



Warszawa, 2020-09-30

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. "Electric cables used in buildings – dependency of fire properties
on constructional and material parameters"
autorstwa mgr inż. Katarzyny Kaczorek-Chrobak,
opracowana na podstawie umowy.....

1. Tematyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska, przygotowana w języku angielskim, dotyczy badań nad palnością kabli elektrycznych różniących się materiałem przewodnika i nieprzewodnika (izolatora), a także średnicą oraz konstrukcją (liczbą i kształtem przekroju poprzecznego) przewodników i ewentualnie występowaniem uzbrojenia. Przedmiotem testów i analiz był wachlarz kabli, które są stosowane w różnego typu budynkach. W opinii recenzenta podjęta tematyka badań jest bardzo aktualna, co więcej stała się istotna od samego początku wprowadzania elektryfikacji w budynkach, a w kolejnych dekadach wraz z powiększaniem sieci elektrycznej w budynkach oraz ze wzrostem poboru mocy przez użytkowników końcowych nabierała coraz większego znaczenia. Jest to związane z ogromnymi zagrożeniami, jakie może nieść ze sobą stosowanie w budynkach kabli elektrycznych, które mogą stanowić potencjalne źródło lub/i nośnik pożaru, szczególnie biorąc pod uwagę rozbudowaną strukturę i długość kabli z budynkach. W chwili obecnej, ale szczególnie w przyszłości temat palności kabli elektrycznych będzie nabierał dodatkowej wagi ze względu na coraz powszechniejsze wykorzystanie w licznych dziedzinach życia energii elektrycznej, która może być wywarzana ze źródeł odnawialnych, a z drugiej strony poprzez stosowanie coraz nowszych rozwiązań w zakresie konstrukcji kabli zarówno w części przewodnika i nieprzewodnika. Przytoczone argumenty stanowią przede wszystkim o dużym znaczeniu aplikacyjnym przedmiotowej rozprawy w dyscyplinie *inżynieria lądowa i transport*, jednakże rozpatrując efekty pożarów, w tym dużą liczbę ofiar śmiertelnych od ognia, dymu lub toksycznych gazowych produktów rozkładu termicznego oraz olbrzymie straty mienia jak również negatywny wpływ pożarów na środowisko naturalne należy zaznaczyć, że recenzowana praca posiada także nie małe znaczenie społeczne i ekonomiczne w wyżej wymienionej dyscyplinie. Można bowiem sądzić, że opisana w pracy szybkość i efektywność palenia kabli oraz wydzielania dymu, włączając gazowe toksyny w odniesieniu do ich parametrów konstrukcyjno-materiałowych stanowić mogą dla architektów i elektryków klucz do lepszego doboru kabli w celu zmniejszenia obciążenia pożarowego budynku. Nie sposób w końcu wspomnieć o walorach poznawczych rozprawy. Pokazane badania przede wszystkim systematyzują, weryfikują i w dużym stopniu uzupełniają pewne dane dostępne w literaturze, przy czym autorka zaprezentowała podejście wielopłaszczyznowe do bardzo skomplikowanego tematu. Bardzo wartościowe jest rozprawienie się przez doktorantkę z powszechnie stosowanym w badaniach *parametrem kablowym*, który jak wykazała dość kiepsko koreluje się z

właściwościami pożarowymi kabli i zaproponowanie na jego miejsce opracowanego przez siebie nowego parametru.

Problem naukowy rozprawy wskazany przez Doktorantkę stanowi określenie wpływu istotnych parametrów konstrukcyjno-materiałowych kabli na ich właściwości ogniowe poprzez ustalenie zależności jakościowych oraz w miarę możliwości ilościowych, między tymi wielkościami. W związku z tym, **celem pracy doktorskiej** było wyodrębnienie istotnych czynników związanych z konstrukcją kabli elektrycznych, wpływających na określone właściwości pożarowe, takie jak wydzielanie ciepła, wytwarzanie dymu, długość zniszczenia i ilość toksycznych produktów spalania w różnych warunkach wentylacji pomieszczeń. Badania nad palnością materiałów, w tym kabli elektrycznych mają kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa ludzi, związanego z możliwością powstania i rozprzestrzeniania pożarów, których skutki mogą być katastrofalne ze społecznego, ekonomicznego i środowiskowego punktu widzenia. Z tych względów w literaturze można spotkać bardzo dużą liczbę prac dotyczących tej tematyki. Jednakże biorąc pod uwagę różnorodne rozwiązania konstrukcyjne (średnica kabla, liczba i kształt żył roboczych, grubość izolacji i kolejnych warstw nieprzewodzących oraz ewentualna obecność zbrojenia) i materiałowe (materiał przewodnika, materiał nieprzewodnika, w tym jego dodatki) kabli, niejednakowe metody, aparaturę i warunki prowadzenia badań, opracowanie korelacji przedstawionej jako problem naukowy przedmiotowej pracy jedynie na bazie doniesień literaturowych byłoby niemożliwe lub nieadekwatne. Doktorantka podjęła się bardzo trudnego zadania, w którym duża liczba parametrów wejściowych związanych z badanym materiałem i warunkami eksperymentu generuje dużo parametrów wyjściowych. Rozprawa jest zatem dość mocno osadzona w wynikach literaturowych, do których doktorantka dość często odnosi wyniki swoich badań eksperymentalnych, a zarazem stanowi spójne, jednoznaczne i oryginalne rozwiązanie skomplikowanego problemu badawczego.

Podsumowując powyższe akapity mogę stwierdzić, że **tytuł rozprawy** jest w pełni zgodny z przedstawionym problemem badawczym i celem rozprawy oraz adekwatny do treści przedstawionych w części literaturowej i doświadczalnej.

2. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa została przygotowana w języku angielskim w postaci opracowania liczącego 151 stron maszynopisu. Składa się z następujących części: Abstract, Streszczenie (w języku polskim), Spis treści, Wykaz rysunków, Wykaz tabel, Terminy i definicje, Wykaz skrótów i symboli, Wstęp, 2 rozdziały wstępu literaturowego, Problem naukowy, 2 rozdziały opisu eksperymentalnego (materiały i metody), 5 rozdziałów w wynikami i dyskusją, Wnioski i Literatura. Należy przy tym zaznaczyć, że w rozprawie brakuje rozdziałów głównych, typowych dla większości eksperymentalnych rozpraw doktorskich, tj. Część literaturowa, Część eksperymentalna, Wyniki i Dyskusja (te dwa ostatnie można niekiedy połączyć w jeden), co znacznie ułatwiłoby lekturę rozprawy i wprowadziło pewien porządek i łatwość przypisania poszczególnych rozdziałów do odpowiedniej kategorii strukturalnej pracy. Poniżej krótko scharakteryzowano poszczególne rozdziały numerowane:

1. Introduction. We wstępie doktorantka przybliżyła problem pożarów w różnego typu budynkach powołując się na odpowiednie statystyki dotyczące świata oraz Polski. Zaprezentowała czynniki środowiskowe, które ulegają zmianie podczas pożaru oraz omawia klasy odporności ogniowej (pożarowej) budynków. Omówiony został także proces oceny wyrobów konstrukcyjnych pod kątem bezpieczeństwa pożarowego zgodnie z procedurą CEN, a także wprowadzone i zdefiniowane zostały pojęcia: *właściwości pożarowe*, *tlenie (palenie bezpłomieniowe)*, *współczynnik równoważności*. Doktorantka zwróciła także uwagę na problem toksycznych gazów, które w zależności od warunków mogą być wydzielane w wyniku spalania.

2. Role and functions of electric cables in buildings. W tej części rozprawy położono nacisk na duże zagrożenie pożarowe, które stanowią kable elektryczne znajdujące się w budynkach, szczególnie biorąc pod uwagę długość i sieć tych kabli, która „opłata” wszystkie pomieszczenia budynków. Omówiono jakie funkcje pełnią poszczególne rodzaje okablowania i w jakich przestrzeniach budynków i pomieszczeń są zlokalizowane ze względu na ich rolę. Wymieniono i zobrazowano główne przyczyny samozapłonu kabli elektrycznych.
3. Current state of knowledge on fire behaviour of electric cables. Rozdział składa się z 6 podrozdziałów. Doktorantka przedstawiła rys historyczny aż do czasów współczesnych związany z legislacją i badaniami związanymi z bezpieczeństwem pożarowym stosowania kabli. Zwróciła przy tym uwagę, że żadna instytucja w kraju anglojęzycznym nie prowadziła długoterminowych badań nad pożarami instalacji elektrycznych, a jedyne znane tego typu badania prowadzone były w Chinach i Japonii, jednakże są to prace publikowane w językach natywnych, co znacznie utrudnia dostęp do tych danych. Dość szeroko zostały omówione regulacje i prace dotyczące badań nad bezpieczeństwem pożarowym instalacji pożarowych w tunelach. Pierwszy z podrozdziałów kończy się cytatem pracy przeglądowej Huanga i Nakamury, którzy wskazują, że głębsze zrozumienie zjawiska pożaru w realnych instalacjach kablowych jest nadal wyzwaniem, a próby wnioskowania na temat prawdziwych pożarów kabli na podstawie jakościowej lub półempirycznej analizy ograniczonych danych laboratoryjnych nie są jeszcze wystarczająco przekonujące, z związku z czym nadal istnieje duża luka między badaniami podstawowymi z wykorzystaniem przewodów laboratoryjnych a badaniami stosowanymi z wykorzystaniem przewodów komercyjnych. W kolejnym podrozdziale omówiono w jaki sposób ogień może rozprzestrzeniać się w budynkach jako efekt pożaru kabli, uwzględniając czynniki konstrukcyjne samego kabla jak również całej infrastruktury dotyczącej rozmieszczenia, prowadzenia i mocowania instalacji elektrycznej. Dalej porównano znane metody badania palności kabli (np. metoda kalorymetru stożkowego i pionowych testów wielkoskalowych). W kolejnych podrozdziałach omówiono badania nad palnością kabli w stanie obniżonej grawitacji oraz zastosowanie różnych metod symulacji numerycznych w porównaniu z badaniami eksperymentalnymi. W tym miejscu recenzent zwraca uwagę, że opis badań z pracy [77] przedstawiony w rozprawie sprowadza się do omówienia zakresu przeprowadzonych analiz i symulacji oraz informacji, że wyniki otrzymane obiema drogami zostały porównane, jednakże brakuje jakiegokolwiek informacji, co z tego porównania wynika. W przypadku pracy [98] autorka podała informację, że wyniki eksperymentalne i symulacje są spójne. Zdaniem recenzenta w tej części rozprawy brakuje krytycznego podsumowania, weryfikującego czy i ewentualnie do jakich parametrów, z jakim przybliżeniem można stosować metody numeryczne. Ostatni podrozdział dotyczy toksyczności wycieków z pożarowych, które często są bezpośrednią przyczyną zgonu ofiar pożaru. Wymieniono czynniki, które decydują o toksyczności wycieków w warunkach pożaru, zdefiniowano chemicznie główne rodzaje substancji stanowiących zagrożenie, wskazano metody jakimi można je analizować oraz podano jakie rodzaje zagrożeń dla zdrowia i życia ludzkiego mogą one powodować. Omawiając prace [123] i [124] (str. 42) autorka napisała, że podczas rozkładu PVC praktycznie cały chlor wydzielany jest w postaci HCl i jedynie niewielkie ilości innych związków zawierających chlor zostały wykryte. Szkoda, że doktorantka nie pokusiła się o podanie jakie związki i w jakiej ilości powstają, wszak wiadomo, że toksyczność niektórych substancji jest duża już przy niewielkim stężeniu. Na tej samej stronie zawarte są wyniki z pracy [126], której autorzy wymieniają szereg chlorowanych i niechlorowanych pochodnych powstających w wyniku rozkładu rur z PVC. Tu także nie podano wyników tej analizy. W dalszej części omówiono wpływ dodatków do PVC na generowanie toksycznych produktów spalania.
4. Scientific problem. Przedstawiono i porównano różnice konstrukcyjne kabli pełniących różne funkcje stosowanych w budynkach. Na podstawie różnic w materiale i konstrukcji kabli do badań wytypowano 5 grup kabli różniących się (1) materiałem przewodnika, (2) kształtem przekroju poprzecznego przewodnika, (3) Liczbą żył roboczych, (4) materiałem składników niemetalicznych, (5) obecnością lub brakiem uzbrojenia koncentrycznego. Dla wszystkich kabli z każdej grupy zaplanowano badania parametrów pożarowych, związanych z wydzielaniem ciepła, wytwarzaniem dymu, wydzielaniem toksycznych wycieków, zakresem rozprzestrzeniania się ognia. Kable opisano za pomocą wystandaryzowanego parametru kablowego. Sformułowano problem naukowy jako Problemem naukowym rozważanym w niniejszej rozprawie doktorskiej jest określenie wpływu odpowiednich parametrów

konstrukcyjno-materiałowych kabli na ich właściwości pożarowe poprzez ustalenie jakościowych i, w miarę możliwości, ilościowych relacji między nimi. Sformułowano także cel rozprawy. Do rozwiązania tego problemu naukowego zaproponowano kilka metod eksperymentalnych i uzupełniającą analizę teoretyczną opartą na teorii Quintiere'a, która nie była dotychczas wykorzystywana dla stosowanych w budynkach kabli elektrycznych.

5. Constructional and material parameters of studied cables. Omówiono szczegółowo parametry materiałowo-konstrukcyjne kabli, w tym rodzaje przewodników (materiał i kształt) i materiałów izolacyjnych i osłonowych. Ten ostatni aspekt został przedstawiono dokładnie, w kontekście równych materiałów osnowy polimerowej oraz dodatków, w tym plastyfikatorów i napełniaczy jak również środków zmniejszających palność. Dalej doktorantka zestawiała w tabeli wszystkie próbki kabli wytypowane do badań w liczbie 83 sztuk podzielonych na pięć grup pod kątem parametrów konstrukcyjno-materiałowych wraz z charakterystyką kabli (liczba żył i rozmiar przewodnika, materiał i kształt przewodnika, powłoka zewnętrzna, rodzaj uzbrojenia lub żyły koncentrycznej, wyściółka, izolacja, parametr kablowy). Nie podano natomiast producenta i oznaczenia kabli.
6. Experimental methods. W rozdziale omówiono stosowane metody badawcze wraz z wykorzystywaną aparaturą. W pierwszym podrozdziale przedstawiono metodykę i wyniki uzyskiwane z eksperymentów na wielką skalę, prowadzonych w standardowych komorach testowych do badania palności kabli w pozycji pionowej. Następnie omówiono metody i aparaty do badań w skali laboratoryjnej, w tym wagę termogravimetryczną, spektrometr w podczerwieni z transformacją Fouriera do badań próbek stałych i gazów spalinowych (lub pirolitycznych), wraz z widmami FTIR 17 gazów, które mogą być wytwarzane w wyniku spalania lub rozkładu termicznego. W dalszej kolejności omówiono kalorymetr stożkowy służący do badania procesu spalania przy różnym przepływie ciepła oraz piec rurowy w stanie ustalonym sprzężony z szeregiem detektorów pozwalającym określać toksyczność wycieków ze spalania (rozkładu) próbki. Przy opisie aparatów nie podano producenta ani modelu tych urządzeń.
7. Fire properties of studied cables. W niniejszym rozdziale Doktorantka wstępnie omówiła rodzaj otrzymanych wyników właściwości i zachowań pożarowych kabli. Wśród analizowanych standardowych parametrów opisujących proces spalania kabli znalazły się maksymalna szybkość wydzielania energii, całkowite wydzielone ciepło, zasięg rozprzestrzenienia się płomienia, maksymalna szybkość wytwarzania dymu, całkowita ilość wydzielonego dymu, płonące krople i cząstki i toksyczne produkty spalania. Dość szczegółowo omówiono zagadnienie rodzaju i toksyczności gazów spalinowych w zależności od ilości dostępnego utleniacza oraz związane z tym pojęcia stężenia śmiertelnego (LC_{50}) i drażniącego (IC_{50}). Przedstawiono i omówiono zależności otrzymanych wyników pomiarowych w funkcji parametru kablowego dla wszystkich próbek oraz z podziałem na grupy kabli zgodnie z przypisaniem w tabeli nr 2 w rozdziale 5. Doktorantka stwierdza, że najwyższe wartości parametrów związanych z wytwarzaniem dymu uzyskano dla kabli, których płaszcz zewnętrzny i izolacja zbudowane były z nie uniepalnionego z PVC, podczas gdy dodatek uniepalniacza powodował 6-krotne obniżenie parametrów związanych z szybkością wydzielania dymu i 2-krotne obniżenie całkowitej ilości wytworzonego dymu; brak ścisłego upakowania izolowanych przewodników w kablach, spowodowane brakiem wyściółki, indukował tzw. „zjawisko świecy”; zastosowanie PVC jako osłon i izolacji, a także wyściółki spowodował znaczne poszerzenie zasięgu rozprzestrzenienia się płomienia.
8. Analysis of the relationship between constructional-material parameters and fire properties of electric cables. W rozdziale zestawiono wyniki testów palności kabli przeprowadzonych metodą w wielkiej skali w tabeli skorelowanej z tabelą nr 2, w której umieszczono parametry konstrukcyjno-materiałowe kabli. Należy zaznaczyć, że znalezienie korelacji pomiędzy tak dużą liczbą badanych próbek (83) o różnych parametrach konstrukcyjno-materiałowych z dużą liczbą eksperymentalnych właściwości pożarowych stanowi nie lada wyzwanie. Recenzent przy pierwszorazowej lekturze tych wyników czuł, że wkracza w świat chaosu danych. Doktorantka wykazała się jednak bardzo dużą zdolnością do grupowania, a następnie analizowania tych danych porównując właściwości pożarowe kabli pod względem materiału oraz przekroju poprzecznego przewodnika, liczby żył roboczych oraz rodzaju i objętości materiału niemetalicznego a także obecność uzbrojenia kabla. Autorka na tej podstawie stwierdziła, że:

- a. Parametry wydzielania ciepła i wytwarzania dymu są wyższe dla przewodników aluminiowych niż dla miedzianych,
- b. Parametry wydzielania ciepła i wytwarzania dymu są wyższe dla przewodników o przekroju poprzecznym okrągłym niż w kształcie wycinka,
- c. THR, TSP i FS maleją wraz ze zwiększającą się liczbą żył roboczych,
- d. Parametry wydzielania ciepła i wytwarzania dymu są znacznie wyższe dla kabli, w których części niemetaliczne zbudowane są z tworzyw zawierających atomy halogenowca,
- e. Parametry wydzielania ciepła i wytwarzania dymu są znacznie wyższe dla kabli niezbrojonych.

Ponadto, doktorantka szczegółowo przeanalizowała wpływ stężenia tlenu na ilość głównych produktów spalania, w tym CO₂, CO, węglowodory, HCl dla różnych kabli i materiałów niemetalicznych. Przedstawiła także mechanizm reakcji prowadzących do powstawania różnego typu węglowodorów w wyniku termicznego rozpadu PVC. Wyznaczyła także wartości FED dla toksycznych gazów zgodnie z dwoma przyjętymi modelami. Przedstawiła także łańcuch przemian rodnikowych, które występują podczas palenia materiałów opartych na PVC. W ostatniej części rozdziału opisano analizę statystyczną. Ten rozdział zdaniem recenzenta stanowi jedną z najbardziej wartościowych części rozprawy.

9. Discussion on the current cable parameter χ . Doktorantka przeprowadziła bardzo krytyczną analizę parametru kablowego dla wybranych próbek sprawdzając metodą korelacji Pearsona zależność tego parametru dla całkowitego wydzielonego ciepła i całkowitego wygenerowanego dymu. Wykazała, że standardowo wykorzystywany parametr kablowy wykazuje bardzo słabą korelację. Szkoda, że doktorantka nie pokusiła się o przeanalizowanie większej liczby danych eksperymentalnych tą metodą.
10. Author's concept of new cable parameter. Na podstawie wniosków z poprzedniego rozdziału Autorka podjęła próbę stworzenia własnego parametru kablowego χ zdefiniowanego jako efektywna zawartość składnika niepalnego i zależnego od współczynnika transferu ciepła, objętości niemetalicznych niepalnych składników kabla i stosunku objętości niemetalicznych składników niepalnych do objętości niemetalicznych składników palnych. Następnie zdefiniowała współczynnik transferu ciepła dla kabli o różnej geometrii przewodnika. Parametr χ został obliczony dla tych samych kabli, które były analizowane w poprzednim rozdziale a wyniki poddane analizie metodą korelacji Pearsona względem tych samych parametrów pożarowych kabli. Wartości współczynnika korelacji w tym przypadku są znacznie wyższe niż przy zastosowaniu standardowego parametru kablowego. Zdaniem recenzenta jest to drugi z najbardziej wartościowych rozdziałów rozprawy w kontekście oryginalności i trafności rozwiązania. Jednakże zdaniem recenzenta temat należałoby rozwinąć podobnie jak zostało to wskazane w opinii na temat rozdziału 9 o większą liczbę badanych próbek kabli. Szczególny niedosyt pozostawia fakt, że zaproponowane zostały specyficzne rozwiązania dla zależności od przekroju poprzecznego żyły, a weryfikację przeprowadzono jedynie dla kabli o przekroju okrągłym.
11. Application of Quintiere's theory. Doktorantka z powodzeniem wykorzystwała teorię Quintiere'a do oceny zapłonu i parametrów spalania kabli. Zastosowanie tej teorii do modelowania palności kabli może znacznie zmniejszyć liczbę testów. Do tego testu wykorzystana została jedna próbka. Interesujące byłoby sprawdzić jak teoria ta sprawdza się w przypadku przynajmniej 1 przedstawiciela z każdej z 5 grup kabli, które zdefiniowała Doktorantka.
12. Conclusions. Rozdział dobrze podsumowuje prowadzone badania i zawiera najważniejsze wnioski z nich płynące.

Tytuły rozdziałów są adekwatne do prezentowanych w nich treści. Rozprawa jest bogato ilustrowana poprzez zamieszczenie w niej aż 63 rysunków, co znacznie ułatwia lekturę i wyciągnięcie odpowiednich wniosków. Rysunki zazwyczaj są przygotowane w sposób czytelny i estetyczny. Wzory i równania chemiczne przedstawione są w sposób prawidłowy i przejrzysty. Ponadto praca zawiera 10 tabel, w których zebrane są najważniejsze parametry wejściowe kabli, wyniki ich badania oraz różnego typu parametry. Stosowana nomenklatura jest prawidłowa i typowa dla języka angielskiego. Tekst napisany jest stosunkowo prostym językiem, co może być ważne z punktu widzenia czytelników, dla których język angielski nie jest językiem macierzystym, w związku z czym lektura nie powinna stanowić dodatkowej bariery w zrozumieniu rozprawy.

Zdaniem recenzenta w tekście znajduje się kilka niefortunnych sformułowań językowych, jednakże recenzent nie czuje się kompetentny, aby oceniać rozprawę pod kątem poprawności filologicznej. W rozprawie znajdują się odwołania do 208 źródeł stanowiących w większości publikacje w czasopismach zagranicznych o obiegu międzynarodowym, a w części do aktów prawnych i normatywnych. Warto podkreślić, że w bibliografii powołano się na jedynie 2 źródła internetowe, co w czasach masowego pozyskiwania informacji o często wątpliwej jakości z Internetu zasługuje na wyróżnienie. Autorka odwołuje się do fundamentalnych źródeł oryginalnych, stąd część pozycji literaturowych może wydawać nieaktualna bądź archaiczna, jednakże większość stanowią elementy nowe datowane na lata 2010 – 2020.

3. Uwagi ogólne i szczegółowe

Podczas opracowania rozprawy Doktorantka nie uniknęła pewnych uchybień natury redakcyjnej, które wymienione są poniżej. Oprócz tego recenzent prosi o wyjaśnienie pewnych kwestii merytorycznych związanych z rozprawą i odpowiedzi na pytania dotyczące rozprawy. Poniżej recenzent zebrał uwagi i pytania w kolejności pojawiania się w tekście:

1. W rozprawie jest pewien nieład w skrótach, tzn. skróty w tekście wprowadzane są wielokrotnie, albo po wprowadzeniu skrótu nadal pojawia się pełna nazwa, zaś w streszczeniu i abstrakcie niektóre skróty nie są zdefiniowane (należy pamiętać, że abstract i streszczenie są odrębnymi częściami pracy, które mogą występować autonomicznie),
2. Str. 42: czy w publikacjach [123] i [124] podano ilości „innych cząsteczek zawierających chlor”, które wykryto? Jeśli tak, to proszę je przedstawić i porównać ich ilość z głównymi produktami spalania. Proszę odnieść te dane do wyników z pracy [126],
3. Str. 50, linia 3 (od góry): powinno być *poly(vinyl chloride)* – zamiast *polivinył chloride*; *polychloroprene* – zamiast *chloroprene* (monomer),
4. Str. 52, tabela 2: brak informacji o pochodzeniu kabli, tj. producent i oznaczenie, co uniemożliwia chociażby odtworzenie badań lub wykorzystanie takich samych próbek do innych badań przez czytelnika rozprawy,
5. Rozdział 6: brak producentów i modeli aparatury (szczególnie w odniesieniu do sprzętów produkowanych seryjnie, np. FTIR, TGA),
6. Rysunki 15 i 16: zdaniem recenzenta zdjęcia aparatury produkowanej seryjnie nie są potrzebne, nic nie wnoszą – wystarczy podać producenta i model,
7. Rozdział 6.2.4.: czy Kandydatka uważa, że przy zastosowaniu pieca rurowego w stanie ustalonym z posiadanymi detektorami można byłoby analizować (jakościowo, a może półilościowo) toksyny o bardziej złożonej strukturze (np. benzopireny, dioksyny lub ich chlorowane pochodne)?
8. Str. 72, grupa IV: „cables of mostly unknown composition” – w rozprawie kable analizowane są między innymi ze względu na skład – czy Doktorantka próbowała oznaczyć te składy metodami analizy instrumentalnej? Jakie metody mogłyby się tu nadać?
9. Str. 77, linia 3 (od góry): „cables that have completely burnt down” – czy to oznacza, że wszystkie składniki kabla uległy spaleniowi?
10. Str. 83, linia 6 (od dołu): „dense smoke composed of high molecular weight chains” – wg wiedzy recenzenta zajmującego się w pracy naukowej polimerami, czyli związkami łańcuchowymi o dużych masach cząsteczkowych, tego typu cząsteczki nie są lotne. Proszę wyjaśnić tę wątpliwość.
11. Rysunki 32 i 33: dlaczego wyniki dla próbki 33 nie są umieszczone na wykresach?
12. Rysunki 36 i 37: dużo czytelniejszą metodą przedstawiania tego typu wyników jest wyrażenie ubytku masy jako ułamek (%) względem pierwotnej masy próbki; czy

Doktorantka próbowała powiązać zmiany masy na derywatogramie z przemianami chemicznymi zachodzącymi w próbce? Czy próbowano oszacować ilość kredy na podstawie tych wyników?

13. Str. 91, linia 2 (od góry): temperaturę *onset* dokładniej można wyznaczyć z pierwszej pochodnej,
14. Str. 91, linia 1 (od dołu): czy Doktorantka weryfikowała swoją hipotezę o nierównomiernej dystrybucji cząstek napełniacza w osnowie polimerowej za pomocą technik mikroskopowych (np. SEM)?
15. Rysunek 43: należy podać źródło - [109],
16. Str. 98, linia 2 (od góry): dlaczego badania prowadzono w temperaturze 650 °C?
17. Str. 106, linie 13-15 (od góry): powinno być *poly(vinyl chloride)* - zamiast *polivinył chloride*; najsłabszym wiązaniem w PCV jest C-Cl, przy trzeciorzędowym atomie węgla i to od tego wiązania rozpoczyna się degradacja. Tego typu wiązania powstają na etapie syntezy w wyniku niekontrolowanego przeniesienia łańcucha kinetycznego na łańcuch polimerowy i powstania rozgałęzienia.
18. Str. 107, równanie (15): powtórzenie równania (11) - należy odwołać się do numeru i nie duplikować elementów,
19. Str. 108, linia 17 (od góry): dlaczego reakcje Dielsa-Aldera zdaniem autorki przy zwiększonym przepływie utleniacza zachodzą z większą wydajnością/szybkością?
20. Rozdział 9: dlaczego autorka prowadziła badania tylko dla 6 wybranych próbek?
21. Rozdział 10: dlaczego autorka prowadziła badania tylko dla 6 wybranych próbek i przekroju kołowym?
22. Str. 118, linia 4 (od dołu): czy wspomniana analiza TGA powinna być prowadzona w atmosferze powietrza czy beztlenowo?
23. Rysunek 59: zdjęcie jest powtórzeniem z rysunku 11b - należy unikać duplikowania tych samych elementów i powinno się wstawić odnośnik do rysunku 11b.
24. Rozdział 11: dlaczego badania oparto tylko na jednej próbce?

Powyższe pytania i komentarze nie wpływają w znaczący sposób na dobrą ocenę rozprawy.

4. Ocena osiągnięć zawartych w rozprawie

Podsumowując, uważam, że przedłożona rozprawa doktorska przedstawia badania z tematyki o dużym znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym a pośrednio społecznym i ekonomicznym. Autorka we właściwy sposób sformułowała problem naukowy, który został rozwiązany w dalszej części rozprawy w sposób rzetelny i prawidłowy. Biorąc pod uwagę złożoność problemu naukowego i podejście do jego rozwiązania można stwierdzić, że praca jest interdyscyplinarna i poza zasadniczym umocowaniem w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport rozprawa posiada liczne znamiona, dyscypliny chemia lub/i inżynieria chemiczna. Zaproponowane rozwiązanie problemu jest oryginalne, ponieważ stanowi szerokie spojrzenie na problem właściwości pożarowych kabli w kontekście różnych parametrów konstrukcyjno-materiałowych. Jednakże największy wpływ na oryginalność pracy ma zaproponowany przez Doktorantkę zupełnie nowy parametr kablowy, który wykazuje znacznie lepszą korelację z parametrami pożarowymi kabli niż powszechnie stosowana wielkość. Problem naukowy został rozwiązany w sposób poprawny z zastosowaniem niezbędnej aparatury pomiarowej, która pozwoliła wyznaczyć odpowiednie wartości dla badanych kabli. Autorka bardzo umiejętnie przeanalizowała i skorelowała dużą liczbę parametrów wejściowych i wyjściowych dla dużej liczby próbek. Przy rozwiązaniu problemu posłużyła się także metodami analizy chemicznej. Wyniki i wnioski często konfrontowała z dostępnymi danymi literaturowymi co jest bardzo wartościowe i świadczy dużej dojrzałości naukowej. Uzyskane wyniki nie budzą wątpliwości i pozwalają na ustalenie

odpowiednich zależności, w tym wspomnianego już nowego parametru kablowego. Cel rozprawy został zrealizowany w całości.

5. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na wysoki poziom wiedzy teoretycznej Kandydatki z dyscypliny inżynieria lądowa i transport, a także na umiejętność prowadzenia pracy naukowej przez Kandydatkę.

Stwierdzam, że opiniowana przeze mnie praca spełnia w całej rozciągłości wymagania artykułu 13. ustęp. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i rekomenduję dopuszczenie jej do publicznej obrony.



.....
(podpis recenzenta)