

VYSOKÁ ŠKOLA POLYTECHNICKÁ JIHLAVA

Studijní program

**VIRTUÁLNÍ PROTOTYP, ŘÍZENÝ EXTERNĚ
ZADÁVANÝMI PARAMETRY**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. David Straka

Vedoucí práce: Ing. Bc. Karel Dvořák, Ph.D.

Jihlava 2026

Vysoká škola polytechnická Jihlava

Tolstého 16, 586 01 Jihlava

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. David Straka
Studijní program:	Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi
Garant studijního programu:	doc. Ing. Radek Kolman, Ph.D.
Název práce:	Virtuální prototyp, řízený externě zadávanými parametry
Vedoucí práce:	Ing. Bc. Karel Dvořák, Ph.D.
Cíl práce:	Cílem tématu je vytvoření a popis metodiky tvorby přesného parametrického modelu sestavy - virtuálního prototypu v CAD nástroji NX. Parametrizace modelů komponent i sestavy je řízena prostřednictvím externího nástroje s odpovídajícím uživatelským rozhraním. Tím je umožněno řízení konfigurací modelu prostřednictvím parametrů, získaných z nástrojů mimo CAD aplikaci a současně je možné modifikovat model uživateli bez znalostí ovládní konkrétní aplikace. Parametrizace, řízená externím nástrojem dovoluje realizovat široké spektrum simulací v rámci vývoje modifikací produktu. Výstupem práce je konkrétní parametrizovaný virtuální prototyp a příslušné uživatelské rozhraní externího nástroje pro zadávání parametrů, včetně příslušného popisu metodiky parametrického řízení příslušných konfigurací.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tvorbou metodiky pro vývoj externě řízeného virtuálního prototypu hlavní svorkovnice vysokonapěťového motoru v prostředí Siemens NX. Hlavním problémem v technické praxi je vysoká variabilita výbavy svorkovnic, která vyžaduje zdoluhavou tvorbu velkého množství specifických modelů. Navržené řešení spočívá ve vytvoření robustního parametrického modelu, jehož logika je definována pomocí výrazů (*expressions*) a řízena externím rozhraním v programu MS Excel. Tato integrace umožňuje generovat validní konfigurace modelu uživatelům bez pokročilé znalosti CAD systému. Výstupem práce je funkční parametrizovaná sestava a uživatelské rozhraní, které společně zrychlují proces konstrukce, snižují chybovost a zjednodušují přípravu zakázkové dokumentace. Navržená metodika představuje efektivní nástroj pro automatizaci inženýrských činností v rámci digitálního vývoje výrobku.

Klíčová slova

Virtuální prototyp; Siemens NX; Parametrické modelování; Sestava; Optimalizace

Abstract

This diploma thesis focuses on the creation of a methodology for the development of an externally controlled virtual prototype of a high-voltage motor's main terminal box within the Siemens NX environment. A significant issue in current engineering practice is the high variability of terminal box equipment, which necessitates the time-consuming creation of a large number of specific models. The proposed solution involves developing a robust parametric model whose logic is defined by expressions and controlled via an external interface in MS Excel. This integration enables users without advanced CAD knowledge to generate valid model configurations and documentation. The output of this work is a functional parameterized assembly and a user interface that collectively accelerate the design process, reduce error rates, and simplify the preparation of order documentation. The proposed methodology represents an effective tool for automating engineering activities within the framework of digital product development.

Keywords

Virtual prototype; Siemens NX; Parametric modeling; Assembly; Optimization

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, v platném znění, dále též „AZ“).

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje **AZ**, zejména § 60 (školní dílo).

Podle § 47b zákona o vysokých školách souhlasím se zveřejněním své práce podle Směrnice pro vedení, vypracování a zveřejňování závěrečných prací na VŠPJ, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

Beru na vědomí, že VŠPJ má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠPJ, která má právo ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených vysokou školou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše), z výdělku dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence.

V Jihlavě dne 14. dubna 2026

.....

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Bc. Karlu Dvořákovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, mimořádnou ochotu a cenné metodické připomínky v průběhu celého procesu zpracování této práce. Zvláštní poděkování mu náleží za čas věnovaný konzultacím nad rámec standardní pracovní doby, a to i v pozdních večerních hodinách.

Obsah

Seznam obrázků.....	7
Seznam tabulek	9
Seznam zkratk.....	10
Úvod	11
1 Teoretická část	12
1.1 Virtuální prototypování a digitální dvojčata	12
1.2 Přístupy k automatizaci konstrukce	16
1.3 Parametrické modelování a logika v Siemens NX.....	19
1.4 Metodika tvorby sestav v Siemens NX	25
1.5 Interní a externí uživatelská rozhraní pro konfiguraci	30
1.6 Architektura a komponenty svorkovnice	34
2 Praktická část	36
2.1 Analýza současných metodických postupů a návrh optimalizace	36
2.2 Tvorba sestavy svorkovnice	38
2.3 Řízení konfigurace sestavy pomocí uživatelských výrazů	47
2.4 Rozšíření konfigurační logiky a správa variantních materiálů	50
2.5 Propojení virtuálního prototypu s externím datovým rozhraním	55
3 Diskuse	60
Závěr	61
Seznam použité literatury	62
Přílohy.....	66

Seznam obrázků

Obr. 1: Tok dat v digitálním modelu	13
Obr. 2: Tok dat v digitálním stínu	13
Obr. 3: Tok dat v digitálním dvojčeti	13
Obr. 4: Příklad užití digitálního dvojčete	14
Obr. 5: Reprezenční model motoru	15
Obr. 6: Model analyzovaný metodou konečných prvků	16
Obr. 7: Příklad architektury KBE	17
Obr. 8: Porovnání generativního a tradičního návrhu	18
Obr. 9: Integrované prostředí CAD/CAE/CAM v systému Siemens NX	21
Obr. 10: Implementace vnořené podmínky v editoru výrazů systému Siemens NX	24
Obr. 11: Prostředí v režimu sestavy v systému Siemens NX	25
Obr. 12: Grafické znázornění procesu zdola nahoru	27
Obr. 13: Grafické znázornění procesu zdola nahoru shora dolů	28
Obr. 14: Postup vazbení komponent pomocí CSYS	29
Obr. 15: Dialogové okno Expressions	30
Obr. 16: Příklad vytvořeného rozhraní pomocí PTS	31
Obr. 17: Příklad načtených hodnot z MS Excel v NX Expressions	33
Obr. 18: Svorkovnice 1XF46---3FA pro elektromotory Innomotics HV M	34
Obr. 19: Struktura statické šablony v prostředí Siemens NX	37
Obr. 20: Návrh rozčlenění komponent do podsestav	39
Obr. 21: Nastavení filtru výběru na základě barev	40
Obr. 22: Poloha a orientace souřadného systému pro přepětové kondenzátory	41
Obr. 23: Změna názvu souřadného systému (CSYS)	41
Obr. 24: Využití funkce Measure pro multiplikování komponent	42
Obr. 25: Dialogové okno pro definici parametrů souřadného systému Datum CSYS	43
Obr. 26: Umístění a orientace souřadného systému pro modul přepětového kondenzátoru	43
Obr. 27: Skříň svorkovnice s definovanými referenčními souřadnými systémy	44
Obr. 28: Dialogové okno pro zobrazení hladin	45
Obr. 29: Nastavení filtru pro souřadné systémy	45
Obr. 30: Využití náhledového zobrazení při integraci modulu přepětových kondenzátorů	46
Obr. 31: Zobrazení komponent s plně vymezenými stupni volnosti v navigátoru vazeb	46
Obr. 32: Správce výrazů s definovanou skupinou vstupních parametrů	47
Obr. 33: Dialogové okno Suppression s vazbou na uživatelský výraz	48
Obr. 34: Struktura odvozených parametrů ve skupině Dependent	48
Obr. 35: Implementace logické podmínky v rozhraní Conditional Builder	49
Obr. 36: Konfigurace závislých výrazů pro materiálové varianty	50
Obr. 37: Vizualizace integrovaných nerezových pomocných svorkovnice	51
Obr. 38: Definice a orientace souřadných systémů pro upevnění krytů	51
Obr. 39: Logické výrazy zajišťující automatizaci krytů	52
Obr. 40: Detail sestavy s aplikovanými kryty na montážních otvory	52
Obr. 41: Proces vytváření vazeb mezi výrazy různých úrovní sestavy	53
Obr. 42: Seznam importovaných parametrů ve skupině Interpart Expressions	53

Obr. 43: Konfigurovaný stav přípojnic s viditelnými oky pouze pro svodiče přepětí	54
Obr. 44: Vytvořené výrazy pro řízení tloušťky přípojnic	55
Obr. 45: Vstupních dat v prostředí MS Excel	56
Obr. 46: Načtení hodnoty z Excelu v editoru výrazů.....	56
Obr. 47: Vstupní výrazy navázané na externí zdroj	57
Obr. 48: Upravená syntaxe funkcí ug_excel_read využívající parametrizovanou cestu	57
Obr. 49: Struktura archivačního listu.....	58
Obr. 50: Zdrojový kód VBA skriptu pro automatizovanou archivaci parametrů	58
Obr. 51: Finální verze systémových výrazů v Siemens NX	59
Obr. 52: Uživatelské rozhraní v MS Excel s integrovanou legendou komponent	59

Seznam tabulek

Tab. 1: Aritmetické operátory v Siemens NX.....	22
Tab. 2: Přehled datových typů v Siemens NX	23
Tab. 3: Relační, rovnostní a logické operátory v Siemens NX	24
Tab. 4: Charakteristika montážních vazeb v Siemens NX	26
Tab. 5: Barevné rozlišení a terminologie komponent modelu	39
Tab. 6: Definice zkratk komponent pro parametrizaci sestavy.....	48
Tab. 7: Definice zkratk pro pomocné svorkovnice.....	49

Seznam zkratk

CAD	Computer-Aided Design (počítačem podporované navrhování)
CAE	Computer-Aided Engineering (počítačem podporované inženýrství)
CAM	Computer-Aided Manufacturing (počítačem podporovaná výroba)
CAX	Computer-aided technologies (počítačová podpora inženýrských činností)
CFD	Computational Fluid Dynamics (metody výpočetní hydrodynamiky)
CSYS	Coordinate System (souřadný systém)
DCT	Differential Current Transformers (diferenciální proudové transformátory)
ETO	Engineer-to-Order (zakázkové inženýrství)
FEA	Finite Element Analysis (simulace metodou konečných prvků)
FEM	Finite Element Method (metoda konečných prvků)
GD	Generative Design (generativní design)
GUI	Graphical User Interface (uživatelské rozhraní)
KBE	Knowledge-Based Engineering (znalostní inženýrství)
LA	Lightning arresters (svodiče přepětí)
MCT	Metering Current Transformers (měřicí proudové transformátory)
PDC	Partial Discharge Couplers (vazební členy pro částečné výboje)
PDM	Product Data Management (správa produktových dat)
PLM	Product Lifecycle Management (správa životního cyklu výrobku)
PTS	Product Template Studio
SC	Surge Capacitors (přepětíové kondenzátory)
SH	Space heater (antikondenzační vyhřívání)
SNAP	Simple NX Application Programming (nástroj pro rychlou automatizaci v NX)
UML	Unified Modeling Language (unifikovaný modelovací jazyk)
VBA	Visual Basic for Applications (programovací jazyk pro makra)

Úvod

V současném dynamickém prostředí strojírenského průmyslu již není otázkou, zda digitalizovat konstrukční procesy, ale jakým způsobem to provést co nejefektivněji. Právě na tento požadavek reaguje tato diplomová práce, která se zaměřuje na vývoj metodiky pro tvorbu externě řízeného virtuálního prototypu hlavní svorkovnice. Hlavní výzvu v technické praxi představuje vysoká variabilita konfigurací, která v běžném konstrukčním procesu vynucuje časově náročnou tvorbu unikátních modelů pro každou novou nebo technicky neaktuální variantu. Navržené řešení spočívá ve vytvoření robustního parametrického modelu, jehož logika je definována pomocí výrazů (*expressions*) a řízena externím rozhraním v programu MS Excel. Tato integrace umožňuje generovat validní konfigurace modelu i uživatelům bez pokročilé znalosti CAD systému.

Základem navržené metodiky je vytvoření univerzálního modelu, který v rámci jedné struktury integruje standardní varianty a komponenty tvořící běžné portfolio nabízených řešení. Tato sestava v sobě zahrnuje široké spektrum prvků, od měřících transformátorů proudu, antikondenzačního vyhřívání a přepětových ochran až po specifické tloušťky přípojníc či různé materiály pomocných svorkovnic. Jednotlivé prvky jsou následně na základě externě zadávaných parametrů automaticky zobrazovány nebo potlačovány. Tímto způsobem vytvořený model slouží jako univerzální základna, ze které lze efektivně odvozovat převážnou většinu reálných konfigurací vyskytujících se v technické praxi.

Využití nástroje MS Excel v roli uživatelského rozhraní pro definování vstupních parametrů vychází především z jeho vysoké dostupnosti a intuitivnosti pro široké spektrum uživatelů. Klíčový aspekt technického řešení pak spočívá v návrhu takové struktury podsestav a vazeb, která zajišťuje stabilitu modelu i při široké variabilitě zadávaných hodnot. Správně definovaná hierarchie sestavy je v tomto kontextu nezbytná pro eliminaci chybivosti při automatizované rekonfiguraci modelu.

Navržená metodika představuje efektivní nástroj pro automatizaci inženýrských činností v rámci digitálního vývoje výrobku. Výsledkem je funkční řešení, které spojuje akademické poznatky s reálnými požadavky průmyslové praxe, zrychluje proces konstrukce a zásadně zjednodušuje přípravu zakázkových konfigurací.

1 Teoretická část

Teoretická část diplomové práce poskytuje nezbytný literární a metodický rámec pro vývoj inteligentního virtuálního prototypu v prostředí moderních CAx systémů. První kapitoly jsou věnovány konceptům virtuálního prototypování a digitálních dvojčat, které reflektují současné trendy v digitálním vývoji produktů. Dále je pozornost zaměřena na přístupy k automatizaci konstrukčních procesů a využití znalostního inženýrství pro eliminaci rutinních úloh. Stěžejní část teorie se zabývá technickou implementací v systému Siemens NX, konkrétně logikou parametrizace, využitím uživatelských výrazů a metodikou tvorby stabilních sestav, jež jsou klíčové pro robustnost variabilních modelů. Závěrečné sekce pak propojují softwarové nástroje s možnostmi externího konfiguračního rozhraní a popisují specifickou architekturu a komponenty vysokonapěťových svorkovnic, které tvoří technický základ pro následnou praktickou realizaci.

1.1 Virtuální prototypování a digitální dvojčata

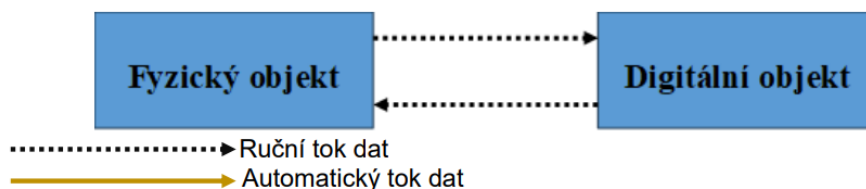
V moderním procesu vývoje produktů se nasazení pokročilých digitálních nástrojů stalo naprostým standardem, který zásadně transformoval tradiční inženýrské postupy. Současná inženýrská praxe využívá sofistikované platformy pro počítačovou podporu inženýrských činností (CAE), které umožňují komplexní hodnocení a vylepšování produktů na systémové úrovni, nikoliv pouze izolovaně po částech. Virtuální prototypování je v tomto kontextu chápáno jako inženýrská disciplína zahrnující modelování produktů, simulaci a optimalizaci jejich chování v podmínkách odpovídajících reálnému provozu (Alexandru a kol., 2020).

Hlavním cílem tohoto přístupu je nahrazení nákladných a časově náročných fyzických experimentů digitálními modely, které jsou schopny věrně reprezentovat formu, funkčnost a trvanlivost vyvíjeného zařízení. Virtuální prototyp, často označovaný také jako digitální maketa (*Digital Mock-up*), je definován jako počítačová simulace fyzického produktu, kterou lze testovat a analyzovat z hlediska různých aspektů životního cyklu (návrh, výroba, servis) stejně, jako by se jednalo o skutečný fyzický model (Alexandru a kol., 2020; Wang, 2002).

1.1.1 Diferenciace digitálních modelů, stínů a dvojčat

Při implementaci virtuálního prototypování v rámci technického návrhu je nezbytné přesně definovat úroveň propojení mezi fyzickým objektem a jeho virtuální reprezentací. V odborné literatuře se na základě směru a míry automatizace datových toků rozlišují tři základní koncepty, které definují hloubku digitální integrace (Segovia a Garcia-Alfaro, 2022).

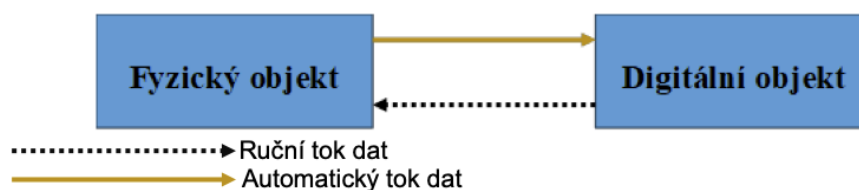
Základním stupněm je digitální model, v kontextu inženýrského vývoje často ztotožňovaný s pojmem virtuální prototyp. Tento koncept představuje digitální verzi existujícího nebo teprve plánovaného fyzického objektu, u něhož však neexistuje žádná automatizovaná výměna dat mezi oběma stavy. Jakákoliv změna provedená na reálném stroji nemá přímý vliv na digitální model a stejně tak úpravy v digitálním prostředí neovlivňují fyzické zařízení, tento proces je znázorněn na obrázku 1. Z hlediska procesní automatizace se jedná o statickou reprezentaci, která nachází své primární uplatnění ve fázi konstrukčního návrhu a specifikace systému. (Segovia a Garcia-Alfaro, 2022).



Obr. 1: Tok dat v digitálním modelu

Zdroj: Veszprémi a Raška (2024)

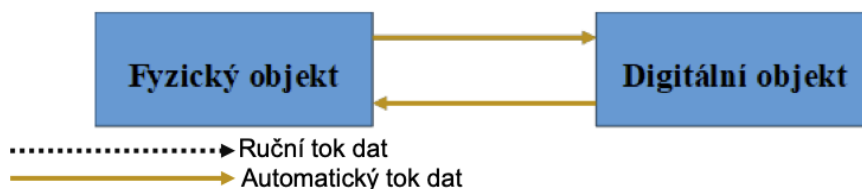
Pokročilejší úroveň digitální integrace představuje digitální stín. V tomto scénáři je již implementován jednostranný automatizovaný tok dat, který směřuje od fyzického objektu k digitálnímu modelu. Virtuální reprezentace je tedy průběžně aktualizována na základě informací získaných z reálného světa, čímž věrně zrcadlí stav fyzického stroje v čase. Digitální model v této konfiguraci však postrádá schopnost zpětně ovlivňovat fyzický objekt prostřednictvím automatizovaných řídicích příkazů. Grafické vyjádření tohoto jednostranného propojení v rámci digitálního stínu uvádí obrázek 2 (Segovia a Garcia-Alfaro, 2022).



Obr. 2: Tok dat v digitálním stínu

Zdroj: Veszprémi a Raška (2024)

Nejvyššího stupně integrace dosahuje digitální dvojče. Tento koncept představuje stav, kdy jsou datové toky mezi fyzickým a virtuálním objektem plně integrovány a probíhají automaticky oběma směry. Princip této obousměrné konektivity, která je pro digitální dvojče charakteristická, je graficky znázorněn na obrázku 3. Změna stavu fyzického objektu vede k okamžité aktualizaci digitálního modelu a současně rozhodnutí, analýzy nebo simulace provedené ve virtuálním prostředí přímo ovlivňují chování a stav fyzického zařízení. Právě tato obousměrná konektivita umožňuje digitálnímu dvojčeti v reálném čase monitorovat, simulovat, diagnostikovat a predikovat budoucí stavy fyzického systému (Segovia a Garcia-Alfaro, 2022).



Obr. 3: Tok dat v digitálním dvojčeti

Zdroj: Veszprémi a Raška (2024)

Zásadní rozdíl mezi digitálním dvojčetem a tradiční simulací spočívá v dynamice datového propojení. Zatímco běžné simulační metody pracují s fixními předpoklady o budoucích stavech, digitální dvojče díky neustálé synchronizaci sleduje aktuální i historickou trajektorii reálně provozovaného objektu. Tato kontinuální výměna informací umožňuje optimalizaci provozu na základě aktualizovaných dat ze senzorů, což překonává omezení klasických statických modelů (Segovia a Garcia-Alfaro, 2022).

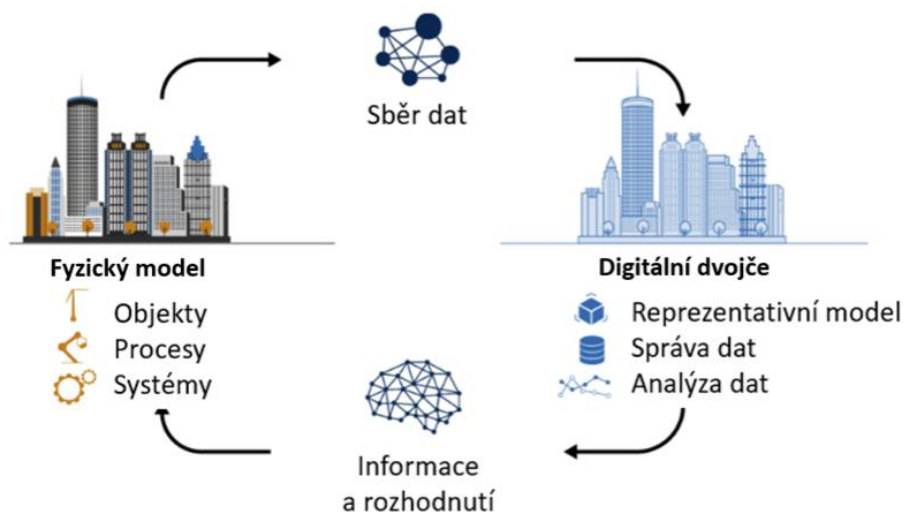
1.1.2 Role virtuálního prototypu v rámci životního cyklu výrobku

V rámci platformy pro správu životního cyklu výrobku (*Product Lifecycle Management – PLM*) plní virtuální prototyp ústřední roli integračního a analytického nástroje, který umožňuje prezentovat, analyzovat a testovat produkt napříč fázemi návrhu, výroby, servisu i recyklace. Tato role spočívá především ve sjednocení dat a odstranění izolovaných systémů, přičemž PLM platformy integrují procesy a informace do jednotného kolaborativního prostředí. Tímto způsobem je efektivně podporován koncept souběžného inženýrství (*Concurrent Engineering*), kdy na rozdíl od využití izolovaných aplikací dokáže virtuální prototyp integrovat veškerá data o produktu do jediné sjednocené reprezentace (Wang, 2002; Zorriassatine, 2003).

Dalším zásadním přínosem je možnost predikce nákladů a hodnocení variant návrhu v raných fázích vývoje. Strukturu produktu lze do virtuálního prototypu načíst ze systémů pro počítačem podporované navrhování (CAD) nebo ze systémů pro správu produktových dat (PDM) a následně ji znázornit ve formě stromového modelu. Tento přístup umožňuje predikovat výrobní náklady a vyhodnocovat spolehlivost či udržitelnost různých alternativ návrhu ještě před zahájením fyzické výroby, čímž se minimalizuje riziko nákladných dodatečných úprav (Zorriassatine, 2003).

Začlenění virtuálního prototypu do PLM systému rovněž výrazně podporuje kolaboraci napříč celým hodnotovým řetězcem. Tato integrace umožňuje společné plánování všech zúčastněných stran a optimalizuje kritické interakce mezi fází návrhu a samotnou výrobou. Díky tomu PLM platformy napomáhají k maximalizaci efektivity při využívání materiálů i lidských zdrojů, což ve výsledku zvyšuje celkovou konkurenceschopnost (Zorriassatine, 2003).

Úloha virtuálních modelů však nekončí v etapě designu, ale plynule přechází do fáze plánování výroby a následného sledování stavu zařízení (*health monitoring*). Modely a data jsou v tomto prostředí formálně provázány tak, aby operace prováděné různými uživateli v rámci životního cyklu nevedly k informačním nekonzistencím. Tento plynulý přechod od návrhu k monitorování zajišťuje integritu dat a umožňuje efektivní správu produktu i v jeho provozní fázi. Procesní cyklus sběru dat a následného rozhodování v rámci ekosystému digitálního dvojčete demonstruje obrázek 4 (Segovia a Garcia-Alfaro, 2022).



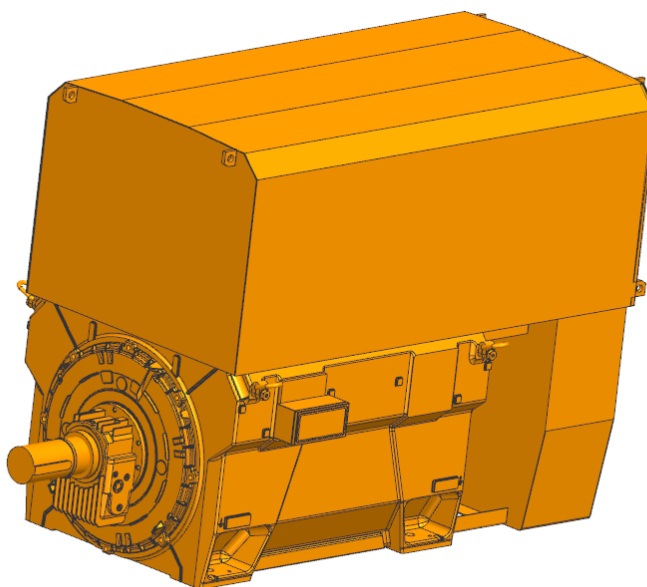
Obr. 4: Příklad užití digitálního dvojčete

Zdroj: Veszprémi a Raška (2024)

1.1.3 Virtuální prototyp v konstruktérské praxi

Nasazení virtuálních prototypů v inženýrské praxi je v rámci procesu vývoje produktu podmíněno konkrétními cíli, které má daný model ověřit. Metodiky vývoje produktů proto klasifikují prototypy do tří stěžejních kategorií na základě jejich primárního zaměření, jímž může být geometrie, funkce nebo vyrobiteľnosť (Zorriassatine a kol., 2003).

První kategorii představují strukturální neboli geometrické prototypy, které jsou určeny především k hodnocení estetických a prostorových vlastností výrobku. V prostředí moderních CAD systémů, jako je například Siemens NX, nacházejí tyto modely uplatnění zejména ve formě vizualizačních modelů sloužících k posouzení tvaru, barevného provedení či textur povrchů. Příklad geometrického prototypu sloužícího k prostorové reprezentaci stroje představuje obrázek 5. Takové modely jsou klíčové pro efektivní komunikaci mezi vývojovými týmy, marketingem a koncovým zákazníkem, neboť umožňují dynamické prohlížení objektu z libovolných úhlů. Další významnou oblastí využití strukturálních prototypů je analýza lícování a kolizí (*Fit and Interference*). Tento přístup v současnosti nahrazuje fyzické makety při ověřování správného sesazení komponent v rámci definovaných rozměrových tolerancí. Virtuální testování umožňuje automaticky detekovat geometrické přesahy a definovat vůle mezi součástmi, čímž se eliminuje riziko nákladných úprav výrobních nástrojů v pozdějších fázích realizace (Zorriassatine a kol., 2003).

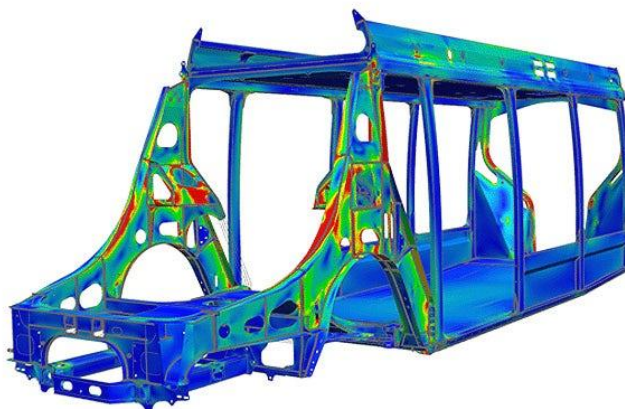


Obr. 5: Reprezentační model motoru

Zdroj: Vlastní zpracování

Na rozdíl od strukturálních modelů se funkční prototypy zaměřují na ověření fyzikálního chování a mechanických principů zařízení s cílem simulovat reálné provozní podmínky a potvrdit splnění výkonostních požadavků. V rámci inženýrských simulací se zde využívají především pohybové analýzy, zahrnující kinematické a dynamické studie pro hodnocení trajektorií, rychlostí a silových interakcí v mechanismu. Dále sem patří komplexní fyzikální a strukturální analýzy využívající metodu konečných prvků (FEM) k predikci napětí, deformací, únavy materiálu či šíření tepla.

Aplikaci funkčního prototypu při simulaci mechanického chování metodou konečných prvků ilustruje obrázek 6. Kromě strukturálních analýz se při vývoji virtuálních prototypů uplatňují rovněž metody výpočetní hydrodynamiky (CFD), které slouží k modelování a studiu proudění tekutin (Zorriassatine a kol., 2003).



Obr. 6: Model analyzovaný metodou konečných prvků

Zdroj: SIEMENS (© 2024b)

Poslední skupinu tvoří kombinované prototypy, což jsou komplexní digitální reprezentace propojující geometrické parametry s funkčními daty za účelem včasné identifikace potenciálních problémů ještě v předvýrobní fázi. V konstruktérské praxi tyto modely tvoří základ pro metodiky navrhování s ohledem na vyrobiteľnosť a montáž (*Design for Manufacture and Assembly*). Kombinovaný prototyp umožňuje simulovat nejen finální produkt, ale i samotné výrobní procesy, jako jsou sekvence montáže, kolizní stavy při manipulaci či ergonomické aspekty obsluhy s využitím virtuálních manekýnů. Tímto integrovaným přístupem se dosahuje optimálního vyvážení mezi realismem modelu a jeho výpočetní náročností, což koresponduje se zásadou vytvářet modely tak komplexní, jak je nezbytně nutné, a zároveň tak jednoduché, jak je to jen možné (Zorriassatine a kol., 2003; Alexandru a kol., 2020).

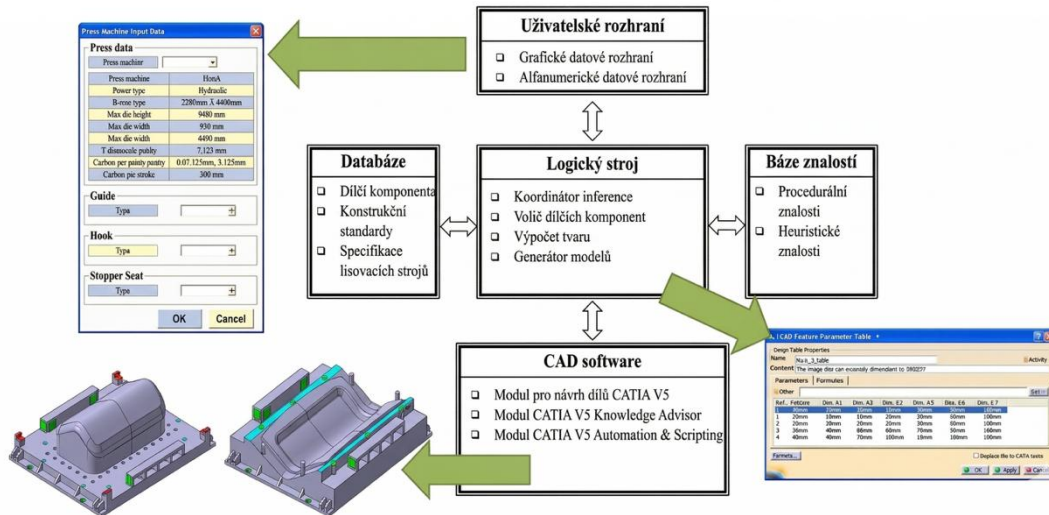
1.2 Přístupy k automatizaci konstrukce

V současném průmyslovém prostředí čelí proces vývoje produktů neustálému tlaku na zvyšování efektivity a zkracování inovačních cyklů při současné snaze o snižování nákladů. S rostoucí technickou náročností inženýrských děl se tradiční manuální postupy stávají neefektivními, neboť analýzy naznačují, že až 80 % činností v rámci konstrukčního procesu má rutinní a opakující se charakter, který nepřináší novou přidanou hodnotu (Zbiciak a kol., 2015). V případě malosériové výroby zaměřené na vysokou míru přizpůsobení mohou tyto nekreativní úkoly zabírat až 50 % celkového času návrhu (Gorski a kol., 2016). Hlavním nástrojem pro eliminaci této zátěže je automatizace konstrukce, která umožňuje transformovat vstupní požadavky přímo na automaticky generované 3D modely a výrobní dokumentaci. Aby byla automatizace ekonomicky rentabilní, je nezbytné zaměřit se na procesy s fixními algoritmy a jednoznačně definovanými vstupy, čímž se uvolňuje kapacita konstruktéra pro inovace a kreativní myšlení, které výpočetní systémy prozatím nedokáží plně nahradit.

1.2.1 Znalostní inženýrství

V přímé návaznosti na potřebu eliminace rutiny představuje znalostní inženýrství (*Knowledge-Based Engineering – KBE*) klíčovou technologii pro realizaci pokročilé automatizace. Tento přístup integruje objektově orientované programování, techniky umělé inteligence a CAD systémy za účelem zachycení a opakovaného využití inženýrských znalostí. Cílem KBE je transformovat expertní znalosti inženýrů do podoby pravidel, omezení a logických vazeb. Architektura těchto systémů je postavena na oddělení znalostní báze, obsahující explicitní pravidla, od odvozovacího mechanismu, který tato pravidla aplikuje na konkrétní požadavky. Příklad systémového uspořádání a vzájemné vazby jednotlivých modulů v architektuře KBE jsou zachyceny na obrázku 7 (Gorski a kol., 2016; Jubierre a Borrmann, 2015).

Pro úspěšnou formalizaci těchto expertních znalostí se využívají specializované metodiky, z nichž nejvýznamnější je standard MOKA. Tato metodika představuje obecně uznávaný inženýrský přístup, který využívá tzv. ICARE formuláře k neformálnímu zachycení znalostí. Ty jsou následně transformovány do formálních modelů v jazyce UML (*Unified Modeling Language*), což umožňuje jejich zpracování počítačem. Tímto způsobem lze automatizovat tvorbu komplexních variantních řešení, přičemž studie prokazují zkrácení doby vývoje specifických komponent až o 75 % při současné eliminaci lidských chyb (Gorski a kol., 2016; Amadori, 2012).



Obr. 7: Příklad architektury KBE

Zdroj: Gorski a kol. (2016)

1.2.2 Generativní design

Zatímco znalostní systémy pracují v rámci předem definovaných logických mantinelů, generativní design (*Generative Design – GD*) představuje iterativní přístup, který vnímá proces návrhu jako sled transformací vedoucích k velkému množství variant. GD autonomně prohledává široký prostor návrhových řešení (*Design Solution Space*) a generuje modely splňující specifické požadavky na hmotnost či tuhost. Samotný proces vytváření geometrie se opírá o matematické principy, konkrétně o tzv. grafové či prostorové gramatiky. Tyto mechanismy fungují jako soubory logických pravidel, která systému umožňují automaticky a rekurzivně vytvářet komplexní tvary a struktury (Li a kol., 2024).

V synergii s parametrickým designem a KBE slouží generativní design jako nástroj pro objevování radikálních topologií, které často přesahují lidskou představivost. Morfologické rozdíly mezi výsledkem tradičního inženýrského návrhu a topologicky optimalizovaného generativního designu jsou patrné z porovnání na obrázku 8. Zatímco GD exceluje v hledání tvarových alternativ a masivním generování variant v raných fázích vývoje, systémy KBE následně do těchto řešení implementují nezbytná inženýrská pravidla a inferenční mechanismy, jež umožňují jejich rychlou validaci. Tento integrovaný přístup nachází uplatnění zejména u komplexní topologické optimalizace dílů v letectví či robotice, kde je vyžadována vysoká míra strukturální efektivity s minimálním úsilím při vyhodnocování variant (Li a kol., 2024).



Obr. 8: Porovnání generativního a tradičního návrhu

Zdroj: SIEMENS (© 2026a)

1.2.3 Konfigurace produktu podle specifických požadavků zákazníka

Strategie zakázkového inženýrství (*Engineer-to-Order – ETO*), představuje produkční model, ve kterém je návrh produktu a jeho příprava do výroby zahájena až na základě specifických požadavků zákazníka. Tento přístup je tradičně spojován s oblastí kusové výroby, pro kterou je charakteristická vysoká míra individualizace produktu, avšak současně i značná časová a nákladová náročnost inženýrské činnosti. Za účelem udržení konkurenceschopnosti a zkrácení dodacích lhůt (*Customer Lead Time*) v rámci režimu rychlé odezvy (*Quick Response*) je pro podniky využívající ETO strategii nezbytné zvyšovat úroveň automatizace návrhu a eliminovat neefektivitu spojenou s tradičními manuálními postupy (Gorski a kol., 2016).

Implementace systémů znalostního inženýrství v rámci ETO strategie umožňuje do značné míry automatizovat rutinní procesy přípravy výroby. Jakmile jsou zadány konfigurační parametry prostřednictvím uživatelského rozhraní, systém na pozadí automaticky upraví parametrický model a vygeneruje 3D sestavy i výkresovou dokumentaci. Efektivitu těchto metodik lze demonstrovat na konkrétních datech z praxe. Jak uvádějí Gorski a kol. (2016), při aplikaci principů automatizované konfigurace u konstrukce kovaných spojek bylo dosaženo zásadní redukce časové náročnosti tvorby CAD modelů produktu a nástrojů z původních 660 minut na 10 minut. Úspěšná realizace zakázkové konfigurace tak nevyžaduje opakovaný návrh od nulového bodu, ale efektivní využití inteligentních modelů, které bezchybně transformují požadavky zákazníka do finálních výrobních dat (Gorski a kol., 2016).

1.3 Parametrické modelování a logika v Siemens NX

V moderním konstrukčním procesu představuje parametrické navrhování (*Parametric Design*) paradigmatický posun od tvorby statických geometrických entit k definici dynamických systémů. Tento přístup spočívá ve využití CAD systémů k automatické adaptaci návrhu na základě modifikace vstupních hodnot, což umožňuje plynulou aktualizaci geometrického modelu v libovolné fázi vývojového cyklu (Li a kol., 2024). Základním principem čistě parametrického modelování je striktní separace geometrických prvků a jejich řídicích parametrů. Požadavky na finální produkt jsou dekomponovány do sady proměnných, které jsou vzájemně provázány v hierarchické síti matematických, logických a geometrických relací (Aranburu a kol., 2022).

V prostředí systému Siemens NX je tato síť vztahů realizována primárně prostřednictvím modulu Expressions (výrazy), který slouží jako vnitřní databáze parametrů. Tyto parametry definují nejen rozměry, ale i polohové vazby a logické podmínky existence prvků. Klíčovým přínosem této architektury je vysoká míra flexibility a znovupoužitelnosti modelu. Robustní parametrický model umožňuje inženýrům prozkoumávat rozsáhlý prostor konstrukčních řešení pouhou úpravou numerických vstupů, což je nezbytným předpokladem pro procesy optimalizace a generování rozsáhlých produktových rodin (Li a kol., 2024; Aranburu a kol., 2022).

S rostoucí komplexitou sestav však narůstá i počet vzájemných závislostí. Nekontrolovaný rozvoj těchto vazeb může vést k nestabilitě modelu. Proto je nezbytné aplikovat formalizované metodiky, které zajišťují, že geometrické variace budou generovány konzistentně a bez chyb při regeneraci návrhového stromu (Aranburu a kol., 2022).

1.3.1 Princip a typy parametrizace

V rámci inženýrské praxe není parametrizace chápána jako monolitický nástroj, nýbrž jako soubor metodických přístupů, které se liší mírou abstrakce a způsobem řízení geometrické odezvy. Primární dělení reflektuje evoluci CAD systémů od prostého definování rozměrů až po komplexní systémy využívající formální pravidla a inženýrské znalosti.

Geometrická parametrizace představuje základní technickou implementaci, kde je digitální reprezentace objektu řízena skrze numerické a geometrické proměnné. Základním paradigmatem je transformace konstrukčních požadavků do sady parametrů, které jsou s geometrií provázány v hierarchické struktuře. Podstata této metody spočívá v existenci orientovaného grafu závislostí, v němž jsou jednotlivé konstrukční prvky (*features*) definovány skrze vztahy typu rodič-potomek (*parent-child relationships*) (Aranburu a kol., 2022).

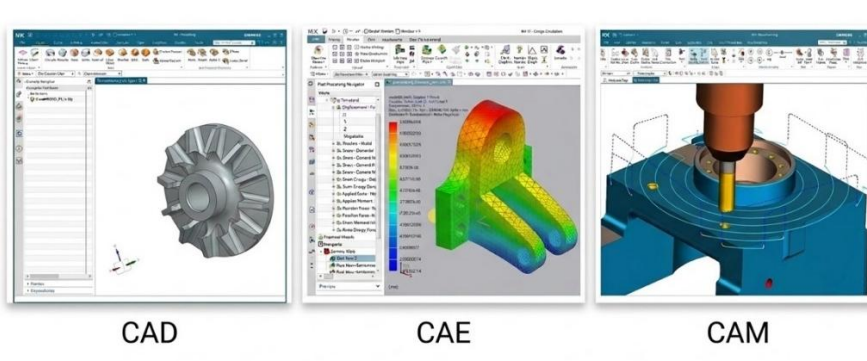
Tento přístup umožňuje efektivní generování variantních řešení pouhou modifikací vstupních hodnot, čímž dochází k automatické aktualizaci celého návrhového stromu. Limitem čistě geometrické parametrizace je však její rostoucí fragilita při zvyšování komplexity modelu. S narůstajícím počtem asociačních vazeb se model stává náchylným k topologickým kolapsům. I malá změna řídicího parametru může v neregulovaném návrhovém stromu vyvolat chybu při regeneraci geometrie, což v praxi často vede k nutnosti manuální re-modelace a degradaci přínosů automatizace (Li a kol., 2024; Aranburu a kol., 2022).

Pro eliminaci rizik spojených s nestabilitou geometrických modelů byly definovány formalizované strategie, souhrnně označované jako metodiky robustního modelování. Tyto strategie se nezaměřují pouze na samotnou existenci parametrů, ale primárně na architekturu jejich vazeb ke geometrii. Cílem je maximalizace flexibility a robustnosti. Robustní parametrizaci lze rozlišit tři klíčové metodické směry (Aranburu a kol., 2022):

- Horizontální modelování (*Horizontal Modeling*): Tato strategie cílí na naprostou izolaci jednotlivých konstrukčních prvků. Operace nejsou vázány na předchozí objemovou geometrii, nýbrž výhradně na stabilní referenční entity, jako jsou základní souřadnicové roviny (*datums*). Výhodou je zamezení řetězového šíření chyb, nevýhodou však může být nižší srozumitelnost inženýrského záměru pro externího uživatele (Aranburu a kol., 2022).
- Modelování pomocí explicitních referencí (*Explicit Reference Modeling*): Tato metodika představuje kompromis mezi stabilitou a asociační inteligencí. Systematicky redukuje hierarchické závislosti tím, že preferuje definování prvků skrze pomocné geometrické entity (*body*, *přímky*), čímž odděluje řídicí strukturu od finálního objemového těla (Aranburu a kol., 2022).
- Strategie odolného modelování (*Resilient Modeling Strategy*): Jde o vysoce rigidní strukturování návrhového stromu do logických sekcí. Klíčovým prvkem je sekce *Skeleton* (kostra), která definuje prostorové dispozice bez přítomnosti hmoty, a sekce *Quarantine* (karanténa), kam jsou přesunuty nestabilní operace (např. zaoblování hran), jež by mohly ohrozit regeneraci následných prvků (Aranburu a kol., 2022).

1.3.2 Charakteristika systému Siemens NX

Systém Siemens NX představuje v současném strojírenství jeden z nejrozšířenějších a nejvýkonnějších integrovaných balíčků softwarových nástrojů pro počítačovou podporu inženýrských činností (CAx). Jedná se o komplexní řešení pro digitální vývoj produktů, které v rámci jednoho prostředí sjednocuje aplikace pro konstrukci (CAD), simulace a analýzy (CAE) a výrobu (CAM). Konkrétní vizuální podobu uživatelských rozhraní těchto integrovaných modulů pak ilustrativně zachycuje obrázek 9. Tato integrace zajišťuje plnou asociativitu dat, což znamená, že jakákoliv změna provedená v geometrii modelu se automaticky propisuje do navazujících analýz i výrobních operací (Shih, 2023).



Obr. 9: Integrované prostředí CAD/CAE/CAM v systému Siemens NX

Zdroj: MODATEK (2023); CAD CAM SOLUTIONS, MEERUT (2020) a DDS PLM (2024)

Z procesního hlediska systém umožňuje implementaci přístupu souběžného inženýrství (*concurrent engineering*). V praxi to znamená, že procesy konstrukčního návrhu a funkční analýzy mohou probíhat paralelně, což vede k signifikantnímu zkrácení vývojového cyklu produktu. Software usnadňuje přístup k vytváření základních objemových modelů, inteligentních sestav a generování drah nástrojů pro CNC obráběcí centra či stroje pro rychlé prototypování (*rapid prototyping*) (Zbiciak a kol., 2015).

Základním paradigmatem fungování Siemens NX je parametrické modelování založené na prvcích (*feature-based parametric modeling*). Tento přístup umožňuje definovat geometrii nikoliv jako statický objekt, ale jako dynamický systém řízený sadou parametrů a vazeb. Mezi klíčové mechanismy tohoto systému patří:

- Filozofie „tvar před velikostí“: Konstrukční proces je zahájen definicí hrubého 2D náčrtu (*sketch*), u kterého je nejprve definována topologie a geometrické vazby. Teprve následným doplněním rozměrových parametrů a aplikací objemových operací (vysunutí, rotace) vzniká finální 3D prvek (Shih, 2023).
- Hierarchie historie modelu (*Model History Tree*): Každý model je v NX reprezentován sekvenčním záznamem všech provedených operací. Tento strom historie umožňuje uživateli návrat k libovolnému kroku v čase a modifikaci pravidel, která definují výslednou geometrii (Shih, 2023).
- Vazby rodič-potomek (*Parent/Child relationships*): Jedná se o kritický prvek asociativity, kdy nové prvky (potomci) využívají referencí prvků dříve vytvořených (rodičů). Příkladem může být skica umístěná na plochu existujícího tělesa; při posunu či změně tvaru původního tělesa se automaticky adaptuje i na něj vázaná skica (Shih, 2023).

Pro zvýšení robustnosti a flexibility modelů se využívá technika BORN (*Base Orphan Reference Node*). Tato metodika spočívá v definici fixního souřadnicového systému a referenčních rovin jako primárních kotevních bodů pro veškerou následnou geometrii. Tím se minimalizuje riziko řetězového selhání modelu při radikálních změnách konstrukce (Shih, 2023).

Siemens NX disponuje otevřenou architekturou s rozsáhlými knihovny API, které umožňují vývoj vlastních inženýrských aplikací a automatizaci repetitivních úloh. Pro tyto účely systém nabízí nástroje NX Open pro komplexní automatizaci v jazycích jako C++ či Java, Knowledge Fusion jako deklarativní jazyk pro integraci inženýrských znalostí a externích dat a SNAP (*Simple NX Application Programming*) určený pro rychlou automatizaci rutinních činností bez hlubokých programátorských znalostí (Zbiciak a kol., 2015).

Využití těchto nástrojů v kombinaci s parametrizací umožňuje efektivní zachycení záměru návrhu. Výsledný model tak není pouze reprezentací tvaru, ale nese v sobě inteligenci, která dovoluje automatické aktualizace celých produktových celků a rychlé testování konstrukčních alternativ při zachování vysoké kvality a přesnosti dokumentace (Shih, 2023; Zbiciak a kol., 2015).

1.3.3 Logika a syntaxe nástroje Expressions

Nástroj *Expressions* (Výrazy) v prostředí softwaru Siemens NX představuje klíčový mechanismus pro tvorbu plně parametrického a datově řízeného modelování. Výrazy jsou definovány jako aritmetické nebo podmíněné vzorce, které exaktně určují vlastnosti a charakteristiky jednotlivých geometrických prvků (*features*) modelu. Jejich primárním účelem je řízení definovaných vztahů mezi prvky v rámci jednoho dílu nebo mezi vícero díly v sestavě. Umožňují tak vytvářet inteligentní vazby, díky nimž se při změně návrhových parametrů (například změně délky komponenty) automaticky aktualizují navázané rozměry (například tloušťka). Tento přístup eliminuje nutnost manuálních úprav geometrie a efektivně zachycuje původní konstrukční záměr. Vzorce v rámci výrazů mohou obsahovat kombinaci proměnných, funkcí, čísel, operátorů (viz tab.1) a symbolů (Syed, 2023; Siemens Digital Industries Software, © 2026).

Tab. 1: Aritmetické operátory v Siemens NX

Operátor	Popis
+	Sčítání
-	Odčítání a záporné znaménko
*	Násobení
/	Dělení
^	Umocňování
=	Přiřazení

Zdroj: Vlastní zpracování dle Siemens Digital Industries Software (© 2026)

V prostředí NX se konstruktér setkává se dvěma základními typy výrazů, které se liší způsobem vzniku a konvencí pojmenování. První skupinu tvoří uživatelské výrazy, známé také jako uživatelem definované výrazy, které vznikají explicitním zadáním názvu a konkrétní hodnoty či vzorce. Tyto výrazy se vyznačují především tím, že mohou nést názvy v běžném jazyce, jako je například „width“ (šířka) nebo „length“ (délka), což výrazně přispívá k transparentnosti a snadné orientaci v parametrech modelu. Uživatelské výrazy lze navíc vytvářet na základě provedených měření nebo referencí mezi různými díly v rámci sestavy, tedy tzv. *interpart references* (Siemens Digital Industries Software, © 2026).

Druhou skupinu představují softwarové výrazy, které systém NX generuje automaticky na pozadí během samotného procesu budování modelu. K jejich vytvoření dochází například při definici parametrů prvků, kótování náčrtů, umisťování prvků nebo při definování vazeb v sestavě. Z hlediska systému pojmenování jsou tyto výrazy standardně označovány číselnou řadou s předponou malého písmene „p“, například „p53“. Přestože jsou tyto názvy generovány systémem, uživatel má možnost je později přejmenovat a nahradit je srozumitelnějšími názvy v běžném jazyce (Siemens Digital Industries Software, © 2026).

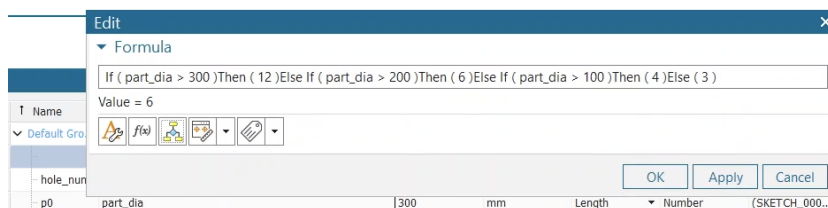
Pro zajištění široké aplikační flexibility podporuje systém NX několik datových typů, které definují charakter uchovávané informace. Jejich detailní přehled včetně popisu a typické aplikace v konstrukční praxi je uveden v tabulce 2.

Tab. 2: Přehled datových typů v Siemens NX

Anglický název (Česká název)	Popis	Aplikace
Number (Číslo)	Standardní numerická hodnota s možností využití měrných jednotek (délka, plocha, úhel atd.)	Definice standardních numerických hodnot
String (Řetězec)	Textový řetězec uzavřený v uvozovkách " "	Definice nenumerických vlastností dílu, jako je textový popis, jméno dodavatele či barva
Boolean (Booleovská hodnota)	Nabývá výhradně stavů „true“ (pravda) nebo „false“ (nepravda)	Podpora logických stavů, například řízení stavu potlačení prvků či komponent
Integer (Celé číslo)	Diskrétní numerická hodnota bez jednotek	Uplatnění v příkazech vyžadujících přesný počet nebo kvantitu, typicky při definici počtu prvků v polích (Instance Geometry)
Point (Bod)	Definuje prostorovou pozici pomocí souřadnic X, Y a Z (ve formátu např. Point (0,0,0))	Parametrické řízení umístění bodů, například definice počátku osy rotace
Vector (Vektor)	Specifikuje směr prostřednictvím kartézských souřadnic I, J a K (např. Vector (0,0,0))	Parametrické určení směru operací, jako je vysunutí (Extrude) nebo rotace
List (Seznam)	Shromažďuje množinu hodnot zapsanou v množinových závorkách (např. {1, 3, 10})	Ve výchozím nastavení vytváří v rozhraní rozevírací nabídku, jež umožňuje rychlý výběr z definovaných variant rozměru či vlastnosti

Zdroj: Vlastní zpracování dle Siemens Digital Industries Software (© 2026)

Nad rámec základních aritmetických operací lze v modulu *Expressions* využívat pokročilé programové konstrukty a logické operace. Primárním nástrojem pro tento účel je podmíněný příkaz *If-Then-Else*, který umožňuje větvení výpočtu na základě splnění definované podmínky. Typická syntaktická struktura podmíněného výrazu nabývá podoby: *If* (podmínka) *Then* (hodnota) *Else* (alternativní hodnota). Praktickou aplikaci v uživatelském rozhraní systému NX, konkrétně pro případ vícenásobně vnořené podmínky, ilustruje obrázek 10.



Obr. 10: Implementace vnořené podmínky v editoru výrazů systému Siemens NX

Zdroj: CAD Cube 360 (2024)

V prezentovaném příkladu (viz obr. 10) je využita sekvenční evaluace vnořené podmíněného příkazu, kdy algoritmus systému NX vyhodnocuje zapsaný výraz lineárně zleva doprava. Proces je zahájen prvotní kontrolou platnosti podmínky, zda hodnota proměnné *part_dia* je větší než 300 mm, přičemž v kladném případě výraz okamžitě vrací hodnotu 12 a proces výpočtu je ukončen. Pokud tato podmínka splněna není, systém přechází k sekundárnímu větvení a prověřuje, zda je průměr větší než 200 mm; hodnota 6 je tedy přiřazena pouze tehdy, nachází-li se parametr v polouzavřeném intervalu (200; 300] mm. Analogicky pak probíhá terciární test pro hodnoty nad 100 mm s výsledkem 4, zatímco pro veškeré zbývající stavy, které nevyhovují žádnému z definovaných kritérií, je prostřednictvím závěrečné klauzule *Else* stanovena výchozí hodnota 3. Skutečnost, že editor na obrázku 10 vykazuje výslednou hodnotu 6, potvrzuje, že aktuální parametr *part_dia* vyhověl právě druhé podmínce v pořadí. Pro exaktní definování těchto rozhodovacích logik a vymezení příslušných rozměrových intervalů slouží standardizované relační a logické operátory, které jsou systematicky uspořádány v následující tabulce 3 (CAD CUBE 360, 2024).

Tab. 3: Relační, rovnostní a logické operátory v Siemens NX

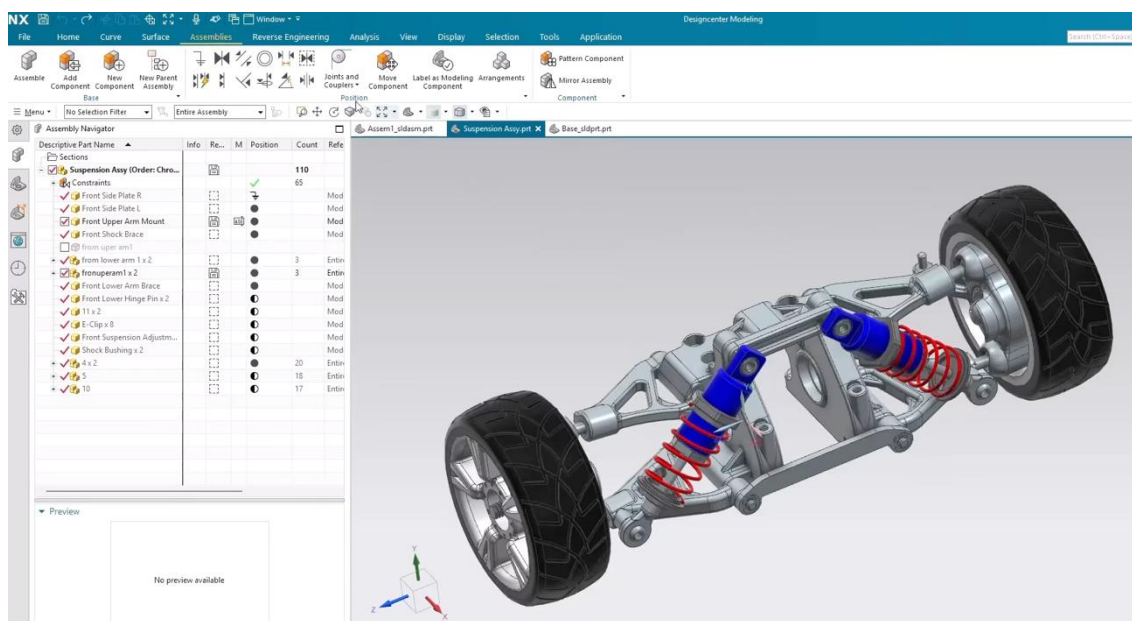
Operátor	Popis
>	Větší než
<	Menší než
>=	Větší než nebo rovno
<=	Menší než nebo rovno
==	Rovno
!=	Nerovno
!	Negace
& nebo &&	Logické AND (A zároveň)
nebo	Logické OR (Nebo)

Zdroj: Vlastní zpracování dle Siemens Digital Industries Software (© 2026)

1.4 Metodika tvorby sestav v Siemens NX

V CAD systému Siemens NX je sestava definována jako specifický typ souboru součástí (*part file*), jehož primární funkcí je správa a organizace objektů komponent a podsestav. Podsestavy v této hierarchické struktuře vystupují jako autonomní celky, které jsou následně integrovány jako stavební prvky do sestav vyšších úrovní. Klíčovým metodickým principem je v tomto případě práce s referencemi (Siemens Digital Industries Software, © 2026).

Při vkládání dílčích komponent do prostředí sestavy nedochází k fyzické duplikaci geometrických dat do cílového souboru sestavy. Namísto toho systém vytváří referenční odkazy na zdrojové soubory, které obsahují skutečnou geometrii. Tento přístup je zásadní z hlediska výpočetní náročnosti, neboť umožňuje vizualizaci a manipulaci s rozsáhlými celky bez nadměrného zatížení operační paměti stanice. Prostředí aplikace *Assemblies* (viz Obr. 11) tak inženýrům umožňuje pracovat s komplexní digitální reprezentací výrobku v raných fázích vývoje, což je nezbytným předpokladem pro proces virtuálního prototypování (Siemens Digital Industries Software, © 2026).



Obr. 11: Prostředí v režimu sestavy v systému Siemens NX

Zdroj: TechDesign (2025)












Kromě samotného polohování komponent nabízí modul sestav pokročilé analytické nástroje. Mezi stěžejní funkce patří verifikace prostorových vztahů, zejména měření statických vůlí, minimálních vzdáleností a úhlů mezi jednotlivými prvky. Systém dále umožňuje definovat specifické stavy sestavy prostřednictvím *arrangements* (uspořádání), která slouží k vizualizaci komponent v odlišných provozních polohách. Pro potřeby dokumentace montážních a demontážních procesů lze v softwaru definovat sekvence (*sequences*), které simulují trajektorie pohybu jednotlivých dílů (Siemens Digital Industries Software, © 2026).

1.4.1 Základní principy a typy vazeb sestav

Pro exaktní definování vzájemné polohy komponent a systematické omezení jejich stupňů volnosti (*Degrees of Freedom*) v prostoru se využívají montážní vazby (*Assembly Constraints*). Správná aplikace těchto vazeb je nezbytná pro vytvoření rigidní a funkční struktury modelu, která odpovídá reálnému konstrukčnímu záměru. Pro zamezení neurčitého pohybu sestavy v modelovacím prostoru je nezbytné alespoň jednu komponentu (zpravidla základní těleso) pevně ustavit. K tomuto účelu se využívá ustavení k absolutnímu souřadnému systému nebo vazba *Fix*. Bez tohoto ukotvení by model postrádal stabilní vztažný bod, což by vedlo k nejednoznačné prostorové interpretaci a potenciálnímu narušení celkové integrity sestavy.

Systém Siemens NX disponuje širokým spektrem vazeb, které umožňují pokrýt různorodé geometrické a kinematické požadavky kladené na virtuální prototyp. Přehled těchto vazeb a jejich technická charakteristika jsou shrnuty v tabulce 4 (Siemens Digital Industries Software, © 2026).

Tab. 4: Charakteristika montážních vazeb v Siemens NX

Symbol	Typ vazby	Popis
	<i>Touch Align</i> (Dotyk/Zarovnání)	Omezuje dvě součásti k dotyku nebo vzájemnému zarovnání. Umožňuje specifikovat typ, nebo použít orientaci " <i>Prefer Touch</i> " pro automatický výpočet.
	<i>Fix</i> (Fixace)	Fixuje objekt v jeho aktuální pozici. Je užitečné pro vytvoření implicitně stacionárního objektu.
	<i>Fit</i> (Přizpůsobení)	Omezuje dva objekty se stejnými poloměry (kruhové/eliptické hrany, válcové/sférické plochy). Potvrzuje, že středové čáry a poloměry jsou shodné; pokud se poloměry později změní, omezení se stane neplatným.
	<i>Align/Lock</i> (Zarovnání/Uzamčení)	Zarovnává dvě osy v různých objektech a brání rotaci kolem společné osy. Typické pro plné omezení šroubu v díře.
	<i>Distance</i> (Vzdálenost)	Určuje 3D vzdálenost mezi dvěma objekty.
	<i>Angle</i> (Úhel)	Určuje úhel mezi dvěma objekty.
	<i>Concentric</i> (Koncentricita)	Omezuje kruhové nebo eliptické hrany tak, aby jejich středy byly shodné a roviny hran byly koplanární.
	<i>Parallel</i> (Rovnoběžnost)	Definuje směrové vektory dvou objektů jako vzájemně rovnoběžné, nebo vzájemně kolmé.
	<i>Center</i> (Centrování)	Centruje jeden nebo dva objekty mezi dvojicí jiných objektů, nebo centruje dvojici objektů podél jiného objektu.
	<i>Center</i> (Centrování osy)	Omezuje osy dvou válcových objektů nebo děr tak, aby se osy dotýkaly nebo byly vzájemně zarovnané.
	Spojení (<i>Bond</i>)	Spojuje objekty tak, aby se pohybovaly jako tuhé těleso. Lze aplikovat pouze na součásti a geometrii na úrovni sestavy.

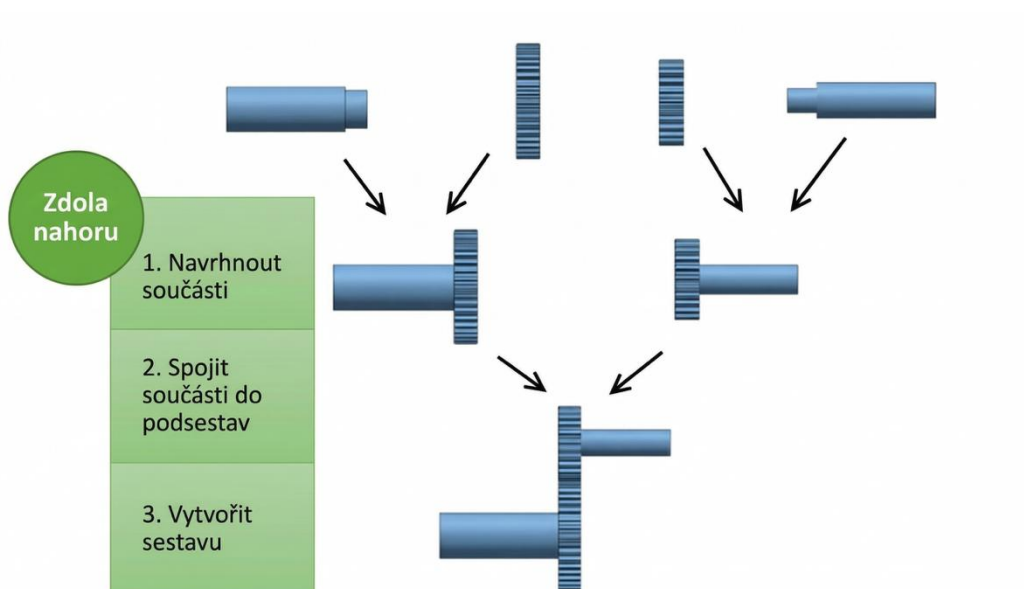
Zdroj: Vlastní zpracování dle Siemens Digital Industries Software (© 2026)

1.4.2 Metodické strategie tvorby sestav

V procesu navrhování sestav v prostředí Siemens NX lze identifikovat tři základní metodické strategie, které definují postup vývoje a organizaci jednotlivých součástí v rámci celého projektu. Volba konkrétní strategie zásadně ovlivňuje způsob, jakým jsou konstrukční informace sdíleny a jakým způsobem dochází k postupnému upřesňování geometrie (Shih, 2023).

Strategie zdola nahoru (*Bottom-Up Approach*) vychází z postupu, kdy jsou nejprve vytvořeny a plně definovány jednotlivé dílčí součásti (komponenty). Tyto komponenty jsou modelovány jako samostatné soubory nezávisle na výsledné sestavě. Po dokončení jejich separátního modelování jsou tyto díly importovány do souboru sestavy, kde jsou následně prostorově fixovány a vzájemně polohovány pomocí montážních vazeb (Shih, 2023).

Tento přístup je vhodný především pro menší vývojové projekty, na nichž participuje pouze úzký okruh členů konstrukčního týmu. V rámci tohoto postupu je kladen důraz na detailní definici jednotlivých prvků předtím, než jsou integrovány do vyšších celků. Výhodou je jasná struktura jednotlivých souborů, avšak omezení může nastat při požadavku na provádění rozsáhlých změn v rámci celkové koncepce sestavy, které by vyžadovaly simultánní úpravy mnoha již hotových dílů. Grafické znázornění tohoto postupu je zachyceno na obrázku 12 (Shih, 2023).

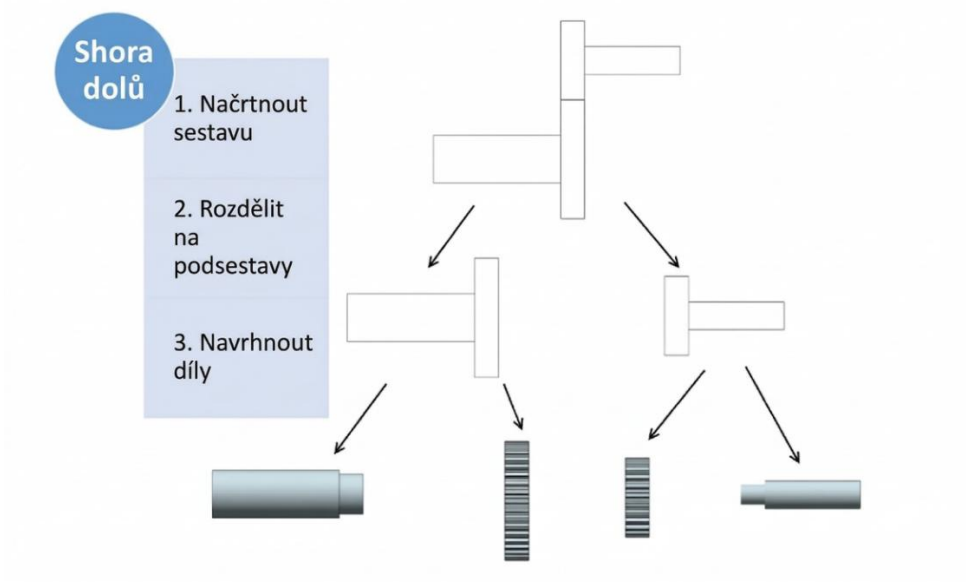


Obr. 12: Grafické znázornění procesu zdola nahoru

Zdroj: Vlastní zpracování dle Juustovaara (2015)

Strategie shora dolů (*Top-Down Approach*) představuje postup, jehož úvodním krokem je založení samotného modelu zastřešující sestavy. V počáteční fázi projektu, typicky během tvorby konceptuálního návrhu, jsou jednotlivé komponenty v rámci sestavy reprezentovány pouze jmenovitě nebo prostřednictvím symbolické reprezentace. Detailní geometrická a parametrická specifikace těchto komponent je do systému implementována až v průběhu pokročilejších fází vývoje (Shih, 2023).

Tato metodika je primárně určena pro rozsáhlé průmyslové projekty. Její hlavní přínos spočívá v efektivní distribuci práce v rámci projektového týmu, neboť umožňuje jednotlivým členům exkluzivně participovat na přidělených sekcích projektu v rámci předem definované hierarchie sestavy. To umožňuje konstruktérům pracovat na detailech součástí v přímém kontextu celé sestavy, což zpřesňuje definici vzájemných vazeb mezi komponentami. Schématické znázornění tohoto postupu je zachyceno na obrázku 13 (Shih, 2023).



Obr. 13: Grafické znázornění procesu zdola nahoru shora dolů

Zdroj: Vlastní zpracování dle Juustovaara (2015)

Kombinovaná strategie ze středu (*Middle-Out Approach*) koncepčně spojuje oba výše zmíněné postupy a nabízí flexibilní strategii pro tvorbu modelů. V tomto případě je model typicky konstruován s využitím existujících komponent (například standardizovaných či normalizovaných dílů), které jsou do sestavy vloženy metodou „zdola nahoru“. Následně jsou do této struktury navrhovány a generovány díly nové, přičemž stávající sestava slouží jako referenční zdroj nezbytných konstrukčních informací (Shih, 2023).

Tento přístup reflektuje reálné inženýrské situace, kdy jsou určité parametry a komponenty předem dány zadáním, ale pro dosažení specifických funkčních cílů produktu je nezbytné navrhnout nová, na míru tvořená řešení (Shih, 2023).

1.4.3 Robustnost vazeb

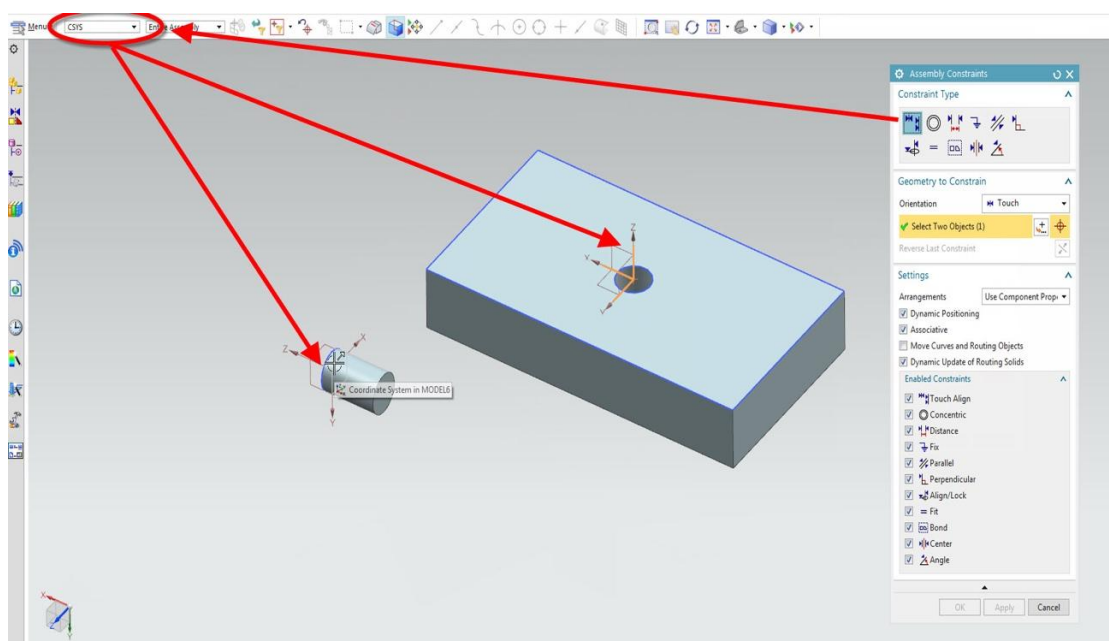
Robustnost vazeb soustavy je definována schopností sestavy udržet správnou relativní polohu komponent i po radikálních změnách vnějšího tvaru nebo topologie jednotlivých součástí. V prostředí Siemens NX je častým problémem nestabilita vazeb, která vede k jejich následnému selhání (tzv. *broken constraints*).

Nestabilita modelu je nejčastěji způsobena ukotvením na dynamické prvky geometrie, přičemž kritickým faktorem se jeví zejména využívání hran součástí. Hrany jsou náchylné k zániku nebo změně při sebemenší úpravě parametrů, což okamžitě vede k rozpadu vazební struktury. O něco vyšší míru stability vykazují plochy, avšak i ty představují v parametrickém modelování riziko (Adam, 2025).

Tento stav je zapříčiněn změnou nebo úplným zánikem odkazovaného interního identifikátoru (ID). Každý díl v prostředí Siemens NX přiděluje svým entitám (plochy, hrany, body, roviny nebo osy) unikátní vnitřní identifikátor. Při propojování komponent vazbami se systém odkazuje právě na tato interní ID. Pokud v důsledku parametrické změny nebo přidání konstrukčního prvku dojde k přegenerování geometrie, původní ID entity zaniká. Vazba tak ztrácí svou referenci a sestava se stává nekonzistentní (MechDzyner, 2018; Farjana a Han, 2018).

K eliminaci chyb při regeneraci modelu je jako nejlepší řešení definována strategie orientace na stabilní referenční prvky. Namísto vazbení na proměnlivou topologii tělesa se doporučuje využívat pomocné konstrukční prvky (*Datums*), které tvoří neměnný základ modelu. Mezi tyto prvky se řadí zejména souřadné systémy (*Datum CSYS*), referenční roviny (*Datum Planes*) a referenční osy (*Datum Axes*). Tyto prvky společně vytvářejí stabilní parametrický rámec, který zůstává zachován i při radikálních změnách tvaru nebo topologie komponenty, čímž zajišťují trvalou platnost definovaných vazeb (Felix, 2016).

Jednou z neefektivnějších metod pro fixaci komponent v parametrických sestavách je vzájemné ustavení souřadných systémů, které dovoluje plně definovat polohu i orientaci komponenty v prostoru (všech šest stupňů volnosti) pomocí jediné operace. Tato technika se v prostředí Siemens NX realizuje v dialogovém okně *Assembly Constraints* (viz Obr. 14) s využitím typu vazby *Touch Align*. Pro zajištění korektního výběru geometrie je nezbytné nejprve nastavit filtr výběru na hodnotu *CSYS*, což zaručí, že systém bude identifikovat celý objekt souřadného systému jako jeden celek, nikoliv pouze jeho dílčí prvky, jako jsou samostatné osy či roviny. Tento metodický postup zajistí, že počátky obou souřadných systémů budou ztotožněny a jejich odpovídající osy zůstanou vzájemně kolineární a souhlasně orientované i po následné parametrické regeneraci modelu (Kapilsharma, 2018).



Obr. 14: Postup vazbení komponent pomocí CSYS

Zdroj: Kapilsharma (2018)

1.5 Interní a externí uživatelská rozhraní pro konfiguraci

Uživatelská rozhraní (GUI) v procesu automatizace konstrukce představují zásadní funkční vrstvu, která odděluje komplexní vnitřní závislosti modelu od jeho ovládání. Tím je umožněna rychlá a bezchybná konfigurace produktových variant. V prostředí Siemens NX lze volit mezi interními a externími rozhraními, přičemž výběr konkrétního řešení závisí na komplexitě rozhodovací logiky a požadovaném uživatelském komfortu. Zatímco standardní funkce slouží k přímé manipulaci s výrazy (Expressions), pokročilé moduly umožňují tvorbu vlastních dialogových oken nebo využití externí řídicí logiky.

1.5.1 Expression editor

Dialogové okno *Expressions* představuje v prostředí Siemens NX stěžejní nástroj pro správu parametrických vztahů. Umožňuje exaktně definovat matematické vzorce a logické podmínky determinující chování modelu, což zajišťuje dynamické aktualizace prototypu a zvyšuje produktivitu. Rozhraní (viz Obr. 15) poskytuje centralizovaný přehled o všech proměnných, jejich datových typech a fyzikálních jednotkách. Pro organizaci rozsáhlých struktur editor nabízí funkce pro seskupování (*Groups*), uzamykání vzorců a pokročilé filtrování (Engineering Technology, 2026; Design Visionaries, 2017).

Name	Formula	Value	Units	Dimensi	Type
Serial	74857	74857	in	Le...	Number
Name	"Mount"	"Mount"			String
Name_opti...	{"Block", "Mount", "Plate", "Bracket", "Hello"}	{"Block", "Mount", "Plate", "Br..."			List
NameExp	GetListElementAt(Name_options, 2)	"Mount"			String
p1	2	2	in	Length	Number
p2	2	2			Number
p3	1	1	in	Length	Number
p4	"Name"	"Name"			String
p8	0.564972388143806	0.5649723881	in	Length	Number
p9	0.25	0.25	in	Length	Number
p10	-0.55	-0.55	in	Length	Number
p11	"1337"	"1337"			String
p15	0.45867237697366	0.4586723769	in	Length	Number
p16	0.2	0.2	in	Length	Number
p17	0.3	0.3	in	Length	Number
Serial_opti...	{1337, 61651, 768786, 74857, 987456}	{1337, 61651, 768786, 7485...			List
SerialExp	nth(4, Serial_options)	74857	in	Le...	Number

Obr. 15: Dialogové okno Expressions

Zdroj: Design Visionaries (2017)

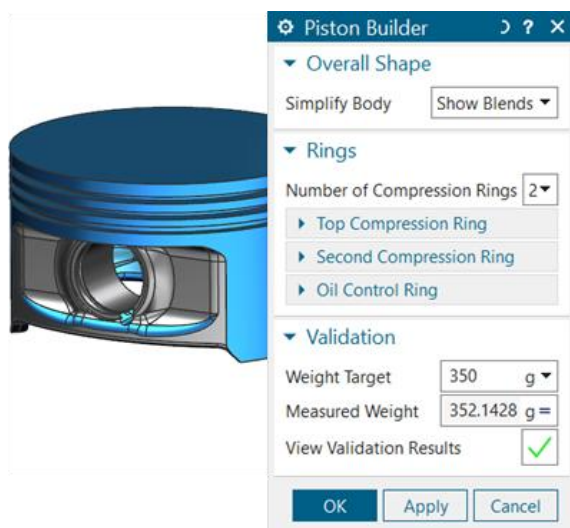
V rámci návrhu sestav je využívána správa mezi dílových výrazů (*Interpart Expressions*). Tento mechanismus umožňuje asociativní transfer dat mezi komponentami v rámci hierarchické struktury, což je fundamentální předpoklad pro metodiku *Top-Down*. Parametry definované na úrovni hlavní sestavy tak mohou přímo řídit geometrii vnořených dílů, čímž je zajištěna integrita celého systému při změně globálních rozměrů (Siemens Digital Industries Software, © 2026).

Systém dále podporuje propojení na externí databázové struktury, nejčastěji ve formě tabulkových procesorů. Prostřednictvím specializovaných funkcí lze realizovat automatizované čtení hodnot ze specifických buněk externích tabulek. Tato integrace umožňuje řídit konfigurace modelu na základě datových sad spravovaných vně CAD prostředí, což vede k tvorbě vysoce adaptabilních virtuálních prototypů (Syed, 2023).

1.5.2 Product Template Studio

Nástroj *Product Template Studio* (PTS), integrovaný v rámci softwarového řešení Siemens NX, představuje sofistikovaný systém pro vývoj produktových šablon a efektivní správu inženýrského *know-how*. Z technického hlediska je tato nadstavba založena na programovacím jádru *Knowledge Fusion*, které zajišťuje perzistentní ukládání logických pravidel, definic a parametrů uživatelského rozhraní přímo do vnitřní datové struktury souboru. Tímto přístupem je eliminována závislost na externích databázích či doprovodných souborech, neboť dialogové okno šablony se stává nedílnou součástí příslušného modelu (Siemens Digital Industries Software, © 2026; Siemens, 2010).

Vlastní proces tvorby šablony probíhá v dedikovaném prostředí *Product Template Author*. Zde je konstruktérovi umožněno transformovat standardní parametrickou sestavu či díl na inteligentní šablonu s vlastním grafickým uživatelským rozhraním. Příklad konkrétního využití PTS, propojující parametry modelu s přehledným uživatelským rozhraním (viz Obr. 16. Hlavní předností tohoto modulu je tzv. „*codeless*“ přístup, kdy je rozhraní definováno pomocí metody *drag-and-drop* bez nutnosti přímého psaní programového kódu. Pro logickou strukturaci parametrů lze v dialogových oknech využívat pokročilé ovládací prvky, mezi něž patří zejména sbalovací skupiny (*Collapsible Groups*) pro zřehlednění rozsáhlých konfigurací nebo akční tlačítka (*Action Buttons*) určená k exekuci specifických operací (Siemens Digital Industries Software, © 2026; Siemens, 2010).



Obr. 16: Příklad vytvořeného rozhraní pomocí PTS

Zdroj: Siemens Digital Industries Software (© 2026)

Parametry integrované do rozhraní šablony jsou definovány jako objekty šablony (*template objects*). Prostřednictvím PTS lze asociativně řídit široké spektrum entit, od výrazů (*Expressions*) přes konstrukční prvky (*Design Features*) až po výkresovou dokumentaci a náčrty. Pro efektivní správu variantních řešení jsou využívány tabulky parametrů, které prostřednictvím dedikovaného widgetu v uživatelském rozhraní umožňují okamžitou aktualizaci celého souboru parametrů na základě volby konkrétní konfigurace. Nezbytným předpokladem pro korektní funkci PTS je precizně připravený a plně parametrizovaný model, do jehož struktury lze však dodatečně implementovat další vazby a objekty (Siemens Digital Industries Software, © 2026; Schultz, 2023).

Aplikační rozsah šablon PTS přesahuje rámec prosté geometrické modifikace. Do šablon lze zapouzdřit komplexní procesy, jako jsou validace návrhu, simulace metodou konečných prvků (FEA), případně kinematické analýzy. Tímto způsobem se šablony transformují v inteligentní, auto validační a modulární návrhové jednotky, jež konstruktérům umožňují rozkládat složité sestavy na snáze spravovatelné segmenty a ty následně prostřednictvím modifikace parametrů flexibilně rekombinovat (Siemens Digital Industries Software, © 2026; Siemens, 2010).

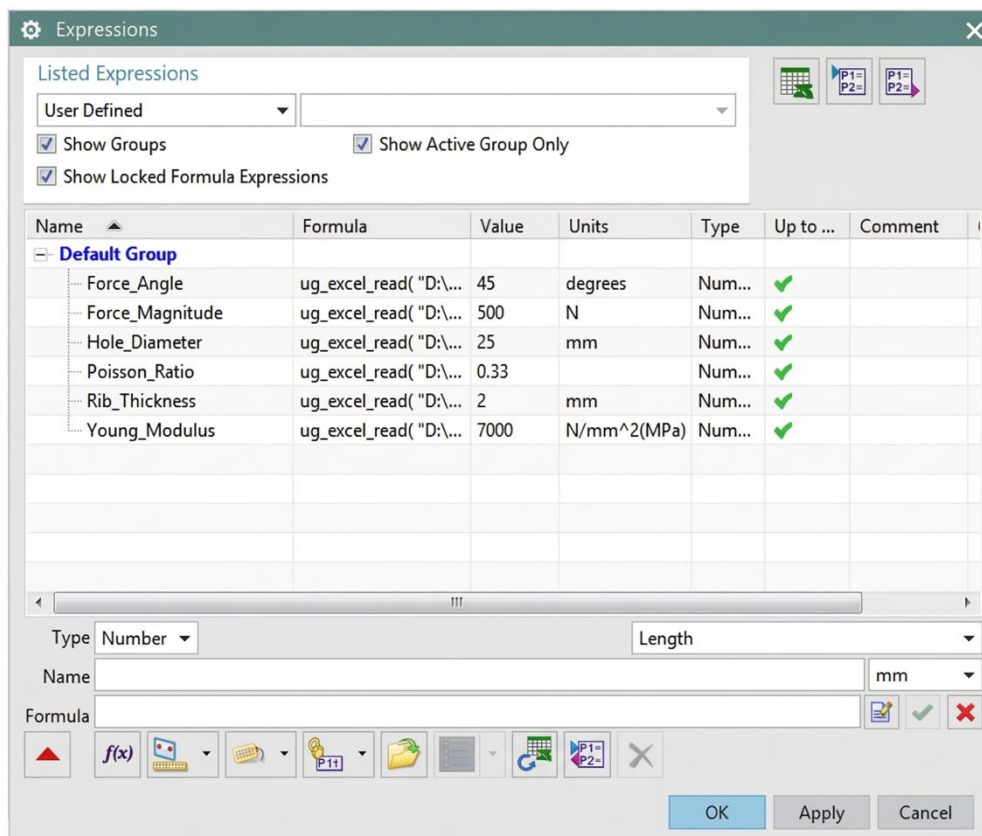
Z hlediska podnikové standardizace je klíčová integrace vytvořených šablon do centrálního úložiště (*NX Reuse Library*). Tento repositář slouží k distribuci ověřených konstrukčních postupů napříč vývojovými týmy. Nasazení PTS prokazatelně snižuje časovou náročnost spojenou s modifikací komplexních modelů, neboť uživatelské rozhraní zprostředkovává logiku modelu bez nutnosti hluboké znalosti jeho vnitřní topologie. Tímto způsobem je efektivně řešena problematika znupoužitelnosti CAD dat v inženýrské praxi (Siemens, 2010).

1.5.3 Integrace Siemens NX s MS excel

Propojení softwaru Siemens NX s tabulkovým procesorem Microsoft Excel představuje klíčový mechanismus pro pokročilé parametrické řízení digitálních modelů, automatizaci návrhových procesů a realizaci komplexních iterací. V inženýrské praxi tato synergie umožňuje konstruktérům definovat a spravovat rozsáhlé datové sady v uživatelsky přístupném prostředí Excelu. Tímto způsobem lze dynamicky řídit 3D CAD modely i MKP (FEM) simulace, přičemž spravovaná data zahrnují geometrické rozměry, materiálové vlastnosti nebo specifické zátěžové stavy (Maya HTT, 2016).

Z hlediska systémové architektury disponuje Siemens NX několika úrovněmi napojení na tabulkové procesory. Fundamentální rozdělení zahrnuje takzvaný *Gateway spreadsheet*, který je přístupný napříč většinou aplikací (s výjimkou samotného modelování), a *Modeling spreadsheet*, jež je určen primárně pro modelovací prostředí. Při jejich aktivaci NX na pozadí automaticky iniciuje instanci aplikace Excel a naváže s ní aktivní komunikační spojení (Swoosh Technologies, 2014).

Za nejpokročilejší způsob řízení modelu je považováno přímé asociativní provázání interních výrazů (*Expressions*) s konkrétními buňkami externího sešitu. Tento proces se realizuje v Editoru výrazů začleněním dedikovaných analytických funkcí z kategorie „*spreadsheet*“, nejčastěji funkcí *ug_excel_read* nebo *ug_cell_read*. Argumenty těchto funkcí vyžadují definování absolutní nebo relativní cesty k souboru Excelu a přesnou specifikaci cílové buňky. Výsledná konfigurace parametrů načtených z externího zdroje do prostředí Editoru výrazů v NX je zobrazena na obrázku 17 (Maya HTT, 2016).



Obr. 17: Příklad načtených hodnot z MS Excel v NX Expressions

Zdroj: Maya HTT (2016)

Změny provedené v externím dokumentu se do modelu promítají na vyžádání pomocí příkazu pro synchronizaci hodnot (*Refresh values from external spreadsheet*), případně plošným příkazem *Update for External Change* (Swoosh Technologies, 2014; Maya HTT, 2016).

Alternativním přístupem k externím souborům je nasazení plně integrovaných, interních tabulek (*Embedded Spreadsheets*) uložených přímo v datové struktuře příslušného part souboru. Tato metoda zcela eliminuje nutnost spravovat a sdílet oddělené externí soubory, neboť veškerá data zůstávají perzistentně uložena uvnitř NX. K této funkcionalitě se přistupuje přes volbu *Tools – Spreadsheet*, kde uživatel v modálním okně Excelu definuje hodnoty, které prostřednictvím specifického doplňku (*Add-Ins*) a příkazu *Define Expr Range* označí jako mapované proměnné. Následná extenze do modelu je realizována příkazem *Update NX Part* (Swoosh Technologies, 2014).

V případech, kdy není vyžadována trvalá asociativita, umožňuje NX jednorázový transfer dat prostřednictvím funkcí *Import Expressions* a *Export Expressions*. Tento nástroj dovoluje přímé načtení dat z formátů .xls a .xlsx do tabulky výrazů bez zachování aktivní dynamické vazby. Z principu tabulkového procesoru těží i modul *Drafting*, kde lze tabulkové poznámky na výkrese plnohodnotně editovat přímo prostřednictvím lokálního propojení s Excelem (Swoosh Technologies, 2014).

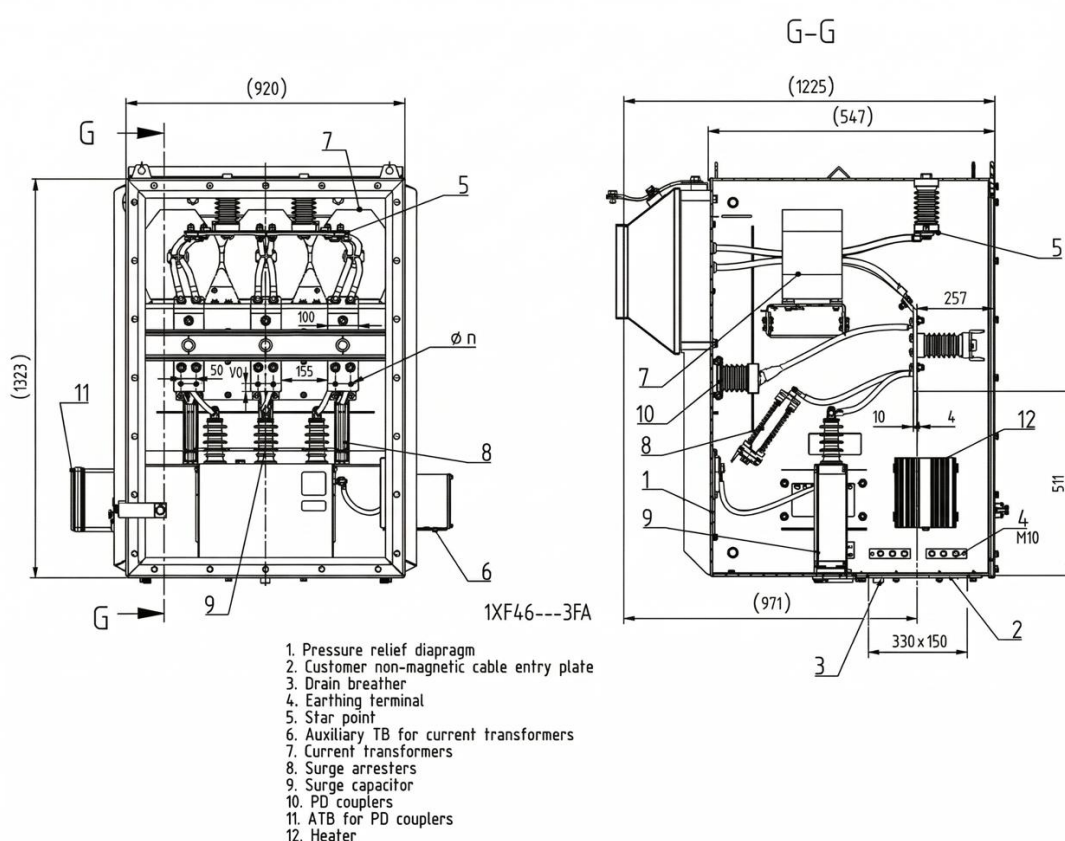
1.6 Architektura a komponenty svorkovnice

Svorkovnicová skříň představuje klíčové rozhraní mezi vnitřním vinutím elektromotoru a externím napájecím systémem. Primárním účelem těchto skříní je zajistit bezpečné a mechanicky stabilní propojení různých typů vodičů. Rozměry a vnitřní objem svorkovnice jsou determinovány velikostí motorových vývodů, parametry přívodních kabelů, napětovou hladinou a specifickými požadavky na zakončení vodičů (Tolijat a Kliman, 2018).

Materiálové provedení se volí s ohledem na mechanickou odolnost a celkovou velikost stroje. Konstrukčně se standardně využívají odlitky z šedé litiny nebo ocelové výlisky. V případě rozměrných svorkovnic se uplatňují ocelové svařence zhotovené z ocelových plechů (Tolijat a Kliman, 2018).

Uspořádání vnitřního prostoru se zásadně liší v závislosti na napětové hladině motoru. U nízkonapětových strojů jsou vývody příslušenství obvykle vyvedeny přímo do hlavní svorkovnice. Motory s napětím nad 600 V vyžadují striktní oddělení silových a pomocných obvodů, přičemž vodiče různých napětových tříd nesmí sdílet společný prostor. Pro tyto účely se využívají separátní pomocné skříně určené pro vodiče příslušenství (Tolijat a Kliman, 2018).

Do těla svorkovnice je možné přímo integrovat doplňkové ochranné a měřicí prvky, zejména proudové transformátory, svodiče přepětí nebo přepětové kondenzátory. Tyto komponenty se instalují především u strojů s vyšším napětím za účelem zvýšení provozní bezpečnosti a monitoringu. Konkrétní příklad konstrukčního uspořádání svorkovnice, která je vybavena těmito ochrannými a měřicími prvky, je uveden na obrázku 18.



Obr. 18: Svorkovnice 1XF46---3FA pro elektromotory Innomotics HV M

Zdroj: Innomotics GmbH (2024)

1.6.1 Přídavné vybavení svorkovnic

V rámci konstrukce svorkovnic vysokonapěťových elektrických strojů je kladen značný důraz na integraci pomocných prvků, které zajišťují bezpečný provoz, diagnostiku a přesné měření. Mezi stěžejní komponenty patří proudové transformátory pracující na principu elektromagnetické indukce, jež slouží k převodu vysokých primárních proudů na nízké sekundární hodnoty. Tento převod je nezbytný pro přesné monitorování spotřeby elektrické energie a pro zajištění správné odezvy reléových ochran. U strojů větších výkonů jsou tyto transformátory realizovány v toroidním provedení, kterým procházejí přímo motorové vývody, přičemž sekundární obvody jsou z bezpečnostních důvodů vyvedeny do separátní pomocné svorkovnice (Ozer a Unluturk, 2025; Toliyat a Kliman, 2018).

Ochrana izolačního systému stroje před nepříznivými vlivy je dále zajišťována kombinací svodičů přepětí a přepěťových kondenzátorů. Svodiče přepětí zajišťují ochranu izolačního systému mezi živým vinutím a uzemněnými částmi tím, že omezují amplitudu napěťových rázů vznikajících při atmosférických výbojích nebo spínacích procesech. Paralelně zapojené přepěťové kondenzátory následně doplňují tuto ochranu absorpcí počáteční energie rázu, čímž snižují strmost čela rázové vlny a chrání tak zejména závitovou izolaci vinutí (Toliyat a Kliman, 2018; Nidec Motor Corporation, © 2026).

Pro včasnou diagnostiku a predikci potenciálních defektů v izolaci statorového vinutí točivých strojů se aplikuje metoda online monitorování částečných výbojů. K záchytu příslušných signálů se v průmyslové praxi dominantně využívají kapacitní senzory (vazební kondenzátory), které se v základní konfiguraci instalují přímo na fázové svorky stroje. V rámci diagnostického systému plní tyto vazební prvky primární funkci filtrů, jež eliminují nízkofrekvenční složky a umožňují tak selektivní analýzu vysokofrekvenčních impulzů, které jsou pro částečné výboje charakteristické. Kontinuální detekce a vyhodnocování těchto projevů dovoluje identifikovat lokální dielektrické průrazy v izolačním systému a exaktně tak predikovat probíhající degradační procesy (Behrozibado a kol., 2022).

Provozní spolehlivost v proměnlivých klimatických podmínkách je v neposlední řadě podpořena antikondenzačními topnými tělesy. Udržováním vnitřní teploty svorkovnice nad úroveň rosného bodu je efektivně bráněno vzniku kondenzátu, čímž se předchází korozi (Toliyat a Kliman, 2018).

2 Praktická část

Hlavním impulsem pro vývoj inteligentní parametrické sestavy svorkovnice vysokonapěťových elektromotorů je probíhající procesní transformace v rámci konstruktérské praxe v nadnárodní společnosti, která se zabývá výrobou elektrických strojů. Tato transformace směřuje k implementaci variantní konfigurace, což vyžaduje vytvoření zcela nových modelů a výkresové dokumentace tak, aby bylo možné v plném rozsahu využít potenciál konfigurovatelných kusovníků. Dosavadní stav, kdy svorkovnice obsahovala fixní kusovník pro každou variantu, je nahrazován logikou modulárního členění, přičemž kusovníky jsou konfigurovány zakázkově.

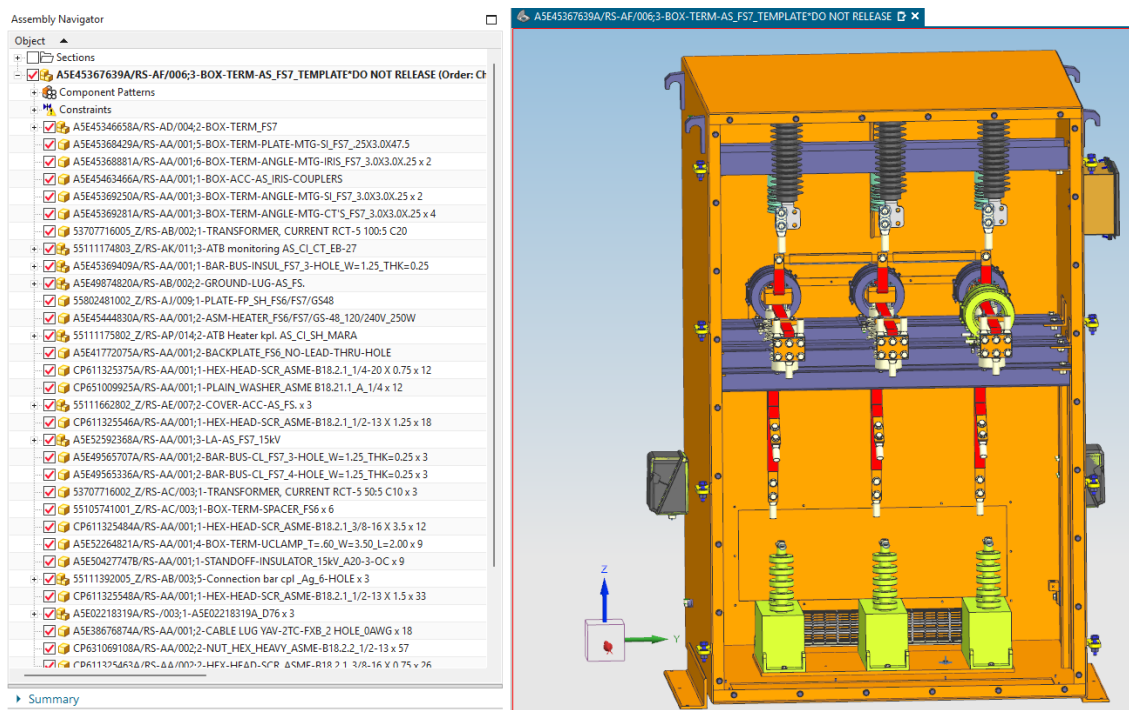
Díky tomuto impulsu bylo možné popsat navrženou metodiku na reálné situaci z inženýrské praxe. Vzhledem k tomu, že popisovaná svorkovnice je určena pro americký trh, je pro veškeré popisy uvnitř modelu i v následném externím uživatelském rozhraní primárně použita angličtina.

Vzhledem k vysoké míře standardizace použitých prvků je řídicí logika založena na principu definování přítomnosti či absence konkrétních komponent v závislosti na požadavcích zákazníka, jelikož naprostá většina komponent je dimenzována na maximální povolené parametry daného typu svorkovnice. Cílem praktické části je proto vytvoření automatizovaného virtuálního prototypu svorkovnice v prostředí Siemens NX, jehož konfigurace je řízena logikou uživatelských výrazů a externím datovým rozhraním. Tento přístup integruje expertní konstrukční znalosti do digitálního modelu, čímž dochází k transformaci statické struktury na dynamický modulární systém.

2.1 Analýza současných metodických postupů a návrh optimalizace

V současné inženýrské praxi při návrhu hlavní svorkovnice vysokonapěťových motorů převládají dva základní metodické přístupy. První z nich je založen na principu vyhledávání a následné modifikaci již existujících sestav z předchozích zakázek. Konstruktor identifikuje model s technickými parametry, které se nejvíce blíží aktuálnímu zadání, uloží jej pod novým identifikátorem a následně provádí ruční úpravy. Tento postup je však zatížen vysokou časovou náročností při vyhledávání v rozsáhlých archivech a značným rizikem nekonzistence dat; hrozí zde přenos zastaralých komponent nebo nevalidních konstrukčních postupů, jež neodpovídají aktuálním standardům.

Druhý metodický postup využívá tzv. šablonu (*template*), která představuje statický model osazený maximální možnou konfigurací všech standardně nabízených prvků. Jak je patrné ze struktury v okně *Assembly Navigator* na Obr. 19, šablona integruje veškeré komponenty do jedné rozsáhlé sestavy. Takové uspořádání však zapříčiňuje komplikace při modifikacích. Pokud je vyžadováno odstranění určitého vybavení svorkovnice, konstruktor musí manuálně odebrat nejen daný hlavní komponent, ale i veškerý příslušný spojovací a přídavný materiál (např. montážní konzole). Tento proces zvyšuje pravděpodobnost vzniku chyb, například v podobě opomenutých spojovacích prvků v prostoru modelu.



Obř. 19: Struktura statické řabloný v prostředí Siemens NX

Zdroj: Vlastní zpracování

Hlavní výhodou využití centřální řabloný oproti modifikaci starřích modelů je snazř implementace konstrukčních vylepření pro budoucí projekty. Jelikoř jsou nové modely odvozeny z jediného modulu, veřkeré aktualizace se automaticky přenášejí do budoucích konfigurací, čímř se eliminuje riziko použití neaktuálních předloh.

2.1.1 Optimalizace správy dat a vyhledávání

Nutnost manuální identifikace a vyhledávání vhodných vzorů je v navrženém řeření eliminována zavedením dynamické řabloný virtuálního prototypu. Ta slouří jako univerzální výchozí bod pro nové zakázky, čímř se radikálně zkracuje přípravná fáze konstrukce. Aby byla zajiřtěna efektivita správy již realizovaných řeření, integruje externí rozhraní v programu MS Excel funkci centřální databáze.

Při každém vygenerování nové konfigurace dochází k zápisu technických parametrů a specifikací svorkovnice do této tabulky. Konstrukter tak získává nástroj pro rychlé filtrování v historii zakázek, což umožňuje okamžitě opětovné využití již schválených konfigurací. Tento přístup efektivně předchází vytváření duplicitních řeření.

2.1.2 Modularita a automatizace struktury sestavy

Navržené řeření dále odstraňuje nedostatky statické řabloný zavedením metodiky modulárního členění do podsestav (*sub-assemblies*). Každá volitelná konfigurace je definována jako samostatný funkční celek. Tento celek v sobě integruje hlavní funkční komponent, veřkerý příslušný spojovací materiál a případné podpurné prvky, jako jsou konzoly či izolanty.

V případě, že daný modul není pro konkrétní konfiguraci vyžadován, dochází prostřednictvím řídicí logiky uživatelských výrazů (*expressions*) v prostředí Siemens NX k automatickému potlačení celé podsestavy. Tímto systémovým přístupem je zaručena plná integrita digitálního modelu a je zcela eliminován výskyt tzv. „sirotčích“ komponent, které by negativně ovlivňovaly přesnost modelu.

Pro zajištění stability modelu při dynamických změnách konfigurace jsou podsestavy do hlavní sestavy ustaveny prostřednictvím souřadných systémů (CSYS). Metoda ustavení CSYS na CSYS (*Coordinate System to Coordinate System*) zaručuje plnou asociativitu a integritu. Tento přístup umožňuje snadnou záměnu komponent nebo aktualizaci podsestav při zachování geometrických vazeb, čímž je dosaženo vysoké robustnosti celého virtuálního prototypu.

2.2 Tvorba sestavy svorkovnice

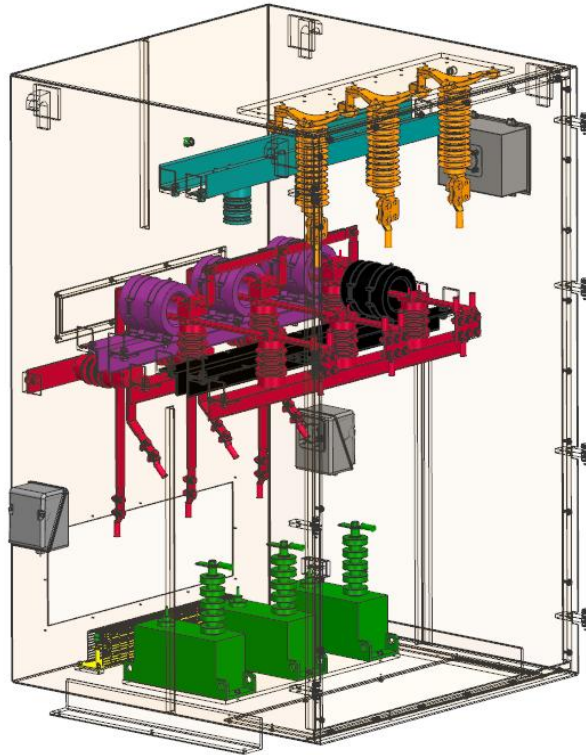
Po provedení podrobné analýzy současného stavu a definování klíčových parametrů pro optimalizaci následuje fáze samotné realizace virtuálního prototypu v prostředí Siemens NX. Proces tvorby sestavy je v souladu s novou metodikou založen na přechodu od statické šablony k dynamické šabloně, jež tvoří modulární celek schopný autonomně reagovat na změny v zadání zakázky. Hlavním pilířem této fáze je vytvoření robustní hierarchické struktury, kde je kladen důraz na maximální asociativitu a stabilitu modelu při záměně či potlačení jednotlivých komponent.

2.2.1 Návrh rozčlenění komponent do podsestav

Kritickým krokem před zahájením samotného modelování je precizní definování struktury sestavy a rozdělení jednotlivých funkčních prvků do logických celků – podsestav. Tento přístup je nezbytný pro správné fungování řídicí logiky uživatelských výrazů, které následně ovládají viditelnost celých těchto bloků.

Každá podsestava je navržena jako samostatný a integrovatelný modul, který v sobě zahrnuje nejen hlavní funkční prvek, ale také veškerý související spojovací materiál a případné nosné konzoly.

Pro vizualizaci a kontrolu navrženého rozčlenění byl vytvořen barevně rozlišený model (viz Obr. 20), který jasně definuje hranice jednotlivých modulárních podsestav.



Obr. 20: Návrh rozčlenění komponent do podsestav

Zdroj: Vlastní zpracování

Následující tabulka 5 podává podrobný přehled jednotlivých komponent a jejich odpovídajícího barevného rozlišení v modelu.

Tab. 5: Barevné rozlišení a terminologie komponent modelu

Barva zvýrazněné komponenty	Český název komponenty	Anglický název komponenty
Modrá	Vazební členy pro částečné výboje	Partial discharge couplers
Oranžová	Svodiče přepětí	Lightning arresters
Fialová	Diferenciální proudové transformátory	Differential current transformers
Černá	Měřicí proudové transformátory	Metering current transformers
Červená	Přípojnice s izolátory	Connection bars with standoff insulators
Zelená	Přepěťové kondenzátory	Surge Capacitors
Žlutá	Antikondenzační vyhřívání	Space heater
Šedá	Pomocné svorkovnice	Auxiliary boxes

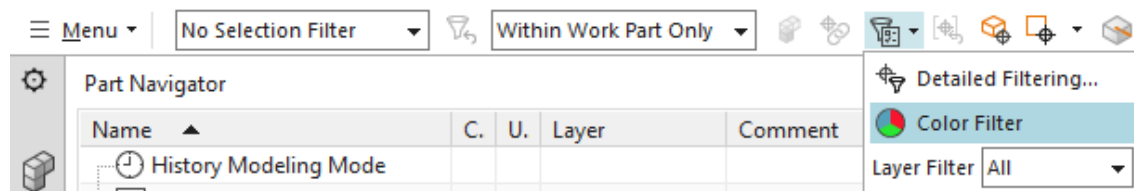
Zdroj: Vlastní zpracování

Specifickým prvkem v této struktuře jsou pomocné svorkovnice (zvýrazněny šedou barvou). Na rozdíl od ostatních volitelných modulů jsou tyto svorkovnice integrovány přímo do hlavní sestavy. Důvodem je potřeba efektivního řízení materiálového provedení prostřednictvím výrazů (*expressions*), kdy si zákazník může volit mezi odlévanou variantou nebo variantou z nerezové oceli, přičemž systém musí zajistit automatické zobrazení správného typu v závislosti na této volbě.

2.2.2 Metodika tvorby a standardizace funkčních modulů

V návaznosti na návrh modulárního členění popsaném v předchozí kapitole se tato část věnuje konkrétnímu postupu realizace jednotlivých podsestav v prostředí Siemens NX. Jako modelový příklad pro demonstraci tvorby a strukturování modulů je v následujícím textu uvažována komponenta přepěťových kondenzátorů, která je v celkovém barevném schématu virtuálního prototypu zvýrazněna zelenou barvou (viz Obr. 20).

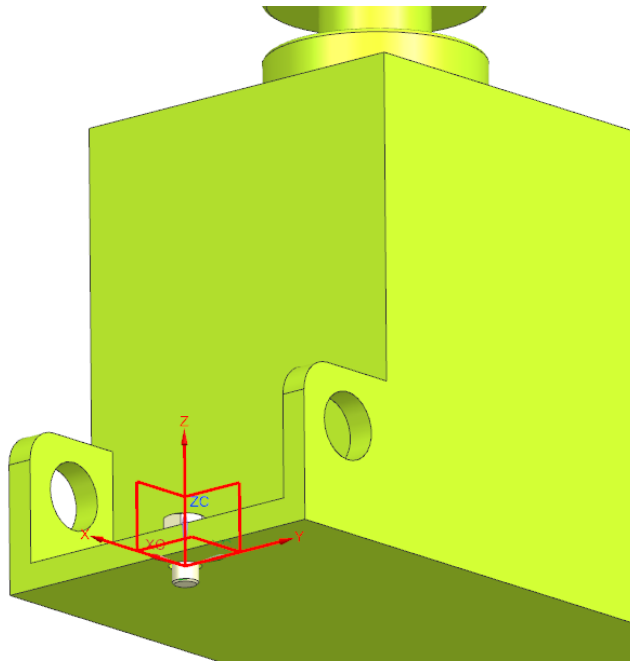
Díky tomu, že jsou jednotlivé funkční celky barevně rozlišeny již v přípravné fázi modelu, je umožněna okamžitá a vizuálně kontrolovaná selekce všech součástí náležících k danému modulu. K tomuto účelu se v Siemens NX využívá panel *General Selection Filters* (viz Obr. 21), kde je aktivována volba filtru na základě barevného atributu (*Color Filter*). Takto označené skupiny komponent jsou následně přeneseny do nového souboru podsestavy prostřednictvím standardních systémových příkazů Ctrl+C a Ctrl+V. Tento metodický postup výrazně zrychluje proces vkládání komponent do nových struktur, neboť eliminuje nutnost manuálního importu každého prvku jednotlivě.



Obr. 21: Nastavení filtru výběru na základě barev

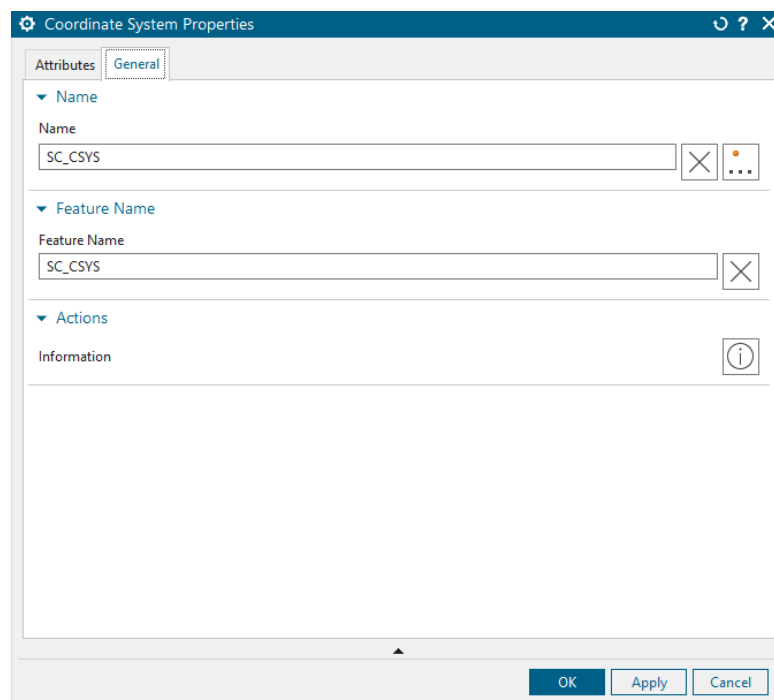
Zdroj: Vlastní zpracování

Pro zachování vysoké stability modelu je nezbytné, aby byly veškeré komponenty podsestavy pevně ustaveny a její lokální souřadný systém (CSYS) byl orientován a ustaven přímo na definovaný připojovací bod k hlavní konstrukci svorkovnice. Všechny podsestavy jsou orientovány na souřadný systém jednotným způsobem: výchozí bod (počátek) souřadného systému odpovídá přesnému bodu, ve kterém se podsestava připojuje na skříň svorkovnice. V případech, kdy je podsestava ke skříni svorkovnice upevněna pomocí více spojovacích prvků, je v rámci metodiky stanoveno pravidlo, že počátek CSYS je situován do připojovacího bodu nacházejícího se v levé přední části skříně (z pohledu od čelních dveří svorkovnice). V případě modulu přepěťových kondenzátorů je tímto bodem střed spodní hrany otvoru pro šroub, jak je detailně zobrazeno na obrázku 22. Orientace os je stanovena následovně: osa Z směřuje vertikálně vzhůru (do tělesa součásti) a osa X směřuje směrem k čelním dveřím svorkovnice. Tato exaktní definice je klíčová pro následnou integraci prvků do hlavní sestavy.



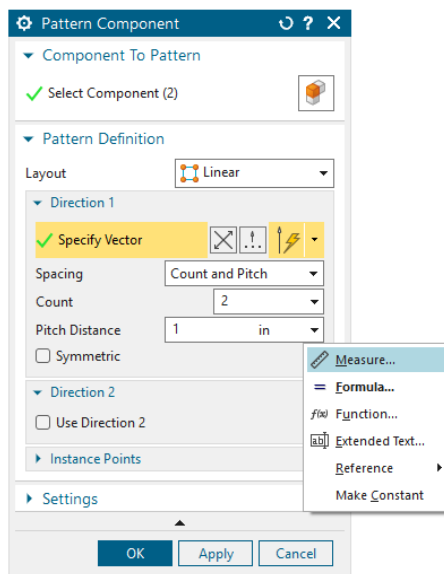
Obr. 22: Poloha a orientace souřadného systému pro přepěťové kondenzátory
 Zdroj: Vlastní zpracování

Z důvodu přesné identifikace souřadných systémů v rámci hierarchie celého virtuálního prototypu je v dialogovém okně vlastností (*Properties*), dostupném přes kontextovou nabídku, provedeno přejmenování daného CSYS (viz Obr. 22). Tato úprava je klíčová pro finální fázi sestavování, kdy jsou v hlavní sestavě na sebe metodou „CSYS na CSYS“ vázány souřadné systémy se shodnou identifikací, což zaručuje plnou asociativitu a integritu modelu.



Obr. 23: Změna názvu souřadného systému (CSYS)
 Zdroj: Vlastní zpracování

Repetitivní prvky, jako je například spojovací materiál, jsou v rámci vnitřní struktury pod sestavy multiplikovány pomocí funkce *Pattern Component*. Pro exaktní definování roztečí polí je v dialogovém okně této funkce integrován nástroj *Measure* (viz Obr. 23), který umožňuje dynamicky snímat vzdálenosti přímo z prvků geometrie aktivního modelu. Tímto způsobem je vytvořena robustní a plně definovaná pod sestava, která je připravena k integraci do dynamicky konfigurovatelné hlavní sestavy svorkovnice.



Obr. 24: Využití funkce Measure pro multiplikování komponent

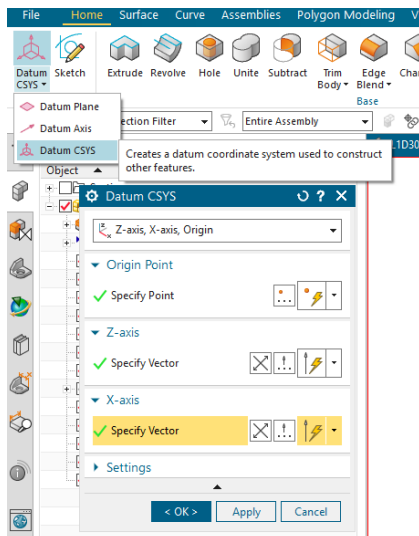
Zdroj: Vlastní zpracování

2.2.3 Definice referenční geometrie základního tělesa

V návaznosti na proces tvorby funkčních modulů popsaný v předchozí kapitole je nezbytné připravit primární těleso skříně svorkovnice tak, aby byla zajištěna jejich exaktní prostorová dispozice při vkládání do sestavy. Realizace metodiky založené na vzájemném ustavení souřadných systémů vyžaduje definici sítě lokálních referencí přímo na tělese skříně, které následně plní funkci geometrických protikusů pro jednotlivé funkční moduly.

Každý takto definovaný bod představuje standardizované montážní rozhraní, které zaručuje přesnou prostorovou orientaci a asociativitu modelu. Ta zůstává zachována za předpokladu, že nedojde k odstranění konkrétního geometrického prvku, ke kterému je souřadný systém (CSYS) vztažen. Dojde-li k odstranění nosné geometrie, souřadný systém v prostředí Siemens NX zůstává i nadále aktivním prvkem a uchovává si svou původní prostorovou pozici. Tato skutečnost je klíčová pro stabilitu celého virtuálního prototypu, neboť v nadřazené sestavě zůstává příslušný funkční modul stále korektně navázán na tento CSYS, přestože samotný referenční bod již postrádá asociativní vazbu na primární těleso. Pro úplnou obnovu integrity je následně nezbytné definovat novou asociativitu pouze pro počáteční bod (*Origin*) daného systému. Tento přístup vytváří funkční mezivrstvu mezi topologií skříně a funkčními moduly, čímž výrazně zefektivňuje případnou manuální záměnu či modifikaci modulů při požadavcích na nestandardní technická řešení.

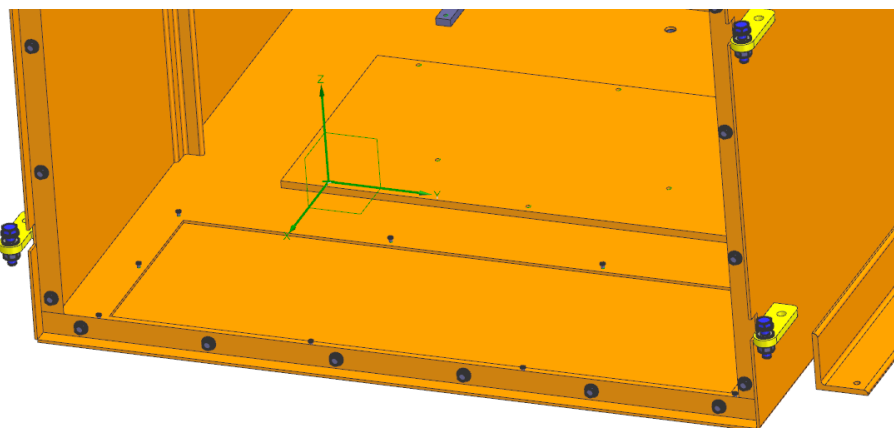
Pro tvorbu těchto referenčních prvků se využívá nástroj *Datum CSYS*. V rámci metodiky je v dialogovém okně (viz Obr. 25) preferován typ určení *Z-axis*, *X-axis*, *Origin*, který umožňuje exaktní definici směrových vektorů v souladu s pravidly stanovenými v kapitole 2.3.2. Tento přístup zajišťuje, že souřadné systémy na skříni disponují identickou orientací jako systémy ve funkčních modulech, což je kritickým předpokladem pro jejich správné vzájemné ustavení.



Obr. 25: Dialogové okno pro definici parametrů souřadného systému Datum CSYS

Zdroj: Vlastní zpracování

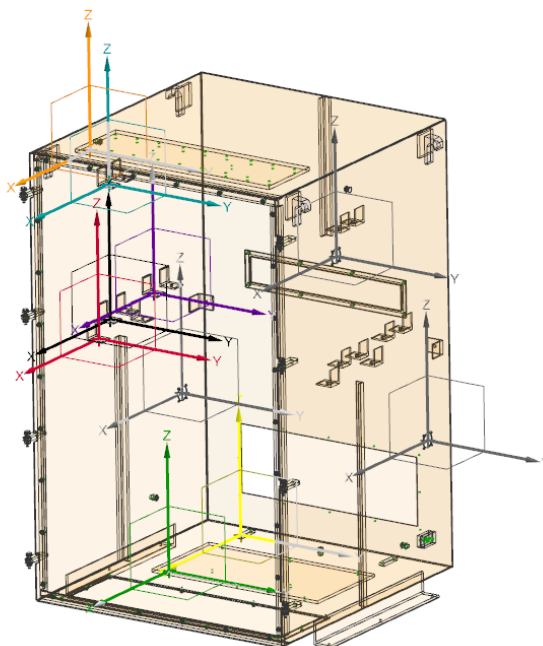
Při volbě počátku (*Origin*) jednotlivých systémů se postupuje systematicky dle pozic upevňovacích prvků. U modulu přepětového kondenzátoru je systém situován do levého předního montážního otvoru skříně (viz Obr. 26). Při orientaci os je striktně dodržována dříve definovaná konvence: osa Z směřuje vertikálně vzhůru a osa X je orientována směrem k čelním dveřím svorkovnice. Vzhledem k vysokému počtu uvažovaných komponent je nezbytná důsledná organizace prvků v navigátoru modelu (*Model History*). Každý nově vytvořený systém je přejmenován tak, aby jeho identifikátor odpovídal názvu příslušného funkčního modulu (např. SC_CSYS). Pro zvýšení přehlednosti jsou tyto referenční prvky přesunuty do hladiny č. 52, což umožňuje jejich efektivní filtraci a oddělení od standardní systémové geometrie v hladině 51. Tento metodický postup správy a kategorizace hladin je identicky aplikován u všech ostatních funkčních modulů tvořících výslednou sestavu.



Obr. 26: Umístění a orientace souřadného systému pro modul přepětového kondenzátoru

Zdroj: Vlastní zpracování

Výsledná konfigurace skříň svorkovnice (viz Obr. 27) obsahuje kompletní sadu barevně a názvoslovně rozlišených připojovacích souřadných systémů. Tyto souřadné systémy jsou v přímé korelaci s barevným schématem modulů (viz Obr. 20 v kapitole 2.3.2) a přehledem v Tabulce 5. Tímto způsobem je primární těleso plně připraveno pro finální sestavování, kde bude možné díky shodné orientaci a pojmenování referenční geometrie provádět přesné a metodicky správné ustavení všech částí virtuálního prototypu.



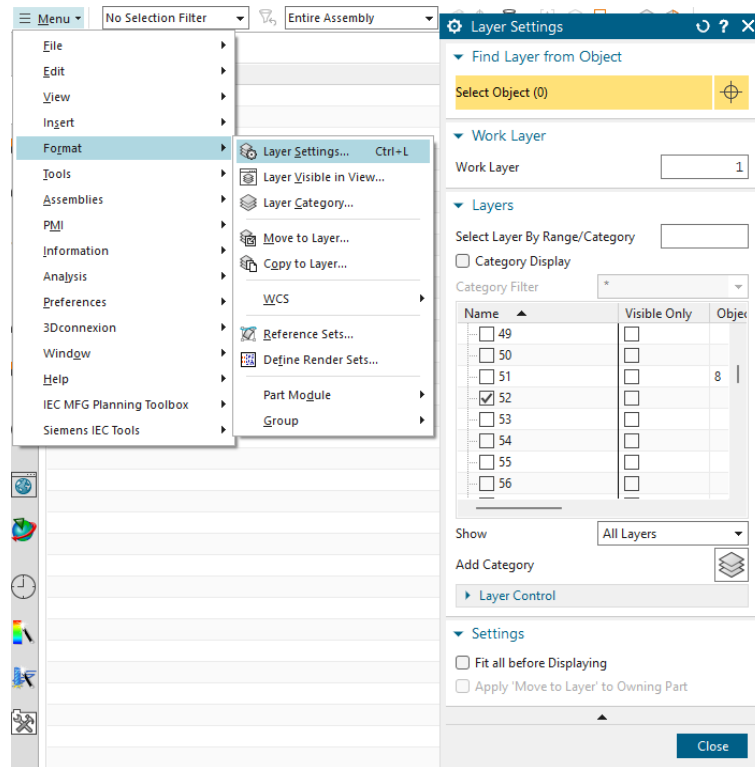
Obr. 27: Skříň svorkovnice s definovanými referenčními souřadnými systémy

Zdroj: Vlastní zpracování

2.2.4 Metodika tvorby hlavní sestavy

Proces sestavování inteligentního virtuálního prototypu navazuje na fázi definice referenční geometrie a vyžaduje systematický přístup k integraci jednotlivých funkčních modulů do prostředí hlavní sestavy. Primárním prvkem, který tvoří základ pro následné ustavení, je těleso skříň svorkovnice, které je do sestavy vkládáno jako první komponenta.

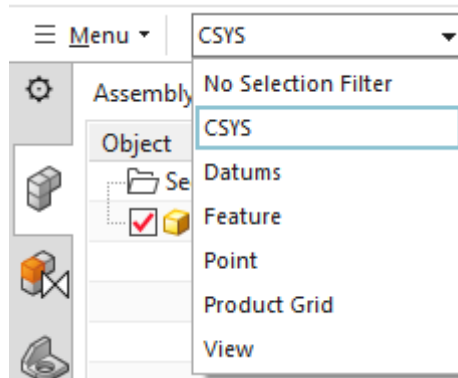
Základním předpokladem pro efektivní správu a viditelnost referenčních prvků v rámci rozsáhlé sestavy je korektní nastavení hladin (*layers*). V souladu s metodikou popsanou v předchozích částech práce jsou uživatelsky definované souřadné systémy, sloužící jako připojovací body pro moduly, alokovány do hladiny č. 52. Samotné nastavení se provádí v dialogovém okně *Layer Settings* (viz obr.29). Pro zobrazení hladiny č. 52 je v sekci *Show* nezbytné zvolit možnost *All Layers*. Aktivace hladiny č. 52 zajišťuje vizualizaci v ní obsažených souřadných systémů, což umožňuje jejich přímý výběr a využití pro definování vazeb již v okamžiku vkládání komponent do sestavy. Po úspěšné integraci všech modulárních komponent lze tyto referenční prvky reverzním postupem opětovně skrýt, čímž je docíleno vizuální čistoty a přehlednosti finálního modelu.



Obr. 28: Dialogové okno pro zobrazení hladin

Zdroj: Vlastní zpracování

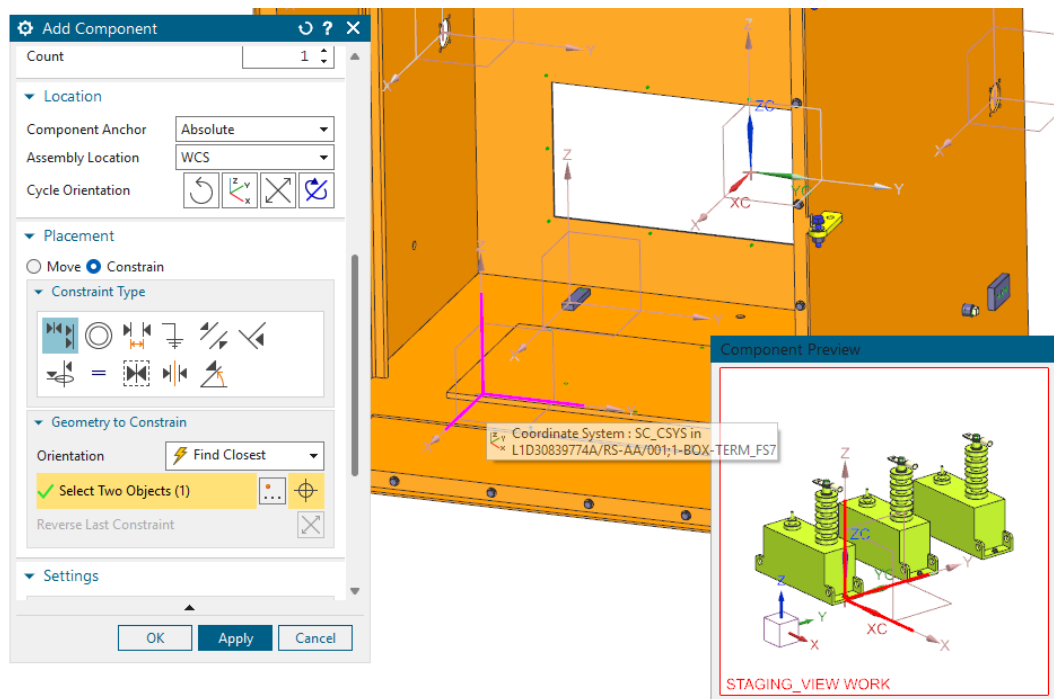
Při samotné realizaci vazeb v prostředí sestavy je nezbytné zajistit přesnou identifikaci a výběr souřadných systémů. Z důvodu eliminace chybného výběru jiné geometrie je v panelu nástrojů aktivován selekční filtr s prioritou pro souřadné systémy (CSYS). Tento filtr zužuje možnosti výběru pouze na požadované referenční prvky.



Obr. 29: Nastavení filtru pro souřadné systémy

Zdroj: Vlastní zpracování

Proces vkládání modulárních podsestav, je usnadněn aktivací funkce *Component Preview*. Tento nástroj, dostupný v sekci *Settings – Interaction Options*, umožňuje izolované zobrazení vkládaného modulu v samostatném grafickém okně (viz obr. 30). Hlavním přínosem je eliminace vizuálních bariér tvořených geometrií okolní sestavy, což dovoluje precizní selekci referenčních prvků přímo na vkládané komponentě.



Obr. 30: Využití náhledového zobrazení při integraci modulu přepěťových kondenzátorů

Zdroj: Vlastní zpracování

Výsledná metodika definování vazeb sestavy je založena na striktní konvenci „souřadný systém na souřadný systém“. Díky preciznímu definování referenčních bodů na hlavním tělese i v jednotlivých podsestavách je možné dosáhnout plného omezení stupňů volnosti (stav *Fully Constrained*) za použití pouze jediné vazby typu *Align*. Tento vysoce efektivní způsob definice pozice komponent, který minimalizuje počet vazeb a zvyšuje výpočetní stabilitu parametrického modelu, je demonstrován v navigátoru vazeb na Obr. 31.

Constraint Navigator		Part Rev...	Status
Name (Group by Components)			
Work Part			
+	L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7	001	●
-	L1D30839704A/RS-AA/001;1-Surge cappasitors	001	●
+	Align (L1D30839704A/RS-AA/001;1-SURGE CAPPASITORS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839782A/RS-AA/001;1-Partial Discharge couplers	001	●
+	Align (L1D30839782A/RS-AA/001;1-PARTIAL DISCHARGE COUPLERS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839788A/RS-AA/001;2-Lightning arresters	001	●
+	Align (L1D30839788A/RS-AA/001;2-LIGHTNING ARRESTERS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839793A/RS-AA/001;2-Space heater	001	●
+	Align (L1D30839793A/RS-AA/001;2-SPACE HEATER, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839798A/RS-AA/001;1-Differential current transformers	001	●
+	Align (L1D30839798A/RS-AA/001;1-DIFFERENTIAL CURRENT TRANSFORMERS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839806A/RS-AA/001;1-Metering current transformers	001	●
+	Align (L1D30839806A/RS-AA/001;1-METERING CURRENT TRANSFORMERS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839811A/RS-AA/001;2-Connection bars with standoff insulators	001	●
+	Align (L1D30839811A/RS-AA/001;2-CONNECTION BARS WITH STANDOFF INSULATORS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839825A/RS-AA/001;3-ATB Space Heater	001	●
+	Align (L1D30839825A/RS-AA/001;3-ATB SPACE HEATER, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839828A/RS-AA/001;3-ATB Current Transformers	001	●
+	Align (L1D30839828A/RS-AA/001;3-ATB CURRENT TRANSFORMERS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		
-	L1D30839829A/RS-AA/001;2-ATB Partial Discharge Couplers	001	●
+	Align (L1D30839829A/RS-AA/001;2-ATB PARTIAL DISCHARGE COUPLERS, L1D30839774A/RS-AA/001;1-BOX-TERM_FS7)		

Obr. 31: Zobrazení komponent s plně vymezenými stupni volnosti v navigátoru vazeb

Zdroj: Vlastní zpracování

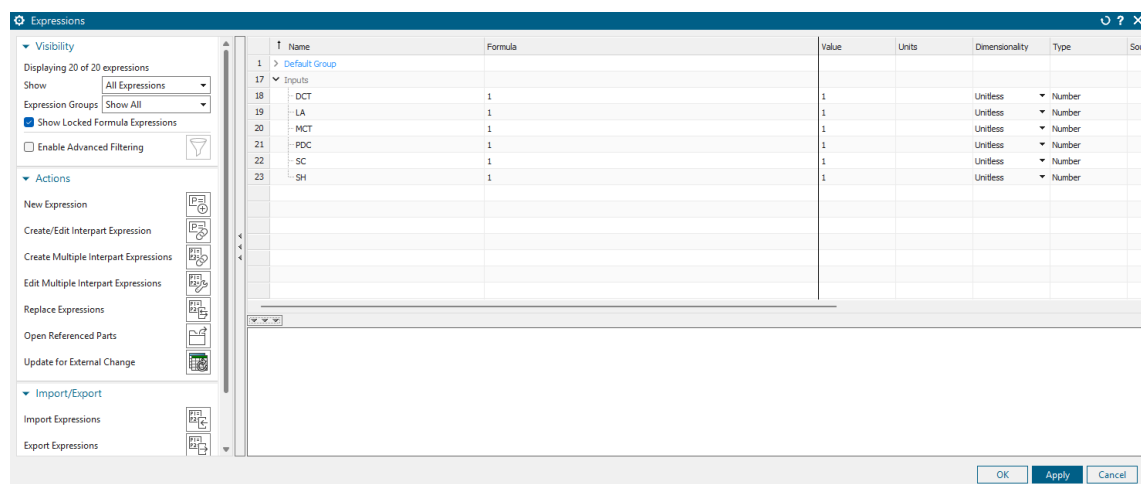
Tato metodika umožňuje sestavení kompletního virtuálního prototypu, včetně všech volitelných modulů (např. transformátory proudu, vyhřívání či monitorovací systémy), ve velmi krátkém časovém horizontu, přičemž je zachována plná asociativita mezi referenční geometrií a vkládanými komponentami.

2.3 Řízení konfigurace sestavy pomocí uživatelských výrazů

Po úspěšném sestavení mechanické struktury virtuálního prototypu následuje fáze definování řídicí logiky, která zajišťuje dynamickou změnu konfigurace v závislosti na požadavcích zakázky. Hlavním nástrojem pro implementaci této inteligence do modelu jsou uživatelské výrazy (*expressions*), které v prostředí Siemens NX umožňují matematicky a logicky propojovat jednotlivé parametry prvků.

2.3.1 Definice vstupních parametrů a organizace výrazů

Pro zachování maximální přehlednosti a uživatelské přívětivosti při následném externím řízení je nezbytná důsledná kategorizace výrazů. V dialogovém okně *Expressions* (přístupném pomocí klávesové zkratky Ctrl+E) byla vytvořena specializovaná skupina s názvem *Inputs* (viz Obr. 32). Tato skupina slouží jako centrální rozhraní pro zadávání vstupních dat o požadované výbavě svorkovnice.



Obr. 32: Správce výrazů s definovanou skupinou vstupních parametrů

Zdroj: Vlastní zpracování

Jednotlivé parametry jsou definovány jako bezrozměrné veličiny (*Unitless*). Pro účely binárního řízení viditelnosti jsou využívány celočíselné hodnoty, kde hodnota 1 reprezentuje požadavek na zobrazení modulu a hodnota 0 jeho potlačení. Každý výraz disponuje unikátním identifikátorem, který vychází z technických zkratk příslušných komponent. Pro jednoznačnou interpretaci těchto identifikátorů a jejich korelaci s českou i anglickou terminologií slouží následující tabulka 6.

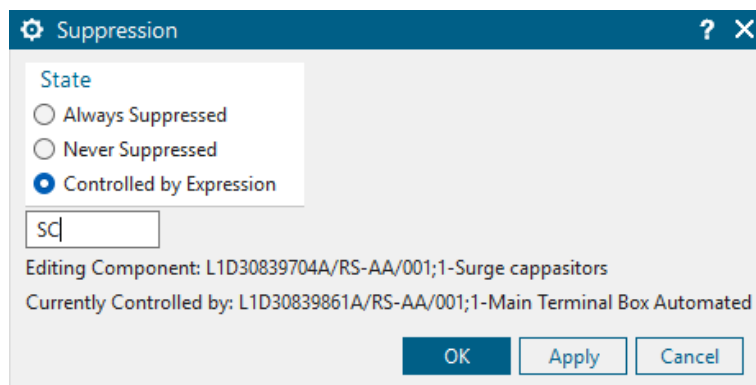
Tab. 6: Definice zkratk komponent pro parametrizaci sestavy

Zkratka pro výraz	Anglický název komponenty	Český název komponenty
DCT	Differential Current Transformers	Diferenciální proudové transformátory
LA	Lightning Arresters	Svodiče přepětí
MCT	Metering Current Transformers	Měřicí proudové transformátory
PDC	Partial Discharge Couplers	Vazební členy pro částečné výboje
SC	Surge Capacitors	Přepětivé kondenzátory
SH	Space heater	Antikondenzační vyhřívání

Zdroj: Vlastní zpracování

2.3.2 Implementace logiky automatického potlačení komponent

Propojení definovaných uživatelských výrazů s jednotlivými moduly je realizováno prostřednictvím systémové funkce *Suppression*. Tento nástroj umožňuje dynamicky měnit stav podsestav v rámci hlavní sestavy, aniž by docházelo k trvalé modifikaci strukturního stromu. Nastavení se provádí v dialogovém okně *Suppression*, kde je aktivována volba *Controlled by Expression* (viz Obr. 33).



Obr. 33: Dialogové okno Suppression s vazbou na uživatelský výraz

Zdroj: Vlastní zpracování

2.3.3 Podmíněné závislosti a logické vazby podsestav

V konstrukčním návrhu svorkovnice se vyskytují moduly, jejichž přítomnost není určena přímým vstupem, ale je závislá na konfiguraci jiných prvků. Typickým příkladem jsou pomocné svorkovnice, které musí být v sestavě obsaženy pouze tehdy, je-li zvolen alespoň jeden z modulů vyžadujících sekundární kabeláž. Pro tyto účely byla vytvořena skupina výrazů *Dependent* (viz Obr. 34).

24	Dependent				
25	CT_CI_BOX	If (DCT=1 MCT=1) Then (1) Else (0)	1	Unitless	Number
26	PDC_BOX	if (PDC=1) Then (1) else (0)	1	Unitless	Number
27	SH_CI_BOX	if (SH=1) Then (1) else (0)	1	Unitless	Number

Obr. 34: Struktura odvozených parametrů ve skupině Dependent

Zdroj: Vlastní zpracování

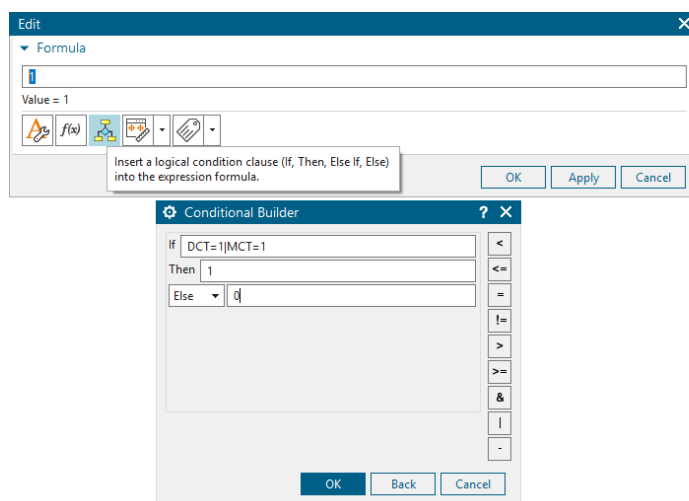
Identifikátory výrazů v této skupině a jejich návaznost na konkrétní komponenty jsou detailně popsány v následující tabulce 7.

Tab. 7: Definice zkratk pro pomocné svorkovnice

Zkratka pro výraz	Anglický název komponenty	Český název komponenty
CT_CI_BOX	Auxiliary box for Current Transformers (Cast Iron)	Pomocná svorkovnice pro proudové transformátory (Litina)
PDC_BOX	Auxiliary box for Partial Discharge Couplers	Pomocná svorkovnice pro vazební členy pro částečné výboje
SH_CI_BOX	Auxiliary box for Space Heater (Cast Iron)	Pomocná svorkovnice pro antikondenzační vyhřívání (Litina)

Zdroj: Vlastní zpracování

K definování těchto komplexních vazeb je v prostředí Siemens NX využíván nástroj *Conditional Builder*. Přístup k tomuto editoru je umožněn přes kontextovou nabídku konkrétního výrazu volbou příkazu *Edit* a následnou aktivací ikony *Conditional Builder* (viz Obr. 35). Rozhraní umožňuje zápis logických podmínek ve formátu *If–Then–Else*.



Obr. 35: Implementace logické podmínky v rozhraní Conditional Builder

Zdroj: Vlastní zpracování

Příkladem takové logiky je řízení pomocné svorkovnice pro proudové transformátory (*CT_CI_BOX*). Podmínka je definována tak, aby se svorkovnice zobrazila (hodnota 1), pokud je aktivován modul diferenciálních proudových transformátorů (*DCT*) nebo modul měřicích proudových transformátorů (*MCT*). Pro zápis této disjunkce je využit logický operátor „nebo“ (symbol `|`). V případě, že není splněna ani jedna z podmínek, systém výraz vyhodnotí jako 0 a podsestavu automaticky potlačí.

2.4 Rozšíření konfigurační logiky a správa variantních materiálů

V návaznosti na základní parametrizaci sestavy je v této kapitole popsán proces implementace pokročilých zákaznických požadavků. Jedná se především o materiálovou variabilitu pomocných svorkovnic a automatizované řízení prvků zajišťujících celistvost skříně v případě absence volitelných modulů.

2.4.1 Integrace nerezových variant pomocných svorkovnic

Pro splnění specifických požadavků na materiál pomocných svorkovnic je model rozšířen o podsestavy pomocných svorkovnic v nerezovém provedení. Tímto krokem je vyžadováno vytvoření nových podsestav pro pomocné svorkovnice proudových transformátorů a antikondenzačního vyhřívání. U pomocné svorkovnice vazebních členů pro částečné výboje (PDC) není alternativní podsestava nutná, neboť je standardně konstruována z nerezové oceli.

Při integraci nových podsestav pomocných svorkovnic jsou využívány dříve definované souřadné systémy, které byly v rámci modelu vytvořeny pro původní litinové provedení těchto komponent.

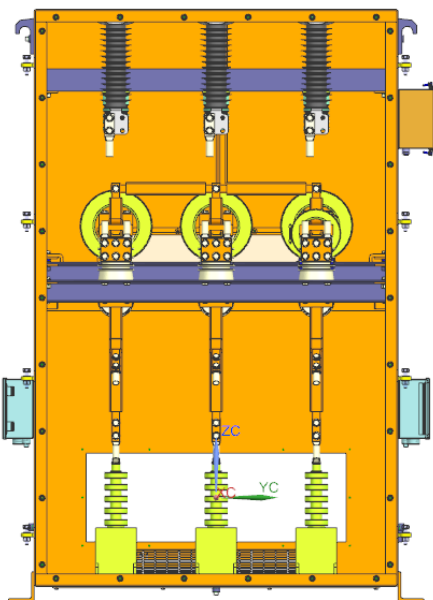
Pro efektivní řízení materiálové variability je do skupiny *Inputs* implementován nový binární výraz *SS_MAT* (Nerezový materiál pro pomocné svorkovnice – *Stainless Steel material for Auxiliary Boxes*). V návaznosti na tento parametr jsou ve skupině *Dependent* vytvořeny nové výrazy (*SH_SS_BOX* a *CT_SS_BOX*) pro správu zobrazení nerezových pomocných svorkovnic a zároveň jsou modifikovány výrazy pro původní odlévané verze. Úprava logiky u odlévaných komponent spočívá v přidání funkce konjunkce & (*AND*) s podmínkou *SS_MAT=0*. Jak je patrné na Obr. 36, pro zajištění stability výpočetního algoritmu a správného pořadí vyhodnocování je nezbytné dbát na precizní syntaktické použití závorek jednotlivých logických členů. Definice výrazů pro totožnou funkční komponentu v odlišném materiálovém provedení se pak liší výhradně v cílové hodnotě parametru *SS_MAT*, kde hodnota 1 aktivuje nerezovou variantu a hodnota 0 variantu odlévanou.

	Name	Formula	Value	Units	Dimensionality	Type
1	> Default Group					
17	Inputs					
18	- DCT	1	1		Unitless	Number
19	- LA	1	1		Unitless	Number
20	- MCT	1	1		Unitless	Number
21	- PDC	1	1		Unitless	Number
22	- SC	1	1		Unitless	Number
23	- SH	1	1		Unitless	Number
24	- SS_MAT	1	1		Unitless	Number
25	Dependent					
26	- CT_CI_BOX	If ((DCT=1 MCT=1) & (SS_MAT=0)) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number
27	- CT_SS_BOX	If ((DCT=1 MCT=1) & (SS_MAT=1)) Then (1) Else (0)	1		Unitless	Number
28	- PDC_BOX	If (PDC=1) Then (1) else (0)	1		Unitless	Number
29	- SH_CI_BOX	If ((SH=1) & (SS_MAT=0)) Then (1) else (0)	0		Unitless	Number
30	- SH_SS_BOX	If ((SH=1) & (SS_MAT=1)) Then (1) else (0)	1		Unitless	Number

Obr. 36: Konfigurace závislých výrazů pro materiálové varianty

Zdroj: Vlastní zpracování

Finálním krokem v procesu implementace je přiřazení těchto nově definovaných závislých výrazů ke konkrétním podsestavám nerezových pomocných svorkovnic. K tomuto účelu byla využita systémová funkce *Suppression – Controlled by Expression*, jejíž metodický postup byl detailně popsán v kapitole 2.3.2. Tímto způsobem je zajištěna plná automatizace viditelnosti příslušné materiálové varianty v závislosti na vstupech uživatele. Výsledná podoba virtuálního prototypu s aktivovanými nerezovými moduly v prostředí Siemens NX je znázorněna na obrázku 37.

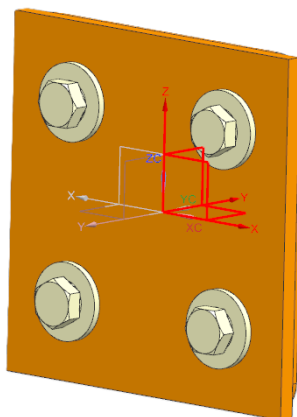


Obr. 37: Vizualizace integrovaných nerezových pomocných svorkovnice

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4.2 Automatizované řízení krytů montážních otvorů

V případech, kdy konfigurace zakázky nevyžaduje instalaci pomocných svorkovnic, musí být příslušné montážní otvory v tělese skříně zaslepeny. Pro tyto účely jsou vytvořeny podsestavy krytů. Vzhledem k požadavku na symetrické osazení skříně a nutnost dodržení metodiky orientace os (vektor X směřující k čelním dveřím svorkovnice) jsou pro pravou a levou stranu definovány dva samostatné, zrcadlově orientované souřadné systémy (viz Obr. 38).



Obr. 38: Definice a orientace souřadných systémů pro upevnění krytů

Zdroj: Vlastní zpracování

Logika zobrazování těchto krytů je inverzní k přítomnosti pomocných svorkovnic. Ve skupině *Dependent* jsou pro tento účel implementovány výrazy *CT_COVER*, *PDC_COVER* a *SH_COVER*. Aktivace daného krytu je podmíněna nulovou hodnotou výrazu pro příslušnou svorkovnici (viz Obr. 39), což zajišťuje automatické zakrytí neobsazených pozic v sestavě.“

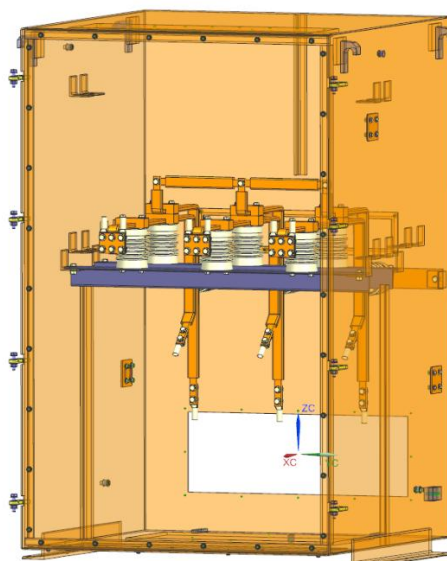
25	Dependent					
26	CT_COVER	If (CT_CI_BOX =0 & CT_SS_BOX=0) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number
27	PDC_COVER	If (PDC_BOX =0) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number
28	SH_COVER	If (SH_CI_BOX =0 & SH_SS_BOX=0) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number
29				in	Length	Number

Obr. 39: Logické výrazy zajišťující automatizaci krytů

Zdroj: Vlastní zpracování

K aplikaci definovaných výrazů na podsestavy krytů je využívána funkce *Suppression – Controlled by Expression*, která zajišťuje plně automatizované řízení jejich stavu v rámci sestavy.

Díky tomuto nastavení systém autonomně zajišťuje konstrukční úplnost vnějšího pláště skříně, čímž se eliminuje riziko opomenutí krytů ze strany konstruktéra. Výsledný stav sestavy po automatickém osazení krytů při absenci pomocných svorkovnic ilustruje obrázek 40.



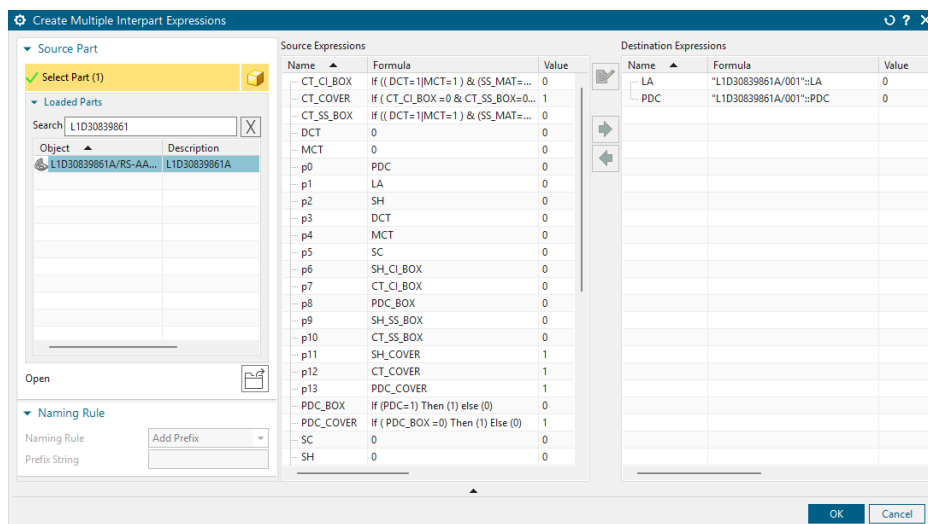
Obr. 40: Detail sestavy s aplikovanými kryty na montážních otvory

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4.3 Využití Interpart Expressions pro řízení vnitřní struktury podsestav

Následná fáze optimalizace se zaměřuje na zajištění dynamické konfigurace uvnitř podsestavy přípojnic s podpěrnými izolátory (*Connection bars with standoff insulators*). Cílem je automaticky zobrazovat nebo skrývat kabelová oka určená pro připojení svodičů přepětí a vazebních členů pro částečné výboje přímo na základě parametrů zadaných v hlavní sestavě.

K efektivnímu přenosu dat mezi hlavní sestavou a podsestavou slouží funkce *Interpart Expressions*, která umožňuje asociativní propojení parametrů napříč různými úrovněmi struktury virtuálního prototypu. Proces implementace začíná v editoru výrazů cílové podsestavy, kde se nejprve vytvoří nová skupina výrazů a následně se aktivuje nástroj *Create Multiple Interpart Expressions*. V rámci tohoto rozhraní je nejprve nutné vybrat zdrojový model (hlavní sestavu), čímž systém zpřístupní seznam všech v něm obsažených výrazů (viz Obr. 41).



Obr. 41: Proces vytváření vazeb mezi výrazy různých úrovní sestavy

Zdroj: Vlastní zpracování

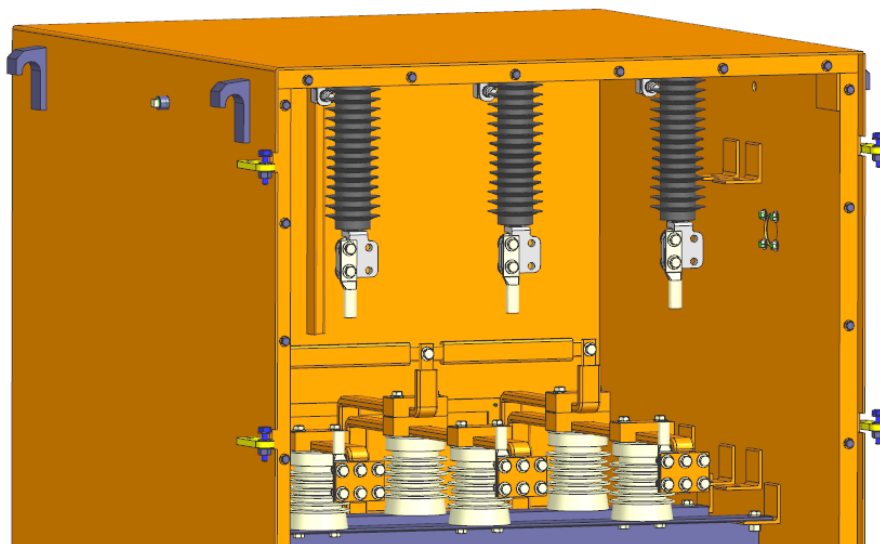
Z nabízeného výčtu jsou následně selektovány konkrétní řídicí parametry *LA* a *PDC*, které jsou po potvrzení automaticky zkopírovány do editoru podsestavy. V prostředí podsestavy tyto parametry vystupují jako asociativní reference, jejichž aktuální hodnoty jsou striktně řízeny z nadřazené úrovně modelu. Přehled těchto úspěšně importovaných parametrů v rámci nově vytvořené skupiny je uveden na Obr. 42.

Interpart Expressions						
			in	Length	Number	
31						
32	LA	(Interpart)	1	Unitless	Number	"L1D30839861A/001":LA ✓
33	PDC	(Interpart)	1	Unitless	Number	"L1D30839861A/001":PDC ✓

Obr. 42: Seznam importovaných parametrů ve skupině Interpart Expressions

Zdroj: Vlastní zpracování

Po úspěšném propojení je na konkrétní komponenty kabelových ok v podsestavě aplikována funkce *Suppression – Controlled by Expression*. Tímto způsobem je docíleno stavu, kdy se vnitřní vybavení podsestavy přípojnic dynamicky přizpůsobuje celkové specifikaci virtuálního prototypu. Příklad konfigurace, ve které je na základě vstupních dat aktivován pouze modul svodičů přepětí (přičemž kabelová oka pro PDC zůstávají automaticky skryta), je po implementaci popsání logiky zobrazen na obrázku 43.



Obr. 43: Konfigurovaný stav přípojnic s viditelnými oky pouze pro svodiče přepětí

Zdroj: Vlastní zpracování

Vizuální rozdíl je patrný při porovnání s obrázkem 40. V tomto dřívějším stavu, kdy ještě nebyla implementována odpovídající logika, zůstávají v podsestavě přípojnic viditelná kabelová oka pro obě varianty vybavení bez ohledu na to, že jsou samotné funkční moduly v hlavní sestavě potlačeny.

2.4.4 Automatizovaná volba tloušťky přípojnic

K dosažení plné parametrizace svorkovnice je nezbytné zajistit automatickou volbu tloušťky přípojnic v závislosti na velikosti protékajícího elektrického proudu. V prvním kroku se vytvářejí samostatné podsestavy pro jednotlivé varianty tlouštěk. Tento proces se realizuje pře uložení původní podsestavy přípojnic, ve které se následně zamění samotné přípojnice včetně veškerého přídavného materiálu, jenž je na danou tloušťku konstrukčně navázán. Tyto nově vytvořené podsestavy se následně vkládají do hlavní sestavy. Vzhledem k tomu, že tyto podsestavy vycházejí z již optimalizované verze modelu, zůstává u nich plně zachována asociativní návaznost na hlavní sestavu. To zahrnuje jak korektní definici referenčního souřadného systému, tak i logiku pro automatické zobrazování či potlačení připojovacích kabelových ok.

Řídící logika pro výběr odpovídající podsestavy je definována prostřednictvím uživatelských výrazů. Ve správci výrazů se ve skupině vstupních parametrů (*Inputs*) zavádí nová proměnná *CURRENT* (elektrický proud), která slouží jako základní určující veličina pro tloušťku přípojnic. Následně se ve skupině závislých proměnných (*Dependent*) definují tři nové výrazy: *BAR_0_25*, *BAR_0_375* a *BAR_0_75*.

Tyto výrazy slouží k řízení viditelnosti příslušné tloušťky přípojnice. Pro stanovení podmínky, zda má být komponenta na základě hodnoty proudu zobrazena, se využívá logická funkce *If–Then–Else*. Konkrétní algoritmus pro výběr komponenty je definován následovně:

- Výraz *BAR_0_25* (přípojnice o tloušťce 0,25 palce) je vybrán, pokud je hodnota proudu menší než 468.
- Výraz *BAR_0_375* (přípojnice o tloušťce 0,375 palce) je vybrán, pokud je hodnota proudu větší nebo rovna 468 a zároveň menší než 704.
- Výraz *BAR_0_75* (přípojnice o tloušťce 0,75 palce) je vybrán, pokud je hodnota proudu větší nebo rovna 704 a zároveň menší než 1406.

Vytvořené závislé proměnné, včetně exaktního zápisu podmínek výběru, jsou detailně vyobrazeny na Obr. 44.

13	Dependent				
14	BAR_0_25	If (CURRENT < 468) Then (1) Else (0)	0	Unitless	Number
15	BAR_0_75	If (CURRENT >= 704 & CURRENT < 1406) Then (1) Else (0)	1	Unitless	Number
16	BAR_0_375	If (CURRENT >= 468 & CURRENT < 704) Then (1) Else (0)	0	Unitless	Number

Obr. 44: Vytvořené výrazy pro řízení tloušťky přípojnic

Zdroj: Vlastní zpracování

Tímto metodickým postupem se do virtuálního prototypu úspěšně integrují expertní inženýrské znalosti týkající se dimenzování přípojnic, čímž je celý proces volby plně automatizován.

2.5 Propojení virtuálního prototypu s externím datovým rozhraním

Navazujícím procesem v rámci vývoje inteligentního virtuálního prototypu je integrace řídicí logiky s externím datovým zdrojem. Cílem této fáze je umožnit konfiguraci sestavy uživatelům bez pokročilé znalosti CAD systémů, což je realizováno prostřednictvím asociativního propojení mezi prostředím Siemens NX a tabulkovým procesorem MS Excel.

2.5.1 Konfigurace vstupních dat v programu MS Excel

Prvním krokem procesu je vytvoření řídicí tabulky v programu MS Excel, která slouží jako uživatelské rozhraní. V této tabulce jsou definovány názvy jednotlivých komponent sestavy svorkovnice. Pro řízení jejich přítomnosti (viditelnosti) je implementována binární logika. Aby se předešlo uživatelským chybám při zadávání dat, je v buňkách pro výběr konfigurace využita funkce *Ověření dat*. Toto nastavení omezuje uživatelský vstup pouze na hodnoty „1“ (komponenta je v sestavě požadována) a „0“ (komponenta má být potlačena). Tato volba je realizována prostřednictvím rozevíracího seznamu, jak je znázorněno na Obr. 45.

	A	B	C	D
	Main Terminal Box - Input data			
1				
2				
3				
4			Current	800
5			Differential Current Transformers	1
6			Lightning Arresters	0
7			Metering Current Transformers	1
8			Partial Discharge Couplers	0
9			Surge Capacitors	1
10			Space Heater	1
11			Stainless Steel Aux Boxes	1
12				
13				

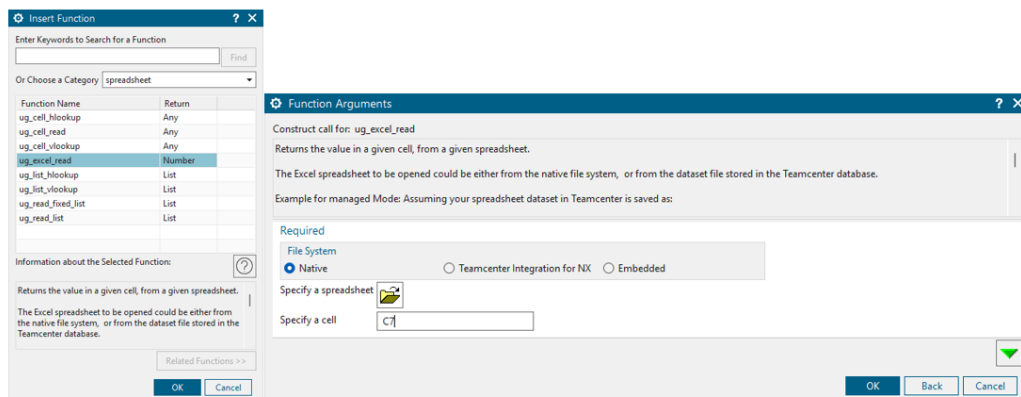
Obr. 45: Vstupních dat v prostředí MS Excel

Zdroj: vlastní zpracování

2.5.2 Implementace datové vazby v Siemens NX

Samotný proces načítání dat z externího zdroje do systému Siemens NX je realizován v editoru výrazů. Pro každý relevantní parametr je definován výraz, jehož hodnota je dynamicky čerpána ze souboru excelu. Využívá se k tomu standardní systémová funkce *ug_excel_read*.

Postup přiřazení zahrnuje aktivaci příkazu *Insert Function* v rámci editoru výrazů, kde je v kategorii *Spreadsheet* zvolena výše zmíněná funkce. V dialogovém okně (viz Obr. 46) se následně definuje cesta ke zdrojovému souboru a konkrétní adresa buňky, ze které má být hodnota načítána. Je však nezbytné zdůraznit, že reflexe změn provedených v externím dokumentu do 3D modelu neprobíhá v reálném čase. Pro synchronizaci aktuálních dat a následnou regeneraci geometrie je vyžadována manuální iniciace prostřednictvím systémového příkazu *Update for External Change*.



Obr. 46: Načtení hodnoty z Excelu v editoru výrazů

Zdroj: vlastní zpracování

Tento metodický postup je repetitivně aplikován na všechny parametry definující konfiguraci svorkovnice, čímž vzniká ucelený seznam vstupních hodnot (*Inputs*) přímo vázaných na externí tabulku (viz Obr. 47).

↑	Name	Formula	Value
1	> Default Group		
34	▼ Inputs		
35	CURRENT	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C4")	400
36	DCT	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C5")	1
37	LA	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C6")	1
38	MCT	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C7")	1
39	PDC	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C8")	0
40	SC	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C9")	1
41	SH	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C10")	1
42	SS_MAT	ug_excel_read("C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx", "C11")	1

Obr. 47: Vstupní výrazy navázané na externí zdroj

Zdroj: vlastní zpracování

2.5.3 Centralizace správy souborových cest

Z důvodu zajištění robustnosti modelu a snadné údržby při případné migraci dat v rámci souborového systému byla implementována centralizovaná správa cest. Při použití absolutních souborových cest přímo v argumentech funkce *ug_excel_read* vzniká riziko ztráty asociativity při přesunu řídicího souboru.

Pro eliminaci tohoto nedostatku byl vytvořen pomocný výraz s názvem *EXCEL_LOCATION*, definovaný jako datový typ *String* (řetězec). Do tohoto výrazu je vložena aktuální cesta k řídicímu souboru. Následně byly veškeré funkce *ug_excel_read* modifikovány tak, že namísto statického textového řetězce s cestou se odkazují na proměnnou *EXCEL_LOCATION* (viz Obr. 48). Tato modifikace zajišťuje, že při změně umístění externího zdroje postačuje aktualizovat pouze jednu hodnotu v editoru výrazů, čímž je zaručena kontinuální funkčnost celého parametrického modelu.

↑	Name	Formula	Value
1	> Default Group		
34	▼ Inputs		
35	CURRENT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C4")	800
36	DCT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C5")	1
37	EXCEL_LOCATION	"C:\Users\z003unpx\Favorites\Diplomova_prace>Main_Terminal_Box_Inputs.xlsx"	"C:\Users\z003u...
38	LA	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C6")	1
39	MCT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C7")	1
40	PDC	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C8")	0
41	SC	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C9")	1
42	SH	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C10")	1
43	SS_MAT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C11")	1

Obr. 48: Upravená syntaxe funkcí *ug_excel_read* využívající parametrizovanou cestu

Zdroj: vlastní zpracování

2.5.4 Implementace archivačního mechanismu a optimalizace uživatelského rozhraní

Pro zajištění efektivní správy dat a zpětnou dohledatelnost jednotlivých konfigurací virtuálního prototypu je do řídicího souboru v prostředí *MS Excel* implementován modul pro archivaci parametrů. Vstupní rozhraní rozšiřujeme o nové atributy *Order Number* (číslo zakázky) a *Assembly Identification Number* (identifikační číslo sestavy), které slouží k jednoznačné identifikaci každé vytvořené varianty v rámci výrobního procesu.

Součástí sešitu je sekundární list s názvem *Overview*, který plní funkci databázového úložiště. Tento list obsahuje strukturovanou hlavičku se zkratkami jednotlivých komponent, což umožňuje chronologické řazení a následnou filtraci exportovaných dat (viz Obr. 49).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Assembly ID	Current	DCT	LA	MCT	PDC	SC	SH	SS	Order Number
2										

Obr. 49: Struktura archivačního listu

Zdroj: vlastní zpracování

Automatizaci přenosu dat mezi konfiguračním listem a archivem zajišťuje skript v jazyce *Visual Basic for Applications* (VBA). Zdrojový kód tohoto makra je generován s využitím umělé inteligence Gemini a následně optimalizován pro validní zápis dat na první volný řádek tabulky. Skript je integrován do nového modulu v prostředí *Microsoft VBA* (přístup přes klávesovou zkratku Alt+F11), výsledná podoba implementovaného algoritmu je zachycena na Obr. 50.

```

Main_Terminal_Box_Inputs.xlsm - Module1 (Code)
[General] SaveNewRecord

Sub SaveNewRecord()
    Dim wsSource As Worksheet
    Dim wsTarget As Worksheet
    Dim firstEmptyRow As Long
    Dim i As Integer

    ' Set worksheet names - ensure these match exactly the names on the tabs
    Set wsSource = ThisWorkbook.Sheets("Main Terminal Box")
    Set wsTarget = ThisWorkbook.Sheets("Overview")

    ' Find the first empty row on the Overview sheet (searching in column A)
    firstEmptyRow = wsTarget.Cells(wsTarget.Rows.Count, "A").End(xlUp).Row + 1

    ' Write data from the source sheet to the target sheet

    ' 1. Position: Assembly Identification Number (from C13 to column A)
    wsTarget.Cells(firstEmptyRow, 1).Value = wsSource.Range("C13").Value

    ' 2. Position: Values from C4 to C11 (to columns B through I)
    ' Use a loop to go through cells C4 to C11 and write them to columns 2 to 9
    For i = 4 To 11
        wsTarget.Cells(firstEmptyRow, i - 2).Value = wsSource.Range("C" & i).Value
    Next i

    ' 3. Position: Order Number (from C2 to column J)
    wsTarget.Cells(firstEmptyRow, 10).Value = wsSource.Range("C2").Value

    ' Message to the user about successful save
    MsgBox "New record has been successfully added to the Overview sheet.", vbInformation, "Done"
End Sub

```

Obr. 50: Zdrojový kód VBA skriptu pro automatizovanou archivaci parametrů

Zdroj: vlastní zpracování

Uživatelské spuštění archivačního procesu se realizuje prostřednictvím ovládacího prvku typu tlačítko. Tento prvek se do pracovního listu vkládá přes kartu *Vývojář* volbou nástroje *Vložit – Tlačítko*. Definování fyzické velikosti a umístění tlačítka probíhá tahem myši, na což systém bezprostředně reaguje zobrazením dialogového okna *Přiřadit makro*. V tomto kroku se k ovládacímu prvku přiřazuje dříve vygenerovaný *VBA modul*. Z důvodu integrace aktivního obsahu je následně nezbytné provést transformaci souboru a jeho uložení ve formátu sešitu s podporou maker (.xlsm), což je nezbytná podmínka pro zachování funkčnosti implementovaných algoritmů.

Tato změna formátu a názvu souboru přímo ovlivňuje datovou vazbu v CAD systému. V prostředí Siemens NX je proto nutné aktualizovat cestu k externímu zdroji v rámci výrazu *EXCEL_LOCATION*. Do tohoto řetězce vkládáme novou absolutní cestu k souboru s příponou *.xism*, čímž je obnovena plná asociativita modelu. Finální složení výrazů pro řízení virtuálního prototypu je dokumentováno na Obr. 51.

Name	Formula	Value	Units	Dimensionality	Type	Source	Status	Comment
Default Group								
Inputs								
CURRENT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C4")	350		Unitless	Number			
DCT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C5")	1		Unitless	Number			
EXCEL_LOCATION	"C:\Users\p003unp\Downloads\Diplomova prace\Main_Terminal_Box_Inputs.xism"	C:\Users\p003unp...			String			
LA	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C6")	1		Unitless	Number			
MCT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C7")	1		Unitless	Number			
PDC	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C8")	0		Unitless	Number			
SC	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C9")	1		Unitless	Number			
SH	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C10")	1		Unitless	Number			
SS_MAT	ug_excel_read(EXCEL_LOCATION, "C11")	1		Unitless	Number			
Dependent								
BAR_0_25	If (CURRENT < 468) Then (1) Else (0)	1		Unitless	Number			
BAR_0_75	If (CURRENT >= 704 & CURRENT <1406) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number			
BAR_0_375	If (CURRENT >= 468 & CURRENT <704) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number			
CT_CI_BOX	If ((DCT=1 IMCT=1) & (SS_MAT=0)) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number			
CT_COVER	If (CT_CI_BOX =0 & CT_SS_BOX=0) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number			
CT_SS_BOX	If ((DCT=1 IMCT=1) & (SS_MAT=1)) Then (1) Else (0)	1		Unitless	Number			
PDC_BOX	If (PDC=1) Then (1) else (0)	0		Unitless	Number			
PDC_COVER	If (PDC_BOX =0) Then (1) Else (0)	1		Unitless	Number			
SH_CI_BOX	If (SH=1) & (SS_MAT=0)) Then (1) else (0)	0		Unitless	Number			
SH_COVER	If (SH_CI_BOX =0 & SH_SS_BOX=0) Then (1) Else (0)	0		Unitless	Number			
SH_SS_BOX	If ((SH=1) & (SS_MAT=1)) Then (1) else (0)	1		Unitless	Number			

Obr. 51: Finální verze systémových výrazů v Siemens NX

Zdroj: vlastní zpracování

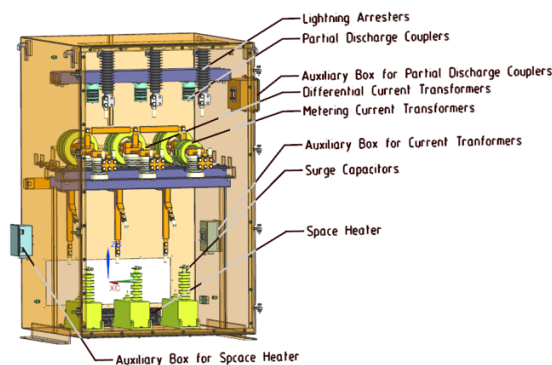
Pro zvýšení uživatelského komfortu a eliminaci chyb při konfiguraci je excelový soubor doplněn o názornou technickou ilustraci svorkovnice. Tento vizuální prvek slouží jako grafická legenda, která identifikuje pozice jednotlivých modulů definovatelných v sekci vstupních parametrů (*Inputs*). Celková podoba uživatelského rozhraní, integrující konfigurační parametry, ovládací prvky a technické vyobrazení sestavy, je uvedena na Obr. 51.

Main Terminal Box - Input data

Order Number	111111112
Current	340
Differential Current Transformers	0
Lightning Arresters	1
Metering Current Transformers	0
Partial Discharge Couplers	1
Surge Capacitors	0
Space Heater	1
Stainless Steel Aux Boxes	0
Assembly Identification Number	L1D30839852A

Save Inputs

0 = Component not included in the assembly
1 = Component included in the assembly



Obr. 52: Uživatelské rozhraní v MS Excel s integrovanou legendou komponent

Zdroj: vlastní zpracování

3 Diskuse

Předložená práce se zaměřila na vývoj metodiky pro tvorbu inteligentního virtuálního prototypu svorkovnice. V průběhu vlastní tvorby sestavy se nevyskytly žádné zásadní technické potíže, které by narušily kontinuitu vývoje. Zvolený koncepční přístup umožnil integrovat široké spektrum potenciálních zákaznických požadavků do jednotné logické struktury, ve které je aplikována automatizační logika pro řízení viditelnosti a konfigurace prvků. Tato logika je v prostředí Siemens NX realizována prostřednictvím stěžejních nástrojů pro parametrizaci, konkrétně s využitím systémových výrazů (*Expressions*) a funkcí pro řízené potlačení komponent (*Suppression by Expression*). Tyto nativní nástroje umožnily vytvořit plně asociativní model, který automaticky regeneruje svou konfiguraci na základě aktualizovaných vstupních parametrů.

Určitá technická bariéra se vyskytla v závěrečné fázi při konfiguraci externího rozhraní v programu MS Excel. Při transformaci standardního sešitu do formátu s podporou maker (.xism) došlo k zablokování aktivního obsahu v důsledku bezpečnostních politik balíku Microsoft Office. Tato restrikce byla pravděpodobně vyvolána prací na podnikovém výpočetním zařízení při simultánním přihlášení více uživatelských účtů (firemního a školního), což systém vyhodnotil jako bezpečnostní riziko. Problém byl eliminován vytvořením zcela nového souboru přímo ve formátu .xism a následným přenesením datové struktury a skriptů, čímž byla plná funkčnost rozhraní obnovena.

Proces ověřování funkčnosti probíhal iterativně v rámci implementace každého logického celku. Závěrečné komplexní testování celého virtuálního prototypu potvrdilo stabilitu nastavených vazeb a výrazů, přičemž nebyly detekovány žádné chyby v regeneraci modelu či v přenosu dat mezi CAD systémem a externím zdrojem.

V rámci dalšího rozvoje virtuálního prototypu lze identifikovat dvě oblasti pro zvýšení stupně automatizace. První oblastí je implementace automatizované výkresové dokumentace navázané na stávající model. Pomocí přenosu referencí výrazů (*interpart expressions*) by bylo možné dynamicky zobrazovat pozice na základě logiky již definované ve virtuálním prototypu, čímž by se eliminovala nutnost manuálních úprav výkresů pro jednotlivé konfigurace. Druhým směrem vylepšení je vývoj skriptů v prostředí NX, které by automatizovaly rutinní úkony, jako je aktualizace externích parametrů, generování nových identifikátorů sestavy a následná archivace konfiguračních dat.

Navržená metodika tak tvoří validní základ pro digitální transformaci procesu návrhu svorkovnic, směřující k minimalizaci manuálních konstrukčních činností.

Závěr

Předložená diplomová práce se věnovala problematice automatizace inženýrských činností v procesu digitálního vývoje výrobku. Hlavním cílem bylo navrhnout a implementovat metodiku tvorby externě řízeného virtuálního prototypu hlavní svorkovnice v prostředí systému Siemens NX. Primární motivací pro navržené řešení byla snaha o časovou optimalizaci při tvorbě nových sestav svorkovnic, vyvolaná transformací procesů zpracování technické dokumentace v současné konstrukční praxi.

V rámci teoretické části byly analyzovány moderní přístupy k automatizaci konstrukčních procesů a principy parametrického modelování v inženýrské praxi se zaměřením na metodiku tvorby sestav v systému Siemens NX. Teoretický základ byl doplněn o technický popis architektury a specifických komponent vysokonapěťové svorkovnice. Tato část práce sloužila k představení konstrukčního uspořádání a definování fyzických prvků. Celý teoretický rámec tak vytvořil ucelený podklad pro praktickou realizaci parametrického modelu. Následná praktická část se soustředila na vývoj robustního parametrického modelu, jehož logická struktura byla definována pomocí systému výrazů (*expressions*). Klíčovým přínosem práce je integrace tohoto modelu s externím uživatelským rozhraním v programu MS Excel. Toto propojení umožňuje generování validních 3D konfigurací uživatelům bez pokročilé znalosti CAD systémů.

Navržené řešení úspěšně implementuje dynamické řízení viditelnosti a parametrů jednotlivých modulů svorkovnice. Aplikovaná metodika zajišťuje, že po změně vstupních parametrů v externí tabulce a následné aktualizaci dat v prostředí Siemens NX dojde k automatickému přemodelování 3D sestavy do požadované konfigurace. Tímto způsobem je zajištěna vysoká míra flexibility modelu při zachování integrity sestavy.

Na základě úspěšné verifikace funkčnosti propojení mezi externím rozhraním a CAD systémem lze konstatovat, že stanovené cíle diplomové práce byly naplněny. Vytvořený parametrizovaný 3D model potvrzuje technickou proveditelnost navržené metodiky a vytváří předpoklady pro významné zrychlení procesu zakázkové konstrukce. Odstraněním nutnosti manuální modifikace geometrie a jejím nahrazením algoritmem řízeným z MS Excel dochází k eliminaci kritických bodů, v nichž v běžné praxi vznikají chyby vlivem lidského faktoru.

Navržené řešení tak představuje funkční bázi pro optimalizaci konstrukčních procesů. Vzhledem k dosažené funkční integritě a stabilitě parametrického modelu lze předpokládat, že je tato metodika aplikovatelná v reálném průmyslovém prostředí, kde může sloužit jako základní stavební kámen pro následnou plnou automatizaci, například v oblasti generování výkresové dokumentace.

Seznam použité literatury

- ADAM. *Siemens NX Made Easy: A Comprehensive Roadmap from CAD Design to 5-Axis CAM*. Online. 2025-12-23. In: CAD Drafter. Dostupné z: <https://caddrafter.us/roadmap-from-cad-design-to-5-axis-cam/>. [cit. 2026-03-27].
- ALEX_ARIE71. *Re: Assembly constraint cleanup after component replacement?*. Online. In: Siemens Community: NX CAD. 2019-09-10. Dostupné z: <https://community.sw.siemens.com/s/question/0D540000064QqnzSAC/assembly-constraint-cleanup-after-component-replacement>. [cit. 2026-03-27].
- ALEXANDRU, Catalin; JALIU, Codruta a COMSIT, Mihai. *Virtual Prototyping Platform for Designing Mechanical and Mechatronic Systems*. Online. In: ALEXANDRU, Catalin (ed.). *Product Design*. London: IntechOpen, 2020. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.92801>. [cit. 2026-02-22].
- AMADORI, Kristian. *Geometry Based Design Automation: Applied to Aircraft Modelling and Optimization*. Online, disertační práce. Linköping: Linköping University, Department of Management and Engineering, 2012. ISBN 978-91-7519-986-3. Dostupné z: <https://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A466519&dswid=-5107>. [cit. 2026-03-03].
- ARANBURU, Aritz; COTILLAS, Josu; JUSTEL, Daniel; CONTERO, Manuel a CAMBA, Jorge D. *How Does the Modeling Strategy Influence Design Optimization and the Automatic Generation of Parametric Geometry Variations?*. Online. *Computer-Aided Design*. 2022. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2022.103364>. [cit. 2026-03-19].
- BEHROZIBADO, Mohammadreza; IRAVANI, Mohammad Amin; NIASAR, Mohamad Ghaffarian; PHUNG, Toan; FJELDSTED, Edvard et al. *Partial Discharges Monitoring for Electric Machines Diagnosis: A Review*. Online. *Energies*. 2022, roč. 15, č. 21. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en15217966>. [cit. 2026-03-26].
- CAD CAM SOLUTIONS, MEERUT. *#NX Design Simulation #Structural Analysis*. Online, video. 2020-03-09. Dostupné z: YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=u9chkBp-Q2Y>. [cit. 2026-03-22].
- CAD CUBE 360. *IF AND ELSE FUNCTION | ADVANCE EXPRESSION | SIEMENS NX | ENGLISH*. Online, video. 2024-04-14. Dostupné z: YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=UiyeqS-nAnE>. [cit. 2026-03-22].
- DDSPLM. *hings You Should Know About the Future of Siemens NX CAM Software*. Online, blogový příspěvek. 2026-02-10. Dostupné z: https://ddsplm.com/blogs_view/68-hings-you-should-know-about-the-future-of-siemens-nx-cam-software. [cit. 2026-03-12].
- DESIGN VISIONARIES. *NX 11 Using List Expressions*. Online, video. 2017-05-03. Dostupné z: YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=xCGkDpw0yX8>. [cit. 2026-03-28].
- FARJANA, Shahjadi Hisan a HAN, Soonhung. *Mechanisms of Persistent Identification of Topological Entities in CAD Systems: A Review*. Online. *Alexandria Engineering Journal*. 2018, roč. 57, č. 4, s. 2837–2849. ISSN 1110-0168. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.01.007>. [cit. 2026-03-27].

- GOOGLE. Gemini. Online, generativní AI. Verze Gemini 3 Pro. 18. listopadu 2025. Dostupné z: <https://gemini.google.com/app>. [cit. 2026-03-30].
- GÓRSKI, Filip; ZAWADZKI, Przemysław a HAMROL, Adam. Knowledge based engineering as a condition of effective mass production of configurable products by design automation. Online. *Journal of Machine Engineering*. 2016, roč. 16, č. 4, s. 5–30. Dostupné z: <https://bibliotekanauki.pl/articles/100041>. [cit. 2026-03-03].
- INNOMOTICS GMBH. *Innomotics Moves! High Voltage Motors HV M: Catalog D 84.3*. Online. Edition 12/2024. Norimberk: Innomotics GmbH, 2024. Dostupné z: <https://www.innomotics.com/hub/en/109757496>. [cit. 2026-03-29].
- JUBIERRE, Javier Ramos a BORRMANN, André. Knowledge-based engineering for infrastructure facilities: Assisted design of railway tunnels based on logic models and advanced procedural geometry dependencies. Online. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2015, roč. 20, s. 421–441. Dostupné z: <https://www.itcon.org/2015/26>. [cit. 2026-03-16].
- JUUSTOVAARA, Alexander. *Research of Modular Assembly Methods in NX 8.0*. Online, bakalářská práce. Vaasa: Vaasan University of Applied Sciences, Faculty of Mechanical Engineering, 2015. Dostupné z: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95698/Juustovaara_Alexander.pdf?sequence=1. [cit. 2026-03-24].
- KAPILSHARMA. *[Obrázek v příspěvku Constrain import components using coordinate system constraints]*. Online, obrázek. 2018. In: Siemens Support Community. Dostupné z: <https://community.sw.siemens.com/s/question/0D540000061xJcUSAU/constrain-import-components-using-coordinate-system-constraints>. [cit. 2026-03-27].
- LI, Haibing; YE, Yaoliang; ZHANG, Zhongbo; YU, Wei a ZHU, Wenbo. A comparative analysis of CAD modeling approaches for design solution space exploration. Online. *Advances in Mechanical Engineering*. 2024, roč. 16, č. 3, s. 1–21. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/16878132241238089>. [cit. 2026-03-16].
- MAYA HTT. *How to drive NX expressions from a spreadsheet*. Online, blogový příspěvek. 2016-03-30. Dostupné z: <https://www.mayahtt.com/blog/how-to-drive-nx-expressions-from-a-spreadsheet/>. [cit. 2026-03-29].
- MODATEK. *SIEMENS NX CAD FOR DESIGN!*. Online. 2023-04-27. Dostupné z: <https://modatek.co.uk/siemens-nx-cad/>. [cit. 2026-03-22].
- NIDEC MOTOR CORPORATION. *Surge Protection*. Online. © 2026. In: U.S. MOTORS. Dostupné z: <https://acim.nidec.com/motors/usmotors/TechDocs/ProFacts/Surge-Protection>. [cit. 2026-03-31].
- OZER, Ishak a UNLUTURK, Ali. Comparison of Current Ratio Errors of Support and Toroidal Type CTs in Electric Power Systems: A Case Study. Online. *IEEE Access*. 2025, roč. 13, s. 120973–120982. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3587981>. [cit. 2026-03-31].

- SCHULTZ, Sebastien. *Feature Templates | NX Tips and Tricks*. Online, blogový příspěvek. 2023-01-13. Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/nx-design/feature-templates-tips-and-tricks/>. [cit. 2026-03-28].
- SEGOVIA, Mariana a GARCIA-ALFARO, Joaquin. Design, Modeling and Implementation of Digital Twins. Online. *Sensors*. 2022, roč. 22, č. 14, article 5396. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s22145396>. [cit. 2026-02-25].
- SHIH, Randy. *Parametric Modeling with Siemens NX*. Online. Mission: SDC Publications, 2023. ISBN 978-1-63057-613-4. Dostupné z: <https://www.perlego.com/book/4198472>. [cit. 2026-03-21].
- SIEMENS. *Siemens adds Product Template Studio to NX PLM software*. Online. 2010-11-03. In: Automation.com. Dostupné z: <https://www.automation.com/article/siemens-adds-product-template-studio-to-nx-plm-sof>. [cit. 2026-03-28].
- SIEMENS. *Generative design for product development*. Online. ©2026a. Dostupné z: <https://resources.sw.siemens.com/en-US/e-book-generative-design-for-product-development/>. [cit. 2026-03-21].
- SIEMENS DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE. *NX 2212 Series*. Online. © 2023. Dostupné z: <https://docs.sw.siemens.com/en-US/documents/209349590/PL20220512394070742>. [cit. 2026-03-22].
- SIEMENS. *Simcenter Nastran*. Online. © 2026b. Dostupné z: <https://www.siemens.com/cs-cz/products/simcenter/mechanical-simulation/nastran/>. [cit. 2026-03-19].
- SWOOSH TECHNOLOGIES. *Working with Spreadsheet Data in NX 9*. Online. 2014-09-23. In: Swoosh Technologies. Dostupné z: <https://www.swooshtech.com/2014/09/23/working-with-spreadsheet-data-in-nx-9/>. [cit. 2026-03-29].
- SYED, Mohammad Bilal. *Accelerate Product Design with Expressions in Siemens NX CAD*. Online. 2023. In: PROLIM. Dostupné z: <https://www.prolim.com/accelerate-product-design-with-expressions-in-siemens-nx-cad/>. [cit. 2026-03-22].
- TECHDESIGN. *Master Siemens NX Assembly Basics in Just 40 Minutes*. Online, video. 2025-10-28. Dostupné z: YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=SPhw5zJoo0U>. [cit. 2026-03-24].
- TOLIYAT, Hamid A. a KLIMAN, Gerald B. *Handbook of Electric Motors*. Online. 2. vyd. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 9781351836715. Dostupné z: <https://www.perlego.com/book/1575367/handbook-of-electric-motors-pdf>. [cit.2026-03-29].
- VESZPRÉMI, Lukáš a RAŠKA, Pavel. *Koncept digitálních dvojčat*. Online. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2024. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/11025/57811>. [cit.2026-03-16].
- WANG, Gary. Definition and Review of Virtual Prototyping. Online. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 2002, roč. 2, č. 3, s. 232–243. Dostupné z: <https://doi.org/10.1115/1.1526508>. [cit. 2026-02-22].

- ZBICIAK, M.; GRABOWIK, C. a JANIK, W. An automation of design and modelling tasks in NX Siemens environment with original software - generator module. Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015, roč. 95, č. 1, article 012117. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/95/1/012117>. [cit. 2026-03-19].
- ZORRIASSATINE, F.; WYKES, C.; PARKIN, R. a GINDY, N. A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development. Online. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2003, roč. 217, č. 4, s. 513–530. Dostupné z: <https://doi.org/10.1243/095440503321628189>. [cit. 2026-03-03].

Přílohy

Příloha A Model sestavy, modely komponent, řídicí Excel