Politechnika Wrocławska

Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii

PRACA DYPLOMOWA

Tytuł pracy dyplomowej

Dobór parametrów pomiaru systemem magnetycznym Diagbelt na przenośniku testowym

Autor

Dominika Olchówka

Opiekun

dr hab. inż. Ryszard Błażej, prof. uczelni

słowa kluczowe:
taśma przenośnikowa
diagnostyka taśm przenośnikowych
system magnetyczny
parametry pomiarów

krótkie streszczenie:

W przedstawionej pracy dyplomowej dokonano analizy wyników badań otrzymanych za pomocą systemu magnetycznego Diagbelt. W trakcie badań zmieniane były parametry, które pozwoliły wykreślić zależności, pozwalające uzyskać ich optymalne wartości, tak aby można je było wykorzystać podczas pomiarów w terenie.

SPIS TREŚCI

1. Wstęp 3

1.1. Przenośniki taśmowe 3

1.2. Taśma przenośnikowa 4

1.3. Diagnostyka taśm przenośnikowych 6

1.4. Pole magnetyczne i jego właściwości 7

2. Cel i zakres pracy 13

3. System Diagbelt 13

3.1. Moduł wizyjny 14

3.2. Moduł magnetyczny 15

3.3. Moduł prognozujący 17

3.4. Moduł prewencyjny 18

3.5. Moduł bezpieczeństwa 19

4. Stanowisko badawcze 20

5. Metodyka badań 24

6. Otrzymane wyniki 28

7. Analiza wyników 42

8. Analiza statystyczna wyników 64

9. Wnioski 66

10. Spis rysunków 69

11. Bibliografia 73

1. Wstęp

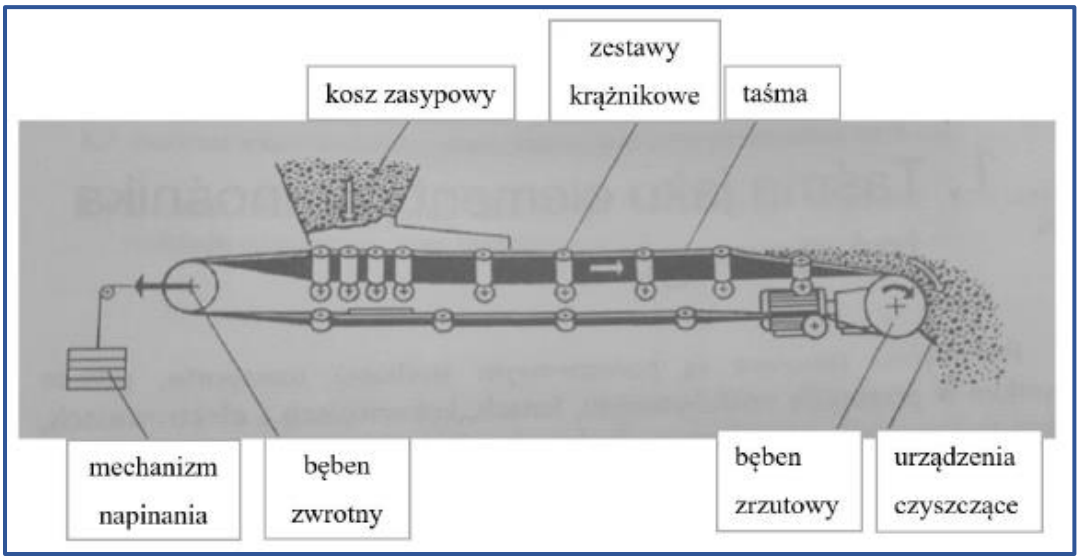
1.1. Przenośniki taśmowe

Przenośniki taśmowe są podstawowym środkiem transportu wykorzystywanym w górnictwie zarówno odkrywkowym jak i podziemnym. To dzięki tej gałęzi przemysłu zostały one rozpowszechnione w Polsce. Wyparły one niemal całkowicie transport maszynowy i stały się głównymi urządzeniami służącymi do przemieszczania ogromnych mas skalnych (Błażej, 2018). Wydajność przenośników może osiągać nawet do 50 000 t/h, a transport materiału może odbywać się na odległość od kilkunastu metrów do 30 km. Dodatkowo na trasie przenośnik może pracować przy zróżnicowaniu terenu do 1 km (Gładysiewicz, 2003).

Przenośniki taśmowe ze względu na wiele korzyści, takich jak istotne zredukowanie czasu transportu oraz warunki ekonomiczne, są najczęściej stosowanymi rozwiązaniami w transporcie górniczym. Dodatkowo do ich zalet należy: względnie lekka konstrukcja, możliwość dopasowania przebiegu trasy przenośnika do profilu terenu, wysoka wydajność przy stosunkowo niskich kosztach, czy łatwa, mało czasochłonna obsługa i kontrola (Żur, 1974).

Oprócz zalet, przenośniki taśmowe jak każda inna forma transportu, posiadają również wady. Najdroższy element przenośnika, jakim jest taśma przenośnikowa dość często ulega uszkodzeniom. Wiąże się to między innymi ze spadającymi na nią bryłami posiadającymi ostre krawędzie. Dodatkowo elementy składowe przenośnika muszą posiadać odpowiednie wymagania, a on sam musi cechować się dużą niezawodnością (Żur, 1974)

W skład klasycznego przenośnika taśmowego wchodzi mechanizm napędowy - od jednego do kilku bębnów napędowych, które są zasilane przez silnik spalinowy bądź elektryczny. W celu wywołania ruchu taśmy wykorzystywane jest zjawisko sprzężenia ciernego, które powstaje między taśmą, a bębnem. Taśma zmienia kierunek poruszania się na bębnie zwrotnym. Między bębnami podtrzymywana jest w odpowiednich odstępach za pomocą zestawów krążnikowych. Kolejnym elementem przenośnika jest kosz zasypowy, którego zadaniem jest równomierne rozmieszczenie surowca na taśmie. Dodatkowo w niektórych miejscach montowane są urządzenia czyszczące, które ułatwiają konserwacje i zmniejszają ryzyko wystąpienia awarii związanej z zanieczyszczeniem taśmy (Hardygóra, i inni, 1999). Schemat poglądowy przenośnika taśmowego został przedstawiony na rysunku nr 1.



Rysunek 1. Uproszczony schemat przenośnika taśmowego (Hardygóra i inni, 1999)

1.2. Taśma przenośnikowa

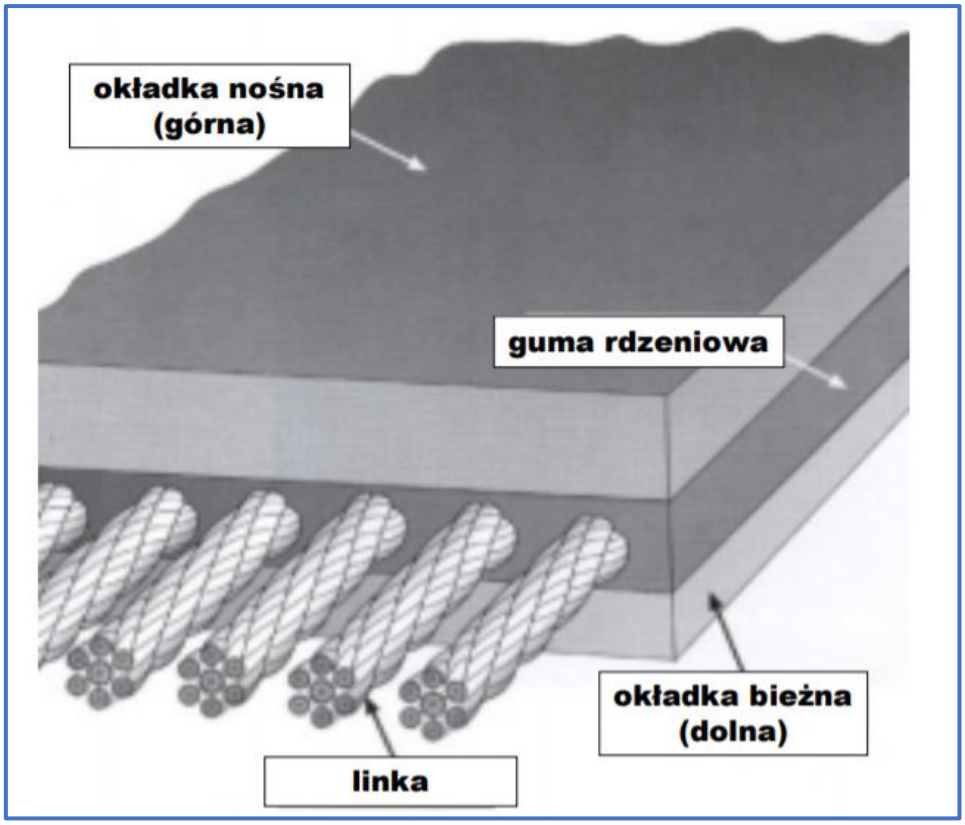
Najważniejszym, a także najdroższym elementem przenośnika taśmowego jest taśma przenośnikowa. Koszt taśmy szacowany jest na poziomie 50-60% wartości całego urządzenia. Jest to także część, która najczęściej ulega awariom. Prowadzone są więc liczne badania tego elementu, aby zwiększyć jego wytrzymałość i trwałość przy jednoczesnym zredukowaniu kosztów (Hardygóra i inni, 1999).

Budowa taśmy przenośnikowej jest dość prosta i można wyróżnić w niej 3 elementy: rdzeń, okładki oraz obrzeża. Najważniejszym elementem jest niewątpliwie rdzeń, który przenosi siły wzdłużne, które wytwarzają się w momencie, gdy taśma przeciwstawia się oporom ruchu oraz, gdy przechwytuje obciążenia dynamiczne powstające w chwili spadania na nią urobku. Rdzeń chroniony dzięki okładce nośnej oraz bieżnej i obrzeża. Elementy te osłaniają go przed uszkodzeniami mechanicznymi, a także niekorzystnym działaniem warunków atmosferycznych oraz środków chemicznych i biologicznych (Hardygóra i inny, 1999).

Wyróżnia się kilka podziałów taśm ze względu na różne kryteria. Najczęściej stosowanym kryterium jest rodzaj rdzenia, gdzie wyodrębnia się taśmy z rdzeniem tekstylnym oraz taśmy z linkami stalowymi. W dalszej części skupię się na opisie taśm z linkami stalowymi, gdyż to one posłużyły do dalszych badań.

Taśmy z linkami stalowymi ze względu na większą wytrzymałość, w porównaniu z taśmami z rdzeniem tekstylnym, wykorzystywane są w cięższych warunkach eksploatacji. Rdzeń taśmy zbudowany jest z linek stalowych rozmieszczonych wzdłuż

taśmy równolegle względem sobie. Linki ułożone są na przemian lewo- i prawoskrętnie. Wyróżnia się linki o różniej ilości splotów, a najczęściej stosowanymi są linki siedmiosplotowe. W splocie występuje najczęściej siedem, dwanaście lub dziewiętnaście drutów. Linki mają znaczący na wytrzymałość taśmy (Hardygóra M, Żur T., 1996). Przekrój taśmy przenośnikowej z linkami stalowymi został przedstawiony na rysunku nr 2.



Rysunek 2. Schemat budowy taśmy przenośnikowej z linkami stalowymi
(Kulinowski, 2020)

Linki otoczone są gumą, o odpowiedniej jakości. Materiał na gumę musi charakteryzować się odpowiednimi parametrami wytrzymałościowymi na rozrywanie oraz ścieranie. Okładki oraz obrzeża muszą posiadać także dużą odporność na przebicia, które mogą być powodowane przez transport urobku o ostrych i nieregularnych krawędziach oraz o znaczących wielkościach (Hardygóra i inni, 1999).

Do zalet taśm ST należy wyższa wytrzymałość na rozciąganie oraz dłuższa żywotność w zestawieniu z taśmami z rdzeniem tekstylnym. Dodatkowo wydłużenia tych taśm są krótsze i cechują się one odpornością na rozwarstwianie oraz bez większych problemów układają się w odpowiedni kształt. Niewątpliwym plusem jest także fakt, że koszty napraw oraz konserwacji taśm z linkami stalowymi są niższe, a w wyniku

prawidłowego wykonania złącza, jego wytrzymałość jest zbliżona do nominalnej wytrzymałości taśmy. Słabym punktem tych taśm jest natomiast waga oraz cena. Są one droższe i posiadają większą masę w porównaniu z taśmami tekstylnymi. Może to utrudniać transport i montaż. Także wykonanie złącza może być bardziej czasochłonne (Hardygóra i inni, 1999).

1.3. Diagnostyka taśm przenośnikowych

Aktualne możliwości techniczne pozwalają na monitorowanie pracy wielu urządzeń mechanicznych. Maszyny są oczujnikowane, co powala monitorować ich pracę oraz oceniać na bieżąco ich stan. Służy to do szybszego wykrywania i zapobiegania awarii. W przenośniku taśmowym takie systemy stosowane są w układzie napędowym, bębnach oraz krążnikach. Stale rozwija się także diagnostyka obejmująca taśmy przenośnikowe oraz ich połączenia (Błażej, 2018).

Stale rosnąca ilość mas transportowana na przenośnikach oraz wzrost odległości, na które przenoszony jest urobek spowodowało jeszcze szybszy rozwój diagnostyki stanu taśm. Mimo, że na przestrzeni lat podnoszona jest ich wytrzymałość i trwałość nadal ulegają one awariom. Wcześniejsze wykrycie uszkodzeń pozwala zmniejszyć straty powstałe w wyniku postojów i daje możliwość kilkukrotnej naprawy taśmy, co prowadzi do tego, że koszt zakupu urządzeń do diagnostyki taśm szybko się zwraca (Błażej, 2018).

W diagnostyce taśm przenośnikowych największą uwagę poświęcono bezinwazyjnym metodom (NDT), które nie wpływają w żaden sposób na wytrzymałość oraz strukturę monitorowanego obiektu. Systemy te mogą pracować w układach prostych składają się z zazwyczaj z pojedynczych kamer wizyjnych, kamer termowizyjnych oraz czujników odległościowych laserowych, czy ultradźwiękowych. Wyróżnia się także systemy złożone, które wykorzystują kilka tych elementów naraz. To jakie czujniki i w jakich ilościach będą zastosowane zależy od rodzaju i charakterystyki pracy analizowanego przedmiotu, warunków, w których system będzie pracował oraz wymagań osoby zlecającej badanie. Jedną z takich technologii jest inteligentny system do diagnostyki taśm Diagbelt. Został on opracowany w Zakładzie Systemów Maszynowych na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej (Błażej, 2018). Dokładny opis tego systemu znajduje się w rozdziale 3. tej pracy.

1.4. Pole magnetyczne i jego właściwości

Metody diagnostyczne NDT bazują między innymi na właściwościach magnetycznych. Dzięki metodom magnetycznym badań otrzymuje się dane na temat uszkodzonych linek i połączeń w taśmie z rdzeniem z linkami stalowymi, które wcześniej poddano namagnesowaniu. Badania nad pierwszym systemem magnetycznym rozpoczął w latach 80. XX w. Alex Harisson. Od tamtego czasu opracowano na świecie kilka systemów do wykrywania uszkodzeń (Błażej i inni, 2018).

Systemy magnetyczne badające rdzenie taśm oceniają ich stan dzięki zmianom pola magnetycznego. Z fizycznego punktu widzenia pole magnetyczne jest obszarem, w którym na poruszające się ładunki elektryczne lub obiekty mające moment magnetyczny działa siła. Pole magnetyczne można opisać za pomocą trzech parametrów:

- indukcji pola magnetycznego – B,
- natężenia pola magnetycznego – H,
- polaryzacji magnetycznej (namagnesowania) – M.

Wynika z nich zależność:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \quad \left[\frac{A}{m}\right] \tag{1}$$

gdzie:

- $\vec{H}$ – wektor natężenia pola magnetycznego, $\left[\frac{A}{m}\right]$,
- $\vec{B}$ – wektor indukcji pola magnetycznego, $[F]$,
- μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni, $\left[\frac{T \cdot m}{A}\right]$,
- $\vec{M}$ – wektor namagnesowania.

Z powyższego równania wynika, że wektor pola magnetycznego można wyrazić jako:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \left(\vec{H} + \vec{M}\right) \quad \left[\frac{A}{m}\right] \tag{2}$$

Powyższa relacja jest podstawową zależnością odnoszącą się do ośrodków materialnych (Michalski, 2013).

Indukcja magnetyczna jest to również stosunek wielkości siły oddziaływującej na naładowaną cząstkę ładunkiem q, która porusza się w kierunku prostopadłym do linii pola, do iloczynu jej prędkości i wielkości tego ładunku, co opisuje poniższe równanie:

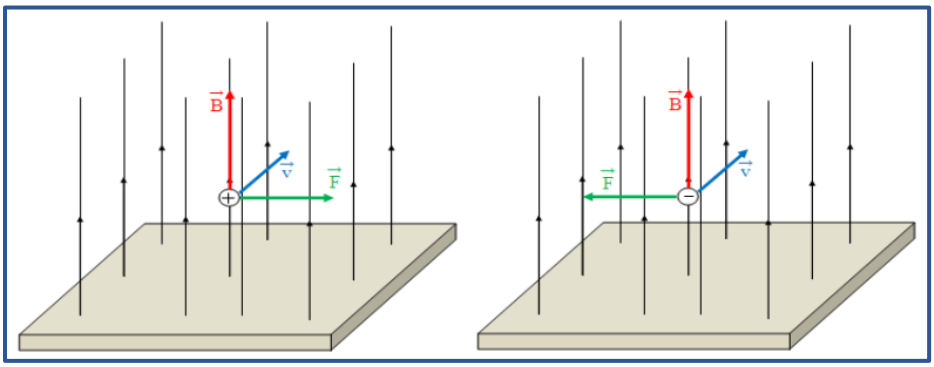
$$B = \frac{F}{|q| \cdot v} \quad [T] \tag{3}$$

gdzie:

- q – ładunek elektryczny cząstki, $[C]$,
- v – prędkość ładunku, $\left[\frac{m}{s}\right]$.
- F – siła Lorentza, $[N]$ (ilf.fizyka.pw.edu.pl).

Siła Lorentza F jest siłą odziaływującą na cząstkę posiadającą ładunek elektryczny i poruszającą się w polu magnetycznym. W momencie, gdy ładunek jest w spoczynku nie wytwarza on pola magnetycznego. Ruch cząstki posiadającej ładunek elektryczny w polu magnetycznym powoduje oddziaływanie na siebie 2 pól magnetycznych. Jedno pole istniało już wcześniej, natomiast drugie powstało przez poruszający się ładunek. Wektor siły Lorenza działa prostopadle do kierunku wektora prędkości oraz do kierunku wektora indukcji magnetycznej. Na poniższym rysunku przedstawiono wpływ siły Lorentza na cząstkę naładowaną dodatnio oraz ujemnie. Wartość siły można wyznaczyć za pomocą wzoru:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad [N] \tag{4}$$



Rysunek 3. Wpływ siły Lorentza na cząstkę naładowaną dodatnie oraz ujemne (naukowiec.org, 2020)

Wszystkie materiały charakteryzują się własnościami magnetycznymi, jednak ze względu na różną siłę oddziaływania z polem magnetycznym wyróżnia się kilka rodzajów magnetyzmu. O podziale decyduje wielkość bezwymiarowego współczynnika przenikalności magnetycznej μ_r danego materiału. Do podstawowych magnetyków należą:

- diamagnetyki, $\mu_r < 1$,
- paramagnetyki, $\mu_r > 1$,

- ferromagnetyki (antyferromagnetyki, ferrimagnetyki), μ_r osiąga bardzo duże wartości (magnesy.net, 2020).

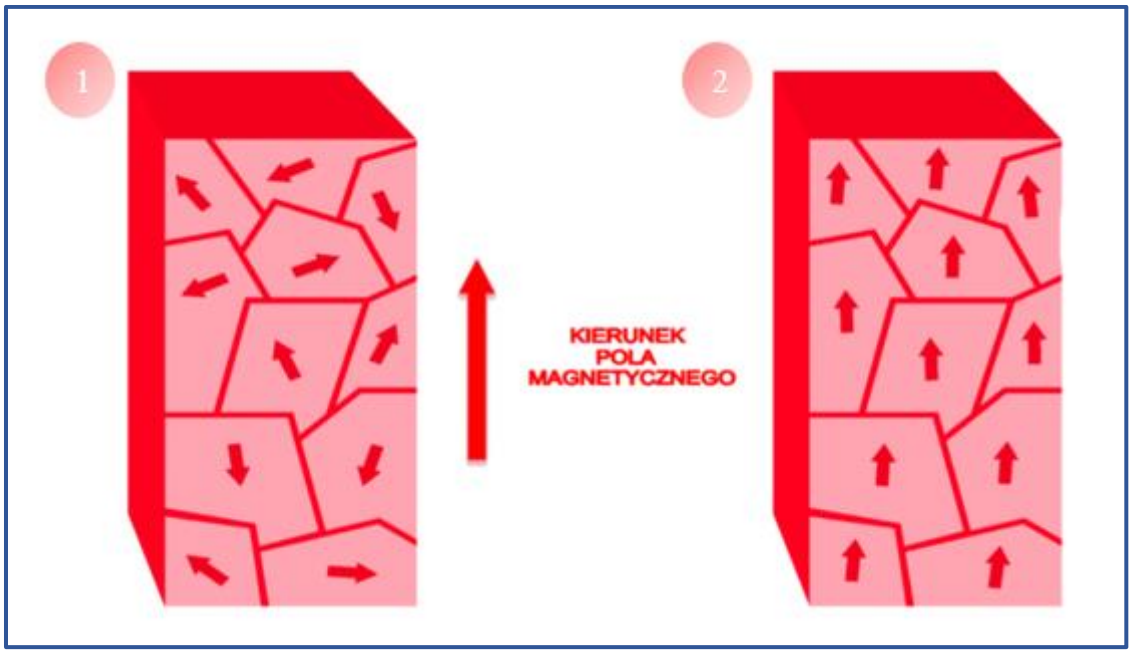
Atomy, z których zbudowane są diamagnetyki, posiadają wypadkowy moment magnetyczny równy 0. Materiały te nie posiadają własnego pola magnetycznego, jednak gdy umieszczone zostaną w zewnętrznym polu magnetycznym elektrony zaczynają się poruszać i powstaje wypadkowy moment sił. Wypadkowe pole wytworzone dzięki wszystkim atomom w próbce będzie skierowane przeciwnie do zewnętrznego pola magnetycznego. Prowadzi to do zmniejszenia wartości jego indukcji. Zatem w polu magnetycznym diamagnetyki magnesują się słabo. Przykładami substancji należących do tej grupy są m.in.: gazy szlachetne, woda, szkło, wiele metali (np. złoto, srebro, miedź i rtęć) oraz znaczna część substancji organicznych (ilf.fizyka.pw.edu.pl, 2020).

W paramagnetykach mamy do czynienia z wypadkowymi momentami magnetycznymi. W atomach tych substancji występują ruchy cieplne atomów, które powodują brak uporządkowania magnetycznego. Prowadzi to do uzyskania momentu magnetycznego o wiele mniejszego od maksymalnego, który mógłby być uzyskany, gdyby atomy ustawione były zgodnie z kierunkiem pola zewnętrznego. Wówczas moment magnetyczny równy byłby iloczynowi ilości atomów i ich momentu magnetycznego (ilf.fizyka.pw.edu.pl, 2020). Paramagnetyki lepiej magnesują w polu zewnętrznym w porównaniu z diamagnetykami. Im silniejsze jest to pole, tym ustawienie momentów magnetycznych atomów jest bardziej uporządkowane (Michalski, 2013).

Ferromagnetyki cechują się wielką przenikalnością magnetyczną i tym, że występują tylko jako ciała stałe, co wyróżnia ich na pozostałych magnetyków. Gdy zmienia się ich stan skupienia na ciekły bądź gazowy zachowują się one tak, jak paramagnetyki. Należy także wspomnieć o temperaturze, która wpływa na uporządkowanie momentów magnetycznych. W momencie wzrostu temperatury do tzw. punktu Curie, ferromagnetyk staje się paramagnetykiem. Temperatura ta jest charakterystyczna dla danej substancji i np. dla żelaza wynosi 1043 K, a dla niklu 627 K (iilf.fizyka.pw.edu.pl, 2020). Ważne jest też to, że w momencie przekroczenia tego punktu nie dochodzi do zniszczenia ferromagnetyków. Ponowny spadek temperatury powoduje, że ustawienie momentów magnetycznych domen staje się znów w miarę uporządkowane (Michalski, 2013).

Ferromagnetyki posiadają obszary samoistnego uporządkowania, które nazywają się domenami. W momencie, gdy nie znajdował się on wcześniej w pobliżu działania

pola magnetycznego kierunek momentów magnetycznych domen jest różny i ferromagnetyk nie wykazuje namagnesowania. Dopiero po umieszczeniu materiału w polu magnetycznym dochodzi do jednakowego ustawienia momentów magnetycznych (Michalski, 2013). Schemat działania tego zjawiska przedstawiony został na rysunku nr 4.



Rysunek 4. Uporządkowanie momentów magnetycznych domen (1 - przy braku pola zewnętrznego, 2 - w obecności pola zewnętrznego) (iviter.pl, 2020)

Ze względu na zastosowanie, ferromagnetyki można podzielić na: miękkie, półtwarde oraz twarde. Ferromagnetyki twarde zachowują stan namagnesowania po usunięciu zewnętrznego pola magnetycznego, czym różnią się od miękkich i półtwardych u których namagnesowanie jest dość łatwe do usunięcia. Cecha ta powoduje, że ferromagnetyki twarde stosowane są do produkcji magnesów trwałych (iviter.pl, 2020).

Do opisania własności magnetycznych ferromagnetyków używane są wykresy zależności indukcji magnetycznej *B* od natężenia pola magnetycznego *H*. Wyodrębnia się następujące charakterystyki namagnesowania:

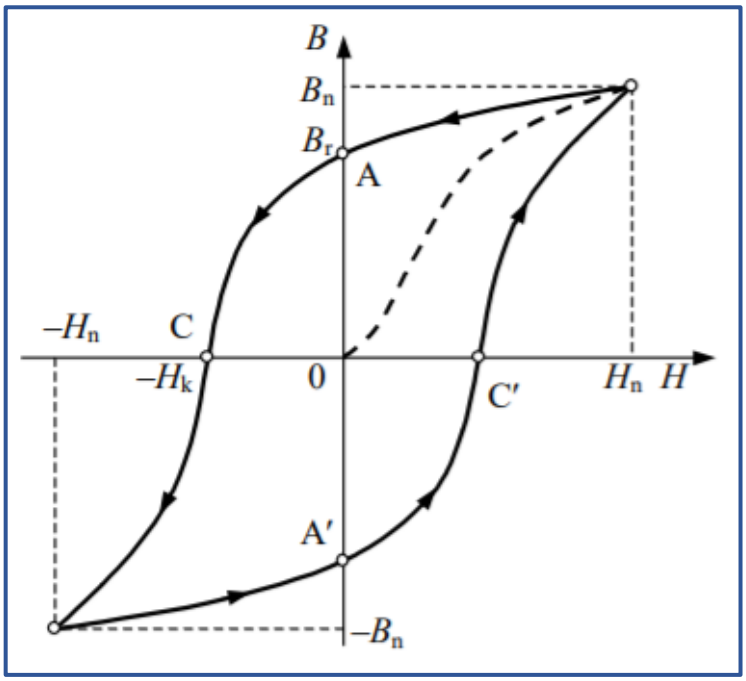
- krzywa pierwotna magnesowania,
- statyczna pętla histerezy magnetycznej,
- statyczna podstawowa krzywa magnesowania,
- dynamiczna pętla histerezy magnetycznej,
- dynamiczna krzywa magnesowania.

Krzywa pierwotna magnesowania otrzymuje się dla ferromagnetyka, który magnesowany jest po raz pierwszy. Wzrost natężenia pola H wzrasta monotonicznie. Krzywa pierwotna została przedstawiona na rysunku nr 5 linią przerywaną.

W wyniku wielokrotnego magnesowania ferromagnetyka od wartości $-H_{max}$ do $+H_{max}$ i w drugą stronę otrzymuje się krzywą zamkniętą, zwaną pętlą histerezy. Krzywa ta jest symetryczna. Znajduje się ona na rysunku nr 5 wraz z jej charakterystycznymi punktami. Pętla dla $H_{max} = H_n$ tworzy na osiach dwa szczególne odcinki:

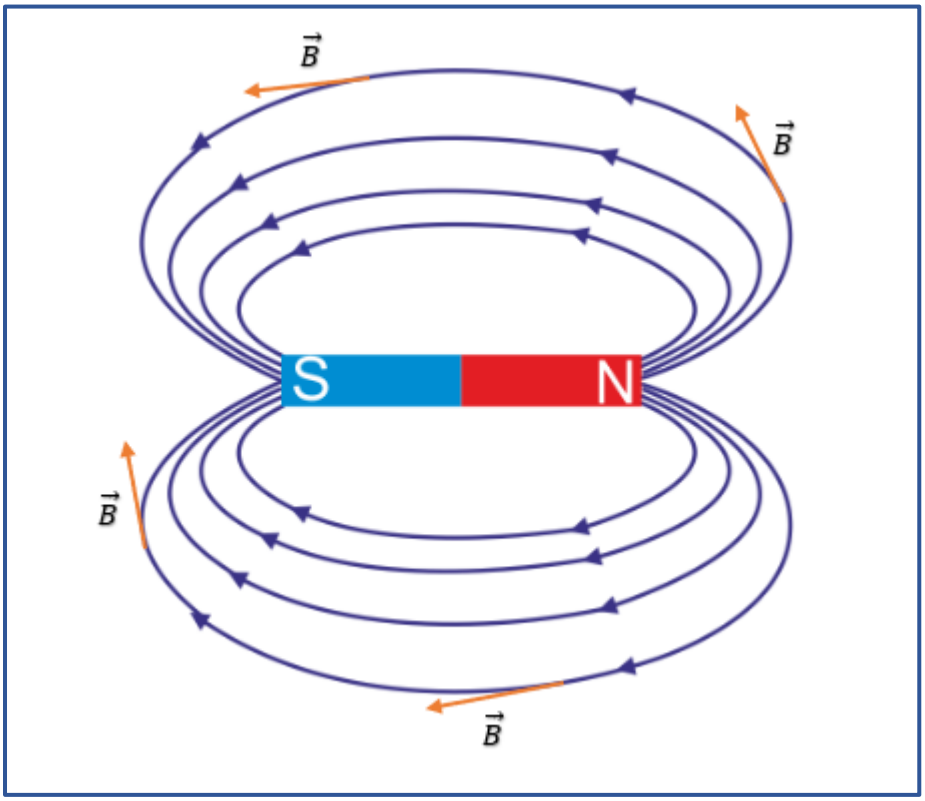
- odcinek $0A = 0A'$, o długości proporcjonalnej do indukcji szczątkowej B_r (remanentu), występującej przy braku natężenia zewnętrznego pola magnetycznego
- odcinek $0C = 0C'$, posiadający długość proporcjonalną do natężenia koercji H_k, czyli zewnętrznego natężenia pola magnetycznego wymaganego do całkowitego rozmagnesowania (zstio-elektronika.pl).

Krzywa histerezy dla substancji magnetycznych twardych posiada szeroką pętlę przy równocześnie dużej wartości H_k i zazwyczaj dużej wartości B_r. Dlatego też nadają się one do tworzenia magnesów trwałych oraz do wykorzystania w obwodach prądu stałego (zstio-elektronika.pl).



Rysunek 5. Pętla histerezy dla kilkukrotnego przemagnesowania wraz z zaznaczoną krzywą pierwotnego namagnesowania (zstio-elektronika.pl)

Graficznie, pole magnetyczne, można przedstawić rysując tzw. linie pola magnetycznego, czyli linie wektora indukcji magnetycznej *B*. Wektory te są styczne do tych linii w każdym punkcie, a gęstość rozmieszczenia linii świadczy o tym jak silne jest pole. Najsilniejsze pole znajduje się w pobliżu biegunów magnetycznych, czyli na końcach magnesu. Linie pola magnetycznego można wyznaczyć za pomocą użycia, np. opiłków żelaza. Ustawiają się one zgodnie z kierunkiem *B* i tym sposobem obrazują linie pola magnetycznego (home.agh.edu.pl, 2020). Schematyczny rozkład linii sił pola magnetycznego wokół magnesu sztabkowego został przedstawiony na rysunku nr 6.



Rysunek 6. Rozkład sił linii pola magnetycznego na przykładzie magnesu sztabkowego (home.agh.edu.pl)

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest wybranie parametrów pomiaru systemem magnetycznym Diagbelt, które posiadają istotny wpływ na otrzymane wyniki badania stanu taśmy przenośnikowej. W związku z tym zagadnieniem przeprowadzono diagnozę taśmy na przenośniku testowym zmieniając wybrane właściwości. W tym celu zmieniana była prędkość taśmy, wysokości mocowania głowicy pomiarowej na konstrukcji przenośnika oraz stosowane były różne progi czułości.

W pracy wykonane zostały badania laboratoryjne za pomocą systemu Diagbelt prowadzone na stanowisko testowym w Akredytowanym Laboratorium Transportu Taśmowego na wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Pomiarom poddana była taśma przenośnikowa z linkami stalowymi, na której wykonano kilka różnych uszkodzeń rdzenia. Następnie wykonano analizę otrzymanych wyników, tak aby sprawdzić, przy których parametrach wyniki badania są najbardziej miarodajne.

Praca i wykonana w niej dogłębna analiza może przyczynić się do ustalenia odpowiednich wartości parametrów, przy których wykonywane badania, już w warunkach rzeczywistych, będą najbardziej odzwierciedlać wykryte uszkodzenia. Równocześnie mogą one wpłynąć pozytywnie na ekonomiczność i czasochłonność wykonywanych analiz.

3. System Diagbelt

Inteligentny system diagnostyczny Diagbelt służy do automatycznego badania oraz stałej diagnozy kondycji taśm przenośnikowych. Jest on efektem wieloletnich badań laboratoryjnych prowadzonych na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej w Zakładzie Systemów Maszynowych. Badaniami kieruje dr hab. inż. Ryszard Błażej, prof. uczelni.

System Diagbelt składa się pięciu modułów:

- modułu wizyjnego,
- modułu magnetycznego,
- modułu przecięć wzdłużnych,
- modułu prognozującego,
- modułu bezpieczeństwa.

Do zalet systemu należy m.in.: wykrywanie przecięć wzdłużnych, możliwość analizy stanu technicznego taśmy, wykrywanie uszkodzeń rdzenia, okładek oraz obrzeży taśmy,

ocena czasu pracy, weryfikacja bezpieczeństwa w trakcie pracy taśmy (Diagbelt.pwr.edu.pl, 2020).

3.1.Moduł wizyjny

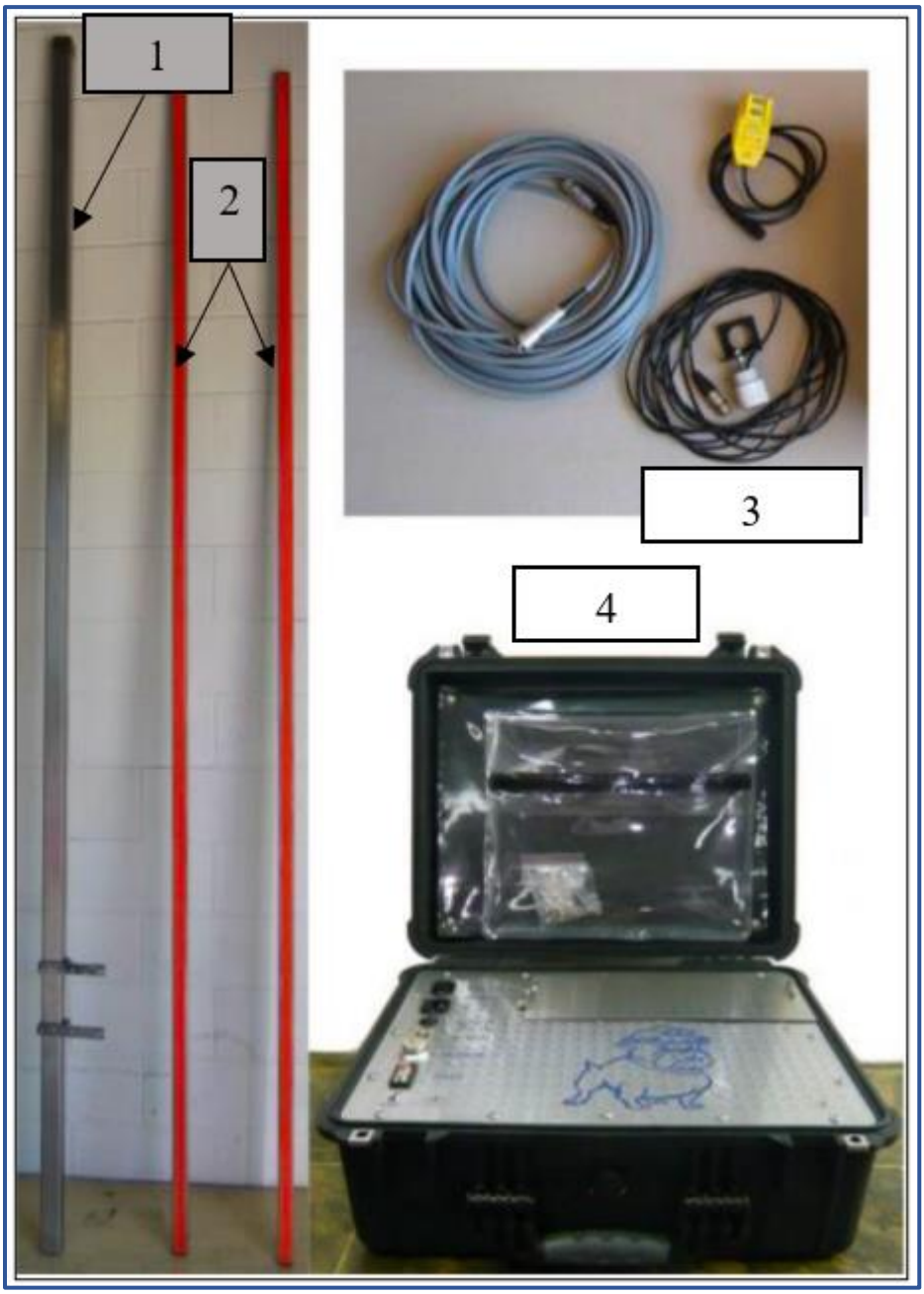
Moduł wizyjny składa się z urządzenia wizyjnego, czyli kamery liniowej. Rejestruje ona cyfrowy obraz defektów występujących na okładkach taśmy oraz algorytmy wykorzystywane do rozpoznania uszkodzeń, a następnie do przeprowadzenia ich późniejszej analizy. Początkowo obraz obejmował taśmy o szerokości do 400 mm. Udoskonalenie systemu pozwoliło na zastosowanie go przy taśmach o większych szerokościach, dochodzących do 2 400 mm. Opracowano również oprogramowanie, które łączy zebrane wyniki o uszkodzeniach taśmy z informacjami pochodzącymi np. z projektowanych czujników mechatronicznych, które przeciwdziałają uszkodzeniom uznawane jako katastroficzne (Błażej i inni, 2015). Na poniższym rysunku przedstawiono stanowisko pracy modułu wizyjnego podczas badania taśmy w warunkach kopalnianych.

Rysunek 7. Stanowisko pracy modułu wizyjnego wykorzystującego kamerę liniową (Błażej i inni, 2015)

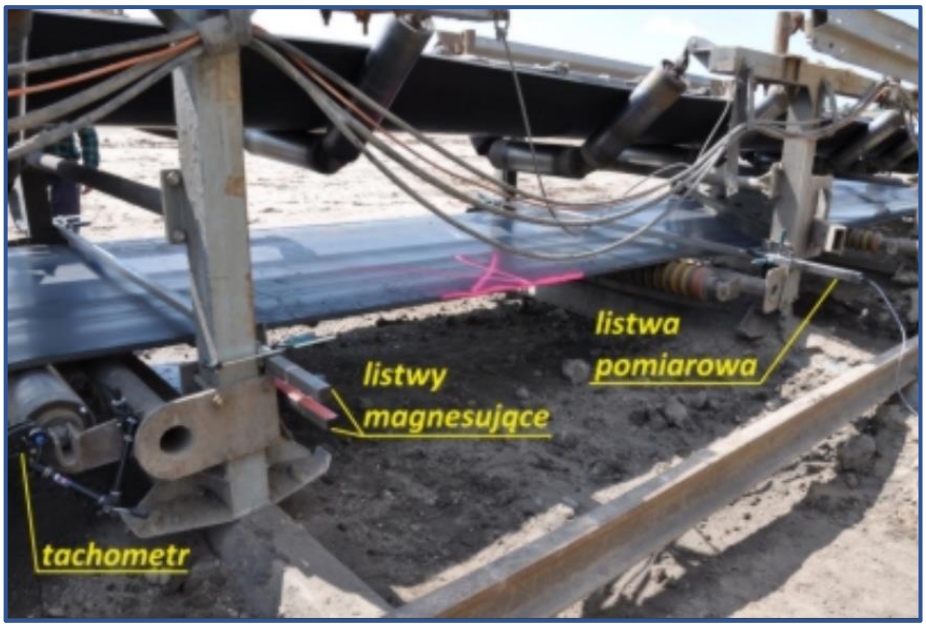
3.2.Moduł magnetyczny

Moduł magnetyczny jest głównym elementem systemu Diagbelt. Najważniejszym składową tego modułu jest głowica pomiarowa BeltGuard, która rejestruje uszkodzenia linek, pęknięcia drutów, czy korozję linek. Wykorzystując odpowiednie algorytmy można przedstawić zmiany sygnału pomiarowego na dwuwymiarowym obrazie zawierającym stan uszkodzeń rdzenia w całym przebiegu taśmy. Głowica pomiarowa zbudowana jest łącznie ze 112 cewek (7 modułów, po 16 cewek każdy), które prowadzą pomiar dwubiegunowy. Sygnały odbierane przez cewki są wzmacniane i przesyłane do rejestratora. W programie można manipulować czułością cewek oraz zmieniać częstość pomiaru (Błażej, 2018).

Badanie modułem magnetycznym wymaga namagnesowania linek rdzenia w stałym polu magnetycznym. Służą do tego dwie listy magnesu stałego, które montowane są pod i nad taśmą w odpowiedniej odległości. Po tej operacji montowana jest nad taśmą głowica pomiarowa. Dodatkowo w trakcie pomiaru, za pomocą tachometru rejestrowana jest prędkość, z którą porusza się taśma na przenośniku taśmowym. Dane otrzymane w trakcie badania trafiają do urządzenia zbierającego dane, a dalej do komputera mobilnego z wymaganym oprogramowaniem. Elementy składowe modułu zostały przedstawione na rysunku nr 8, natomiast przykład zamontowania systemu w warunkach kopalnianych obrazuje rysunek nr 9.



Rysunek 8. Składowe modułu magnetycznego (1 - listwa pomiarowa, 2 - listwy magnesu stałego, 3 - tachometr, 4 – rejestrator) (Diagbelt.pwr.edu.pl)



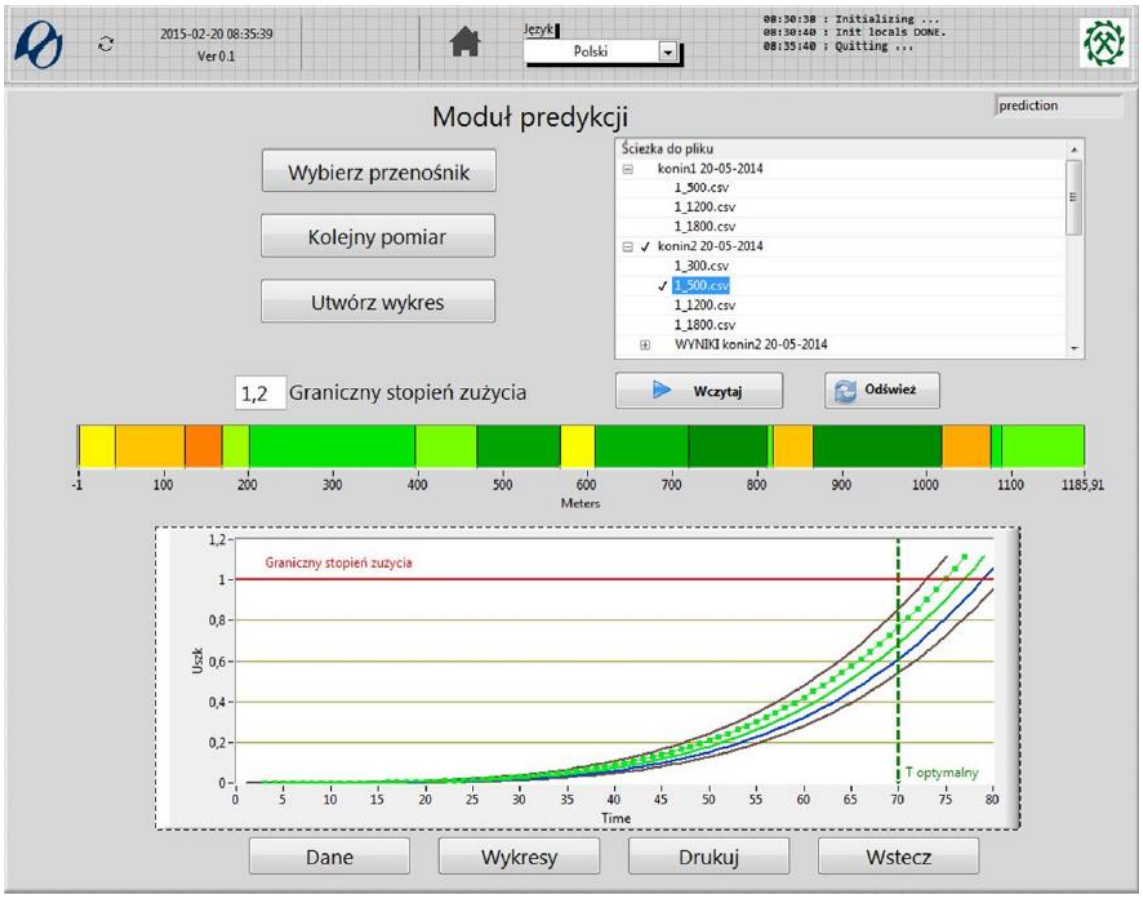
Rysunek 9. Przykładowe stanowisko pomiarowe sytemu Diagblet (diagblet.pwr.edu.pl)

W trakcie montażu listwy pomiarowej do konstrukcji przenośnika należy zwrócić uwagę na to, aby znajdowała się ona nad płaskim odcinkiem taśmy, najlepiej niedaleko krążnika. Takie ustawienie powoduje stałą odległość taśmy od głowicy w trakcie jej ruchu. Istnieje wówczas mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska drgania lub falowania taśmy, co wpływa niekorzystnie na otrzymane wyniki (Błażej, 2018).

3.3.Moduł prognozujący

Moduł prognozujący opiera się na odnotowanych uszkodzeniach pochodzących z różnych okresów do predykcji ich postępu w późniejszym okresie. Stopień uszkodzenia taśmy porównywany jest do kolejnych etapów rozwoju organizmów żywych. Przystosowuje się w tym celu ewolucyjny algorytm genetyczny. Szybkość rozwoju populacji jest dopasowywana i utożsamiana z zarejestrowanymi gradientami zmian faz uszkodzeń. Dzięki badaniom stwierdzono, że tempo przyrostu gęstości uszkodzeń zależy od upływającego czasu pracy oraz od długości przenośnika. Przyrost ten można określić funkcją potęgową (Błażej i inni, 2014).

Moduł prognozujący, jak sama nazwa wskazuje, pomaga określić odpowiedni moment na wymianę, bądź naprawę taśmy. Pozwala to także na wcześniejsze zaplanowanie postoju przenośnika w celu jej regeneracji (Błażej i inni, 2014). Widok okna głównego tego modułu znajduje się na rysunku poniżej.



Rysunek 10. Okno główne modułu prognozującego (Błażej i inni, 2015)

3.4.Moduł prewencyjny

Moduł prewencyjny, inaczej moduł przecięć wzdłużnych, wykorzystuje dane z modułu wizyjnego i czujników mechatronicznych, tak aby uniknąć postojów awaryjnych przenośników spowodowanych przez olbrzymie uszkodzenia taśmy. Do takich awarii dochodzi w momencie, gdy taśma ulegnie rozcięciu. Skutkiem tego jest zmniejszenie, poprzez nałożenie się dwóch części taśmy, jej szerokości lub też zwiększenie w momencie rozchylenia pod siłą nacisku urobku. W momencie odnotowania zmian w wymiarze poprzecznym taśmy przy jednoczesnym otrzymywaniu sygnałów z czujników mechatronicznych i obrazu z modułu wizyjnego przenośnik może zostać zatrzymany. Dzięki temu uniknie się dalszego rozcięcia taśmy, co pozwoli uniknąć strat ekonomicznych związanych z dłuższym wstrzymaniem produkcji i transportu oraz kosztami zniszczenia taśmy i usunięcia rozsypanego materiały (Diagbelt.pwr.edu.pl).

Poza pomiarem szerokości taśmy moduł przecięć wzdłużnych pozwala także na zbieranie dane o uszkodzeniach obrzeży oraz zbieganiu taśmy. W celu zwiększenia

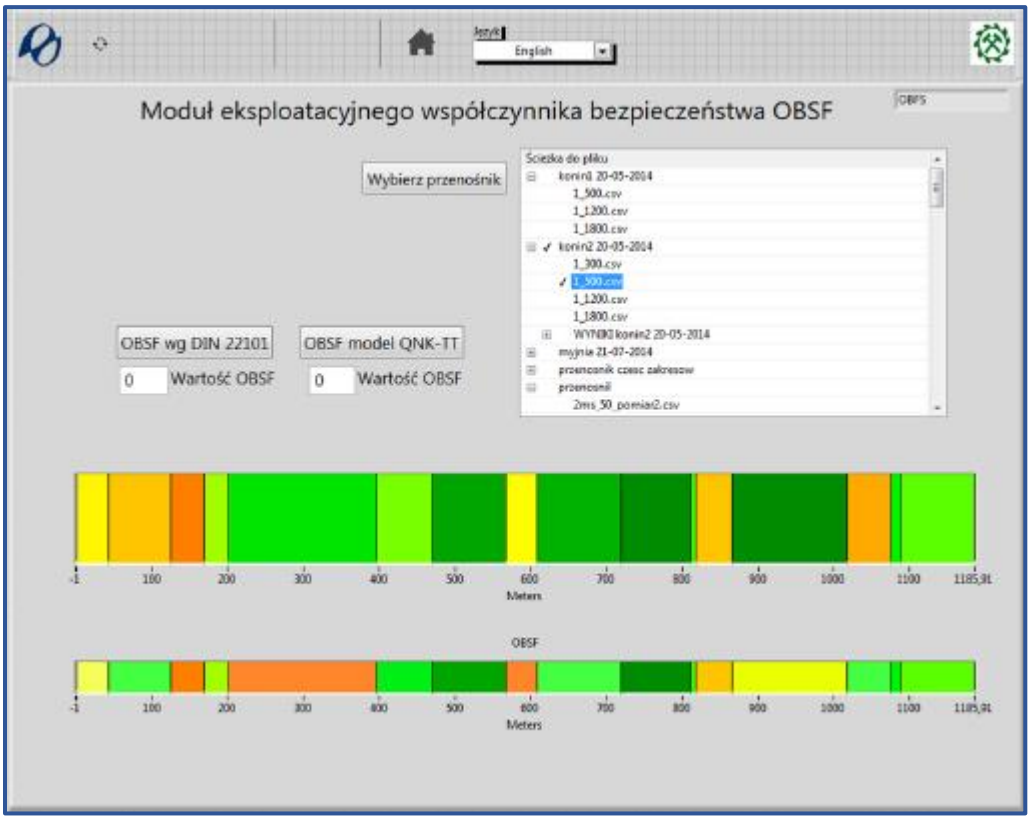
uniknięcia niepotrzebnego alarmowania system wyposażony jest w dwie bramki pomiarowe. Zdjęcie stanowiska pomiarowego prezentuje rysunek 11.

Rysunek 11. Bramka pomiarowa modułu prewencyjnego zamontowanego na przenośniku testowym (Błażej i inni, 2015)

3.5.Moduł bezpieczeństwa

W wyniku zastosowania modułu bezpieczeństwa wyznaczany i monitorowany jest eksploatacyjny współczynnik bezpieczeństwa pracy OBSF. Parametr ten zdefiniowany został w oparciu o innowacyjne metody wyznaczania sił i oporów ruchu występujących w taśmie oraz rozwój w wykonywaniu złączy taśm i technologii diagnostyki taśm ST. Współczynnik wskazuje stopień w jakim taśma z uszkodzeniami rdzenia jest w stanie przenieść naprężenia powstające wzdłuż trasy przenośnika podczas ruchu ustalonego i nieustalonego (diagbelt.pwr.edu.pl).

Moduł bezpieczeństwa współdziała z oprogramowaniem QNK-TT, który służy do obliczania przenośników taśmowych. W programie obliczane są opory ruchu przenośnika za pomocą metody podstawowej lub metodą oporów jednostkowych. Dodatkowo pozwala ocenić jaki wpływ na nadwyżkę siły dynamicznej w taśmie w ruchu nieustalonym ma dobór i regulacja urządzeń rozruchowych i napinających (Błażej i inni, 2015). Interfejs okna głównego tego modułu prezentuje zdjęcie nr 12.



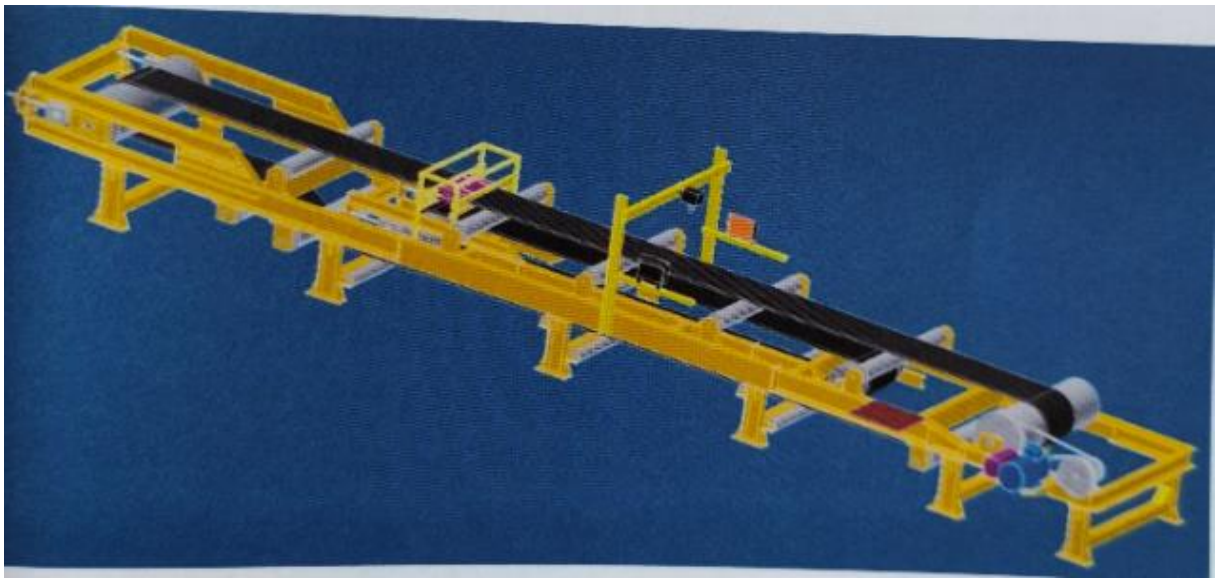
Rysunek 12. Okno główne modułu bezpieczeństwa (Błażej i inni, 2015)

4. Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzone były na stanowisku badawczym Akredytowanego Laboratorium Transportu Taśmowego na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Stanowisko badawcze składało się z przenośnika testowego, którego budowa odzwierciedlała przenośniki stosowane w kopalniach. W skład wchodziła stalowa konstrukcja, do której zamontowane były zestawy krążnikowe, bęben napędowy i zwrotny oraz układ napinający taśmę. Badania odbywały się na taśmie typu St 1600 o szerokości 400 mm, a długość pętli wynosiła około 18,5 metra. Rdzeń taśmy zbudowany był z linek stalowych o średnicy 5,2 mm, a odległość między linkami wynosiła około 10 mm. Schemat stanowiska badawczego został przedstawiony na rysunku nr 13.

W trakcie badań do przenośnika testowego za pomocą odpowiednich uchwytów przymocowane były listwy magnesujące, głowica pomiarowa oraz tachometr.



Rysunek 13. Schemat przenośnika testowego (Błażej, 2018)

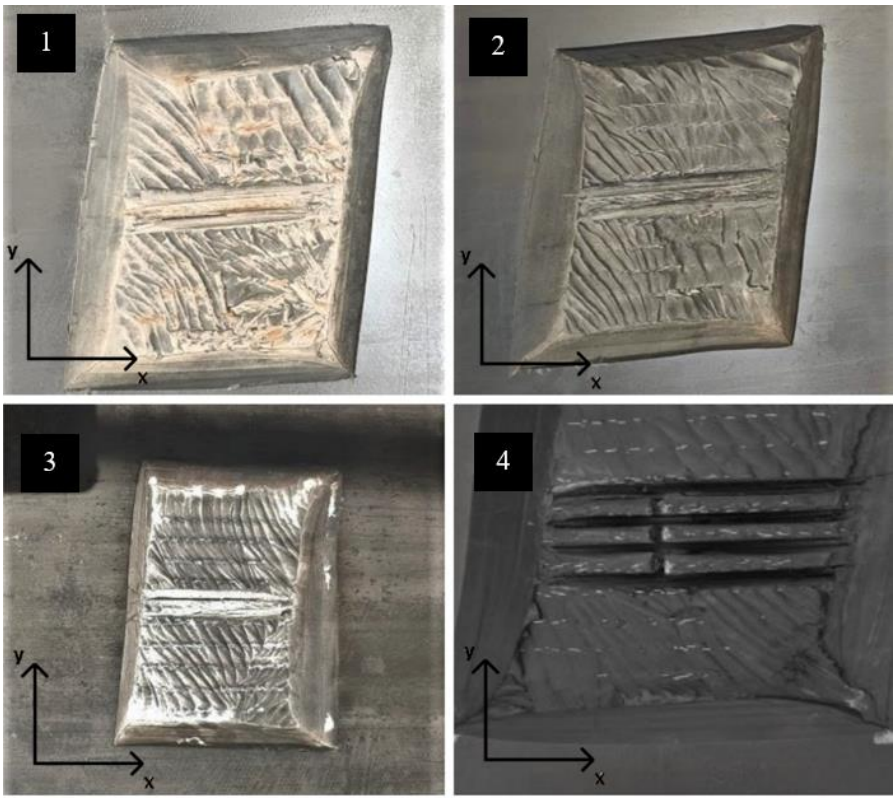
Badana taśma posiadała 8 ręcznie wykonanych wcześniej uszkodzeń. Ich wielkość oraz rodzaj miały na celu odwzorować uszkodzenia taśmy powstałe w tracie pracy w kopalni. Były to:

- dwa częściowe uszkodzenia jednej linki: około 20% ubytku w przekroju poprzecznym linki oraz około 50% ubytku w przekroju poprzecznym linki,
- trzy przecięcia poprzeczne: jednej linki (szczelina 1 mm), trzech linek (szczelina 2 mm) oraz sześciu linek (szczelina 2 mm)
- trzy braki linek: jednej na długości 20 mm, jednej na długości 100 mm oraz trzech na odległości 100 mm;

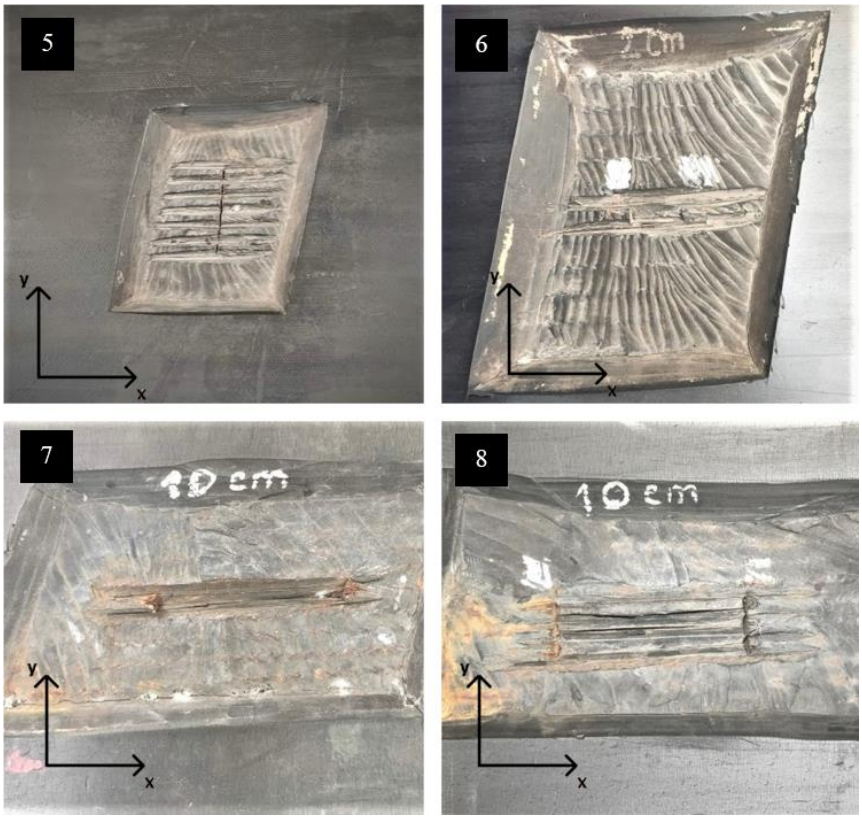
Zdjęcia wykonanych uszkodzeń zostały przedstawione na rysunku 14 i 15. Rzeczywiste wymiary uszkodzeń i ich powierzchnia zostały przedstawione w tabeli nr 1. Z uwagi na małe powierzchnie uszkodzeń częściowych linki nie zostały one umieszczone w tej tabeli.

Ponadto fragment jednej linki poddano korozji. Zdjęcia z przebiegu tego procesu, uwzgledniające trzy stadia korozji zostały przedstawione na rysunku nr 16.

Dodatkowo w pętli taśmy występuje 5 połączeń taśmy. Schemat badanej taśmy obrazuje rysunek nr 17.



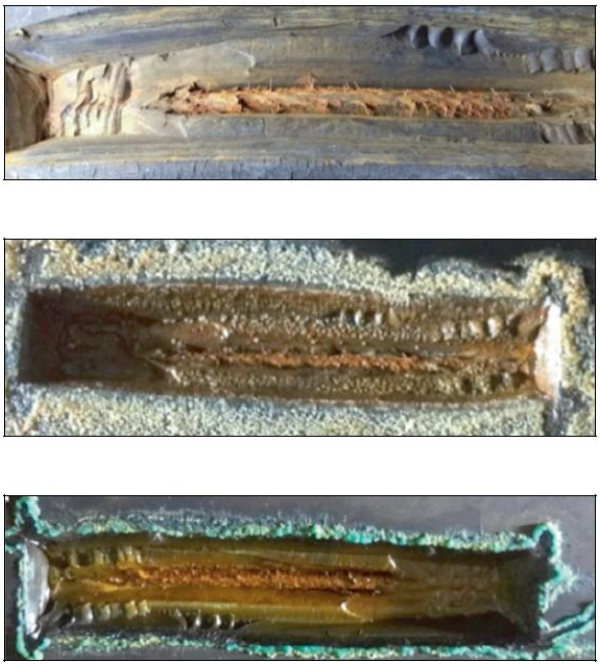
Rysunek 14. Uszkodzenia 1.-4. taśmy wraz z kierunkiem (oś x – po długości taśmy, oś y – po szerokości taśmy)



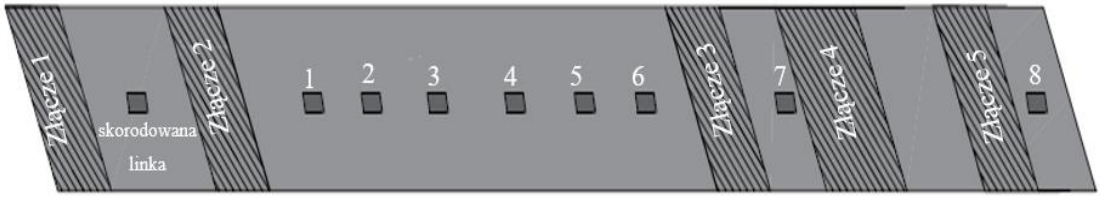
Rysunek 15. Uszkodzenia 5.-8. taśmy wraz kierunkiem (oś x – po długości taśmy, oś y – po szerokości taśmy)

Tabela 1. Wymiary i powierzchnia rzeczywista poszczególnych uszkodzeń

Uszkodzenie	**Typ uszkodzenia**	**Wymiar w kierunku x**	**Wymiar w kierunku y**	**Rzeczywista powierzchnia uszkodzenia**
		mm	mm	mm^2
3.	przecięcie 1 linki, szczelina 1 mm	1	5,2	5,2
4.	przecięcie 3 linek, szczelina 2 mm	2	35,6	71,2
5.	przecięcie 6 linek, szczelina 2 mm	2	81,2	162,4
6.	wycięcie linki na odległości 2 cm	20	5,2	104,0
7.	wycięcie linki na odległości 10 cm	100	5,2	520,0
8.	wycięcie 3 linek na odległości 10 cm	100	15,6	3560,0



Rysunek 16. Skorodowana linka w trzech stadiach procesu (od góry I stadium korozji, II stadium korozji, 3 stadium korozji) (Błażej, 2018)



Rysunek 17. Schemat badanej taśmy wraz z lokalizacjami uszkodzeń (1.-6.) i złączy

5. Metodyka badań

Badanie zostało przeprowadzone w kilku krokach. Pierwszym etapem było zamontowanie do przenośnika, za pomocą odpowiednich uchwytów, dwóch listw magnesujących w odpowiedniej odległości od okładki nośnej i bieżnej. W trakcie tego procesu taśma poruszała się z prędkością 2 m/s. Czas magnesowania rdzenia był równoznaczny z czasem przejazdu kilkunastu pętli taśmy. Na rysunku 18 przedstawiono zdjęcie z etapu magnesowania, natomiast rysunek 19 obrazuje odległości w jakich listwy znajdowały się od badanej taśmy.

Rysunek 18. Listy magnesujące przymocowanego do konstrukcji przenośnika taśmowego

Rysunek 19. Odległość listw magnesujących od taśmy

Dodatkowo do przenośnika testowego zamontowano tachometr. Magnes został umieszczony na dolnym krążniku o średnicy 420 mm. Wysyłał on w trakcie obrotu sygnał do aparatury i w ten sposób uzyskiwano ciągły pomiar prędkości. Sposób zamontowania obrazuje poniższe zdjęcie.

Rysunek 20. Zamontowany tachometr na przenośniku testowym

Po odpowiednim namagnesowaniu rdzenia wymontowano listwy magnesujące, a w miejsce listwy górnej zamontowano głowicę pomiarową. Ważne w tym wszystkim było, aby listwa pomiarowa była zlokalizowana w miejscu, w którym nie występują drgania, ani falowanie taśmy. Każde takie zjawisko spowodowałoby otrzymanie wyników obarczonych błędem. Listwa musiała być także zamontowana w odpowiedniej odległości od rdzenia.

Przedostatni etap wiązał się ze sprawdzeniem poprawności działania systemu oraz każdego jego elementu. Analizowany był stan namagnesowania linek, dane dotyczące prędkości z tachometru, a także zamontowanie listwy pomiarowej w odpowiedniej odległości od rdzenia. W momencie, gdy praca wszystkich elementów była prawidłowa można było przejść do wykonywania pomiarów.

Otrzymywany sygnał zależy od kilku parametrów, takich jak: liczba i stopień uszkodzenia linek, średnica linek i podziałka liniowa. Ponad to ważna jest prędkość poruszania się taśmy, stopień namagnesowania linek, wysokość zainstalowania głowicy pomiarowej nad rdzeniem taśmy oraz czułość listwy pomiarowej (Kozłowski i Błażej, 2018).

Badania przeprowadzano średnio dla dziesięciu przejazdów pętli taśmy. Z uwagi na zmiany parametrów pomiary wykonywane były wielokrotnie. Do parametrów tych należała:

- prędkość poruszania się taśmy na przenośniku testowym,
- odległość listwy pomiarowej od rdzenia badanej taśmy,
- czułość głowicy na zmianę pola magnetycznego.

Prędkość taśmy zmieniała się w zakresie 2-5 m/s, co 1 m/s. Prędkość ustalana była za pomocą oprogramowania stresującego przenośnikiem testowym i stale monitorowana zamontowanym tachometrem. Odległość głowicy zmieniana była czterokrotnie, od 20 do 50 mm, co 10 mm. Ostatnim zmiennym parametrem była czułość głowicy na zmianę pola magnetycznego, inaczej próg wykrywalności. Zmiana była możliwa w programie do wykonywania badań. Pomiary wykonane były dla 10 wartości czułości, od 100 do 1000 mV. Zakres zmian został przedstawiony w tabeli nr 2.

Tabela 2. Zakres zmian parametrów badania

Prędkość poruszania się taśmy, m/s									
2			3		4			5	
Odległość głowicy pomiarowej od rdzenia, mm									
20			30		40			50	
Czułość głowicy, mV									
100	150	200	250	300	400	500	600	700	1000

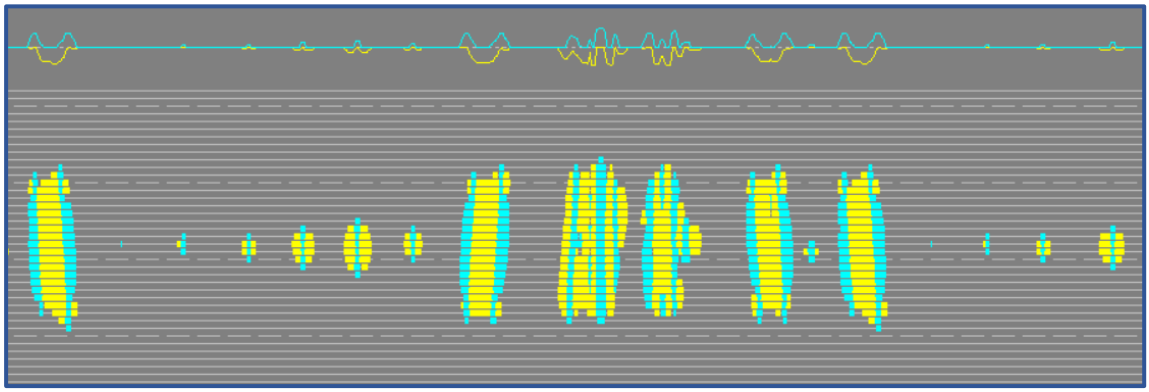
Zmiana odległości głowicy pomiarowej od linek stalowych taśmy była najbardziej czasochłonną operacją, gdyż musiała ona zostać wykonana precyzyjnie. Każdy milimetr odchylenia wartości odległości spowodowałby otrzymanie nierzetelnych wyników. Zdjęcia z pomiarów odległości głowicy od rdzenia prezentuje rysunek nr 21.

Rysunek 21. Ustawienie głowicy pomiarowej w odpowiedniej odległości od rdzenia

Sygnały z listwy pomiarowej zostały przesłane do rejestratora, a stamtąd trafiły do komputera mobilnego. Za pomocą programu komputerowego wyniki zostały przedstawione w formie graficznej. Badania pozwoliły uzyskać szereg danych, które zostały przedstawione i przeanalizowane w dalszych rozdziałach pracy.

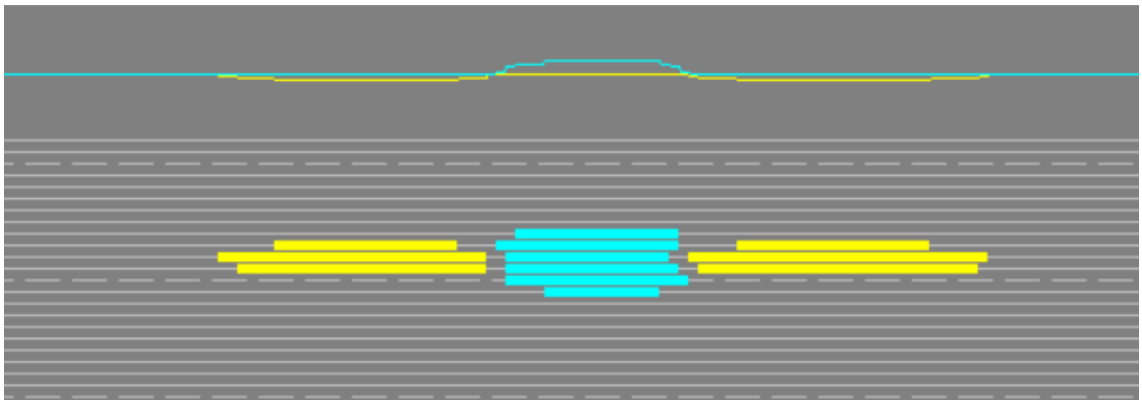
6. Otrzymane wyniki

Wyniki badania zostały przedstawione w programie Cordbreak Analysis. Za pomocą tej aplikacji dokonano także pomiaru uszkodzeń w danym zakresie parametrów. Program ten opracowany został w celu diagnostyki taśmy z linkami stalowymi modułem magnetycznym. Odbiera on sygnał w postaci pola magnetycznego rdzenia taśmy. Pole magnetyczne jest stałe na całej długości taśmy do momentu, gdy zarejestrowana zostanie zmiana sygnału. Informuje ona o uszkodzeniu (przecięcie, zanik) danej linki w konkretnym fragmencie taśmy. W taki sposób rejestrowane są też złącza występujące w badanej taśmie, a zmiana pola występuje w takim przypadku na całej szerokości taśmy. Przykładowy sygnał magnetyczny otrzymany w wyniku badań został przedstawiony na rysunku nr 22.



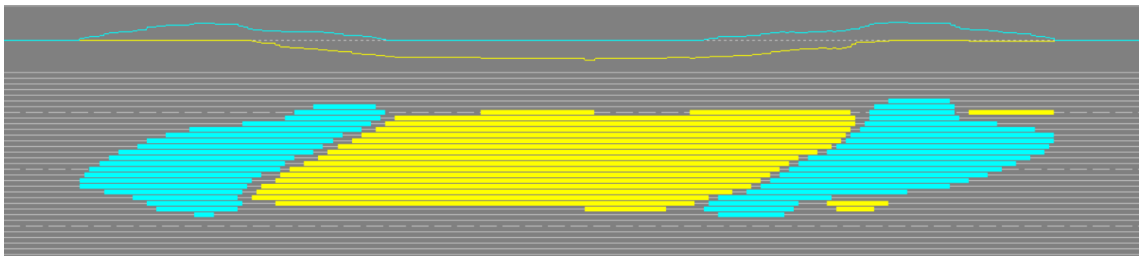
Rysunek 22. Fragment sygnału magnetycznego zarejestrowanego podczas badań

Z tego względu, że listwa pomiarowa zbudowana jest z cewek dwubiegunowych sygnał magnetyczny rejestrowany w trakcie badania można rozdzielić na sygnał dodatni (niebieski) oraz ujemny (żółty). Sygnał ujemny przedstawia jak daleko od uszkodzenia odbierany jest sygnał, natomiast sygnał dodatni pokazuje jak zmienia się pole magnetyczne w danym uszkodzeniu i dzięki niemu można wyznaczyć jego powierzchnię. To jaki sygnał otrzymamy zależy od rozmieszczenia cewek na głowicy.



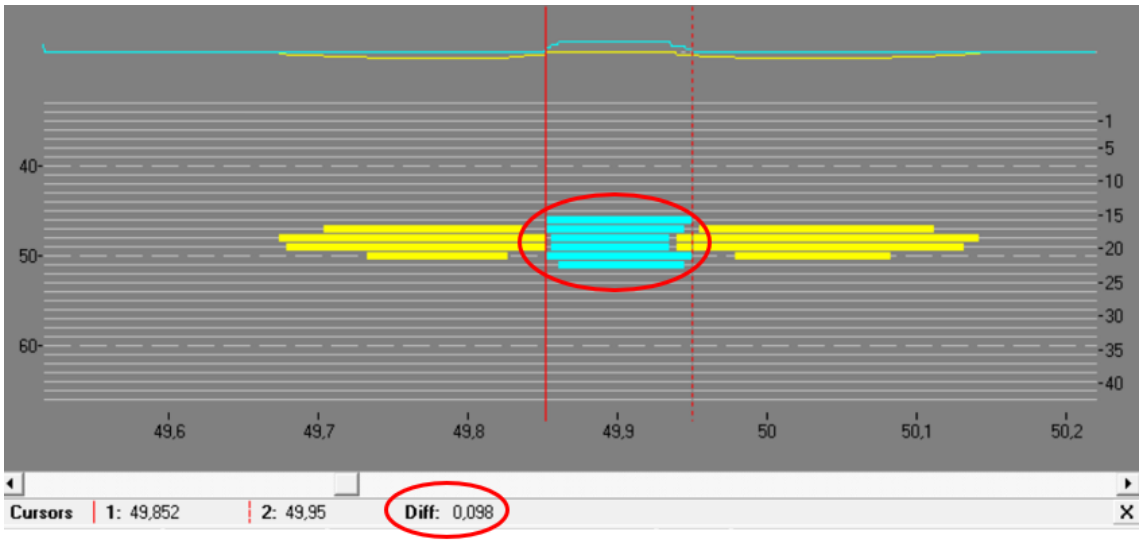
Rysunek 23. Przykładowe uszkodzenie przedstawione jako sygnał dodatni (niebieski) oraz ujemny (żółty)

Przeprowadzone badanie pozwoliło także na wykrycie złączy w analizowanej pętli taśmy. Sygnał generowany przez obszar złączenia jest inny w porównaniu z obrazem otrzymywanym przy uszkodzeniu. Sygnał generowany przez złącza nie był poddany dalszej ocenie. Otrzymany obraz dla złącza został przedstawiony na rysunku poniżej.



Rysunek 24. Sygnał magnetyczny emitowany przez złącze

Analiza wyników opierała się na pomiarach sygnału dodatniego, który odzwierciedlał pole powierzchni pola magnetycznego odnotowanego dla wybranego uszkodzenia. Długość każdego kanału, który zarejestrował sygnał, była mierzona. W celu otrzymania miarodajnych wartości, spośród uzyskanych danych wybierane były trzy różne sygnały otrzymane dla jednego uszkodzenia w trakcie wykonywania danego pomiaru. Obliczana była z nich wartość średnia, która następnie mnożona była przez wartość 2,5 cm, która odpowiada szerokości pojedynczego kanału. W przypadku kilku kanałów, szerokość sygnału niebieskiego odbierana była tylko dla jego części, czyli nie posiadała wartości 2,5 cm. Zostało to uwzględnione w obliczeniach, jednak były to nieliczne sytuacje. Należy podkreślić także, że sygnał był odbierany na różnej ilości kanałów w zależności od zadanego parametru oraz uszkodzenia. Metodykę wykonywania obliczeń przestawia rysunek 25 oraz tabela nr 3.

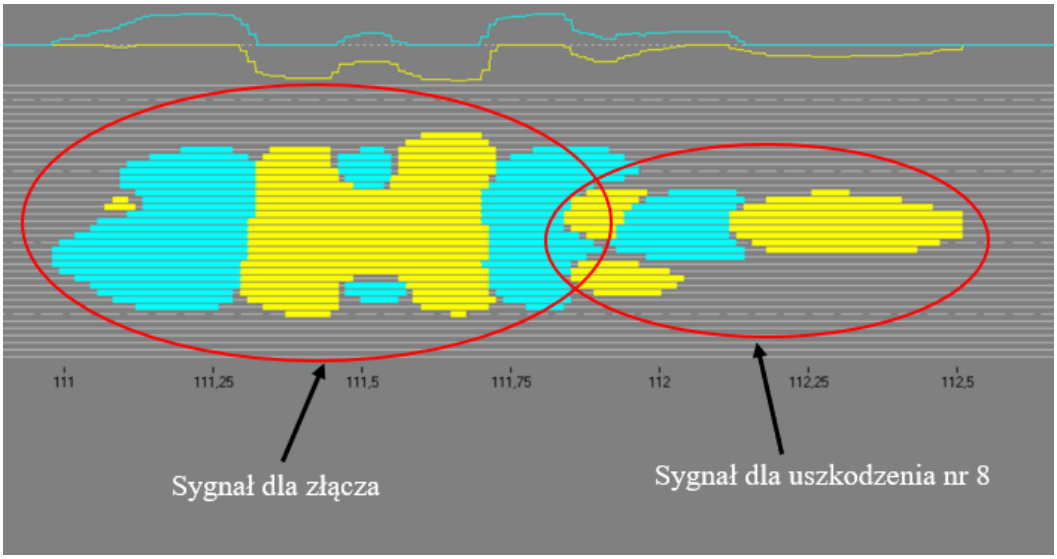


Rysunek 25. Pomiar długości sygnału dla pojedynczego kanału

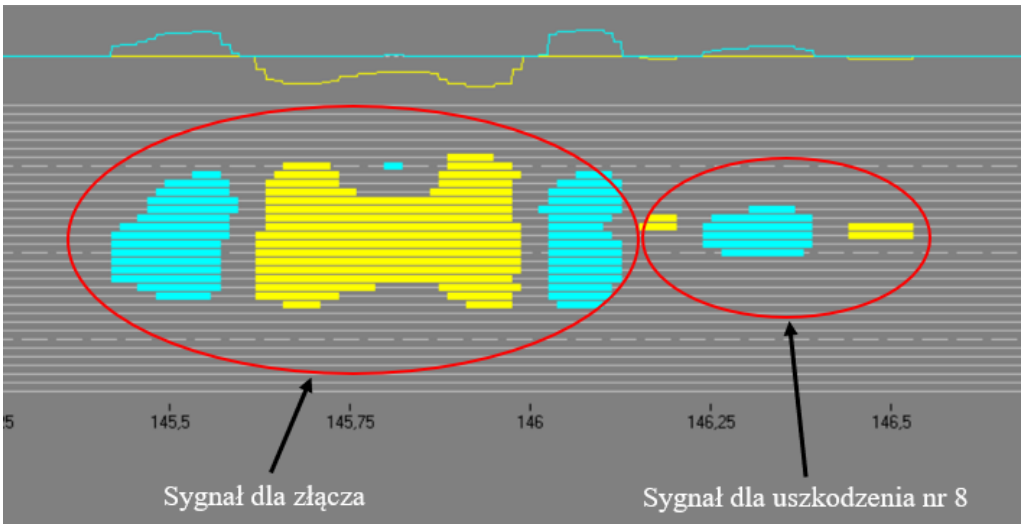
Tabela 3. Wyniki pomiarów uszkodzenia nr 4 dla czułości 200mV, prędkości taśmy 2 m/s i wysokości głowicy 20 mm

Uszkodzenie nr 4 – przecięcie 3 linek w kierunku poprzecznym								
Pomiar		1	2	3	Średnia długość	Szerokość kanału	Powierzchnia sygnału	Suma całkowita powierzchni sygnału dodatniego
Pole	Nr kanału	cm			cm	cm	cm^2	cm^2
Długość pola, -	47	13,3	19	13,8	15,4	2,5	38,5	-
	48	17,9	25,0	17,8	20,2		50,5	
	49	17,4	24,3	17,6	19,8		49,5	
	50	9,3	13,1	9,5	10,6		26,5	
Długość pola, +	46	9,9	10,0	9,8	9,9		24,8	134,1
	47	9,3	9,6	9,4	9,4		23,5	
	48	7,9	8,5	8,0	8,1		20,3	
	49	7,9	8,0	8,0	8,0		20,0	
	50	9,8	10,5	9,8	10,0		25,0	
	51	8,4	7,9	8,3	8,2		20,5	
Długość pola, -	47	15,7	14,8	15,9	15,5		38,8	-
	48	20,1	20,3	20,1	20,2		50,5	
	49	19,3	19,6	19,2	19,4		48,5	
	50	10,4	10,8	10,5	10,6		26,5	

W wyniku analizy zauważono, że sygnał uszkodzenia nr 7 jest zakłócony poprzez zarejestrowane pole magnetyczne pobliskiego złącza. Nie można było dokładnie zlokalizować, a tym bardziej zmierzyć sygnału uszkodzenia. Podobna sytuacja była z uszkodzeniem nr 8, czyli wycięcie 3 linek na odległości 10 cm. Odległość złącza od tego defektu wynosiła około 5 cm i przy mniejszych wartościach czułości głowicy sygnały się pokrywały. Wraz ze wzrostem progu wykrywalności odebrane impulsy nie nachodzą aż tak na siebie. Mimo to zdecydowano, że w dalszej analizie uszkodzenie nr 8 nie będzie brane pod uwagę. Przedstawioną sytuację obrazują rysunki nr 26 i 27.



Rysunek 26. Odebrany sygnał pola magnetycznego dla złącza i uszkodzenia nr 8 przy czułości 100 mV



Rysunek 27. Odebrany sygnał pola magnetycznego dla złącza i uszkodzenia nr 8 przy czułości 1000 mV

Osobnej analizie została poddana skorodowana linka. Wyniki dla poszczególnych parametrów badań zostały przedstawione w tabeli nr 4 oraz na poniższym wykresie.

Tabela 4. Wyniki pomiaru uszkodzeń dla skorodowanej linki

Prędkość	**Wysokość głowicy**	**Czułość głowicy pomiarowej**									
		mV									
		100	150	200	250	300	400	500	600	700	1000
m/s	mm	Pole powierzchni sygnału magnetycznego, cm^2									
2	20	146,7	108,6	86,8	72	60,1	39,6	24	21,5	10,5	7
	30	145,3	103,6	77,5	57,8	51,3	22	10	7,8	2,8	0
	40	140,8	91,2	60,1	41,6	25	6,5	0	0	0	0
	50	129,6	64,3	39,1	11,5	0	0	0	0	0	0
3	20	168,7	144,7	112,1	101,3	94,1	65,8	54,1	43,3	30,8	12,3
	30	179,7	148,1	124,8	99,4	79,6	56	35,1	22,8	15,1	5
	40	182,5	143,6	105,7	76,5	64,8	34,3	11,8	7,5	0	0
	50	174,4	127,5	81,6	55	45,8	9	0	0	0	0
4	20	236,9	159,9	147,9	132,6	113,3	86,6	72,8	60,6	54,3	25,3
	30	230,1	163,5	149,4	126,9	118	74,6	63,8	51,6	34,6	11
	40	229,8	162,4	140,5	122,2	95,3	62	42,6	23,5	11,8	0
	50	234,2	154,2	129,9	93	75,3	42,5	11	2,5	0	0
5	20	248,2	173,7	158,6	140,4	138,2	102,9	86,5	80,1	64,8	46
	30	257,7	203,1	163,9	148,6	140,3	106,8	80,5	63,9	55,9	23
	40	249,5	213,2	157,1	145,1	131,4	85,8	62,9	50,6	38,1	9,5
	50	250,1	206,7	158,8	132,9	116,9	62,1	40,3	23,3	10,5	0

Rysunek 28. Zestawienie pola powierzchni sygnału dla skorodowanej linki dla czułości 250 mV

Z wykresu powyżej widać, że wraz ze wzrostem prędkości poruszania się taśmy sygnał również ulega zwiększeniu. Na pole powierzchni wpłynęła także wysokość zainstalowania głowicy. Wraz ze zwiększaniem się tej odległości w przypadku pomiarów dla prędkości 2-4 m/s powierzchnia skorodowanej linki ulega zmniejszeniu. Gdy taśma porusza się z wartością 5 m/s wówczas maksymalna odnotowana wartość zarejestrowana została, gdy głowica znajdowała się na poziomie 30 mm. Dla wyższych odległości sygnał słabnie.

Następnie przeprowadzona została analiza dla pozostałych uszkodzeń taśmy. Wartości wyznaczonych powierzchni uszkodzeń zostały przedstawione w tabelach zbiorczych nr 5, 6, 7 oraz 8.

Tabela 5. Tabela zbiorcza wyników powierzchni uszkodzeń otrzymanych dla badania przy prędkości taśmy 2 m/s

Odległość głowicy od rdzenia	**Prędkość**	**Czułość**	**Uszkodzenie**					
mm	m/s	mV	1	2	3	4	5	6
20	2	100	19,5	64,5	127,8	174,5	253,3	141,8
		150	8,5	55,8	76,8	169,3	205,5	112,8
		200	5,5	43,0	71,8	134,1	192,3	99,0
		250	0,0	35,8	76,0	129,5	182,0	88,0
		300	0,0	28,0	63,5	140,0	174,3	74,0
		400	0,0	22,8	42,0	94,8	131,8	57,3

		500	0,0	19,5	33,0	86,0	124,5	51,0
		600	0,0	17,8	29,5	75,5	119,8	49,0
		700	0,0	12,8	26,3	69,8	116,5	45,3
		1000	0,0	4,3	21,3	60,5	98,5	35,0
30	2	100	6,8	76,3	117,8	200,3	292,3	158,5
		150	0,0	50,3	86,8	168,5	238,0	136,8
		200	0,0	37,3	71,8	166,0	247,3	103,8
		250	0,0	26,3	67,8	136,3	202,3	91,3
		300	0,0	24,0	59,5	125,8	189,5	82,0
		400	0,0	16,0	40,0	100,8	153,0	56,8
		500	0,0	6,5	28,0	92,3	135,5	50,8
		600	0,0	0,5	24,5	85,5	129,0	46,8
		700	0,0	0,0	23,0	74,5	122,3	42,3
		1000	0,0	0,0	0,0	60,5	107,3	24,0
40	2	100	0,0	63,3	126,5	215,3	309,5	164,3
		150	0,0	42,5	82,3	179,8	281,0	120,0
		200	0,0	24,8	71,3	159,3	231,8	106,0
		250	0,0	18,3	63,0	139,5	212,8	89,3
		300	0,0	7,8	54,8	132,8	202,3	74,3
		400	0,0	0,0	27,0	104,3	182,5	51,5
		500	0,0	0,0	22,5	94,3	143,8	45,0
		600	0,0	0,0	17,5	82,5	139,5	37,8
		700	0,0	0,0	10,0	71,0	129,3	28,5
		1000	0,0	0,0	0,0	55,3	108,8	8,8
50	2	100	0,0	48,8	120,8	238,3	361,5	168,5
		150	0,0	21,8	76,8	197,0	304,8	118,0
		200	0,0	0,0	61,5	166,3	262,8	99,3
		250	0,0	0,0	41,5	143,0	226,3	73,0
		300	0,0	0,0	28,0	135,0	217,8	63,3
		400	0,0	0,0	15,0	101,5	192,3	44,5
		500	0,0	0,0	0,0	89,3	150,0	24,3
		600	0,0	0,0	0,0	73,5	140,8	13,5
		700	0,0	0,0	0,0	66,8	128,8	6,3
		1000	0,0	0,0	0,0	39,5	100,8	0,0

Tabela 6. Tabela zbiorcza wyników powierzchni uszkodzeń otrzymanych dla badania przy prędkości taśmy 3 m/s

Odległość głowicy od rdzenia	**Prędkość**	**Czułość**	**Uszkodzenie**					
mm	m/s	mV	1	2	3	4	5	6
20	3	100	25,0	83,8	143,3	222,5	301,8	187,0
		150	18,8	62,5	108,5	178,5	253,5	149,3
		200	13,8	48,0	88,3	161,5	210,0	117,0
		250	7,5	45,8	77,3	140,0	202,5	108,5
		300	0,0	43,8	74,0	140,3	189,3	101,8
		400	0,0	32,3	65,8	123,8	178,3	76,0
		500	0,0	26,8	58,0	102,8	133,5	55,8
		600	0,0	23,8	47,5	98,3	132,3	56,5
		700	0,0	21,3	39,5	90,0	126,8	55,3
		1000	0,0	12,8	26,8	71,5	115,8	47,5
30	3	100	20,5	91,3	152,3	245,3	350,5	197,0
		150	6,3	66,3	124,3	199,3	294,3	157,8
		200	0,0	49,3	99,5	176,0	266,5	121,0
		250	0,0	45,8	78,3	162,8	215,0	108,8
		300	0,0	41,8	76,8	154,8	213,8	103,5
		400	0,0	25,3	64,5	128,8	194,8	88,5
		500	0,0	21,0	53,8	119,3	174,8	67,8
		600	0,0	16,5	39,8	102,8	166,0	55,0
		700	0,0	8,5	32,8	96,0	131,5	56,5
		1000	0,0	0,0	24,5	73,3	125,5	43,0
40	3	100	0,0	90,8	151,5	251,8	397,8	208,5
		150	0,0	66,8	126,8	216,5	313,3	172,5
		200	0,0	43,8	97,8	200,5	296,5	133,8
		250	0,0	34,5	78,5	173,0	268,0	111,8
		300	0,0	27,3	71,8	165,0	245,0	109,8
		400	0,0	14,5	64,5	136,5	207,8	87,5
		500	0,0	0,0	38,0	126,0	194,0	62,0
		600	0,0	0,0	29,0	108,5	186,3	56,3
		700	0,0	0,0	26,0	99,8	161,0	45,8
		1000	0,0	0,0	12,8	73,5	134,0	32,0
50	3	100	0,0	75,8	148,3	294,3	426,3	207,8
		150	0,0	46,0	122,5	241,5	360,8	165,3
		200	0,0	26,0	82,0	206,0	312,0	131,3

		250	0,0	17,8	73,8	181,0	291,3	114,8
		300	0,0	4,3	67,3	169,8	277,3	100,5
		400	0,0	0,0	34,8	138,5	219,0	69,8
		500	0,0	0,0	25,3	126,3	208,8	52,3
		600	0,0	0,0	17,3	108,5	187,8	45,5
		700	0,0	0,0	0,0	93,8	167,5	35,3
		1000	0,0	0,0	0,0	71,0	131,5	7,5

Tabela 7. Tabela zbiorcza wyników powierzchni uszkodzeń otrzymanych dla badania przy prędkości taśmy 4 m/s

Odległość głowicy od rdzenia	**Prędkość**	**Czułość**	**Uszkodzenie**					
mm	m/s	mV	1	2	3	4	5	6
20	4	100	44,3	118,8	164,3	238,8	324,5	224,3
		150	27,0	89,0	133,8	208,0	293,8	172,0
		200	23,0	68,0	119,3	175,0	251,3	147,5
		250	19,8	53,5	96,3	170,5	222,3	122,3
		300	17,5	50,0	89,8	150,8	211,0	117,8
		400	5,8	44,8	76,0	134,8	199,0	108,8
		500	2,8	40,5	66,0	125,0	185,3	88,8
		600	0,0	27,8	61,0	107,5	161,0	74,0
		700	0,0	26,5	59,8	104,8	142,8	56,8
		1000	0,0	21,0	38,0	91,0	127,8	54,0
30	4	100	25,0	107,3	181,0	271,3	400,5	299,0
		150	18,8	83,5	137,3	232,0	299,0	181,3
		200	10,0	68,8	119,0	206,8	298,3	165,5
		250	0,0	51,8	78,8	181,0	272,0	132,3
		300	0,0	49,3	91,8	180,3	262,5	120,3
		400	0,0	40,0	74,3	145,0	214,0	105,5
		500	0,0	26,8	72,0	135,0	206,5	90,8
		600	0,0	22,8	63,0	128,0	196,8	87,5
		700	0,0	21,0	55,0	119,3	166,3	65,0
		1000	0,0	5,5	30,0	98,3	131,0	53,5
40	4	100	18,8	107,3	191,8	299,0	425,0	249,5
		150	0,0	75,8	145,3	263,5	385,0	178,8
		200	0,0	63,8	127,5	223,8	315,3	164,0
		250	0,0	46,8	105,0	214,8	296,5	134,0
		300	0,0	44,0	92,0	178,3	291,8	127,5

		400	0,0	25,3	74,3	166,0	242,0	109,5
		500	0,0	17,5	64,0	135,3	210,8	93,5
		600	0,0	7,5	53,0	132,0	205,0	75,3
		700	0,0	0,0	36,3	130,8	201,5	57,5
		1000	0,0	0,0	24,5	99,8	143,0	48,3
50	4	100	0,0	104,0	191,3	324,5	481,0	255,0
		150	0,0	69,8	142,3	255,0	419,0	191,5
		200	0,0	49,3	127,8	243,3	368,8	172,3
		250	0,0	27,3	94,0	212,3	319,3	140,8
		300	0,0	21,3	82,8	208,3	309,5	123,0
		400	0,0	0,0	65,3	170,5	267,3	100,5
		500	0,0	0,0	43,8	140,0	228,0	76,8
		600	0,0	0,0	28,0	136,3	215,5	58,0
		700	0,0	0,0	25,0	125,0	204,5	53,3
		1000	0,0	0,0	0,0	89,0	150,8	28,8

Tabela 8. Tabela zbiorcza wyników powierzchni uszkodzeń otrzymanych dla badania przy prędkości taśmy 5 m/s

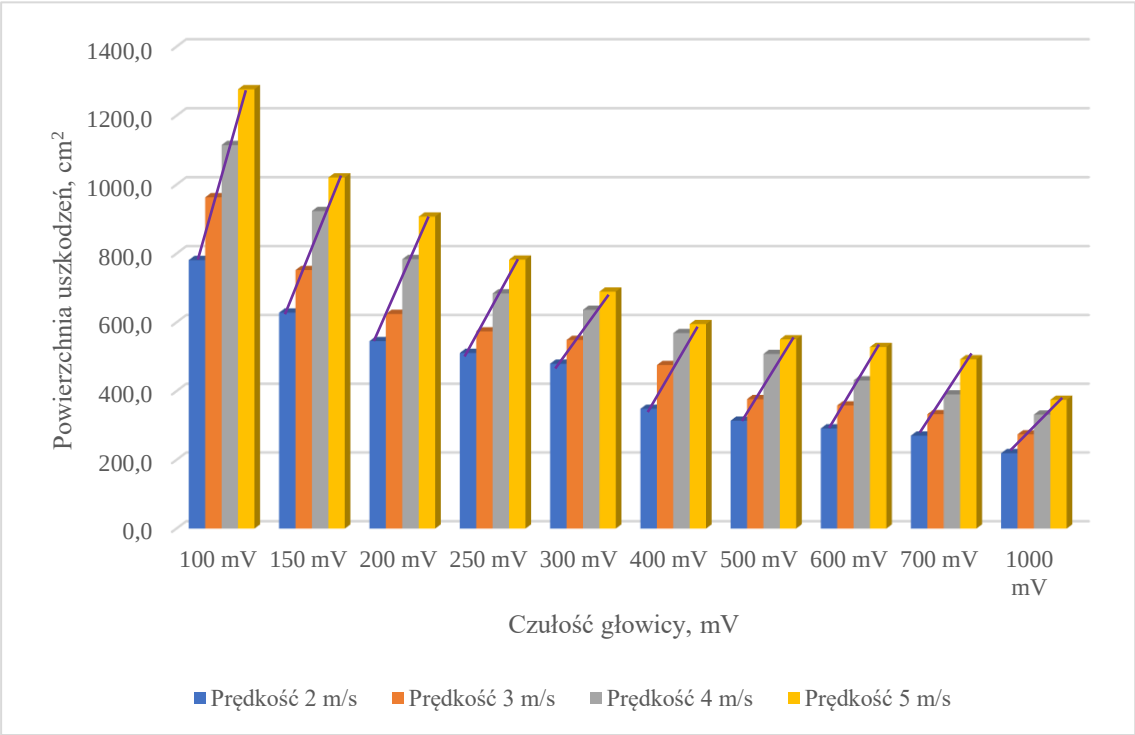
Odległość głowicy od rdzenia	**Prędkość**	**Czułość**	**Uszkodzenie**					
mm	m/s	mV	1	2	3	4	5	6
20	5	100	48,8	177,0	180,0	258,8	364,3	247,8
		150	30,5	96,5	146,0	225,3	317,8	204,8
		200	26,3	75,3	139,0	206,3	292,8	167,8
		250	23,5	63,8	125,5	170,8	256,5	142,5
		300	19,8	54,3	102,3	172,3	220,0	121,3
		400	9,5	48,3	79,0	142,8	209,0	106,8
		500	6,3	44,5	69,8	137,0	192,8	100,5
		600	2,3	43,0	66,8	128,0	191,5	97,0
		700	0,0	38,3	67,5	122,5	180,5	84,0
		1000	0,0	25,5	51,8	100,8	140,5	56,3
30	5	100	38,5	157,3	221,5	302,5	420,3	271,8
		150	24,0	102,5	161,3	341,5	379,5	229,8
		200	19,0	70,8	130,3	229,3	331,3	162,8
		250	7,3	67,8	114,3	200,8	295,0	174,3
		300	4,3	62,0	120,8	200,5	274,5	147,5
		400	0,0	50,3	84,5	174,3	237,8	107,5

		500	0,0	41,8	76,8	149,5	216,0	105,5
		600	0,0	32,3	73,8	137,8	204,3	99,3
		700	0,0	25,3	65,0	133,3	197,0	90,0
		1000	0,0	15,8	45,3	104,3	174,8	57,3
40	5	100	27,3	149,8	218,3	345,3	471,5	276,0
		150	4,3	101,8	169,5	283,5	391,0	242,3
		200	0,0	75,5	143,5	256,8	373,8	186,5
		250	0,0	65,0	130,5	210,0	319,8	162,3
		300	0,0	53,8	120,3	209,5	308,8	146,3
		400	0,0	38,0	84,8	173,5	270,5	112,0
		500	0,0	25,5	72,5	168,3	230,5	111,5
		600	0,0	24,3	66,3	149,0	216,8	90,3
		700	0,0	11,5	59,0	134,3	223,0	88,3
		1000	0,0	0,0	29,5	116,3	171,3	56,0
50	5	100	0,0	117,8	222,0	383,5	543,8	293,3
		150	0,0	89,5	172,0	310,3	444,8	236,5
		200	0,0	64,0	144,0	271,0	409,0	189,5
		250	0,0	50,5	128,3	247,8	378,8	176,8
		300	0,0	42,8	109,8	233,0	322,5	154,0
		400	0,0	19,3	78,5	190,8	301,8	114,8
		500	0,0	0,0	67,5	181,5	276,5	94,0
		600	0,0	0,0	51,8	149,8	230,0	94,8
		700	0,0	0,0	32,5	146,5	216,5	67,5
		1000	0,0	0,0	16,5	108,5	176,0	43,8

Na podstawie otrzymanych wyników sporządzonych zostało kilka zestawień obrazujących całkowite powierzchnie uszkodzeń. Wartości wykorzystane do stworzenia poniższych wykresów znajdują się w tabeli nr 9.

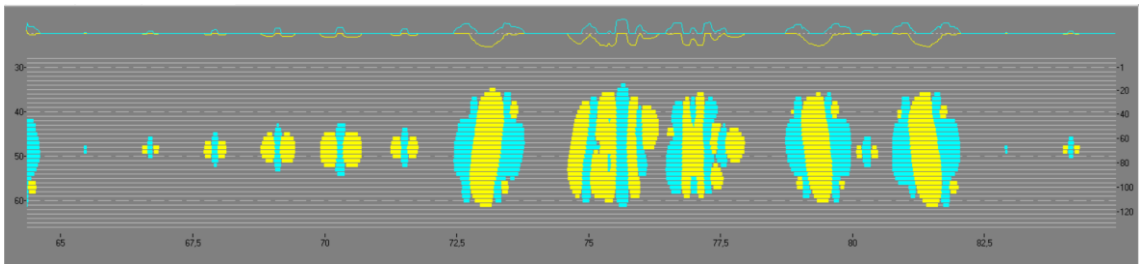
Tabela 9. Zestawienie całkowitych powierzchni uszkodzeń dla danych parametrów

Prędkość m/s	**Odległość głowicy od rdzenia, mm**	**CZUŁOŚĆ, mV**									
		100	150	200	250	300	400	500	600	700	1000
2	20	781,3	628,5	545,6	511,3	479,8	348,5	314,0	291,5	270,5	219,5
	30	851,8	680,3	626,0	523,8	480,8	366,5	313,0	286,3	262,0	191,8
	40	878,8	705,5	593,0	522,8	471,8	365,3	305,5	277,3	238,8	172,8
	50	937,8	718,3	589,8	483,8	444,0	353,3	263,5	227,8	201,8	140,3
3	20	963,3	752,3	624,8	574,0	549,0	476,0	376,8	358,3	332,8	274,3
	30	1056,8	848,0	712,3	610,5	590,5	501,8	436,5	380,0	325,3	266,3
	40	1100,3	895,8	772,3	665,8	618,8	510,8	420,0	380,0	332,5	252,3
	50	1152,3	936,0	757,3	678,5	619,0	462,0	412,5	359,0	296,5	210,0
4	20	1114,8	923,5	784,0	684,5	636,8	569,0	508,3	431,3	390,5	331,8
	30	1284,0	951,8	868,3	715,8	704,0	578,8	531,0	498,0	426,5	318,3
	40	1291,3	1048,3	894,3	797,0	733,5	617,0	521,0	472,8	426,0	315,5
	50	1355,8	1077,5	961,3	793,5	744,8	603,5	488,5	437,8	407,8	268,5
5	20	1276,5	1020,8	907,3	782,5	689,8	556,5	512,5	487,8	454,5	349,3
	30	1411,8	1238,5	943,3	859,3	809,5	654,3	589,5	547,3	510,5	397,3
	40	1488,0	1192,3	1036,0	887,5	838,5	678,8	608,3	420,0	516,0	373,0
	50	1560,3	1253,0	1077,5	982,0	862,0	705,0	619,5	526,3	463,0	344,8

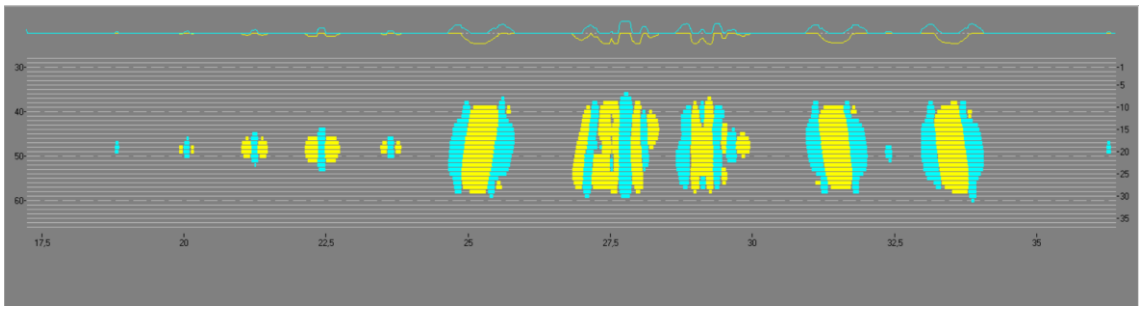


Rysunek 29. Zestawienie obliczonych powierzchni uszkodzeń w zależności od prędkości i czułości dla odległości głowicy od taśmy 20 mm

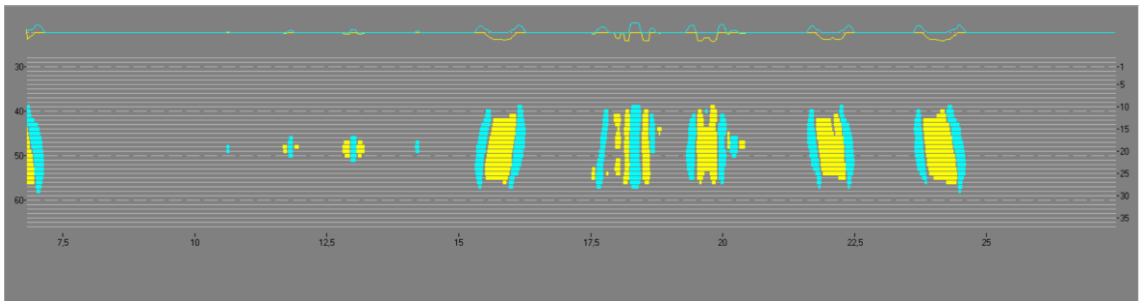
Analizując powyższy wykres można stwierdzić, że powierzchnia sygnału emitowanego przez uszkodzenie wrasta wraz z prędkością poruszania się badanej taśmy. Wpływ na wielkość wzrostu ma czułość głowicy pomiarowej. Dla mniejszych wartości tego parametru różnice pomiędzy powierzchniami uszkodzeń dla danych prędkości, są znacząco większe. Wpływ czułości głowicy na otrzymane wyniki widać także na poniższych rysunkach. Przedstawiają one pomiary wykonane dla tej samej prędkości 4 m/s oraz odległości głowicy od rdzenia wynoszącej 40 mm. Zmiana poziomu napięcia głowicy pomiarowej na wyższy powoduje, że sygnał jest słabiej wykrywalny.



Rysunek 30. Sygnał magnetyczny dla jednej pętli taśmy, przy prędkości 4 m/s, odległości głowicy od rdzenia 40 mm oraz czułości 100 mV

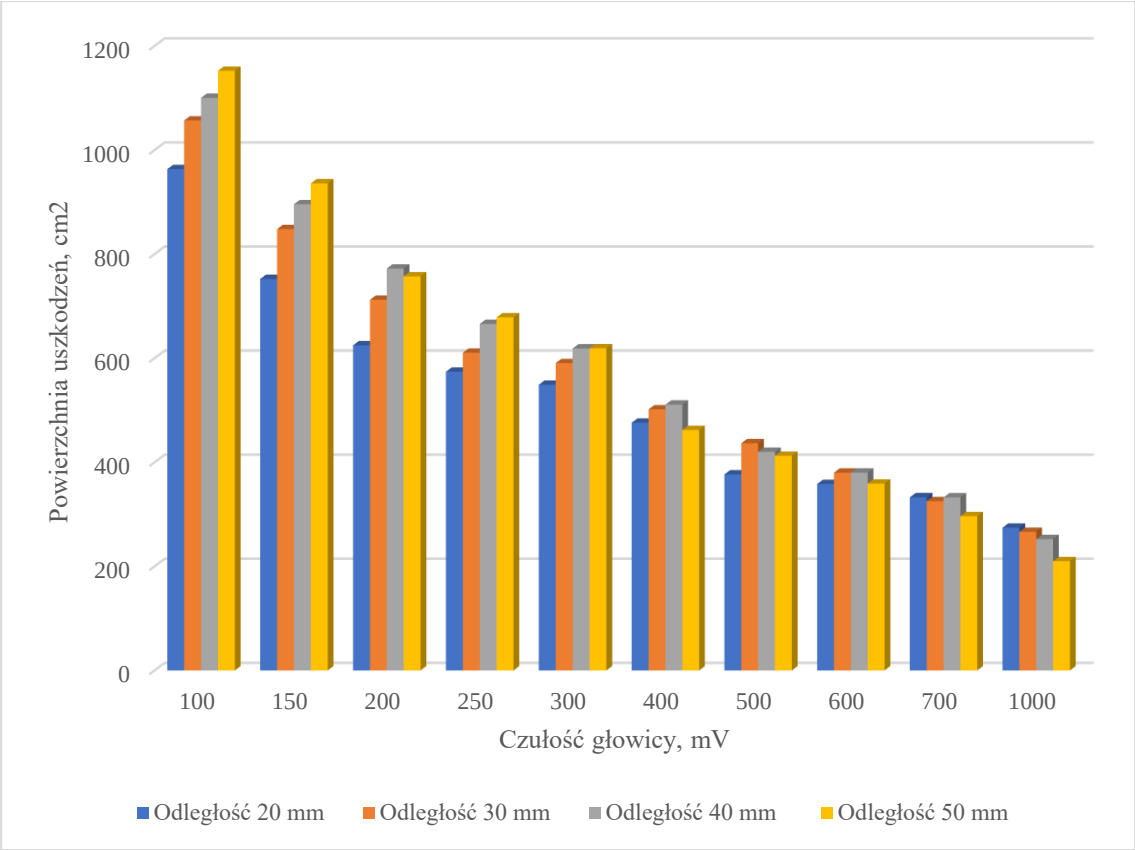


Rysunek 31. Sygnał magnetyczny dla jednej pętli taśmy, przy prędkości 4 m/s, odległości głowicy od rdzenia 40 mm oraz czułości 300 mV



Rysunek 32. Sygnał magnetyczny dla jednej pętli taśmy, przy prędkości 4 m/s, odległość głowicy od rdzenia 40 mm oraz czułości 1000 mV

Trzecim zmiennym parametrem w badaniu była odległość głowicy od rdzenia taśmy. Wpływ tego parametru na otrzymane wyniki widać na rysunku nr 28. Analizując wykres można powiedzieć, że dla czułości 100-300 mV uszkodzenia są najbardziej wykrywalne dla odległości głowicy od rdzenia wynoszącej 40-50 mm. W momencie, gdy czułość osiąga wartości powyżej 300 mV, pole sygnału magnetycznego staje się sukcesywnie większe dla niższych odległości głowicy od rdzenia. Dla czułości 1000 mV największe uszkodzenia odnotowano dla odległości głowicy od listwy pomiarowej wynoszącej 20 mm.

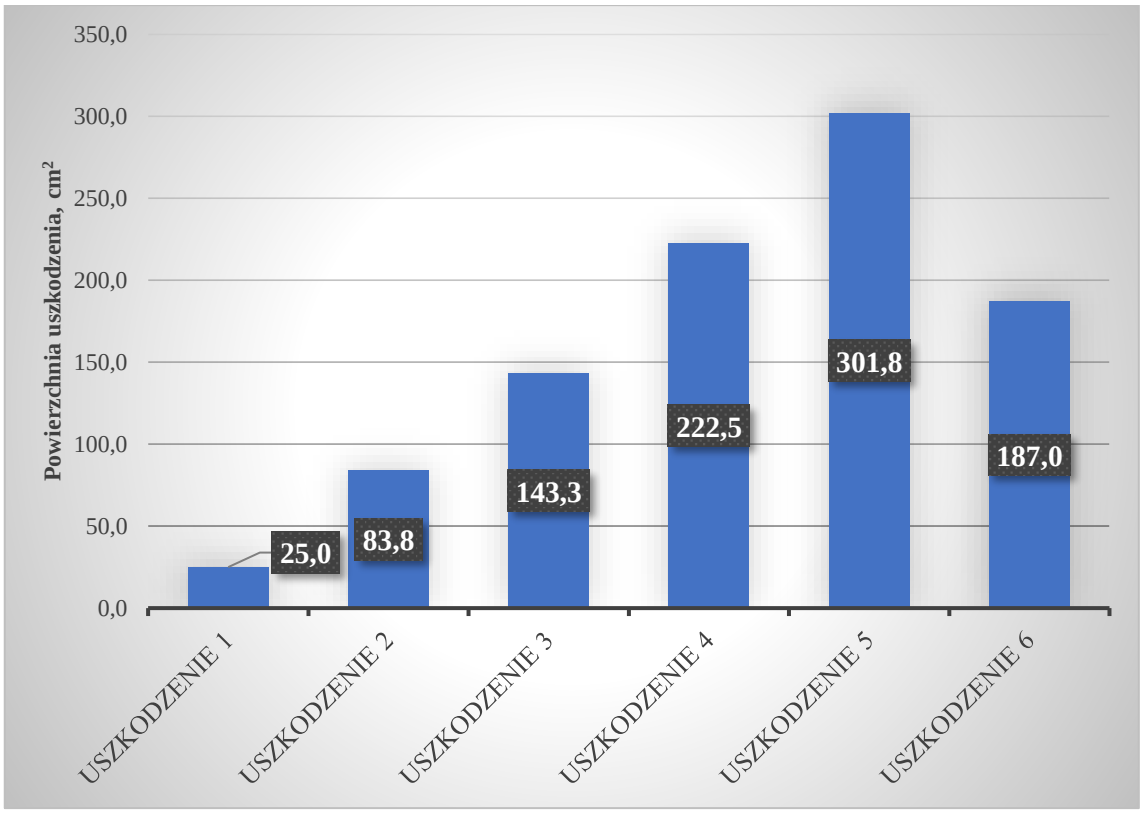


Rysunek 33. Zestawienie sum powierzchni sygnału magnetycznego w zależności od czułości i odległości głowicy pomiarowej od rdzenia dla prędkości 3 m/s

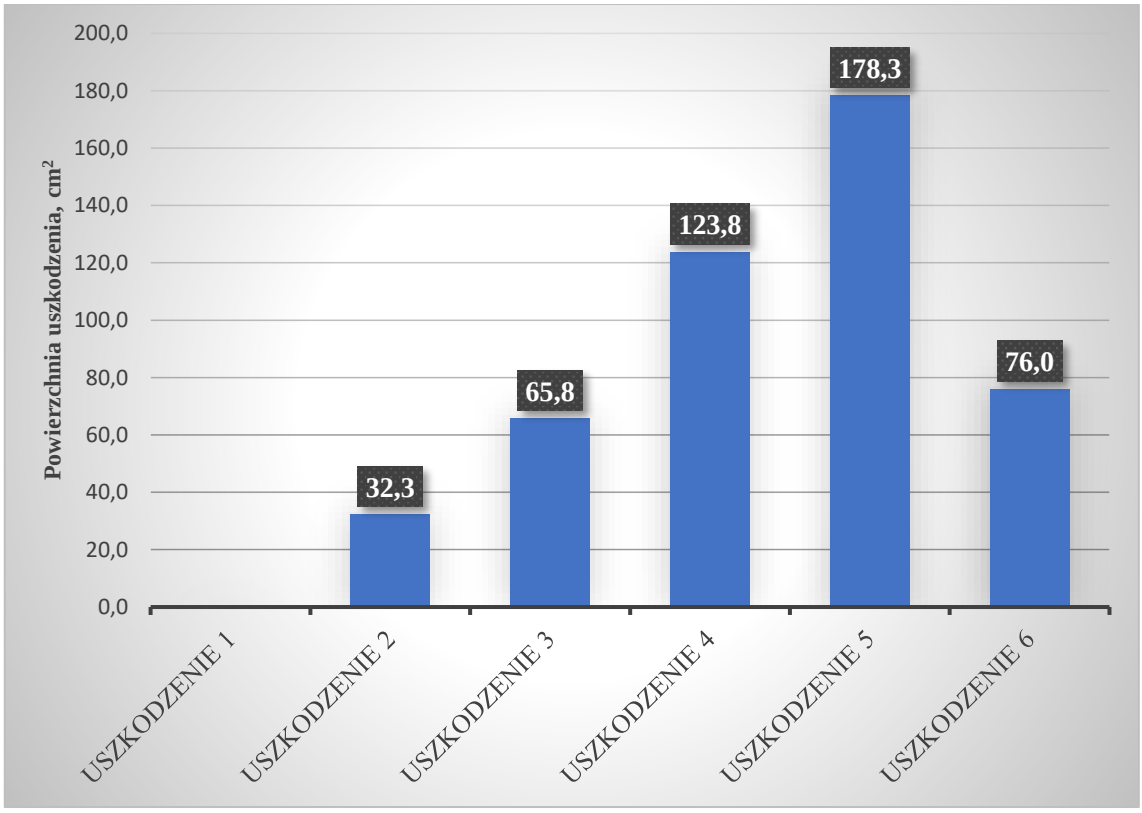
Wszystkie otrzymane wyniki, które zostały zaprezentowane powyżej oraz wstępna analiza zostały wykorzystane do przeprowadzenia dalszej, głębszej analizy. Przedstawiona ona została w kolejnym rozdziale pracy.

7. Analiza wyników

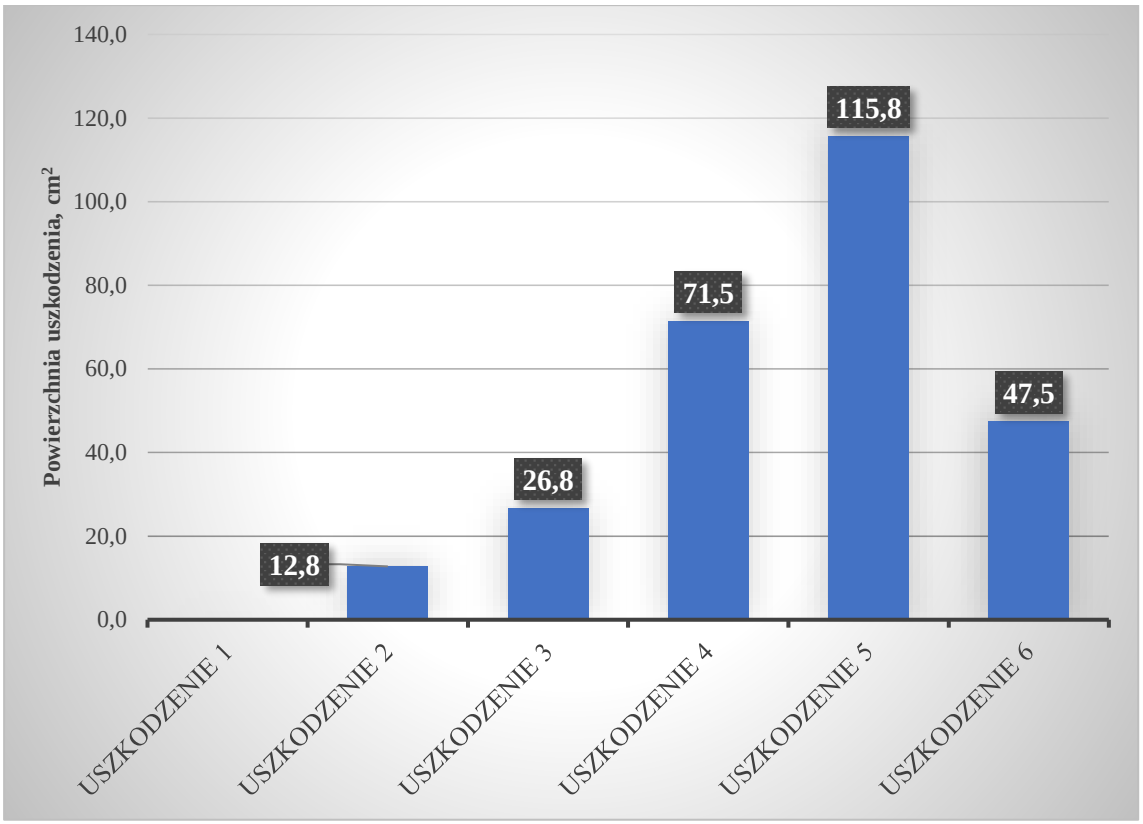
Wnikliwe przeprowadzenie analizy otrzymanych wyników ma na celu określenie wpływu wybranych parametrów pomiarowych na precyzyjność diagnostyki taśm z linkami stalowymi za pomocą systemu magnetycznego. Obserwacja i porównanie wyników badań przeprowadzonych na przenośniku testowym może pomóc ustalić, przy jakich parametrach najlepiej będzie prowadzić diagnostykę w warunkach kopalnianych. Tak, aby otrzymać najbardziej wiarygodne dane na temat stanu diagnozowanych taśm.



Rysunek 34. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 3 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 100 mV



Rysunek 35. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 3 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 400 mV

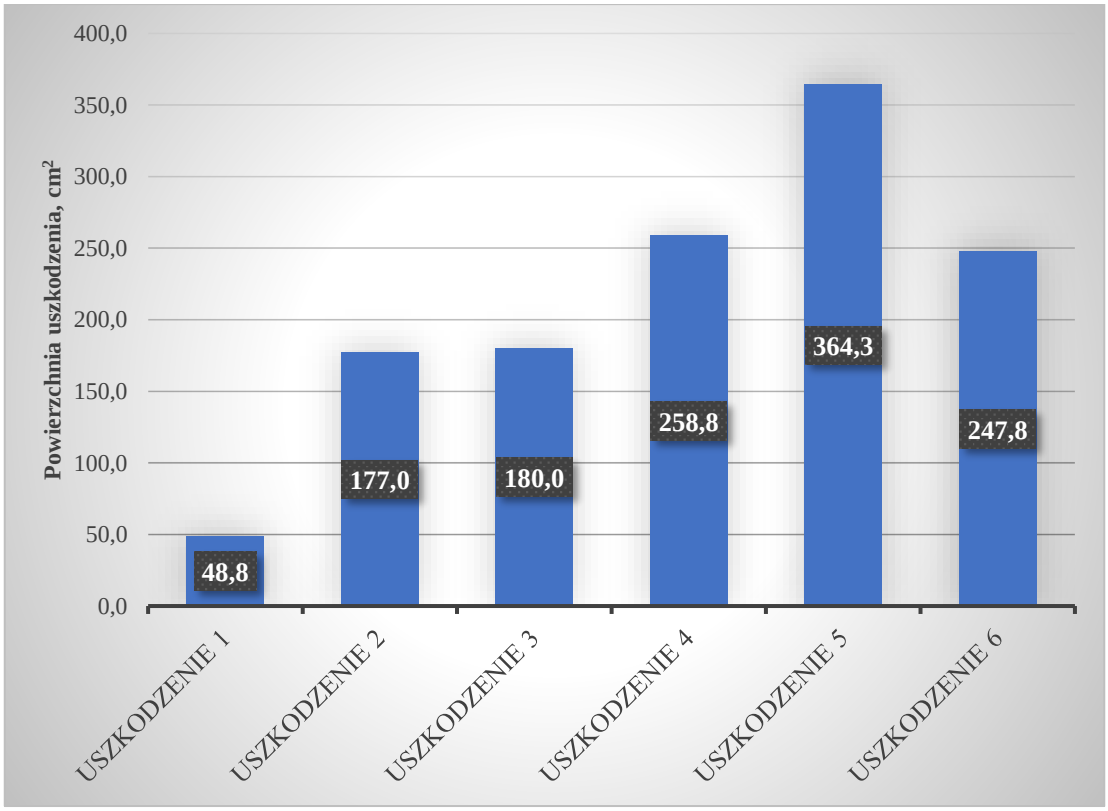


Rysunek 36. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 3 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 1000 mV

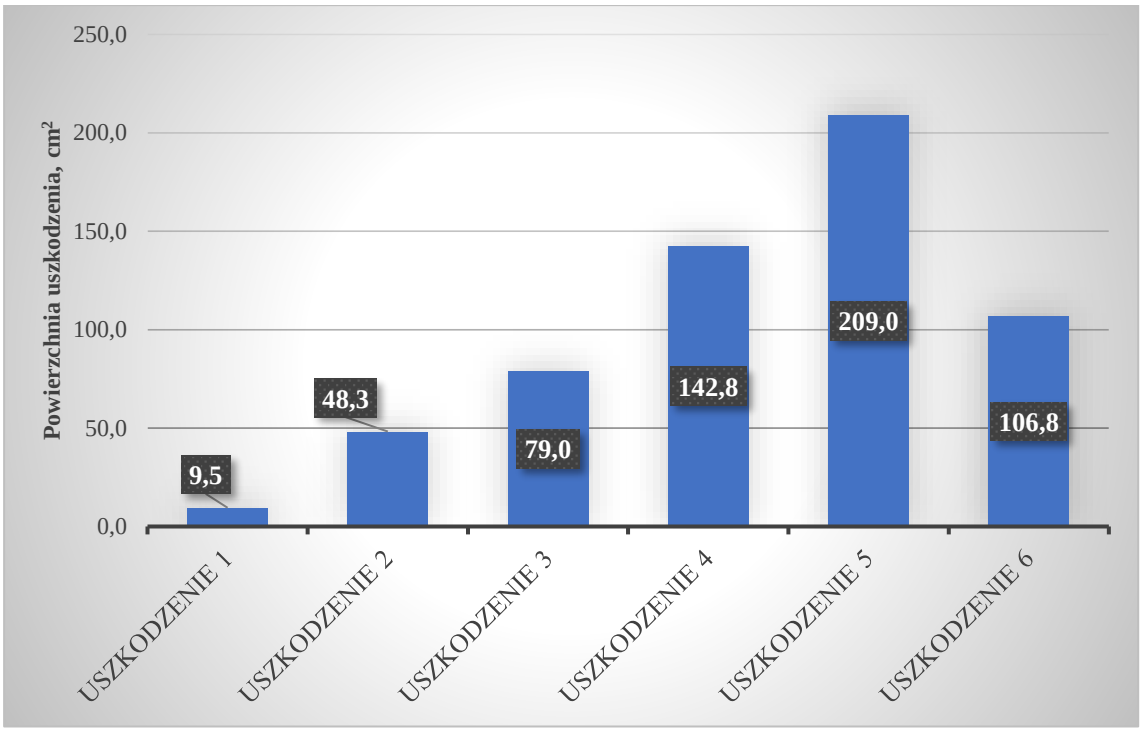
Powyższe wykresy zostały sporządzone dla danych otrzymanych w trakcie badania przy prędkości taśmy 3 m/s oraz odległości głowicy pomiarowej od rdzenia wynoszącej 20 mm. Porównano pomiary otrzymane dla czułości 100, 400 oraz 1000 mV. Analizując wykresy można stwierdzić, że największy wpływ na kondycję taśmy we wszystkich trzech czułościach ma uszkodzenie nr 5, czyli przecięcie 6 linek w kierunku poprzecznym. Udział tego uszkodzenia jest największy przy progu czułości równym 1000 mV. Drugim w kolejności uszkodzeniem, który może wpłynąć na obniżenie wytrzymałości taśmy jest uszkodzenie 4. – przecięcie trzech linek w kierunku poprzecznym. Udział procentowy tego uszkodzenia w stosunku do całkowitej powierzchni uszkodzeń jest niemal stały i wynosi on 23-26%. Najmniejszy wypływ mają uszkodzenia nr 1 i 2, czyli nieznaczne uszkodzenie linki. W przypadku uszkodzenia 1. już przy czułości 400 mV jest ono niewykrywalne. Należy zwrócić uwagę również na fakt, że zmiana progu czułości ze 100 mV na 1000 mV spowodowała prawie dwukrotny wzrost pola powierzchni sygnału odnotowanego dla uszkodzenia nr 5, co w stosunku procentowym do całkowitej powierzchni uszkodzeń dało różnicę aż 11 punktów procentowych. Najmniejsze uszkodzenia zanotowały natomiast spadek pola

powierzchni. Wynikać to może z zależności, że przy wzroście czułości sygnał generowany przez mniejszą wadę w taśmie, jest nieznacznie wykrywalny lub całkowicie pominięty.

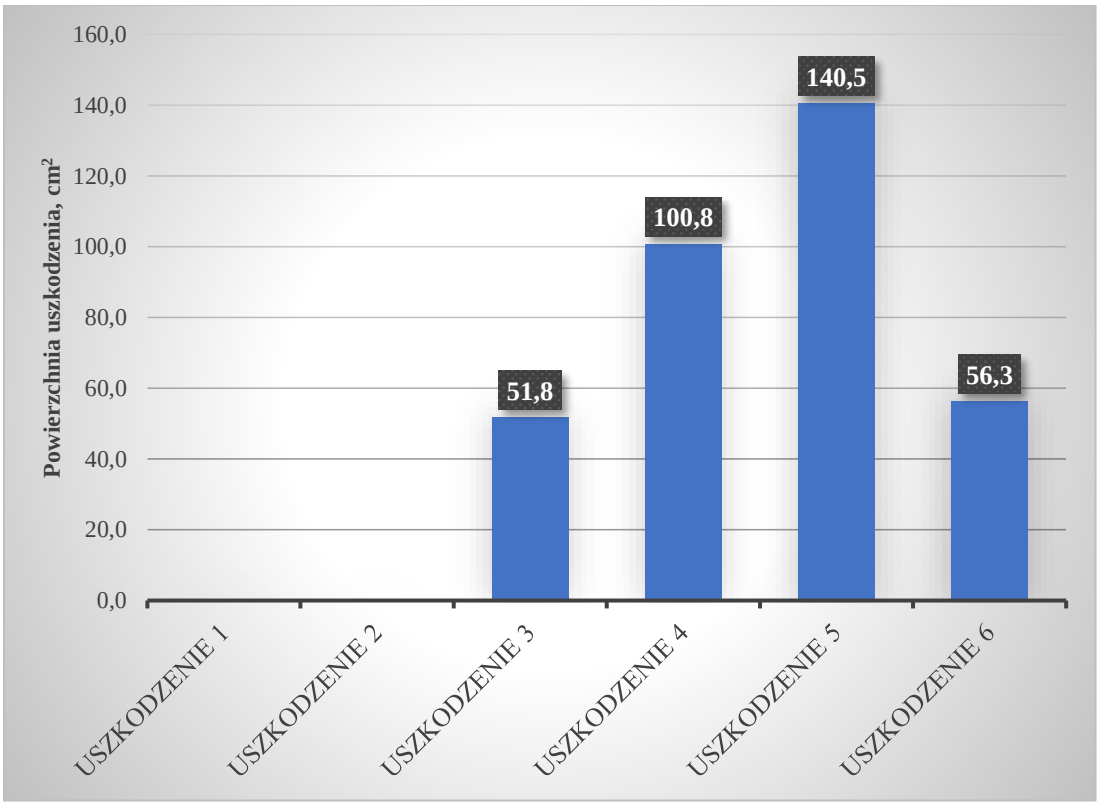
Dla porównania i sprawdzenia toku rozumowania wykonano podobne porównanie, tym razem prędkość taśmy wynosiła 5 m/s. Na poniższych wykresach widać, że wywnioskowane zależności są takie same dla różnych prędkości poruszania się taśmy.



Rysunek 37. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 5 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 100 mV

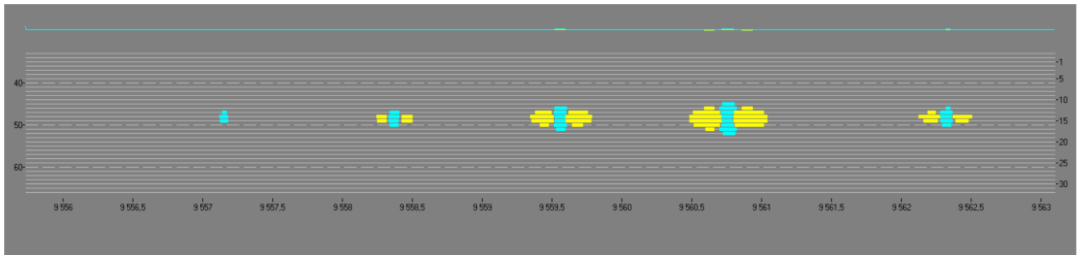


Rysunek 38. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 5 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 400 mV

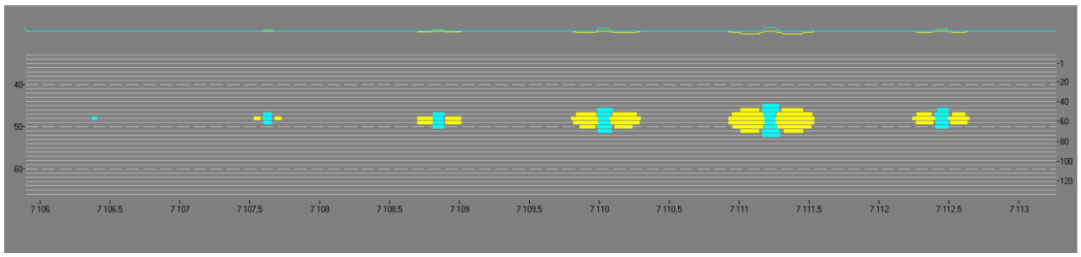


Rysunek 39. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń dla prędkości 5 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 1000 mV

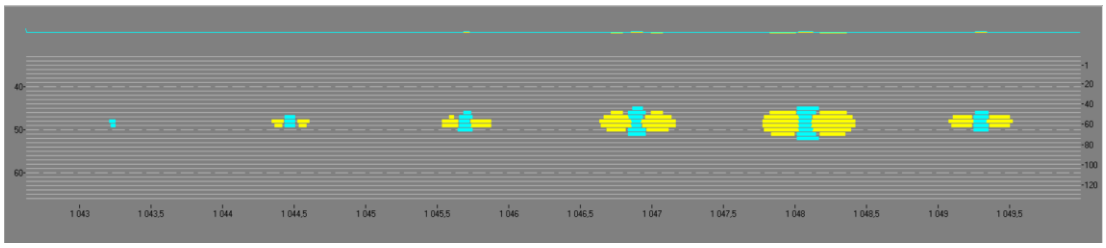
Bazując na wykresie przedstawionym na rysunku 29 widać, że wzrost sygnału magnetycznego następuje w momencie wzrostu prędkości. Dlatego też kolejna analiza opierała się na zmianie pola powierzchni danego uszkodzenia w zależności od prędkości taśmy dla danej czułości głowicy. Odległość głowicy wynosiła 20 mm. Na początku warto się przyjrzeć, jak zmieniał się sygnał magnetyczny w zależności od prędkości dla stałej odległości głowicy wynoszącej 20 mm i czułości 250 mV. Widać, że wzrost prędkości powoduje odbieranie sygnału na większej ilości kanałów, wzrasta także ich długość.



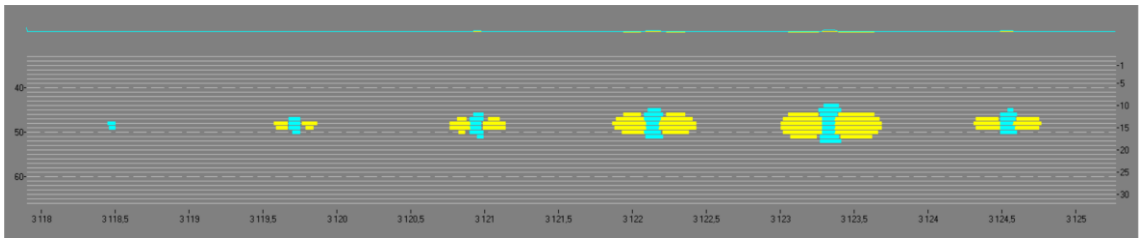
Rysunek 40. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 2 m/s



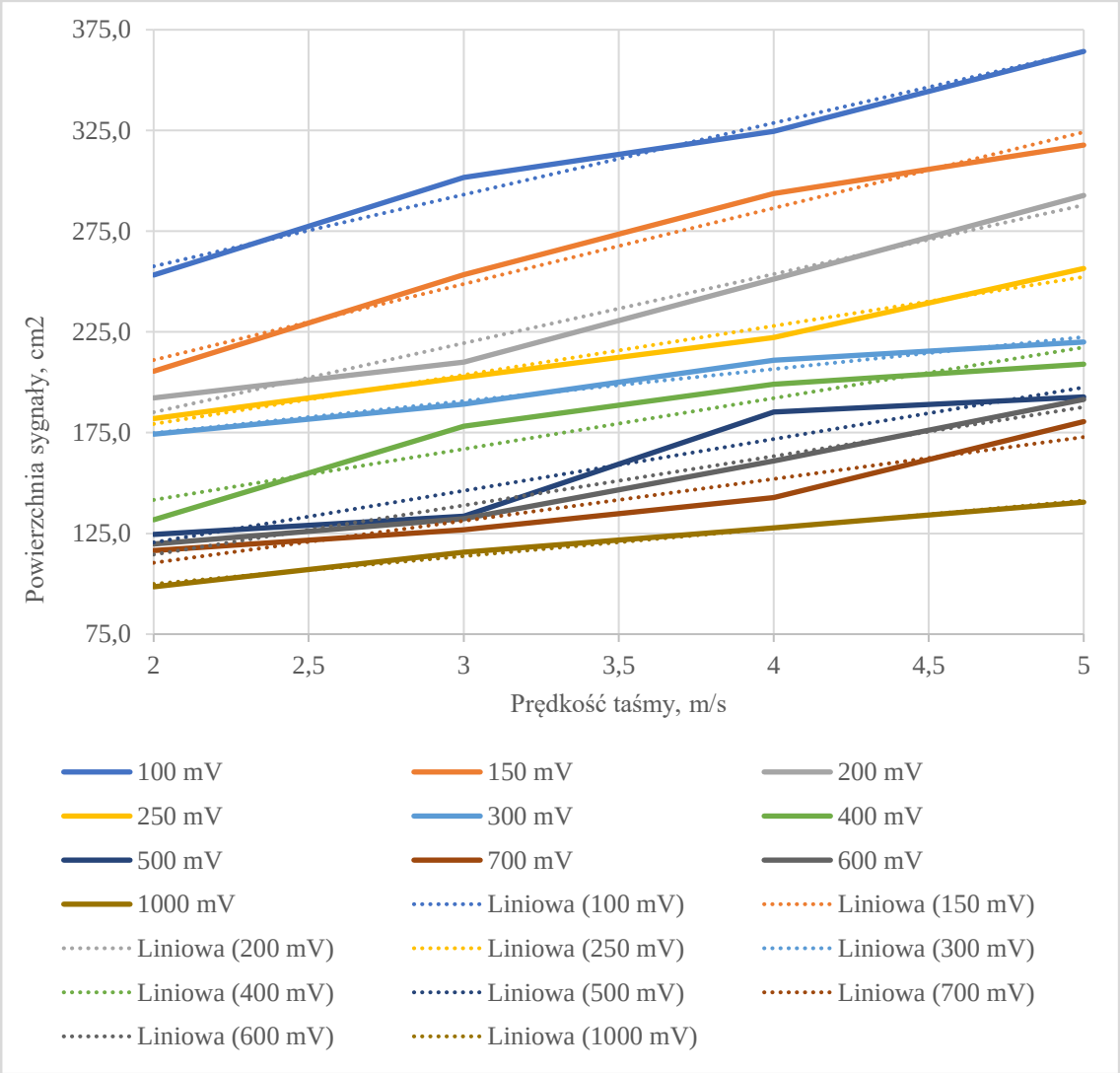
Rysunek 41. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 3 m/s



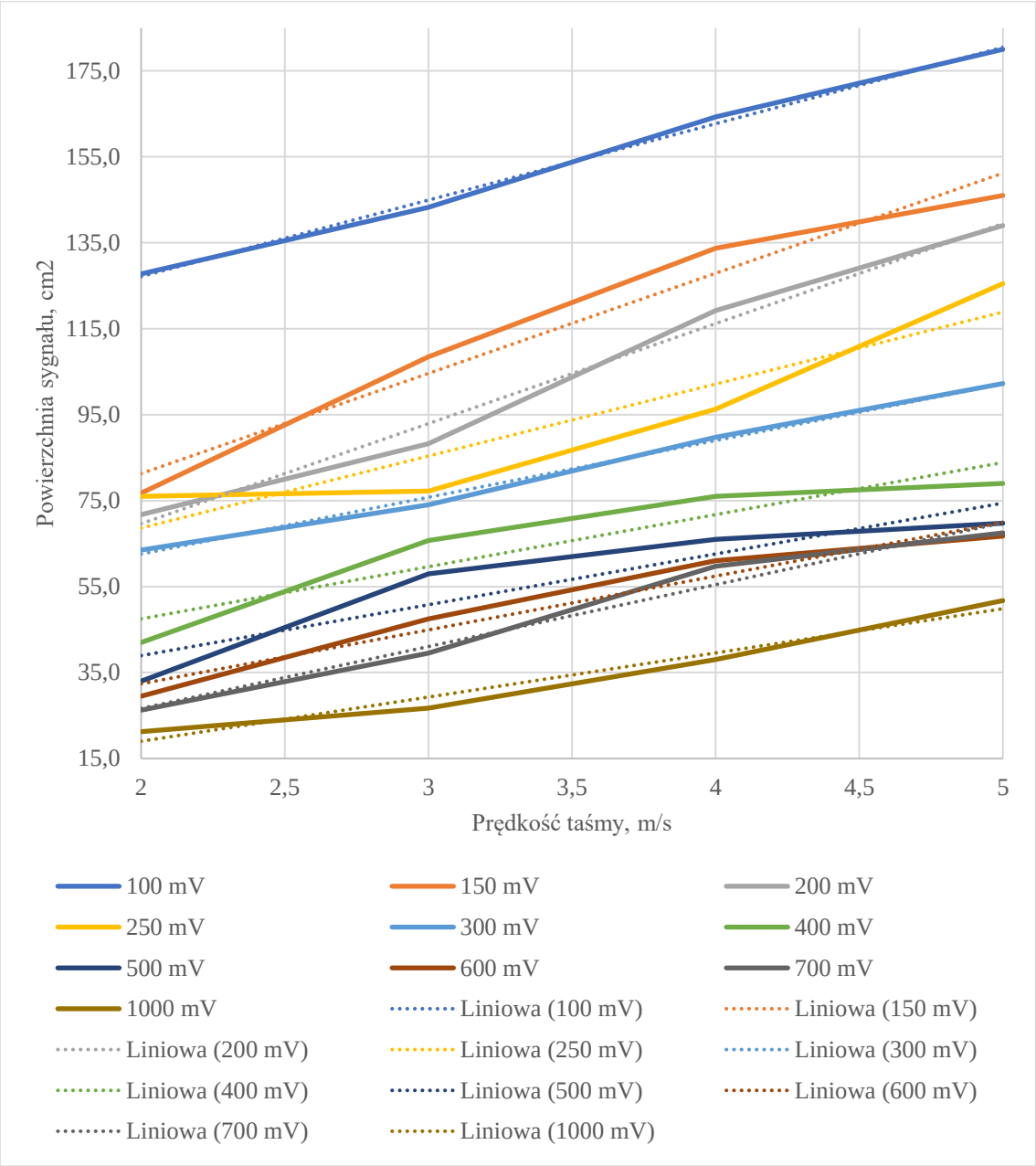
Rysunek 42. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 4 m/s



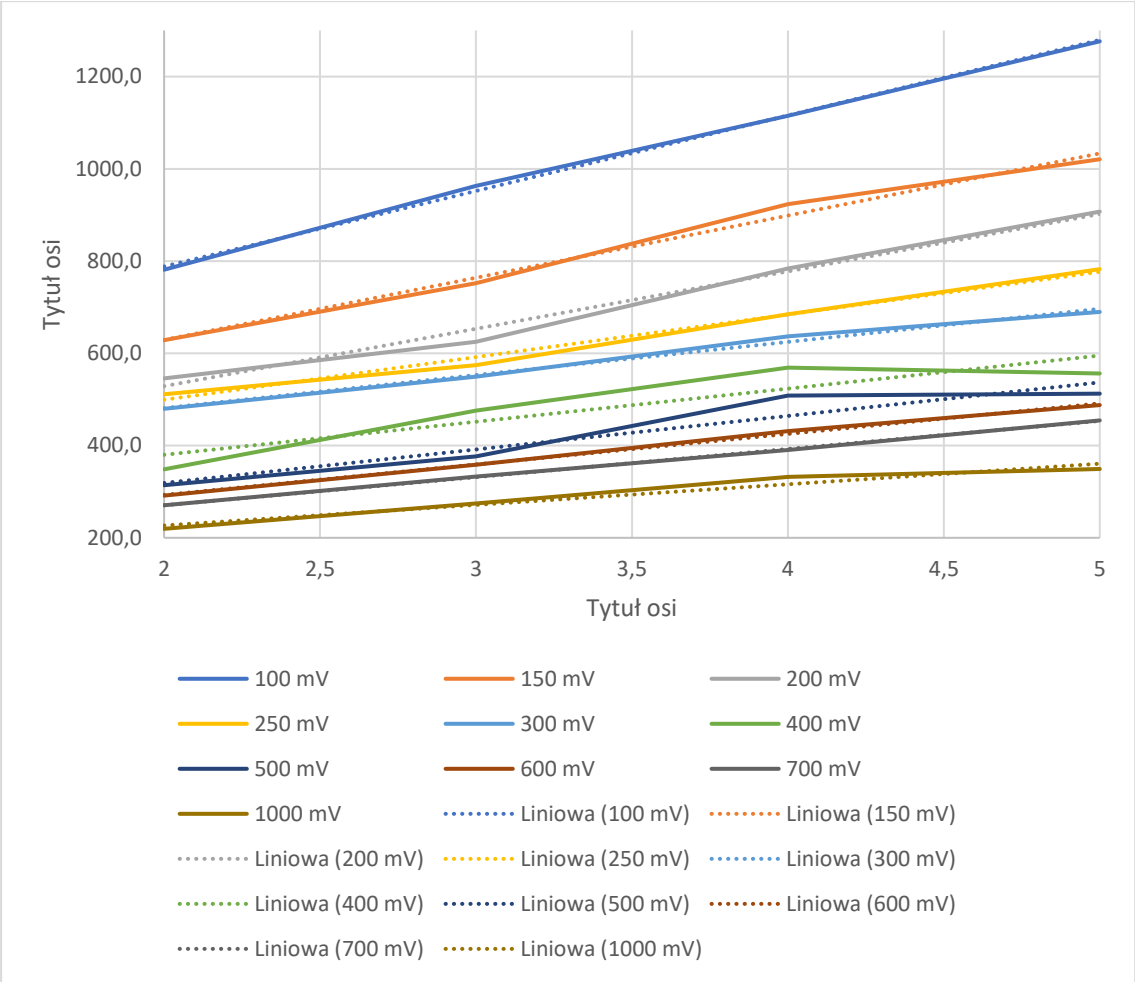
Rysunek 43. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 5 m/s



Rysunek 44. Zależność pola powierzchni sygnału magnetycznego dla uszkodzenia 5 od prędkości taśmy dla danego progu czułości



Rysunek 45. Zależność pola powierzchni sygnału magnetycznego dla uszkodzenia 3 od prędkości taśmy dla danego progu czułości



Rysunek 46. Zależność wzrostu pola sygnału magnetycznego od prędkości taśmy dla danych czułości

Na powyższych wykresach można było zauważyć, że zależność pola sygnału magnetycznego od prędkości taśmy i progu czułości można przedstawić jako za pomocą zależności liniowej. W tym celu wyznaczono linię trendu dla każdego zestawu danych. Równania prostych wraz z współczynnikiem korelacji liniowej, które zostały wygenerowane przez program Excel zostały przedstawione w tabeli nr 10.

Tabela 10. Równania prostych i współczynniki korelacji linowej zależności sygnału magnetycznego od prędkości taśmy dla danego progu czułości dla uszkodzenia 3. i 5. oraz sumy uszkodzeń całkowitych

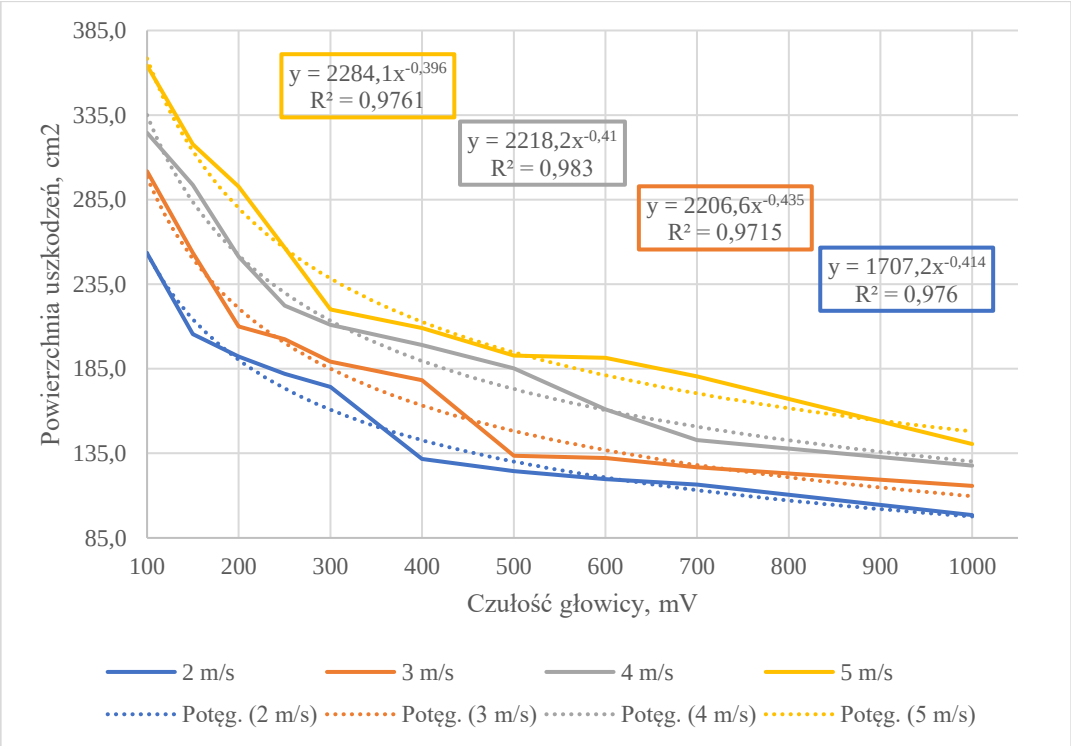
Uszkodzenie nr 3		
Czułość	**Równanie linii trendu**	**Współczynnik korelacji liniowej R^2**
100 mV	$y = 17{,}755x + 91{,}6$	0,99
150 mV	$y = 23{,}3x + 34{,}7$	0,96
200 mV	$y = 23{,}275x + 23{,}1$	0,98
250 mV	$y = 16{,}75x + 35{,}125$	0,88
300 mV	$y = 13{,}2x + 36{,}175$	0,99
400 mV	$y = 12{,}125x + 23{,}25$	0,87
500 mV	$y = 11{,}825x + 15{,}3$	0,85
600 mV	$y = 12{,}525x + 7{,}35$	0,95
700 mV	$y = 14{,}4x - 2{,}15$	0,98
1000 mV	$y = 10{,}275x - 1{,}525$	0,97
Uszkodzenie nr 5		
Czułość	**Równanie linii trendu**	**Współczynnik korelacji liniowej R^2**
100 mV	$y = 35{,}575x + 186{,}43$	0,98
150 mV	$y = 37{,}7x + 135{,}68$	0,98
200 mV	$y = 34{,}275x + 116{,}6$	0,97
250 mV	$y = 24{,}325x + 130{,}68$	0,98
300 mV	$y = 15{,}9x + 142{,}98$	0,98
400 mV	$y = 25{,}25x + 91{,}125$	0,90
500 mV	$y = 25{,}65x + 69{,}225$	0,90
600 mV	$y = 24{,}4x + 65{,}725$	0,97
700 mV	$y = 20{,}8 + 68{,}825$	0,91
1000 mV	$y = 13{,}8x + 72{,}325$	0,99

Uszkodzenia całkowite		
Czułość	**Równanie linii trendu**	**Współczynnik korelacji liniowej R^2**
100 mV	$y = 163{,}73x + 460{,}9$	0,99
150 mV	$y = 134{,}8x + 359{,}45$	0,99
200 mV	$y = 124{,}42 + 279{,}93$	0,98
250 mV	$y = 92{,}425x + 314{,}58$	0,99
300 mV	$y = 71{,}775x + 337{,}6$	0,99
400 mV	$y = 71{,}7x + 236{,}55$	0,83
500 mV	$y = 72{,}7x + 173{,}43$	0,90
600 mV	$y = 66{,}715x + 160{,}58$	0,99
700 mV	$y = 60{,}975x + 148{,}65$	0,99
1000 mV	$y = 44{,}675x + 137{,}33$	0,96

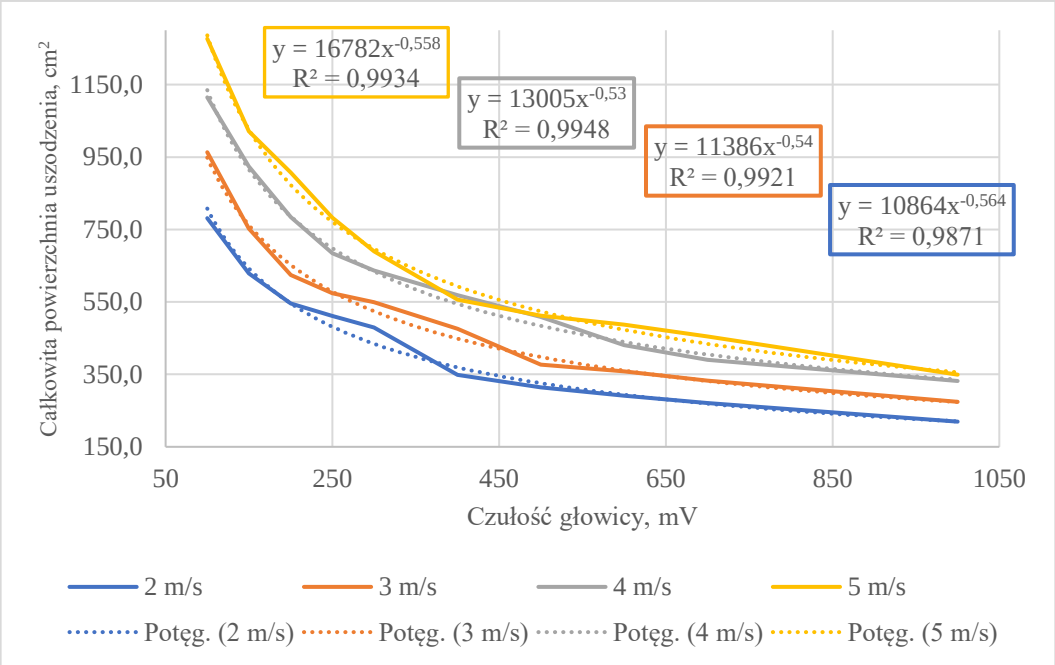
Otrzymane wartości współczynników korelacji liniowej R^2 dla wyznaczonych linii trendu zależności pola powierzchni sygnału magnetycznego od prędkości taśmy dla danych czułości głowicy pomiarowej potwierdziły, że zależność ta jest niemal liniowa. W przypadku uszkodzenia 3. wartości współczynnika korelacji w 3 przypadkach były mniejsze od 0,9, wystąpiło to dla czułości 250, 400 oraz 500 mV. Współczynnik R^2 dla uszkodzenia nr 5 był dla niemal wszystkich przypadków bliski 1, co oznacza, że zależność pola powierzchni pola magnetycznego od prędkości taśmy i jest liniowa. Tylko w przypadku dwóch czułości (400 mV oraz 500 mV) współczynnik ten oscylował w okolicach wartości 0,9. Porównując wartości dla obu uszkodzeń największa korelacja występuje dla czułości 100 mV oraz 300 mV.

W przypadku całkowitego pola powierzchni sygnału magnetycznego współczynnik korelacji liniowej jest przy ośmiu wartościach czułości bliski 1. Tylko w przypadku 400 mV oraz 500 mV prognozowana prosta liniowa zależności obiega od krzywej wykreślonej na podstawie pomiarów.

Następnie oceniany był wpływ wzrostu czułości głowicy pomiarowej na pomierzone pola powierzchni sygnały magnetycznego. Analiza przeprowadzana była dla danych otrzymanych w badaniu, gdzie odległość głowicy od rdzenia taśmy wynosiła 20 mm. Przeanalizowany został przypadek dla uszkodzenia nr 5 oraz dla całkowitej sumy uszkodzeń.



Rysunek 47. Zależność pola powierzchni sygnału magnetycznego dla uszkodzenia 5. dla danych prędkości w zależności od czułości głowicy



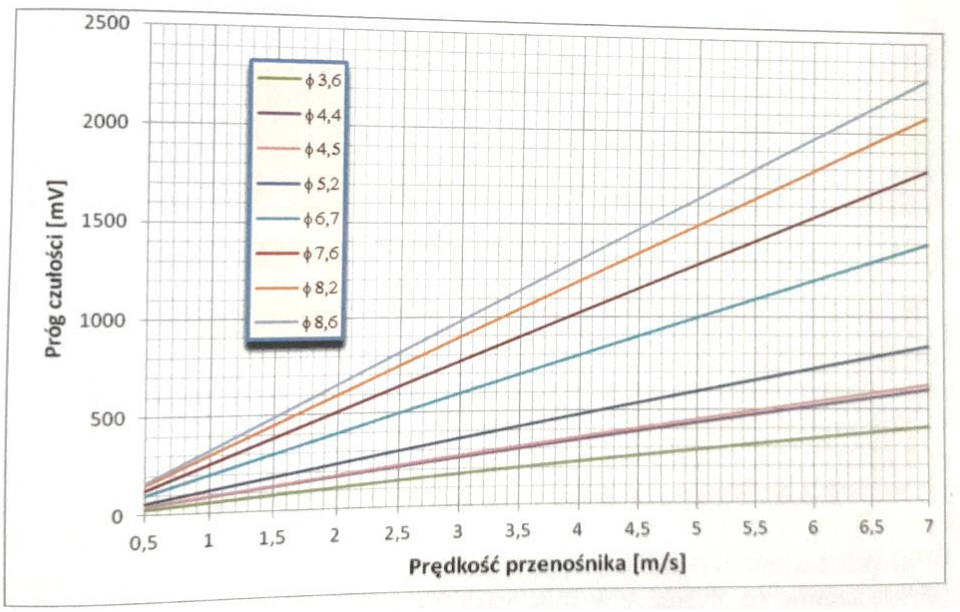
Rysunek 48. Zależność pola powierzchni całkowitego sygnału magnetycznego dla danych prędkości w zależności od czułości głowicy

Powyższe wykresy pokazują, że pole powierzchni sygnału magnetycznego w odniesieniu do czułości głowicy dla każdej z prędkości można opisać za pomocą funkcji potęgowej. Współczynnik a jest dla każdej z krzywej zbliżony, co powoduje, że są one względem siebie niemal równoległe.

Analizując zależność dla uszkodzenia nr 5 można zauważyć, że w miarę zmniejszania się czułości głowicy obliczone powierzchnie sygnału magnetycznego maleją. Zależność zmiany pola powierzchni od tego parametru dla danej prędkości można opisać za pomocą funkcji potęgowej. Współczynniki korelacji w tym przypadku wynosi około 0,97-0,98, co potwierdza tą zależność. W przypadku sumy uszkodzeń współczynniki te są jeszcze bliższe wartości 1.

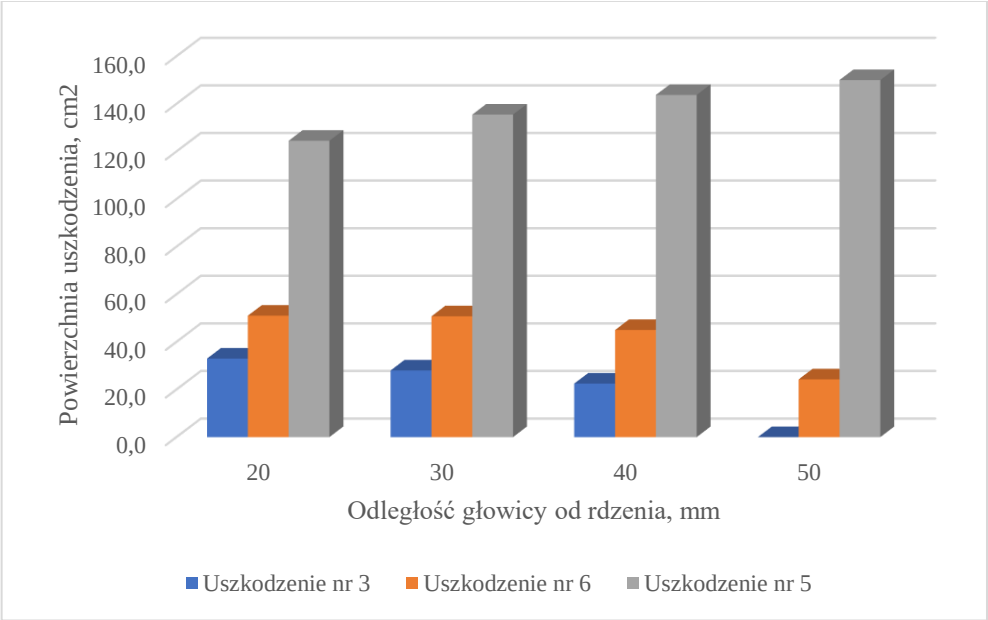
Porównują ze sobą wpływ zmian prędkości taśmy i progów czułości głowicy pomiarowe można zauważyć, że występuje między tymi dwoma parametrami pewna relacja. W przypadku zwiększania prędkości wartości pomierzonych odcinków rosną, natomiast, gdy zmniejszamy czułość następuje ich zmniejszenie.

Zależność ta została potwierdzona badaniami, która umieszczone są w monografii pt.: „Ocena stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi" autorstwa dr hab. Ryszarda Błażeja, prof. uczelni. W wyniku tych badań otrzymano wykres doboru progu czułości urządzenia w zależności od zadanej prędkości taśmy przenośnikowej, a także od średnicy linek, z jakich zbudowany jest rdzeń analizowanej taśmy. Zależność ta, została przedstawiona na rysunku poniżej.

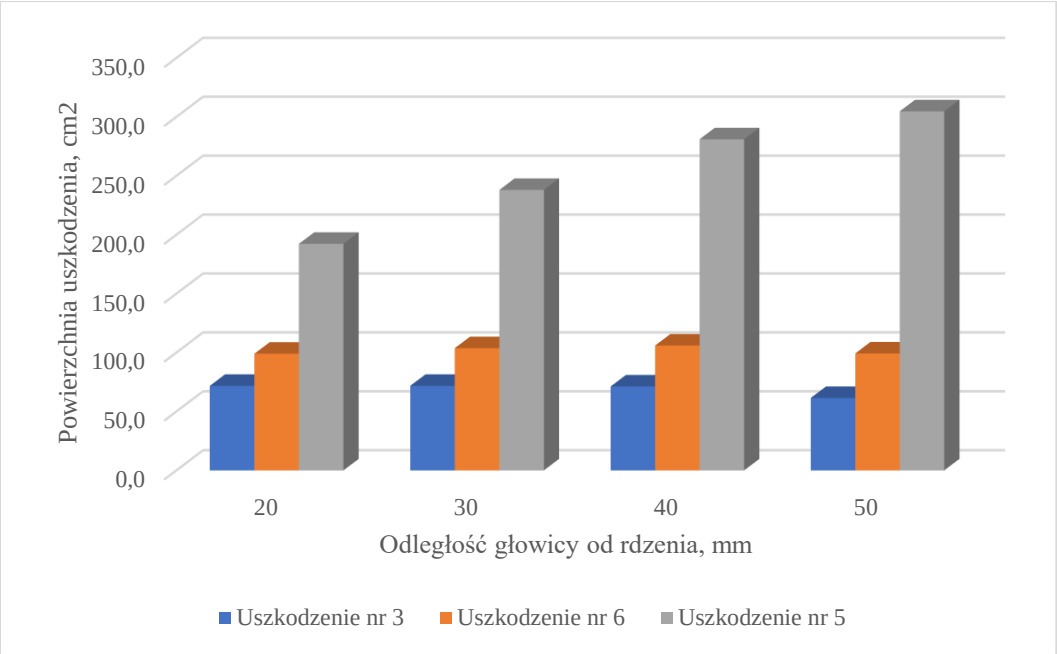


Rysunek 49. Dobór progu czułości głowicy dla danej prędkości taśmy przenośnikowej i średnicy linek rdzenia (Błażej, 2018)

Trzecim parametrem, który również był zmieniany w trakcie badań była odległość głowicy pomiarowej od rdzenia taśmy. Zmieniały się one w zakresie 20-50 mm, co 10 mm. Wyniki uzyskanych powierzchni dla uszkodzeń nr 3, 5 i 6 dla różnej wysokości montażu listwy pomiarowej przy prędkości 2 m/s i czułości 200 i 500 mV zostały przedstawione na poniższych wykresach.

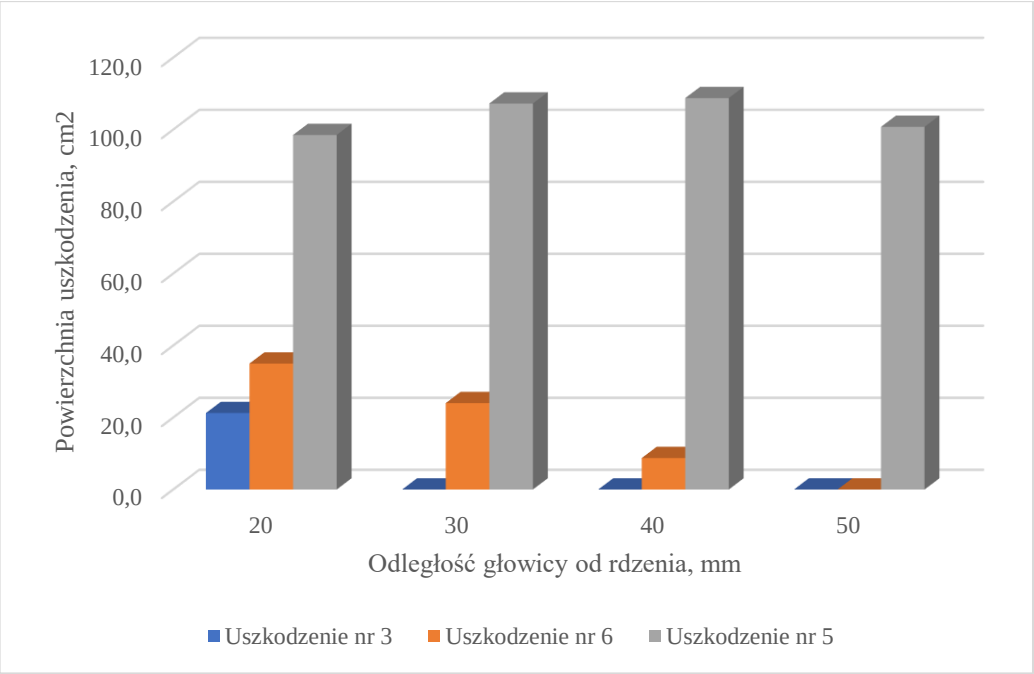


Rysunek 50. Zależność powierzchni uszkodzenia od odległości głowicy od rdzenia dla czułości 500 mV i prędkości taśmy 2 m/s



Rysunek 51. Zależność powierzchni uszkodzenia od odległości głowicy od rdzenia dla czułości 200 mV i prędkości taśmy 2 m/s

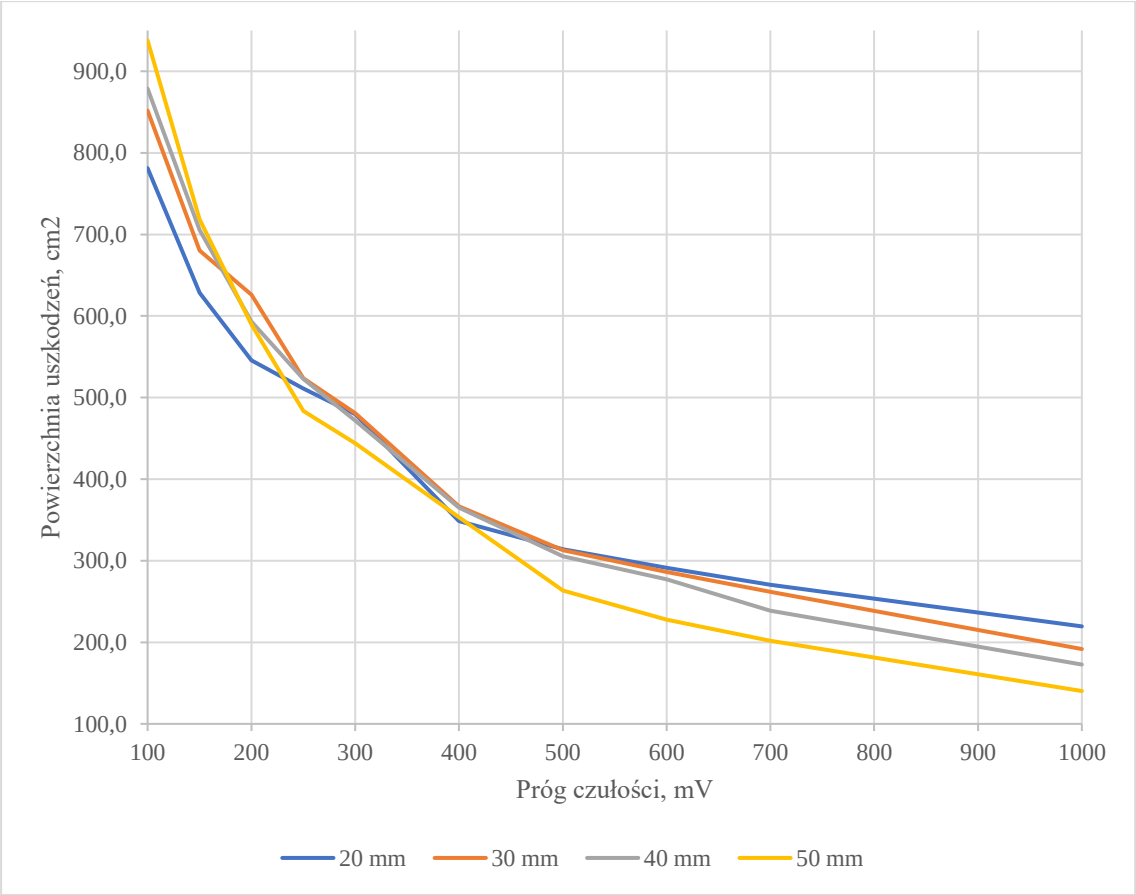
Z powyższych zależności wynika, że wzrost wysokości montażu głowicy nad rdzeniem niejednoznacznie wpływa na powierzchnie uszkodzeń. W przypadku czułości 200 mV pole powierzchni uszkodzenia nr 3 i 6 jest niemal stałe dla różnych odległości listwy pomiarowej. Wzrasta natomiast pole powierzchni uszkodzenia 5. Podobnie jest też w drugim wariancie, przy progu czułości równym 500 mV powierzchnia uszkodzenia nr 5 wzrasta wraz ze wzrostem odległości głowicy od rdzenia, natomiast sygnał odbierany z uszkodzeń 3. i 6 maleje. Przy odległości 50 mm sygnał z uszkodzenia 3. przestaje być odbierany. Wpływ na taką sytuację może mieć także zmiana czułości głowicy pomiarowej.



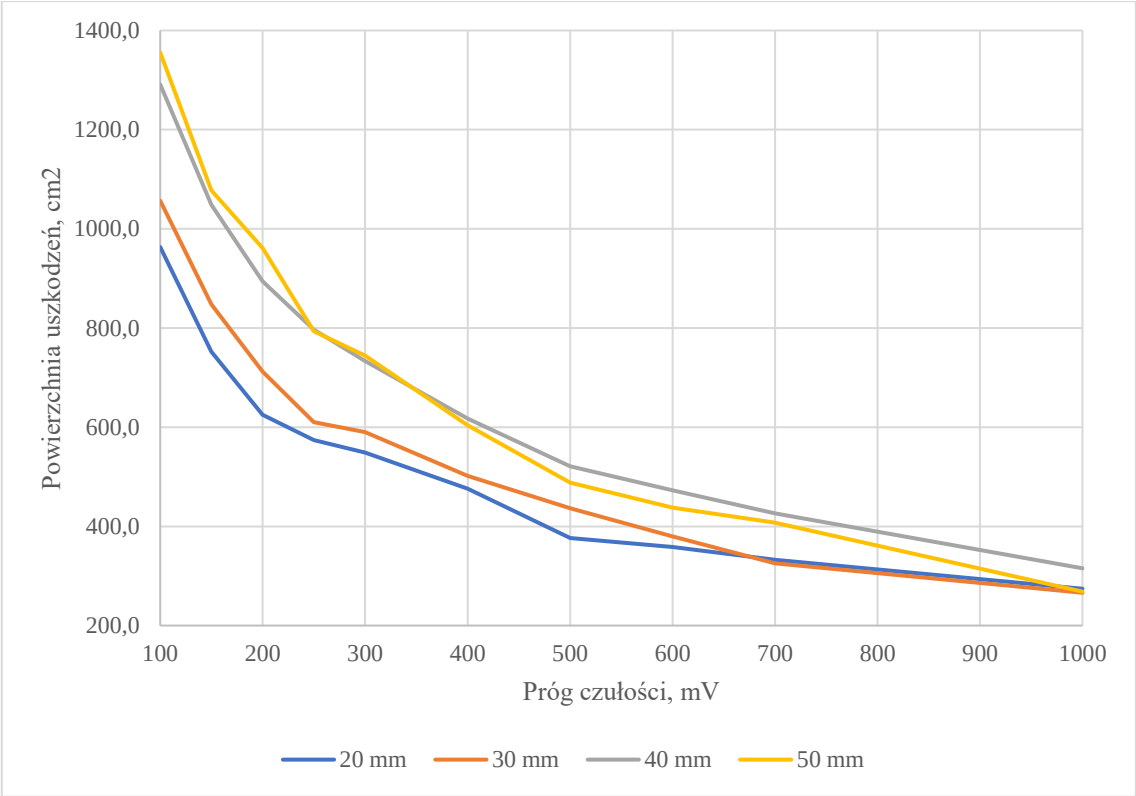
Rysunek 52. Zależność powierzchni uszkodzenia od odległości głowicy od rdzenia dla czułości 1000 mV i prędkości taśmy 2 m/s

W momencie, gdy czułość ustawiona zostanie na poziomie 1000 mV maksymalna powierzchnia uszkodzenia nr 5 zostanie zarejestrowana dla odległości głowicy od rdzenia na poziomie 30-40 mm. Analizując ten oraz powyższe przypadki można wywnioskować, że każde uszkodzenie ma dla danych parametrów swoją największą wartość. Wartość ta może wynikać z powierzchni uszkodzenia. Mniejsze uszkodzenia, takie jak np. przecięcie jednej linki największy sygnał generują przy mniejszych poziomach napięć i w momencie, gdy głowica znajduje się na wysokości 20-30 mm od rdzenia taśmy. Uszkodzenie nr 6, czyli wycięcie linki na długości 2 cm swoje maksimum dla czułości 200 mV osiąga, gdy głowica znajduje się na wysokości 40 mm od rdzenia. Zmiana czułości na 500 mV powoduje, że maksymalna wartość odnotowana jest już dla głowicy zainstalowanej na wysokości 20-30 mm.

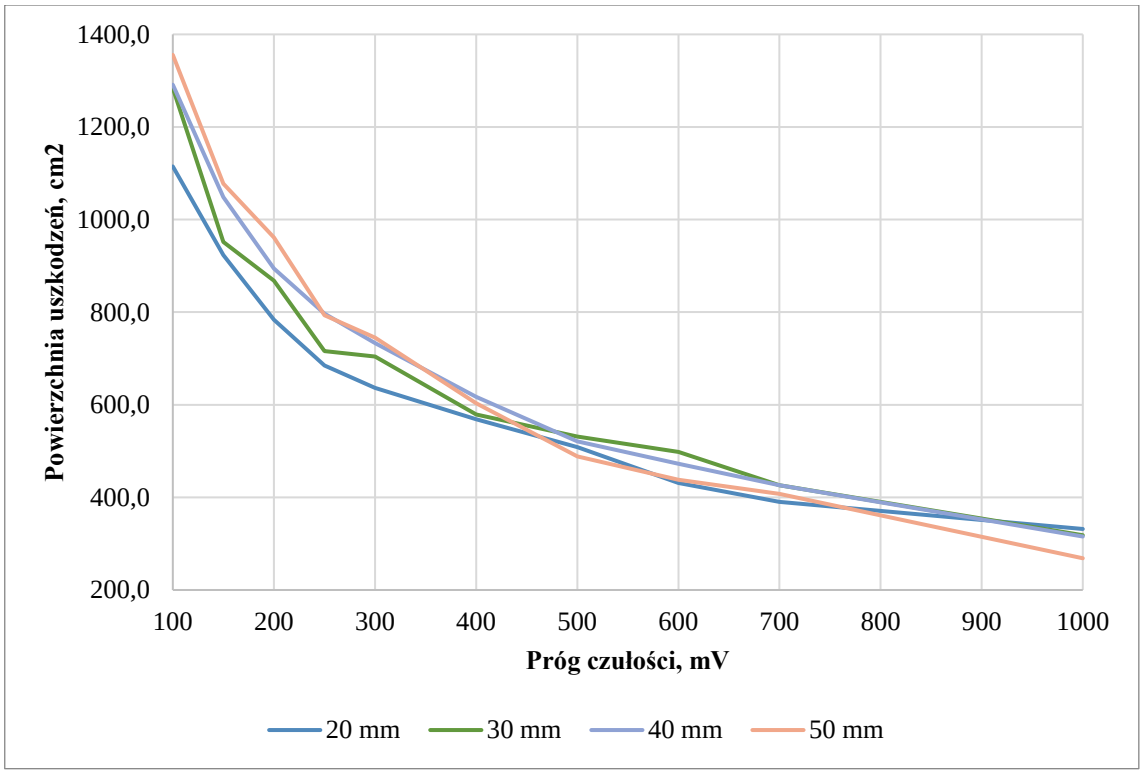
Dalsza analiza wpływu wysokości instalacji głowicy pomiarowej nad rdzeniem taśmy opierała się na zestawieniu całkowitej sumy sygnału magnetycznego odebranej w danej czułości w zależności od odległości listwy pomiarowej. Analiza została wykonana dla wszystkich wartości prędkości taśmy wykorzystanych w badaniach. Wykonane wykresy znajdują się poniżej.



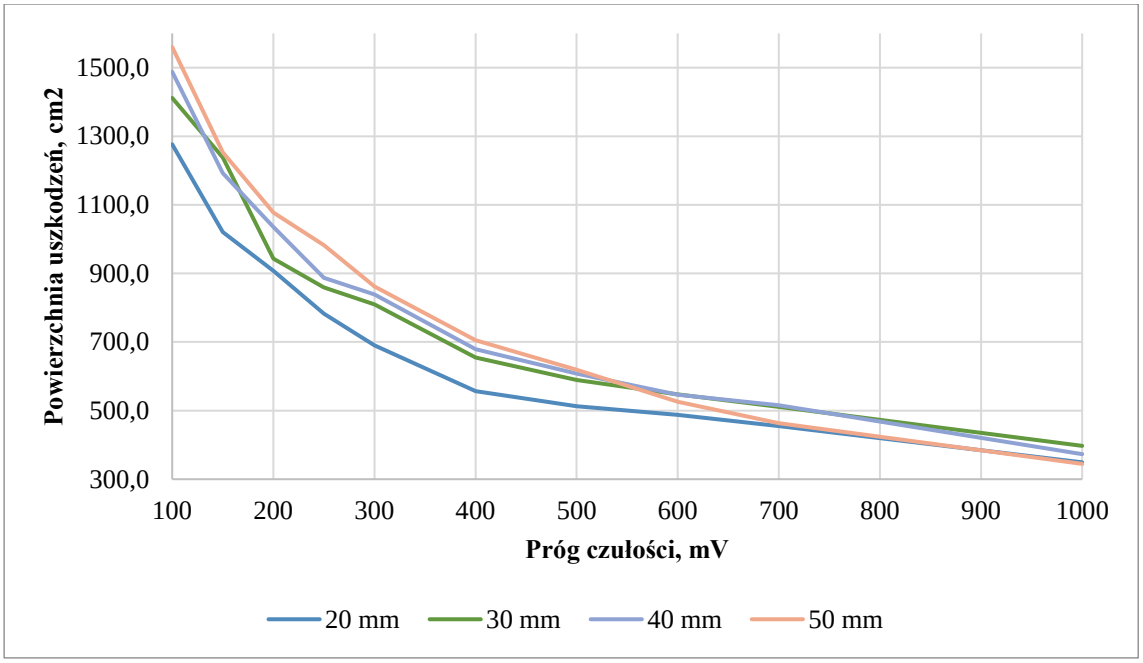
Rysunek 53. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 2 m/s



Rysunek 54. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 3 m/s

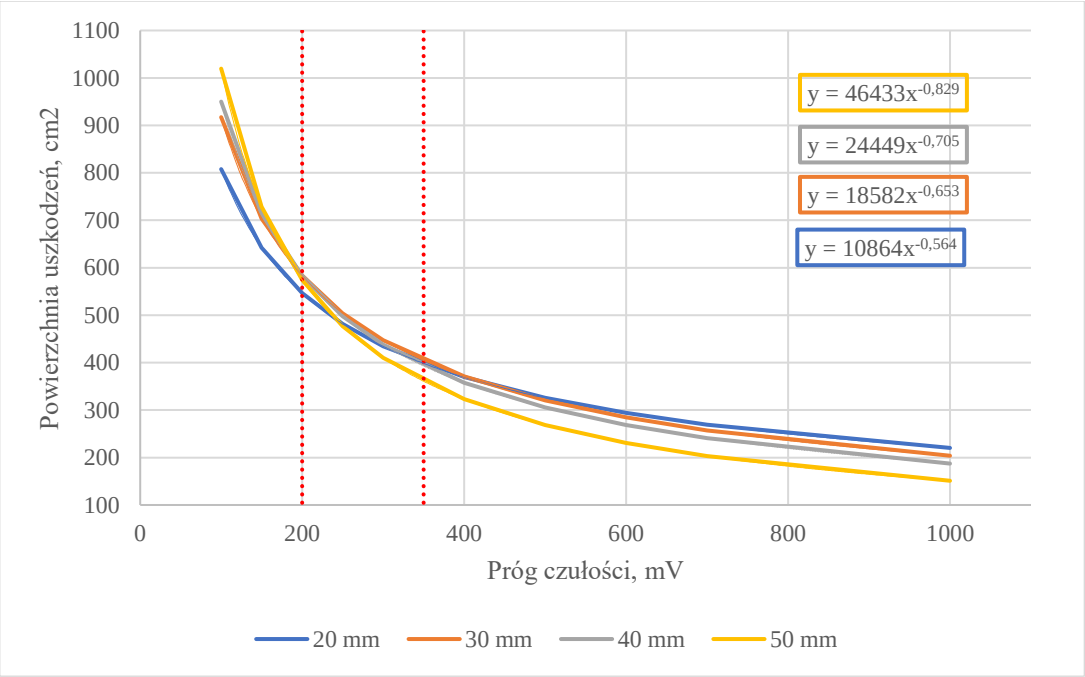


Rysunek 55. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 4 m/s

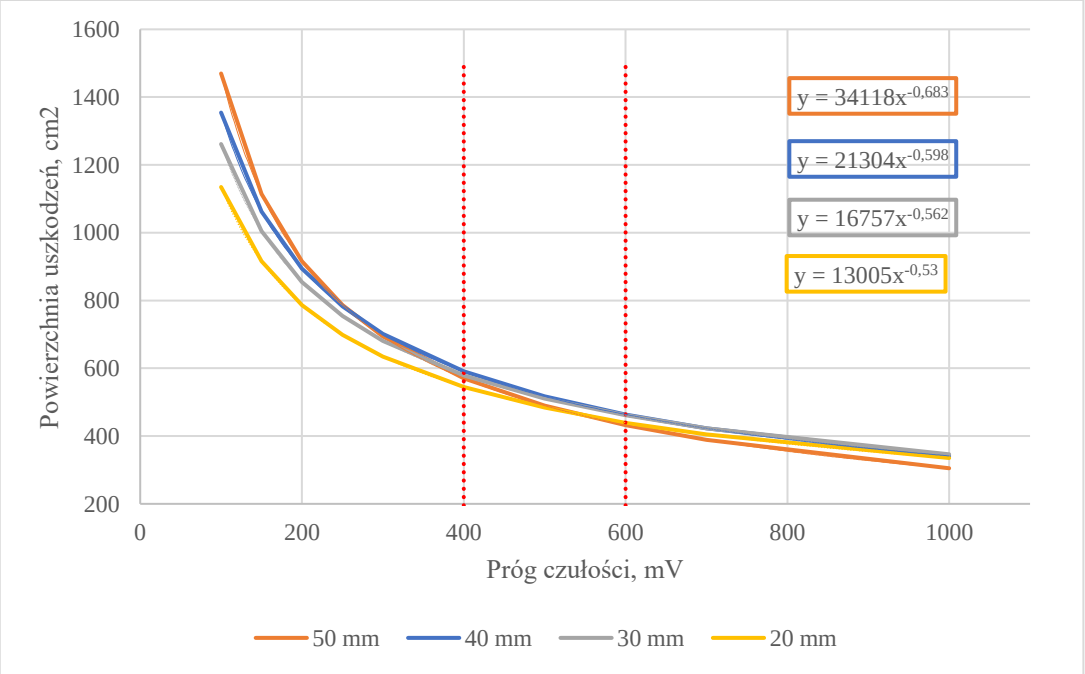


Rysunek 56. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 5 m/s

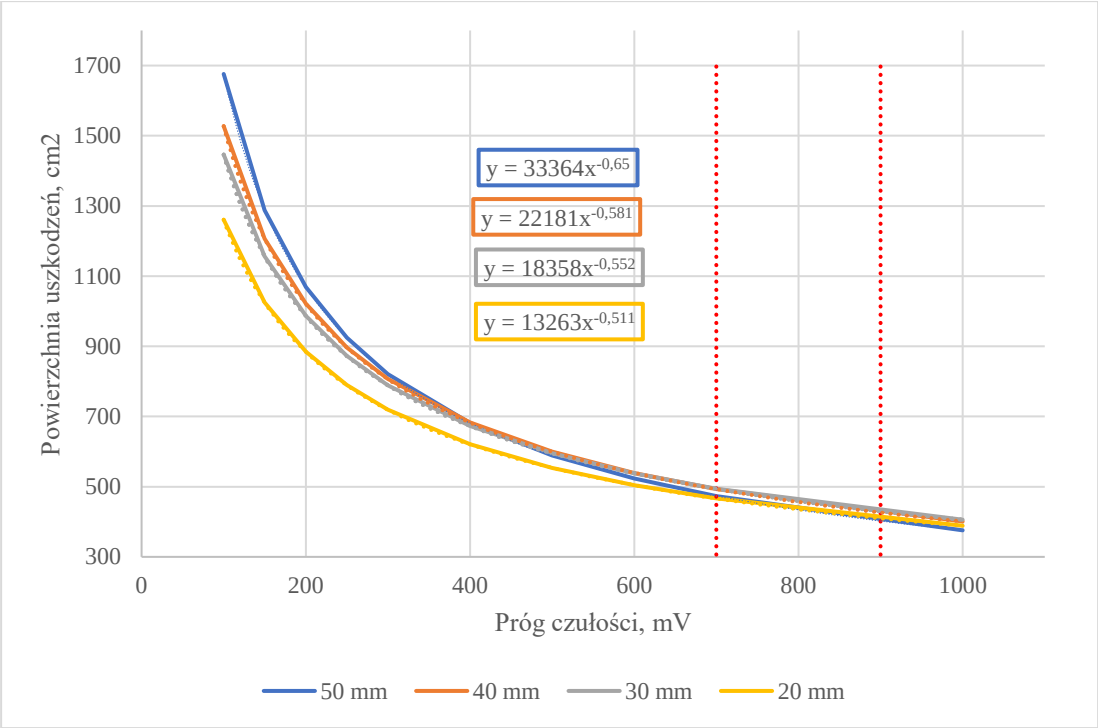
Na wykresach dla danych otrzymanych przy prędkości poruszania się taśmy 2, 4 oraz 5 m/s widać, że linie zbiegają się w pewnym obszarze. Aby lepiej wyznaczyć te zakresy wyznaczono linie trendu dla otrzymanych zależności. Otrzymane wykresy wraz z naniesionymi obszarami zbieżności przedstawiono poniżej. Można na nich zauważyć, że prędkości 2 m/s zbieżność następuje przy wartości czułości około 250-350 mV, dla prędkości 4 m/s 400-600 mV, natomiast dla 5 m/s zakres ten oscyluje w granicach 700-900 mV.



Rysunek 57. Linie trendu oraz obszary zbieżności dla danych otrzymanych przy prędkości poruszania się taśmy 2 m/s



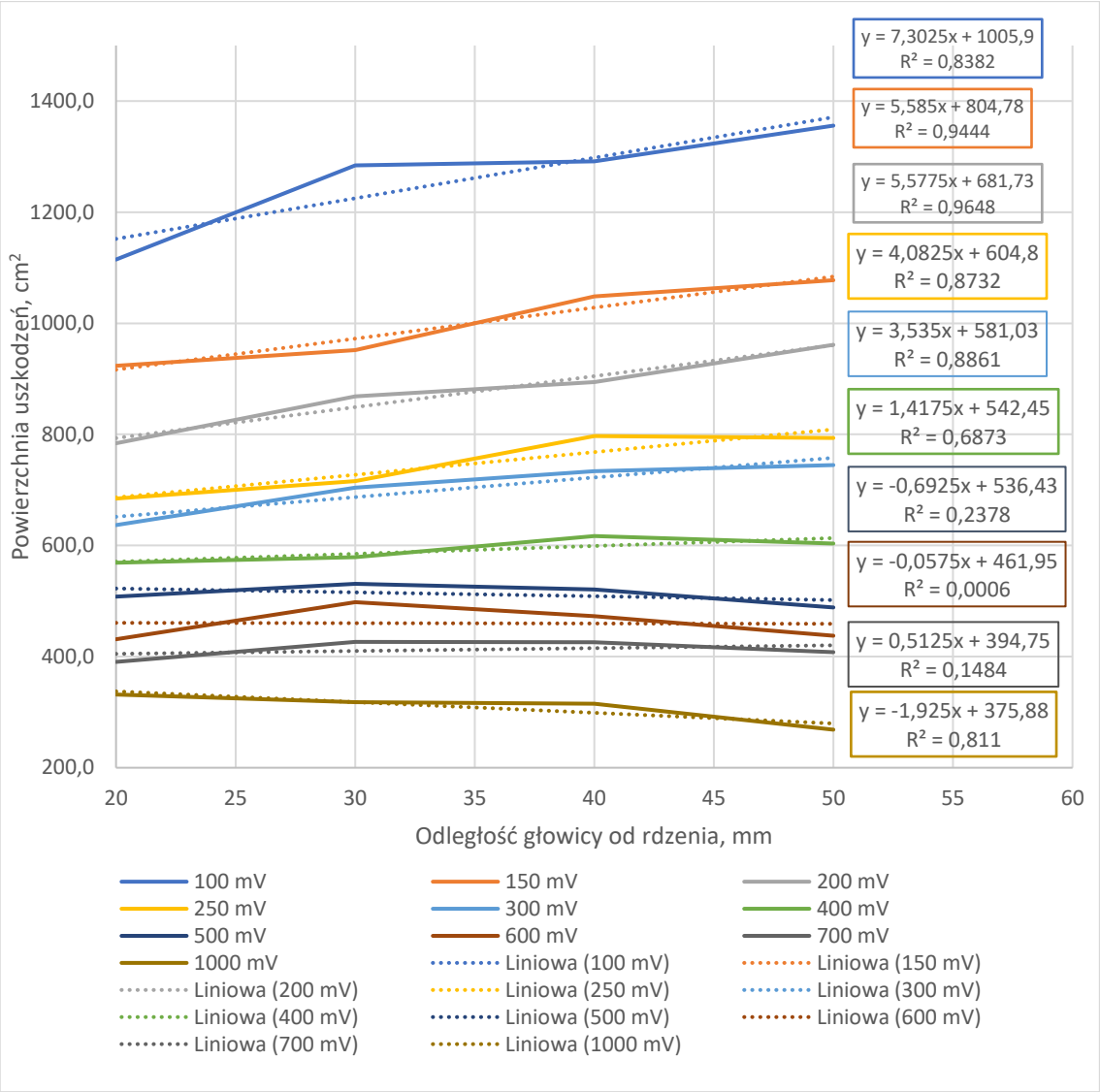
Rysunek 58. Linie trendu oraz obszary zbieżności dla danych otrzymanych przy prędkości poruszania się taśmy 4 m/s



Rysunek 59. Linie trendu oraz obszary zbieżności dla danych otrzymanych przy prędkości poruszania się taśmy 5 m/s

Największa różnica otrzymanych uszkodzeń została odnotowana przy prędkości taśmy równiej 3 m/s i wynosiła około 400 cm^2 między najniższym, a najwyższym ustawieniem głowicy, przy czułości 100 mV. Jedną z zależności, którą można wywnioskować z wykresu jest to, że w każdym przypadku największa powierzchnia sygnału dla 100 mV występuje przy wysokości głowicy 50 mm. Jednak w trakcie wzrostu czułości, wielkość powierzchni sukcesywnie spada i w wartości 1000 mV dla tej wysokości jest najmniejsza spośród wszystkich analizowanych odległości. Może to wynikać z faktu, że każde uszkodzenie ma swoją największą wartość dla danej czułości i wysokości głowicy. Zmniejszenie się czułości i zwiększenie odległości głowicy od rdzenia taśmy powoduje, że mniejsze uszkodzenia są słabiej wykrywalne lub kompletnie nierejestrowane przez system, a większe wady również posiadają mniejszą powierzchnię.

Dodatkowo został stworzony wykres obrazujący zmianę powierzchni uszkodzeń w zależności od odległości listwy pomiarowej od rdzenia dla danego progu czułości. Wykres został przedstawiony na rysunku nr 51. Z wykresu można wywnioskować, że dla niższych zadanych czułości (100 mV, 150 mV, 200 mV) krzywe mają tendencję wzrostową w momencie, gdy głowica jest podwyższana. Dla pozostałych wartości tego parametru odbierany sygnał magnetyczny maleje ze wzrostem odległości listwy pomiarowej od rdzenia. Różnice te są najmniejsze dla czułości 300 oraz 400 mV.



Rysunek 60. Zależność wielkości sygnału magnetycznego od odległości głowicy od rdzenia dla danych czułości przy prędkości 5 m/s

8. Analiza statystyczna wyników

Otrzymane wyniki zostały także poddane analizę statystycznej, która oceniła zależność danych parametrów z otrzymanymi wynikami. Posłużyło do tego narzędzie The StatAdvisor, które wyznaczyło różne statystyki, w tym: korelacje, kowariancje oraz korelacje częściowe. Statystyki te wyznaczane były dla pola powierzchni uszkodzeń 1.-6. oraz zadanych zmiennych: odległości głowicy od rdzenia taśmy, prędkości poruszania się taśmy oraz czułości (zakres 100-600 mV). Niektóre wyniki otrzymane w wyniku tej analizy zostały przedstawione poniżej.

Tabela 11. Wartości współczynnika korelacji Pearsona i współczynnika P uszkodzeń i danych parametrów

Współczynnik		**Uszkodzenie**						**Odległość głowicy**	**Prędkość**	**Czułość**
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**			
Korelacja	Uszkodzenie 1		0,771	0,689	0,548	0,542	0,635	-0,073	0,244	-0,568
Wartość P			0,000	0,000	0,0005	0,0006	0,000	0,672	0,152	0,0003
Korelacja	Uszkodzenie 2	0,771		0,921	0,856	0,876	0,909	0,466	0,300	-0,637
Wartość P		0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,076	0,000
Korelacja	Uszkodzenie 3	0,689	0,921		0,936	0,967	0,963	0,635	0,289	-0,717
Wartość P		0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,087	0,000
Korelacja	Uszkodzenie 4	0,548	0,856	0,936		0,969	0,936	0,739	0,299	-0,675
Wartość P		0,0005	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,076	0,000
Korelacja	Uszkodzenie 5	0,542	0,876	0,967	0,969		0,966	0,770	0,297	-0,677
Wartość P		0,0006	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,079	0,000

Korelacja	Uszkodzenie 6	0,635	0,909	0,963	0,936	0,966		0,648	0,285	-0,689
Wartość P		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,092	0,000
Korelacja	Odległość głowicy	-0,073	0,466	0,635	0,739	0,770	0,648		0,192	-0,388
Wartość P		0,672	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000		0,261	0,019
Korelacja	Prędkość	0,244	0,300	0,289	0,299	0,297	0,285	0,192		0,323
Wartość P		0,152	0,076	0,087	0,076	0,079	0,092	0,261		0,055
Korelacja	Czułość	-0,568	-0,637	-0,717	-0,675	-0,677	-0,689	-0,388	0,323	
Wartość P		0,0003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0194	0,055	

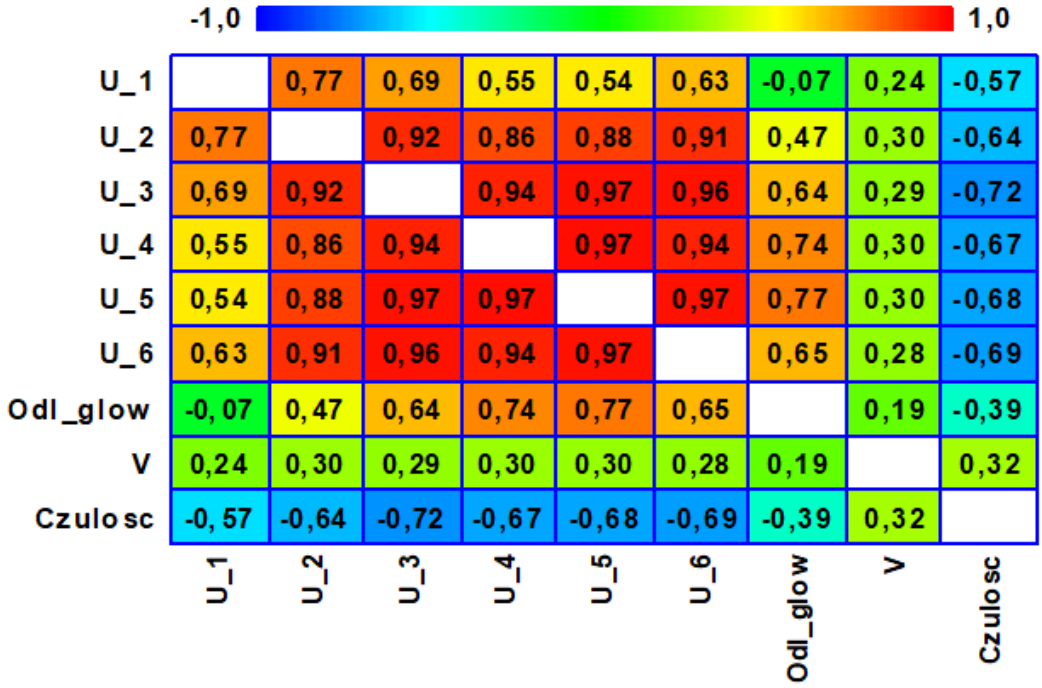
Korelacja przedstawiona powyżej określa związki między danymi uszkodzeniami, a zmienianymi parametrami. Widać, że zależności pomiędzy poszczególnymi wartościami odnotowanymi dla uszkodzeń są dość duże i są one największe dla uszkodzenia nr 5 oraz 6. Istotna jest też wartość współczynnika P, która ocenia istotność statystyczną szacowanych korelacji. Wartości, poniżej 0,05 wskazują na statystycznie istotne niezerowe korelacje na poziomie ufności 95%. W przypadku związku poszczególnych uszkodzeń między sobą widać, że są one ze sobą istotnie skorelowane ($P = 0$).

Współczynnik korelacji Pearsona na istotnym poziomie można także zauważyć między wszystkimi uszkodzeniami, a zmienną czułością głowicy. Korelacja między tymi zmiennymi oscyluje między -0,568, a -0,717. Wartość ujemna pokazuje, że wzrost jednego z parametru powoduje spadek drugiego.

Jeśli chodzi o zależność wysokości głowicy nad rdzeniem, a powierzchnią uszkodzenia to w przypadku uszkodzenia nr 1 jest ona najmniejsza i posiada dodatkowo wartość ujemną. Istotność korelacji jest natomiast bardzo niska. Inaczej jest w przypadku pozostałych uszkodzeń. Wówczas zależność przyjmuje już wartości dodatnie w zakresie 0,466-0,770 i są one silnie ze sobą skorelowane.

Najmniejszą wartość współczynnika korelacji Pearsona można zauważyć w przypadku prędkości, a danymi uszkodzeniami. Dla żadnego uszkodzenia nie przekroczyła ona wartości 0,300, jednak oscyluje ona na bardzo podobnym poziomie. Nie można także stwierdzić silnej istotności między tymi zależnościami.

Dane zawarte w powyższej tabeli zostały przedstawione także na rysunku nr 61.



Rysunek 61. Wykres szacunkowych wartości współczynników korelacji Pearsona

9. Wnioski

Powyższa praca miała na celu wybór parametrów pomiaru modułu magnetycznego, tak aby wyniki przeprowadzanych badań w warunkach kopalnianych były jak najbardziej miarodajne, a ich analiza nie wymagała dużej ilości czasu. W tym celu wykonane zostały badania taśmy z linkami stalowymi na przenośniku testowym przy wykorzystaniu Systemu Diagbelt.

Podsumowując:

- wśród rozpatrywanych uszkodzeń największy sygnał magnetyczny (we wszystkich wariantach zmian parametrów) odnotowany został dla uszkodzenia nr 5 – przecięcie 6 linek w kierunku poprzecznym,
- największy wpływ na wielkość sygnału ma prędkość poruszania się taśmy przenośnikowej oraz zmiana progu czułości głowicy pomiarowej,

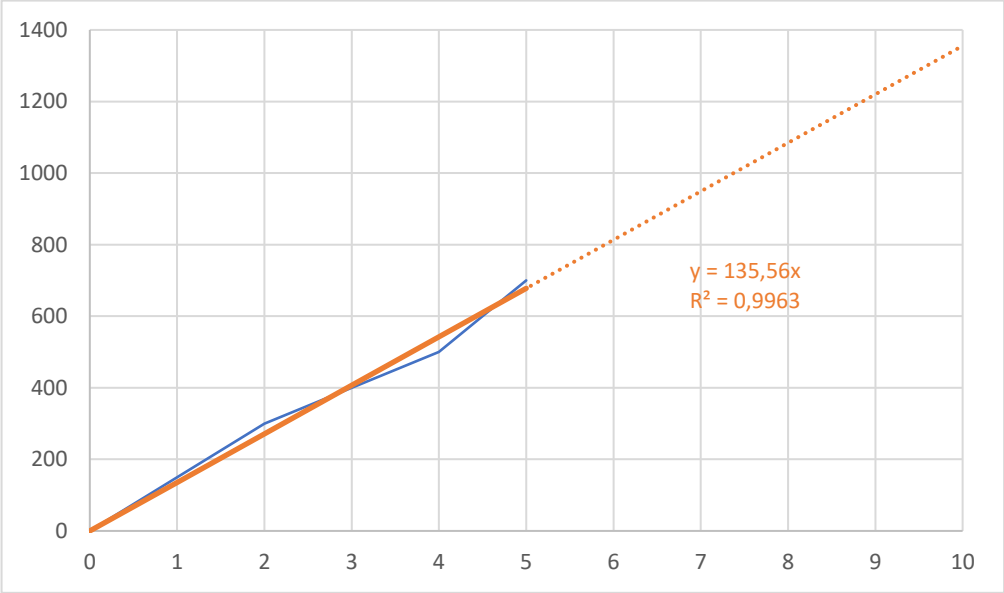
- większa czułość głowicy pomiarowej może prowadzić do wystąpienia szumów, które zakłócają odbierany sygnał; należy stosować wówczas większe poziomy napięcia, powyżej 200 mV,
- przy wyższych prędkościach poruszania się taśmy należy zmniejszyć czułość głowicy, gdyż istnieje większe prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska falowania lub drgania taśmy, co prowadzi do powstania większej ilości szumów i tym samym badania nie odzwierciedlają rzeczywistego stanu uszkodzenia,
- mniejsza czułość głowicy pomiarowej może spowodować nierejestrowanie mniejszych uszkodzeń, które mogą wpływać na kondycję badanej taśmy,
- wraz ze wzrostem prędkości poruszania się taśmy następuje wzrost pola powierzchni uszkodzeń, czyli istnieje potrzeba stosowania kompensacji prędkości,
- wartość pola powierzchni uszkodzeń jest liniowo skorelowana z czułością głowicy pomiarowej i prędkością poruszania się taśmy,
- wzrost odległości głowicy pomiarowej od badanej taśmy powodował, że małe uszkodzenia nie były rejestrowane; tak było z uszkodzeniem 1., którego sygnał nie był odnotowany nawet dla największej czułości, przy ustawieniu głowicy na poziomie 50 mm od rdzenia taśmy,
- przy dużej prędkości przemieszczania się taśmy może wystąpić zjawisko falowania, które przy małych odległościach głowicy od rdzenia może prowadzić do uszkodzenia głowicy przez taśmę; ponadto taśma może posiadać miejscami większą grubość, więc wskazane jest aby stosować wysokość głowicy minimum 20-30 mm nad rdzeniem,
- analizując wyniki otrzymane dla różnych wysokości głowicy wyznaczono zakresy czułości dla danych prędkości, dla których otrzymane pola powierzchni są niemal identyczne; wartości tych parametrów znajdują się w tabeli nr 12, natomiast wykres zależności został przedstawiony na rysunku nr 62,
- analiza statystyczna otrzymanych danych pozwoliła określić korelację pomiędzy danymi parametrami, a otrzymanymi uszkodzeniami;

największa korelacja z wysokim progiem istotności została oszacowana pomiędzy zmianą powierzchni danych uszkodzeń, a zmianą czułości;

- zaburzenie sygnału magnetycznego uszkodzenia może być spowodowane bliską odległością danego uszkodzenia od złącza; wyznaczenie minimalnej odległości, przy której sygnał złącza nie wpływa na impuls badanego uszkodzenia może być tematem dalszych prac.

Tabela 12. Optymalne wartości parametrów

Wysokość głowicy od rdzenia	**Próg czułości**	**Prędkość poruszania się taśmy**
mm	mV	m/s
20-50	300	2
20-50	400	3
20-50	500	4
20-50	700	5



Rysunek 62. Zależność optymalnych wartości czułości głowicy od prędkości poruszania się taśmy dla głowicy zainstalowane na wysokości 20-50 mm

10. Spis rysunków

Rysunek 1. Uproszczony schemat przenośnika taśmowego (Hardygóra i inni, 1999)..... 4
Rysunek 2. Schemat budowy taśmy przenośnikowej z linkami stalowymi (Kulinowski, 2020) 5
Rysunek 3. Wpływ siły Lorentza na cząstkę naładowaną dodatnie oraz ujemne (naukowiec.org, 2020) 8
Rysunek 4. Uporządkowanie momentów magnetycznych domen (1 - przy braku pola zewnętrznego, 2 - w obecności pola zewnętrznego) (iviter.pl, 2020) 10
Rysunek 5. Pętla histerezy dla kilkukrotnego przemagnesowania wraz z zaznaczoną krzywą pierwotnego namagnesowania (zstio-elektronika.pl) 11
Rysunek 6. Rozkład sił linii pola magnetycznego na przykładzie magnesu sztabkowego (home.agh.edu.pl) 12
Rysunek 7. Stanowisko pracy modułu wizyjnego wykorzystującego kamerę liniową (Błażej i inni, 2015) 14
Rysunek 8. Składowe modułu magnetycznego (1 - listwa pomiarowa, 2 - listwy magnesu stałego, 3 - tachometr, 4 – rejestrator) (Diagbelt.pwr.edu.pl)..... 16
Rysunek 9. Przykładowe stanowisko pomiarowe sytemu Diagblet (diagblet.pwr.edu.pl) 17
Rysunek 10. Okno główne modułu prognozującego (Błażej i inni, 2015)..... 18
Rysunek 11. Bramka pomiarowa modułu prewencyjnego zamontowanego na przenośniku testowym (Błażej i inni, 2015) 19
Rysunek 12. Okno główne modułu bezpieczeństwa (Błażej i inni, 2015) 20
Rysunek 13. Schemat przenośnika testowego (Błażej, 2018) 21
Rysunek 14. Uszkodzenia 1.-4. taśmy wraz z kierunkiem (oś x – po długości taśmy, oś y – po szerokości taśmy)..... 22
Rysunek 15. Uszkodzenia 5.-8. taśmy wraz kierunkiem (oś x – po długości taśmy, oś y – po szerokości taśmy)..... 22
Rysunek 16. Skorodowana linka w trzech stadiach procesu (od góry I stadium korozji, II stadium korozji, 3 stadium korozji) (Błażej, 2018) 23
Rysunek 17. Schemat badanej taśmy wraz z lokalizacjami uszkodzeń (1.-6.) i złączy . 24
Rysunek 18. Listy magnesujące przymocowanego do konstrukcji przenośnika taśmowego 24
Rysunek 19. Odległość listw magnesujących od taśmy 25

Rysunek 20. Zamontowany tachometr na przenośniku testowym 25
Rysunek 21. Ustawienie głowicy pomiarowej w odpowiedniej odległości od rdzenia .. 27
Rysunek 22. Fragment sygnału magnetycznego zarejestrowanego podczas badań 28
Rysunek 23. Przykładowe uszkodzenie przedstawione jako sygnał dodatni (niebieski) oraz ujemny (żółty) 29
Rysunek 24. Sygnał magnetyczny emitowany przez złącze 29
Rysunek 25. Pomiar długości sygnału dla pojedynczego kanału 30
Rysunek 26. Odebrany sygnał pola magnetycznego dla złącza i uszkodzenia nr 8 przy czułości 100 mV 31
Rysunek 27. Odebrany sygnał pola magnetycznego dla złącza i uszkodzenia nr 8 przy czułości 1000 mV 32
Rysunek 28. Zestawienie pola powierzchni sygnału dla skorodowanej linki dla czułości 250 mV 33
Rysunek 29. Zestawienie obliczonych powierzchni uszkodzeń w zależności od prędkości i czułości dla odległości głowicy od taśmy 20 mm 40
Rysunek 30. Sygnał magnetyczny dla jednej pętli taśmy, przy prędkości 4 m/s, odległości głowicy od rdzenia 40 mm oraz czułości 100 mV 40
Rysunek 31. Sygnał magnetyczny dla jednej pętli taśmy, przy prędkości 4 m/s, odległości głowicy od rdzenia 40 mm oraz czułości 300 mV 41
Rysunek 32. Sygnał magnetyczny dla jednej pętli taśmy, przy prędkości 4 m/s, odległość głowicy od rdzenia 40 mm oraz czułości 1000 mV 41
Rysunek 33. Zestawienie sum powierzchni sygnału magnetycznego w zależności od czułości i odległości głowicy pomiarowej od rdzenia dla prędkości 3 m/s 42
Rysunek 34. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 3 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 100 mV 43
Rysunek 35. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 3 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 400 mV 43
Rysunek 36. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 3 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 1000 mV 44
Rysunek 37. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 5 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 100 mV 45
Rysunek 38. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń przy prędkości 5 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 400 mV 46

Rysunek 39. Pole powierzchni sygnału dla poszczególnych uszkodzeń dla prędkości 5 m/s, odległości głowicy pomiarowej od rdzenia 20 mm oraz czułości 1000 mV 46
Rysunek 40. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 2 m/s 47
Rysunek 41. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 3 m/s 47
Rysunek 42. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 4 m/s 47
Rysunek 43. Sygnał magnetyczny uszkodzeń generowany przy odległości głowicy 20 mm, czułości 250 mV oraz prędkości taśmy 5 m/s 48
Rysunek 44. Zależność pola powierzchni sygnału magnetycznego dla uszkodzenia 5 od prędkości taśmy dla danego progu czułości 48
Rysunek 45. Zależność pola powierzchni sygnału magnetycznego dla uszkodzenia 3 od prędkości taśmy dla danego progu czułości 49
Rysunek 46. Zależność wzrostu pola sygnału magnetycznego od prędkości taśmy dla danych czułości 50
Rysunek 47. Zależność pola powierzchni sygnału magnetycznego dla uszkodzenia 5. dla danych prędkości w zależności od czułości głowicy 53
Rysunek 48. Zależność pola powierzchni całkowitego sygnału magnetycznego dla danych prędkości w zależności od czułości głowicy 53
Rysunek 49. Dobór progu czułości głowicy dla danej prędkości taśmy przenośnikowej i średnicy linek rdzenia (Błażej, 2018) 55
Rysunek 50. Zależność powierzchni uszkodzenia od odległości głowicy od rdzenia dla czułości 500 mV i prędkości taśmy 2 m/s 55
Rysunek 51. Zależność powierzchni uszkodzenia od odległości głowicy od rdzenia dla czułości 200 mV i prędkości taśmy 2 m/s 56
Rysunek 52. Zależność powierzchni uszkodzenia od odległości głowicy od rdzenia dla czułości 1000 mV i prędkości taśmy 2 m/s 57
Rysunek 53. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 2 m/s 58
Rysunek 54. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 3 m/s 59
Rysunek 55. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 4 m/s 59

Rysunek 56. Całkowita powierzchnia uszkodzenia w zależności od odległości głowicy nad rdzeniem i progu czułości dla prędkości 5 m/s 60
Rysunek 57. Linie trendu oraz obszary zbieżności dla danych otrzymanych przy prędkości poruszania się taśmy 2 m/s 61
Rysunek 58. Linie trendu oraz obszary zbieżności dla danych otrzymanych przy prędkości poruszania się taśmy 4 m/s 61
Rysunek 59. Linie trendu oraz obszary zbieżności dla danych otrzymanych przy prędkości poruszania się taśmy 5 m/s 62
Rysunek 60. Zależność wielkości sygnału magnetycznego od odległości głowicy od rdzenia dla danych czułości przy prędkości 5 m/s 63
Rysunek 61. Wykres szacunkowych wartości współczynników korelacji Pearsona 66
Rysunek 62. Zależność optymalnych wartości czułości głowicy od prędkości poruszania się taśmy dla głowicy zainstalowane na wysokości 20-50 mm 68

11. Bibliografia

Błażej R, 2018, Ocena stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wrocław;

Błażej R., 2018, Tworzenie mapy uszkodzeń taśm przenośnikowych w systemie DiagBelt, Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego, Polska;

Błażej R, Chęciński S., Jurdziak L., Witt A., 2014, ABCDE diagnozy taśmy, Surowce i maszyny budowlane, nr 4-5, s. 26-29;

Błażej R. i inni, 2015, Inteligentny system diagnostyki taśm przenośnikowych – możliwości aplikacyjne systemu i jego modułów, CUPRUM – Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud, nr 3, s. 155-168;

Gładysiewicz L., 2003, Przenośniki taśmowe, teoria i obliczenia, Politechnika Wrocławska, Wrocław;

Hardygóra M., Żur T., 1996, Przenośniki taśmowe w górnictwie, „Śląsk" Sp. z o.o., Katowice;

Hardygóra M. i inni, 1999, Taśmy przenośnikowe, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa;

Kozłowski T., Błażej R., 2018, Wpływ wybranych parametrów na wyniki badań magnetycznych systemem Diagblet, Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 4, s. 6-9;

Michalski W., 2013, Podstawy teorii pola elektromagnetycznego" część I statyczne pole elektryczne i magnetyczne, Politechnika Wrocławska, Wrocław;

Żur T., 1974, Urządzenia transportowe w górnictwie: Transport taśmowy, Politechnika Wrocławska, Wrocław;

Strona internetowa: http://diagbelt.pwr.edu.pl/index.php/pl/

Strona internetowa: http://home.agh.edu.pl/~kakol/efizyka/w22/main22b.html

Strona internetowa: http://ilf.fizyka.pw.edu.pl/podrecznik/3/3/10

Strona internetowa: https://iviter.pl/encyklopedia/ferromagnetyk/

Strona internetowa: http://www.labor-tasmy.pl/linki_stalowe.html

Strona internetowa: https://teoriaelektryki.pl/niezwykly-ferromagnetyzm/

Strona internetowa: http://www.zstio-elektronika.pl/pliki_zsz/PEiE-58.pdf