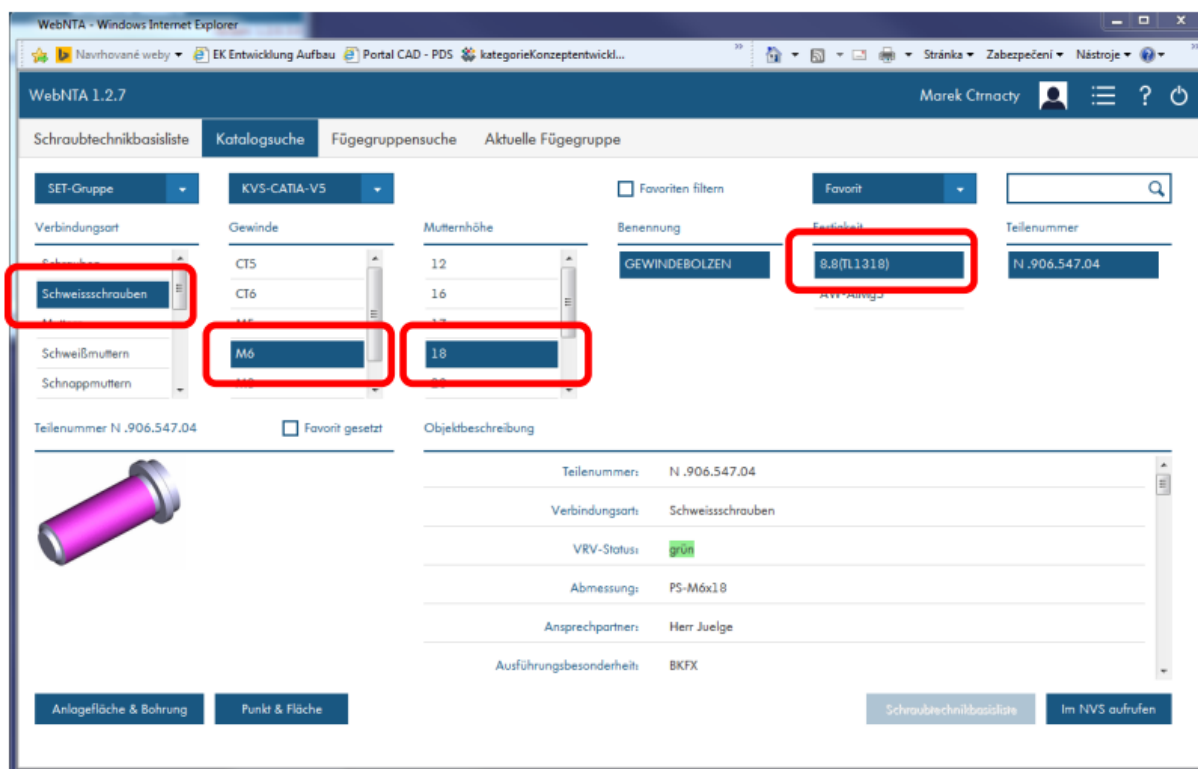
Jedná se však o přechodné řešení do doby, než bude nasazeno koncernové řešení Syncrofit od firmy Siemens, které se v současné době upravuje dle potřeb VW koncernu a jeho značek [38].



Obrázek 12: Díl s definovanými body svaření [37]

### 10.3.8. WebNTA

WebNTA je makro, které se využívá ve všech oblastech vývoje používajících systém CATIA. Jeho funkcí je náhled do databáze normalizovaných VW dílů a po zadání jejich pozice, směru osy a rotace kolem této osy jejich vložení do současně otevřené sestavy. Na obrázku 13 je vidět rozhraní WebNTA. Díly je možné procházet jednotlivě nebo je vyhledávat podle jejich čísla normalizovaného dílu [39].



Obrázek 13: Rozhraní WebNTA [39]

### 10.3.9. ELENA

Aplikace ELENA pro konstrukci elektriky je vlastním vývojem společnosti Volkswagen AG. Tento softwarový nástroj slouží ke sloučení a dalšímu zpracování informací z elektrické a mechanické oblasti v rámci vývoje palubní sítě [40].

Tento nástroj se skládá z ELENA, samostatné aplikace, a VWGElena, aplikace CAA pro standardní software CATIA V5-6. Tyto dvě komponenty implementují požadavky společnosti Volkswagen AG v této oblasti vývoje palubní sítě [40].

ELENA slouží ke sloučení schématu zapojení a geometrických dat kabelových svazků. Data nesoucí informace o schématu zapojení se přebírají z plánu kabelových rozvodů. Geometrická data se přebírají z instalace kabelových

svazků v rámci programu CATIA V5. Přenos dat instalace svazku se všemi odpovídajícími přípojnými díly i synchronizace s daty elektrického zapojení se provádí pomocí aplikace VWGElena [40; 41].

### 10.3.10. EETools

Nástroj EETools je založen na standardním softwaru CATIA V5 společnosti Dassault Systemes a představuje soubor aplikací CAA pro pokládání kabelových svazků v mechanické oblasti konstrukce vozidel. Tato kolekce implementuje požadavky společnosti Volkswagen AG z hlediska vývoje palubní sítě [42].

Nástroj EE Toolbar podporuje instalaci elektrických kabelových svazků ve virtuálním vozidle. Zahrnuje funkce pro vytváření struktury výrobku, kontrolu konvencí, vytváření spojů a také kontrolu vazeb elektrického zapojení a geometrických vazeb [42].

### 10.3.11. CADGlyph

CADGlyph je nástroj pro generování trojrozměrného textu v CATIA. Bez něj je nutné texty nejdříve vytvořit ve formátu *DXF* a poté vložit k modelu. Text lze generovat na plochách s libovolným zakřivením. Text je asociativní a vždy se přizpůsobí vybrané křivce, i když text obsahuje více řádků [43].

### 10.3.12. 3DCaliper

3DCaliper je softwarový nástroj, který se používá ve spolupráci se systémem CREO při vývoji agregátu. Účinně napomáhá při návrhu nového výrobku pomocí automatických analýz 3D CAD geometrie. Kontroluje tloušťku slabých stěn, tloušťku tlustých stěn, minimální vůli a porovnává podobné modely [44; 45].

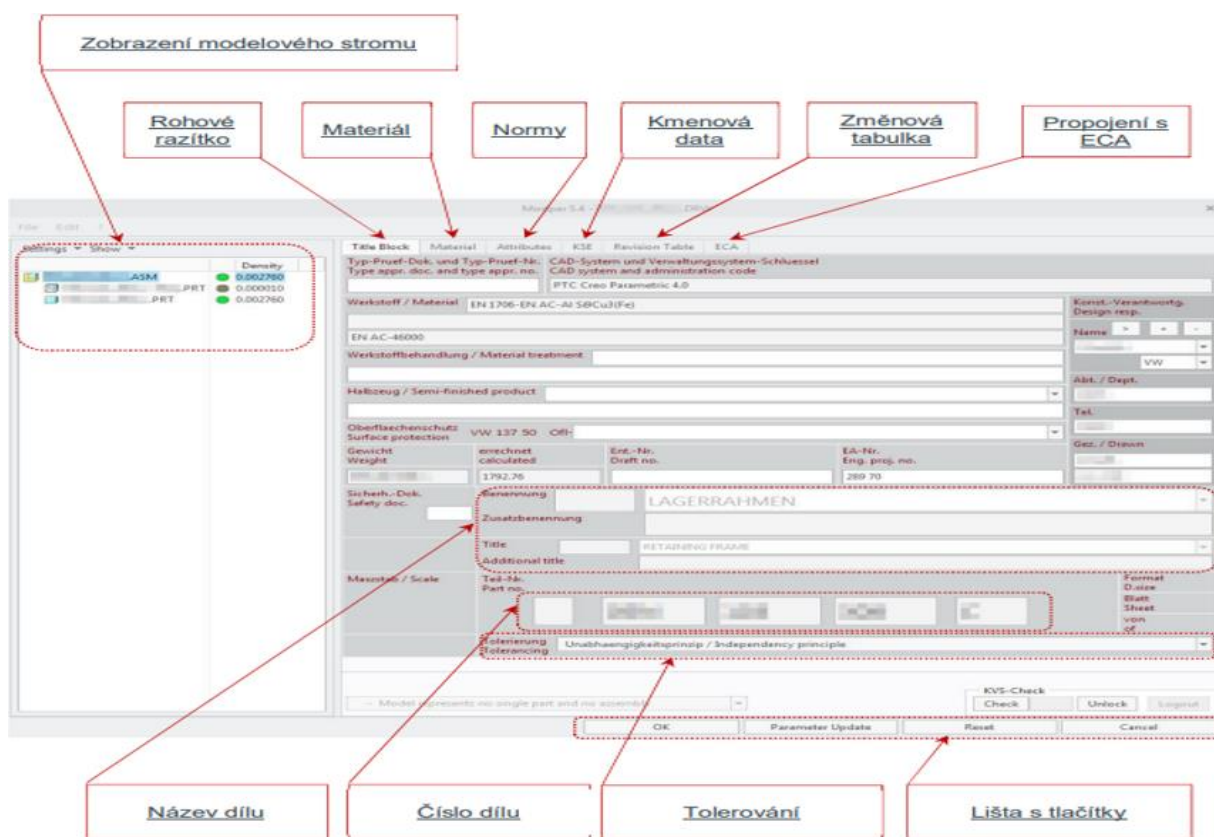
### 10.3.13. VW ModelCheck

VW ModelCheck je další nástroj pro systém CREO, a tedy pro vývoj agregátu, který poskytuje řadu výkonných funkcí. Napomáhá řízení standardizace a kvality dat z hlediska platných firemních standardů pro 3D modely a 2D dokumentaci (kontrola parametrů a jejich hodnot, hladin, poznámek, modelových a výkresových jednotek a použitého materiálu). Kontroluje správnost tvorby referencí a existenci potlačených nebo neúplných konstrukčních prvků. Zároveň

umožňuje kontrolu geometrie modelu z hlediska následné výroby (příliš ostré hrany, použití standardních ohybových tabulek, kontrola kolizí) [46].

### 10.3.14. VW Modpar

Modpar slouží k zadávání a údržbě všech relevantních informací a parametrů, které jsou potřebné pro vyplnění rohového razítka a historie změn modelů. Po zadání těchto údajů dochází k automatickému naplnění příslušných polí rohového razítka a změnové tabulky výkresu. Tyto údaje zde zůstanou zachovány i v případě výměny rámečku výkresu. Na obrázku 14 je vidět rozhraní VW Modpar [46].



Obrázek 14: Rozhraní Modpar [46]

## 10.4. PDM systémy

Důležitost správné správy souboru byla popsána v kapitole 6. Společnost Škoda Auto využívá v tuto chvíli několik různých PDM systémů z různých důvodů, které byly popsány níže.

### 10.4.1. HyperKVS

Jedním z cílů Škoda Auto je vyvíjet, vyrábět a prodávat vozidla pro světové trhy. Na dosažení tohoto cíle úzce spolupracují mimo jiné i oddělení vývoje, výroby a zásobování v různých pobočkách společnosti. Komunikace mezi všemi zúčastněnými vyžaduje společný jazyk. V prostředí konstrukce a výroby je tímto jazykem geometrický popis dílů pomocí technických výkresů a trojrozměrných modelů CAD v různých zobrazeních [47].

K přenosu a ukládání těchto dat slouží HyperKVS, což je systém pro správu konstrukčních dat. Systém slouží k výměně dat, archivaci dat s historií revizí a k převodu CAD dat do jakéhokoli potřebného formátu souboru a používají jej všichni, kdo se podílejí na výrobě a vývoji produktů [47].

HyperKVS používá datový typ produktu (PDA) jako klíčový prvek pro rozlišení zásadních dokumentů, které vznikají během procesu vývoje. Přenos souboru lze provést prostřednictvím nahrávání v prohlížeči nebo pomocí externích programů. Po uložení souboru se provede kontrola kvality datových formátů pomocí například pomocí Validat. Dokud není kontrola dokončena, nejsou data přístupná dalším osobám. Pokud je kontrola úspěšná, jsou data uvolněna pro uživatele s povoleným přístupem [47].

HyperKVS podporuje integraci externích partnerů do procesu vývoje produktu. Konstrukční týmy a dodavatelé se mohou připojit k extranetu pomocí ENX. Speciální webové servery ve spojení s třívrstvou architekturou systému Hyper KVS jim umožňují využívat formu práce totožnou s tou, kterou používají konstruktéři Škoda Auto. Zaměstnanci externích partnerů jsou jednoznačně identifikováni svým uživatelským profilem. Při přístupu k datům jsou považováni za zaměstnance externích společností a získávají přístup pouze k datům, ke kterým mají povolený přístup [47].

HyperKVS je původní systém správy dat, který by měl být nahrazen systémem CONNECT. V současnosti fungují oba systémy a HyperKVS se používá z větší části pro uvolňování dat. Program je využíván během celého procesu vývoje napříč všemi oblastmi a je využíván s CATIA i CREO [48].



## 10.4.2. ECA

ECA neboli Engineering Center Aggregate je dalším, ze systémů pro správu dat. Jedná se o PDM program, který je přizpůsoben pro správu dat a činností dle potřeb vývoje agregátů. Tento PDM/PLM systém je určen pro oblasti vývoje motoru a převodovky a je úzce spojen se systémem KVS a CONNECT. Jeho funkce jsou [49]:

- Správa dat v elektrické podobě
- Správa procesu vývoje agregátu
- Vytváření, uvolňování a zpracování objednávek
- Správa kusovníku
- Zpracování prototypových a sériových agregátů do systému CONNECT
- On-line spolupráce více týmů

## 10.4.3. CONNECT

Správa dat prostřednictvím systému CONNECT je implementována v rámci celého koncernu pod projektem GroupPLM. GroupPLM je název pro Product Data Management v rámci koncernu VW a jeho cílem je centralizace vývojových a plánovacích procesů a šetření celkového času i nákladů ve všech oblastech vývoje. Hlavní myšlenkou projektu je vyvinout nejdříve každý vůz kompletně ve virtuálním prostředí a poté ho přenést do reality. Systém CONNECT je upravenou verzí PDM systému TeamCenter od firmy SIEMENS. Jeho výhodou je, že je schopen zobrazovat součásti bez nutnosti instalace CAD systému, ale v tuto chvíli není schopen podporovat procesy uvolnění [50; 51].

## 10.5. Shrnutí současného stavu

V této kapitole byla provedena analýza současného stavu CAD systému ve společnosti Škoda Auto. Cílem této analýzy bylo získat přehled o aktuálním CAD systému, používaných PDM systémech a nástrojích. Tyto informace byly klíčové pro provedení návrhu možných řešení.

Během této analýzy byly přiřazeny CAD systémy k jednotlivým oblastem vývoje. Dle tabulky 2 je zřejmé, že převážně využívaným systémem je CATIA. Jedná se však o verzi CATIA V5-6, která byla vydána v roce 2013 a očekávaný konec podpory této verze je předpokládán na rok 2030, což je hlavním důvodem vzniku

této práce. Zároveň bylo identifikováno několik kritických nástrojů, které rozšiřují funkce CAD systému. Mezi tyto funkce patří:

- 1) Integrovaný překladač
- 2) Tvorba síťových linií
- 3) Kontrola kvality CAD dat
- 4) Tvorba adaptérů pro redukci velikosti dat a ochranu duševního vlastnictví
- 5) Kontrola geometrie dle homologačních předpisů během procesu návrhu
- 6) Kontrola tloušťky stěn, vúlí a porovnání podobných modelů
- 7) Jednoznačné definování ustavení dílů a otvorů
- 8) Definice spojovacích parametrů v CAD datech
- 9) Jednoduchý přístup k normalizovaným dílům
- 10) Generace trojrozměrného textu
- 11) Kontrola a snadné vytvoření rohového razítka
- 12) Práce s elektrickými svazky

Dalším důležitým aspektem současného stavu jsou PDM systémy. Společnost Škoda Auto v současnosti využívá několik různých systémů, a to Hyper KVS, ECA a CONNECT. Společně tyto systémy slouží k efektivní správě, výměně, archivaci a převodu CAD dat do různých formátů.

Analýza SWOT představuje strukturovaný způsob hodnocení silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb souvisejících s určitým tématem nebo organizací. Analýza současného stavu CAD systému ve Škoda Auto je v příloze 1.

Po provedení SWOT analýzy je zřejmé, že existuje potenciál pro změnu nosného CAD systému ve společnosti Škoda Auto. Přejchod na modernější a lépe strukturovaný CAD systém by mohl znamenat vyšší efektivitu vývoje produktu. Integrace a centralizace jednotného PDM systému by umožnila lepší správu a sdílení dat.

Se změnou nosného CAD systému ale přichází i určitá rizika. Změna vyžaduje pečlivé plánování, přípravu a školení zaměstnanců, aby se minimalizovaly případné problémy během přechodu. Dalším důležitým faktorem jsou reakce uživatelů na změnu. Je potřeba zajistit jejich patřičnou podporu.

Po provedení analýzy lze konstatovat, že přechod na nový CAD systém by pro Škoda Auto představoval jak příležitosti, tak i hrozby. Je stěžejní provést důkladnou analýzu výhod, nevýhod, příležitostí a rizik, aby bylo možné informovaně rozhodovat a plánovat takovou změnu.

## 11. Návrh možných řešení

V této chvíli na trhu existuje celá řada možných nástupců CAD systému, které jsou svými funkcemi velice podobné. Některé z nich jsou:

- 1) NX – poskytuje výkonné funkce CAD/CAM, které umožňují bezproblémovou výrobu – od digitálních modelů součástí přes NC programování až po hotové přesné součásti – pomocí jednoho softwarového systému [52].
- 2) 3DExperience – platforma spojující lidi, procesy a data v cloudovém prostředí a usnadňující spolupráci [53].
- 3) Autodesk Inventor – poskytuje profesionální nástroje pro navrhování, dokumentaci a simulaci výrobků [54].
- 4) PTC CREO – je plně integrované 3D CAD řešení, které inženýrům umožňuje bezproblémově koncipovat, navrhovat, analyzovat a ověřovat výrobky [26].
- 5) Rhinoceros – je především CAD pro povrchové modely, který využívá matematický model NURBS [55].
- 6) OnShape – Systém Onshape umožňuje uživatelům souběžný přístup k jednomu návrhu a práci na něm prostřednictvím cloudu, a to z libovolného počítače, tabletu nebo telefonu [56].

Každý z těchto systémů disponuje řadou funkcí a silných stránek, které se mohou shodovat s potřebami Škoda Auto. Velice důležité jsou ale hodnocení kompatibility daného systému s existujícími pracovními postupy, jednoduchost integrace, požadavky na školení, zákaznická podpora a celková nákladová efektivita.

Po konzultaci ohledně dostupných řešeních na trhu s oddělením konstrukčních metod a systémů vozu bylo rozhodnuto, že nástupce stávajícího systému by měl být schopen poskytnout podporu pro vývoj všech oblastí automobilu. Nejpravděpodobnější jsou dvě varianty řešení. První z nich je přechod na systém 3DExperience od Dassault Systèmes, který představuje nástupce CATIA V5-6 od stejného dodavatele. Druhou možností je systém NX od Siemens, který představuje systém od neintegrovaného dodavatele. Obě tyto varianty byly zkoumány z pěti různých pohledů, a to IT administrativa, funkcionalita, uživatelé, datový formát a PDM. Pro tyto oblasti byly stanoveny

hodnotící kritéria, kterým byla následně přidělena váha dle důležitosti pro Škoda Auto. Pro přidělení váhy byli osloveni vybraní členové z oblasti konstrukčních systémů, IT a konstrukce. Každé kritérium a oblast byla obodována body 1-10, kde 10 znamená nejdůležitější. Počet bodů udělený každé oblasti se následně podělil sumou bodů udělených všem oblastem. Pro získání váhy kritérií se počet bodů udělených každému kritériu podělil sumou bodů udělených kritériím v dané oblasti. Vysvětlení jednotlivých kritérií a jejich vypočtená váha je zobrazena v tabulce 3.

Tabulka 3: Kritéria pro přechod na nový systém

Oblast	Váha oblasti	Kritéria	Váha Kritérií	Vysvětlení
IT administrace	26,89%	Hardware	24,21%	Je potřeba zakoupit nový hardware? O kolik je nový hardware dražší než stávající? Je hardware potřeba?
		Licenční mechanismus	22,01%	Jak moc vyhovuje některý z licenčních mechanismů společnosti Škoda Auto?
		Aktualizace	24,21%	Podléhá systém vynuceným aktualizacím? Jak velkou kontrolu nad prováděním aktualizací má společnost Škoda Auto?
		Bezpečnost	29,56%	Jak bezpečné je zvolené řešení? Může Škoda Auto implementovat vlastní bezpečnostní standardy?
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	Jak dobře je systém schopen provádět základní úlohy?
		Specializované funkce	25,74%	Kolika a jakými specializovanými funkcemi disponuje systém?
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	Jak jednoduché je vyvinout/nechat si vyvinout novou funkci pro systém?
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	Jak moc bude muset být systém přizpůsoben firemním standardům?
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	Jak dlouho bude trvat vyškolit zaměstnance v novém systému?
		Ergonomie práce	31,33%	Kolik kliknutí je potřeba na provedení základních úkonů?
		Podobnost práce s předešlým systémem	34,67%	Jak podobná je práce v novém systému? Jak bude systém pravděpodobně přijmut uživateli?
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícím formátem	32,17%	Je nativní formát stávajícího systému kompatibilní s novým systémem? Jak dobře umí pracovat s nativním formátem stávajícího systému?
		Migrace dat	34,97%	Bude nutné migrovat formát dat? Jak náročná bude migrace dat?
		Množství podporovaných formátů	32,87%	S kolika formáty je systém schopen pracovat? Je schopen pracovat s formáty důležitými pro Škoda Auto?
PDM	12,39%	Kompatibilita s interními standardy	57,28%	Jak moc bude muset být systém přizpůsoben firemním standardům?
		Komplikovanost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémem	42,72%	Jaká je předpokládaná složitost propojení zvoleného PDM a CAD systému?

## 11.1. NX

NX je komplexní systém, který spojuje funkce počítačem podporovaného navrhování, počítačem podporované výroby (CAM), který se již ve Škoda Auto využívá, a počítačem podporovaného inženýrství (CAE) do jednoho celku. Je široce používán v různých průmyslových odvětvích včetně automobilového a leteckého průmyslu. Disponuje možnostmi parametrického a neparametrického modelování a integrovanými simulačními nástroji, které umožňují například strukturní, tepelnou analýzu a analýzu proudění pro vyhodnocení a optimalizaci výkonu výrobku. Kromě základních funkcí nabízí NX i oborově specifická řešení přizpůsobená jedinečným požadavkům různých odvětví a nabízí se jako řešení On-premise i Cloudové. Bližší popis výhod a nevýhod těchto dvou typů zavedení systému byl popsán v kapitole 11.2. [57].

### 11.1.1. IT Administrativa

Škoda Auto mi neumožnila zveřejnit konkrétní specifikace počítačů, které používá při své činnosti. Stávající hardwarová infrastruktura však splňuje požadavky uvedené v seznamu certifikovaných pracovních stanic pro systém NX. Tato kompatibilita vylučuje nutnost jakýchkoli zásadních hardwarových změn nebo výměn při přechodu na nový systém CAD [58].

Licenční model systému NX nabízí různé přístupy podle typu nasazení. V případě nasazení v cloudu jsou k dispozici dvě řešení. První zahrnuje zakoupení základního systému NX spolu s dalšími potřebnými nástroji. Druhým řešením je inovativní licencování na základě hodnoty, které využívá systém žetonů. Škoda Auto si může zakoupit určitý počet žetonů. Uživatelé následně mohou aktivovat jakýkoliv nástroj, dokud je k dispozici dostatek žetonů. Po skončení práce se žetony vrátí do fondu a mohou je využívat ostatní uživatelé. Společnost tudíž nemusí investovat do licencí, které se využívají jen po určitou část vývoje. Tento systém tokenů je však k dispozici pouze v cloudu. Pro on-premise nasazení nabízí SIEMENS tradičnější licenční model. Škoda Auto musí dopředu určit typ a počet licencí. Následně je možné licence nainstalovat na server, který je následně přidělí skrze licenčního správce jednotlivým uživatelům. Pokud jde o aktualizace systému, nabízí NX možnosti nákupu se servisní službou nebo bez ní. Cloudové řešení však povinně zahrnuje servisní smlouvu, která zajišťuje pravidelné aktualizace [59; 60].

Odovědnost za bezpečnost se liší v závislosti na zvoleném řešení. U on-premise nasazení přebírá Škoda Auto plnou odpovědnost za bezpečnost systému. Verze cloudového nasazení je certifikována dle ISO 27001:2017 a dle dostupných informací je možné bezpečnost dále přizpůsobit potřebám Škoda Auto [61].

## 11.1.2. Funkcionalita

Systém NX disponuje všemi základními funkcemi, jako práce se sestavami, tvorba výkresové dokumentace, parametrické i neparametrické modelování, práce s plechovými díly, tvorba digitálních prototypů (DMU) a pokročilé simulační nástroje potřebné pro vývoj agregátu. Stav jednotlivých funkcí, které byly definovány v kapitole 10, zobrazuje tabulka 4 [62; 63; 64; 65].

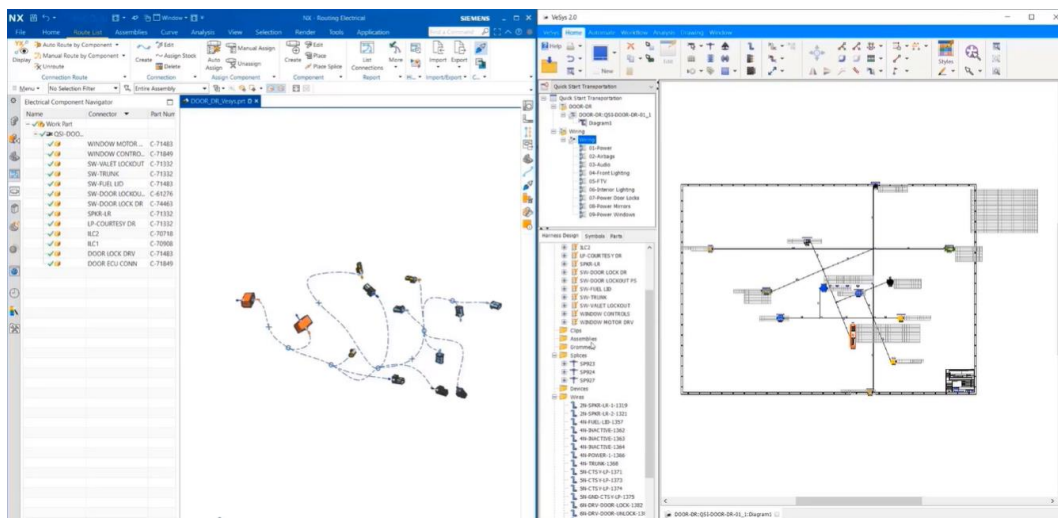
Tabulka 4: Přehled funkcí v NX

Funkce	Stav
Integrace překladače	Není
Tvorba síťových linií	Součástí
Kontrola kvality dat	Součástí
Tvorba adaptérů pro redukci velikosti dat	Součástí
Kontrola geometrie dle homologačních předpisů	Součástí
Kontrola tloušťky stěn a vřtí	Rozšíření od dodavatele třetí strany
Jednoznačné definování ustanovení (RPS)	Součástí
Definice spojovacích parametrů	Součástí
Přístup k normalizovaným dílům	Součástí
Tvorba trojrozměrného textu	Součástí
Kontrola a tvorba rohového razítka	Součástí
Práce s elektrickými svazky	Součástí
*Funkce jsou součástí NX pro automotive, ale nejsou přizpůsobeny firemním standardům	

Jak je vidět dle tabulky 4, systém NX disponuje většinou z funkcí, které byly stanoveny v kapitole 10. Zároveň umožňuje tvorbu tzv. GRIP programů, které mohou zastávat funkci různých maker. Důležité je však říct, že i když systém NX těmito funkcemi disponuje, bylo by nutné implementovat firemní standardy kontroly dat, kontroly jmenných konvencí, formáty razítka, databáze koncernových normalizovaných dílů, spojovacích materiálů atd. Makra by bylo nutné vyvinout zcela od začátku.

Absence integrovaného překladače může představovat jisté potíže, ale nemusí nutně snižovat celkovou funkčnost systému. Jako vhodná náhrada může být použit externí překladač, který splní potřeby uživatelů za cenu vyšší pracnosti. Další funkcí, která není součástí NX, je kontrola tloušťky stěn. Existují však dodavatelé, kteří nabízejí nástroje pro řešení tohoto problému. Jednou z možností je nástroj DFMPPro, který se plně integruje do systému NX.

Možná výhoda, která by mohla nastat, je změna procesu VOBES (Volkswagen Bordnetz Entwicklungs System), který se zabývá konstrukcí elektrických svazků. V tuto chvíli je proces rozdělen do systému EB-Cable, kde vznikají schémata zapojení, a do CATIA, kde vzniká 3D topologie. Následuje sloučení těchto dat a tvorba výkresové dokumentace. Systém NX nabízí rozšíření ECAD, které tyto funkce spojuje do prostředí CAD. Rozšíření je zobrazeno na obrázku 15, kde je na pravé straně vidět schéma zapojení a na levé straně jeho 3D topologie.



Obrázek 15: Tvorba elektrických svazků v NX [64]



### 11.1.3. Uživatelé

Jednou z nejpodstatnějších výzev, kterým by Škoda Auto čelila, je zvládnutí strmé křivky učení spojené se systémem NX. Samotná sofistikovanost NX s množstvím pokročilých nástrojů, ačkoli je v konečném důsledku přínosná, by mohla zpočátku představovat pro stávající zaměstnance značné obtíže. Při porovnání s CATIA V5 je zřejmé, že se nejedná pouze o jiné grafické rozhraní, ale i o změnu názvů funkcí a jejich rozšíření. Proces pochopení těchto funkcí a jejich efektivní využití vyžaduje intenzivní školení a značné časové investice.

Tento časový faktor je velice podstatný, protože bude mít přímý dopad na úroveň produktivity. Čas, který zaměstnanci stráví zvládnutím nového softwaru, je časem, který jim poté chybí na jejich běžnou práci, což povede k dočasnému snížení produktivity. Doba základního školení zaměstnanců se systémem NX dle dostupných informací od dodavatele a ze zkušeností může trvat 2 až 4 týdny. V první polovině školení si účastníci osvojí základní funkce a v druhé půlce školení jsou seznámeni se speciálními nástroji potřebnými k výkonu jejich práce.

Jedním ze způsobů, jak výrazně usnadnit přechod pro zaměstnance na nový CAD systém, může být definování souboru typických procesů a vytvoření příruček. Nastíněním konkrétních scénářů a poskytnutím pokynů krok za krokem se zaměstnanci mohou rychle seznámit s novým systémem a jeho funkcemi. Definování těchto procesů nejen pomáhá při přechodu na nový systém, ale také přispívá ke sjednocení metodiky v rámci organizace. Díky vytvoření konzistentních pracovních postupů prostřednictvím těchto příruček mohou zaměstnanci při práci dodržovat standardizované postupy. To podporuje efektivitu, spolupráci a zajišťuje, že všichni dodržují jednotný postup, což povede k hladšímu přechodu a vyšší produktivitě.

### 11.1.4. Datový formát

NX podporuje širokou škálu formátů dat, včetně vlastních nativních formátů a neutrálních formátů. Mezi nativní formáty používané v NX patří *.prt* pro soubory součástí, sestav a výkresů, *.fem* pro soubory konečných prvků, *.sim* pro simulační soubory, *.afm* pro soubory sestav FEM a *.udf* pro soubory uživatelsky definovaných prvků. Tyto formáty jsou speciálně navrženy pro použití v systému NX a nabízejí vysokou úroveň funkčnosti a výkonu [66].

Kromě nativních formátů podporuje NX také řadu neutrálních formátů. Tyto formáty jsou v průmyslu široce používány a umožňují výměnu dat mezi různými systémy CAD. Mezi neutrální formáty podporované systémem NX patří *.JT*, *.IGES*, *.DXF*, *.DWG*, *.STEP*, *Solid Edge*, *Parasolid* a *PLMXML* [66].

Při přechodu na systém NX má Škoda Auto hned několik možností, jak se vypořádat s nekompatibilitou formátu *.CATPart* (CATIA), *.CATProduct* (CATIA), *.prt* (CREO), *.asm* (CREO) se systémem NX. Přehled těchto možností je vidět na obrázku 16.



Obrázek 16: Možné postupy migrace dat

První možností je zachování uvolněných dat ve stávajícím formátu a všechny nové projekty začít zpracovávat v novém systému. Pro procesy zahrnující již uvolněná data by bylo nutné využívat dostupné neutrální formáty. Druhé možnosti by měla předcházet filtrace a klasifikace dat, kdy by se mělo stanovit, které soubory je nutné převést a klasifikovat jejich důležitost pro chod firmy. Tato možnost zahrnuje využití překladače, jako může být například Content Migration Manager (CMM-Tool), který je schopen z rozhraní TeamCenter převádět data z CATIA formátů i z CREO formátů na nativní formát NX se všemi prvky, vazbami a nákresey. Zároveň je CMM-Tool schopný provést menší opravy dat a generovat hlášení o chybách. Na problematických datech by bylo nutné provést kontrolu konstruktérem a případně provést jejich úpravu. Výhodou této metody je, že velká část migrace dat může být prováděna během zaškolování zaměstnanců s novým systémem [67].

Poslední možností je pracovat s formátem *JT*. Výhodou této možnosti je, že Škoda Auto má již všechny svá CAD data uložená ve formátu *JT* paralelně s nativním formátem systému. Tento formát se už v tuhle dobu používá pro řadu procesů spojených s vývojem automobilu a pro výměnu dat s dodavateli. Jedná se o například o vývoj konceptu, DMU a validaci prototypů. *JT* je neutrální formát, který ale lze využít pro tzv. hybridní a nehybridní navrhování v kontextu, pomocí kterého je možné postupně vytvářet nativní formát pouze v případě, pokud je to potřeba. Další výhodou je, že formát *JT* byl vyvinut společností SIEMENS, která poskytuje nástroje pro práci s tímto formátem a jejich vizualizaci přímo pro prostředí NX a TeamCenter [68].

### 11.1.5. PDM systém

Bezesporu největší výhodou možné implementace systému NX do Škoda Auto je jeho kompatibilita s již zavedeným systémem správy výrobních dat CONNECT. Systém CONNECT je zaveden v celém koncernu značky Volkswagen a slouží jak pro správu, kontrolu, validaci a archivaci, tak pro spolupráci s dodavateli, a jsou na něm spravovány všechny nové projekty.

Jeho kompatibilita spočívá v tom, že systém CONNECT je upravený pro potřeby koncernu, ale vychází ze systému TeamCenter od SIEMENS. Lze tak předpokládat, že po provedení úprav systému bude schopen bezproblémově pracovat v tandemu s NX. Podobná situace již nastala při přechodu Mercedes-Benz na NX, kdy jejich systém správy dat, SMARAGD, byl také postaven na základu TeamCenter. TeamCenter společně s NX tvoří hlavní produkt společnosti SIEMENS v oblasti PLM řešení. Dá se tak předpokládat, že by došlo k lepší integraci a tím i zrychlení procesů spojených s validací a správou dat. Zároveň by zavedením jednotného CAD systému odpadla potřeba dalšího PDM systému a došlo by k ušetření nákladů na licenci PDM systému ESA. Bohužel je v tuto dobu nutná podpora systému HyperKVS. CONNECT totiž není schopen zaštitovat proces uvolnění a data tedy musí putovat do HyperKVS, kde čekají na uvolnění a poté je v CONNECT vytvořen odkaz na uvolněná data. Pokud by se CONNECT rozšířil o tuto funkci, mohlo by dojít k úplné centralizaci PDM systému [69].

Pro Škoda Auto se nabízí ještě možnost přechodu na čistý TeamCenter. TeamCenter by byl schopen podporovat všechny procesy, které aktuálně provádí

spojení HyperKVS a CONNECT, ale nese s sebou jiná rizika, která jsou popsána v kapitole 11.2.5. [70; 71].

### 11.1.6. Shrnutí přechodu na NX

V této kapitole byla provedena analýza možných dopadů a rizik při přechodu ze systému CATIA a CREO na systém NX. Pro přehledné zobrazení výhod a nevýhod při zvolení této varianty byla zvolena metoda analýzy SWOT. SWOT analýza je zobrazena v příloze 2.

Jak je vidět z provedené analýzy, tak NX je komplexní systém, který do sebe spojuje funkce počítačem podporovaného navrhování, výroby i inženýrství. Je hojně využívaným řešením v různých průmyslových oblastech včetně automobilového průmyslu, kde je široce rozšířen jak mezi výrobcí automobilů, tak mezi externími dodavateli. Pro společnost Škoda Auto by byla nejzajímavější verze NX pro automotive, která je oproti svému základnímu stavu obohacena o specializované nástroje, jako například kontrola návrhu vůči homologačním standardům nebo rozšíření ECAD. Důležité je ale zmínit, že bude nutné všechny tyto funkce nastavit tak, aby odpovídaly firemním konvencím a standardům, což bude vyžadovat intenzivní spolupráci mezi dodavatelem systému a Škoda Auto, popřípadě koncernem Volkswagen. Kvalita provedení tohoto prvotního nastavení bude hrát jednu z klíčových rolí při přechodu na nový systém.

Velice pravděpodobná situace, která může při přechodu na systém NX nastat, je odpor samotných zaměstnanců spojený se strmou křivkou učení a rozdílnou ergonomií práce v novém systému. Pro zvládnutí této situace je nutné otevřeně a transparentně komunikovat ohledně důvodů této změny se zaměstnanci a poskytnout jim dostatečné školení a následnou podporu na pracovišti. Během přechodného období a v počátečních fázích lze očekávat snížení produktivity vývoje. Rozsah a doba trvání tohoto omezení bude záviset na způsobu implementace, kvalitě školení a podpory. Pro zmírnění negativní zpětné reakce od zaměstnanců by bylo žádoucí definovat soubor typických pracovních procesů a vytvořit příručky, které by, kromě zjednodušení přechodu pro uživatele, znamenaly standardizaci pracovních postupů. Celkově bude pro úspěšnou implementaci systému velice důležité nepodcenit adaptační proces ze strany zaměstnanců.

Dalším potenciálním rizikem, které je třeba řešit, je případné znehodnocení dat. Škoda Auto musí zvolit robustní strategii řešení nekompatibility dat mezi systémy, aby zajistila bezpečný a bezproblémový přenos informací z předchozího systému do NX. Různé cesty, kterými se Škoda Auto může vydat, byly popsány v kapitole 11.1.4. Pečlivým řízením tohoto procesu může společnost minimalizovat riziko ztráty cenných dat a zachovat kontinuitu svého provozu.

Přestože přechod z CATIA a CREO na NX přináší velké změny, některé aspekty zůstávají nezměněny. Zejména přetrvává riziko závislosti na externím softwaru, jako je právě NX, který podléhá rizikům změny cen, podpory nebo směru vývoje. Dalším přetrvávajícím aspektem je, že, jak už bylo řečeno, jde o standardní široce rozšířený systém, což zajišťuje kompatibilitu s řadou dodavatelů, ale také to znamená, že nemusí být vždy přizpůsoben potřebám automotive.

Navzdory těmto výzvám představuje změna systému ve prospěch NX také určité příležitosti. Jednou z takových příležitostí je vytvoření jednotného pracovního prostoru pro všechny oblasti vývoje. To může podpořit spolupráci napříč odděleními a zefektivnit komunikaci. Kromě toho může přechod na NX vést ke zvýšení kompatibility mezi systémy CAD a PDM, jelikož se jedná o systémy od stejného dodavatele, a to u obou variant – TeamCenter i CONNECT. Zároveň pokud by v budoucnu došlo k aktualizaci systému CONNECT a byl by schopný zastat všechny procesy, které v tuto chvíli podporuje HyperKVS, došlo by k úplné centralizaci systému správy produktových dat a došlo by tak k zjednodušení a zefektivnění práce.

### 11.1.7. Hodnocení přechodu na NX

Vybraní členové oddělení systémů vozu a konstrukčních metod, IT a konstrukce byli seznámeni s provedenou analýzou a na základě dostupných informací přidělili každému z hodnotících kritérií definovaných v kapitole 11 body 1-5, kde 1 je nejhorší a 5 je nejlepší. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 5. Tabulka je rozdělena na variantu NX spojeného s aktuálním PDM systémem CONNECT a na variantu, kdy by byl stávající systém správy produktových dat nahrazen TeamCenter. Dále jsou tyto varianty rozděleny na řešení on-premise a cloudové. Ve sloupcích hodnocení jsou vidět součty získaných bodů a v řádku celkové

hodnocení je vidět konečný počet získaných bodů po zohlednění váhy daného kritéria a oblasti.

Z tabulky jasně vyplývá, že pro variantu přechodu na NX by bylo nejlepší zvolit řešení cloudové, a to spojené se stávajícím systémem CONNECT. Při bližší analýze výsledků si lze všimnout, že tato varianta získala více bodů kvůli příznivějšímu licenčnímu mechanismu, menším nárokům na hardware a nižší nutnosti uzpůsobení správy dat firemním standardům.

Tabulka 5: Hodnocení přechodu na NX

Oblast	Váha oblastí	Kritéria	Váha kritérií	NX - TeamCenter		NX - CONNECT	
				Ohodnocení		Ohodnocení	
				On-premise	Cloud	On-premise	Cloud
IT administrace	26,89%	Hardware	24,21%	37	52	37	52
		Licenční mechanismus	22,01%	37	52	37	52
		Aktualizace	24,21%	39	23	39	23
		Bezpečnost	29,56%	55	55	55	55
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	55	55	55	55
		Specializované funkce	25,74%	50	50	50	50
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	33	33	33	33
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	23	23	23	23
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	18	18	18	18
		Ergonomie práce	31,33%	50	50	50	50
		Podobnost práce s předchozím systémem	34,67%	26	26	26	26
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícím formátem	32,17%	19	19	19	19
		Migrace dat	34,97%	25	25	25	25
		Množství podporovaných formátů	32,87%	55	55	55	55
PDM	12,39%	Kompatibilita s firemními standardy	57,28%	15	15	48	48
		Komplikovanost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémem	42,72%	52	52	38	38
Celkové hodnocení				<b>38,0</b>	<b>38,9</b>	<b>39,6</b>	<b>40,5</b>

## 11.2. 3DEXPERIENCE

3DExperience je pokročilá platforma pro řízení životního cyklu výrobku, která přesahuje tradiční CAD software. Poskytuje prostředí pro spolupráci všech zúčastněných stran zapojených do procesu vývoje výrobku, umožňuje bezproblémovou komunikaci a sdílení v reálném čase. Nabízí přístup, který spojuje návrh, simulaci, výrobu a řízení projektů do jednotné platformy [72].

Platforma 3DEXPERIENCE je v podstatě soubor aplikací. Tak jako u chytrého telefonu jsou i zde k dispozici různé aplikace, které jsou součástí balíčku, ke kterým získává uživatel přístup pomocí přidělených rolí. Systém se nabízí ve dvou verzích. Zaprvé on-premise, kdy je platforma nainstalována na vlastních serverech a hardwaru organizace. To vyžaduje počáteční investici do infrastruktury a také průběžnou údržbu a správu systému. On-premise řešení nabízí kompletní kontrolu nad daty a prostředím, ale také vyžadují vyšší počáteční náklady a průběžné zdroje. Naproti tomu cloudové platformy 3DEXPERIENCE jsou hostovány na serverech třetích stran a lze k nim přistupovat prostřednictvím webového prohlížeče. Tím odpadá nutnost značných počátečních investic a snižují se náklady na průběžnou údržbu. Cloudová řešení také nabízejí škálovatelnost, která umožňuje snadno rozšiřovat nebo snižovat zdroje podle potřeby. Poskytují však menší kontrolu nad svými daty a zabezpečením [73].



Obrázek 17: 3DExperience kompas [73]

Kompas 3DEXPERIENCE, který je vidět na obrázku 17, popisuje čtyři hlavní oblasti podnikových činností a řešení, která Dassault Systèmes pro tyto obory poskytuje [72]:

- 1) Sociální aplikace a aplikace pro spolupráci (Sever) – Hlavním zástupcem této skupiny je integrovaný PDM systém ENOVIA.
- 2) Aplikace pro informační inteligenci (Východ) – Aplikace EXALEAD umožňuje rychlé vyhledávání v dokumentaci, a to i na základě 3D tvarové podobnosti
- 3) Simulační aplikace (Jih) – Mezi tyto aplikace patří například DELMIA a SIMULIA. DELMIA umožňuje výrobcům vytvářet digitální modely, které virtuálně simulují výrobky, procesy a výrobní operace a SIMULIA nabízí jedinečné simulační schopnosti založené na špičkové technologii Abaqus pro analýzu konečných prvků (FEA).
- 4) 3D modelovací aplikace (Západ) - CATIA 3DEXPERIENCE poskytuje štíhlé a intuitivní prostředí pro všechny konstrukční a inženýrské činnosti. Portfolio procesů CATIA 3DEXPERIENCE obsahuje více než 50 rolí, které podporují oblasti konstrukce, strojírenství, elektrotechniky a fluidního inženýrství, víceoborového inženýrství a systémového inženýrství.

### 11.2.1. IT Administrace

Ačkoli přesné specifikace počítačů používaných společnostmi Škoda Auto nemohly být z důvěrných důvodů zveřejněny, jak bylo řečeno již dříve, jsou tyto systémy zahrnuty do seznamu certifikovaných pracovních stanic pro 3DExperience. To znamená, že stávající hardware je již kompatibilní s novým systémem CAD a není tedy třeba provádět žádné modernizace nebo výměny hardwaru [74].

Licenční model používaný systémem 3DExperience je zaměřený na uživatele. Bez ohledu na to, zda je software nasazen on-premise nebo v cloudu, funguje licencování jednotně. S licencemi se zachází jako s "rolemi", které lze přidělovat různým uživatelům na základě jejich funkce v rámci organizace. Společnost Škoda Auto proto může pořizovat celou řadu různých rolí, jako jsou návrháři, projektoví manažeři a další a podle toho je přidělovat příslušným zaměstnancům [75; 76].



Co se týče aktualizací systému, 3DExperience nabízí flexibilitu při výběru poskytovaných služeb. Společnosti si mohou vybrat, zda si software zakoupí s plánem údržby, nebo bez něj. V případě nasazení v cloudu se jedná pouze o balíček s údržbou. Tento balíček je spojen s automatickými aktualizacemi systému. U on-premise řešení jsou klienti informováni o dostupných aktualizacích a mohou si pak naplánovat vhodný čas pro aplikaci těchto změn. Varianta trvalé licence bez služeb však žádné aktualizace nenabízí [77].

Nakonec, jde-li o bezpečnost, tak je odpovědnost rozdělena různě v závislosti na způsobu nasazení. U on-premise řešení je za implementaci a údržbu potřebných bezpečnostních opatření odpovědná výhradně společnost Škoda Auto. V případě nasazení v cloudu se společnost může rozhodnout pro začlenění vlastních bezpečnostních standardů, což však vyžaduje koordinaci mezi dodavatelem softwaru a společností. Za pozornost stojí, že cloudové řešení poskytované společností 3DExperience získalo certifikace ISO/IEC 27001:2017 a ISO/IEC 27701:2019, což svědčí o jeho robustním zabezpečení [78].

## 11.2.2. Funkcionalita

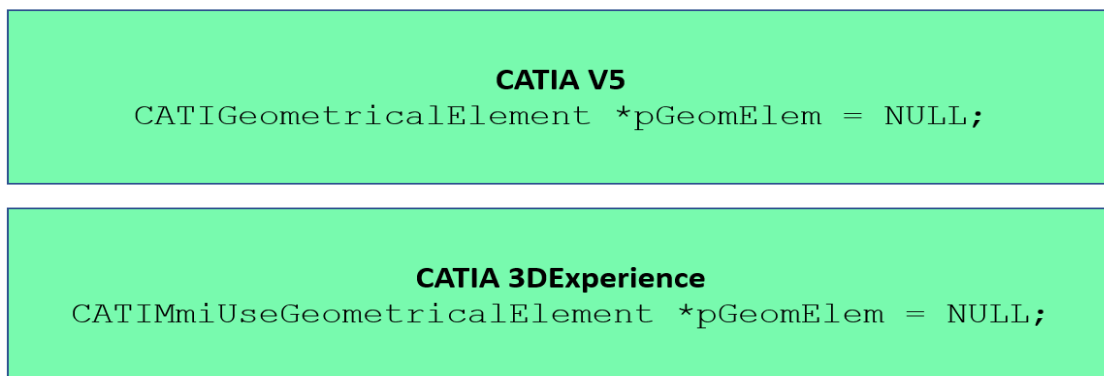
CATIA 3DExperience má podobné základní funkce jako CATIA V5, ale nabízí pokročilejší možnosti. Obě verze poskytují základní funkce 3D modelování, navrhování sestav a kreslení, ale CATIA 3DExperience rozšiřuje základní funkce tím, že poskytuje pokročilejší a kolaborativní prostředí pro vývoj a návrh výrobku. Nabízí nástroje pro spolupráci v reálném čase a souběžné projektování, což umožňuje bezproblémovou týmovou spolupráci a zrychlení iterace návrhu [22; 53].

CATIA 3DExperience je navíc rozšířena o pokročilé simulační a analytické nástroje, které dokážou zastoupit simulační schopnosti PTC CREO. Umožňuje virtuální testování, simulaci chování a validaci, takže uživatelé mohou virtuálně posoudit výkon a chování svých návrhů. To pomáhá identifikovat a řešit problémy v rané fázi procesu návrhu [79].

Jednou z výhod přechodu ze stávajícího systému na CATIA 3DExperience je možnost upravit stávající CAA tak, aby fungovaly na nové platformě. Dle Dassault Systèmes CAA Encyclopedie se ve velkém množství případů jedná pouze o nahrazení určitých částí kódu novými názvy funkcí. Příklad této úpravy je vidět

na obrázku 18. Tato výhoda znamená, že investice do vývoje a přizpůsobení CAA aplikací firemním standardům a konvencím nemusí být při přechodu na nový systém ztracena. Například CAVA se již nabízí ve verzi pro 3DExperience a OUTGEN a RPS/LTA má verzi CATIA V6, která je přenosná na CATIA 3DExperience [80; 81].

Podobná situace jako u CAA aplikací nastává u maker, kdy je možné použít stávající makra, která ale musí být upraveny za použití terminologie pro 3DExperience [80]



Obrázek 18: Změna kódu z CATIA V5 na CATIA 3DExperience

Jak je vidět v tabulce 6, tak má Škoda Auto v řadě případů možnost využívat CAA aplikace, které ale musí být přepracované pro novou platformu, nebo využít rozšířených funkcí CATIA 3DExperience [82; 83].

Tabulka 6: Stav funkcí v 3DExperience

Funkce	Stav
Integrace překladače	CAA
Tvorba síťových linií	CAA
Kontrola kvality dat	Součástí/CAA
Tvorba adaptérů pro redukci velikosti dat	Součástí/CAA
Kontrola geometrie dle homologačních předpisů	CAA
Kontrola tloušťky stěn a vůlí	Součástí
Jednoznačné definování ustanovení (RPS)	CAA
Definice spojovacích parametrů	CAA/Makro
Přístup k normalizovaným dílům	Součástí/Makro
Tvorba trojrozměrného textu	Součástí/CAA
Kontrola a tvorba rohového razítka	Součástí/CAA
Práce s elektrickými svazky	Součástí/CAA

### 11.2.3. Uživatelé

Při přechodu z aplikace CATIA V5-6 na CATIA 3DExperience jsou patrné výrazné rozdíly v uživatelském rozhraní, ale základní funkce a koncepty, jako je 3D modelování, navrhování sestav a kreslení, však zůstávají mezi oběma verzemi konzistentní. Uživatelské rozhraní aplikace CATIA 3DExperience je moderní a poskytuje odlišný vizuální zážitek ve srovnání s designem aplikace CATIA V5 [23].

Křivka učení při přechodu z prostředí CATIA V5-6 na CATIA 3DExperience je v porovnání s jiným systémem relativně krátká. Uživatelé, kteří již znají CATIA V5-6, jsou schopni obvykle získat potřebné dovednosti a znalosti pro práci s CATIA 3DExperience během pouhých dvou dnů. Podobnost základních funkcí obou verzí usnadňuje proces učení, protože uživatelé mohou využít své stávající znalosti a aplikovat je na nový software. Úprava stávajících CAA aplikací pro nový systém by zajistila, že investice do vývoje a přizpůsobení CAA pro V5-6 nebude ztracena. Navíc možnost používat již známé CAA aplikace pomáhá procesu přechodu tím, že snižuje dobu potřebnou na školení. Uživatelé si mohou zachovat známé funkce a pracovní postupy, což umožňuje efektivnější přijetí nové platformy [84].

Přechod z PTC CREO na CATIA 3DExperience není tak jednoduchý jako přechod z CATIA V5-6 na CATIA 3DExperience. Obvykle vyžaduje delší dobu školení, přičemž doba pro komplexní školicí program je přibližně dva týdny. Během prvního týdne školení jsou uživatelé seznámeni se základními funkcemi a v druhém týdnu si osvojí pokročilé funkce a potřebné specializované funkce pro výkon jejich práce. Dá se tak očekávat, že by došlo ke snížení produktivity v oblasti vývoje agregátu na delší dobu než ve zbytku organizace [85].

### 11.2.4. Datový formát

CATIA 3DExperience je kompatibilní se širokou škálou datových formátů, jako je *.STL*, *.OBJ*, *.STP*, *.STEP*, *.SLDPRT*, *.IGS*, *.IGES*, *.DXF*, *.DWG*, přičemž jejím nativním formátem je *3DXML*. Systém je schopen importovat *JT.*, ale při importu ho převádí na nativní formát. Výhodou CATIA 3DExperience je, že je systém schopný pracovat s daty vytvořenými ve starších verzích, tj. CATIA V4, V5, V6. Rozpracované modely tak není nutné složitě převádět pomocí migračních nástrojů, lze je jednoduše otevřít na nové platformě a po skončení práce uložit ve formátu *3DXML*. Pro

převedení velkého množství dat disponuje platforma 3DExperience funkcí hromadného převodu. K použití této metody je nutné, aby byla data uložena na PDM systému ENOVIA. Takto převedená data by měla projít kontrolou a validací. Další možností je využití migračního nástroje podobně, jako bylo popsáno v kapitole 11.1.4. [86; 87].

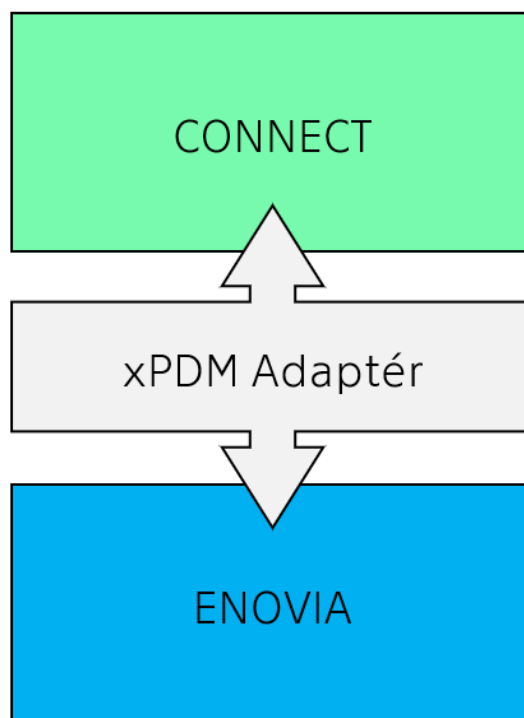
Data ze systému CREO nejsou kompatibilní se systémem 3DExperience, tudíž by je bylo nutné v případě potřeby převést podle popsaných možností v kapitole 11.1.4. [87].

### 11.2.5. PDM systém

Řešení od společnosti Dassault Systèmes je charakteristické tím, že se prodává jako PLM řešení a ne jako CAD systémem. To znamená, že s ním je spojen systém pro správu výrobních dat ENOVIA. Tento systém je založený na modelech a datech. Nabízí funkce pro efektivní spolupráci a správu a je schopen spravovat nejen CAD data, ale i různé dokumenty, které je možné propojit s dalšími daty. Nechybí ani správa revizí a na rozdíl od tradičních souborových systémů umožňuje ENOVIA pracovat na sestavách a popřípadě i součástech současně více uživatelům. To zajišťuje bezproblémovou spolupráci. ENOVIA vyniká i svým přístupem ke správě problémů. Uživatelé s příslušnými rolami mohou vznášet problémy a přiřazovat je přímo konkrétním osobám ke kontrole a řešení. K takto vytvořeným problémům lze připojit podpůrné dokumenty nebo jiné přílohy. Uživatelé jsou o zadaných problémech informováni, což zajišťuje jejich včasné vyřešení. Systém ENOVIA vychází vstříc také potřebám řízení projektů. Vedoucí projektů mohou zadávat úkoly, které se zobrazí příslušným uživatelům, kteří mohou aktualizovat stav úkolů například pomocí příloh, komentářů, nebo pomocí procent dokončení. Podporovány jsou i procesy uvolnění, validace a kontroly dat, které by bylo nutné přizpůsobit potřebám Škoda Auto. Další klíčovou funkcí je možnost odepřít uživatelům práva pro úpravu nebo prohlížení určitých dat. Propojení CATIA 3DExperience a systému ENOVIA pro Škoda Auto znamená, že přicházejí v úvahu dvě možnosti [88].

První možnost zahrnuje zachování stávajícího systému správy dat a zároveň vytvoření spojení se systémem ENOVIA pomocí xPDM adaptéru například od společnosti HCL, který umožňuje výměnu dat mezi systémy Teamcenter a ENOVIA. XPDM adaptér umožňuje koexistenci tím, že zajišťuje

synchronizaci dat mezi oběma systémy. Podporuje obousměrnou výměnu technických dat, jako jsou díly, revize dílů, metadata vztahů, dokumenty a konstrukční data, jako je struktura výrobku, vizuální a CAD reprezentace objektu. Tato synchronizace může probíhat na základě požadavku od uživatele nebo automaticky. Schematické zobrazení první možnosti je vidět na obrázku 19. Tento přístup umožňuje společnosti využívat výhody platformy 3DExperience při zachování stávající infrastruktury pro správu dat za cenu větší komplikovanosti, a ještě větší decentralizace správy dat [89].



Obrázek 19: Schématické zobrazení první možnosti řešení PDM

Jako alternativu k prvnímu řešení může společnost Škoda Auto zvolit migraci všech svých dat a procesů do systému ENOVIA, což zaručí maximální využití funkcí platformy 3DEXPERIENCE. Před provedením takového přechodu je třeba zohlednit několik aspektů. Zaprvé je nutné pečlivě stanovit, která data budou migrována. To zahrnuje například i rozhodnutí, zda se má migrovat celá historie revizí, nebo pouze částečná. Během procesu migrace je důležité zachovat vztahy mezi daty. Pro zajištění hladkého přechodu je zásadní školení zaměstnanců. Škoda Auto musí zajistit školící programy, které seznámí zaměstnance s novým systémem, a protože PDM systém je používán napříč celou společností, tak se nejedná pouze o školení oblasti vývoje. Dalším klíčovým faktorem bude správně provedené přizpůsobení ENOVIA potřebám společnosti.

Po dokončení migrace je zásadní důkladná kontrola a validace dat pro zajištění přesnosti a úplnosti migrovaných dat [90].

Pokud jde o strategii migrace, společnost Škoda Auto se musí rozhodnout mezi přístupem "velkého třesku" nebo migrací po částech. První přístup je metoda migrace, která spočívá ve zbavení se stávajícího systému a převedení všech uživatelů na nový systém současně. To často znamená, že období před spuštěním je dlouhé a zaměřené na migraci velkého množství dat. Před uvedením do provozu je třeba zaměstnance vyškolit a ujistit se, že jsou s novým systémem zcela spokojeni, aby jej začali používat ihned po jeho zavedení. Nejvýraznější výhodou této metody je, že zaměstnanci nemusí pracovat se dvěma systémy. Práce se dvěma systémy najednou, jako je tomu v případě migrace po částech, zvyšuje riziko lidských chyb. Další výhodou jsou nižší náklady, protože není nutné udržovat dva systémy současně. Celkově je však tato metoda náročnější a složitější na provedení a nese s sebou větší riziko při selhání implementace kvůli složité regresi na původní systém, ale při úspěšném provedení může ušetřit náklady a čas organizace [91].

Druhou možnost zahrnuje zavedení nového systému po etapách. Tento přístup umožňuje řízenější a postupnější přechod. Nabízí flexibilitu a přizpůsobivost, kdy je možné stanovit, které části organizace budou přecházet první a z jednotlivých částí migrace se poučit, než dojde na další krok. Nevýhodou je, že se jedná o dlouhodobý proces, při kterém je nutné pracovat ve více systémech. Pro zmírnění tohoto faktu je možné využít xPDM adaptéru popsaného v této kapitole [91].

### 11.2.6. Shrnutí přechodu na 3DExperience

Tato kapitola se zabývá variantou přechodu na platformu 3DExperience a pro přehledné zobrazení silných a slabých stránek této varianty byla provedena SWOT analýza na základě dostupných informací. SWOT analýza je vidět v příloze 3.

Z provedené analýzy je vidět, že 3DExperience přesahuje rámec tradičního CAD softwaru a spojuje do sebe návrh, simulaci, výrobu a řízení projektů. Poskytuje jednotné prostředí pro spolupráci všech oblastí zapojených do procesu vývoje automobilu a poskytuje nástroje pro bezproblémovou komunikaci a sdílení

v reálném čase, které při správné implementaci do procesu vývoje mohou zvýšit rychlost vzniku iterací návrhu a zkrátit tak dobu potřebnou pro vývoj.

Škoda Auto se může rozhodnout pro jednu ze dvou variant: On-premise a cloudovou verzi. Verze On-premise vyžaduje počáteční investice do infrastruktury a údržby systému. Na druhou stranu nabízí úplnou kontrolu nad daty a prostředím. Naproti tomu cloudová platforma 3DEXperience funguje na serverech třetích stran a lze k nim přistupovat pomocí webového prohlížeče. Tím odpadá potřeba značných počátečních investic a nákladů na údržbu. Cloudové řešení také nabízí škálovatelnost systému. Tyto výhody poskytuje za cenu snížené kontroly nad daty, zabezpečením a prostředím, což může být spojeno například s nucenými aktualizacemi systému, které jsou během procesu vývoje často nežádoucí. Zvolení správné varianty nasazení bude kritické pro úspěšný přechod.

Jednou z hlavních výhod přechodu na 3DEXperience je možnost úpravy stávajících CAA aplikací pro nový systém. Díky tomu se neztratí investice do vývoje CAA aplikací a jejich přizpůsobení firemním standardům a konvencím. Kromě toho lze použít i současná makra, které je podobně jako CAA aplikace nutné upravit pomocí terminologie pro 3DEXperience.

Mezi další výhodou patří podobnost systému vůči CATIA V5-6, což umožňuje velice krátkou dobu školení zaměstnanců a dá se předpokládat, že systém by byl zaměstnanci akceptován lépe než systém od jiného dodavatele. Škoda Auto však nesmí podcenit proces adaptace pro zaměstnance přecházejících ze systému PTC CREO, pro které se nejedná pouze o změnu grafického rozhraní.

Dalším pozitivním aspektem přechodu na 3DEXperience je jeho podpora široké škály datových formátů, včetně nativních formátů předchozích verzí, tj. CATIA V4, V5 a V6. Tento fakt znamená, že není potřeba složitě převádět rozpracované modely na jiný formát a je tak sníženo riziko znehodnocení dat. Data ze systému PTC CREO je nutné převést pomocí migračních nástrojů, nebo lze použít jinou metodu popsanou v kapitole 11.1.4.

Změna systému je vždy spojena i s nevýhodami, jako je dočasné snížení produktivity nebo možnost znehodnocení dat během migrace formátů či během migrace dat na jiný PDM systém. Zároveň je vždy spojena s rizikem, že testování a plánování neodhalí všechny problémy a chyby.

Zvláštní pozornost si zaslouží mandatorní PDM řešení 3DEXperience platformy, které je klíčové pro kompletní využití všech schopností platformy. Škoda Auto má dvě varianty, které byly popsány v kapitole 11.2.5. Každá z těchto variant má své pro a proti. Kompletní změna PDM systém na ENOVIA by zajistila úplnou centralizaci správy dat, ale tato změna by se nedotkla pouze oblasti vývoje, ale celé společnosti. Všichni uživatelé přicházející do kontaktu se systémem správy dat by museli být důkladně proškoleni a ENOVIA by musela být přizpůsobena firemním standardům a konvencím. Na druhou stranu spojením systémů ENOVIA a CONNECT by se společnost vyhnula rozsáhlému školení zaměstnanců za cenu ještě větší decentralizace PDM.

### 11.2.7. Hodnocení přechodu na 3DEXperience

Stejně, jako tomu bylo u přechodu na NX, byli vybraní zaměstnanci důkladně seznámeni s provedenou analýzou a následně ohodnotili jednotlivá kritéria body 1-5. Tato varianta byla při hodnocení rozdělena na dvě. První z nich je kompletní přechod na 3DEXperience platformu a druhá varianta zahrnuje přechod na 3DEXperience se zachováním současného systému správy dat. Totožně jako tomu bylo u přechodu na NX je tabulka 7 rozdělena ještě na řešení on-premise a cloudové. Výpočet celkového hodnocení probíhal totožně jako v případě přechodu na systém NX.

Z tabulky 7 je vidět, že nejlepší možnost při přechodu na platformu 3DEXperience je varianta kompletního přechodu na systém ENOVIA s nasazením systému jako cloudové řešení. Důležité je, ale zmínit, že rozdíl mezi variantu on-premise a cloudovou je pouze jedna desetina bodu. Hlavní rozdíl v hodnocení těchto variant nastal u kritérií hardware a aktualizace, kdy on-premise nasazení získalo méně bodů v kritériu hardware, naopak tomu bylo u kritéria aktualizace.



Tabulka 7: Hodnocení přechodu na 3DExperience

Oblast	Váha oblastí	Kritéria	Váha kritérií	3DExperience - ENOVIA		3DExperience - xPDM	
				Ohodnocení		Ohodnocení	
				On-premise	Cloud	On-premise	Cloud
IT administrace	26,89%	Hardware	24,21%	38	54	38	54
		Licenční mechanismus	22,01%	48	48	48	48
		Aktualizace	24,21%	40	25	40	25
		Bezpečnost	29,56%	55	55	55	55
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	55	55	55	55
		Specializované funkce	25,74%	49	49	49	49
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	55	55	55	55
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	38	38	38	38
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	55	55	55	55
		Ergonomie práce	31,33%	50	50	50	50
		Podobnost práce s předešlým systémem	34,67%	48	48	48	48
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícím formátem	32,17%	42	42	42	42
		Migrace dat	34,97%	40	40	40	40
		Množství podporovaných formátů	32,87%	39	39	39	39
PDM	12,39%	Kompatibilita s firemními standardy	57,28%	14	14	16	16
		Komplikovanost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémem	42,72%	51	51	28	28
Celkové hodnocení				<b>45,7</b>	<b>45,8</b>	<b>44,6</b>	<b>44,7</b>

## 12. Doporučení varianty

Na základě provedených analýz lze říct, že jak 3DExperience, tak NX nabízejí výkonné funkce a jedinečné výhody, které z nich činí vhodnou volbu pro následníka stávajícího CAD systému. Velmi názorně to zobrazuje obrázek 20. Na obrázku je vidět sloupcový graf, jehož osa znázorňuje rozsah bodů, kterých mohla každá varianta dosáhnout.

Společnost Siemens, dodavatel systému NX, se řídí obchodním přístupem, který se přiklání k prodeji jednotlivých systémů. Komplexního řešení lze však dosáhnout při využití všech jejich nabídek v tandemu. Naopak 3DExperience je koncipován jako komplexní platforma, která slibuje efektivní interoperabilitu všech svých komponent.

Přechod na systém NX, spojený ať už se stávajícím systémem CONNECT, nebo s Teamcenter by společnost Škoda Auto přiblížil k využití kompletního řešení společnosti Siemens, u kterého se předpokládá větší kompatibilita než u současného řešení. Je ale třeba poznamenat, že přijetí systému NX vyžaduje značné přizpůsobení, aby odpovídal provozním potřebám společnosti Škoda Auto. Tento proces by vyžadoval intenzivní spolupráci mezi společnostmi Škoda Auto a Siemens. Naproti tomu 3DExperience nabízí výhodu předem přizpůsobených nástrojů v podobě CAA aplikací, které jsou navrženy tak, aby efektivně vyhovovaly potřebám organizace. CAA aplikace navíc nabízejí relativně jednoduchou možnost vývoje nových funkcí.

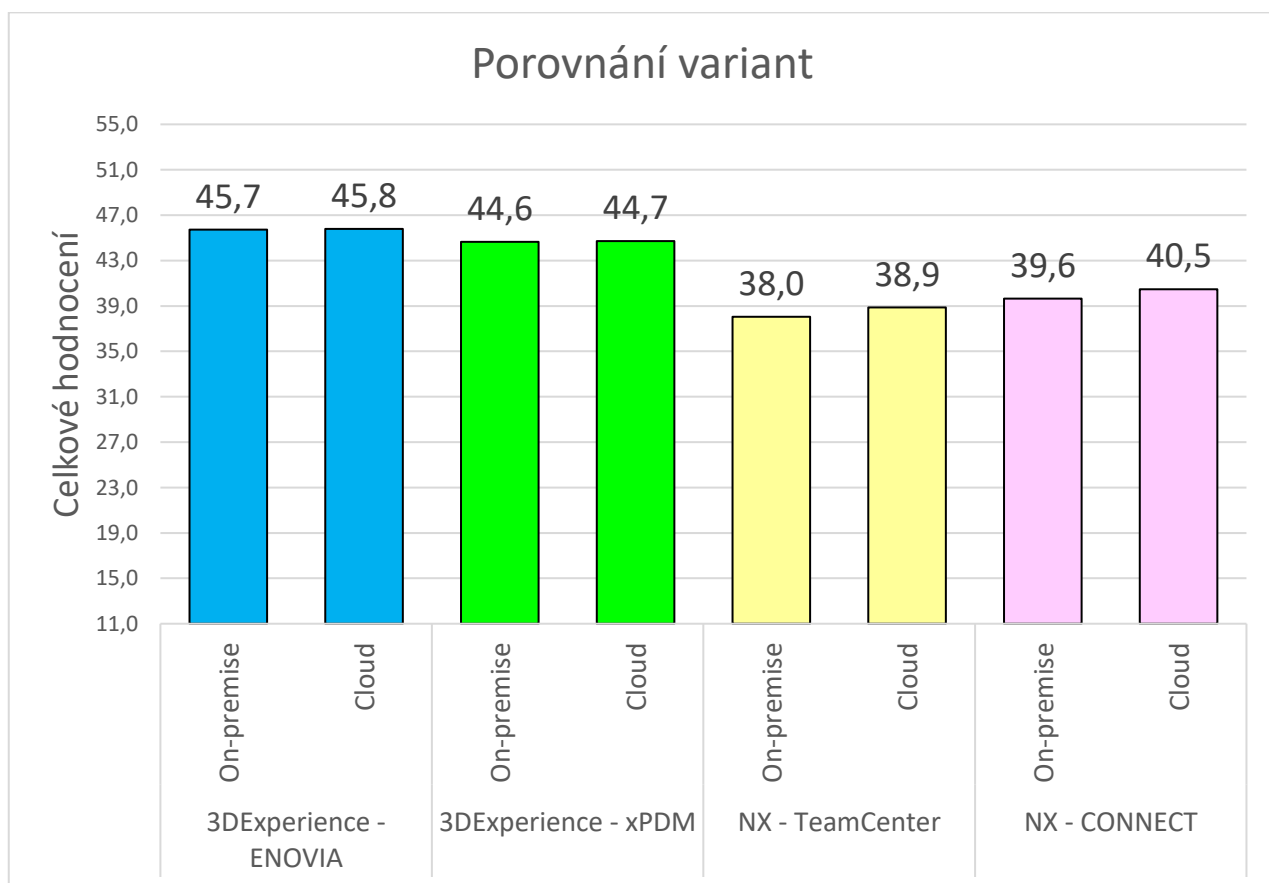
Přechod z CATIA V5-6 na 3DExperience by byl pro zaměstnance plynulejší, což by potenciálně snížilo odpor ke změně. Ačkoli zaměstnanci přecházející z CREO budou mít s oběma alternativami podobné zkušenosti, převažující používání CATIA V5-6 nad CREO mezi zaměstnanci dává 3DExperience výhodu.

Důležitým faktem při zavádění systému 3DExperience je jeho povinné propojení s PDM systémem ENOVIA, což by mělo dopad nejen na vývojové oddělení. Varianta zavedení dalšího PDM systému by mohla potenciálně přivést přílišnou složitost již decentralizované správy dat a nemyslím si, že je správnou variantou. Nicméně systém CONNECT není v současné době schopen podporovat proces uvolňování, který by mohl být řízen systémem ENOVIA za předpokladu, že by byl přizpůsoben tak, aby splňoval příslušné standardy.

Pokud jde o převod dat, tak objem dat, která je třeba transformovat, je v případě systému 3DExperience ve srovnání s NX výrazně nižší.

Konečné rozhodnutí nakonec bude do značné míry záviset na ochotě společnosti Škoda Auto a širšího koncernu přejít na jiný PDM systém, nebo přizpůsobovat CAD systém jejich potřebám.

Na základě dostupných současných informací a analýz bych navrhol zvažít přechod na cloudové řešení 3DExperience a nahrazení stávajícího PDM systému kompletně systémem ENOVIA. Cloudové nasazení systému s sebou přináší nižší požadavky na hardware, a i úsporu ve zdrojích, které musí být na údržbu systému vynakládány. Moje doporučení je potvrzeno i srovnáním jednotlivých systémů v tabulce 8 respektive obrázku 20. Jedná se však pouze o doporučení a konečné rozhodnutí je na společnosti Škoda Auto s ohledem na její specifické organizační potřeby a dlouhodobé strategické plány.



Obrázek 20: Porovnání všech variant

Tabulka 8: Celkové srovnání variant

Oblast	Váha oblastí	Kritéria	Váha kritérií	3DExperience - ENOVIA		3DExperience - xPDM		NX - TeamCenter		NX - CONNECT	
				Ohodnocení	Cloud	Ohodnocení	Cloud	Ohodnocení	Cloud	Ohodnocení	Cloud
IT administrace	26,89%	Hardware	24,21%	38	54	38	54	37	52	37	52
		Licenční mechanismus	22,01%	48	48	48	48	37	52	37	52
		Aktualizace	24,21%	40	25	40	25	39	23	39	23
		Bezpečnost	29,56%	55	55	55	55	55	55	55	55
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	55	55	55	55	55	55	55	55
		Specializované funkce	25,74%	49	49	49	49	50	50	50	50
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	55	55	55	55	33	33	33	33
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	38	38	38	38	23	23	23	23
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	55	55	55	55	18	18	18	18
		Ergonomie práce	31,33%	50	50	50	50	50	50	50	50
		Podobnost práce s předějším systémem	34,67%	48	48	48	48	26	26	26	26
		Kompatibilita se stávajícím formátem	32,17%	42	42	42	42	19	19	19	19
Datový formát	11,78%	Migrace dat	34,97%	40	40	40	40	25	25	25	25
		Množství podporovaných formátů	32,87%	39	39	39	39	55	55	55	55
PDM	12,39%	Kompatibilita s firemními standardy	57,28%	14	14	16	16	15	15	48	48
		Komplikovanost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémem	42,72%	51	51	28	28	52	52	38	38
Celkové hodnocení				45,7	45,8	44,6	44,7	38,0	38,9	39,6	40,5

## 13. Závěr

V diplomové práci byl položen nezbytný teoretický základ, jehož účelem bylo nabídnout komplexní pochopení toho, proč musí být tyto systémy nasazeny v podniku, jako je Škoda Auto, a osvětlit základní procesy, které musí podporovat.

Ve studii došlo k analýze konkrétních CAD systémů, které se v současné době ve společnosti Škoda Auto používají. Tato analýza se rozšířila na zkoumání přizpůsobení současného CAD systému tak, aby splňoval jedinečné požadavky společnosti, spolu se zkoumáním zavedeného PDM systému. Následně byla provedena SWOT analýza, pomocí které byly přehledně představeny silné a slabé stránky současného stavu.

Na základě zkoumání současných systémů CAD a PDM byla v práci provedena hloubková srovnávací analýza dvou nejpravděpodobnějších alternativ: přechod na NX nebo na 3DEXperience. Během analýzy bylo použito volně dostupných zdrojů, byli kontaktováni dodavatelé systémů, implementační společnosti, analytické společnosti a části diplomové práce byly konzultovány s odborníkem, který v minulosti vedl obdobnou změnu v jiné společnosti. Zjištěné informace byly pravidelně diskutovány na setkání s oddělením systémů vozu a konstrukčních metod a aplikovány na konkrétní případy. Provedená analýza byla pro obě varianty shrnuta pomocí metody SWOT a pro hodnocení těchto variant byl vytvořen hodnotící nástroj, který posuzuje možné řešení z pěti úhlů pohledu a pomocí 16 kritérií, kterým byla přiřazena váha a body vybranými zaměstnanci Škoda Auto. S přihlédnutím k získaným výsledkům bylo nabídnuto doporučení pro jednu z alternativ s komentářem o její vhodnosti.

Cíle této komplexní diplomové práce bylo dosaženo, neboť poskytla společnosti Škoda Auto podpůrný materiál, který jí pomůže v rozhodovacím procesu při úvahách o změně systému CAD.

Vhodným rozšířením provedeného srovnání by byla důkladná analýza zmíněných PDM systémů, které jsou s CAD neodmyslitelně spojeny a do značné míry mohou ovlivnit konečné hodnocení. Tato studie se sice okrajově těmito systémy zabývala, ale jejich hloubková analýza je vysoce nad rámec této diplomové práce.

## 14. Citovaná literatura

- NARAYAN, K., K. RAO a M.M.M. SARCAR. *Computer Aided Design and Manufacturing*. 2. New Delhi: PHI Learning, 2013. ISBN ISBN-978-81-203-3342-0.
- 1] OGEWELL, Verdi. A Million Dollar Question: Where is BMW Going as its SAP PLM System Grows Old?. In: <https://www.engineering.com/> [online]. Ontario, Kanada, 2022 [cit. 2023-07-06]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/a-million-dollar-question-where-is-bmw-going-as-its-sap-plm-system-grows-old>
- BETHANY. How CAD Has Evolved Since 1982. In: <https://www.scan2cad.com/> [online]. 2019 [cit. 2023-07-06]. Dostupné z: [www.scan2cad.com](https://www.scan2cad.com)
- 3] WEISBERG, David E. History of CAD. In: <https://www.shapr3d.com> [online]. 2022 [cit. 2023-07-06]. Dostupné z: <https://www.shapr3d.com/blog/history-of-cad>
- 4] The Fascinating History of Computer-Aided Design. In: [Logicalcadsolutions.com](https://logicalcadsolutions.com) [online]. 2022 [cit. 2023-07-06]. Dostupné z: <https://logicalcadsolutions.com/history-of-cad/>
- 5] BARNHART, Ben. The Birth of Bézier Curves & How It Shaped Graphic Design. In: [Www.vectornator.io](https://www.vectornator.io) [online]. 2022 [cit. 2023-07-06]. Dostupné z: <https://www.vectornator.io/blog/bezier-curves/>
- 6] MCNEEL, Robert. What are NURBS?. In: *Rhinoceros* [online]. Seattle, 2022 [cit. 2023-07-06]. Dostupné z: <https://www.rhino3d.com/features/nurbs/>
- 7] HUNDE, Bonsa a Abraham WOLDEYOHANNES. Future prospects of computer-aided design (CAD) – A review from the perspective of artificial intelligence (AI), extended reality, and 3D printing. *Results in Engineering*.
- 8]

2022, 14. ISSN ISSN 2590-1230. Dostupné z:  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100478>.

9] MONIZZA, Gabriele, Cristina BENDETTI a Dominik MATT. Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry. *Automation in Construction*. 2018, (92), 270-285. ISSN ISSN 0926-5805. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.027>

10] CHANG, Kuang-Hua. *E-Design: computer-aided engineering design*. New York: Academic Press, 2015. ISBN 978-0-12-382038-9.

11] PLM (Product Lifecycle Management). In: <https://www.ptc.com/> [online]. [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: <https://www.ptc.com/en/technologies/plm>

12] Product Lifecycle Management. In: <https://www.oracle.com/cz/scm/product-lifecycle-management/what-is-plm/> [online]. [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: <https://www.oracle.com/cz/scm/product-lifecycle-management/what-is-plm/>

13] GAZARKH, Maria. Everything you need to know about CAD file formats. In: *Cadexchanger.com* [online]. CADEX, 2021 [cit. 2023-07-06]. Dostupné z: <https://cadexchanger.com/blog/everything-you-need-to-know-about-cad-file-formats/>

14] BRUNNER, Helmut, Patrick ROSSBACHER a Mario HIRZ. *Sustainable product development: provision of information in early automotive engineering phases*. Graz University of Technology: Institute of Automotive Engineering, 2017.

15] *Integrated computer-aided design in automotive development*. New York: Springer, 2012. ISBN 978-3-642-11939-2.

16] HIRZ, Mario, Patrick ROSSBACHER a Jana GULANOVÁ. Future Trends in CAD – from the Perspective of Automotive Industry. *Computer-Aided*

- Design and Applications*. 2017, 14(6), 734-741. Dostupné z: doi:doi:10.1080/16864360.2017.1287675
- 2022 Výroční zpráva. In: <https://reporting.skoda-auto.cz> [online].
- 17] 2022 [cit. 2023-07-24]. Dostupné z: [https://reporting.skoda-auto.cz/Skoda\\_Auto-Annual\\_Report-2022-CZ.pdf](https://reporting.skoda-auto.cz/Skoda_Auto-Annual_Report-2022-CZ.pdf)
- AYSHA, M. CATIA, all you need to know about this CAD software. In:
- 18] <https://www.3dnatives.com> [online]. 2020 [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/catia-cad-310720204/>
- BERNARD, Francis. A short history of CATIA & Dassault Systemes. In:
- 19] <http://forum.3dcatia.com/> [online]. 2003 [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <http://forum.3dcatia.com/Download/catia-3dexperience-tarihcesi-3dcatia-history-what.pdf>
- CATIA. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco
- 20] (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/CATIA>
- PATEL, Amit. What is CATIA?. In: <https://www.technia.com> [online]. [cit.
- 21] 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.technia.com/blog/what-is-catia/>
- PATEL, Amit. CATIA V5, V6, 3DEXPERIENCE... is it all still CATIA?. In:
- 22] <https://www.technia.us/> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.technia.us/blog/catia-v5-v6-3dexperience-is-it-all-still-catia/>
- Transition from CATIA V5-6 to 3DEXPERIENCE: At First Glance. In:
- 23] <https://www.cati.com/> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.cati.com/blog/transition-from-catia-v5-6-to-3dexperience-at-first-glance/>
- CATIA screenshots. In: <https://www.practicalcatia.com> [online]. [cit.
- 24] 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.practicalcatia.com/index.html>



- Pro/ENGINEER is Now Creo. In: <https://www.ptc.com/> [online]. [cit. 25] 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.ptc.com/en/products/creo/pro-engineer>
- Creo: Design The Way It Should Be. In: <https://www.ptc.com/> [online]. 26] [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.ptc.com/en/products/creo>
- PTC CAD Creo. In: <https://www.aveng.cz/> [online]. Česká republika [cit. 27] 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.aveng.cz/software-services/software/ptc-creo>
- Addon. In: <https://wiki.freecad.org/> [online]. 2022 [cit. 2023-07-12]. 28] Dostupné z: <https://wiki.freecad.org/Addon>
- VACEK, Jaroslav. ŠKODA AUTO A.S. *Metodická příručka - DoLittle*. 2020. 29] Interní materiál.
- LIN, Guang. ŠKODA AUTO A.S. *Netline V5 – Creating nets in CATIA V6-V*. 30] 2022. Interní materiál.
- LIN, Guang. ŠKODA AUTO A.S. *VALIDAT – User Manual for GRC and* 31] *VWGGRC Lite*. 2023. Interní materiál.
- LIN, Guang. ŠKODA AUTO A.S. *OutGen – Application for data Exchange* 32] *files creation at CATIA V5-V6*. 2023. Interní materiál.
- ČTRNÁCTÝ, Marek. ŠKODA AUTO A.S. *Metodická příručka – Catia V5 –* 33] *CAVA Bampers a Barriers*. 2020. Interní materiál.
- ČTRNÁCTÝ, Marek. ŠKODA AUTO A.S. *Metodická příručka – CAVA –* 34] *Interior Minimum Radius*. 2020. Interní materiál.
- ČTRNÁCTÝ, Marek. ŠKODA AUTO A.S. *Metodická příručka – CAVA –* 35] *Minimum Radius*. 2021.
- TUREČEK, Kamil. ŠKODA AUTO A.S. *Metodická příručka RPS/LTA TOOL*. 36] 2020. Interní materiál.

- TUREČEK, Kamil. ŠKODA AUTO A.S. *VTPart Creator*. 2022. Dostupné také z: <https://wiki.skoda.vwgroup.com/display/CMPTV/VTPart+Creator>
- GERNOTH, Katrin. *Syncrofit*. 2022. Interní materiál. Dostupné také z: [Group.wiki.wob.vw.vwg/wikis/display/KDVT/syncrofit](https://group.wiki.wob.vw.vwg/wikis/display/KDVT/syncrofit)
- KALLENBACH, Manfred. ŠKODA AUTO A.S. *WebNTA*. 2020. Interní materiál. Dostupné také z: <https://group-wiki.wob-vw-vwg/wikis/display/KDVT/WebNT>
- IVAN, Urban. ŠKODA AUTO A.S. *ELENA*. 2022. Interní materiál. Dostupné také z: <https://wiki.skoda.vwgroup.com/display/IED/ELENA>
- URBAN, Ivan. ŠKODA AUTO A.S. *VOBES*. 2023. Interní materiál. Dostupné také z: <https://wiki.skoda.vwgroup.com/display/IED/VOBES>
- ŠEVČÍK, Petr. ŠKODA AUTO A.S. *Metodická příručka - EETools*. 2022. Interní materiál.
- FERANI, Mehdi. ŠKODA AUTO A.S. *CADGlyph 1.7*. 2017. Interní materiál.
- REKTORÍK, Luděk. ŠKODA AUTO A.S. *3DCaliper 4.6 User Guide*. 2020. Interní materiál.
- ŠKODA AUTO A.S. *3DCaliper*. Interní materiál. Dostupné také z: <https://creo.mb.skoda.vwg/aplikace/3Dcaliper/index.shtml>
- BOSENBERG, Torsten a Jan VESECKÝ. ŠKODA AUTO A.S. *VW ModelCheck – Uživatelská příručka*. 2019. Interní materiál.
- SIEVERDING, Hubert, Cordula KOBERMANN, Katja GREVE a Frederic BRZOSKA. ŠKODA AUTO A.S. *HyperKVS- User manual – Fundamentals, Operation, and Terminology*. 2014. Interní materiál.
- VACEK, Jaroslav. ŠKODA AUTO A.S. *HyperKVS*. 2023. Interní materiál. Dostupné také z: <https://Wiki.skoda.vwgroup.com/display/CMPTV/Hyper+KVS>

- HLUBUČEK, Lukáš. ŠKODA AUTO A.S. *ECA – Základní informace*. 2023.
- 49] Interní materiál. Dostupné také z:  
<https://wiki.skoda.vwgroup.com/viewpage.action?pagelid=255198563>
- JECHURA, Václav. ŠKODA AUTO A.S. *CONNECT*. 2023. Interní materiál.
- 50] Dostupné také z:  
<https://wiki.skoda.vwgroup.com/display/CMPTV/CONNECT>
- GROUP, VolksWagen. VOLKSWAGEN AG. *CONNECT VWG*. 2023. Interní materiál.
- 51] Dostupné také z: <https://group-wiki.wob.vw.vwg/wikis/display/KONZERNPDM>
- NX FOR MANUFACTURING CAD for NC programming. In:
- 52] <https://plm.sw.siemens.com> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
<https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/manufacturing/cad-cam-nc-programming/>
- The 3DEXPERIENCE platform. In: <https://www.3ds.com> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/3dexperience>
- 53]
- Autodesk Inventor: Mechanical design software for ambitious ideas.
- 54] In: <https://www.autodesk.com/> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
<https://www.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=INVPROSA>
- Rhinoceros. In: <https://www.rhino3d.com> [online]. [cit. 2023-07-12].
- 55] Dostupné z: <https://www.rhino3d.com/features/#overview>
- Agile Product Design with Cloud-Native CAD & PDM. In:
- 56] <https://www.onshape.com> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
<https://www.onshape.com/en/>
- NX software. In: <https://plm.sw.siemens.com/> [online]. [cit. 2023-07-
- 57] 12]. Dostupné z: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/>

- Hardware and Software Certifications. In:  
58] <https://support.sw.siemens.com> [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z:  
<https://support.sw.siemens.com/en-US/knowledge-base/PL8017193>
- Siemens PLM Licensing User Guide. In:  
59] <https://docs.plm.automation.siemens.com> [online]. [cit. 2023-07-20].  
Dostupné z:  
[https://docs.plm.automation.siemens.com/data\\_services/resources/nx/  
11.0.1/nx\\_help/custom/en\\_US/ugslicensing/SPLMLicensing\\_user\\_guid  
e.pdf](https://docs.plm.automation.siemens.com/data_services/resources/nx/11.0.1/nx_help/custom/en_US/ugslicensing/SPLMLicensing_user_guide.pdf)
- NX CAD deployment and bundle options. In:  
60] <https://plm.sw.siemens.com> [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z:  
[plm.sw.siemens.com](https://plm.sw.siemens.com)
- Siemens Trust Center. In: <https://www.sw.siemens.com> [online].  
61] 2023 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: [https://www.sw.siemens.com/cs-  
CZ/trust-center/](https://www.sw.siemens.com/cs-CZ/trust-center/)
- NX for automotive. In: <https://www.plm.automation.siemens.com/>  
62] [online]. 2021 [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
[https://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/Images/Siemens-PLM-  
NX-for-Automotive-br\\_tcm1023-233712.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/Siemens-PLM-NX-for-Automotive-br_tcm1023-233712.pdf)
- NX for Automotive Suppliers. In: <https://www.geoplms.com> [online].  
63] 2022 [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: [https://www.geoplms.com/knowledge-  
base-resources/GEOPLM-Siemens-PLM-NX-for-Automotive-Suppliers.pdf](https://www.geoplms.com/knowledge-base-resources/GEOPLM-Siemens-PLM-NX-for-Automotive-Suppliers.pdf)
- Wiring harness design software. In: <https://plm.sw.siemens.com/>  
64] [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: [https://plm.sw.siemens.com/cs-  
CZ/nx/cad-online/ecad-software/wire-harness-design/](https://plm.sw.siemens.com/cs-CZ/nx/cad-online/ecad-software/wire-harness-design/)
- Powerful Design for Manufacturing Software-DFMPro. In:  
65] <https://dfmpro.com/> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
<https://dfmpro.com/>

- SIMON, Vincent. NX data formats. In: <https://www.cadinterop.com/>  
66] [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.cadinterop.com/en/formats/cad-systems/nx.html>
- Content Migration Manager. In: <https://blogs.sw.siemens.com>  
67] [online]. 2018 [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/nx-design/content-migration-manager/>
- JT Recommendation: Comprehensive Collection of Industrial JT Use  
68] Cases. *Prostep ivip Association*. 2021. ISSN ISBN 978-3-9812689-9-7.
- Teamcenter PLM software. In: <https://plm.sw.siemens.com> [online].  
69] [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/teamcenter/>
- Systém PLM řešení Teamcenter. In: <https://plm.sw.siemens.com>  
70] [online]. [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://plm.sw.siemens.com/cs-CZ/teamcenter/>
- Switching to Siemens Teamcenter PLM. In: <https://oneplm.com>  
71] [online]. [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://oneplm.com/switching-to-teamcenter-plm/>
- STORVIK, Johannes. What is the 3DEXPERIENCE Platform?. In:  
72] <https://www.technia.com> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.technia.com/blog/what-is-the-3dexperience-platform/>
- DUCHAINÉ, Chris. Comparing Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE  
73] Platform On-Premise vs. Cloud: Understanding the Differences and  
Choosing the Right Solution for You. In: <https://trimech.com/> [online]. 2023  
[cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://trimech.com/blog/comparing-dassault-systemes-3dexperience-platform-on-premise-vs-cloud>
- Certified Workstations. In: <https://www.3ds.com> [online]. [cit. 2023-  
74] 07-20]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/support/hardware-and-software/hardware-and-software-configurations/>

- Welcome to the 3DEXPERIENCE store. In: *Https://www.3ds.com*  
75] [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/store>
- Mechanical design engineering made easy with CATIA. In:  
76] *Https://www.3ds.com* [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z:  
<https://www.3ds.com/store/catia-mechanical-designer>
- DIVAKARAN, Jessica. Why SaaS is Key to Improving Scalability and  
77] Accelerating Innovation. In: *Https://blog.3ds.com* [online]. 2023 [cit. 2023-  
07-20]. Dostupné z: <https://blog.3ds.com/topics/cloud/why-saas-is-key-to-improving-scalability-and-accelerating-innovation/>
- 3DEXPERIENCE® PLATFORM CLOUD SECURITY & PRIVACY. In:  
78] *Https://discover.3ds.com* [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z:  
<https://discover.3ds.com/sites/default/files/2022-04/3DEXPERIENCE-Cloud-Security-Privacy-Whitepaper-EN.pdf>
- The SIMULIA Simulation Software Portfolio. In: *Https://www.3ds.com/*  
79] [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/>
- CAA CATIA V5 portage towards CATIA V6 or CATIA 3DEXPERIENCE. In:  
80] *Https://www.atthis.com/* [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
[https://www.atthis.com/EN/Fiches\\_techniques/html/Portage\\_CAA\\_V5\\_CAA\\_3DEXP.html](https://www.atthis.com/EN/Fiches_techniques/html/Portage_CAA_V5_CAA_3DEXP.html)
- Developer guides. In: *Https://www.3ds.com* [online]. [cit. 2023-07-  
81] 12]. Dostupné z:  
<https://www.3ds.com/support/documentation/developers-guides/>
- 3DExperience Solutions. In: *Https://my.3dexperience.3ds.com*  
82] [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
<https://my.3dexperience.3ds.com/welcome/compass-world/3dexperience-industries/industrial-equipment>
- Create a Customised Drawing Border in 3DEXPERIENCE. In:  
83] *Https://www.technia.com* [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:

<https://www.technia.com/blog/create-a-customised-drawing-border-in-3dexperience/>

CATIA V5 to 3DEXPERIENCE Transition Course. In:  
84] <https://www.technia.com> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
<https://www.technia.com/training/catia-v5-to-3dexperience-transition/>

Certified 3DEXPERIENCE Training Courses. In:  
85] <https://www.technia.com> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
<https://www.technia.com/training/course-category/3dexperience/>

Design in CATIA 3DEXPERIENCE using CATIA V5 Data. In:  
86] <https://support.ptc.com/> [online]. [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
[https://support.ptc.com/help/windchill/plus/r12.0.2.0/en/index.html#page/Windchill\\_Help\\_Center/WWGMCATIAV6ADVCATIAV5toCATIAV6cmigration.html](https://support.ptc.com/help/windchill/plus/r12.0.2.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Center/WWGMCATIAV6ADVCATIAV5toCATIAV6cmigration.html)

What is the 3DEXPERIENCE Make ?. In: <https://www.3ds.com> [online].  
87] [cit. 2023-07-12]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/make>

3DEXPERIENCE ENOVIA. In: <https://www.3ds.com> [online]. [cit. 2023-  
88] 07-12]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products/enovia/3dexperience>

V6-XPDM Gateway. In: <https://www.hcltech.com> [online]. [cit. 2023-  
89] 07-12]. Dostupné z: <https://www.hcltech.com/engineering-rd-services/product-lifecycle-management-plm/products-and-technologies/v6-xpdm-gateway>

How to Prep for a PDM Migration. In: <https://trimech.com> [online]. [cit.  
90] 2023-07-12]. Dostupné z: <https://trimech.com/blog/how-to-prep-for-a-pdm-migration>

Big Bang Implementation vs Phased Approach. In: <https://www.top-sage-resellers.com> [online]. 2017 [cit. 2023-07-12]. Dostupné z:  
91] <https://www.top-sage-resellers.com/blog/big-bang-erp-implementation-vs-phased-approach-pros-and-cons>

## 15. Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma inteligentního CAD systému [8] .....	20
Obrázek 2: Ukázka Generative Design [9] .....	21
Obrázek 3: Schéma PDM systému [10] .....	33
Obrázek 4: Schéma Product Data Exchange [10] .....	37
Obrázek 5: Příklad procesu vývoje automobilu [15] .....	39
Obrázek 6: Organizace Škoda Auto .....	43
Obrázek 7: Porovnání uživatelského rozhraní [24] .....	47
Obrázek 8: Sít vytvořena pomocí VW Netline [30] .....	49
Obrázek 9: Postup tvorby adaptérů [32] .....	50
Obrázek 10: Hodnocení vnějšího průměru pomocí CAA CAVA [35] .....	51
Obrázek 11: Díl s definovaným RPS a otvorem [36] .....	52
Obrázek 12: Díl s definovanými body svaření [37] .....	52
Obrázek 13: Rozhraní WebNTA [39] .....	53
Obrázek 14: Rozhraní Modpar [46] .....	55
Obrázek 15: Tvorba elektrických svazků v NX [64] .....	64
Obrázek 16: Možné postupy migrace dat .....	66
Obrázek 17: 3DExperience kompas [73] .....	71
Obrázek 18: Změna kódu z CATIA V5 na CATIA 3DExperience .....	74
Obrázek 19: Schématické zobrazení první možnosti řešení PDM .....	77
Obrázek 20: Porovnání všech variant .....	83

## 16. Seznam tabulek

Tabulka 1: příklad CAD formátů [13] .....	35
Tabulka 2: Tabulka se systémy a nástroji .....	45
Tabulka 3: Kritéria pro přechod na nový systém .....	61
Tabulka 4: Přehled funkcí v NX .....	63
Tabulka 5: Hodnocení přechodu na NX .....	70
Tabulka 6: Stav funkcí v 3DExperience .....	74
Tabulka 7: Hodnocení přechodu na 3DExperience .....	81
Tabulka 8: Celkové srovnání variant .....	84



## 17. Seznam příloh

Příloha 1: SWOT analýza stávajícího stavu CAD systému ve Škoda Auto

	Slabé stránky (Weaknesses)
Interní záležitosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD systémy využívají PDM systémy, které jsou fragmentované a existuje potřeba jejich lepší centralizace.</li> <li>• Standardní CAD systém není vždy přizpůsoben potřebám automotive.</li> <li>• Použití více CAD a PDM vede ke zvýšení komplexnosti zejména pro nové uživatele.</li> <li>• Použití různých CAD systémů, PDM systémů a na ně napojených nástrojů vyžaduje extenzivní školení zaměstnanců.</li> </ul>
	Hrozby (Threats)
Externí záležitosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Závislost na externím softwaru, jako je CREO a CATIA, znamená, že podléhá rizikům spojenými s těmito systémy, včetně změn cen, podpory nebo směru vývoje.</li> <li>• Rostoucí digitalizace návrhových a vývojových procesů znamená zvýšené riziko kybernetických útoků, která by mohly ohrozit citlivá data.</li> <li>• CAD technologie podléhají neustálému vývoji, což by mohlo způsobit zastaralost stávajících systémů, pokud nebudou pravidelně aktualizovány.</li> <li>• Využívání standardního systému je spojeno s nucenými aktualizacemi systému.</li> </ul>
	Příležitosti (opportunities)
Interní záležitosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zaměstnanci jsou sžiti se zavedeným CAD systémem.</li> <li>• Existuje široká škála externě a interně vyvinutých nástrojů, které usnadňují práci konstruktérů a zvyšují efektivitu vývoje.</li> <li>• Zavedené procesní metodiky a postupy</li> <li>• Využití rozšířeného standardního CAD softwaru, což zajišťuje kompatibilitu s mnoha dodavateli a partnery.</li> <li>• Škoda Auto využívá silné stránky dvou zavedených CAD systémů.</li> <li>• CATIA umožňuje snadný vývoj externích nástrojů.</li> </ul>
Externí záležitosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zavedení jednotného CAD systému může přinést lepší funkcionalitu a zvýšit efektivitu vývoje.</li> <li>• Integrace jednotného PDM systému by mohla zlepšit správu a sdílení konstrukčních dat ve společnosti a s dodavateli</li> <li>• Rozvoj a implementace nových nástrojů by mohl zvýšit produktivitu konstruktérů.</li> <li>• Digitální transformace probíhající v automobilovém průmyslu představuje příležitost rozšíření CAD a jeho integraci s novými technologiemi jako AI a strojové učení.</li> </ul>

	<b>Silné stránky (Strengths)</b>	<b>Slabé stránky (Weaknesses)</b>
<b>Interní záležitosti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komplexní funkčnost – spojení CAD, CAM, CAE</li> <li>• NX nabízí specializované nástroje pro automotive.</li> <li>• Integrované simulační nástroje</li> <li>• On-premise a cloud verze</li> <li>• Kompatibilita se zavedeným systémem správy dat</li> <li>• Jedná se o rozšířený standardní CAD software, což zajišťuje kompatibilitu s mnoha dodavateli a partnery.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Štírná křivka učení pro zaměstnance</li> <li>• Změna systému je spojena s dočasným snížením produktivity.</li> <li>• Kompatibilní PDM systém CONNECT je pro proces uvolňování závislý na systému Hyper KVS.</li> <li>• Pro zajištění integrity a konzistence dat je nutné zavést podnikové standardy.</li> <li>• Omezené možnosti vývoje externích nástrojů</li> </ul>
	<b>Příležitosti (opportunities)</b>	<b>Hrozby (Threats)</b>
<b>Externí záležitosti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardizace procesů pomocí manuálů by mohla zvýšit produktivitu.</li> <li>• Zvýšení kompatibility CAD a PDM systémů</li> <li>• NX poskytuje způsoby AR a VR implementace.</li> <li>• Centralizace a zefektivnění návrhu elektrických svazků</li> <li>• Vytvoření jednotného prostředí pro celou společnost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Přechod na NX může vést k odporu zaměstnanců nebo potížím při adaptaci.</li> <li>• Při přechodu na nový systém může dojít ke znehodnocení dat.</li> <li>• Během testování a plánování nebudou odhalena všechna rizika.</li> <li>• Cloud verze je spojena s nucenými aktualizacemi ze strany dodavatele.</li> <li>• Závislost na externím softwaru znamená, že podléhá rizikům spojenými s těmito systémy, včetně změn cen, podpory nebo směru vývoje.</li> </ul>

	<b>Silné stránky (Strengths)</b>	<b>Slabé stránky (Weaknesses)</b>
<b>Interní záležitosti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poskytuje společné prostředí pro spolupráci všech zúčastněných stran v procesu vývoje</li> <li>• Návrh, simulace, výroba a řízení projektů v jedné platformě</li> <li>• On-premise a Cloud verze</li> <li>• Kompatibilita velké části dat s novým systémem</li> <li>• Umožňuje přizpůsobení stávajících CAA aplikací a maker, čímž zachovává předchozí investice do vývoje a přizpůsobení.</li> <li>• Relativně krátká křivka učení pro uživatele znací CATIA V5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Přechod z PTC CREO na CATIA 3DExperience vyžaduje delší dobu na zaškolení zaměstnanců</li> <li>• Cloudové řešení poskytuje menší kontrolu nad daty a zabezpečení ve srovnání s On-premise</li> <li>• Počáteční Investice a náklady na údržbu On-premise jsou vyšší než Cloudové</li> <li>• Standardní CAD systém není vždy přizpůsoben potřebám automotive.</li> <li>• Pro využívání CATIA 3DExperience je nutné zavést další PDM systém , nebo kompletně přejít na nový.</li> <li>• Nový PDM systém musí být přizpůsoben potřebám Škoda Auto.</li> </ul>
	<b>Příležitosti (opportunities)</b>	<b>Hrozby (Threats)</b>
<b>Externí záležitosti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centralizace PDM systému při zvolení varianty kompletního přechodu na nový PDM</li> <li>• Cloudové řešení může škálovat zdroje dle potřeb.</li> <li>• Možnost AR a VR implementace</li> <li>• Vytvoření jednotného prostředí pro celou společnost</li> <li>• Využívání kolaborativních schopností 3DExperience může vést k rychlejšímu procesu vývoje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zavedení dalšího PDM systému by mohlo zvýšit komplexnost celého systému.</li> <li>• Přechod na 3DExperience může vést k odporu zaměstnanců nebo potížím při adaptaci.</li> <li>• Při přechodu na nový systém může dojít ke znehodnocení dat zvlášť ze strany PTC CREO.</li> <li>• Cloud verze je spojena s nucenými aktualizacemi ze strany dodavatele.</li> <li>• Během testování a plánování nebudou odhalena všechna rizika.</li> <li>• Závislost na externím softwaru znamená, že podléhá rizikům spojenými s těmito systémy, včetně změn cen, podpory nebo směru vývoje.</li> </ul>

Příloha 4: Zdrojová data pro výpočet váhy kritérií

Oblast	Váha oblasti	Kritéria	Váha - ES/4	Váha ES/4	Váha ES/4	Váha ES/4	Váha ES/4	Váha ES/4	Váha IT	Váha IT	Váha Konstrukce	Váha konstrukce	Váha konstrukce	Váha CELKOVÁ	Váha kritérií
IT Administrace	26,89%	Hardware	6	6	7	5	7	6	8	8	8	8	8	77	<b>24,21%</b>
		Licenční mechanismus	6	7	7	6	7	6	8	7	5	5	6	70	<b>22,01%</b>
		Aktualizace	8	7	7	7	6	6	7	9	8	6	6	77	<b>24,21%</b>
		Bezpečnost	9	10	10	8	9	10	10	10	8	7	6	7	94
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	8	8	10	10	8	10	8	10	10	9	10	101	<b>29,88%</b>
		Specializované funkce	6	7	9	6	7	8	8	8	9	9	10	87	<b>25,74%</b>
		Možnost vývoje nových funkcí	10	10	9	10	10	9	8	8	9	10	10	103	<b>30,47%</b>
		Kompatibilita s interními standardy	4	5	5	4	3	4	5	4	4	5	4	47	<b>13,91%</b>
Uživatelské	16,92%	Doba školení	3	5	4	4	5	3	3	3	8	6	7	51	<b>34,00%</b>
		Ergonomie práce	3	3	2	2	2	3	4	4	8	8	8	47	<b>31,33%</b>
		Podobnost práce s předešlým systémem	2	3	3	4	4	4	6	4	8	7	7	52	<b>34,67%</b>
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícími formáty	3	5	5	3	2	5	5	5	4	4	5	46	<b>32,17%</b>
		Migrace dat	5	5	4	3	4	4	7	6	3	4	5	50	<b>34,97%</b>
		Množství podprovaných formátů	5	5	3	5	2	4	6	6	3	4	4	47	<b>32,87%</b>
PDM	12,39%	Kompatibilita s interními standardy	4	5	5	4	5	2	7	5	6	8	8	59	<b>57,28%</b>
		Komplikovanost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémem	3	4	3	4	2	3	7	4	4	5	5	44	<b>42,72%</b>

Příloha 5: Zdrojová data pro výpočet váhy oblastí

Určení váhy oblastí																	
	9	7	7	7	8	10	10	9	9	7	10	6	8	8	8	89	26,89%
IT	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	10	10	9	10	10	106	32,02%
Funkce	4	5	6	6	4	4	4	6	6	4	5	8	5	5	5	56	16,92%
Uživatelé	3	3	5	5	3	5	5	4	4	4	5	3	2	2	2	39	11,78%
Formát	3	5	5	5	3	3	3	4	4	3	3	4	3	5	5	41	12,39%
PDM																331	

Příloha 6: Zdrojová data pro hodnocení NX – TeamCenter

Oblast	Váha oblastí	Kritéria	Váha	ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		IT		IT		Konstrukce		Konstrukce		Konstrukce				
				On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud			
IT a Administrace	26,89%	Hardware	24,21%	4	5	4	5	3	5	4	5	3	4	3	5	3	5	3	4	4	5	3	5	3	4	
		Licenční mechanismus	22,01%	3	5	3	5	4	5	3	5	4	5	3	4	3	5	3	4	4	5	4	5	3	4	
		Aktualizace	24,21%	4	2	4	3	4	3	3	1	4	2	4	2	3	2	4	3	3	1	3	2	3	2	
		Bezpečnost	29,56%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
		Specializované funkce	25,74%	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2	
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	
		Ergonomie práce	31,33%	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5	
		Podobnost práce s předchozími systémy	34,67%	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	1	1	
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícími formáty	32,17%	2	2	1	1	2	2	1	1	3	3	1	1	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	
		Migrace dat	34,97%	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	1	1	3	3
		Množství podporovaných formátů	32,87%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
PDM	12,39%	Kompatibilita s interními standardy	57,28%	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	
		Komplexnost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémy	42,72%	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	5	5

Příloha 7: Zdrojová data pro hodnocení NX – CONNECT

Oblast	Váha oblastí	Kritéria	Váha	ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		IT		IT		Konstrukce		Konstrukce		Konstrukce				
				On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud			
IT a Administrace	26,89%	Hardware	24,21%	4	5	4	5	3	5	4	5	3	4	3	5	3	5	3	4	4	5	3	5	3	4	
		Licenční mechanismus	22,01%	3	5	3	5	4	5	3	5	4	5	3	4	3	5	3	4	4	5	4	5	3	4	
		Aktualizace	24,21%	4	2	4	3	4	3	3	1	4	2	4	2	3	2	4	3	3	1	3	2	3	2	
		Bezpečnost	29,56%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
		Specializované funkce	25,74%	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	3	3	2	2	3	3	4	4	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2	
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	
		Ergonomie práce	31,33%	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5	
		Podobnost práce s předchozími systémy	34,67%	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	1	1	
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícími formáty	32,17%	2	2	1	1	2	2	1	1	3	3	1	1	3	3	2	2	1	1	2	2	1	1	
		Migrace dat	34,97%	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	1	1	3	3
		Množství podporovaných formátů	32,87%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
PDM	12,39%	Kompatibilita s interními standardy	57,28%	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	
		Komplexnost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémy	42,72%	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Příloha 8: Zdrojová data pro hodnocení 3DExperience – ENOVIA

Oblast	Váha oblastí	Kritéria	Váha	ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		IT		IT		Konstrukce		Konstrukce		Konstrukce				
				On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud			
IT a Administrace	26,89%	Hardware	24,21%	4	5	3	4	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	4	5	4	5	4	5	3	5	
		Licenční mechanismus	22,01%	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4
		Aktualizace	24,21%	4	3	3	2	3	1	4	2	4	3	4	2	3	2	4	2	4	3	4	3	3	3	2
		Bezpečnost	29,56%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		Specializované funkce	25,74%	4	4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		Ergonomie práce	31,33%	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4
		Podobnost práce s předchozími systémy	34,67%	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícími formáty	32,17%	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	
		Migrace dat	34,97%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4
		Množství podporovaných formátů	32,87%	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4
PDM	12,39%	Kompatibilita s interními standardy	57,28%	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	
		Komplexnost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémy	42,72%	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5



Příloha 9: Zdrojová data pro hodnocení 3DExperience – xPDM

Oblast	Váha oblastí	Kritéria	Váha	ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		ES/4		IT		IT		Konstrukce		Konstrukce		Konstrukce				
				On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud	On-premise	Cloud			
IT a Administrace	26,89%	Hardware	24,21%	4	5	3	4	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	4	5	4	5	3	5			
		Licenční mechanismus	22,01%	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4		
		Aktualizace	24,21%	4	3	3	2	3	1	4	2	4	3	4	2	3	2	4	2	4	3	4	3	2		
		Bezpečnost	29,56%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
Funkcionalita	32,02%	Základní funkce	29,88%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
		Specializované funkce	25,74%	4	4	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4	
		Možnost vývoje nových funkcí	30,47%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
		Kompatibilita s interními standardy	13,91%	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	
Uživatelé	16,92%	Doba školení	34,00%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
		Ergonomie práce	31,33%	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	
		Podobnost práce s předchozími systémy	34,67%	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4	
Datový formát	11,78%	Kompatibilita se stávajícími formáty	32,17%	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	
		Migrace dat	34,97%	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4
		Množství podporovaných formátů	32,87%	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4
PDM	12,39%	Kompatibilita s interními standardy	57,28%	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	
		Komplexnost propojení zvoleného PDM řešení s CAD systémy	42,72%	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3