

Prístroje a opatrenia na zvýšenie bezpečnosti elektrických zariadení pri údržbe

Ing. František ŠTĚPÁN, Eaton Elektrotechnika s.r.o., Praha, ČR

Bezpečnost elektrických zařízení při údržbě se většinou zaměřuje na oblast ochrany před úrazem elektrickým proudem jako následek poruchy zařízení nebo lidské chyby. Z průzkumů v zahraničí vyplývá, že až čtyřicet procent všech poruch v průmyslových elektrických instalacích je doprovázeno vznikem elektrického oblouku. Problém s oficiálními statistikami je ovšem v tom, že mnoho případů vzniku oblouků v rozváděčích nízkého napětí není hlášeno. To, že se o něčem nemluví ale ještě neznamená, že problém neexistuje. Vznik vnitřního oblouku v rozváděčích se nesmí podceňovat, protože způsobuje jednak hmotné škody, ale také zranění osob. Popáleniny způsobené tepelnými účinky oblouku bývají závažné a proto je nezbytné se této problematice podrobněji věnovat.

POVINNOSTI PROVOZOVATELE Z HLEDISKA OCHRANY PŘED POPÁLENÍM OD OBLOUKU

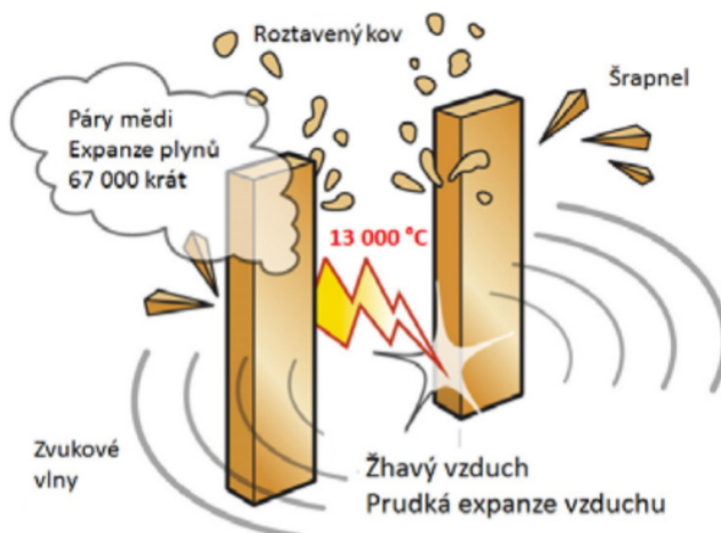
Hodnocení rizika popálení od elektrického oblouku (angl. Arc-Flash Hazard Analysis) je dnes na základě normy ČSN EN 50110-1 ed. 3 závazné, stejně tak v celé Evropě. Tato norma používá obdobný přístup, který je již dlouho zaveden pro instalace v USA podle normy NFPA 70E (poslední vydání 2015). Fyzika oblouku je stejná všude na světě a nejčastěji se proto používá metoda výpočtů podle normy „IEEE Standard 1584TM-2018“. Tyto normy je nutné zmínit proto, že dnes celosvětově představují jediné použitelné předpisy, které vyžadují a popisují způsoby výpočty hustoty vyzářené energie (*angl. incident energy*, dopadající energie). Výsledky výpočtů použité pro posouzení kdekoli na světě se formálně liší pouze ve vyjádření použitých jednotek (kalorie nebo jouly, centimetry nebo palce) podle toho, ve kterých zemích se výpočty provádí.

Vznik oblouku v rozváděči

Při hodnocení rizik se počítá s pravděpodobností vzniku oblouku v rozváděči. Elektrický oblouk může vzniknout mezi fázovými vodiči, mezi fází a středním vodičem a také mezi fází a zemí. Při posouzení rizik se počítá s nejhorší situací s třífázovým symetrickým zkratem, kdy je energie nejvyšší.

Pokud se vzniklý oblouk plně rozvine, dochází k velmi rychlému uvolnění velké energie. Mezi důsledky vzniku obloukového zkratu patří:

1. vyzářené teplo
2. hluk
3. prudké rozpínání okolního vzduchu vlivem oteplení.



Obr. 1 Následky vzniku oblouku mezi částmi pod napětím

Riziko vzniku poruchy přímo souvisí s činnostmi, které jsou na rozváděči prováděny. Jedná se buď o **obsahu** (zapínání/vypínání, nastavování regulačních prvků, odečítání hodnot na panelových měřidlech, atd.), nebo o **údržbu** (měření, práce v blízkosti napětí, výměna pojistek, výsuvy jističů, atd.), kdy je již nutné otevřít rozváděč, odejmout kryt nebo přední panel, viz obrázek 2.



Obsluha

Údržba

Obr. 2 Obsluha a údržba elektrických zařízení

Údržba elektrických zařízení vždy představuje zvýšené riziko úrazu a každá činnost proto vyžaduje plnou pozornost pracovníka. Riziko vzniku obloukového zkratu musí být uvažováno zejména v případech **práce na elektrickém zařízení v blízkosti živých částí nebo ve styku s živými částmi** (práce pod napětím, viz

norma ČSN EN 50110-1), které jsou sice nežádoucí, ale nelze se jim úplně vyhnout. Pravděpodobnost vzniku obloukového zkratu je největší v případech práce v rozváděčích (manipulace, měření), nejčastěji jako důsledek lidské chyby.

Přestože se při návrhu elektrických zařízení uplatňují všechny dostupné poznatky a bezpečné konstrukce pro bezpečnou manipulaci s některými částmi, nebo přístroji (například vnitřní dělení rozváděčů podle ČSN EN 61439-2 Výkonové rozváděče nn), poruchy nelze nikdy plně eliminovat.

Rozsáhlý experimentální výzkum vedl k odvození vztahů a k určení velikosti rizika vzniku popálení od elektrického oblouku od obloukového zkratu. Závěry byly zhrnuty a publikovány v již zmíněné normě NFPA 70E-2012, která se zabývá obsluhou a prací na elektrických zařízeních. Je závazná pro firmy v USA a rovněž pro jejich filie po celém světě. V Evropě se používá soubor norem EN 50110 (části 1 a 2), kde jsou uvedeny základní informace. V části 1 je uvedeno rozdělení pracovní činnosti (working) na tři základní typy prací:

- práce pod napětím (live working),
- práce na vypnutém zařízení (dead working),
- práce v blízkosti živých částí (working in the vicinity of live parts).

Dále jsou podle příčiny vzniku definovány tři základní typy zranění (kap. 3, odst. 3.1.6):

- elektrickým proudem,
- úraz elektrickým proudem je definován jako patofyziologický účinek elektrického proudu procházejícího tělem člověka nebo zvířete (Shock Hazard),
- popálením elektrickým obloukem (Arc Flash),
- popálení ohněm nebo explozí způsobenou elektrickou energií při obsluze elektrického zařízení nebo při práci na něm.

Pracovní postupy uvedené v ČSN EN 50110-1 jsou navrženy tak, aby působily preventivně a úrazům elektrickým proudem bylo předcházeno. Požaduje se, aby práce probíhaly na vypnutém zařízení a používaly se prvky pasivní bezpečnost, jakými jsou ochrana zábranou, přepážkou, krytem nebo izolovaným zakrytím. Pracovní postupy **snižují pravděpodobnost vzniku elektrického oblouku, ale nesnižují riziko vzniku popálení od oblouku**. Pokud je nutné pracovat v blízkosti napětí, riziko vzniku elektrického oblouku samozřejmě narůstá.

Obrázek 3 znázorňuje **model řízení rizika vzniku oblouku v rozváděčích nn**. Na levé straně je ukázka rozváděče a možných opatření, která snižují **pravděpodobnost vzniku elektrického oblouku**, na pravé straně jsou pak uvedeny **opatření pro zmírnění následků oblouku**.

Ochranná opatření sloužící ke snížení pravděpodobnosti vzniku oblouku se dělí na organizační a technická.

Organizační opatření si zajišťuje provozovatel. Základními organizačními opatřeními jsou:

- bezpečnostní pravidla pro obsluhu
- štítky a bezpečnostní tabulky
- kvalifikace obsluhy.

Pokud obsluha dodržuje požadovaná pravidla a pracovní postupy, je možné výrazně snížit riziko poruch a vzniku oblouku. Nejúčinnější je samozřejmě kombinace co nejlepších technických a organizačních opatření.

Obecně platí, že vždy je lepší problémům předcházet, než řešit následky.

Řízení rizika v rozváděčích nn



Legenda: černý text - zodpovědnost provozovatele
 modř text - použitá ochranná opatření
 modř tučný text - řešení firmy Eaton

Obr. 3 Řízení rizika vzniku oblouku v rozváděčích nn

Mezi **technická opatření** se řadí vlastní návrh rozváděče, kdy se použije, nebo nepoužije některé z dostupných řešení, jakými jsou zejména:

- vnitřní dělení rozváděče;
- tepelná diagnostika;
- ArcFree design

Základní charakteristiky těchto řešení jsou zmíněny v následujících bodech, podrobnosti jsou k dispozici v katalogové dokumentaci.

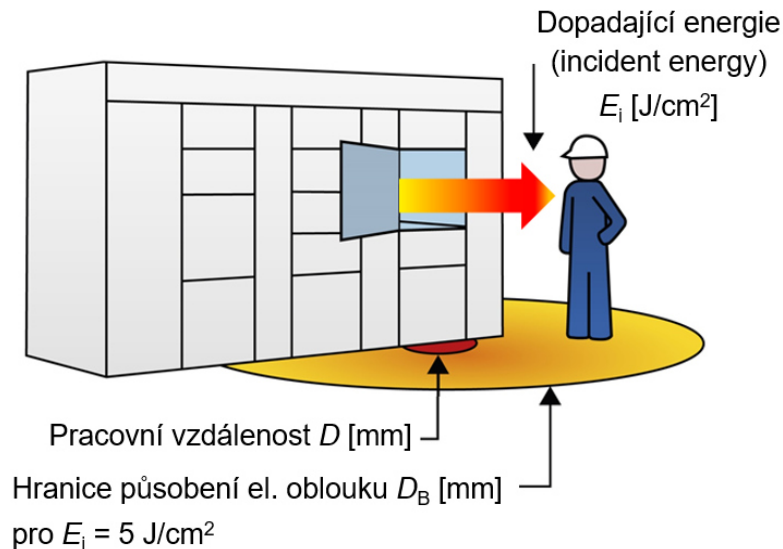
- **Vnitřní dělení rozváděče**
 - oddělení sběrnic, svorkovnic a funkčních jednotek snižuje pravděpodobnost vzniku oblouku;
 - podle způsobu oddělení sběrnic, přístrojů a svorek se definují čtyři základní úrovně úrovně Form1 až Form 4 ;
 - doplňující oddělení rozváděčových polí omezuje přenesení oblouku do sousedních polí.
- **Tepelná diagnostika**
 - nepřetržitá kontrola teploty vybraných míst v rozváděči eliminuje vznik možných poruch;
 - detekce zvýšení teploty a hlášení překročení teploty;
 - přenos signálu od senzorů teploty je bezdrátový (radiofrekvenční) a je velmi vhodný i pro nepřístupná místa.
- **Arc free design**
 - plně izolované přípojnice (většinou epoxydová pryskyřice) se zkoušenou odolností proti vzniku oblouku;
 - spolehlivý, ale poměrně drahý způsob ochrany proti vzniku oblouku (běžné v petrochemii).

Vznik poruchy a elektrického oblouku se i při nejlepších organizačních a technických opatřeních nedá nikdy zcela vyloučit, a proto se vždy musí počítat s jistým zbytkovým rizikem.

Opatření ke zmírnění následků oblouku

Pokud již z nějakého důvodu oblouk nastal, veškerá opatření na snížení pravděpodobnosti oblouku (obrázek 3 vlevo) již nemají význam a dostávají se ke slovu opatření ke snížení následků oblouku.

V pravé části obrázku 3 jsou uvedena ochranná opatření, která umožňují snížit následky působení elektrického oblouku. Hlavním parametrem je doba hoření oblouku a cílem je tedy zkrácení doby působení oblouku na nejkratší možnou dobu. Pro posouzení je nutné použít několik základních parametrů, které jsou zmíněny na obrázku 4.



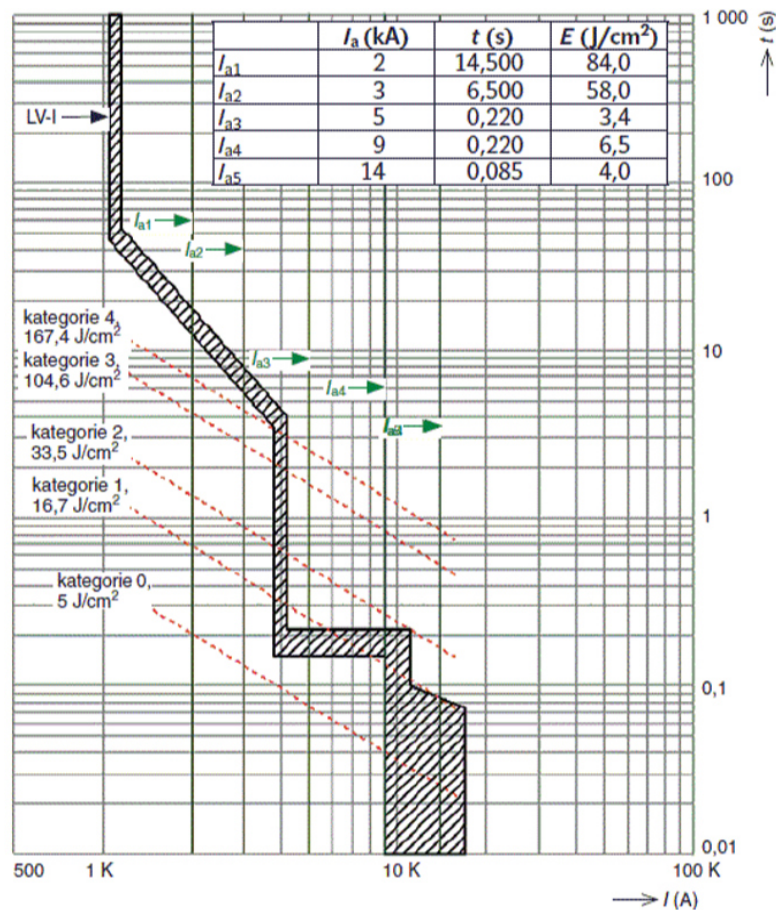
Obr. 4 Základní parametry pro posouzení účinku obloukového zkratu

Pro rozvinutý obloukový zkrat se používá anglický termín Arc-Flash a provádí se výpočty tepelné energie oblouku (*angl. incident energy*, dopadající energie). Jedná se o zjištění hustoty vyzářeného tepla v daném místě rozvodného systému je závislá na velikosti třífázového zkratového proudu, vypínací doby ochranného zařízení a dalších parametrů rozvodného systému v daném místě (typ rozváděče, stupeň vnitřního oddělení, vzdálenost přípojnic atd.). Zde je nutné uvést mezní hranici bezpečnosti pro osoby, která je stanovena hodnotou energie 5 J/cm², což je hranice popálenin prvního stupně, kdy dojde k bolestivému zčervenání, ale ještě nedojde k poškození. Tento stav se dá přirovnat ke spáleninám při opalování.

Energie oblouku se dá účinně omezit některým z následujících opatření. Jejich pořadí zároveň popisuje i jejich účinnost:

- **Nastavení parametrů jističů**

Nastavení spouští jističů dovoluje určité snížení hodnoty vyzářené energie (dopadající energie), ale výsledný efekt není příliš významný, protože zkrácení doby vypnutí je možné jen v malém rozmezí (funkčnost obvodu, selektivita). Obrázek 5 ukazuje vypínací charakteristiku jističe a odpovídající hodnoty smluvených hodnot vyzářené energie, které odpovídají hladinám dopadající energie pro odpovídající ochranné pracovní pomůcky (ATPV podle normy NFPA 70E). Přímka reprezentující konstantní hodnotu dopadající energie o velikosti 5 J/cm² a představuje horní hranici pro použití osobních ochranných pomůcek kategorie 0. Naproti tomu přímka reprezentující konstantní hodnotu 167,4 J/cm² představuje horní hranici pro použití osobních ochranných pomůcek kategorie 4. V případech, kdy vypočítaná energie je větší než 167,4 J/cm², norma již žádné ochranné pomůcky nedefinuje.



Obr. 5 Volba ochranných pomůcek na základě výpočtu vyzářené energie (dopadající energie)

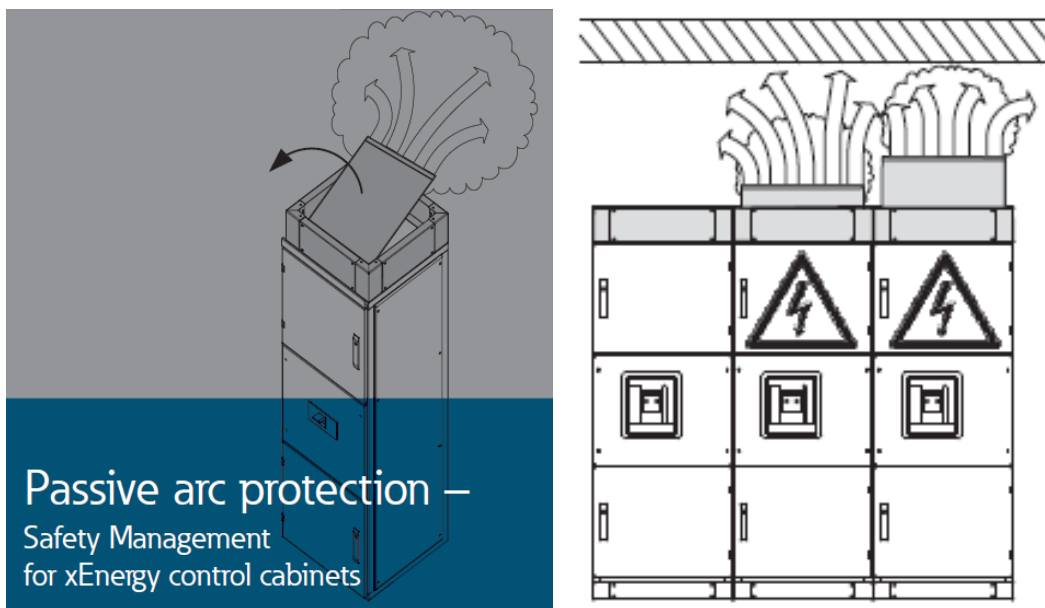
- **Zonální selektivní řezání (ZSI)** - výkonové jističe s elektronickými spouštěmi mají možnost zapojení ZSI (Zone Selective Interlocking), které se používá pro zonální selektivní řazení. Jedná se o tzv. inteligentní selektivní odstupňování, kdy je možné zkrátit nastavené zpoždění jističů v případě, kdy nastane porucha v rozváděči. Podrobnosti jsou uvedeny v katalogích jističů. Zkrácení vypínacích časů zajistí snížení hodnoty energie oblouku.
- **ARMS™** je speciální řešení firmy Eaton (Arc Reduction Maintenance System) pro zkrácení vypínacích časů výkonových jističů po vzniku zkratu. Používá se u vzduchových jističů řady IZMX a IZM od 1600 až do 6300 A a u nové generace kompaktních jističů NZM. Možnost použití je otázkou volby typu spouště při objednání jističe. Zapojení a nastavení je uvedeno v montážním návodu. Aktivace funkce ARMS se provádí automaticky pomocí koncového spínače při otevření dveří rozváděče, nebo přepínačem na spoušti jističe (Maintenance Mode). Významně snížená hodnota dopadající energie (o 30%) omezuje riziko popálení obsluhy při poruše a dovoluje použití ochranných pracovních pomůcek v nižší kategorii (viz obrázek 5).



Obr. 6 Arc Reduction Maintenance System (ARMS / Maintenance Mode) pro snížení vypínacích časů výkonových jističů

- **Pasivní ochrana v případě vzniku oblouku**

Rozváděče jsou upraveny tak, aby se při vzniku oblouku působením tlaku plynů samočinně otevřela přetlaková klapka (většinou v horním krytu); mechanicky zesílené přední panely a dveře pak nezpůsobí žádné zranění obsluhy. Toto opatření je funkční jen při zavřených dveřích, tj. vhodné opatření jen pro obsluhu rozváděče, nelze uplatnit při údržbě.



Obr. 7 Pasivní ochrana pro rozváděče xEnergy

- **ARCON®** aktivní ochrana rozváděče při vzniku vnitřního oblouku v rozváděči. Reakční čas systému ARCON, který nepřekračuje dobu 2 ms po vzniku oblouku, garantuje nejvyšší možnou úroveň ochrany rozváděče a jeho obsluhy, která je technicky vůbec možná. Ke své funkci využívá zkratovací jednotku (quenching unit). Princip funkce vyvinula a patentovala firma Klöckner Moeller (později Moeller), dnes firma Eaton.

Systém Arcon se používá v chemickém průmyslu, výrobních závodech, bankách a všude tam, kde nelze připustit výpadky v napájení. Současně je garantována i vysoká úroveň ochrany osob. Extrémně krátký reakční čas systému Arcon zaručuje nejmenší možné hodnoty dopadající energie (incident energy) do $0,1 \text{ J/cm}^2$, což zaručuje plnou ochranu osoby bez ochranných pracovních pomůcek i v případě bezprostřední blízkosti místa vzniku oblouku. Přijatelná hodnota dopadající energie je 5 J/cm^2 , což je právě hranice tepelné energie pro první stupeň popálení.

Způsobilost systému pro plnou ochranu osob je doložena zkouškami nezávislých zkušeben a vydáním příslušného certifikátu.



Základní komponenty:

- optická detekce oblouku + proudové transformátory pro detekci nadproudu
- elektronické vyhodnocovací jednotky
- zkratovací jednotka

Obr. 8 Systém Arcon v rozváděči

Ochranné pracovní pomůcky

Ochranné pracovní pomůcky se zkouškou proti působení oblouku slouží k omezení vlivu tepelné energie oblouku na člověka. Jako základní informace pro použití ochranných opatření slouží hodnota maximální přípustné energie pro první stupeň popálení kůže 5 J/cm^2 . Pokud se nepodaří snížit energii oblouku (incident energy; dopadající energie) pod tuto hranici, musí se použít ochranné pracovní pomůcky. Ty ovšem musí splňovat podmínky pro ochranu před obloukem, například pro energie do $50,4 \text{ J/cm}^2$ (12 cal/cm^2).



Obr. 9 Ukázka ochranného oděvu s odolností 50,4 J/cm² (12 cal/cm²)

Analýza rizik (Arc-Flash Hazard Analysis)

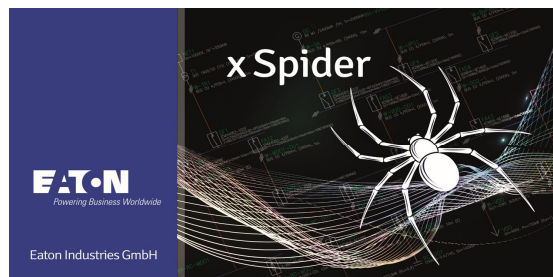
Cílem Arc-Flash analýzy je nalezení největší hodnoty hustoty vyzářeného tepla v místě rozvodného systému, které je předmětem analýzy. Jinými slovy jde o určení hlavních provozních stavů daného rozvodného systému a výpočet hustoty vyzářeného tepla v daném místě pro každý z těchto provozních stavů. Následným porovnáním vypočítaných hustot vyzářeného tepla pro dané místo se získá nejhorší možný provozní stav (worst-case scenario), na základě kterého se pro dané místo určí odpovídající osobní ochranné pomůcky. Obrázek 10 znázorňuje standardní postup pro provádění analýzy rizika popálení od oblouku.



Obr. 10 Analýza rizika popálení od oblouku

ArcRISK – posouzení rizika práce na rozváděči z hlediska vzniku elektrického oblouku pomocí programu Pavouk

Program Pavouk (xSpider – název pro mezinárodní použití) nabízí možnost práce s modulem ArcRISK, který na základě výpočtů zkratového proudu provede přepoččet na hodnotu vyzářené energie a kvantifikuje vliv jednotlivých ochranných opatření s možným návrhem řešení. Hodnocení rizika vzniku elektrického oblouku spočívá v posouzení rizika vzniku elektrického oblouku vzhledem ke konkrétní pracovní činnosti, kterou obsluha na daném rozvaděči vykonává. Popis řešení s modulem ArcRISK je v uživatelském manuálu programu, nebo je k dispozici na vyžádání. Součástí technické podpory k tomuto modulu programu Pavouk je poskytnutí podrobných technických podkladů, možnost konzultace a také což je nezbytné pro kvalifikovanou práci s tímto modulem.



ZÁVĚR

Vedoucí pracovníci ve firmách a majitelé firem si stále více uvědomují rizika spojená se vznikem elektrického oblouku v rozváděčích a následné problémy, které pro ně nastávají v případě vzniku pracovních úrazů. Ochrana zdraví pracovníků má stále větší důležitost a s tím souvisí i náklady na kompenzace poškození zdraví, které musí firmy hradit. Proto je zřejmý rostoucí zájem o provádění analýz rizika při práci na rozváděčích, včetně analýzy rizika vzniku popálení od elektrického oblouku.