

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ
FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE**

Ing. Aleš Nečas

Autoreferát dizertačnej práce

**Vývoj progresívnych metód testovania elektrických
káblov pre potreby posudzovania zhody a overovania
nemennosti ich parametrov**

na získanie akademického titulu:
doktor („philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

v doktorandskom študijnom programe:
3965V02 Integrovaná bezpečnosť

v študijnom odbore: bezpečnostné vedy

Forma štúdia: denná forma štúdia

Miesto a dátum: Trnava, máj 2022

**Dizertačná práca bola vypracovaná na Ústave
Integrovanej bezpečnosti Materiálovotechnologickej
fakulty STU v Trnave.**

Predkladateľ: **Ing. Aleš Nečas**
Materiálovotechnologická fakulta v
Trnave
Ulica Jána Bottu č. 2781/25
917 24 Trnava

Školiteľ: **prof. Ing. Jozef Martinka, PhD.**
Materiálovotechnologická fakulta v
Trnave
Ulica Jána Bottu č. 2781/25
917 24 Trnava

Oponenti:

Autoreferát bol rozoslaný: 1.6.2022

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa
..... oh.

miestnosť č. 235, na Ústave integrovanej bezpečnosti MTF,
Botanická 49, Trnava.

prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.
Dekan fakulty

SÚHRN

NEČAS, Aleš: *Vývoj progresívnych metód testovania elektrických káblov pre potreby posudzovania zhody a overovania nemennosti ich parametrov*, [Dizertačná práca] – Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti. Školiteľ: doc. Ing. Jozef Martinka, PhD. Trnava: MtF STU, 2022, 79 s.

Práca sa zaoberá progresívnymi metódami testovania elektrických káblov pre stanovenie triedy reakcie na oheň. Stručne popisuje súčasné normy, ktoré sa používajú na stanovenie triedy reakcie na oheň elektrických káblov. V práci sú citované štúdie, ktoré sa zaoberajú popisovaním vlastností elektrických káblov s triedou reakcie na oheň B2ca.

Praktická časť predkladanej dizertačnej práce sa zaoberá výberom a natrénovaním neurónovej siete pre stanovenie triedy reakcie na oheň elektrických káblov porovnaním dvoch tried reakcie na oheň. Skúmali sa konvolučné neurónové siete AlexNet, ResNet-50, GoogLeNet a VGG-16. Ako vzorka sa použili dva typy

elektrických káblov CHKE-R J3x1,5 B2_{ca} (s1, d1, a1) a N2XH-J 3x1,5 RE (bez deklarovanej triedy reakcie na oheň).

Kľúčové slová: konvolučné neurónové siete, AlexNet, ResNet-50, VGG-16, GoogLeNet, trieda reakcie na oheň elektrických káblov, kónický kalorimeter.

OBSAH

ÚVOD	3
1.3 KONVOLUČNÉ NEURÓNOVÉ SIETE.....	4
2 METODIKA PRÁCE.....	7
2.1 VLASTNOSTI POUŽITÝCH ELEKTRICKÝCH KÁBLOV	8
2.2 SKÚŠOBNÉ ZARIADENIE.....	9
3 VÝSLEDKY A DISKUSIA	15
ZÁVER.....	17
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	21
ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ AUTORA.....	33

ÚVOD

V Európe pri požiaroch v stavbách ročne zomrie približne 4 tisíc ľudí. Požiar sa v súčasnosti môže rozšíriť do celej miestnosti do troch minút. V minulosti trvalo rozšírenie požiaru do celej miestnosti približne 25 minút. Na bezpečné opustenie priestorov pri požari zostáva ľudom málo času, najmä ak sa začne tvoriť dym. Dym spôsobuje zhoršenie až znemožnenie orientácie v stavbách a v priestoroch. Aj záchranné zložky majú problémy pri hasení požiaru a pri prehľadávaní dymom zasiahnutých priestorov. (ASOCIACE VÝROBCŮ KABELŮ A VODIČŮ, 2017)

Medzi problematické výrobky z hľadiska ochrany pred požiarom patrí elektroinštalácia. Dôležitou časťou elektroinštalácie sú elektrické káble, ktoré vo väčšine prípadov umožňujú veľmi rýchle šírenie plameňa po povrchu. Požiarne nebezpečenstvo káblov sa preto hodnotí triedou reakcie na oheň. Problémom sú pomerne vysoké náklady na stanovenie triedy reakcie na oheň a overovanie nemennosti ich parametrov. Významným prínosom pre oblasť požiarnej ochrany elektrických káblov by bol vývoj nových skúšobných metód, ktoré by pri nižších nárokoch (finančných a materiálnych) umožnili získať rovnaké výsledky triedy reakcie na oheň, ako metódy vyžadované súčasne platnými právnymi predpismi a technickými normami.

V predloženej práci je navrhnutá metodika skúšania a overovania požiarnych vlastností elektrických káblov pre uvedenie na trh, ktoré je potrebné dodržiavať pre triedy reakcie na oheň. Navrhnutá metodika bola vytvorená a odskúšaná pre overenie triedy reakcie na oheň elektrických káblov B2_{ca}. Bola navrhnutá a vyrobená skúšobná komora. Na vyhodnotenie získaných výsledkov sa používajú neurónové siete AlexNet, VGG-16, GoogLeNet a ResNet-50. Skúšobná metóda umožňuje získať porovnateľné výsledky triedy reakcie na oheň elektrických káblov s výsledkami metód vyžadovanými v súčasnosti platnými technickými normami pri podstatne nižších nárokoch na skúšobné zariadenie a množstvo vzorky.

Hlavným cieľom dizertačnej práce je vytvorenie a overenie metodiky na predikciu (overenie) triedy reakcie na oheň elektrického kábla B2_{ca} na kónickom kalorimetri. Na splnenie hlavného cieľa bola navrhnutá a vytvorená skúšobná komora pre:

- a) upgrade kónického kalorimetra,
- b) natréňované vybrané neurónové siete.

1.3 KONVOLUČNÉ NEURÓNOVÉ SIETE

Neurónová sieť je matematický model, ktorý simuluje činnosť neurónov biologických systémov. Učí sa podobne ako živé organizmy. (Martinka, 2021)

Metódy strojového učenia napomáhajú rozpoznávať obrazové objekty. Aby sme mohli spracovávať väčšie množstvo obrazových informácií je potrebné vytvárať nové modely neurónových sietí. Nové modely v neurónových sieťach dokážu spracovať viac informácií za kratší čas. V súčasnej dobe môžeme spracovávať stovky tisíc segmentovaných skupín obrazov alebo je možné spracovať milióny obrazov vo vysokom rozlíšení. Na *obrázku 1* je znázornená architektúra konvolučnej neurónovej siete. Fotografia vstupuje do prvej konvolučnej vrstvy, kde je spracovaná podvzorkovou vrstvou. Tieto dve vrstvy tvoria modul extrakčných znakov. Informácia je ďalej spracovaná plne prepojenými vrstvami, ktoré sa označujú ako klasifikačný modul. Výstupom klasifikačného modulu môžu byť pravdepodobnosti vzorky patriacej do niektorých tried, alebo diskriminačné funkcie. Diskriminačné funkcie môžeme ďalej spracovať ďalšími klasifikačnými modulmi. (Krizhevsky, et al., 2017)

Konvolučná vrstva zahŕňa operácie posunu, násobenia a súčtu. Pri spracovaní fotografie sa vytvára maska (filter), ktorá je maticou váh. Maska sa aplikuje na receptívne pole, ktoré špecifikuje oblasť, kde sa mapa prvkov použije. Výpočet váženého súčtu hodnôt pokrytých receptívnym poľom sa robí pomocou váh masky. K výpočtu sa pridá vážená suma hodnôt s odchýlkou. Prejde sa cez zvolenú aktivačnú funkciu, ktorá je potrebná pre zavedenie nelinearity. Prijímacie pole sa pohybuje na

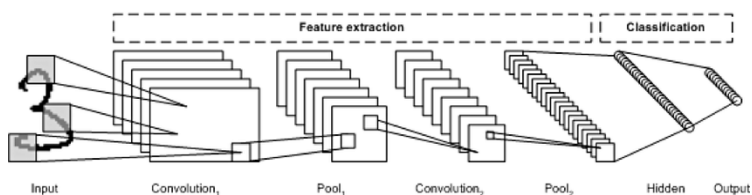
mape o taký počet krokov, ktoré zadal parametrom užívateľ. Parameter sa označuje ako krok na pokrytie novej oblasti na mape prvkov na výpočet ďalšej hodnoty pomocou rovnakej masky. Maska sa učí identifikovať základné tvary vzoru na fotografii. Maska odfiltruje nepotrebné prvky z fotografie. Výsledný výstup operácie je upravený filtrovaný obraz fotografie. Váhy masky sú zdieľané na mape prvkov. (Krizhevsky, et al., 2017)

V konvolučnej neurónovej sieti vo fáze podvzorkovania sa vykonávajú čiastkové vzorky prvkov zo vstupu, aby sa znížilo rozlíšenie mapy prvkov. Vrstva tiež znižuje vplyv skreslenia výpočtu hodnoty potrebnej na učenie tvaru vzoru. Túto vrstvu tiež označujeme ako vrstvu združovania. Skladá z jednej alebo viacerých konvolučných vrstiev. Môže sa použiť aj iné čiastkové vzorkovanie, ktoré môžeme definovať ako $\varphi((A \times X) + B)$. φ je aktivačná funkcia, X je súčet hodnôt v receptívnom poli na mape prvkov zadané ako vstup do vrstvy. Parametre A a B sú trénovateľné váhy a odchýlka vrstvy. (Krizhevsky, et al., 2017)

Plne pripojené vrstvy nemusia byť použité vo všetkých typoch neurónových sietí. Používajú sa na generovanie nových prvkov z existujúcich prvkov. Výstup zo združovacej vrstvy je použitý ako vstup do plne prepojenej vrstvy. Vstup sa transformuje nelineárne do iného priestoru. Ako aktivačná funkcia sa najčastejšie

používa hyperbolická dotyčnica. Vrstva obsahuje nezdieľané váhy masky. (Krizhevsky, et al., 2017)

Fotografia, ktorá je rozpoznávaná neurónovou sieťou je tvorená obrazovými prvkami (pixel elements). Rozlíšenie fotografie v pixeloch vyjadruje celkový počet pixelov šírky fotografie x výšky fotografie. Rozpoznávaná fotografia môže byť čiernobiela, sivá a farebná. Pixely čiernobielej fotografie môžu mať hodnoty 0 a 1. Pixely pri sivej a farebnej fotografii môžu nadobúdať hodnoty pri 8 bitovej hĺbke hodnoty 0 až 255. Hodnotu 0 má čierna farba a hodnota 255 patrí bielej farbe, platí to pri sivej fotografii. Pri farebnej fotografii obsahujú pixely tri kanály, a to červený, zelený a modrý. Každý kanál môže nadobúdať hodnoty 0 až 255. (Martinka, 2021)



Obrázok 1: Architektúra konvolučnej neurónovej siete (Wang, et al., 2018)

2 METODIKA PRÁCE

V skúšobnej komore sme upevnili 5 kusov elektrických káblov CHKE-R J3x1,5 B2_{ca}(s1, d1, a1) alebo N2XH-J 3x1,5 RE (bez deklarovanej triedy reakcie na oheň)

s dĺžkou 500 mm. Na skúšku sme použili 2,5 metra každého druhu elektrického kábla. Elektrický kábel CHKE-R J3x1,5 B2_{ca}(s1, d1, a1) bol namazaný drevným uhlím, aby neurónové siete neporovnávali elektrické káble podľa farby plášťa. Skúšobná komora je umiestnená pod odsávaním kónického kalorimetra. Fotografie sme zaznamenávali na Canon 2000D a spracovali konvolučnými neurónovými sieťami AlexNet, GoogLeNet, VGG-16, ResNet-50.

2.1 VLASTNOSTI POUŽITÝCH ELEKTRICKÝCH KÁBLOV

Na skúšky sme použili elektrické a signálové káble od výrobcov VUKI, a.s.:

- CHKE-R J3x1,5 B2_{ca}(s1, d1, a1),
- N2XH-J 3x1,5 RE.

Elektrický kábel CHKE-R J3x1,5 B2_{ca}(s1, d1, a1) sa označuje ako silový kábel a používa sa na prenos elektrickej energie. Kábel vyhovuje triede reakcie na oheň B2_{ca}. Plášť elektrického kábla šíri plameň po povrchu do dĺžky maximálne 1,5 metra. Celkové uvoľnené teplo po dobu skúšky 1200 s neprevyšuje hodnotu 15 MJ a špička HRR neprevyšuje hodnotu 30 kW. Index rýchlosti nárastu požiaru FIGRA nepresahuje hodnotu 150 W.s⁻¹. Vyhovuje aj doplnkovým triedam nízkej tvorby dymu pri horení s1, nízkej korozivite a vodivosti a1 a nízkej tvorbe alebo

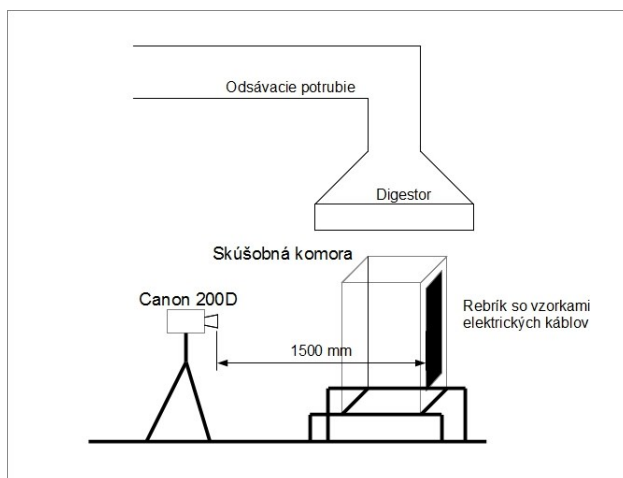
žadnej tvorbe horľavých kvapiek a častíc d1. Kábel obsahuje bezhalogénovú izoláciu a plášť. Žily kábla sú stočené. Nad žilami je výplň, ktorá je vyrobená z bezhalogénového oheň retardujúceho materiálu. Priemer kábla je 9,5 mm s hmotnosťou 110 kg.km^{-1} . Prierez jadra žily je $1,5 \text{ mm}^2$, jadro žily je plne medené. Káble sa môžu použiť pre menovité napätie 0,6/1 kV. Pri normálnej prevádzke teplota jadra kábla môže byť maximálne 90°C . (SILOVÉ BEZHALOGENOVÉ KÁBLE/ CHKE-R B2ca(s1,d1,a1), 2015)

Elektrický kábel N2XH-J 3x1,5 RE sa označuje ako silnoprúdový kábel a používa sa na prenos maximálneho menovitého napätia 600 – 1000 V. Kábel obsahuje bezhalogénový oheň retardujúci plášť a izolácia je vyrobená zo zosieteného polyetylénu. Žily kábla sú vyrobené z pevného medeného jadra. Medzi izoláciou a plášťom je výplň, ktorá je vyrobená z bezhalogénového oheň retardujúceho materiálu. Priemer kábla je 10,4 mm s hmotnosťou $153 \text{ (kg.km}^{-1})$. Prierez jadra žily je $1,5 \text{ mm}^2$. Pri normálnej prevádzke teplota jadra kábla môže byť maximálne 90°C . Výhrevnosť elektrického kábla je $1,44 \text{ (MJ.m}^{-1})$. (SILOVÉ KÁBLE / 1.1 SILOVÉ BEZHALOGENOVÉ KÁBLE/N2XH, 2015)

2.2 SKÚŠOBNÉ ZARIADENIE

Skúšobné zariadenie sa skladá z kónického kalorimetra s upravenou komorou pre káble s dĺžkou 500 mm

a fotoaparátu. Fotoaparát Canon 2000D bol umiestnený vo vzdialenosti 1 500 mm od steny skúšobnej komory. Fotografie boli spracované na notebooku HP EliteBook 8570p pomocou neurónových sietí v programe MATLAB 2021b. Na *obrázku 2* je zobrazená schéma rozloženia skúšobnej aparatury.



Obrázok 2: Schéma skúšobnej aparatury

Skúšobná komora

Rozmery skúšobnej komory sú 600 x 400 x 400 mm a hrúbka nehrdzavejúceho plechu 1,2 milimetra. Vo vnútri komory je umiestnený rebrík na upevnenie káblových vzoriek. Rebrík má 5 priečok. Výška rebríka je 550 mm a šírka 340 mm. Priečky rebríka majú výšku 24 milimetrov. Rozstup priečok je 183 mm. Rebrík je pevne ukotvený o zadnú stenu komory vo vzdialenosti 50 mm.

Na rebrík možno uložiť vzorky vo zväzku vedľa seba alebo v rozstupe. V hornej časti komory je otvor s rozmermi 400 x 250 mm, ktorý slúži na odsávanie splođín horenia. Odsávanie z komory je zabezpečené kónickým kalorimetrom. Prietok v odsávacom potrubí bol nastavený na hodnotu 24 litrov za sekundu. Ako iniciačný zdroj horenia sa používa metánový horák. Metánový horák má rozmery 130 x 20 mm. Uprostred horáka je vyvrtaných 49 otvorov s polomerom 0,4 mm. Horák bol pri skúške umiestnený 68 mm od čela rebríka. Pri skúške bol metánový horák nastavený na tepelný tok 5 kW. Tepelnému toku 5 kW zodpovedá prietok 0,139 (L.s⁻¹).

Fotoaparát Canon 2000D

Fotoaparát Canon 2000D má APS-C senzor s rozmermi 22,3 x 14,9 mm a procesor senzoru je Digic 4+. Efektívny počet pixelov senzoru je 24,1 MPx. Pri pomere strán 3:2 sme nastavili rozlíšenie obrazu 720 x 480 px. Rýchlosť závierky fotoaparátu sme nastavili 1/30 sekúnd. Citlivosť senzoru bola ISO 200, kontinuálna rýchlosť fotenia bola 3 snímky za sekundu. Formát snímok sme použili JPEG. Na tele fotoaparátu bol upevnený objektív CANON ZOOM LENS EF-S 18 – 55 1:4 – 5,6 IS STM. Diagonálne zorné pole objektívu pri ohniskovej vzdialenosti 18 mm je 74°20' a pri ohnisku 55 mm je hodnota 27°50'. Pri fotení bolo nastavené ohnisko na hodnotu 24 mm, clonové číslo bolo 4,0. (Koritina, 2019) (Canon Slovakia, 2022)

HP EliteBook 8570p

Spracovanie fotografií horenia elektrických káblov sa robilo na notebooku HP EliteBook 8570p. Notebook používa dvojjadrový procesor Intel Core i5-3360M. Frekvencia procesora je 2,60 MHz s vyrovnávacou pamäťou L3 3 MB. Pamäť RAM má veľkosť 8 GB (8192 MB) 1600 MHz DDR3 SDRAM. Notebook má 15,6 palcový monitor s rozlíšením 1600 x 900 px a používa grafickú kartu Intel HD 4000. (hp obchod, 2008 - 2022)

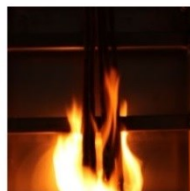
Neurónové siete pracujú pod softvérovým programom MATLAB R2021b. Program obsahuje modul Deep Network Designer, v ktorom upravujeme architektúru neurónových sietí, vlastnosti a prepojenie jednotlivých vrstiev. (The MathWorks, Inc., 1994-2022)

Neurónové siete

Fotografia pred úpravou má rozlíšenie 720 x 480 px. Rozlíšenie fotografie je $1,10 \text{ Px.mm}^{-1}$. Fotografia sa pre potreby spracovania neurónovými sieťami oreže na požadovaný rozmer 224 x 224 px alebo 227 x 227 px. Prípravu orezania vidno na *obrázku 3* a na *obrázku 4*. Neurónové siete spracujú 1665 fotografií z každého druhu elektrického kábla, ktoré boli nafotené v 2. až 12. minúte horenia. 1165 fotografií bude použitých na učenie neurónových sietí, 250 fotografií na validáciu a 250 fotografií sa použije na test. Rýchlosť učenia neurónových sietí nastavíme na hodnotu 0,001 (-)



720 x 480



224 x 224



227 x 227

**Obrázok 3: Orežanie elektrického kábla CHKE-R
J3x1,5 B2ca(s1, d1, a1)**



Obrázok 4: Orežanie elektrického kábla N2XH-J 3x1,5 RE

Hľadáme neurónovú sieť, ktorá bude vhodná na stanovenie triedy reakcie na oheň elektrických káblov. Kritériá na určenie vhodnej neurónovej siete sú nasledujúce:

1. Najkratší čas potrebný pre učenie, validovanie a testovanie získaných snímok,
2. čo najvyššia presnosť predikcie neurónovej siete (aspoň 95 %).

Po dosiahnutí kritérií budú vyhovujúce neurónové siete použité na ďalší výskum. Nimi budeme sledovať a hľadať vplyv zmenšujúceho sa počtu spracovaných fotografií na presnosť a čas potrebný na učenie. Na učenie sme vybrali nasledujúce konvolučné neurónové siete AlexNet, GoogLeNet, VGG-16, ResNet-50. V *tabuľke 1* je uvedené rozdelenie počtu fotografií pre tréning, validáciu a test.

Tabuľka 1: Rozdelenie počtu fotografií pre tréning, validáciu a test

Označenie	Počet fotografií (%)		
	Tréning	Validácia	Test
30_10_10	30	10	10
10_5_5	10	5	5
6_2_2	6	2	2
1_0,5_0,5	1	0,5	0,5

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

V komore rozmermi 600 x 400 x 400 mm sme upevnili na rebrík elektrické káble päť kusov vedľa seba. Dĺžka jedného elektrického kábla bola 550 mm. Použili sme dva

typy CHKE-R J3x1,5 B2_{ca}(s1, d1, a1) a N2XH-J 3x1,5 RE.

Vzorky elektrických káblov horeli 15 minút. Po uplynutí 15-tej minúty sa vypol plynový horák a skúšobná komora sa nechala vychladnúť približne 30 minút. Z elektrického kábla CHKE-R J3x1,5 B2_{ca}(s1, d1, a1) s lepšou triedou reakcie na oheň ako má elektrický kábel N2XH-J 3x1,5 RE odpadlo počas horenia menej častí elektrického kábla. Hmotnosť elektrických káblov sa nedala vážiť kontinuálne počas skúšky.

Na učenie, validáciu a skúšanie neurónových sietí sme použili fotografie zaznamenané v 2. až 12. minúte. Porovnávali sme štyri neurónové siete AlexNet, GoogLeNet, VGG-16 a ResNet-50. Všetky siete dosiahli pri testovaní presnosť 100 %. Rýchlosť učenia pre všetky siete bola nastavená na hodnotu 0,001. Najrýchlejšia neurónová sieť bola AlexNet s časom 2 h 09 min. Druhá v poradí bola GoogLeNet s časom 6 h 24 min, tretia bola ResNet-50 s časom 22 h 21 min 47 s. Najpomalšia sieť bola VGG-16 s časom učenia 61 h 01 min 2 s. Z pohľadu času potrebného na tréning neurónovej siete je najvhodnejšia AlexNet, pretože potrebovala najkratší čas.

Skúmali sme správanie neurónovej siete AlexNet sme z pohľadu času tréningu a presnosti testu pri zmenšovaní počtu spracovaných snímok. Skúmali sme prípady, keď bolo spracovaných 2, 10, 20 a 50 % použitých snímok

z celkového počtu 1665 snímok. Dosahovali presnosť 100 % pri všetkých prípadoch okrem prípadu, keď sme použili 2 % snímok. Vtedy neurónová sieť dosiahla presnosť 87 %. Nesprávne stanovila triedu reakcie na oheň elektrického kábla N2XH-J 3x1,5 RE v počte 1 snímka z 8. Bolo to spôsobené tým, že sa použil nízky počet snímok na tréning, validovanie a testovanie. Pri spracovaní 50 % snímok bol čas potrebný na učenie 49 min. 40 s, na spracovanie 20 % bol potrebný čas 15 min. 27 s, na 10 % snímok 9 min. 45 s a 2 % snímok 1 min. 59 s. Zistili sme teda, že v prípade rozoznávania dvoch tried reakcie na oheň elektrických káblov postačuje v prípade neurónovej siete použiť 10 % snímok z 1665 snímok na učenie, validovanie a testovanie.

Stanovenie triedy reakcie na oheň elektrických káblov pomocou neurónových sietí sa skúmalo prvýkrát. Metodiku stanovenia triedy reakcie na oheň elektrických káblov sme skúšali pomocou dvoch elektrických káblov, ktoré zodpovedali rôznym triedam reakcie na oheň. V budúcnosti možno rozšíriť učenie neurónových sietí o iné typy tried reakcie na oheň elektrických káblov a upraviť testovaciu komoru pre potreby montáže iných druhov elektrických káblov.

ZÁVER

V dnešnej dobe sa stavia veľké množstvo nových budov na kancelárske, výrobné účely a v neposlednom

rade sa stavajú nové bytové jednotky. V týchto stavbách sa zvyšujú nároky na energetickú sieť a jej rozvody. Za rozvody elektrickej energie považujeme elektrické káble. V budovách používame viac elektrických zariadení, čo nám viac zaťažuje prenosovú sústavu elektrickej siete (elektrické káble). Zvyšuje sa tak možnosť požiarov v stavebných priestoroch. Preto je potrebné používať elektrické káble s dostatočnou požiarou odolnosťou. Certifikovanie elektrických káblov na danú triedu reakcie na oheň súčasnými metódami a technickými normami nám nadmerne zvyšuje náklady na výrobu elektrických káblov. Vytvorili sme metodiku na overovanie požiarnych vlastností elektrických káblov pre triedu reakcie na oheň B2_{ca}. Metodika bude výrobcom znižovať ich náklady na certifikovanie elektrických káblov.

V teoretickej časti predkladanej dizertačnej práce sme sa zaoberali súčasným prehľadom slovenských a európskych technických noriem používaných na skúšanie a certifikovanie elektrických káblov pre triedy reakcie na oheň. Stručne sme popísali metodiku a zariadenia, ktoré sa používajú na stanovenie triedy reakcie na oheň. V ďalších kapitolách teoretickej časti sme spravili rešerš v aktuálnych vedeckých prácach, ktoré sa zaoberajú požiarnymi vlastnosťami, testovaním elektrických káblov a neurónovými sieťami.

V praktickej časti sme sa sústredili na vývoj nových skúšobných metód, ktoré by pri nižších finančných

a materiálnych nárokoch umožnili získať rovnaké výsledky triedy reakcie na oheň, ako metódy vyžadované súčasne platnými právnymi predpismi a technickými normami. V experimente sme využili navrhnutú skúšobnú komoru na možnosť použitia neurónových sietí. V komore bolo umiestnených päť kusov elektrických káblov vedľa seba a ako iniciačný zdroj bol použitý metánový horák s tepelným výkonom 5 kW. Snímky sme zaznamenávali zrkadlovkou Canon 2000D. Rozlíšenie snímok bolo 720 x 480 pixelov, ktoré boli orezané a upravené na veľkosť potrebnú pre neurónové siete 224 x 224 px alebo 227 x 227 px. V experimente sme použili nasledujúce neurónové siete: AlexNet, VGG-16, GoogLeNet a ResNet-50. Kritériá na určenie vhodnej neurónovej siete boli nasledujúce:

1. Najkratší čas potrebný pre učenie, validovanie a testovanie získaných snímok
2. Čo najvyššia presnosť predikcie neurónovej siete (aspoň 95 %).

Ako najvhodnejšia zo sledovaných neurónových sietí sa ukázala AlexNet. Čas potrebný na učenie bol 2 hodiny a 9 minút a dosiahla 100 % presnosť pri predikcii triedy reakcie na oheň. Neurónovú sieť sme ďalej skúmali pri zmenšovaní počtu použitých spracovaných snímok. Sledovali sme závislosť 100 % presnosti predikcie a potrebný čas na učenie neurónových sietí. Použili sme

nasledujúce množstvá snímok pre tréning, validáciu a test
A_30_10_10 - 833, A_10_5_5 - 333, A_6_2_2 - 167
a A_1_0,5_0,5 - 33. Najkratší čas potrebný na učenie,
validovanie a testovanie bol 9 minút a 45 sekúnd
s presnosťou predikcie 100 %.

ZOZNAM POUŽITÉJ LITERATÚRY

Ali, Luqman, et al. 2021. Performance Evaluation of Deep CNN-Based Crack Detection and Localization Techniques for Concrete Structures. [ed.] Doo-Yeol Yoo. *Sensor*. 2021, Vol. 1688, 21.

Anwar, Aqeel. 2019. Difference between AlexNet, VGGNet, ResNet, and Inception. *Towards Data Science*. [Online] Jún 07, 2019. [Cited: 05 05, 2022.] <https://towardsdatascience.com/the-w3h-of-alexnet-vggnet-resnet-and-inception-7baaaecccc96>.

ASOCIACE VÝROBCŮ KABELŮ A VODIČŮ. 2017. Kabely podle nového Nařízení o stavebních výrobcích (CPR) - Kabely s nízkým rizikem v případě požáru zvyšují úroveň bezpečnosti v případě požáru. [Online] Máj 2017. [Cited: Máj 16, 2020.] <https://vyrobcikabelu.cz/wp-content/uploads/2017/08/CPR-Kabely-podle-Na%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-o-stavebn%C3%ADch-v%C3%BDrobc%C3%ADch.pdf>.

Asociácia výrobcov káblov a vodičov ČR a SR. <https://www.vyrobcikabelu.cz/sk>. [Online] [Dátum: 16.

Január 2020.] <https://www.vyrobcikabelu.cz/wp-content/uploads/2018/01/05.png>.

Bhattacharyya, Debes, Subasinghe, Aruna and Kim, Nam Kyeun. 2015. Natural fibers: Their composites and flammability characterizations. *Multifunctionality of Polymer Composites II*. 2015, 4, pp. 102 - 143. doi:10.1016/B978-0-323-26434-1.00004-0 .

Canon Slovakia. 2022. Canon EOS 2000D - Technické parametre. [Online] 2022. [Dátum: 06. Máj 2022.] <https://www.canon.sk/cameras/eos-2000d/specifications/>.

ElektroPrůmysl.cz. 2011 - 2020. [Online] 2011 - 2020. [Dátum: 16. Január 2020.] https://www.elektroprumysl.cz/images/stories/Kategorie/Kabely_a_vodice/Prakab/zkusebni_metody_prakab_5.jpg . SSN 2571-0761.

ELKOND HHK, a.s. 2019. Katalóg výrobkov. [Online] 2019. [Dátum: 16. Máj 2020.] http://elkond.sk/katalog/katalog_elkond.pdf.

Hopkins Jr., D and Quintiere, J.G. 1996. Material Fire Properties and Predictions for Thermoplastics. *Fire Safety Journal*. 1996, Vol. 3, 26, pp. 241 - 268.

hp obchod. 2008 - 2022. HP EliteBook 8570p. [Online] 2008 - 2022. [Dátum: 06. Máj 2022.] <https://www.hpobchod.sk/productOpt.asp?konfId=B6P99EA>.

ISO 5660-1:2015/AMD 1:2019. *ISO 5660-1:2015/AMD 1:2019 Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement) - Amendment 1.*

ISO 5660-2:2002. *ISO 5660-2:2002 Reaction-to-fire tests - Heat relase, smoke production and mass loss rate - Part 2: Smoke production rate (dynamic measurement).*

Koritina, Petr. 2019. Recenze zrcadlovky Canon EOS 2000D. [Online] 18. Marec 2019. [Dátum: 06. Máj 2022.] <https://www.fotoaparar.cz/clanek/2464/recenze-zrcadlovky-canon-eos-2000d/>.

Krizhevsky, Alex, Sutskever, Ilya and Hinton, Geoffrey E. 2017. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Communications of the ACM*. June 2017, Vol. 60, 6, pp. 84-90.

Li, Pu and Zhao, Wangda. 2020. Image fire detection algorithms based on convolutional neural networks. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2020, 19.

Magalie, Carcilo, et al. 2018. Fire behaviour of electrical cables in cone calorimeter: Influence of cables structure and layout. *Fire Safety Journal*. 2018, 99, pp. 12-21.

Martinka, Jozef and Balog, Karol. 2014. *Požiarne inžinierstvo*. Trnava : Slovenská technická univerzita, Materialovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, 2014. ISBN 978-80-8096-203-6.

Martinka, Jozef. 2021. Neural networks for wood species recognition independent of the colour temperature of light. November 2021, 79, pp. 1645–1657.

Martinka, Jozef, et al. 2019. A New Approach to the Assessment of the Reduction in Visibility Caused by Fires of Electrical Cables. 2019, Vol. 44, 5.

Martinka, Jozef, et al. 2018. Assessing the fire risk of electrical cables using a cone calorimeter. [ed.] Akadémiai Kiadó. *Journal of Thermal Analysis and - An International Forum for Thermal.* 2018, Vol. 113, 3.

Martinka, Jozef, Nečas, Aleš and Rantuch, Peter. 2021. The recognition of selected burning liquids by convolutional neural. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.* June 23, 2021, 147, pp. 5787-5799.

Meinier, Romain, et al. 2018. Fire behavior of halogen-free flame retardant electrical cables with cone calorimeter. 2018, 342, pp. 306-316.

Metán. 2020. Metán. [Online] 06. Máj 2020. [Dátum: 05. Máj 2022.] <https://sk.wikipedia.org/wiki/Met%C3%A1n>.

Methane. 2022. Methane. [Online] 22. Apríl 2022. [Dátum: 05. Máj 2022.] https://en.wikipedia.org/wiki/Methane#cite_note-22.

MFPA Leipzig GmbH. [Online] [Dátum: 16. Január 2020.] https://www.mfpa-leipzig.de/uploads/tx_templavoilaplus/Brennwertbestimmung-2.jpg.

Osvald , Anton , et al. 2009. *Hodnotenie materiálov a konštrukcií pre potreby protipožiarnej ochrany.* Zvolen : TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE, DREVÁRSKA FAKULTA, Katedra protipožiarnej ochrany, 2009. ISBN 978-80-228-2039-4.

Osvald, Anton, et al. 2009. *Hodnotenie materiálov a konštrukcií pre potreby protipožiarnej ochrany.* Zvolen : TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE, DREVÁRSKA FAKULTA, Katedra protipožiarnej ochrany, 2009. ISBN 978-80-228-2039-4.

RENCHEER, ALVIN C. 2002. Discriminant Analysis: Description of Group Separation. [book auth.] ALVIN C RENCHEER. [ed.] Inc John Wiley & Sons. *Methods of Multivariate Analysis.* Druhá. s.l. : Brigham Young University, 2002, 8, pp. 270 - 298.

Rhodes, Brian T. and Quintiere, James G. 1996.
Burning Rate and Flame Heat Flux for PMMA in a Cone
Calorimeter. *Fire Safety Journal*. 1996, Vol. 3, 26.

RISE Research Institutes of Sweden. [Online] [Dátum:
16. Január 2020.]
https://www.ri.se/sites/default/files/styles/main_article/public/2019/11/EN%20ISO%201716%20v3_3.jpg?h=85397e15.

ROZVOD ELEKTRICKEJ ENERGIE. 2007.
ROZVOD ELEKTRICKEJ ENERGIE. [Online] 2007.
[Dátum: 20. Január 2020.]
<http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/PER/Dokumenty/REE.pdf>.

SILOVÉ BEZHALOGÉNOVÉ KÁBLE/ CHKE-R B2ca(s1,d1,a1). 2015. 1. SILOVÉ KÁBLE/ 1.1 SILOVÉ BEZHALOGÉNOVÉ KÁBLE/ CHKE-R B2ca(s1,d1,a1).
[Online] 2015. [Dátum: 4. 12 2019.]
https://www.vuki.sk/files/technicke_listy/CHKE-R-B2ca-s1-d1-a1-.pdf.

SILOVÉ KÁBLE / 1.1 SILOVÉ BEZHALOGÉNOVÉ KÁBLE/N2XH. 2015. SILOVÉ KÁBLE / 1.1 SILOVÉ BEZHALOGÉNOVÉ KÁBLE/N2XH. [Online] 2015. [Dátum: 05. 05 2022.] https://www.vuki.sk/files/technicke_listy/N2XH.pdf.

STN 92 0203:2013. *STN 92 0203:2013 Požiarná bezpečnosť stavieb. Trvalá dodávka elektrickej energie pri požiari.*

STN 92 0205/Z1:2019. *STN 92 0205/Z1:2019 SPRÁVANIE VÝROBOV A KONŠTRUKCIÍ V POŽIARI. ZACHOVNIE FUNKČNEJ ODOLNOSTI KÁBLOVÝCH SYSTÉMOV. POŽIADAVKY, SKÚŠKY, KLASIFIKÁCIA A APLIKÁCIA VÝSLEDKOV SKÚŠOK. ZMENA 1.*

STN EN 13501-6:2018. *STN EN 13501-6:2018 KLASIFIKÁCIA POŽIARNÝCH CHARAKTERISTÍK STAVEBNÝCH VÝROBKOV A PRVKOV STAVIEB. ČASŤ 6: KLASIFIKÁCIA SILNOPRÚDOVÝCH, RIADIACICH A KOMUNIKAČNÝCH KÁBLOV VYUŽÍVAJÚCA ÚDAJE ZO SKÚŠOK REAKCIE NA OHEŇ.*

STN EN 1716:2018. *STN EN 1716:2018 SKÚŠKY REAKCIE VÝROBKOV NA OHEŇ. STANOVENIE CELKOVÉHO SPALNÉHO TEPLA (ISO 1716: 2010).*

STN EN 50399/A1:2017. *STN EN 50399/A1:2017 SPOLOČNÉ METÓDY SKÚŠOK KÁBLOV V PODMIENKACH POŽIARU. MERANIE UVOĽŇOVANIA TEPLA A TVORBY DYMU NA KÁBLOCH POČAS SKÚŠKY ŠÍRENIA PLAMEŇA. SKÚŠOBNÉ ZARIADENIA, POSTUPY, VÝSLEDKY.*

STN EN 60332-1-1/A1:2016. *STN EN 60332-1-1/A1:2016 SKÚŠKY ELEKTRICKÝCH A OPTICKÝCH KÁBLOV V PODMIENKACH POŽIARU. ČASŤ 1-1: SKÚŠKA SAMOSTATNÉHO IZOLOVANÉHO VODIČA ALEBO KÁBLA PROTI VERTIKÁLNEMU ŠÍRENIU PLAMEŇA. ZARIADENIE.*

STN EN 60332-1-2/A12:2021. *STN EN 60332-1-2/A12:2021 SKÚŠKY ELEKTRICKÝCH A OPTICKÝCH KÁBLOV V PODMIENKACH POŽIARU. ČASŤ 1-2: SKÚŠKA SAMOSTATNÉHO IZOLOVANÉHO VODIČA*

*ALEBO KÁBLA PROTI VERTIKÁLNEMU ŠÍRENÍU
PLAMEŇA. POSTUP PRE 1 KW ZMIEŠANÝ PLAMEŇ.*

STN EN 60332-1-3/A1:2016. *STN EN 60332-1-3/A1:2016 SKÚŠKY ELEKTRICKÝCH A OPTICKÝCH KÁBLOV V PODMIENKACH POŽIARU. ČASŤ 1-3: SKÚŠKA SAMOSTATNÉHO IZOLOVANÉHO VODIČA ALEBO KÁBLA PROTI VERTIKÁLNEMU ŠÍRENÍU PLAMEŇA. POSTUP NA URČENIE HORIAČICH KVAPIEK/ČASŤÍ.*

STN EN 60754-1/A1:2020. *STN EN 60754-1/A1:2020 SKÚŠKA PLYNOV VZNIKAJÚCICH PRI HORENÍ MATERIÁLOV Z KÁBLOV. ČASŤ 1: STANOVENIE OBSAHU HALOGÉNOVODÍKA.*

STN EN 60754-2/A1:2020. *STN EN 60754-2/A1:2020 SKÚŠKA PLYNOV VZNIKAJÚCICH PRI HORENÍ MATERIÁLOV Z KÁBLOV. ČASŤ 2: STANOVENIE ACIDITY (MERANÍM PH) A KONDUKTIVITY.*

STN EN 61034-1/A2:2020. *STN EN 61034-1/A2:2020 MERANIE HUSTOTY DYMU PRI HORENÍ KÁBLOV ZA*

*DEFINOVANÝCH PODMIENOK. ČASŤ 1: SKÚŠOBNÉ
ZARIADENIE.*

Šenovský, Michail, et al. 2004. *Základy požárního inženýrství.* [ed.] Michail Šenovský. EDICE SPBI SPEKTRUM. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. Vol. 38. ISBN: 80-86634-50-7.

The MathWorks, Inc. 1994-2022. [Online] 1994-2022.
[Cited: Máj 24, 2022.]
https://www.mathworks.com/?s_tid=gn_logo.

VUKI, a.s. [Online] [Dátum: 16. Január 2020.]
<https://www.vuki.sk/files/Fotografie/fg1.jpg>.

Wang, Bin, et al. 2018. Evolving Deep Convolutional Neural Networks by Variable-Length Particle Swarm Optimization for Image Classification. [Online] Marec 2018.
<https://www.researchgate.net/publication/323867704>.

WANG, Fengqiang, et al. 2008. Fire-retardant and smoke-suppressant performance of an intumescent

waterborne amino-resin fire-retardant coating for wood.

Front. For. China 2008, 3(4). 2008, pp. 487 - 492.

ZOZNAM PUBLIKÁČII AUTORA

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

MARTINKA, J. -- NEČAS, A. -- RANTUCH, P. The recognition of selected burning liquids by convolutional neural networks under laboratory conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, s. 1--13.

ADE Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch

BALOG, K. -- KUCMANOVÁ, A. -- BURANSKÁ, E. -- NEČAS, A. Bezpečné nakladanie so zapalovačmi ohňa. *Spektrum*, 20. s. 3--15.

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

MARTINKA, J. -- RANTUCH, P. -- WACHTER, I. -- ŠTEFKO, T. -- TRČKA, M. -- HLADOVÁ, M. -- NEČAS, A. -- SULOVÁ, J. Fire growth rate index as a key fire characteristic of electrical cables. *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*, 29. s. 81--90.

MARTINKA, J. -- RANTUCH, P. -- HLADOVÁ, M. -- SULOVÁ, J. -- NEČAS, A. -- BENKO, D. -- BALOG, K. Heat of combustion as the key fire characteristics of electrical cables. *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*, 27. s. 29--40.

NEČAS, A. -- MARTINKA, J. -- WACHTER, I. -- ŠTEFKO, T. -- HLADOVÁ, M. -- BENKO, D. -- BALOG, K. -- ŠEVČÍK, L. Impact of selected electrical cables slope on flame out time and flame spread. *Vedecké práce MTF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*, 27. s. 41--48.

HLADOVÁ, M. -- MARTINKA, J. -- RANTUCH, P. -- NEČAS, A. Review of spectrophotometric methods for determination of formaldehyde. *Vedecké práce MTF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*, 27. s. 105--120.

ADN Vedecké práce v domácich časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

NEČAS, A. -- MARTINKA, J. -- RANTUCH, P. -- WACHTER, I. -- ŠTEFKO, T. Impact of the electric cables installation on the ignition parameters of the spruce wood surface. *Wood Research*, 66. s. 732--745.

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

MARTINKA, J. -- NEČAS, A. -- RANTUCH, P. -- ŠTEFKO, T. -- WACHTER, I. Šírenie plameňa po povrchu radiacích káblov. In BALOG, K. -- MARTINKA, J. -- ŠTEFKO, T. *Advances in Fire and Safety Engineering 2020*. Trnava: AlumniPress, 2020, s. 164--172. ISBN 978-80-8096-272-2.

GODOVČIN, P. -- NEČAS, A. -- KUCMANOVÁ, A. Vplyv aditív na rýchlosť odhorievania a dymivosť sviečok. In BALOG, K. -- MARTINKA, J. -- ŠTEFKO, T. *Advances in Fire and Safety Engineering 2020*. Trnava: AlumniPress, 2020, s. 33--39. ISBN 978-80-8096-272-2.

AGJ Patentové prihlášky, prihlášky úžitkových vzorov

MARTINKA, J. -- WACHTER, I. -- ŠTEFKO, T. -- KOBETIČOVÁ, H. -- NEČAS, A. -- HLADOVÁ, M. *Spôsob rozloženia vybraných zložiek dreva a iných lignocelulózových materiálov: prihláška úžitkového vzoru č. 204-2019, dátum podania prihlášky: 31.12.2019, stav: platný, zapísaný úžitkový vzor č. 8898, dátum oznámenia o zápise úžitkového vzoru: 02.10.2020, Vestník ÚPV SR č. 10/2020*. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2020. 4 s.

MARTINKA, J. -- NEČAS, A. *Spôsob merania priemernej farby povrchu: prihláška patentu č. 57-2020, dátum podania prihlášky: 2.6.2020, stav: zverejnená patentová prihláška, dátum zverejnenia prihlášky: 7.12.2021, Vestník ÚPV SR č. 23/2021*. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021. 4 s.

MARTINKA, J. -- RANTUCH, P. -- NEČAS, A. *Spôsob identifikácie druhu horiacej látky /: prihláška patentu č. 58-2020, dátum podania prihlášky: 2.6.2020, stav: zverejnená patentová prihláška, dátum zverejnenia prihlášky: 20.12.2021, Vestník ÚPV SR č. 24/2021*. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021. 4 s.