



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

IMPLEMENTACE NOVÝCH VZDUCHOVÝCH JISTIČŮ ABB SACE EMAX 2 DO PRODUKTOVÉ ŘADY NÍZKONAPĚŤOVÝCH ROZVÁDĚČŮ MNS

IMPLEMENTATION OF THE NEW ABB SACE EMAX 2 AIR CIRCUIT BREAKER SERIES
IN A LOW-VOLTAGE MNS SWITCHGEAR PRODUCT PORTFOLIO

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL STUDENÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. HELENA POLSTEROVÁ, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektrotechnická výroba a management

Student: Bc. Michal Studený

ID: 125646

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Implementace nových vzduchových jističů ABB SACE Emax 2 do produktové řady nízkonapětových rozváděčů MNS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte základní elektrické a mechanické vlastnosti nízkonapětových rozváděčů. Seznamte se se systémem Solid Works a jeho nástavbou pro management technické dokumentace Solid Enterprise PDM. Porovnejte současné platné řešení s inovačním návrhem, tzv. AGOMIN. V systému SolidWorks vytvořte 3D model navrženého konstrukčního řešení a následně proveďte analýzu a optimalizaci požadavků na funkci. Navržené řešení podložte simulací proudové hustoty a magnetické indukce ve speciálně zkonstruovaném vodiči.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 29.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Helena Polsterová, CSc.

Konzultanti diplomové práce: Ing. Aleš Vašíček, ABB s.r.o.

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce obsahuje shrnutí rozdílnosti stávajícího řešení řady MNS rozváděčů proti inovačnímu návrhu s projektovým jménem AGOMIN. Úvodní část se věnuje seznámení s CAD programem SolidWorks a jeho podnikovou nástavbou pro správu dat SolidWorks Enterprise PDM. Hlavní část práce pojednává o nové řadě vzduchových jističů ABB SACE Emax 2 a jejich implementaci do produktové řady nízkonapěťových rozváděčů. Zahrnuta jsou další vylepšení, která spolu s implementací jističů projekt AGOMIN přináší.

Klíčová slova

SolidWorks, PDM, PLM, CAD, správa technické dokumentace, AGOMIN, ABB, SACE, Emax, Emax 2, jistič, rozváděč, implementace, simulace.

Abstract

The Master's Thesis comprises a summary of the differences existing design of MNS switchgear series against AGOMIN project innovative proposal. The introduction deals with the introduction to the CAD program SolidWorks and its extension for enterprise data management SolidWorks Enterprise PDM. The body of the paper deals with a new range of air circuit breakers ABB SACE Emax 2 and their implementation into the product line of low voltage switchgears. Included are other improvements that together with implementation of circuit breakers AGOMIN project brings.

Keywords

SolidWorks, PDM, PLM, CAD, product data management, AGOMIN, ABB, SACE, Emax, Emax 2, breaker, switchgear, implementation, simulation.

Bibliografická citace:

STUDENÝ, M. *Implementace nových vzduchových jističů ABB SACE Emax 2 do produktové řady nízkonapěťových rozvaděčů MNS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Helena Polsterová, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Implementace nových vzduchových jističů ABB SACE Emax 2 do produktové řady nízkonapěťových rozváděčů MNS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **26. května 2014**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Heleně Polsterové, CSc. a konzultantům Ing. Alešovi Vašíčkovi a Ing. Liborovi Vítkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **26. května 2014**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	9
2	SolidWorks.....	10
2.1	Hlavní výhody řešení SolidWorks	10
2.2	Možnosti SolidWorks.....	10
2.3	Rozšíření SolidWorks.....	11
2.4	Historie verzí.....	12
3	SolidWorks Enterprise PDM.....	13
3.1	Historie SolidWorks Enterprise PDM.....	13
3.2	Funkce a nástroje SolidWorks Enterprise PDM	14
3.3	Moduly SolidWorks Enterprise PDM	18
4	Rozváděče nízkého napětí	19
4.1	Rozváděče MNS	20
4.1.1	Aplikace.....	20
4.1.2	Charakteristika	21
5	Vzduchové jističe ABB SACE Emax 2	22
5.1	Nová generace jističů ABB SACE Emax 2	23
5.1.1	Přehled řady ABB SACE Emax 2.....	23
5.1.2	Přehled staré řady ABB SACE Emax	25
6	Skin effect & proximity effect	26
6.1	Skin effect (Povrchový jev).....	26
6.1.1	Imaginární schránka	30
6.1.2	Povrchový jev ve vodiči obdélníkového průřezu.....	31
6.2	Proximity effect (Jev blízkosti).....	32
6.2.1	Přímý jev blízkosti	33
6.2.2	Inverzní jev blízkosti.....	36
6.2.3	Indukovaný jev blízkosti	36
6.3	Minimální oteplení a redukce ztrát	38
7	AGOMIN	41
7.1	Efektivnost nákladů.....	41
7.2	Volitelné funkce.....	41
7.3	Vylepšení, modifikace standardních funkcí	41
8	Vodiče pro vysoké proudy	43
8.1	Simulace pro vodiče stávající generace.....	44
8.2	Návrh a simulace nové generace vodičů	48
9	Další projektová zlepšení	52

9.1	Vertikální měděné vodiče	53
9.1.1	Porovnání spotřeby mědi E4 BBt IOb.....	55
9.1.2	Porovnání spotřeby mědi E6 BBt IOb.....	56
9.2	Oddělovací prostor jističe (ACB compartment)	57
9.3	Forma dělení	59
9.4	AR prostor	61
9.5	SPD prostor.....	63
9.6	Pagoda	63
10	Závěr	65

1 ÚVOD

Vývoj je potřebný pro každou firmu, neboť životní cyklus produktů firmy se stále zkracuje. Firmami je do vývoje věnováno čím dál větší úsilí, ve snaze přijít na trh s novými a lepšími produkty.

AGOMIN je ve zkratce projekt, jehož cílem je začlenit do produktové řady nízkonapěťových rozváděčů MNS firmy ABB novou generaci vzduchových jističů ABB SACE Emax 2 a při té příležitosti taktéž řadu nízkonapěťových rozváděčů MNS vylepšit.

Práce na projektu probíhá v rámci konstrukčního týmu LPLS R&D – CZ (Výzkum a vývoj rozvaděčů nízkého napětí) a ve spolupráci s čínskou a německou jednotkou. Jako vývojové prostředí slouží CAD program SolidWorks ve verzi 2013 SP3.0. Pro sdílení, ať už jednotlivých částí, podsestav či celých testovacích sestav rozváděčů, nám slouží nástavba pro podnikovou správu dat SolidWorks Enterprise PDM ve verzi SolidWorks Enterprise PDM 2013 SP05 od firmy Dassault Systèmes SolidWorks. Ta zaručuje rychlé a hlavně vždy aktuální sdílená pracovní data s možností sledování změn v historii a v případě potřeby i s možností návratu.

Projekt jako takový je nyní ve fázi výroby testovacích prototypů a probíhá jejich ověřování v certifikované laboratoři.

2 SOLIDWORKS

Program SolidWorks je v současnosti jeden z nejúspěšnějších strojírenských 3D CAD systémů na českém trhu. SolidWorks je CAD systém vyvíjený francouzskou společností Dassault Systèmes SolidWorks. Jako parametrický 3D modelář nabízí objemové i plošné modelování, nástroje pro plechové díly, svařence a formy, práci s rozsáhlými sestavami s možností následného generování výrobních výkresů.

Uživatelské rozhraní SolidWorks je velmi intuitivní a nabízí jednoduché pracovní postupy. Při využití zkratk a pohybových gest rapidně snižuje pohyby myši a umožňuje okamžitou interakci s uživatelem. Ovládání je založené na technologii SWIFT (SolidWorks Intelligent Feature Technology), která redukuje potřebu přemýšlet, jak 3D CAD software pracuje, redukuje použití opakujících se úkonů, manuálních zásahů i takových operací, kde si ani zkušený uživatel není dopředu jist postupem a často sahá po metodě pokus omyl. SWIFT dokáže ušetřit významné množství času a umožní uživateli více se věnovat samotnému procesu navrhování a ne ovládání systému.

Využitím 3D navigátoru firmy 3Dconnexion pro manipulaci s objekty ve spolupráci s klasickou myší vzniká velmi výkonné a intuitivní prostředí, ve kterém uživatel zároveň využije efektivně obě ruce.

2.1 Hlavní výhody řešení SolidWorks

- Komplexní SolidWorks Multiproduct řešení je postavené na SolidWorks PLM.
- Úplná asociativita mezi SolidWorks Multiproduct dokumenty; všechna data jsou vždy aktuální.
- Intuitivní, snadné a vizuálně přehledné ovládání postavené na technologii SWIFT.
- Pomocí nejširší palety základních, pokročilých i specializovaných nástrojů umožní dokončit práci efektivně.
- Speciální technologie pro práci s velkými sestavami a generování rozsáhlých výkresů.
- Vysoká úroveň navázaných služeb a technické podpory.

2.2 Možnosti SolidWorks

Produktová řada SolidWorks nabízí následující balíčky a aplikace:

SolidWorks Standard - představuje ucelené a robustní řešení pro 3D CAD navrhování, včetně modelování plechových dílů, svařenců a forem, vytváření sestav

a mechanismů a vždy aktuální, kompletní výkresové dokumentace. Navíc je v SolidWorks Standard k dispozici celá řada nástrojů pro ověřování návrhů.

SolidWorks Professional - rozšiřuje balíček Standard o výkonné nástroje pro zvýšení produktivity a zlepšení komunikace. To zahrnuje i PDM systém umožňující správu dat. SolidWorks Professional představuje nejlepší řešení pro pracovní týmy.

SolidWorks Premium - nabízí vše co předchází balíčky a navíc přidává nástroje pro pokročilé a přesné strukturální a pohybové simulace. Obsaženy jsou také nástroje pro navrhování potrubních systémů a kabelových svazků. SolidWorks Premium představuje kompletní řešení pro široké spektrum výrobních oborů.

SolidWorks Sustainability - rozšiřuje produktovou řadu SolidWorks o nástroje pro podporu ekologického navrhování, které vycházejí z osvědčených vědeckých poznatků LCA (Life cycle assessment).

SolidWorks Electrical - softwarové řešení nejen pro uživatele, kteří navrhují zařízení využívající elektrické rozvody pro napájení, řízení, sběr dat, ale i pro uživatele navrhující fluidní rozvody. [10] [11]

2.3 Rozšíření SolidWorks

SolidWorks umožňuje snadnou integraci modulů třetích stran. Některé z těchto modulů jsou drobné utility, jako je například generování speciálních tvarů zahlbubení děr, zatímco ostatní mohou být rozsáhlé produkty, které používají SolidWorks jako svoji grafickou platformu. Tyto produkty mají odlišnou úroveň podle vztahu vývojáře k SolidWorks a mohou být s výhodou nabízeny skrze autorizované prodejce SolidWorks.

V našem případě jsou využívána doplňková makra pro generování produktových dat, která jsou následně využívána při zakládání produktů do systému PLM a vyplňována do datových karet. Jako příklad je možné uvést makra pro zvážení modelu, za předpokladu použití předdefinovaných materiálů. Dále makra pro generování rozvinů všech konfigurací plechových dílů a následně dxf souborů obsahujících vektorové křivky pro výrobu (za předpokladu předdefinování ohybových parametrů). V případě, kdy má 3D model 10 a více konfigurací, je to mocný nástroj a při správném vstupním nastavení ušetří spoustu času proti běžné manuální produkci.

2.4 Historie verzí

Již vydané verze:

- SolidWorks 95
- SolidWorks 96
- SolidWorks 97
- SolidWorks 97 Plus
- SolidWorks 98
- SolidWorks 98 Plus
- SolidWorks 99
- SolidWorks 2000
- SolidWorks 2001
- SolidWorks 2001 Plus
- SolidWorks 2003
- SolidWorks 2004
- SolidWorks 2005
- SolidWorks 2006 (Nativní podpora x86-64 Windows byla umožněna s uvedením SP4.0 a výše)
- SolidWorks 2007 (Nativní podpora Windows Vista)
- SolidWorks 2008 (Zahrnuje plnou podporu Windows Vista x86)
- SolidWorks 2009 (Vydána v září 2008. Zahrnuje nativní podporu Windows Vista x86 a x64)
- SolidWorks 2010 (vydaná v září 2009, od SP1.0 nativní podpora Windows 7 x86 a x64)
- SolidWorks 2011 (Vydaná na podzim 2010)
- SolidWorks 2012 (Vydaná na podzim 2011)

Verze, ve které pracujeme:

- SolidWorks 2013 (Vydaná v říjnu 2012, od SP0.0 nativní podpora Windows 8 x64)

3 SOLIDWORKS ENTERPRISE PDM

SolidWorks Enterprise PDM je systém pro celopodnikovou správu dat, plně integrovaný do Průzkumníka Microsoft Windows. S využitím této funkcionality mohou uživatelé spravovat a sdílet celofiremní data v průběhu celého životního cyklu výrobku ve známém prostředí Microsoft Windows. SolidWorks Enterprise PDM je dodáván pro Microsoft SQL Server. [12]

3.1 Historie SolidWorks Enterprise PDM

Dne 4. května 2006 společnost SolidWorks Corporation koupila firmu GCS Scandinavia AB. Tato firma byla SolidWorks Certified Gold Partner a vývojář produktu Conisio, podnikového softwaru pro správu dat. Produkt byl pojmenován jako PDMWorks Enterprise 2006.

V září 2006 společnost SolidWorks Corporation představila novou verzi systému pro správu dat PDMWorks Enterprise 2007.

Dne 24. září 2007 společnost SolidWorks Corporation představila PDMWorks Enterprise 2008, novou verzi svého systému pro správu dat s novými funkcemi pro správu kusovníků, replikaci dat, podporou nových světových jazyků, datovou podporou při připojení a vylepšení celkového výkonu.

Dne 18. září 2008 společnost Dassault Systèmes SolidWorks Corporation představila SolidWorks Enterprise PDM 2009. Nová verze řešení pro správu dat představuje hlubší integraci s CAD systémem SolidWorks. Dále pak obsahuje rozšířenou funkci kusovníků, jako je export kusovníků do formátu XML. Novinkou je pak nový nástroj, průzkumník položek, pro správu virtuálních položek.

Následovaly verze SolidWorks Enterprise PDM 2010a 2011. Nejnovější verze je SolidWorks Enterprise PDM 2013 SP05.

SolidWorks Enterprise PDM vychází pravidelně každý rok spolu s CAD systémem SolidWorks, opravné balíčky (neboli service pack) pak až šestkrát ročně. S novou verzí přichází mnoho nových funkcí, dle požadavků zákazníků i dle aktuálního vývoje PDM ve světě. Opravné balíčky pak řeší chyby ve funkcích.

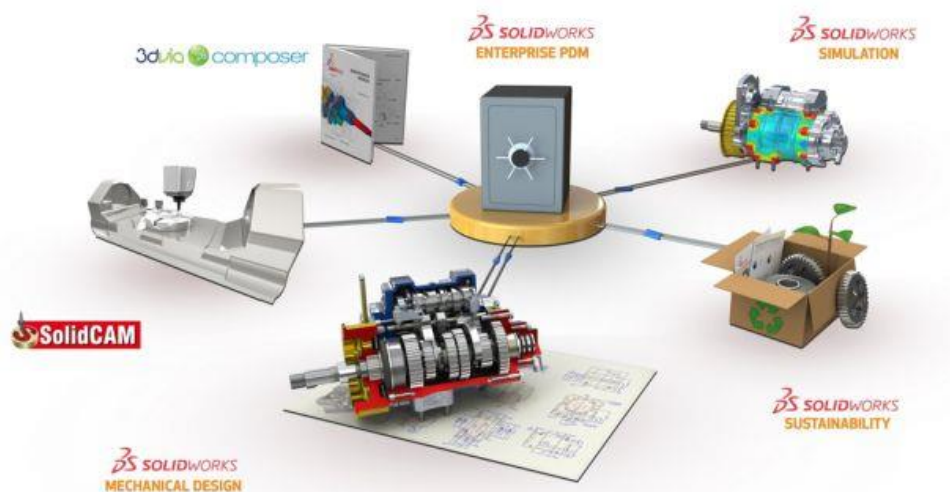
Zákazník na chyby reaguje skrze svého dodavatele softwaru, což může být pouze certifikovaný prodejce společností Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Ten pak tyto chyby eskaluje přímo vývoji a má tak zásadní vliv na následující opravný balíček. V případě vysokých priorit při řešení chyb je možno získat i opravný balíček ještě před vydáním pravidelného opravného balíčku. Zákazník může využít nové verze a opravných balíčků pouze v případě předplacené roční údržby.

Předplacená roční údržba se vztahuje k licenci klienta a je po zakoupení licence první rok povinná. Zákazník má v ceně předplacené roční údržby také technickou podporu u svého prodejce s přednostním řešením problému. Dále pak zajišťuje účast ve speciálních programech, jako je například testování Beta verzí. Předplacená roční údržba také zákazníky opravňuje k přístupu do internetového portálu SolidWorks včetně znalostní báze. [8]

3.2 Funkce a nástroje SolidWorks Enterprise PDM

SolidWorks Enterprise PDM je společností Dassault Systèmes SolidWorks Corporation řazen jako plně vybavené řešení pro správu technické dokumentace pro malé i velké organizace. Vzájemně propojené produkty z portfolia produktů pak tvoří základ řešení SolidWorks PLM. [13]

SolidWorks Enterprise PDM a všechny jeho součásti jsou podporované pouze na systémech Microsoft Windows. [8]



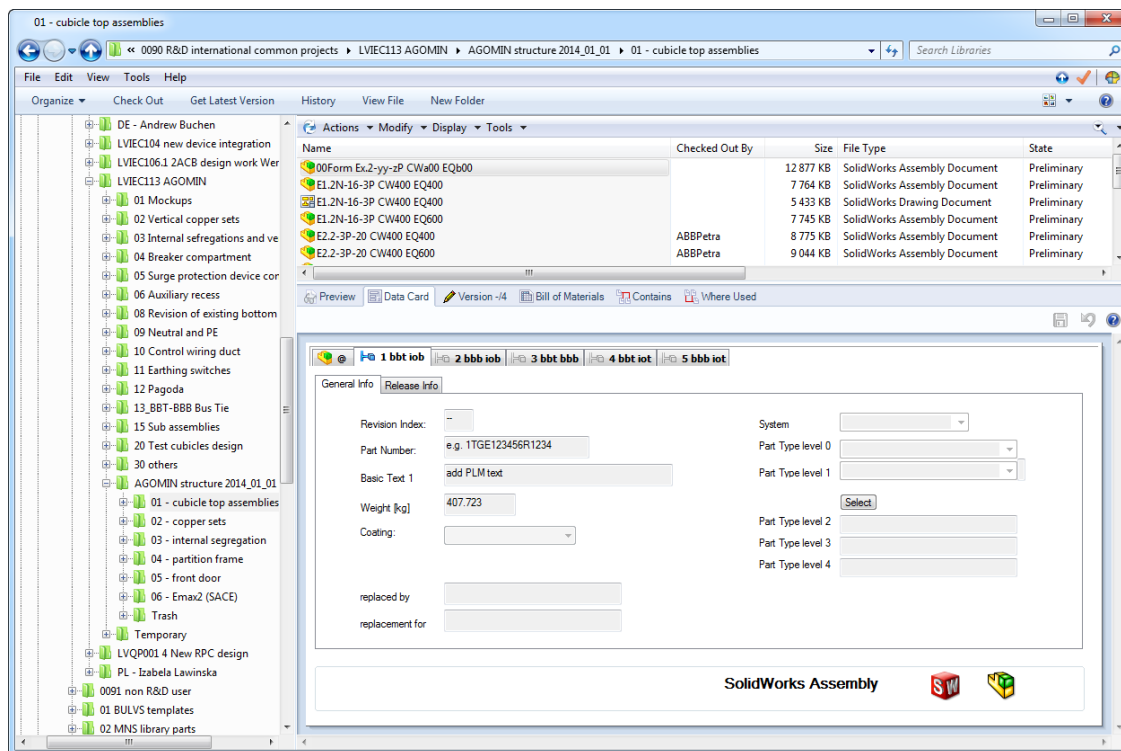
Obrázek 3-1 Vzájemně propojené produkty z portfolia [13]

Podpora Windows aplikací

SolidWorks Enterprise PDM podporuje Windows-based aplikace včetně CAD/CAM aplikací a všech Microsoft Office programů (Word, Excel, PowerPoint či Outlook).

Integrace s CAD aplikacemi

Produkt je velice úzce integrován s CAD i CAM produkty jako jsou SolidWorks, Inventor, AutoCAD, Solid Edge, Pro/ENGINEER, SolidCAM, InventorCAM.



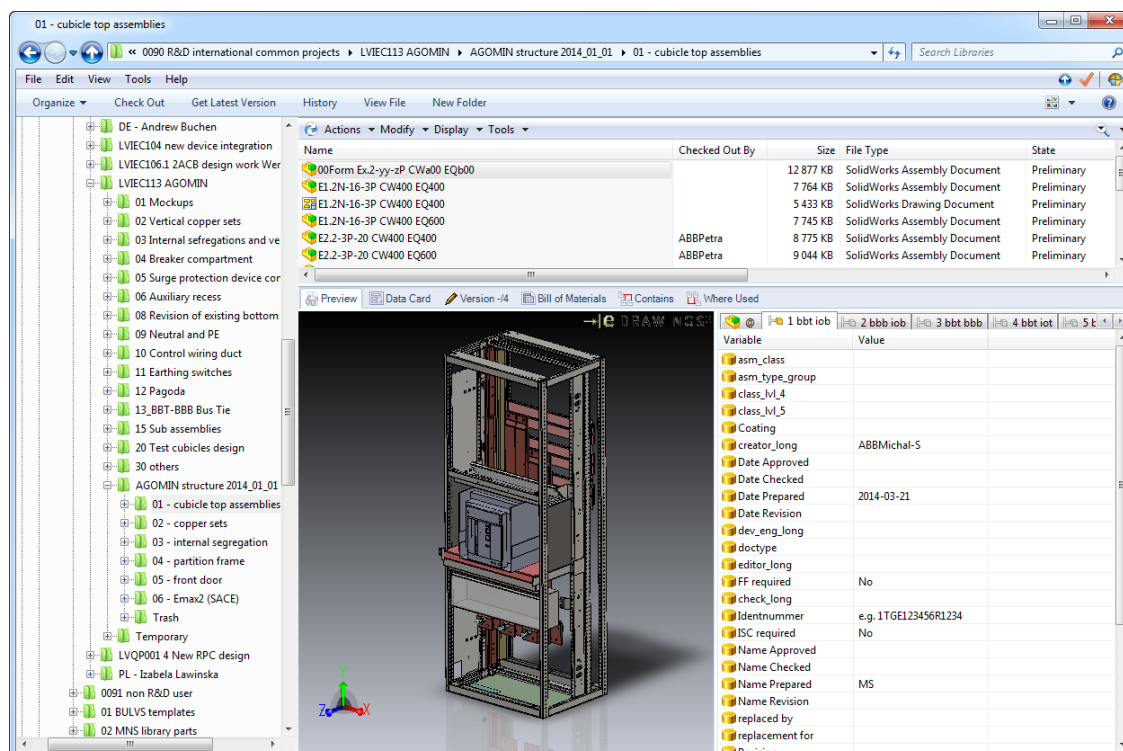
Obrázek 3-2 Integrace s CAD aplikacemi – datová karta

Správa souvisejících výrobních dat

Při správě CAD/CAM dat SolidWorks Enterprise PDM také spravuje související metadata jako jsou verze nebo revize, historie dokumentu, stromovou strukturu a propojení mezi součástmi, výkresy, 3D modely a dalšími dokumenty. Systém je schopen zobrazit kusovník a exportovat jej do MRP/ERP systémů.

Prohlížení dokumentů

SolidWorks Enterprise PDM umožňuje rychlé prohlížení dokumentů v databázi a všech souvisejících informací. Systém disponuje integrovanými prohlížeči, jako jsou dokumenty Microsoft Office soubory, CAD výkresy, modely, bitmapové soubory, fotografie atd.



Obrázek 3-3 Prohlížení dokumentů

Práce se soubory

Soubory jsou uloženy v úschovně (file serveru), metadata v SQL databázi a jsou přístupné přes Průzkumníka Windows. Soubory jsou otevírány a ukládány do úschovny přes operace vyzvednout/odevzdat s možností výběru verze.

Webovský přístup

Webovský klient umožňuje přístup k souborům a metadatům (SQL databáze) přes Internet Explorer. Pro přístup přes Webového klienta není třeba žádný další dodatečný software.

Zobrazení aktuálního stavu dokumentu ve workflow

Uživatel má při práci v Enterprise PDM možnost zobrazení aktuálního stavu dokumentu v rámci celého kontextu navrženého workflow. Umožňuje uživateli velice přehledně zobrazit, jaký je procesní diagram schválení, změnového řízení nebo opravy dokumentu.

Správa Workflow

SolidWorks Enterprise PDM umožňuje definici workflow pro určitý typ dokumentů, pracovní skupinu atd. Návrh workflow probíhá v grafickém editoru a mezi jednotlivými stavy mohou být definované operace, které mohou automaticky oznamovat události.

Uživatelské rozhraní

SolidWorks Enterprise PDM je integrován do Průzkumníka Windows, dobře známého prostředí všem uživatelům MS Windows. SolidWorks Enterprise PDM otevírá dvě další okna uvnitř Průzkumníka, ve kterých zobrazuje informace o vybraném spravovaném souboru. Systém umožňuje spravovat a prohlížet velké množství různých typů dokumentů (včetně CAD, Office, obrázků, PDF a dalších).

Kusovník

SolidWorks Enterprise PDM spravuje kusovníky sestavy, výkresové kusovníky a umožňuje porovnání verzí kusovníku s barevným zvýrazněním rozdílů mezi jednotlivými revizemi.

Historie a verze

Při editaci souborů a jejich uložení do SolidWorks Enterprise PDM se automaticky vytvářejí nové verze (revize) dokumentů. Tímto mechanismem lze mít pod jedním názvem souboru uloženo několik verzí (revizí) každého souboru.

Reference

Součástí systému SolidWorks Enterprise PDM je správa referencí sestav a dílů. Reference jsou zobrazovány jako strom uvnitř Průzkumníka Windows.

Šablony

Pro jednotlivé typy spravovaných dokumentů je možné definovat šablony, které uživateli umožní jednoduché zadávání a vytváření souborů, vyplňování atributů, generování identifikačních čísel souborů (výkresů) na základě předem definovaného schématu.

Replikace databáze

SolidWorks Enterprise PDM umožňuje společnostem, které mají několik poboček na různých místech, provádět replikaci databáze a umožnit tak všem uživatelům pracovat na stejných aktuálních datech.

3.3 Moduly SolidWorks Enterprise PDM

SolidWorks Enterprise PDM Cad

Slouží ke vkládání a spravování dokumentů SolidWorks, Inventor, AutoCAD, Solid Edge, Pro/ENGINEER a CAM aplikací SolidCAM, Inventor CAM a jakéhokoliv elektronického dokumentu včetně fotografií, skenovaných faxových zpráv, atd. SolidWorks klient také slouží k vytváření revizí, nových verzí, řízení přístupu k dokumentům, změnám životního cyklu součástí a prohlížení pomocí eDrawings.

SolidWorks Enterprise PDM Contributor

Nástroj pro uživatele, kteří nepoužívají CAD/CAM aplikace, ale např. MS Office, elektronické dokumenty včetně fotografií, dokumentů, NC programů atd. Enterprise PDM Contributor obsahuje nástroje k vytváření revizí, sledování historie, řízení přístupu k dokumentům, změnám životního cyklu součástí a prohlížení pomocí eDrawings.

SolidWorks Enterprise PDM Viewer

SolidWorks Enterprise PDM Viewer nabízí rozhraní pro přístup a prohlížení databáze SolidWorks Enterprise PDM v rámci Internetu nebo Intranetu pomocí eDrawings. [12]

4 ROZVÁDĚČE NÍZKÉHO NAPĚTÍ

Vyvíjené a vyráběné rozváděče podléhají evropské normě EN 61439-1 Rozváděče nízkého napětí. Ta stanovuje definice a provozní podmínky, konstrukční požadavky, technické charakteristiky a požadavky na ověřování pro rozváděče nízkého napětí.

Tato norma platí pro všechny rozváděče, ať jsou navrženy, vyrobeny a ověřeny jednorázově, nebo jsou plně normalizovány a vyráběny ve velkém množství.

Mluvíme o rozváděčích nízkého napětí, pokud jmenovité napětí nepřesahuje 1000 V u střídavého proudu, nebo 1500 V u stejnosměrného proudu.

Rozváděč nn (ROZVÁDĚČ) (low-voltage switchgear and control gear assembly (ASSEMBLY))

Kombinace jednoho nebo více spínacích přístrojů nn spolu s přidruženými řídicími, měřicími, signalizačními, ochrannými, regulačními zařízeními, se všemi vnitřními elektrickými a mechanickými propojeními a konstrukčními částmi. [5]

Firma ABB vyrábí ve svých 30 výrobních jednotkách ve světě nízkonapěťové rozváděče jednotné standardizované konstrukce. Rozváděče, které využívají moderní silové spínací prvky i prvky pro řízení pohonů.

Více než 25 letá zkušenost z vývoje systémů a více než 800 tisíc instalovaných rozváděčových polí MNS (z německého: Modular Niederspannungssystem) v nejnáročnějších provozech včetně instalací na lodích a vrtných plošinách dělá z ABB předního výrobce této kategorie rozváděčů.

Spolehlivost systému je založena v jeho konstrukci proudovodné dráhy, v izolačním návrhu i v návrhu a provedení separace funkčních prostorů ve smyslu norem a doporučení norem IEC.

NN rozváděče MNS 3.0, MNS iS

Představují ucelenou výrobkovou řadu rozváděčů do 1000 V/6000 A. Rozváděče jsou kategorie TTA, modulární konstrukce, s možností separace funkčních prvků do úrovně 4B/6 dle IEC standardů a s certifikáty renomovaných zkušeben na všechny parametry včetně obloukových zkratů.

Inteligentní rozváděčové systémy (typová řada MNS 3.0)

Tradiční jistící prvky vývodů, jako například nadproudové ochrany motorů, jsou nahrazovány elektronickými verzemi a jsou doplňovány komunikačními jednotkami pro přímou návaznost silových obvodů do systému procesního řízení a vizualizace.

Integrované rozváděčové systémy (typová řada MNS iS)

Základními stavebními prvky rozváděčů jsou typizované a hromadně vyráběné moduly pro napájení motorů či distribučních vývodů. Ochranné funkce a řídicí funkce zajišťuje software podle požadavků projektu. Veškeré provozní parametry se vkládají do systému až při zprovoznování technologie. Jediným rozhraním rozváděče jsou silové svorky (přívody energie a vývody ke spotřebičům) a datové linky (FIELDBUS, PROFIBUS, MODBUS a ETHERNET). [1]

4.1 Rozváděče MNS



Obrázek 4-1 Rozváděč MNS iS [1]

4.1.1 Aplikace

Rozváděč MNS je vhodný pro aplikace ve všech oblastech výroby, rozvodu a použití elektrické energie. Dá se použít jako:

- Hlavní a podružný distribuční rozváděč
- Proudový napáječ motorových distribučních center (MCS)
- Skříně elektroniky pro řídicí aplikace v otevřené smyčce
- V energetických společnostech
- V elektrárnách
- V rafinériích
- Na vrtných ropných plošinách
- Na lodích
- Ve výrobních závodech
- V úpravkách odpadních vod
- V budovách pro občanskou vybavenost

4.1.2 Charakteristika

Vysoká pružnost systému MNS je dána unifikovanou rámovou konstrukcí se šroubovým připojením nevyžadujícím údržbu. Takto sestavený rám je možno vybavit dle potřeby standardizovanými součástkami a dokonale přizpůsobit každé aplikaci. Důsledné využívání modulárního principu při elektrickém i mechanickém návrhu umožňuje navrhout konstrukci, vybrat vnitřní uspořádání a dosáhnout stupně krytí podle provozních a vnějších podmínek instalace. [2]

5 VZDUCHOVÉ JISTIČE ABB SACE EMAX 2



Obrázek 5-1 Řada jističů ABB SACE Emax 2 [4]

Vzduchové jističe Emax firmy ABB SACE sestávají z oceloplechového rámu, v němž jsou umístěny ovládací mechanismy, póly a pomocné části.

Každý pól, navzájem izolovaný, obsahuje části zúčastněné v procesu jištění a dále proudový transformátor pro každou jednotlivou fázi.

Konstrukce pólu je odlišná podle toho, zda se jedná o jistič „selektivního“ nebo „proudově-omezujícího“ typu. Verze jističe pro pevné zabudování má vlastní koncovou svorku pro připojení výkonového obvodu. Ve výsuvném provedení představuje jistič pohyblivou část přístroje, který je doplněn fixní částí opatřenou koncovými svorkami pro připojení do výkonového obvodu. Propojení mezi pohyblivou a fixní částí je provedeno speciálními klešťovými svorkami instalovanými ve fixní části. [3]

Jističe jsou samostatně certifikovány podle normy IEC 60947, tím je výrobcem přiřazena hodnota proudu, který je jistič schopen přenést.

Rozvaděče MNS jsou ale verifikovány podle jiných norem, zejména IEC 61439 za jiných podmínek, při kterých je jistič schopen přenést nižší hodnotu proudu než podle normy IEC 60947.

Poměr těchto hodnot je označen jako **derating factor** a je závislý zejména na stupni krytí rozváděčové skříně. Norma IEC 60947 testuje totiž jističe při krytí IP00, zatímco rozváděče standardu MNS jsou dodávány s krytím IP30 a vyšším. Z jističe je tedy odváděno teplo za horších podmínek.

5.1 Nová generace jističů ABB SACE Emax 2

ABB SACE Emax 2 je nová řada vzduchových jističů nízkého napětí do proudu až 6300 A se schopností efektivně a jednoduše kontrolovat elektrické instalace – od tradičních až po více komplexní – tato nová řada prezentuje evoluci z obyčejného jističe na elektronicky řízený prvek distribuce elektrické energie.

5.1.1 Přehled řady ABB SACE Emax 2

Řada jističů ABB SACE Emax 2 je tvořena 4 velikostmi: E1.2, E2.2, E4.2 a E6.2 s proudy od 630 A až do 6300 A, které umožňují postavit rozváděče kompaktních rozměrů a vysokých výkonů s hlavními přípojnými o zkrácené délce a menších průřezů oproti předchozí generaci.

Pro zjednodušení návrhu designu a instalace mají modely od velikosti E2.2 do E6.2 totožnou výšku a hloubku. Volitelné přípojný a rozšiřující příslušenství je napříč řadou stejné (příkladem může být plug-in modul barevného dotykového monitoru nebo modul motorového natahování jističe pro dálkové řízení sepnutí).

Zkratové proudy v rozmezí 42 kA až 200 kA splňují potřeby dnešních instalací. Vysoké krátkodobé proudy spolu s efektivitou ochranných funkcí garantují kompletní selektivitu za každé situace.

E1.2

nabízí 630 A až 1600 A s jistící kapacitou 42 kA až 66 kA a zkratovým proudem 42 kA až 50 kA po dobu 1 sekundy v extrémně kompaktním těle. Ve tří a čtyřpólové verzi nabízí robustnost s kompaktní rozměry a umožňuje postavit rozváděčové pole ve skříních šířky 400 mm s jistící kapacitou až 66 kA, což je nepostradatelná výhoda v místech, kde jsou minimální rozměry podstatné. Příkladem může být oblast lodního a námořního průmyslového použití.

E2.2

umožňuje v třípólové verzi dosáhnout od 800 A až do 2500 A v rozváděčovém poli o šířce 400 mm. Navíc vybavuje zkratové proudy až do 100 kA a 85 kA po dobu 1 sekundy.

E4.2

je nový 1600 A až 4000 A jistič navržený tak, aby vydržel zkratový proud 100 kA po dobu 1 sekundy bez potřeby zvláštních opatření.

E6.2

je vrchol řady, který jistí proudy 4000 A až 6300 A a zkratové proudy až 200 kA a 120 kA výdržný proud po dobu 1 sekundy. Je vhodný do instalací s komplexními náročnými podmínkami. [4]

Rozsahy k dispozici

	E1.2	E2.2	E4.2	E6.2
Automatické jističe @ 690-1150 V AC	*	*	*	*
Odpínače @ 690-1150 V AC, 1000 V DC	*	*	*	*
Úsekové odpínače		*	*	*
Zkratovače se zapínací schopností		*	*	*
Zkratovače		*	*	*

Tabulka 1 Rozsahy Emax 2

Automatické jističe

Icu (440Vac)	Verze	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	
200	X										E6.2		
150	V												
100	H										E6.2		
85	S												
66	N										E6.2		
50	C												
42	B										E6.2		

Tabulka 2 Rozsahy jističů EMAX 2

Odpínače

Icw (1s)	Verze	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	
120	X										E6.2		
100	V												
85	H										E6.2		
66	S												
50	N										E6.2		
42	C												

Tabulka 3 Rozsahy odpínačů

5.1.2 Přehled staré řady ABB SACE Emax

Pro srovnání s novou řadou ABB SACE Emax 2 je v následující **tabulce 4** uvedeno portfolio produktové řady EMAX. Třída jističů E3 již nebyla zachována a do nové generace jsou její zástupci rozděleni do tříd E2.2 a E4.2. Tato změna výrazně přispěla k zpřehlednění portfolia.

Taktéž je patrné, že v třídě E6 dosahují jističe zkratových proudů 150 kA. Nová generace E6.2 byla rozšířena o výkonovou verzi X, která zvládá zkratové proudy až 200 kA.

Icu (440Vac)	Verze	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	
150	V	E3								E4	E6	
100	H											
85	S											
65	N							E2				
42	B	E1										

Tabulka 4 Rozsahy jističů staré řady EMAX

6 SKIN EFFECT & PROXIMITY EFFECT

Je známo již od roku 1873, že střídavé proudy mají tendenci se přesouvat k okrajům pevného vodiče. Tato charakteristika by nebyla sama o sobě na obtíž, pokud by nedocházelo k dodatečným ztrátám energie vlivem vířivých proudů. V pevném vodiči je efektivní odpor střídavému proudu vyšší než odpor stejnosměrnému proudu. Vodič navržený pro 2000 A může mít 10 až 20% zvýšení odporu.

To má za následek dvě nevýhody:

- Ztráty elektrické energie a plýtvání prostředků pro pokrytí ztrát v nevhodném vodiči.
- Plýtvání vodivým materiálem (měď, hliník) při nevhodně navrženém vodiči.

Ukázalo se, že ztráty ve vodičích nízkého napětí nejsou zanedbatelné. Pro příklad, v sestavě vodičů o průřezu 1000 mm^2 s trvalou zátěží 2000 A je hodnota ztrát za rok nepřetržitého provozu zhruba srovnatelná s cenou mědi použité na vodičích.

Důvodem ztrát je povrchový jev a jev blízkosti (skin & proximity effect). Tyto jevy se projevují obzvláště ve vodičích zatížených 2000 A a stávají se velice výrazné se střídavými proudy nad 4000 A.

6.1 Skin effect (Povrchový jev)

Nejnápadnější aspekt povrchového jevu je zvýšení proudové hustoty v okrajových částech průřezu vodiče střídavého proudu. Dominantním způsobem se uplatňují vířivé proudy, které tento jev vyvolávají. Procházející střídavý proud a jeho hustota J ve vodiči se v průřezu nerozloží rovnoměrně, ale mění se s poloměrem r a časem t , $J = J(r, t)$. Nejvyšší hodnoty nabývá ve středu vodiče a směrem k povrchu vodiče exponenciálně roste.

K povrchovému jevu nedochází při průchodu stejnosměrného proudu vodičem.

Dochází k vytlačování elektrického proudu k povrchu vodiče. Elektrický střídavý proud procházející vodičem uzavírá kolem sebe siločáry magnetického (indukčního) toku. Část tohoto toku prochází i samotným vodičem a indukuje v něm uzavřené vířivé proudy. Tyto vířivé proudy mají blíže k ose vodiče opačný směr než původní elektrický proud a odečítají se od něj, kdežto blíže k povrchu jsou směry souhlasné a proudy se sčítají a podporují proudovou hustotu J .

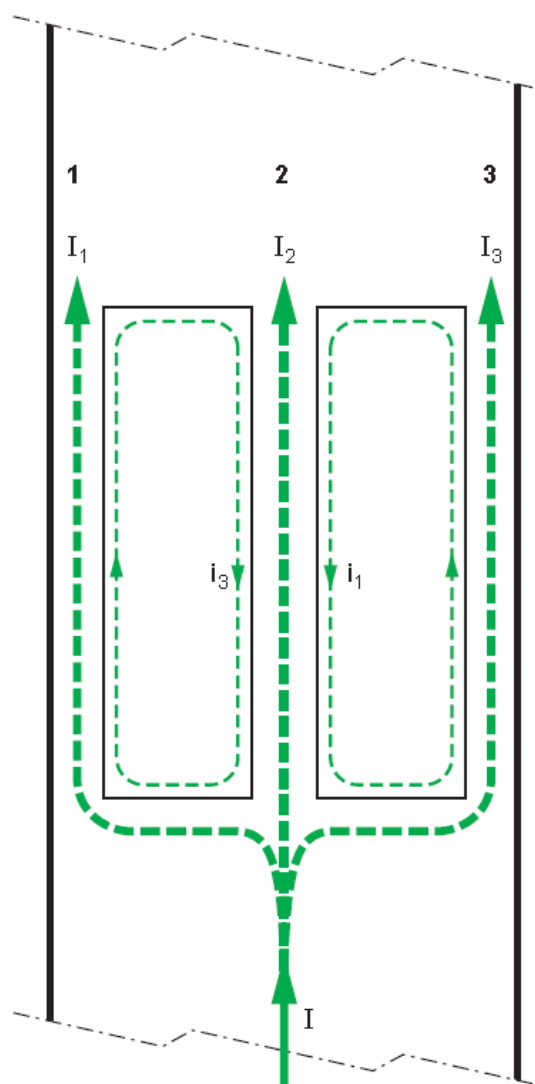
Zvažme obdélníkový vodič, který pro zjednodušení rozdělíme na 3 podélné úseky – 1 a 3 po krajích a 2 ve středu.

Pro stejnosměrný proud by výsledný proud tekoucí vodičem byl přímý součet identických proudů každým úsekem.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Rovnice 1

V případě průchodu střídavého proudu dochází k následnému vzniku indukovaných proudů.

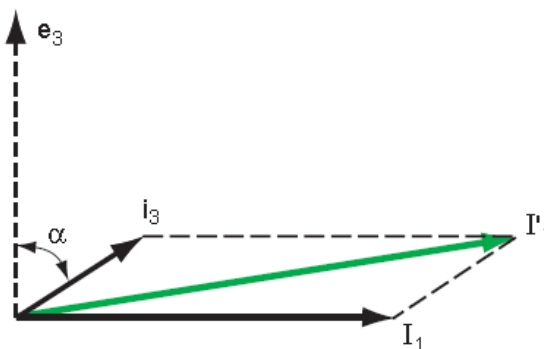


Obrázek 6-1 Zjednodušení průtoku proudů v plochem vodiči [6]

Úsek 3 vedoucí proud I_3 indukuje proud i_3 mezi úseky 1 a 2 s posunutím fáze α (blízko $\pi/2$). Výsledný proud úsekem 1 je:

$$\vec{I}'_1 = \vec{I}_1 + \vec{i}_3$$

Rovnice 2



Obrázek 6-2 Vektorový diagram proudu v okrajové oblasti vodiče [6]

Z vektorového diagramu je patrné, že výsledný proud I'_1 má vyšší hodnotu než proud I_1 a je mimo fázi s původním proudem I_1 . Identicky pak v úseku 3:

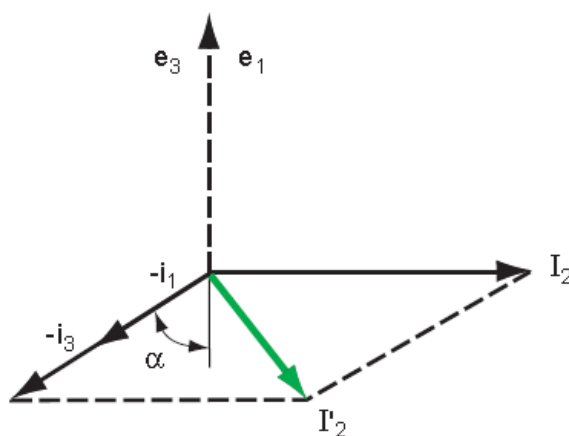
$$\vec{I}'_3 = \vec{I}_3 + \vec{i}_1$$

Rovnice 3

Ale v centrálním úseku 2 je výsledný proud I'_2 ponížen o oba indukované proudy i_1 a i_3 .

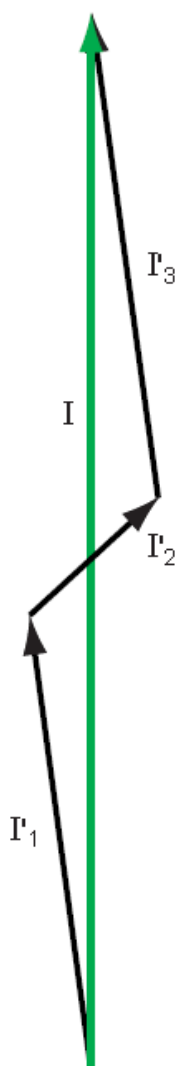
$$\vec{I}'_2 = \vec{I}_2 - \vec{i}_3 - \vec{i}_1$$

Rovnice 4



Obrázek 6-3 Vektorový diagram proudu v oblasti středu vodiče [6]

Diagram ukazuje, že výsledný proud I'_2 má ve skutečnosti nižší amplitudu než I_2 a fázově zaostává.



Obrázek 6-4 Součet proudů ve vodiči [6]

Obrázek znázorňuje proud I v celém vodiči jako vektorový součet dílčích proudů:

$$\vec{I} = \vec{I'_1} + \vec{I'_2} + \vec{I'_3}$$

Rovnice 5

Pokud bychom neuvažovali zjednodušení a nerozdělili vodič pouze na 3 úseky, výše zmíněný princip zůstává stejný a popsáný děj probíhá postupně napříč celým vodičem. Gradient proudové intenzity a fázového posuvu dílčích proudů se od středu po okraj vodiče zvyšuje.

Proudová hustota

Hustota proudu na okrajích je vyšší než průměrná proudová hustota ($I'_1 > I_1$), hustota proudu v jádře vodiče je nižší než průměrná proudová hustota ($I'_2 < I_2$).

Intenzita proudu

Suma amplitud proudů ve vodiči je vyšší než celkový proud vodičem (viz **obrázek 6-4**).

Ztráty

Reálné ztráty vlivem Joulova efektu jsou tedy vyšší než při průchodu stejnosměrného proudu. Efektivní střídavý odpor R_a je vyšší než reálný stejnosměrný odpor R_c .

Úroveň povrchového jevu nebo koeficient zvýšení odporu resp. ztrát je:

$$K = \frac{R_a}{R_c} \geq 1$$

Rovnice 6

6.1.1 Imaginární schránka

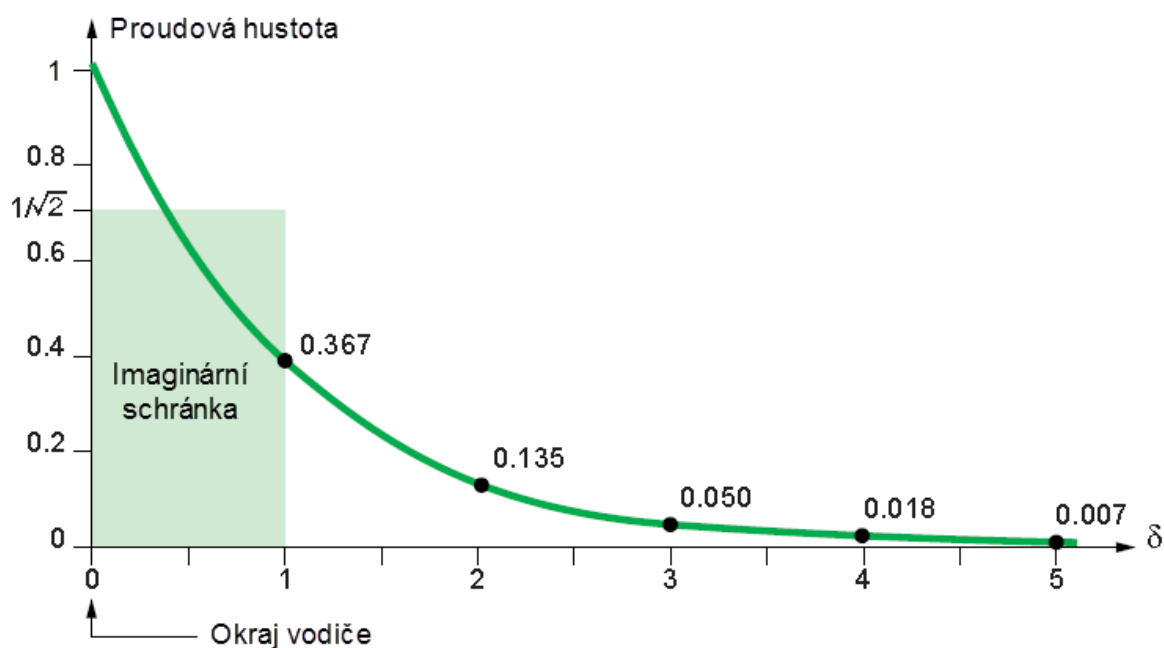
Ve snaze zjednodušit interpretaci povrchového jevu navrhl roku 1905 francouzský inženýr Paul Boucherot pojem imaginární schránky nebo tzv. hloubky penetrace.

Z pohledu Joulova efektu nastává stejný jev, jakoby byl všechen proud přenášen pouze v okrajové vrstvě (schránce) o tloušťce δ a proudová hustota je v této vrstvě rovnoměrná a mimo ní nulová.

$$\delta = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10\rho}{\mu f}}$$

Rovnice 7

kde δ ...tloušťka okrajové vrstvy [m]
 ρ ...rezistivita [Ω/m]
 μ ...permeabilita ($4\pi \cdot 10^{-7}$ pro vakuum)
 f ...frekvence [Hz]



Obrázek 6-5 Snižování proudové hustoty uvnitř vodiče [6]

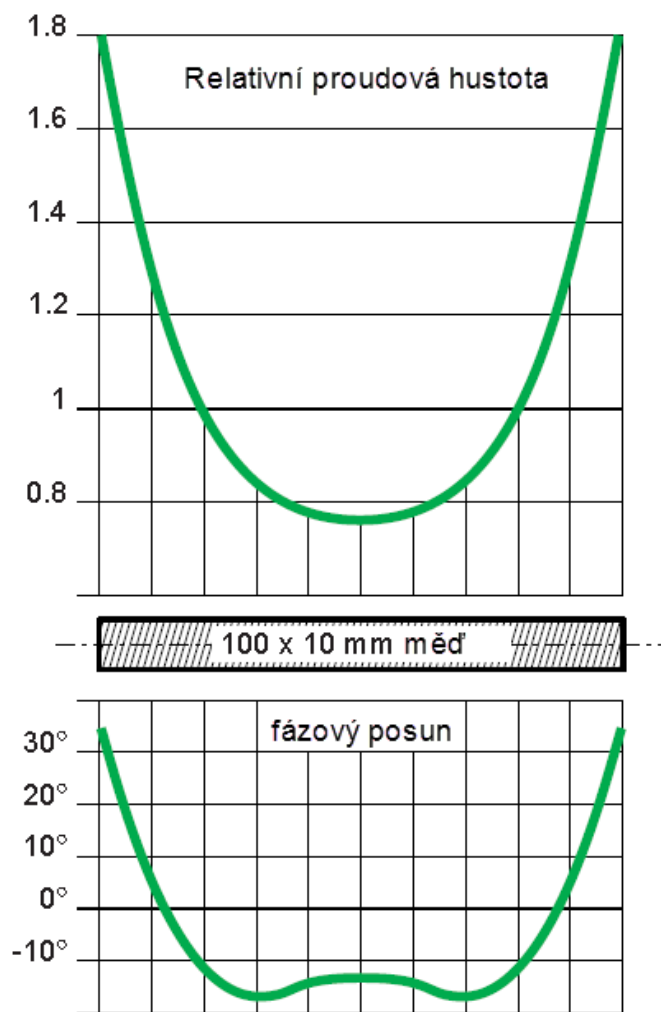
Ve skutečnosti proudová hustota klesá exponenciálně od okraje ke středu vodiče. V hloubce δ je hustota stále $\frac{1}{e} = 0,367$. Pojem imaginární schránka předpokládá, že průměrná hodnota proudové hustoty je rovna $\frac{1}{\sqrt{2}}$ okrajové hodnoty proudové hustoty.

V praxi je díky imaginární schránce, resp. hloubce penetrace, možné rychle určit, zda je vodič navržen adekvátně, s použitím tří hodnot ρ , μ a f .

Pro 50 Hz má měď hloubku penetrace 8,5 mm, hliník 10,5 mm. To znamená například, že použití měděné trubky jako vodiče o průměru větším než 17 mm by bylo pouze zbytečným plýtváním materiálu.

6.1.2 Povrchový jev ve vodiči obdélníkového průřezu

Pro případ plochého vodiče vycházíme z provedených experimentů, jelikož výpočtové simulace jsou značně komplexní a zůstávají nepřesné, kvůli předpokladům rozdělení magnetického pole. Experimenty provedl ve své studii Schwenkhagen a výsledky potvrdil Renauld. Z pokusů na měděné pasovině 100 x 10 mm se střídavým proudem o frekvenci 50 Hz vyplývá následující:



Obrázek 6-6 Proudová hustota a fázový posun ve vodiči obdélníkového průřezu [6]

6.2 Proximity effect (Jev blízkosti)

V předchozí části byl vysvětlen povrchový jev na vodiči bez vlivů magnetických polí z okolního prostředí. Nachází-li se další vodič v blízkém okolí, dochází ke změnám v rozložení proudové hustoty. Dochází k jevu blízkosti.

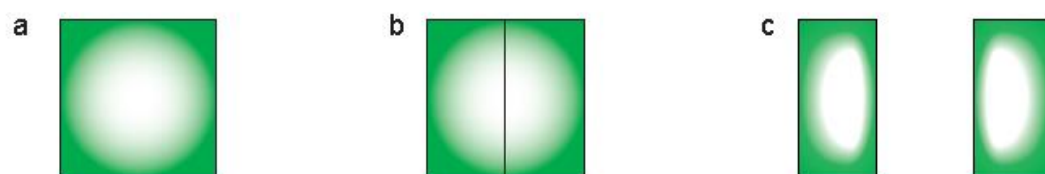
Můžeme rozdělit na tři základní případy:

- Přímý jev blízkosti
- Indukovaný jev blízkosti
- Inverzní jev blízkosti

6.2.1 Přímý jev blízkosti

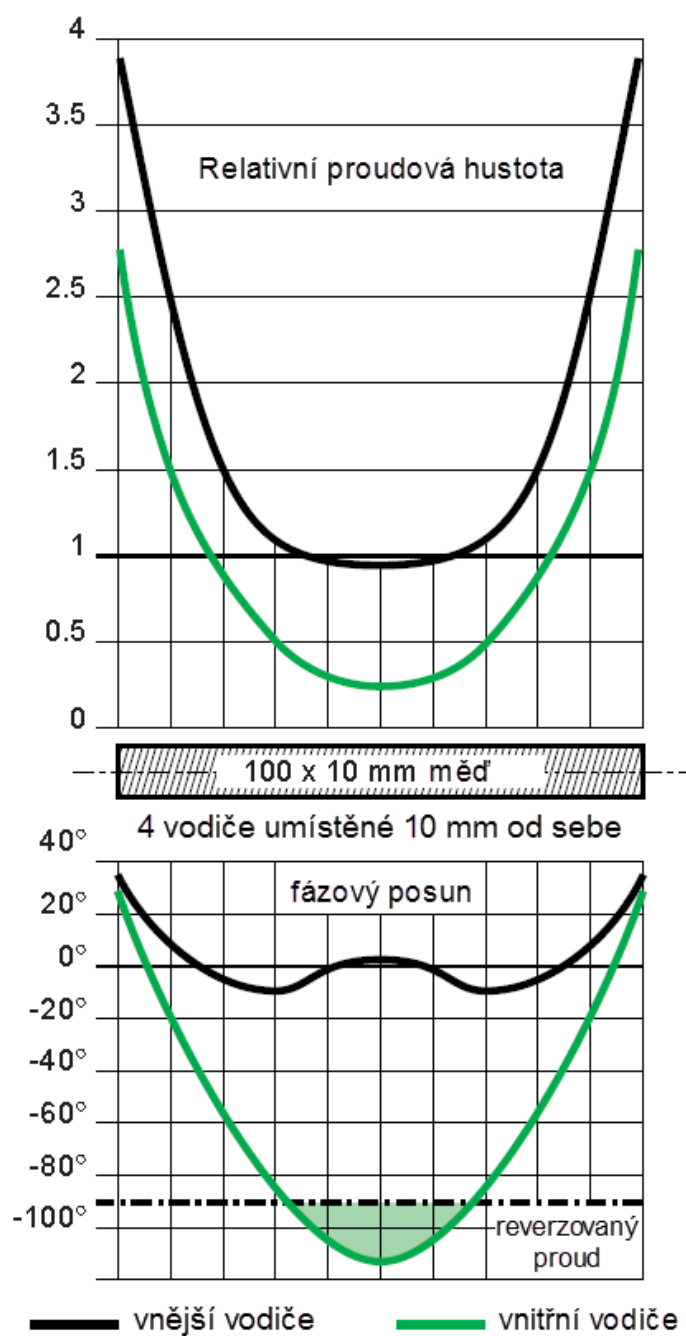
Jde o vzájemné působení dvou vodičů vedoucích proud stejným směrem.

Zvažme vodič o čtvercovém průřezu. Proudová hustota je v okrajových částech nejvyšší díky povrchovému jevu. Pokud dojde k podélnému rozdělení vodiče na dvě půlky, nedojde k žádné změně v rozložení proudu. Avšak začneme-li tyto poloviny od sebe postupně vzdalovat, magnetické pole každé poloviny se začne měnit a proudová hustota na vnitřních stranách se začne zvyšovat. Proudová hustota z vnitřní strany poroste až k hodnotě rovnající se proudové hustotě z vnější strany při vzdálení obou polovin o vzdálenost 2 až 3 násobku strany čtvercového průřezu.



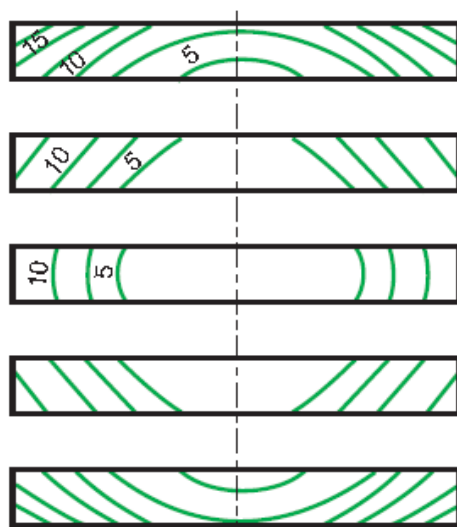
Obrázek 6-7 Znázornění přímého jevu blízkosti [6]

Tento jev je patrný vedle povrchového jevu na přípojnících, které mají jednotlivé fáze složené z několika elektricky a prostorově paralelních plochých vodičů.



Obrázek 6-8 Proudová hustota a fázový posun ve skupině 4 plochých vodičů [6]

Obrázek znázorňuje rozložení proudové hustoty a fázový posun ve skupině 4 měděných vodičů o průřezu 100 x 10 mm vzdálených od sebe 10 mm. V grafech jsou dvě křivky, jedna pro vnější a druhá pro vnitřní vodiče. Je zajímavé povšimnout si, jak velká je proudová hustota po okrajích vnějších vodičů, stejně tak jako fázový rozdíl větší než 90° ve středu vnitřních vodičů.



Obrázek 6-9 Proudová hustota ve skupině 5 plochých vodičů [6]

Na obrázku je patrné rozložení oblastí se stejnými proudovými hustotami znázorněné spojnicemi. Jedná se o měděné pasoviny s průřezem 80 x 10 mm vzdálené od sebe 10 mm.

Je vidět, že skupina sousedících vodičů má jen o málo odlišné rozložení proudové hustoty oproti pomyslnému plnému vodiči s povrchovým jevem o průřezu rovném vnějším rozměrům skupiny vodičů.

Čím větší by byl počet paralelních vodičů vedle sebe, tím menší proudovou zátěž by měly vodiče u středu skupiny a naopak větší zátěž by nesly vnější vodiče.

Při vzdálení vodičů o nejméně 3 násobek největšího rozměru průřezu vodiče jev blízkosti zcela zaniká. Při menší vzdálenosti však dochází k citelnému poklesu ztrátového koeficientu K . Jako příklad použijme 4 paralelní pasoviny o průřezu 80 x 10 mm vzdálené od sebe od 10 do 40 mm.

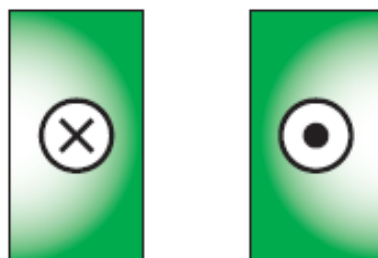
Vzdálenost [mm]	10	20	40
$K = \frac{Ra}{Rc}$	1,65	1,53	1,38

Tabulka 5 Hodnota ztrátového koeficientu v závislosti na vzdálenosti plochých vodičů [6]

6.2.2 Inverzní jev blízkosti

Stejně jako u přímého jevu blízkosti se jedná o vzájemné působení sousedních vodičů, ale s proudy procházejícími navzájem opačnými směry.

Zvýšení proudové hustoty se projeví na vnitřních plochách vodičů, kde je indukance nejmenší.



Obrázek 6-10 Znáznornění inverzního jevu blízkosti [6]

V třífázových přípojnicích je inverzní jev blízkosti značně patrný pro nízká napětí. Dvojice sousedních fází vede opačné proudy vždy na zlomek periody.

6.2.3 Indukovaný jev blízkosti

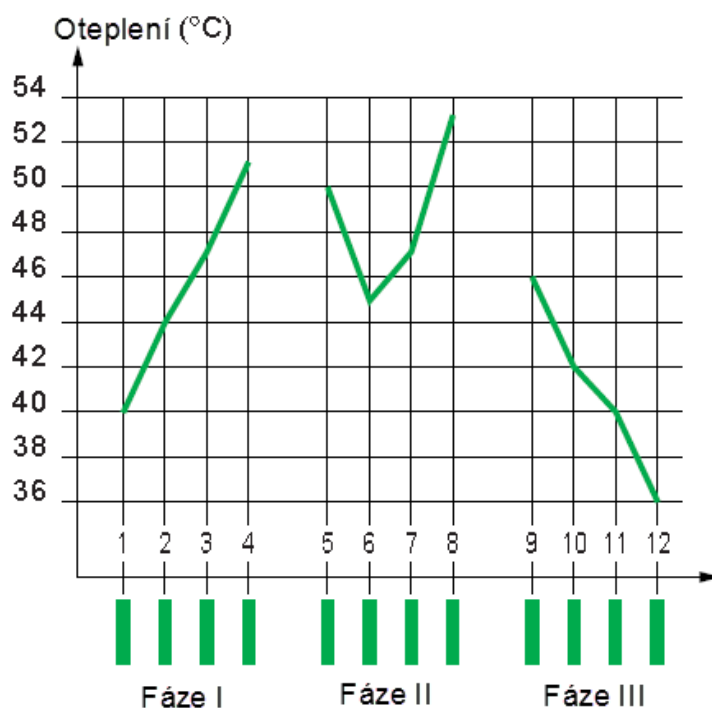
Charakterizuje související jevy mezi proudy ve vodiči a proudy indukovanými v sousedních kovových částech.

Kovové části, nacházející se v blízkosti vodičů vedoucích vysoké střídavé proudy, jsou místem, kde indukující se proudy způsobují další ztráty. Jedná se o nepřímé zvýšení efektivní rezistence. Jsou-li vyrobeny z oceli, vnitřní ztráty se dále zvyšují v důsledku hystereze. To je důvod proč není možné použít ochranný ocelový kryt samostatné fáze vedoucí více než 100 A, aniž bychom riskovali zahřátí takového pouzdra na více než 100° C.

Tohoto jevu však může být využito záměrně za účelem odstínit magnetické pole použitím hliníkových plášťů kolem jednotlivých fází. Tím se nejen odstíní vyzařování do okolí, ale i odstraní elektrodynamické namáhání mezi fázemi.

Třífázové vedení s několika pasovinami

V třífázovém vedení s několika pasovinami na každou fázi se ve skutečnosti tyto všechny jevy prolínají. Jak je vidět na obrázku pokusu s oteplením třífázového vedení, kde jsou na jednu fázi použity 4 měděné pasoviny o rozměrech 80 x 6 mm s rozstupem 6 mm od sebe a 60 mm mezi fázemi.



Obrázek 6-11 Ohřev třífázového vedení plochými vodiči [6]

Hodnota v grafu nad každou pasovinou udává hodnotu oteplení nad úroveň okolní teploty pro proud 2500 A. Přesto, že oteplení přímo neznázorňuje proudovou hustotu v konkrétním vodiči, je možné pozorovat, jak jsou jednotlivé vodiče zatíženy a jak se na nich projevují výše zmíněné jevy.

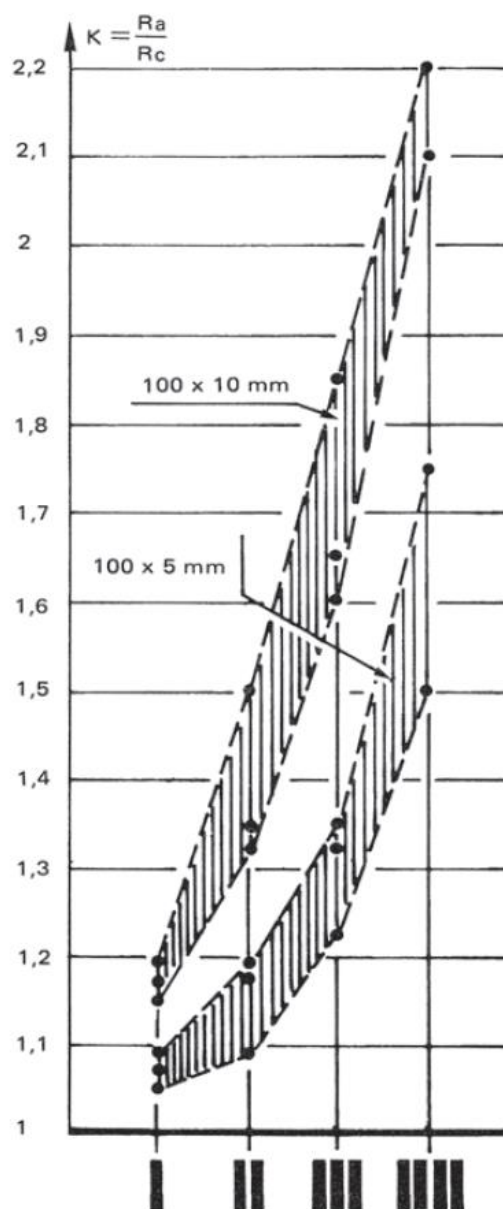
Zejména lze zmínit:

- Vnitřní dva vodiče 2. fáze (vodiče s pořadovými čísly 6 a 7) se zahřívají méně než vnější vodiče.
- Asymetrický jev blízkosti vyplývající z fázového rozdílu (120°) pro třífázový proud se projevuje mezi vodiči sousedních fází (vodiče s pořadovým číslem 4 a 5 na jedné straně a 8 a 9 na straně druhé).

Tento test ukazuje nejednoznačnost zahřívání jednotlivých vodičů, kde si lze všimnout rozdílu ohřátí 36° proti 53°C .

6.3 Minimální oteplení a redukce ztrát

Dosud byly účinky povrchového jevu a jevu přiblížení popisovány zvýšením efektivního střídavého odporu. Přirozeným důsledkem jsou vyšší ztráty a tedy i vyšší produkce ztrátového tepla způsobená Jouleovým efektem. Vhodným uspořádáním dílčích elementů vodiče může být docíleno nejen snížení efektivního střídavého odporu, ale také lepšího chlazení zářením a prouděním.



Obrázek 6-12 Koefficient ztrát pro skupiny plochých vodičů [6]

Z **obrázku 6-12** je patrné, že koeficient K je v případě použití jedné přípojnice o průřezu 100x10 mm víceméně stejný jako při použití dvou profilů 100x5 mm vedle sebe. Přesto je nasnadě, že díky mnohem vyšší chladicí ploše je možné složený vodič zatížit vyšším proudem při stejném oteplení. [6]

Vezmeme-li v úvahu vodič složený ze čtyř pasovin vedle sebe, kdy uprostřed jsou vzdáleny 70 mm, bude jejich proudové zatížení procentuálně rozděleno následovně:

1	2	3	4
26,7 %	23,3 %	23,3 %	26,7 %

Tabulka 6 Distribuce proudu čtyřmi vodiči vedle sebe [7]

Může nastat případ, kdy už jsou 4 pasoviny nedostatečné. Pokud bychom zvyšovali počet sousedících pasovin, výsledkem by byl nárůst plochy průřezu, který by značně neefektivní a neekonomický. Příkladem může být rozložení proudového zatížení vodiče složeného ze sedmi sousedících pasovin:

1	2	3	4	5	6	7
25,6 %	14,2 %	7,5 %	5,4 %	7,5 %	14,2 %	25,6 %

Tabulka 7 Distribuce proudu sedmi vodiči vedle sebe [7]

Výrazného snížení vířivých proudů bychom dosáhli, pokud bychom rozdělili jednotlivé vodiče fáze a prostřídali je mezi sebou:

L1 L2 L3 L1 L2 L3 L1 L2 L3 L1 L2 L3

Tohle řešení je však vhodné pro delší propojení a je potřeba počítat s tím, že přerozdělení do tohoto uspořádání by zabralo spoustu místa a vykazovalo ztráty. Není tedy použitelné ve vnitřním zapojení rozváděčové skříně. [7]

Pro vyšší proudovou náročnost je tedy zapotřebí volit jiné profily a uspořádání prvků vodiče samostatných fází.



I	1	1.18	1.25	1.28	1.50	1.54	1.57	1.71
K	1.75	1.25	1.05	1.1	1.08	1.15	1.3	1.1
P	1.75	1.75	1.65	1.8	2.4	2.7	3.2	3.2

Obrázek 6-13 Porovnání profilů s identickou plochou průřezu [6]

Za určitých podmínek může být naprosto nevhodný vodič kruhového průřezu, přestože jeho koeficient K je blízký hodnotě 1. Při neumožnění proudění vnitřním prostorem klesá jeho chladičí plocha na polovinu a tím i jeho zatížitelnost.

7 AGOMIN

AGOMIN je uměle vytvořen pracovní název projektu, který vychází z podstaty integrace nové generace vzduchových jističů.

„Implementation Of Next Generation Air Circuit Breakers“

Hlavním cílem projektu AGOMIN je implementovat novou řadu Emax 2 jističů do MNS portfolia s účelem zajištění nákladové efektivity. Snaha je vytvořit standard designu co možná nejvíce flexibilní, aby odpadla potřeba měnit a přizpůsobovat design každému zákazníkovi zvlášť. Následně bude výstup z AGOMINu plně implementován do konfiguračního programu ME. Hlavní body zájmu projektu jsou:

7.1 Efektivnost nákladů

- Snížení množství použité mědi ve srovnání s existujícím designem aktuální řady rozváděčů, cíl je 10% úspora mědi.
- Snadné sestavení a tím i zkrácení výrobního času.

7.2 Volitelné funkce

- Přepětová ochrana díky instalaci zařízení pro přepětovou ochranu (SPD).
- ABB REF relé (REF 5xx a REF6xx).
- Izolované měděné sběrnice a měděné přípojnice.
- Nucené chlazení.

7.3 Vylepšení, modifikace standardních funkcí

- Možnost instalace až 2 proudových transformátorů na fázi na straně vstupu a/nebo zátěže.
- Přepětová ochrana.
- Implementace REF relé.
- Poskytnout 3pólové řešení s nespínaným 50% a 100% neutrálem.
- Poskytnout 4pólové řešení se 100% spínaným neutrálem, kromě E6.2, která poskytuje 50% a 100% spínaný neutral.
- Design odolný proti vzniku obloukovému zkratu (splnění všech kritérií IEC 61641).
- Poskytnout řešení dle Shell DEP (IP4x).

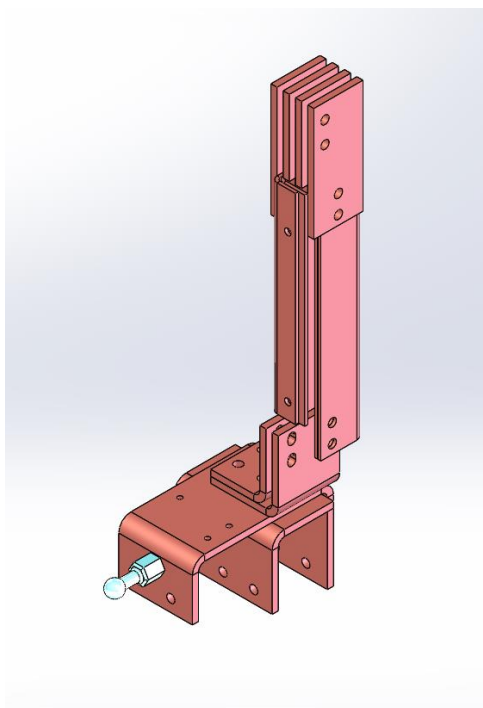
- Snadná instalace napájecí a kontrolní kabeláže.
- Nový design připojení jističe k hlavním přípojnícím.
- Nový design prostoru pro přídatná zařízení (AR).
- Volitelná modulární koncepce forem interního oddělení až do stupně 4b, IP4X.
- Implementace do inteligentních sítí prostřednictvím komunikačního protokolu IEC 61850.
- Nový modulární návrh krytování jističe samotného pro zajištění odpovídajícího stupně oddělení od ostatních prostorů za účelem vyšší bezpečnosti obsluhy.
- Optimalizované tvary vodičů pro jističe E4.2 a E6.2 na základě simulací rozložení proudové hustoty pro vysoké proudy.
- Použití vertikální orientace měděných plochých vodičů pro lepší tepelné vlastnosti.
- Přepět'ová ochrana.
- Nucené chlazení.
- Koncept blokování mezi zařízeními nebo zařízením a dveřmi pro zvýšení bezpečnosti (při otevření dojde k vypnutí zařízení).
- Design střechy pro IP54 s přetlakovou klapkou (verze IOb).
- Možnost použití teplo vodivý plastů nebo heatpipe. [9]

8 VODIČE PRO VYSOKÉ PROUDY

Při vysokých proudech, pro které jsou jističe E4.2 a E6.2 určeny (4000 až 6300 A), se již znatelně projevuje povrchový jev a jev blízkosti. Je tedy neefektivní použít vodič plného průřezu. Pro tuto aplikaci byl navržen speciální vodič složený z jednotlivých měděných oddělených vodičů.

Návrh nového vodiče čerpá po teoretické stránce z kapitoly 6 **Skin effect & proximity effect**. Návrhu průřezu vodiče bylo věnováno velké úsilí. Avšak bylo zapotřebí dodržet určité limitující podmínky:

- přechod z vertikálních připojovacích konektorů,
- dostatečný průřez mědi předepsaný výrobcem jističe,
- dostatečné množství mědi a chladicích ploch pro odvedení tepla produkovaného v jističi od konektorů,
- tvar, maximální rozměry a orientace průřezu – instalované proudové a měřicí transformátory,
- potřeba uchycení vzpěr.

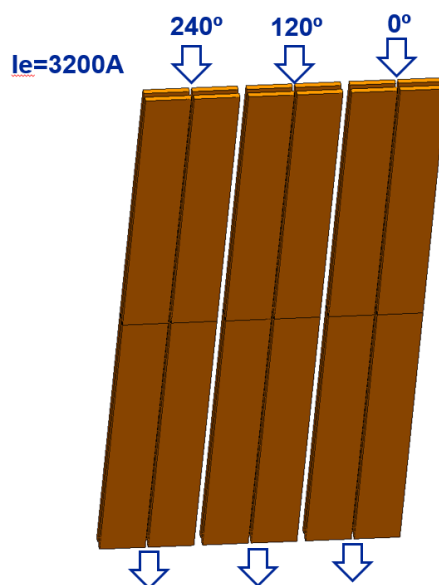


Obrázek 8-1 Vodič fáze pro vysoké proudy

8.1 Simulace pro vodiče stávající generace

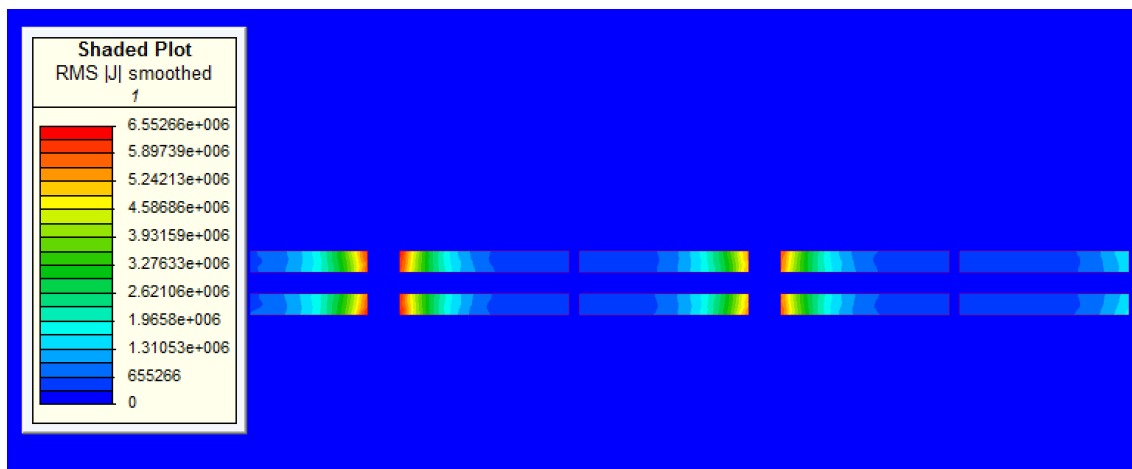
Kvůli možnosti srovnání inovativního řešení vodičů byly simulovány i stávající vodiče v uspořádání 2x2x80x10 (E4 3200 A) resp. 3x2x100x10 (E6 5000 A).

V simulaci byla trojice 1 metr dlouhých profilů zatížena střídavým proudem 3200 A pro variantu E4 a 5000 A pro variantu E6 s následujícím fázovým posuvem: zleva L1 240°, L2 120° a L3 0°. Na řezu vodiči bylo zkoumáno rozložení proudové hustoty a rozložení magnetické indukce v ustáleném stavu.



Obrázek 8-2 Parametry simulace

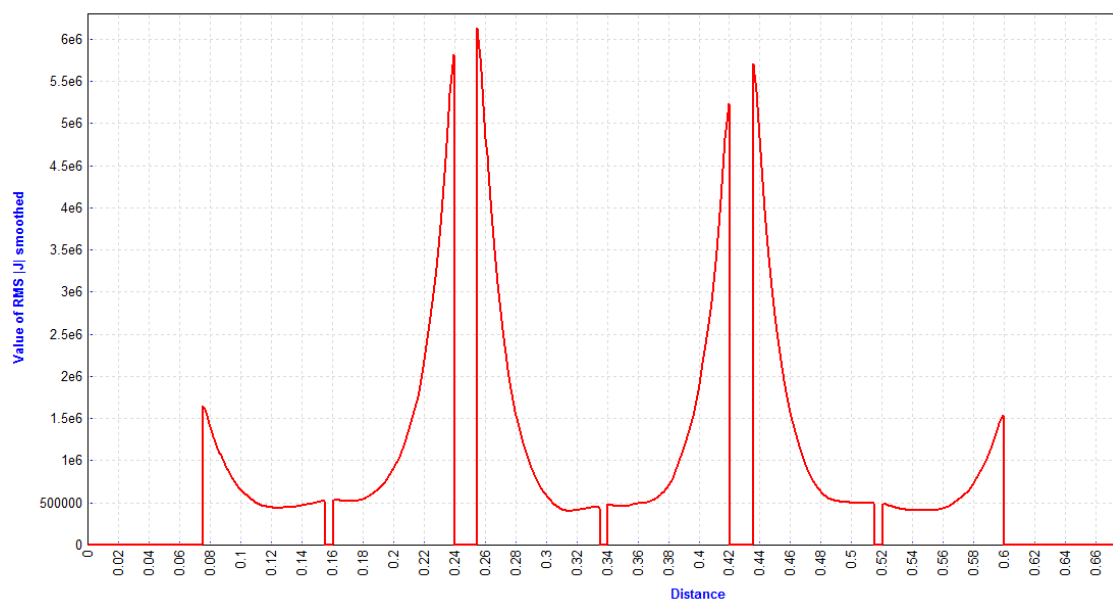
E4 3200 A



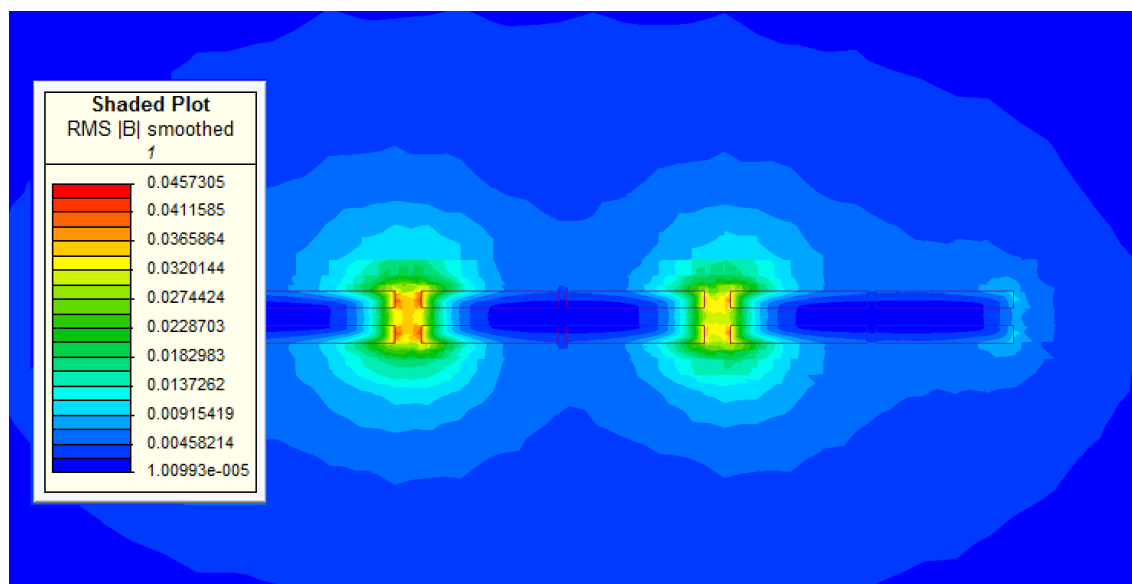
Obrázek 8-3 Rozložení hustoty elektrického proudu [J] $I_e = 3200\text{A}$

521,42	1124,53	1122,28	900,38	1111,78	484,76
518,61	1136,66	1126,42	906,68	1117,67	486,79

Tabulka 8 Přenos efektivních proudů jednotlivými vodiči [A]

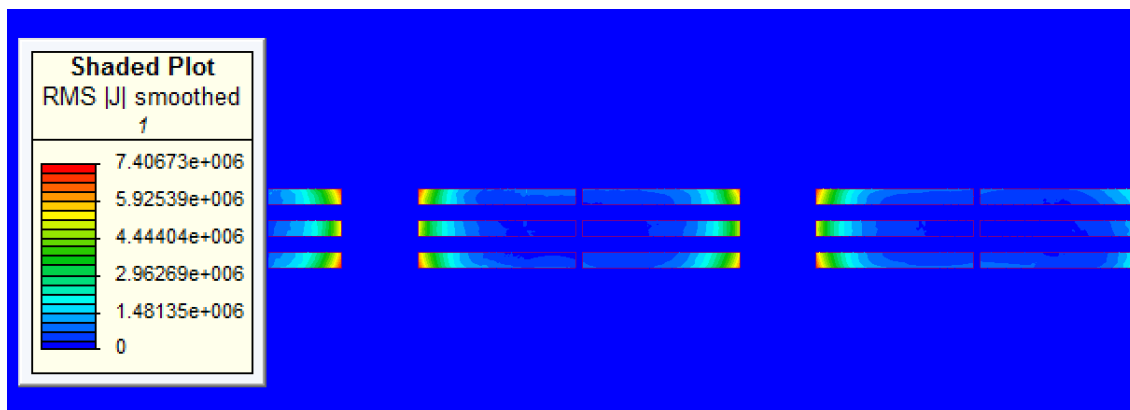


Obrázek 8-4 Efektivní hodnoty proudu podél vodiče



Obrázek 8-5 Rozložení hustoty magnetické indukce [T] $I_e = 3200A$

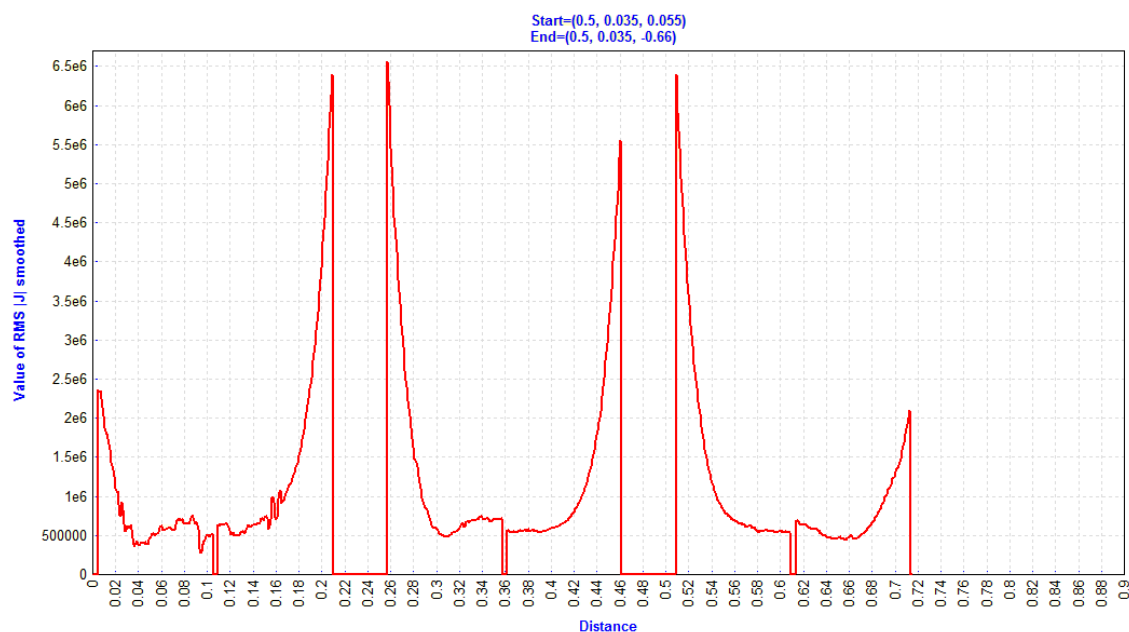
E6 5000 A



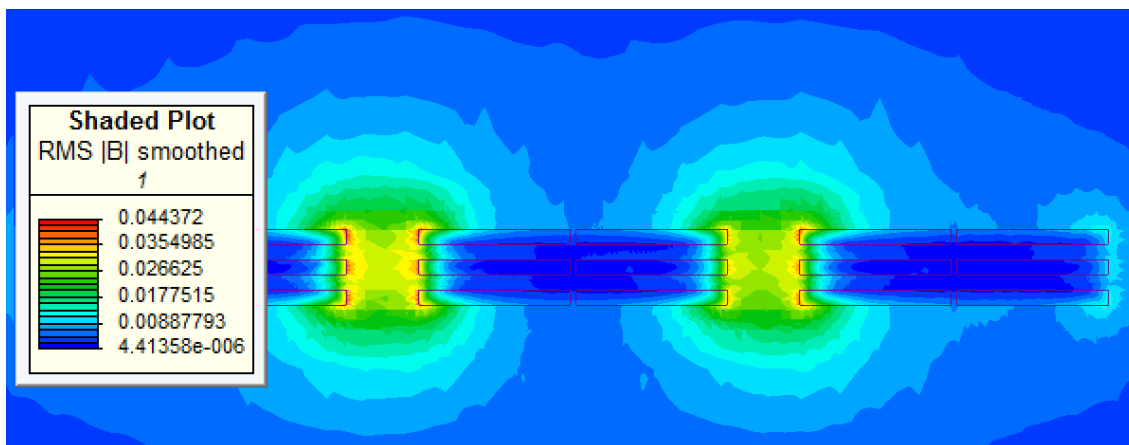
Obrázek 8-6 Rozložení hustoty elektrického proudu [J] $I_e = 5000A$

738,26	1392,25	1283,31	1171,72	1365,35	715,29
360,84	691,07	823,15	549,24	787,88	343,54
723,22	1391,17	1271,60	1178,25	1356,48	680,17

Tabulka 9 Přenos efektivních proudů jednotlivými vodiči [A]



Obrázek 8-7 Efektivní hodnoty proudu podél vodiče



Obrázek 8-8 Rozložení hustoty magnetické indukce [T] $I_e = 5000A$

8.2 Návrh a simulace nové generace vodičů

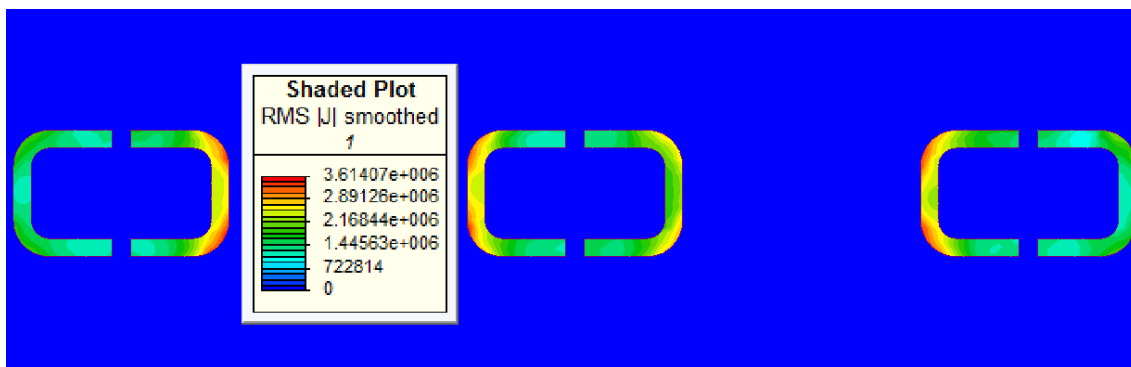
Bylo vypracováno několik návrhů možného uspořádání měděných pasovin se snahou přiblížit se tvarově nejvýhodnějším variantám dle **obrázku 6-13**.

Poslední varianta použití nejefektivnějšího uspořádání elementů vodiče byla vyloučena z důvodu podmínky orientace a snadného uchycení vzpěr. Taktéž instalace měřicích transformátorů by na takto orientované vodiče byla obtížně proveditelná – transformátory by v omezeném prostoru nebylo možné umístit vedle sebe.

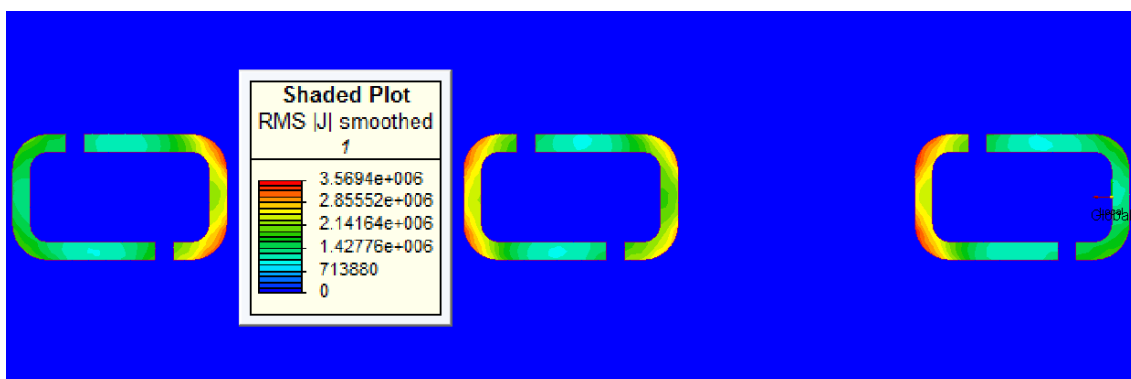
Přesto však došlo k realizaci návrhu podobného vodiče bez natočení. Navrženy také byly další tvary vycházející z efektivních variant za použití námi dostupných měděných polotovarů. Takto navržené modely byly zpracovány jako třífázové vedení a podrobeny simulacím. Návrhy byly provedeny pro vodiče varianty E4.2, kde je maximální velikost průřezu vodiče 50x100 mm. Tento rozměr je limitován otvorem měřicího transformátoru, který bude použit na každé z fází.



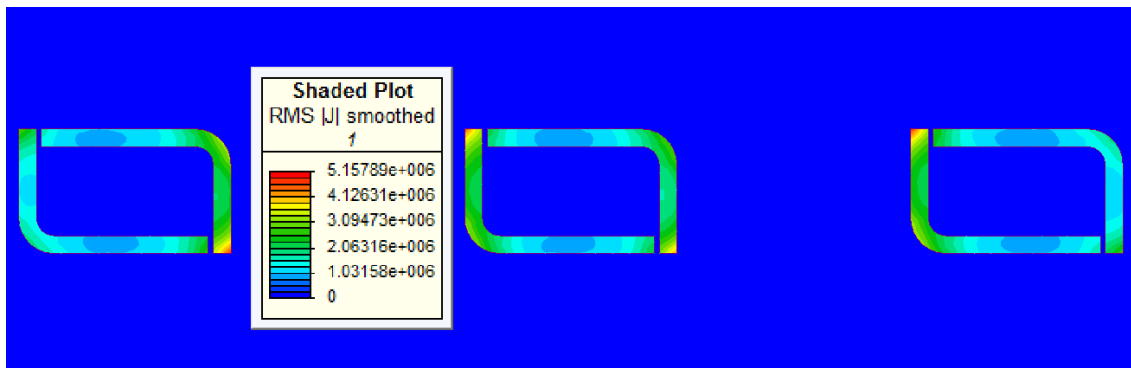
Obrázek 8-9 Průřezy navržených tvarů podrobené simulacím



Obrázek 8-10 Rozložení hustoty elektrického proudu tvaru „U“ [J] $I_e = 3200A$



Obrázek 8-11 Rozložení hustoty elektrického proudu tvaru „J“ [J] $I_e = 3200A$



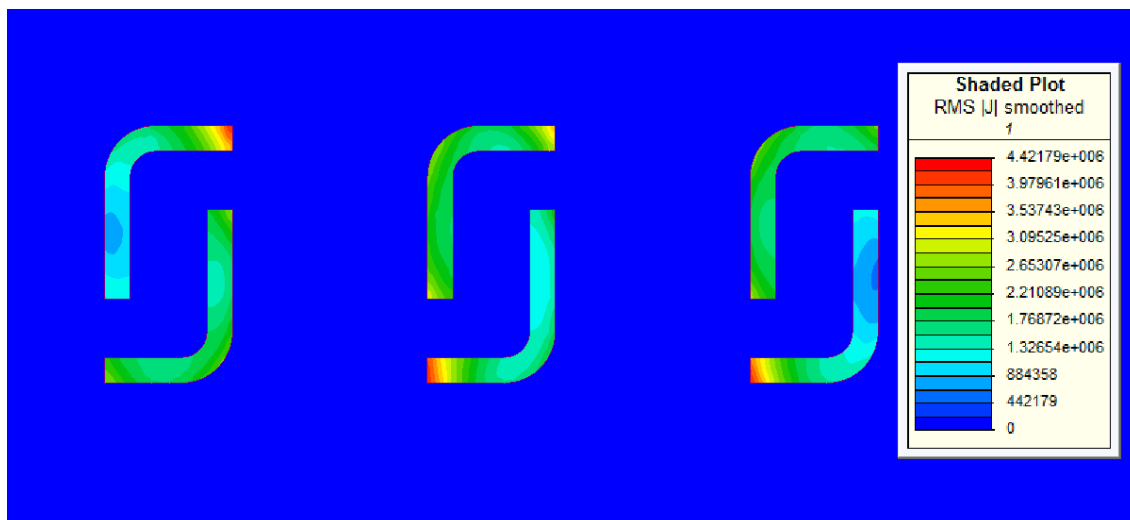
Obrázek 8-12 Rozložení hustoty elektrického proudu tvaru „L“ [J] $I_e = 3200A$

Z předchozích **obrázků 8-10, 8-11 a 8-12** rozložení proudových hustot je patrné, že všechny návrhy v porovnání se stávajícím řešením (**obrázek 8-3**) lépe využívají průřez měděných profilů a nedosahují tak vysokých hodnot proudové hustoty pouze v okrajových částech. Proud je celkově lépe rozložen a měď efektivněji využita.

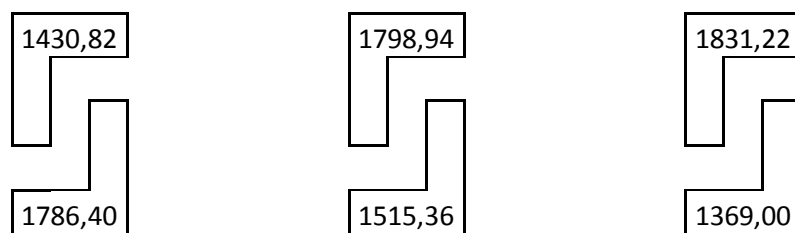
Z výsledků simulace je patrné, že tvary „U“ a „J“ díky svému dvojímu ohybu nedosahují tak vysoké hodnoty hustoty proudu jako „L“ profil ve svém ostrém rohu. Z tohoto pohledu by „U“ a „J“ profily byly ideální volbou, avšak bylo zjištěno, že při daných rozměrech není z technologických důvodů možné vytvořit druhý ohyb v takové blízkosti prvního ohybu (velikost ohýbacího nástroje).

E4.2 3200 A

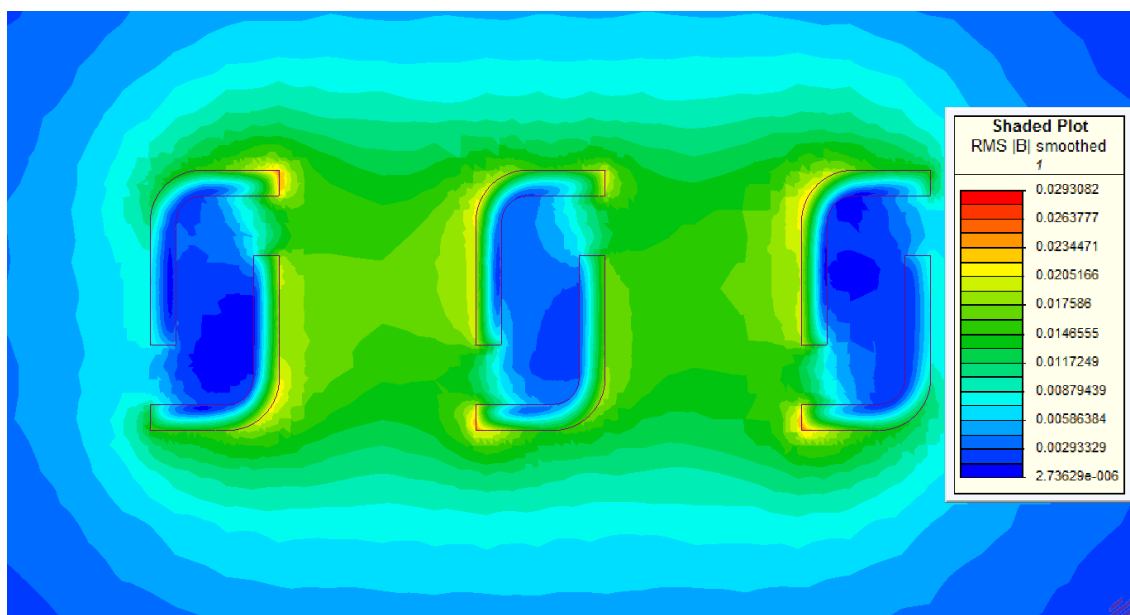
Z technologických důvodů byl tedy zvolen „L“ profil a v případě E4.2 došlo z montážních důvodů k natočení profilu o 90°.



Obrázek 8-13 Distribuce hustoty elektrického proudu



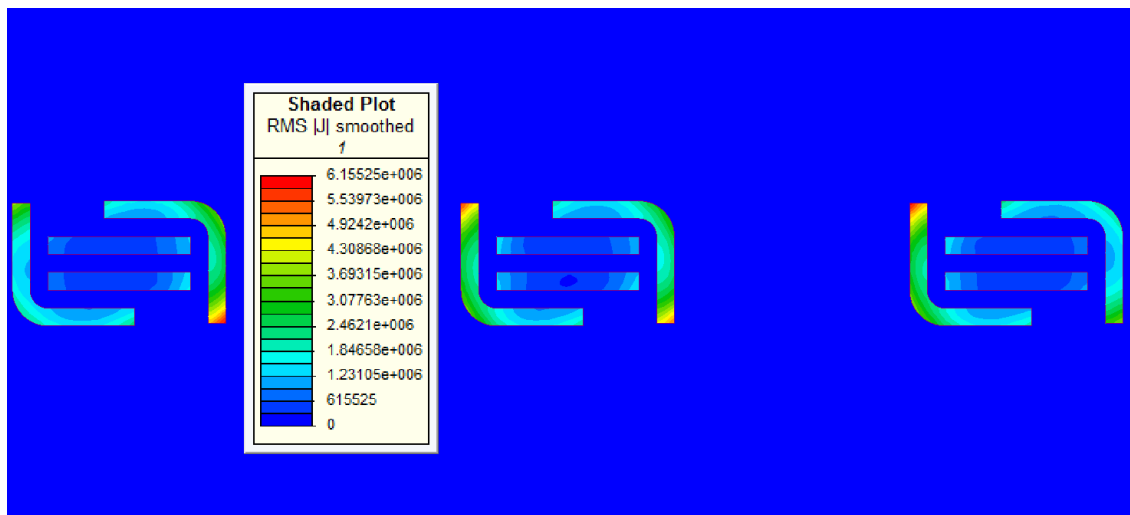
Tabulka 10 Přenos efektivních proudů jednotlivými vodiči [A]



Obrázek 8-14 Rozložení magnetické indukce

E6.2 5000 A

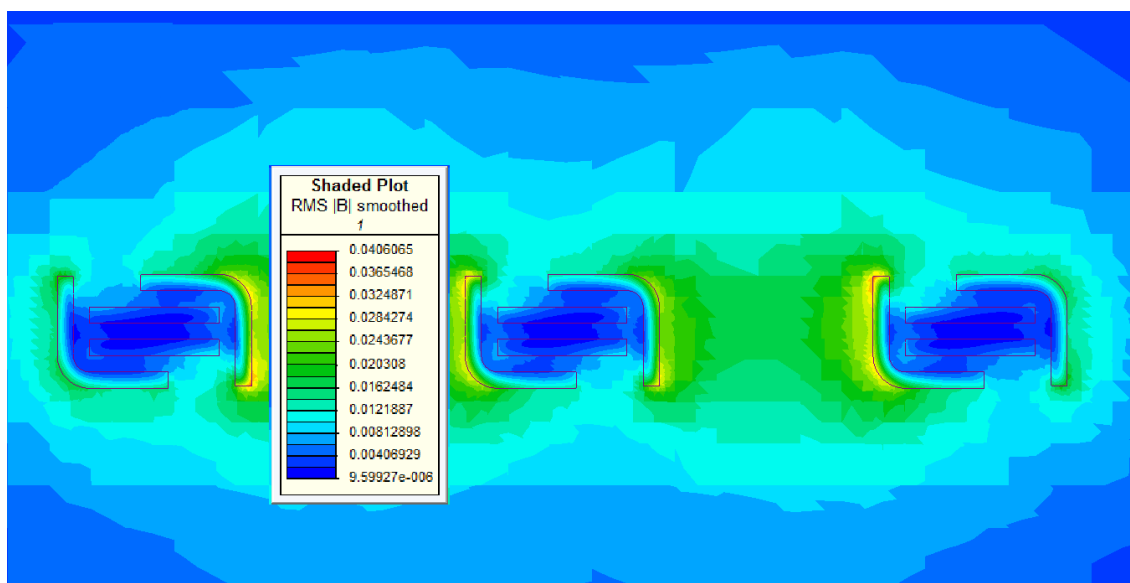
V případě E6.2 bylo taktéž využito „L“ profilů a do středu byly umístěny dva vodiče 80x10 mm pro zvýšení pevnosti a zlepšení schopnosti odvodu tepla od konektorů jističe.



Obrázek 8-15 Distribuce hustoty elektrického proudu

2707,40	2364,48	1811,65
437,00	463,07	440,51
433,21	390,50	409,21
1862,39	2569,43	2726,79

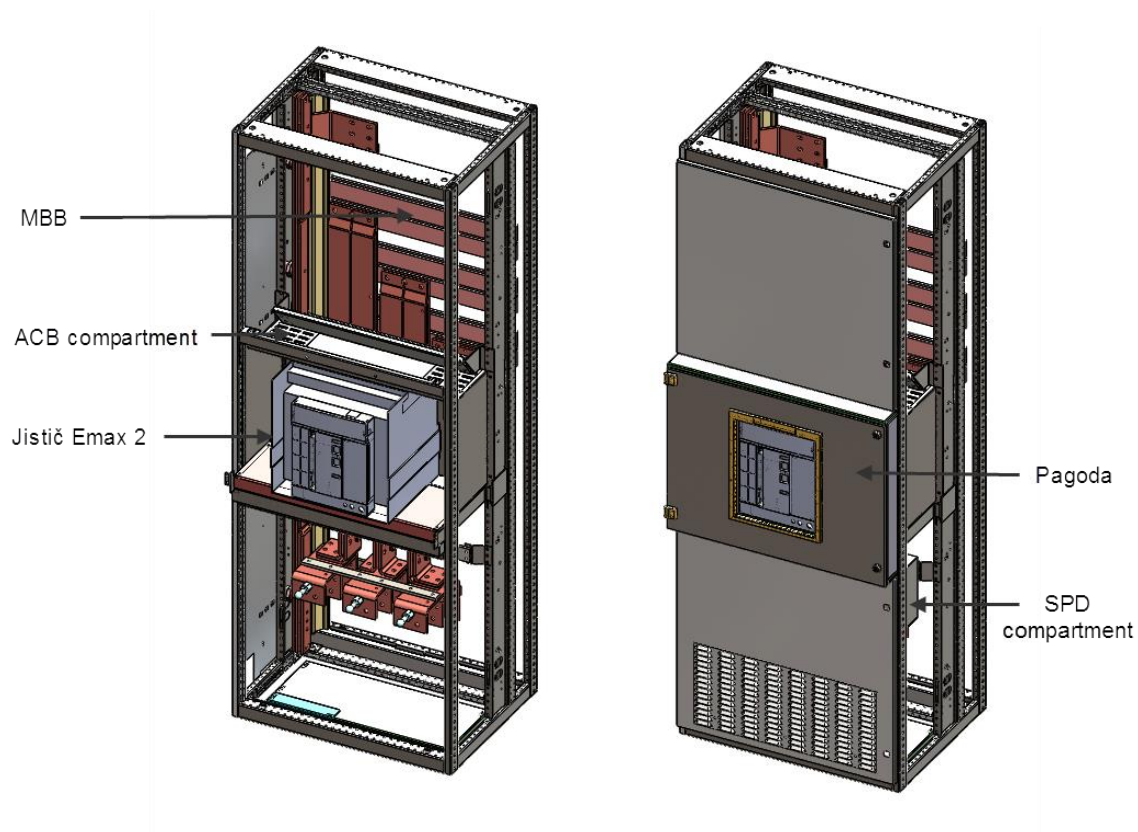
Tabulka 11 Přenos efektivních proudů jednotlivými vodiči [A]



Obrázek 8-16 Rozložení magnetické indukce

9 DALŠÍ PROJEKTOVÁ ZLEPŠENÍ

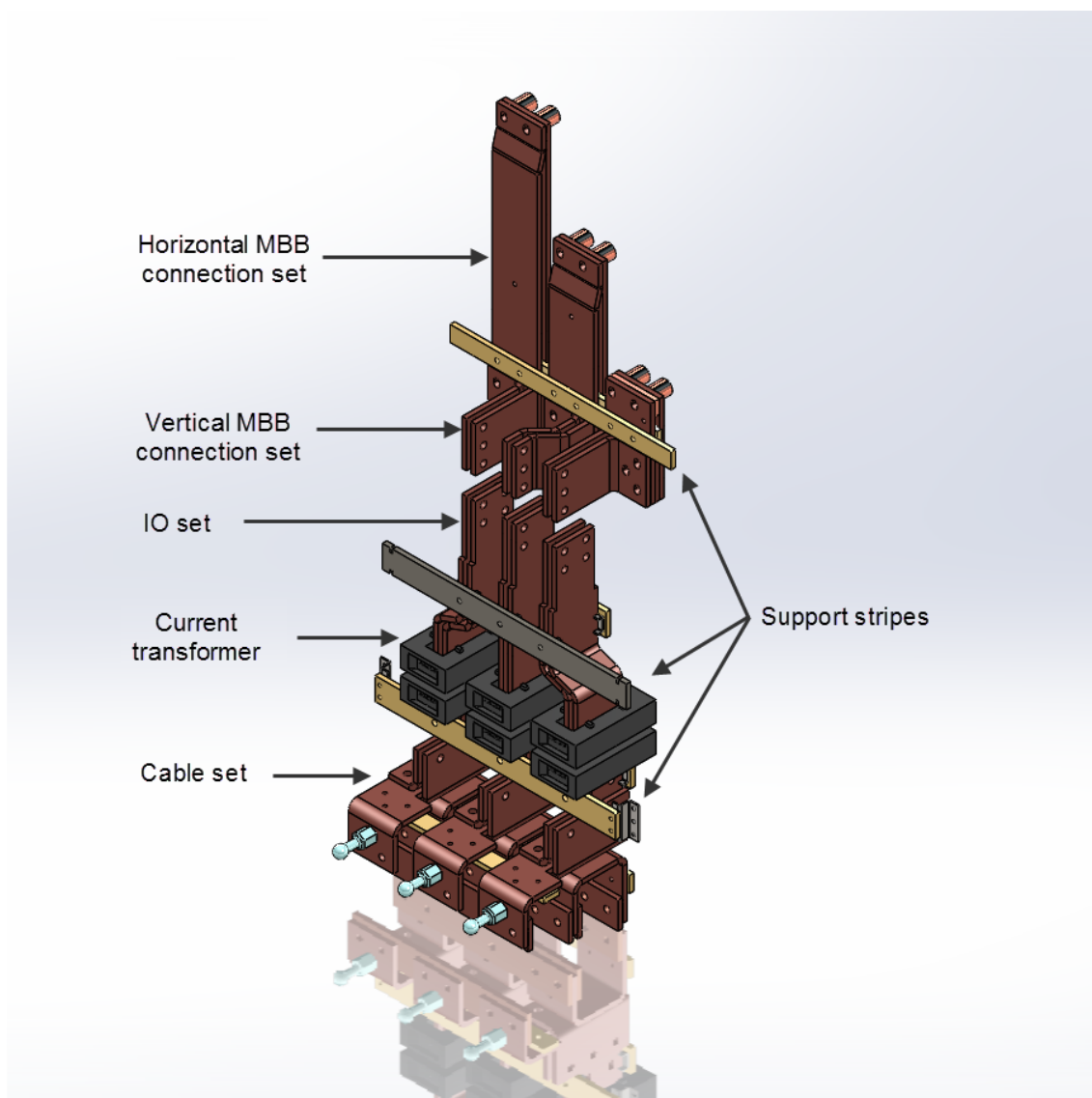
V této kapitole jsou popsány práce, pro které byly vytvořeny odpovídající návrhy, které jsou v současné době testovány.



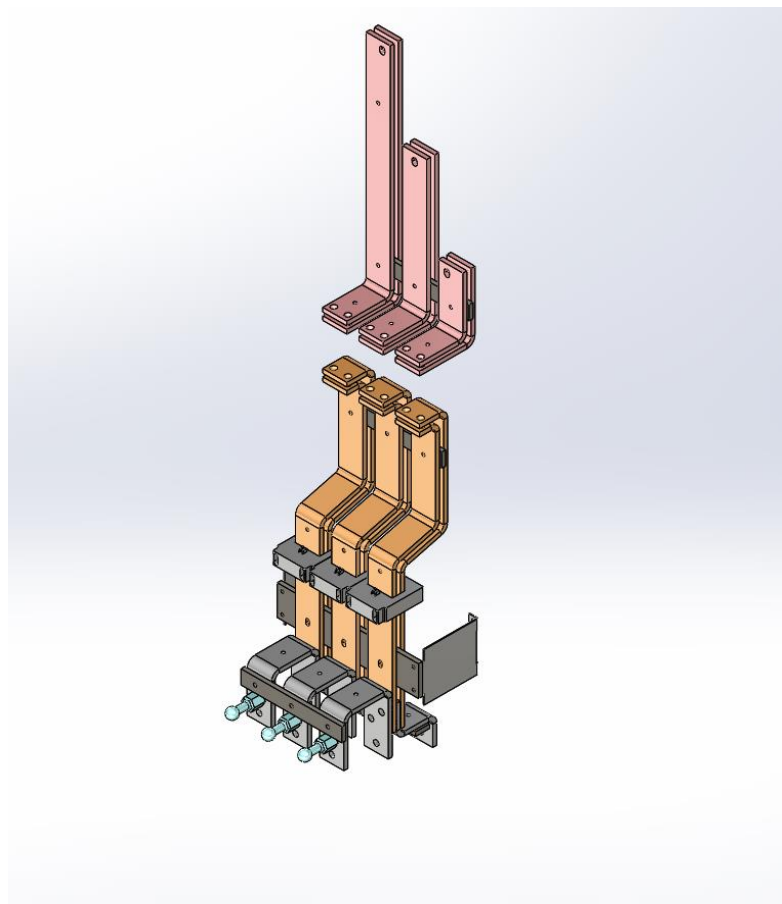
Obrázek 9-1 Jističová skříň (E4.2 32 CW800 EQ400)

9.1 Vertikální měděné vodiče

Jelikož ohřátý vzduch proudí vzhůru, řešení vertikální orientace měděných plochých vodičů je nasnadě. Plocha povrchu vodiče je tak lépe obtékána stoupajícím vzduchem a taktéž je možné zajistit větší izolační vzdálenost mezi fázemi.



Obrázek 9-2 Příklad inovace měděných vodičů – vertikální připojení (E2.2 2500 A)



Obrázek 9-3 Příklad řešení vodičů stávající řady – horizontální připojení (E2 2500 A)

Použití vertikálního připojení k jističi přineslo zkomplikování v podobě přepojování vertikálních vodičů na svislé vodiče. Nebylo možné vytvořit vodič od jističe až k hlavním přípojnícím (MBB) z jednoho dílu. To znamená použití více specifických dílů a taktéž více šroubových spojů v sestavách.

V následujících **tabulkách 12 - 15** je uvedeno srovnání stávajícího řešení a nového designu pro vysokoproudé verze jističů E4.2 a E6.2 z pohledu použitých průřezů vodičů, spotřebované mědi (hmotnost), celkový počet použitých dílů a celkový počet šroubových spojů.

Je patrné, že i přes výše zmíněnou náročnost přepojování mezi vertikálními a horizontálními částmi, bylo dosaženo značné úspory v použité hmotnosti surové mědi. Pro E4 versus E4.2 3200 A činí úspora 7,6 % (přibližně 9,5 kg). Srovnáním E6 versus E6.2 5000 A byla zjištěna úspora 6,3 % (více než 13 kg).

9.1.1 Porovnání spotřeby mědi E4 BBt IOb

Jistič		Emax E4	Emax 2 E4.2
Jmenovitý proud [*100 A]		32-40	32
Rozměry rozváděče		CW800 EQ400 "V" konfigurace	
Průřez doporučený katalogově (SACE) [mm]			3x100x10
Průřez Cross-section [mm²]			3000
Použitý průřez [mm]	MBB strana horiz.	2x2x80x10	2x2x80x10
	MBB strana vertic.		3x100x10 (L2 4x100x10)
	IO strana	3x120x10	4x100x5 + 1x40x10
Průřez u konektorů jističe [mm²]		3200	3000 (L2 4000)
Hmoty mědi [kg]	MBB	39,463	48,237
	IO	65,151	38,119
		20,402	29,139
Celkem		125,016	115,495
Ušetřeno [%]		7,6 %	

Tabulka 12 Porovnání využití mědi E4

Šroubových spojů	MBB	12	18
	IO	36	24
	Celkem	48	42
Dílů	MBB	12	23
	IO	30	39
	Celkem	42	62

Tabulka 13 Množství dílů a šroubových spojů E4

9.1.2 Porovnání spotřeby mědi E6 BBt IOb

Jistič		Emax E6	Emax 2 E6.2
Jmenovitý proud [*100 A]		50	50
Rozměry rozváděče		CW1000 EQ400 "V" konfigurace	
Průřez doporučený katalogově (SACE) [mm]			5x100x10
Průřez Cross-section [mm²]			5000
Použitý průřez [mm]	MBB strana horiz.	2x3x100x10	4x100x10 + 2x60x10
	MBB strana vertic.		4x120x10
	IO strana	2x3x100x10	4x120x5 + 2x80x10
Průřez u konektorů jističe [mm²]		6000	4800
Hmota mědi [kg]	MBB	73,604	83,807
	IO	103,742	75,798
		40,068	44,156
	Celkem	217,414	203,761
Ušetřeno [%]		6,3 %	

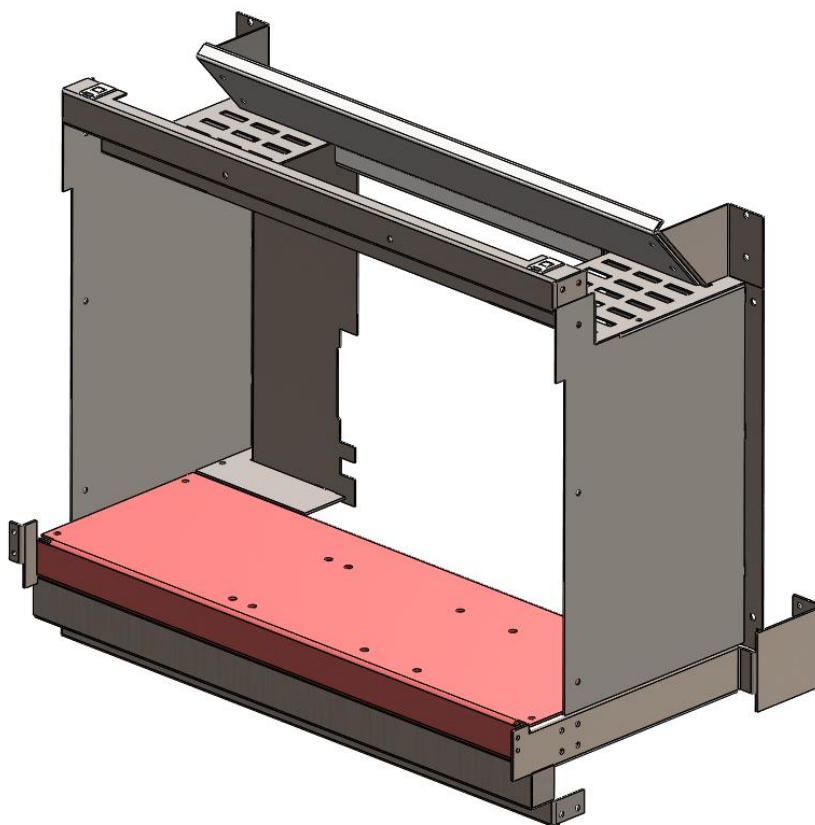
Tabulka 14 Porovnání využití mědi E6

Šroubových spojů	MBB	12	30
	IO	36	36
	Celkem	48	66
Dílů	MBB	18	37
	IO	33	66
	Celkem	51	103

Tabulka 15 Množství dílů a šroubových spojů E6

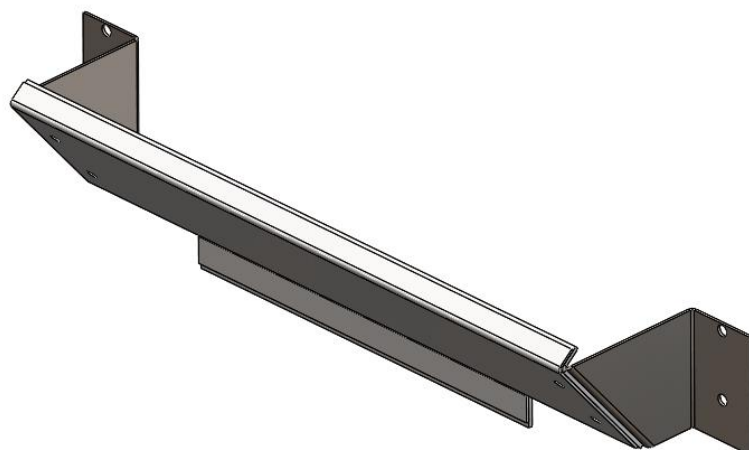
9.2 Oddělovací prostor jističe (ACB compartment)

Odděluje jistič od ostatních prostor skříně a zabraňuje přístupu obsluhy k živým částem, kde hrozí úraz elektrickým proudem, díky stupni krytí IP20.

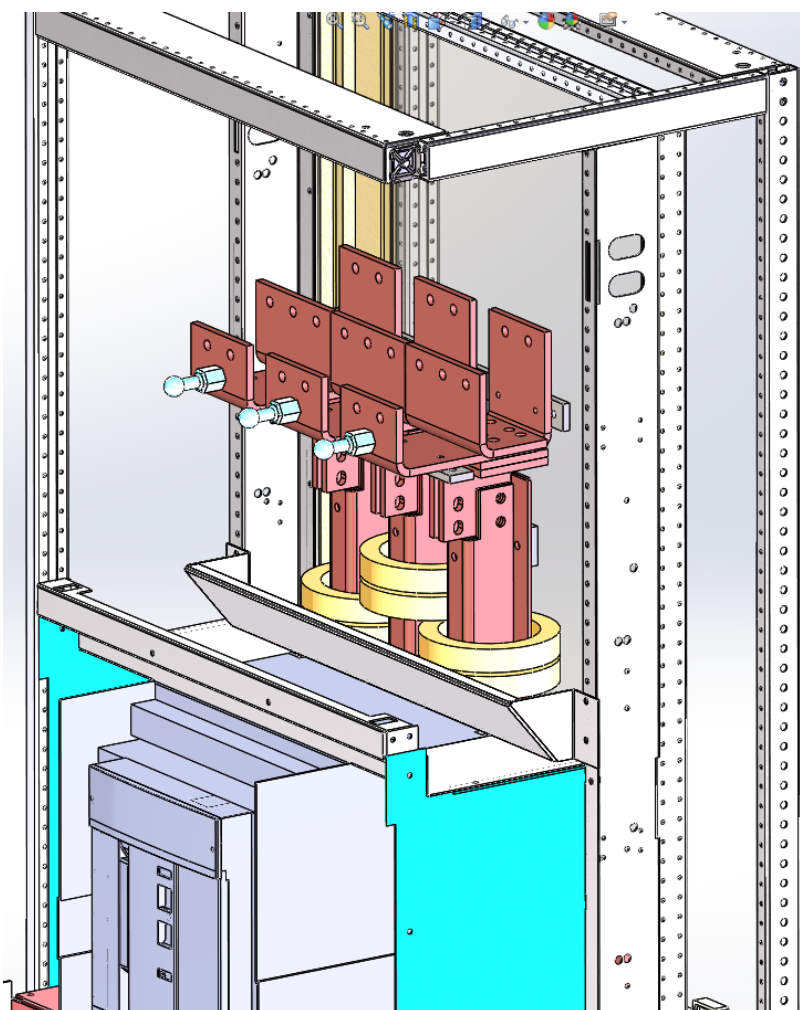


Obrázek 9-4 Oddělovací prostor jističe s nástavbou Arc Shield

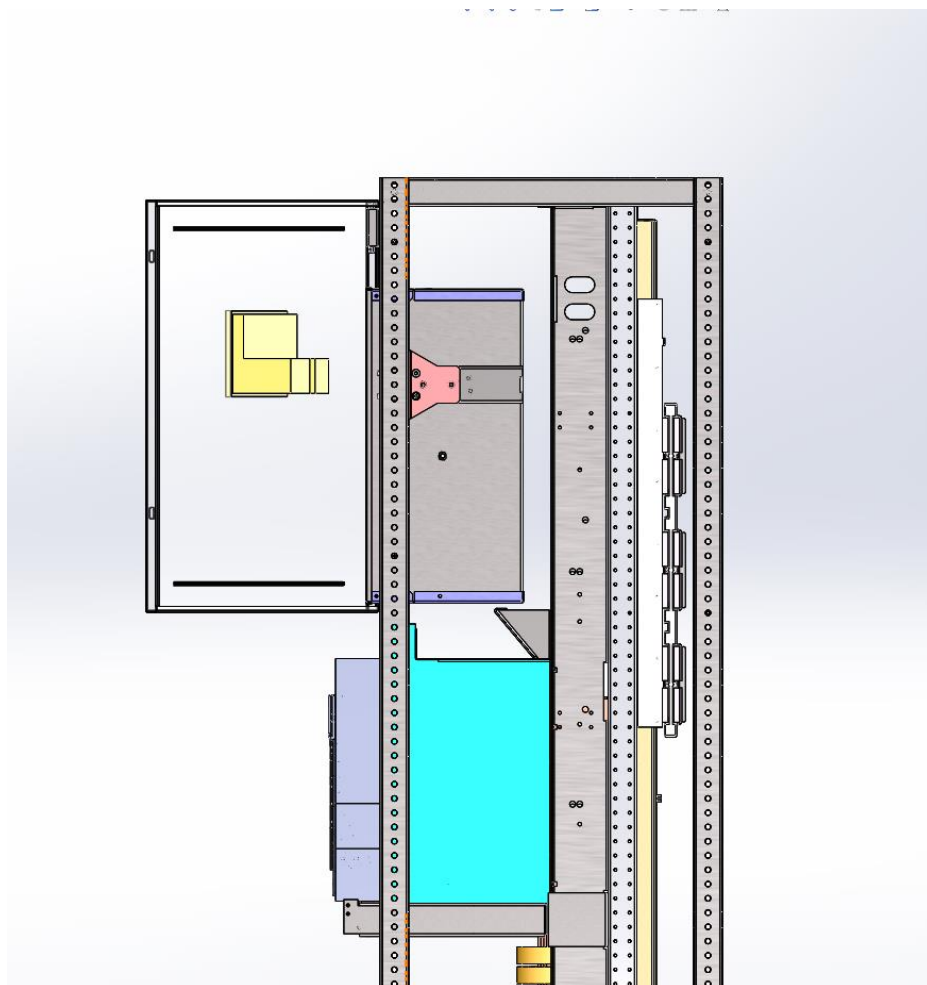
Zároveň s nástavbou Arc Shield usměrňuje expandující ionizované plyny z těla jističe pryč od měděných pasovin v okamžiku vybavení jističe. Arc Shield se skládá z nosných konzolí a dvou profilů v sandwichovém uspořádání. Zadní díl je vyroben z polykarbonátu a slouží jako izolace, jelikož v konfiguraci IOt jsou vodiče fází vzdáleny od Arc Shieldu pouze několik milimetrů a nebyla by dodržena vzdušná izolační vzdálenost. Přední díl plní pevnostní funkci a je z lakovaného ocelového plechu (RAL 7035).



Obrázek 9-5 Nástavba Arc Shield pro odklonění plynů



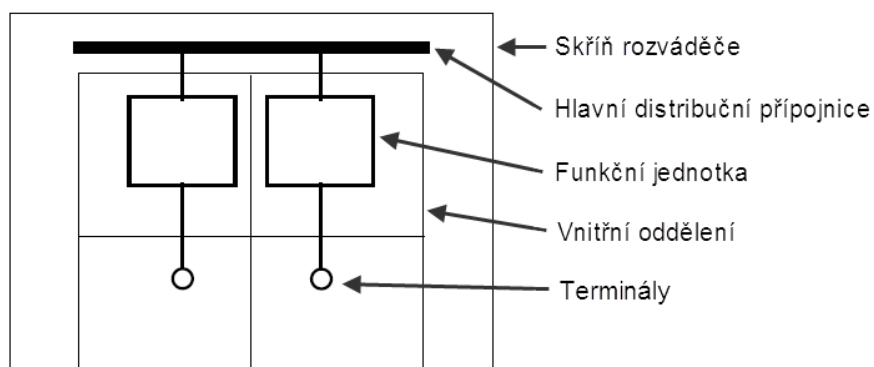
Obrázek 9-6 Příklad instalace v rozváděčové skříni v konfiguraci IOt



Obrázek 9-7 Boční pohled na vnitřní uspořádání

9.3 Forma dělení

Naším cílem je dosáhnout nejvyšší třídy dělení, a to 4b. Jedná se o vnitřní dělení prostorů rozváděče pro zajištění bezpečnosti.



Obrázek 9-8 Forma vnitřního oddělení 4b [5]

Pro tyto potřeby byla navržena přepážka umístěná mezi vstupními a výstupními terminály jističe s dostatečně velkou prostupnou plochou větracích mřížek pro stoupající ohřátý vzduch. Bylo rozhodnuto, že tato přepážka nebude provedena pro rozváděčové skříně s přístrojovou hloubkou EQ400, kde není prostor pro umístění dostatečného množství větracích mřížek pro splnění podmínky **rovnice 8**.

Aby byla zajištěna propustnost větraného vzduchu komínovým efektem, je třeba, aby na každé přepážce byla dodržena podmínka minimálně 10 % více propustné plochy než předchozí přepážka.

$$1,1 \cdot S_i \leq S_{i+1}$$

Rovnice 8

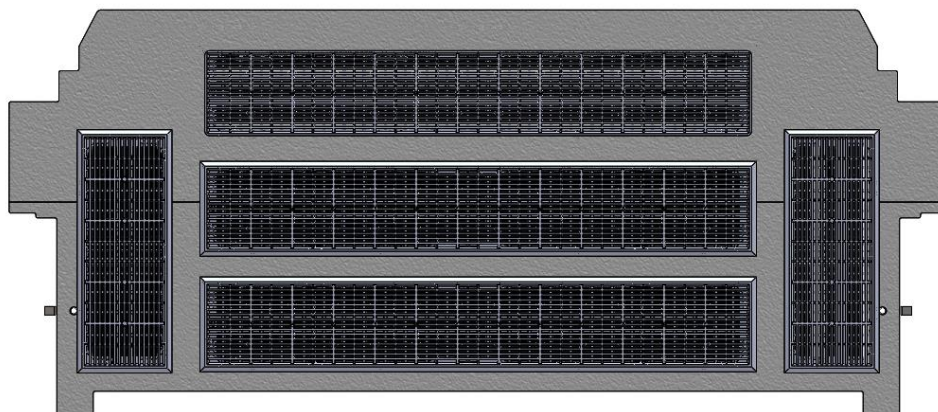
Standardně se v řadě MNS používají dva typy větracích mřížek. Na základě znalosti větrací plochy krátké větrací mřížky (60 cm³), respektive dlouhé (153 cm³), byla spočítána podle **rovnice 8** minimální větrací plocha přepážky pro oddělení 4b.

CW	400	600	800	1000	1200
Krátké mřížky ve dveřích [ks]	2	0	2	4	0
Dlouhé mřížky ve dveřích [ks]	0	2	2	2	4
Celková plocha mřížek [cm ²]	120	306	426	546	612
Minimální plocha mřížek přepážky 4b [cm ²]	132	336,6	468,6	600,6	673,2
Použitých krátkých mřížek [ks]	3	4	2	4	0
Použitých dlouhých mřížek [ks]	0	1	3	3	6
Celková plocha mřížek [cm ²]	180	393	579	699	918
Koeficient zvětšení [-]	1,50	1,28	1,36	1,28	1,50

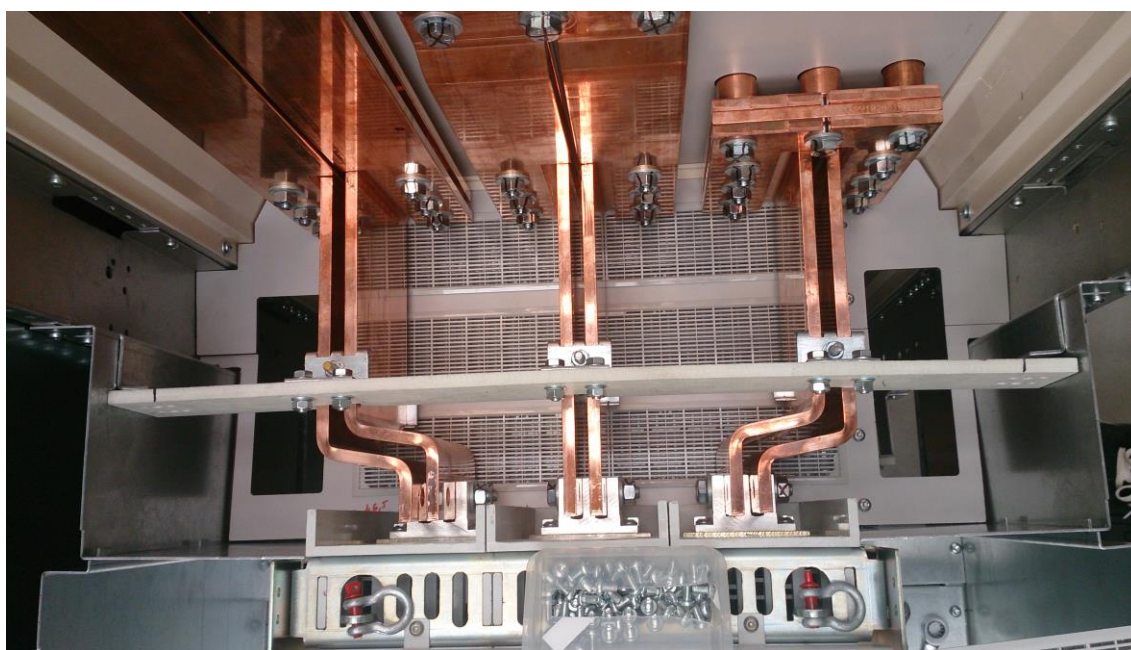
Tabulka 16 Efektivní větrací plochy pro různé šíře skříní

Podle hodnot z **tabulky 16** byly navrženy dvoudílné oddělovací přepážky pro každou šíři rozváděčové skříně MNS portfolia s vhodným uspořádáním malých i velkých větracích mřížek, aby byla splněna podmínka minimální větrací plochy. Přepážka je dvoudílná pro jednodušší montáž mezi terminály jističe. Oba díly jsou pospolu drženy fixačními zámkami plastových větracích mřížek.

Pro pět základních šířek s jednotnou hloubkou přístrojového prostoru EQ600 rozváděčových skříní a různé možnosti osazení jističi vzniklo celkem 32 konfigurací.



Obrázek 9-9 3D návrh oddělovací přepážky CW800



Obrázek 9-10 Prototyp 4b přepážky mezi vstupem a výstupem jističe při montáži

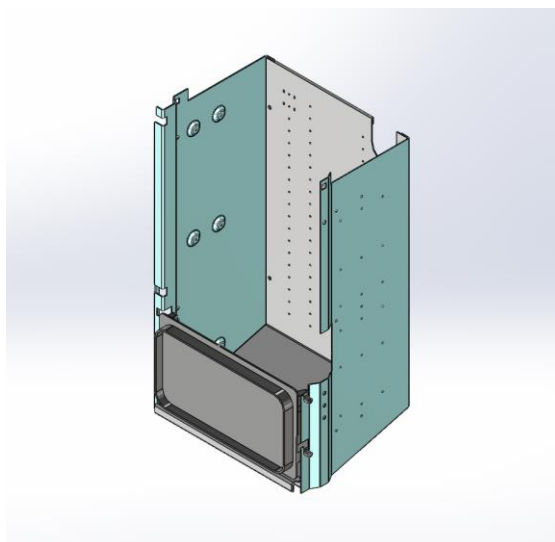
9.4 AR prostor

Ve stávající generaci MNS rozváděčů je použit oddělený výklopný prostor pro přídavná zařízení označována jako „AR“. Ten je momentálně výklopný vzhůru, aby obsluha mohla volně přistupovat k přípojnicovému vedení, avšak bez integrovaného systému blokace ve vyklopené pozici. Bylo zapotřebí navrhnout nové řešení zajišťující snadnost

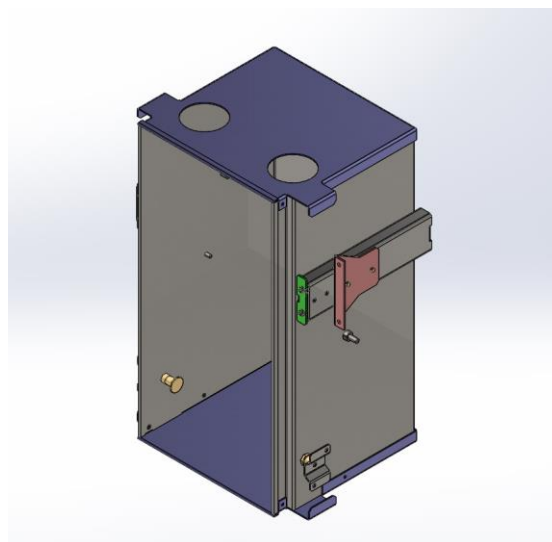
manipulace, volný přístup do prostoru za AR a fixaci ve vysunuté poloze pro bezpečnost obsluhujícího personálu.

Navržené řešení využívá systému pojezdových rolen s rotačním zavěšením AR s blokovacími trny.

Porovnáním těchto dvou designů vychází, že nové řešení má nižší hloubku prostoru pro manipulaci, je však o 25 mm hlubší.



Obrázek 9-11 AR prostor stávající řady



Obrázek 9-12 AR prostor AGOMIN návrhu

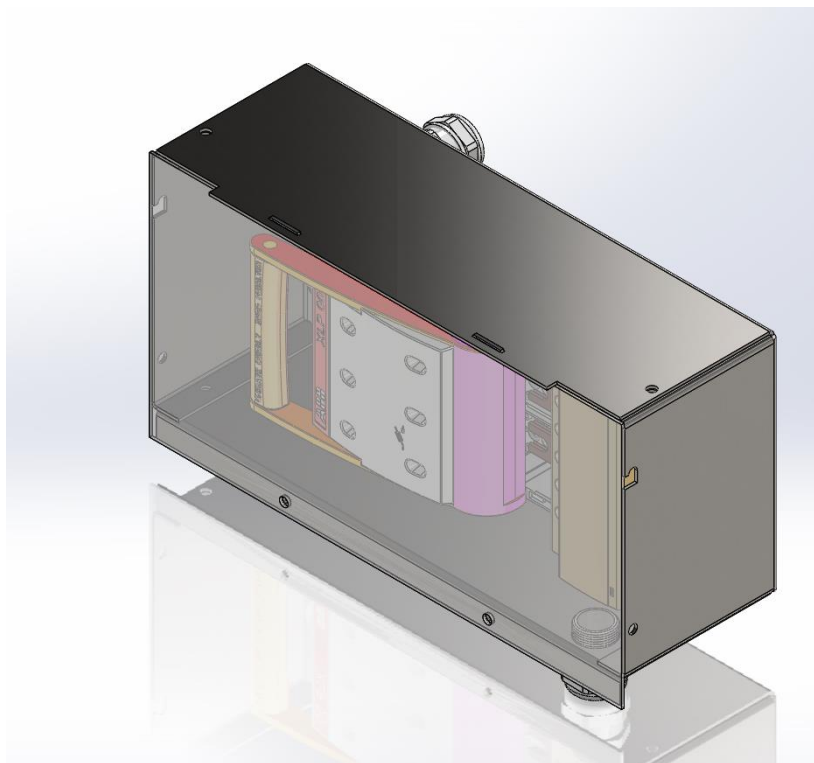


Obrázek 9-13 AR ve vysunuté a blokované poloze (test)

9.5 SPD prostor

Ve stávající produktové řadě nebyl vyčleněn samostatný prostor pro zařízení přepětové ochrany. Pokud si zákazník přál přepětovou ochranu, byla instalována do AR prostoru.

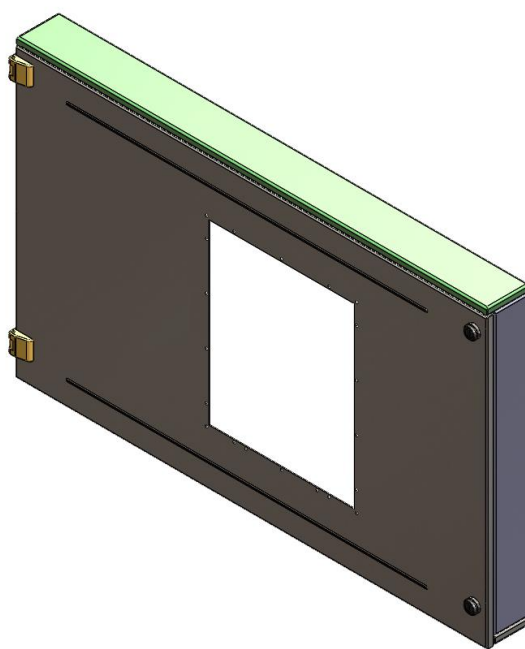
Zde byl navržen samostatný prostor určený jen pro přístroje chránící před přepětím. Pokud je AR prostor umístěn nahoře rozváděče, pak je SPD prostor ve spodní části a naopak.



Obrázek 9-14 Model SPD prostoru

9.6 Pagoda

Pagoda je označení ochranného krytování jističů E2.2, E4.2 a E6.2 v jističové skříni o přístrojové hloubce 400 mm (EQ400). V takové skříni s jističem ve výsuvném provedení není dostatek místa, aby mohl být jistič zavřen za ochranné dveře. Proto byl vytvořen předsunutý nosný rám pro dveře, který zajišťuje ochranu obsluhy. Dveře pagody jsou předsunuty o 62,5 mm oproti ostatním dveřím.



Obrázek 9-15 Pagoda - předsunutý rám s ochrannými dveřmi



Obrázek 9-16 Rozváděč s pagodou (E2.2 vlevo) a bez pagody (E1.2 vpravo)

10 ZÁVĚR

Diplomová práce popisuje projekt AGOMIN, popisuje rozdíly mezi aktuální řadou rozváděčů MNS a plánovanými změnami a vylepšeními pro novou generaci, které byly vyvinuty v rámci této diplomové práce. V současném stavu jsou již prototypy rozváděčů podrobovány zkouškám v certifikovaných laboratořích.

Pro samotné testy byly v první řadě vybrány kritické sestavy, které reprezentují nejžádanější sestavy z portfolia. Ty byly dopodrobna zpracovány. Na nich probíhá odlaďování a aktuální typové zkoušky.

Bylo ověřeno, že návrhy vertikálně orientovaných vodičů přinesou nejen lepší teplotní vlastnosti a proudovou zatížitelnost, ale dokonce uspoří i množství použité mědi. Již z prvních teplotních testů vyplynulo následující:

- Jistič E3 3200 A v rozváděči stávající produkce při krytí IP30/40 dosahuje zatížitelnosti 2600 A (derating 0,81). Jemu rozměrově a parametricky odpovídající jistič E4.2 3200 dosahuje 3150 A (derating 0,98) při úspoře 7,6% mědi.
- Podobně jistič E6 5000 A při krytí IP30/40 dosahuje zatížitelnosti 4000 A (derating 0,80). V inovovaném rozváděči jistič E6.2 5000 A dosahuje 4650 A (derating 0,93) při úspoře 6,3% mědi.

V projektu byl dán prostor pro další vylepšení léty ověřeného systému MNS. Oddělením vlastního prostoru jističe došlo k zvýšení bezpečnosti obsluhy například během běžné údržby rozváděče. Vnitřní dělení bylo vylepšeno na nejvyšší třídu 4b, byl rozšířen prostor pro použití dvou transformátorů na každou fázi, přepracován byl výklopný prostor pro přídatná zařízení, který již nabízí zvýšení bezpečnosti v podobě aretace ve zdvižené pozici.

Následovat bude detailní zpracování modelů pro všechny konstrukční možnosti jističových skříní, dále zpracování výrobních výkresů pro každý jednotlivý použitý díl, soupisy použitých dílů a následná implementace do PLM a ME.

Použité zdroje

- [1] ABB Rozváděčové systémy - IEC. *NN rozváděče do 1000V* [online]. 2007-10-02 [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/cz/9AAC100800.aspx?country=CZ>
- [2] ABB S.R.O. *Rozváděče nízkého napětí: Technické informace*. Brno. Dostupné z: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ABB%2FNN11%2F07CZ%5F02&LanguageCode=cs&DocumentPartID=&Action=Launch>
- [3] ABB S.R.O. *SACE EMAX: Návod na montáž, servis a údržbu nízkonapěťového vzduchového jističe*. Brno. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/fcc473bd93785f3ec1256ed000494a96/\\$file/itscb-601933-001_cz.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/fcc473bd93785f3ec1256ed000494a96/$file/itscb-601933-001_cz.pdf)
- [4] ABB SACE, A division of ABB S.p.A. *SACE Emax 2: Nové nízkonapěťového vzduchového jističe*. Bergamo, 2013. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/7ce96fb389b9517ac1257b55002fbdc6/\\$file/1SDC200023D0201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/7ce96fb389b9517ac1257b55002fbdc6/$file/1SDC200023D0201.pdf)
- [5] ČSN EN 61439 (357107). *Rozváděče nízkého napětí*. Brno: UNMZ, 2010.
- [6] DUCLUZAUX, A. *ECT no:83: Extra losses caused in high current conductors by skin and proximity effects*. 1983. Schneider Electric, Valence.
- [7] GREMMEL, H. *Switchgear Manual; 12th edition*, Berlin, 2012. ISBN: 978-3-589-24112-5
- [8] KRAJGER, O. *Implementace SolidWorks Enterprise PDM v konstrukční firmě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakultastrojního inženýrství, 2012. 67s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
- [9] MANJUNATHA, A. ABB. *1TGA071299 - ABB internal: Product requirement specification for AGOMIN*. Ladenburg, 2013.
- [10] SolidWorks. *SolidWorks* [online]. 2010 [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/solidworks>
- [11] SolidWorks Professional. *SolidWorks Professional* [online]. 2010 [cit. 2013-12-11]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/solidworks-professional>
- [12] SolidWorks Enterprise PDM. *SolidWorks Enterprise PDM* [online]. 2010 [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/solidworks-enterprise-pdm>
- [13] SolidVision PLM. *SolidVision PLM* [online]. 2010 [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/plm/>

Seznam použitých zkratek

2D	– dvoudimenzionální, dvourozměrný
3D	– trojdimenzionální, trojrozměrný
AR	– <i>Auxiliary compartment</i> – prostor pro pomocná zařízení
BBb/t	– <i>Bus Bar bottom/top</i> – konfigurace rozváděče s hlavními přípojnici dole/nahoře
CW	– <i>Cubicle Width</i> – šíře rozváděčové skříně/pole v milimetrech (CW400)
EPDM	– SolidWorks Enterprise PDM
EQ	– <i>Equipment compartment depth.</i> – hloubka prostoru pro přístrojové vybavení v milimetrech (EQ400)
IEC	– <i>International Electrotechnical Commission</i> – mezinárodní elektrotechnická komise
IO	– <i>In Out side</i> – výstup/vstup pro kabelové připojení rozváděče
IOb/t	– <i>In Out side bottom/top</i> – konfigurace rozváděče s výstupem dole/nahoře
MBB	– <i>Main Bus Bar</i> – hlavní přípojnice
ME	– <i>MNS Engineer</i> – program pro konfiguraci rozváděčových polí
PDM	– <i>Product Data Management</i> – správa technické dokumentace
PLM	– <i>Product Lifecycle Management</i> – správa životního cyklu výrobku
SPD	– <i>Surge protection device</i> – přepět'ová ochrana zařízení
TTA	– <i>Type Tested Assembly</i> – typově testovaná sestava