

# **HODNOCENÍ RIZIKA POPÁLENÍ PŘI VZNIKU ELEKTRICKÉHO OBLOUKU (ARC-FLASH) PODLE METODY NFPA 70E-2015**

## **RISK ASSESSMENT OF BURNS BY ARC-FLASH ACCORDING TO THE METHOD OF NFPA 70E-2015**

SKŘEHOT, P.A. & PÍGL, J. & POLÁK, P. & MAREK, J. & OSIČKA, P.

### ***Abstrakt***

*Nejnovějším trendem v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci na elektrických zařízeních je hodnocení rizika popálení od elektrického oblouku, které patří mezi dlouhodobě opomíjená pracovní rizika. I v oblasti hodnocení elektrických rizik byly dosavadní přístupy založeny pouze na odhadu pravděpodobnosti vzniku nebezpečné situace a závažnosti možných následků. Tento přístup však neumožňuje získat informace potřebné pro definování konkrétních požadavků na ochranné funkce osobních ochranných pracovních prostředků, které je zaměstnavatel povinen pracovníkům poskytovat. Proto bylo dlouhou dobu voláno po vytvoření jiného, kvalitativně lepšího přístupu. Jedním z nich je tzv. Arc-Flash analýza, která je v USA závazná na základě normy NFPA 70E-2015. Cílem tohoto příspěvku je poukázat na důležitost správného hodnocení rizika možného popálení obloukovým zkratem a v základních obrysech představit principy uvedené metodiky, která se začíná postupně prosazovat také v Evropě.*

### ***Abstract***

*An assessment of the risk of burns from an electrical arc is the latest trend in the field of safety and health protection when working on electrical equipments. Risk of burns from an electrical arc belongs among long term neglected working risks. Current approaches were based only on an estimate of the probability of arising of danger situation and importance of possible consequences even in the field of the assesment of the electrical risk. However this approach is not able to provide necessary information for defining specific requiriments on an appropriate personal protective equipment which employer is obliged to provide employees. Therefore it has been called for the formation of another qualitatively better approach. One of these approaches is so called Arc-Flash Hazard Analysis which is mandatory based on the standard NFPA 70E-2015 in the USA. The aim of this article is to show the importance of the proper risk assessment of the potential burns from an electrical arc and describe in basic outlines principles of mentioned procedure which come into public also in Europe.*

## ***Klíčová slova***

*Nové a nově vznikající rizika, hodnocení rizika vzniku popálení od elektrického oblouku, NFPA 70E-2015, IEEE 1584TM-2002, ČSN EN 50110-3.*

## ***Key Words***

*New and Emerging Risks, Arc-Flash Hazard Analysis, NFPA 70E-2015, IEEE 1584TM-2002, ČSN EN 50110-3.*

## **Úvod**

Termín Arc-Flash označuje fyzikální jev, při kterém dochází k velmi rychlému uvolnění energie v důsledku vzniku obloukového zkratu mezi fázovými vodiči, konkrétněji mezi fází a středním vodičem a mezi fází a zemí. Při obloukovém zkratu dochází k přeměně elektrické energie na energii tepelnou, tlakovou a akustickou se všemi souvisejícími projevy. Výskyt obloukových zkratů je obecně omezen na elektrické rozvody o jmenovitém napětí vyšším než 120 V AC nebo 50 V DC. Znamená to tedy, že k němu může docházet i při běžných provozních situacích na pracovištích s instalovaným elektrickým rozvaděčem. Jak potvrzují statistiky německé BGETF Köln [1], účinky jevu Arc-Flash (tj. elektrického oblouku) jsou nejčastěji zasažení kvalifikovaní elektrikáři (až 67 % zraněných), když pracují na elektrických zařízeních v blízkosti živých částí nebo ve styku s živými částmi. Zde také nastává nejvíce zranění, z nichž některá mohou končit až smrtí [2]. Příčinou této neblahé statistiky je nejčastěji podcenění rizika. Ze strany zaměstnavatele jde však o hrubé porušení právních předpisů, neboť nedostatečně vyhodnotil existující riziko a nepřijal adekvátní opatření pro ochranu zdraví zaměstnanců.

## **Arc-Flash a jeho význam z hlediska prevence rizik**

Přestože se v současnosti při návrhu elektrických zařízení uplatňují všechny dostupné poznatky a nové materiály, zkušenosti z praxe ukazují, že k úrazům popálením v důsledku jevu Arc-Flash stále dochází. Paradoxně je to způsobeno právě tím, že jsou používány stále dokonalejší zařízení, v jejichž „stoprocentní“ ochrannou funkci pracovníci spoléhají. Je potřeba si ale uvědomit, že sebelepší zařízení nemůže vznik obloukového zkratu zcela vyloučit, nýbrž může zajistit pouze určitý stupeň ochrany. Důsledkem takovéto slepé důvěry v ochrannou funkci zavedeného technického opatření je, že u velké části elektrikářů vzniká pocit sebeuspokojení, což se v praxi projevuje tím, že podlehnou dojmu, že se jim „nemůže nic stát“. Při vlastní práci pak postupně přestanou být náležitě opatrní. Pak již stačí udělat pouze jeden chybný pohyb a vznikne elektrický oblouk se všemi svými důsledky.

Z výše uvedeného je zřejmé, že takové okolnosti vyvolávají vznik tzv. nového rizika – v tomto případě v podobě popálení. Podle EU-OSHA [3] je novým a nově vznikajícím rizikem (New and Emerging Risk) takové riziko, které je vyvoláno novými pracovními situacemi nebo používanými materiály, jehož trend je vzrůstající a které přináší z hlediska ochrany života a zdraví pro pracovníky i zaměstnavatele nové výzvy vyžadující implementaci politických, administrativních a technických přístupů umožňující dosažení požadované (vysoké) úrovně BOZP. Obvykle se má za to, že takové riziko:

- dříve neexistovalo, neboť je způsobeno novými procesy, novými technologiemi, novými typy pracovišť, anebo sociálními či organizačními změnami nebo
- představuje dlouhodobý problém v podobě negativního jevu vznikajícího v důsledku změn v sociálním nebo společenském vnímání (např. stres, šikana) či změn chování a postojů pracovníků (podceňování rizik) nebo
- bylo nově rozpoznáno až na základě nejnovějších vědeckých poznatků.

Zvyšujícím se trendem je pak míněno, že:

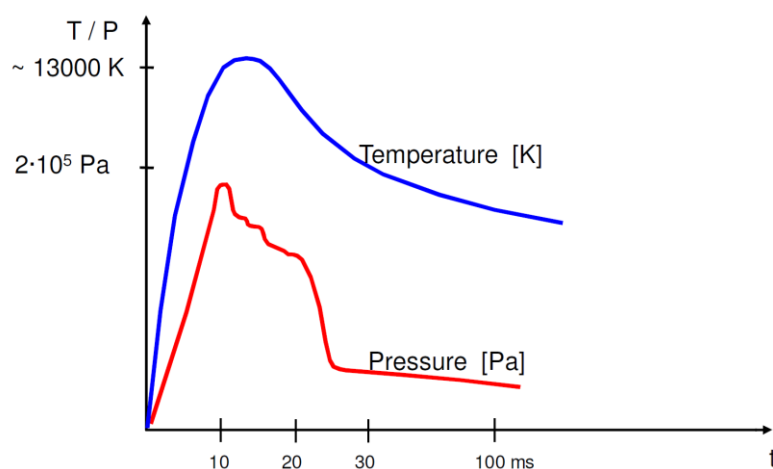
- počet nebezpečí (nebezpečných vlastností) vedoucích k danému riziku narůstá, nebo
- pravděpodobnost vystavení pracovníků nebezpečím vedoucím k danému riziku se zvyšuje (narůstá úroveň expozice anebo počet exponovaných osob), nebo
- účinky nebezpečí na zdraví pracovníků se neustále zhoršují anebo narůstá počet zasažených (postižených) osob.

EU-OSHA právem považuje tato rizika za společensky velmi významná, neboť jejich důsledky jsou vážnější, než se všeobecně soudí. Ostatně z tohoto důvodu i Evropská unie ve svých strategických dokumentech [4] uvádí, že je naprosto „nezbytné nové a nově vznikající rizika předjímat a dostat je pod kontrolu“. To ovšem vyžaduje především 1) neustálý sběr dat na pracovištích prostřednictvím cíleného pozorování a 2) systematické shromažďování nejnovějších vědeckých poznatků, jež umožní tato rizika odhalovat. S tím souvisí také metodologie zpracování takto získaných informací, respektive vyhodnocení rizika.

Pokud jde o elektrická rizika, pak ty jsou obvykle vnímána jako běžné, standardní a známé. Ovšem to z nich často činí rizika opomíjená, podceňovaná nebo zcela přehlížená. Přitom devastující účinky elektrického proudu jsou neoddiskutovatelné a kontakt člověka s ním nelze v praxi zcela vyloučit ani při použití všech dostupných opatření. Vždy bude totiž existovat určitá skupina osob (elektrikáři), kteří budou nuceni pracovat na elektrických zařízeních pod napětím. Tito lidé jsou také nejzranitelnější skupinou, která může být zasažena Arc-Flash.

Závažnost zranění vznikajících v důsledku jevu Arc-Flash závisí na [2]:

- vzdálenosti pracovníka od místa zkratu,
- teplotě plazmatu vznikajícího zkratovým obloukem (až 20 tisíc °C),
- době, po kterou Arc-Flash na zasaženou osobu působí (obvykle ne déle jak 100 ms).



Obr. 1: Časový průběh teploty a tlaku při jevu Arc-Flash [1].

Mezi typické projevy jevu Arc-Flash patří [2]:

- vznik plazmových kanálů, jiskření nebo sršení (viz obrázek 2),
- emise světelného záření (viz obrázek 3),
- emise radiačního tepla, které může způsobit popálení lidí, sežehnutí nebo vznícení hořlavých předmětů nacházejících se v bezprostřední blízkosti zdroje,
- rozlet fragmentů, tj. trosek krytů, izolací, vodičů apod.,
- emise par a aerosolových částic vznikajících v důsledku tavení kovových vodičů a izolačních materiálů (viz obrázek 3),
- tlaková vlna schopná odmrštit člověka (viz obrázek 4),
- zvukové projevy v podobě třesku nebo praskání (může dosahovat až 140 dB) a
- v extrémním případě i vznik ohňové koule [16] (viz obrázek 5).



Obr. 2: Plazmové kanály při Arc-Flash [5].



Obr. 3: Emise světla a šíření tlakové vlny při Arc-Flash [6].



Obr. 4: Rozlet fragmentů a emise kouře při Acr-Flash [7].



Obr. 5: Ohňová koule při Acr-Flash [8].

## Elektrická rizika a jejich hodnocení

Podle nové české technické normy ČSN EN 50110-1 ed.3 [9], která je účinná od 1.6.2015, musí být před zahájením jakékoli činnosti na elektrickém zařízení provedeno posouzení elektrického rizika (viz článek 4.1). Na jeho základě pak musí být stanoveno, jakým způsobem budou tyto činnosti vykonávány a jaká bezpečnostní opatření musí být provedena, aby byla zajištěna bezpečnost obsluhy. Podobně hovoří také článek B.6.3 v informativní příloze B: „V případě, že pracoviště je v blízkosti elektrického zařízení nebo pod živými částmi, má být provedeno vyhodnocení a posouzení (elektrického) rizika“. Jakým způsobem se ale vyhodnocení rizik má provést, však již norma nestanoví.

Norma nicméně definuje tři základní typy zranění podle příčiny jeho vzniku. V článku 3.1.6 uvádí, že zranění může být způsobeno:

- elektrickým proudem (tj. patofyziologické účinky elektrického proudu procházejícího tělem člověka),

- popálením elektrickým obloukem (tj. účinky Arc-Flash),
- ohněm nebo explozí způsobenou elektrickou energií při obsluze elektrického zařízení nebo při práci na něm.

Z hlediska možných následků na lidské zdraví je riziko popálení elektrickým obloukem jedno z nejzávažnějších. V praxi se ale poměrně složitě vyhodnocuje, což ve spojení se skutečností, že se v Evropě většina prací na elektrických zařízeních vykonává v jejich vypnutém stavu, vede k jeho opomíjení/přehlížení [10].

Na základě rozsáhlého experimentálního výzkumu provedeného v USA ovšem byly odvozeny vztahy pro určení teploty uvnitř plazmového kanálu elektrického oblouku, což je základním předpokladem pro hodnocení tohoto elektrického rizika. Uvedené vztahy byly publikovány v normě NFPA 70E-2015 [11] (IEEE Standard 1584TM-2002 [12]), která je v USA závazným standardem. V Evropské unii pro tuto normu neexistuje analogická EN norma; v obecné rovině otázky prevence elektrických rizik řeší v ČR „dobíhající“ ČSN EN 50110-1 ed.2 [13] a ČSN EN 50110-2 [14]. Dle ČSN EN 50110-1 ed.2 se pracovní činnosti na elektrickém zařízení rozdělují do tří základních typů prací:

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

Norma ČSN EN 50110-1 ed.2 upravuje také pracovní postupy, které jsou ale popsány velmi stručně a z hlediska BOZP nedostatečně. Jejich základní premisou je předcházení úrazům elektrickým proudem tak, že práce bude prováděna kvalifikovanými osobami, pouze na vypnutém zařízení a při použití prvků pasivní bezpečnosti (tj. ochrana zábranou, přepážkou, krytem nebo izolovaným zakrytím). Aplikace těchto požadavků do praxe sice může snížit pravděpodobnost vzniku elektrického oblouku, ale rozhodně nesníží riziko popálení obsluhy, neboť závažnost poškození zdraví při zasažení člověka elektrickým obloukem je příliš vysoká. Na tento aspekt se ale naproti tomu zaměřuje již zmíněná americká norma NFPA 70E-2015. Ta totiž oproti „evropskému přístupu“ vyžaduje provedení těchto kroků:

- kvantifikovat riziko popálení od elektrického oblouku v souladu s IEEE Standard 1584TM-2002 a provést Arc-Flash analýzu,
- provedení potřebných měření a návržení opatření pro omezení důsledků existujícího rizika,
- návržení vhodných osobních ochranných pracovních prostředků případně dalšího vybavení pracovníka v případě, že riziko nelze omezit jinými prostředky.

## **Modely výpočtu hustoty tepla vyzářeného z elektrického oblouku**

IEEE Standard 1584TM-2002 uvádí dva základní modely pro výpočet plošné hustoty vyzářeného tepla z elektrického oblouku dopadajícího na ozářenou plochu (dále jen hustota vyzářeného tepla) za dobu trvání obloukového zkratového proudu, tj. do okamžiku než je vypnut přiřazeným ochranným zařízením. Empiricky odvozený model (odvozen na základě statistické analýzy rozsáhlého souboru zkušebních dat) je platný pro:

- jmenovitá napětí v rozsahu od 208 V do 15 kV,
- třífázový (symetrický) zkratový proud v rozsahu od 700 A do 106 kA,
- vzdálenost přípojníc v rozsahu od 13 do 153 mm.

Je-li jmenovité napětí vyšší než 15 kV nebo vzdálenost přípojnic je větší než 153 mm, poskytuje norma jiný model pro výpočet hustoty vyzářeného tepla, a to teoretický model, který byl odvozen R. Leem v roce 1982 (často označován jako Lee Model) [10]. Tento model byl po dlouhá léta jediným modelem pro výpočet hustoty vyzářeného tepla a jeho hlavní nevýhodou je neexistence vztahu pro výpočet velikosti obloukového zkratového proudu, jehož velikost je velmi důležitá zejména v rozvodných systémech o jmenovitém napětí nižším než 1 kV, tj. v nízkonapěťových rozvodech.

Závažnost rizika popálení od elektrického oblouku je dána velikostí hustoty vyzářeného tepla za dobu trvání obloukového zkratu. Hustota vyzářeného tepla se vypočítá v daných pracovních vzdálenostech, jejichž typické hodnoty jsou pro každý jednotlivý typ zařízení uvedeny v IEEE Standard 1584TM-2002. Hustota vyzářeného tepla klesá s kvadrátem vzdálenosti od zdroje záření, z čehož plyne, že i v tomto případě (podobně jako v radiační ochraně) funguje ochrana vzdáleností. Její zvětšení tak může být jedním z řešení, jak snížit příliš velké riziko vzniku popálení od elektrického oblouku. IEEE Standard 1584-2002 dále definuje termín „bezpečná hranice“ (*arc-flash boundary*), což je vzdálenost od elektrického oblouku, kde hustota vyzářeného tepla dosáhne maximální hodnoty  $5 \text{ J/cm}^2$ . Je totiž potvrzeno, že při této hodnotě může u nechráněné kůže docházet nejhůře ke vzniku popálenin prvního stupně.

Existuje mnoho faktorů ovlivňujících velikost hustoty vyzářeného tepla. Dvěma základními faktory jsou třífázový zkratový proud a nastavení vypínací charakteristiky ochranného zařízení [15]. Z uvedeného vyplývá požadavek na obsah analýzy rizik vzniku úrazu popálením od obloukového zkratového proudu (viz Arc-Flash analýza). Arc-Flash analýza vyžaduje úplný výpočet zkratových poměrů a nastavení ochranných zařízení daného rozvodného systému. Účelem analýzy je určit velikost hustoty vyzářeného tepla potenciálně přítomného v daném místě rozvodného systému při vzniku obloukového zkratu. Hustota vyzářeného tepla je tak funkcí vypočteného třífázového zkratového proudu, vypínací doby ochranného zařízení a dalších fyzických parametrů rozvodného systému v daném místě, jako je např. typ rozvaděče, vzdálenost jeho přípojnic atd. [15]. Cílem Arc-Flash analýzy je určení hlavních provozních stavů daného rozvodného systému a výpočet hustoty vyzářeného tepla pro každý z těchto provozních stavů a v místě, kde lze předpokládat výskyt obsluhy. Následným porovnáním vypočítaných hustot vyzářeného tepla pro dané místo se získá nejhorší možný scénář, na základě kterého lze následně navrhnout vhodné osobní ochranné pracovní prostředky s odpovídající třídou ochrany [10].

## Závěr

Stanovení velikosti hustoty vyzářeného tepla při vzniku obloukového zkratu je základním předpokladem pro validní vyhodnocení rizika možného popálení osob při práci na elektrickém zařízení. Tuto tzv. Arc-Flash analýzu lze nově provádět pomocí metody NFPA 70E-2015(IEEE Standard 1584TM-2002), která představuje nový, progresivní a dostatečně validní nástroj pro vyhodnocení tohoto elektrického rizika. Zde popsána metoda umožňuje kvantifikovat účinky tepla vznikajícího od elektrického oblouku, což je nutná podmínka jak pro určení míry rizika, tak především pro návrh vhodných osobních ochranných pracovních prostředků, jimiž by měli být elektrikáři vybaveni. Riziko popálení od elektrického oblouku by mělo být vždy uvažováno, pokud je prováděna práce na elektrickém zařízení v blízkosti živých částí nebo ve styku s živými částmi (tj. práce pod napětím). Bohužel zkušenosti z praxe ale ukazují, že právě toto riziko je stále častěji podceňováno, a to i přes to, že jeho důsledky bývají velmi závažné a často končící i bolestivou smrtí.

## Literatura

- [1] Graumann L. Arc fault protection system ARCON®. Eaton Corporation. 2012.
- [2] Understanding “Arc Flash” [online]. 2011. Dostupný z WWW:  
<[https://www.osha.gov/dte/grant\\_materials/fy07/sh-16615-07/arc\\_flash\\_handout.pdf](https://www.osha.gov/dte/grant_materials/fy07/sh-16615-07/arc_flash_handout.pdf)>
- [3] González E.R., Cockburn W., Irastorza X. ESENER - European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks: Managing safety and health at work, European Risk Observatory Report. European Agency for Safety and Health at Work. 2010. ISBN 978-92-9191-327-5.
- [4] Strategie Společenství pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci na období 2002–2006.
- [5] <http://www.windemuller.us/local/upload/content/generalcontent/209/arc-flash.jpg>
- [6] <http://ecom.training.dupont.com/IMAGE/PRODUCTIMAGE/US/ELE016-XXX-ENG.JPG>
- [7] <http://i.ytimg.com/vi/P8QHKGc4dt0/maxresdefault.jpg>
- [8] [https://www.osha.gov/dts/maritime/sltc/ships/shipboard\\_electrical/images/pgd8\\_fig1.jpg](https://www.osha.gov/dts/maritime/sltc/ships/shipboard_electrical/images/pgd8_fig1.jpg)
- [9] ČSN EN 50110-1 ed. 3: Obsluha a práce na elektrických zařízeních - Část 1: Obecné požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. 44 s.
- [10] Pígl, J.: Hodnocení rizika vzniku popálení od elektrického oblouku v průmyslovém rozvodu. ELEKTRO, č. 8-9, 2013, pp. 56-60. ISSN 1210-0889.
- [11] Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces. NFPA 70E, 2009.
- [12] IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations. IEEE Std.1584-2002.
- [13] ČSN EN 50110-1 ed. 2: Obsluha a práce na elektrických zařízeních - Část 1: Obecné požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 36 s.
- [14] ČSN EN 50110-2 ed. 2: Obsluha a práce na elektrických zařízeních - Část 2: Národní dodatky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 28 s.
- [15] Tinsley H.W., Hodder M.: A Practical Approach to Arc Flash Hazard Analysis and Reduction. [online]. 2006. Dostupný z WWW:  
<[http://www.eaton.com/ecm/idcplg?IdcService=GET\\_FILE&dID=287136](http://www.eaton.com/ecm/idcplg?IdcService=GET_FILE&dID=287136)>
- [16] Short T.A. Electric Power Distribution Handbook. 2nd.ed. CRC Press. 2014. ISBN 9781466598652.

## Korespondenční adresa

1. RNDr. Mgr. Petr Adolf Skřehot, Ph.D.: Znalecký ústav bezpečnosti a ochrany zdraví, z.ú. Ostrovského 253/3, 150 00 Praha 5-Smíchov, Česká republika, e-mail: skrehot@zuboz.cz
2. Ing. et Ing. Jan Pígl: Eaton Elektrotechnika s.r.o., Electrical Sector, Komárovská 2406/57, 193 00 Praha 9, e-mail: janpigl@eaton.com
3. Ing. Petr Polák: Eaton Elektrotechnika s.r.o., Electrical Sector, Komárovská 2406/57, 193 00 Praha 9, e-mail: petrpolak@eaton.com
4. Ing. Jakub Marek: Znalecký ústav bezpečnosti a ochrany zdraví, z.ú. Ostrovského 253/3, 150 00 Praha 5-Smíchov, Česká republika, e-mail: marek@zuboz.cz
5. Ing. Petr Osíčka: Znalecký ústav bezpečnosti a ochrany zdraví, z.ú. Ostrovského 253/3, 150 00 Praha 5-Smíchov, Česká republika, e-mail: osicka@zuboz.cz