

ROZKŁAD TEMPERATUR W KRĄŻNIKACH I BĘBNACH PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH W WARUNKACH ZAGROŻENIA POŻAROWEGO

TEMPERATURE DISTRIBUTION IN IDLERS AND ROLLERS OF BELT CONVEYORS IN CONDITIONS OF FIRE HAZARD

Dionizy Dudek, Krzysztof Dudek, Andrzej Figiel - Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska

W artykule omówiono wyniki badań stanowiskowych temperatury powstającej w strefie kontaktu między taśmą przenośnikową a bębniem lub krążnikiem przenośnika. W oparciu o uzyskane wyniki badań opracowano model matematyczny przyrostu temperatury na płaszczu bębna i tarczy bębna. Wskazano optymalne miejsca do zabudowania stałych czujników umożliwiających wykrywanie różnych uszkodzeń generujących wzrost temperatury bębna lub krążnika w czasie ich eksploatacji w rzeczywistych warunkach.

Słowa kluczowe: pomiary termowizyjne, zagrożenia pożarowe, przenośniki taśmowe krążniki, bębny

The article discusses the results of stand test research of temperature generated in the contact zone between the belt of a conveyor and a roller or an idler. Based on the obtained results, the mathematical model of temperature rise on roller mantle and roller flange was identified. The optimal areas for installation of permanent sensors to detect various defects generating increase of temperature of roller or idler during their operation in real conditions were pointed out.

Key words: thermovision measurements, fire hazards, conveyor belts, idlers, rollers

Wprowadzenie

Analiza okoliczności pożarów, jakie miały miejsce w polsce na maszynach podstawowych wskazuje jednoznacznie, że główną ich przyczyną było tarcie taśmy przenośnikowej o zahamowane krążniki dolne, krążniki nadawy lub poślizg taśmy na bębnach [2]. Konsekwencje pożarów zależały nie tylko od czasu jaki upłynął od wybuchu pożaru do czasu jego zaobserwowania i wszczęcia akcji ratunkowej, ale również od lokalizacji zarzewia pożaru.

Odpowiednio wczesne wykrycie powstającego zagrożenia pożarowego wymaga kontroli temperatury potencjalnych miejsc inicjacji pożaru. W przenośnikach ciepło jest generowane w strefie kontaktu płaszczu krążnika lub okładzin bębna z taśmą. W celu określenia możliwości i optymalnych warunków pracy systemu wykrywającego uszkodzenia mogące doprowadzić do pożaru przeprowadzono badania laboratoryjne. Przyjęto, że uszkodzenia w przenośnikach objawiają się silnym wzrostem tarcia w łożyskach, aż do całkowitego zablokowania krążnika lub bębna napinającego.

Siła tarcia taśmy o płaszcz krążnika szacowana jest jako iloczyn współczynnika tarcia (μ) oraz obciążenia krążnika przez ładunek, niesiony przez taśmę na odcinku pomiędzy

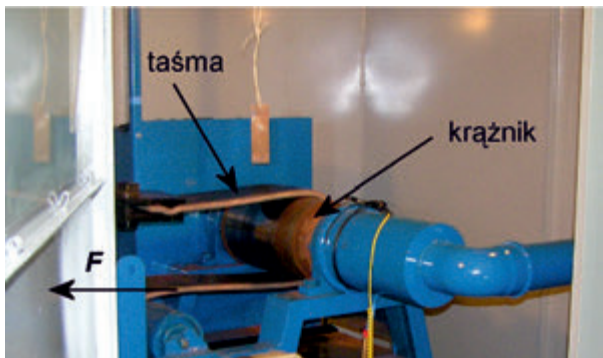
krążnikami. W przypadku bębna poślizgowa siła tarcia, zgodnie z wzorem eulera, wynika z naciągu taśmy schodzącej z bębna (F) oraz iloczynu współczynnika tarcia μ i kąta opasania bębna taśmą α ($F \cdot \exp(\mu \cdot \alpha)$).

Badania laboratoryjne - Opis stanowiska

Badania zostały przeprowadzone na stanowisku do badania taśmy metodą ścierną Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, umożliwiającym zmianę siły naciągu taśmy F. Podczas badań realizowano przypadek pełnego poślizgu taśmy, który w rzeczywistości ma miejsce przy całkowitym zablokowaniu krążnika. Na stanowisku zjawisko to zostało odwrócone – unieruchomiono taśmę a obracał się krążnik (rys. 1). Generowane ciepło tarcia w strefie kontaktu krążnika z taśmą przepływało na drodze przewodzenia wzdłuż płaszczu do tarcz bocznych, które są potencjalnym miejscem, z których możliwy jest odczyt temperatury przez mikroprocesorowe czujniki temperatury.

Rozkład temperatury w wybranych regionach krążnika rejestrowano za pomocą kamery termowizyjnej Thermovision 550 firmy FLIR (rys. 2) z częstotliwością 0,5 Hz. Stanowisko umożliwiało zmianę siły naciągu taśmy. Pomiary temperatury

prowadzono przy czterech wartościach siły naciągu taśmy F : 343, 686, 1029 i 1715 N.

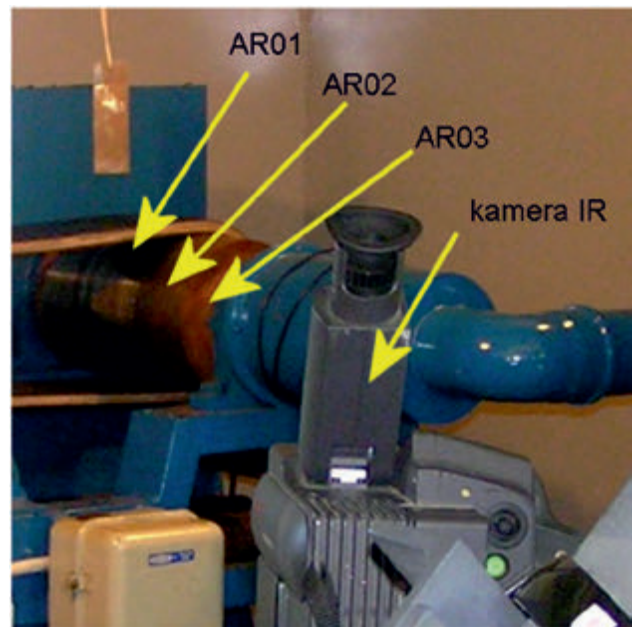


Rys. 1. Fragment stanowiska do badań taśm metodą ścierną
Fig. 1. Part of the test stand for the research of belts with an abrasive method

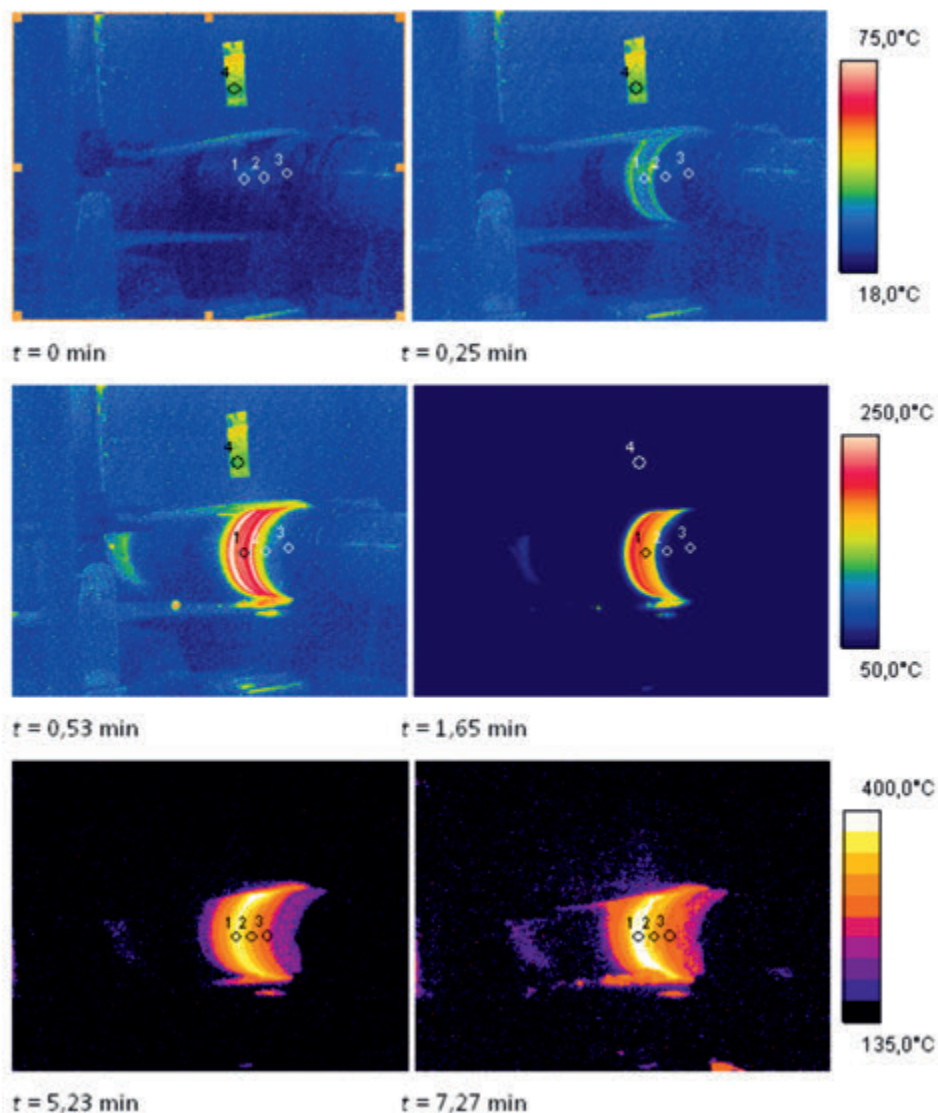
Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów w postaci sekwencji termogramów (rys. 3) poddano analizie za pomocą oprogramowania ThermoCAM Professional. W regionach AR01, AR02 i AR03 (rys. 2) wyznaczono temperatury: średnią, minimalną, maksymalną oraz odchylenie standardowe.

Początki samozapłonu taśm w przenośnikowej wwoławego

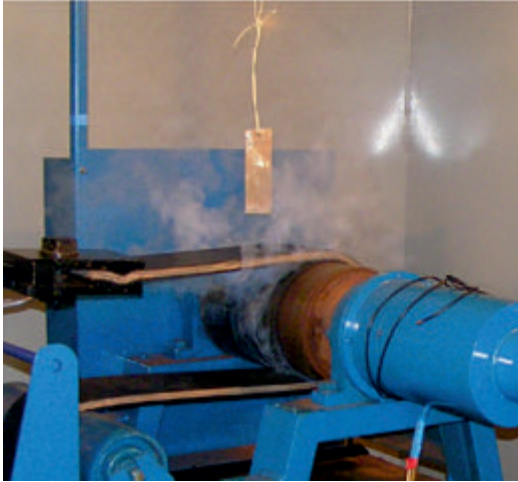


Rys. 2. Lokalizacja regionów krążnika poddanych analizie:
AR01 – środek płaszczka, AR02 – prawy skraj płaszczka, AR03 – środek tarczy prawej
Fig. 2. Location of runner's analyzed areas: AR01 - centre of the mantle, AR02 - right edge of the mantle, AR03 - centre of right flange

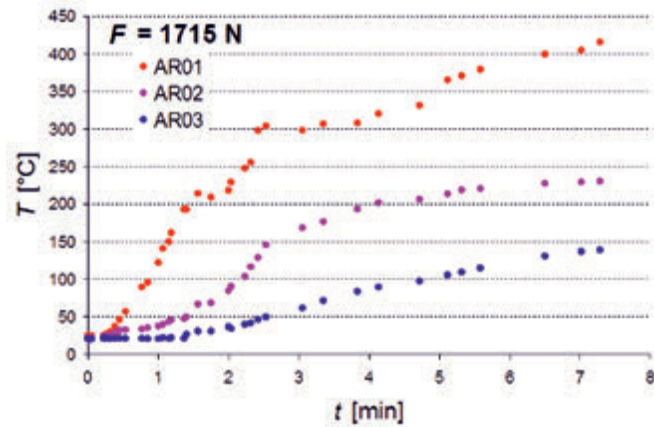


Rys. 3. Wybrane termogramy krążnika zarejestrowane podczas badań stanowiskowych przy sile naciągu taśmy $F = 1715$ N (t – czas od początku poślizgu)
Fig. 3. Selected runner's thermograms recorded during the tests. The belt tension force $F = 1715$ N (t – time from the beginning of the slip)

tarcie nastąpiły przy sile naciągu taśmy $F = 1715$ N po upływie $t = 7,3$ min od unieruchomienia krążnika (rys. 4). Po tym czasie badania przerwano. Przebieg temperatur maksymalnych w regionie AR01 (w środku płaszczu) ilustruje rysunek 5.



Rys. 4. Początki samozapłonu taśmy po czasie $t = 7,3$ min
Fig. 4. The start of belt's ignition at $t = 7.3$ min



Rys. 5. Zmiana temperatury maksymalnej w środku płaszczu krążnika (AR01), na prawym skrajku płaszczu (AR02) i w środku tarczy (AR03) przy sile naciągu taśmy $F = 1715$ N

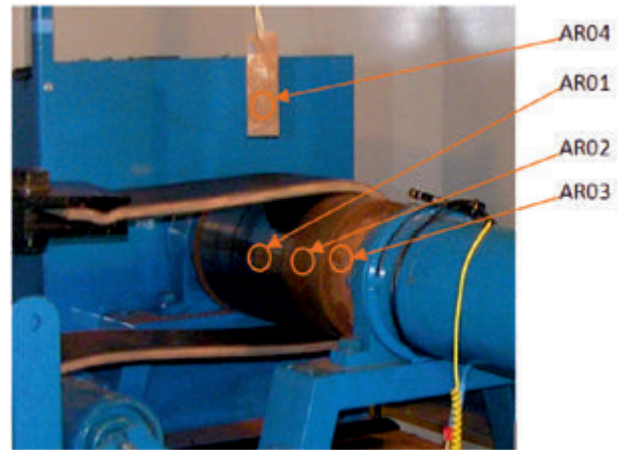
Fig. 5. Change of the maximum temperature inside the idler's mantle (AR01), on the right edge of the mantle (AR02) and inside the flange (AR03) at the belt tension force $F = 1715$ N

Modele matematyczne wzrostu temperatury

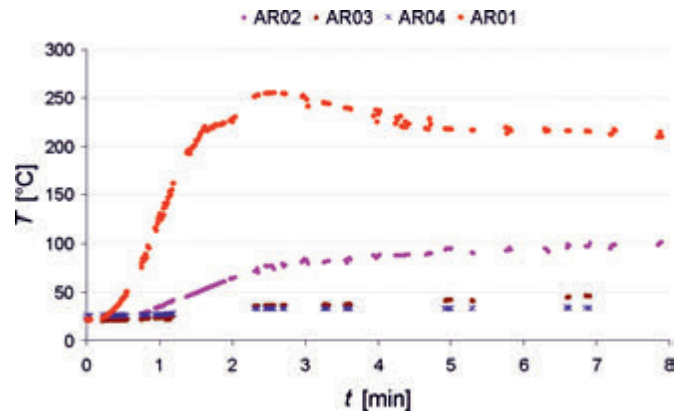
Wyniki badań procesu tarcia i rozkładu temperatury bębnow i krążników na stanowisku badawczym przeprowadzone z wykorzystaniem techniki termograficznej pozwoliły na oszacowanie parametrów modelu matematycznego za pomocą analizy regresji nieliniowej. Analizie poddano przebieg zmian temperatury w trzech regionach (rys. 6): AR01 – płaszcz bębna w środku (pod taśmą), AR02 – płaszcz bębna nie osłonięty taśmą (obrzeże), AR03 – tarcza bębna. Region AR04 stanowiła próbka służąca do pomiaru temperatury powietrza.

Przy obciążeniach $F = 343, 686$ i 1029 N temperatura regionu AR01 wzrastała do temperatury maksymalnej i po ok. 2,5 min stabilizowała się na poziomie zależnym od siły naciągu taśmy F .

Dla siły $F = 343$ N była to temperatura $T_{max} = 256^{\circ}\text{C}$ (rys. 7). Wzrost temperatury płaszczu bębna nie osłoniętego taśmą (obszar AR02) trwał nieprzerwanie do 12 min i temperatura po tym czasie na skutek przewodnictwa osiągnęła wartość $T_{max} = 115^{\circ}\text{C}$. W tym czasie temperatura w obszarze AR01 spadła do 204°C .



Rys. 6. Lokalizacja analizowanych regionów powierzchni krążnika
Fig. 6. Location of the analyzed regions of the surface of the idler



Rys. 7. Zmiana temperatury maksymalnej w analizowanych regionach płaszczu krążnika przy sile naciągu taśmy $F = 343$ N

Fig. 7. Change of the maximum temperature in the analyzed regions of the idler's mantle at the belt tension force $F = 343$ N

Temperatura tarczy bębna (obszar AR03) rosła powoli, by w 12 min osiągnąć wartość $T_{max} = 56,4^{\circ}\text{C}$. Temperatura zawieszonyj nad bębniem próbki (obszar AR04) zbliżona do temperatury powietrza wzrosła po 12 min z $22,2^{\circ}\text{C}$ do $39,2^{\circ}\text{C}$.

Dla sił $F = 686$ i 1029 maksymalna temperatura wynosiła odpowiednio 268°C i 330°C .

Temperaturę wybranego regionu powierzchni płaszczu bębna w chwili t można opisać zależnością:

$$T(t) = T_0 + \Delta T(t)$$

Przyrost temperatury powierzchni bębna $\Delta T(t)$ w funkcji czasu trwania poślizgu pod działaniem siły $F = 343$ kN do czasu jej stabilizacji t_k można wyrazić za pomocą funkcji jednej zmiennej. Z analizy wykresu (rys. 7) wynika, że wzrastanie temperatury w obszarze AR01 ma charakter krzywej o kształcie litery S. Dlatego jako model tego procesu założono regresję nieliniową i rozpatrywano m.in. następujące funkcje:

- krzywe S:

$$\Delta T(t) = \exp(b_0 + b_1 \cdot t^{-1}),$$

$$\Delta T(t) = b_0 + b_1 \cdot \exp(b_2 \cdot t^{-1}),$$

- równanie logistyczne:

$$\Delta T(t) = \frac{b_0}{1 + b_1 \cdot \exp(-b_2 \cdot t)},$$

- wielomian trzeciego stopnia:

$$\Delta T(t) = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$$

Przeprowadzono estymację parametrów modeli (b_0, b_1, b_2, b_3) i przetestowano zgodność modeli z wynikami eksperymentu (pomiaru temperatury od $t_0 = 0$ min do $t_k = 2,55$ min). Najlepsze dopasowanie modelu do wyników pomiaru, oceniane współczynnikiem determinacji R^2 , otrzymano dla trendu logistycznego o parametrach:

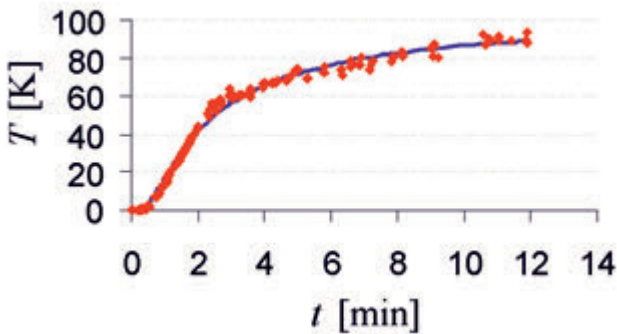
$$b_0 = 222,1; b_1 = 47,7; b_2 = 3,667.$$

Współczynnik determinacji $R^2 = 0,997$ informuje, że 99,7% zmienności temperatury powierzchni płaszczka pod taśmą wyjaśnione jest przez model:

$$\Delta T(t) = \frac{222,1}{1 + 47,7 \cdot \exp(-3,667 \cdot t)}$$

W modelu tym parametr b_0 informuje, do jakiego poziomu wzrośnie asymptotycznie temperatura powierzchni bębna (przy obciążeniu taśmą siłą 343 N). Dla opisu wzrastania temperatury płaszczka bębna nie osłoniętego taśmą (obszar AR02) przyjęto dwuparametrowy model:

$$\Delta T(t) = \exp\left(4,65 - \frac{1,86}{t}\right), R^2 = 0,996.$$



Rys. 8. Model temperatury w regionie AR02 na tle wyników pomiaru temperatury

Fig. 8. Model of temperature in the region AR02 with the results of temperature measurement

Model matematyczny przyrostu temperatury bocznej tarczy bębna (AR03):

$$\Delta T(t) = 0,16^{1,29 - \frac{0,57}{t}}, R^2 = 0,986.$$

Temperatury w analizowanych obszarach korelują ze sobą istotnie. Macierz współczynników korelacji zawiera tabela 1.

Tab. 1. Wartości współczynników korelacji liniowej między temperaturami w obszarach AR01, AR02 i AR03 dla obciążenia $F = 343$ N

Tab. 1. The values of coefficients of the linear correlation between the temperature in the areas AR01, AR02 and AR03 for load $F = 343$ N

	T_{AR01}	T_{AR02}	T_{AR03}
T_{AR01}	1	0,842	0,740
T_{AR02}	0,842	1	0,954
T_{AR03}	0,740	0,954	1

Współzależność między temperaturą powierzchni bębna pod taśmą T_{AR01} a tarczą bębna T_{AR03} można wyrazić wystarczająco dokładnie zależnością liniową:

$$T_{AR01} = 23,3 + 2,02 \cdot T_{AR03}, r = 0,898.$$

Wnioski

Lokalizacja stałych czujników temperatury powinna być tak dobrana, by stosunkowo dobrze umożliwić wykrywanie różnych uszkodzeń, przy ograniczonej liczbie czujników.

Najbardziej korzystna, z punktu widzenia czasu reakcji, jest zabudowa czujnika w środku płaszczka krążnika, wirującego wraz z bębniem i przekazującego informacje radiowo.

W przypadku bębnowy wystarczy zabudowa czujnika na łożysku oraz w niewielkiej odległości przed bębniem.

Temperatura w obszarze AR03 trwale wyższa od temperatury otoczenia o 60°C świadczy o temperaturze pod taśmą (obszar AR01) rzędu 150°C , o ile nie jest spowodowana wadliwym łożyskowaniem bębna.

Literatura

- [1] Augustynowicz J., Dudek D., Dudek K., Figiel A., *Termiczne kryterium diagnostyczne degradacji krążników przenośników taśmowych*. Problemy Maszyn Roboczych. 1999, z. 14
- [2] Babiarz S., Dudek D., *Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007
- [3] Dudek K., *Wykorzystanie krzywych ROC do wyznaczania wartości progowych termicznych symptomów diagnostycznych*. W: Termografia i termometria w podczerwieni. TTP 2006. VII Konferencja krajowa, Ustroń-Jaszowiec, 16-18 listopada 2006
- [4] Dudek K., *Metoda wyznaczania wartości progowej symptomu w diagnostyce termicznej zespołów maszyn roboczych*. Systems: Journal of Transdisciplinary Systems Science. 2003, vol. 8