

Jan SADOWSKI, Tomasz FAŚ

e-mail: sadjan@utp.edu.pl

Zakład Mechaniki Stosowanej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Minimalizacja hałasu taśmociągu transportującego węgiel brunatny

Wprowadzenie

Hałas jest zjawiskiem niepożądanym, nieprzyjemnym, dokuczliwym, uciążliwym, szkodliwym i przekraczającym dopuszczalne normy. Oddziałuje negatywnie na narząd słuchu oraz inne zmysły i części organizmu człowieka. Jest też zarazem odpadem, który należy unieszkodliwić [Sadowski, 2012]. Stanowi specyficzny czynnik zanieczyszczający środowisko, a także w wielu przypadkach jest przyczyną degradacji środowiska naturalnego, ponieważ pogarsza jego jakość, aż do uniemożliwienia znacznym obszarom biosfery pełnienia ich normalnych funkcji.

Celem pracy było przedstawienie efektów akustycznych wyciszenia taśmociągu transportującego węgiel z Kopalni Węgla Brunatnego Turów (Bogatynia) do Elektrowni Turów (Zgorzelec). Omawiany taśmociąg pracujący w cyklu całodobowym przechodzi w bliskiej odległości terenów zamieszkalnych miasta Bogatynia i powodował swym hałasem znaczne przekroczenia dopuszczalnych norm, zwłaszcza w porze nocnej.

Przedstawiono ocenę efektów wyciszenia taśmociągu na podstawie efektów wyciszenia jego odcinka, analizując model analityczny i model numeryczny. Wyniki tej analizy zastosowano przy zrealizowanym wyciszeniu taśmociągu.

Teoretyczne podstawy wyciszenia taśmociągu

Ustalenie warunków i reguł metody szacowania efektów wyciszenia taśmociągu było możliwe na podstawie analizy modeli teoretycznych, które można przedstawić w dwóch postaciach: analitycznej i dogodniejszej w obliczeniach komputerowych – numerycznej. Ze względu na postawione zadanie, sformułowane modele muszą stwarzać możliwość analizy pola akustycznego liniowego źródła dźwięku, które na krótkim odcinku zmniejsza promieniowaną moc akustyczną. Modele utworzono na podstawie wieloletnich badań własnych i studiów literaturowych [Jaroch, 1991; Wernerowski, Sadowski, 2006; Sas-Bojarska, 2000; Engel, 2001].

Model analityczny

Taśmociąg stanowiący liniowe źródło dźwięku jest rozważany jako zbiór ułożonych wzdłuż linii prostej niekoherentnych, punktowych źródeł elementarnych o mocy akustycznej (w), reprezentujących odcinki o długości (dx).

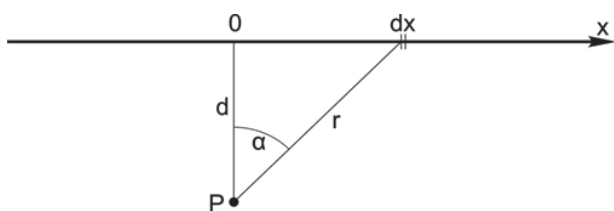
Zgodnie z geometrią pokazaną na rys. 1 kwadrat ciśnienia akustycznego p^2 w punkcie P oddalonym o r od źródła elementarnego wynosi:

$$p^2 = \frac{wz_0}{2\pi r^2} \quad (1)$$

gdzie:

$$r^2 = d^2 + x^2$$

z_0 – impedancja akustyczna właściwa powietrza.



Rys. 1. Geometria układu źródła liniowego

Kwadrat ciśnienia akustycznego od całego źródła liniowego jest równy:

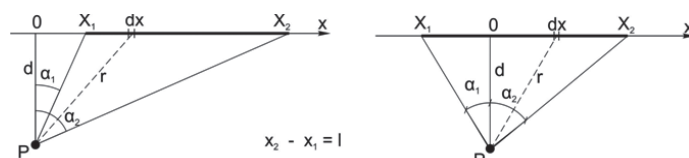
$$p^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{wz_0}{2\pi r^2} dx = \frac{wz_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx}{d^2 + x^2} = \frac{wz_0}{2d} \quad (2)$$

Zatem poziom ciśnienia akustycznego w punkcie P jest równy:

$$L_p = L_{wj} - 10 \log(2d) \quad (3)$$

gdzie: $L_{wj} = 10 \log(w/w_0)$ – poziom mocy akustycznej na jednostkę długości źródła; $w_0 = 10^{-12}$ [W].

Powyższy model nie jest wystarczający dla rozważanego przypadku, a bardziej przydatny dla niego będzie model źródła o skończonej długości l , który pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Źródło liniowe o skończonej długości l

Zgodnie z geometrią pokazaną na rys. 2 kwadrat ciśnienia akustycznego od całego źródła jest równy:

$$p_i^2 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{wz_0}{2\pi r^2} dx = \frac{wz_0}{2\pi} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{d^2 + x^2} \quad (4a)$$

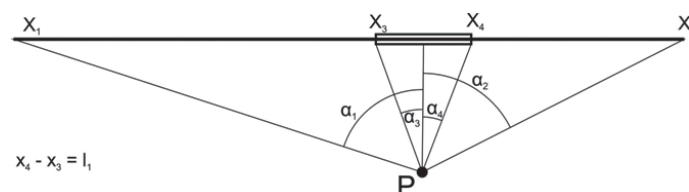
$$p_i^2 = \frac{wz_0}{2\pi r^2} \left[\arctg\left(\frac{x_2}{d}\right) - \arctg\left(\frac{x_1}{d}\right) \right] = \frac{wz_0}{2\pi d} (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (4b)$$

Zatem poziom ciśnienia akustycznego wynosi:

$$L_i = L_{wj} - 10 \log(2d) + 10 \log\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\pi}\right) \quad (5)$$

Jeżeli zostanie wyciszony taśmociąg, tzn. zredukowana zostanie jego moc jednostkowa w do wartości w_1 na odcinku o długości l_1 od x_3 do x_4 (Rys. 3), wówczas kwadrat ciśnienia akustycznego w punkcie P będzie równy:

$$p_0^2 = \frac{wz_0}{2\pi d} (\alpha_3 - \alpha_1) + \frac{w_1 z_0}{2\pi d} (\alpha_4 - \alpha_3) + \frac{wz_0}{2\pi d} (\alpha_2 - \alpha_4) \quad (6)$$



Rys. 3. Geometria taśmociągu z wyciszonym odcinkiem o długości l_1

a poziom ciśnienia akustycznego L_0 wyniesie:

$$L_0 = 10 \log(10^{0,1L_{01}} + 10^{0,1L_{02}} + 10^{0,1L_{03}}) \quad (7)$$

gdzie: $L_{01} = L_{wj} - 10 \log(2d) + 10 \log\left(\frac{\alpha_3 - \alpha_1}{\pi}\right)$

$$L_{02} = L_{w_j} - NR - 10 \log(2d) + 10 \log\left(\frac{\alpha_4 - \alpha_3}{\pi}\right)$$

$$L_{03} = L_{w_j} - 10 \log(2d) + 10 \log\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_4}{\pi}\right)$$

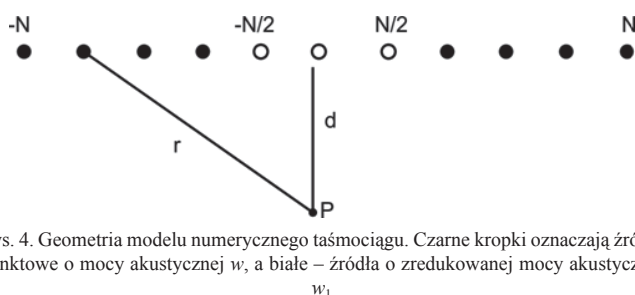
oraz $NR = 10 \log\left(\frac{w}{w_1}\right)$ – skuteczność wyciszenia taśmociągu.

Obniżenie poziomu akustycznego DL w punkcie P po wyciszeniu odcinka taśmociągu wyznacza się jako różnicę ciśnienia L_1 i L_0 .

$$DL = L_1 - L_0 \quad (8)$$

Model numeryczny

W obliczeniach komputerowych znacznie wygodniejszy jest model numeryczny (Rys. 4), w którym taśmociąg jest traktowany jako szereg źródeł punktowych, z których każde reprezentuje hałas jednego metra bieżącego taśmociągu.



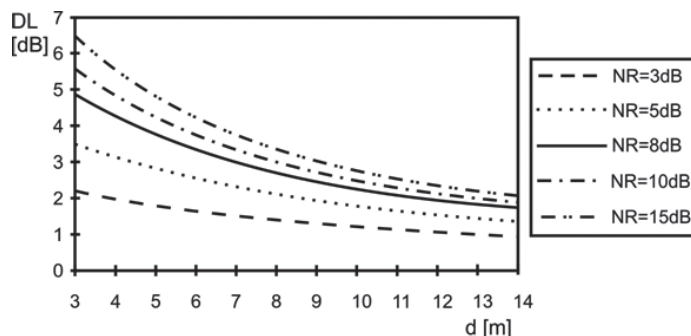
Rys. 4. Geometria modelu numerycznego taśmociągu. Czarne kropki oznaczają źródła punktowe o mocy akustycznej w , a białe – źródła o zredukowanej mocy akustycznej w_1

Kwadrat ciśnienia akustycznego od szeregu źródeł punktowych jest równy sumie kwadratów ciśnień od poszczególnych źródeł. Wówczas obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego DL w punkcie P po wyciszeniu odcinka taśmociągu wyznacza się jako różnicę ciśnień L_1 i L_0 , co można określić wzorem:

$$DL = 10 \log\left(\sum_{i=-N}^{+N} \frac{1}{r_i^2}\right) - 10 \log\left(\sum_{i=-N/2}^{-N/2} \frac{1}{r_i^2} + 10^{-0,1(NR)} + \sum_{i=-N/2}^{+N/2} \frac{1}{r_i^2} + \sum_{i=N/2}^{+N} \frac{1}{r_i^2}\right) \quad (9)$$

gdzie: NR – efekt wyciszenia taśmociągu, dB.

Na rys. 5 i w tab. 1 przedstawiono wyniki obliczeń parametru (DL) dla kilku wybranych wartości efektu wyciszenia NR w funkcji odległości od środka taśmociągu d . Stwierdzono, że dla wyciszzonego odcinka o długości 18 m, wartość DL maleje szybko ze wzrostem odległości. Zatem z wystarczającym poziomem ufności efekty wyciszenia można



Rys. 5. Zmiany wartości obliczonych DL w funkcji odległości d od środka taśmociągu, dla kilku wybranych wartości skuteczności zabezpieczeń akustycznych NR , przy długości odcinka wyciszzonego 18 m

oszacować jedynie na podstawie pomiarów w odległości nie przekraczającej 10 m. Rozdzielczość tej metody ze względu na możliwy błąd pomiaru i małe różnice parametru DL przy istotnych zmianach skuteczności wyciszenia NR jest ograniczona do 3 przedziałów: $NR < 5$ dB, $5 \text{ dB} < NR < 10$ dB i $NR > 10$ dB. Jak można zauważyć dla wartości $NR > 10$ dB przyrost NR o 5 dB powoduje zmianę $DL < 1$ dB. [Wernerowski, Sadowski, 2006].

Wyciszenie taśmociągu

Na podstawie analiz teoretycznych, opisanych w poprzednim rozdziale, opracowano porównawczą metodę doświadczalno-obliczeniową [Wernerowski i Sadowski, 2006; 2009] umożliwiającą oszacowanie efektu wyciszenia NR , rozumianego jako różnica poziomów ciśnienia akustycznego w otoczeniu taśmociągu przed i po zastosowaniu zabezpieczeń przeciwhałasowych.

Pomiary

Oszacowanie efektu wyciszenia odbyło się na podstawie wyników pomiarów, które wykonano w dniach 25-30.07.2007 (w porze dziennej i nocnej) po wykonaniu zabezpieczeń na krótkim odcinku (ok. 30 m, w środku tego odcinka), taśmociągu usytuowanego w przestrzeni otwartej, emitującego hałas o poziomie ustalonym w czasie.

Zastosowano miernik całkujący $SVAN$ z mikrofonem zaopatrzonym w osłonę powietrzną. Mierzono poziom dźwięku ze stałą czasu $SLOW$, podczas obserwacji w 10 punktach, ok. 60 s. W czasie pomiarów (dzień i noc) nie było opadów, a siła wiatru $< 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Poziom dźwięków zakłócających był znikomy, pomiar tła wykazywał ~ 40 dB. Stwierdzony poziom rzeczywistego hałasu na długości wyciszzonego odcinka taśmociągu przy ciężkich warunkach pracy wahał się od 80 do 85 dB(A).

Ekran wielowarstwowy o specjalnej konstrukcji

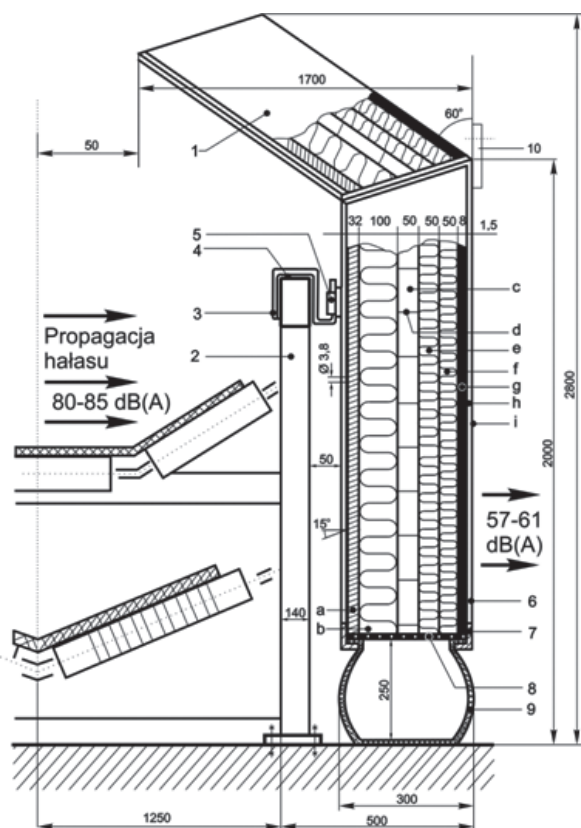
Dla wyciszenia taśmociągu transportującego węgiel brunatny i przechodzącego w odległości ok. 300 m od strefy chronionej (gęsta zabudowa domów mieszkalnych), zaprojektowano specjalny ekran (wielowarstwowy ustrój dźwiękochłonna-izolujący), którego szczegóły konstrukcyjne przedstawiono na rys. 6 [Sadowski, 2006]. Skuteczność tego ekranu była bardzo duża i wyciszenie wynosiło ok. 23 dB(A).

Istotą tego ekranu była jego konstrukcja (Rys. 6) o wysokości ok. 3 m, posiadająca kształt odwróconej litery L i zawieszona na konstrukcji nośnej przenośnika taśmowego – 2, poprzez izolowany gumą uchwyt osadczy – 3 i 4. Ekran posiadał też elastyczną stopę tłumiącą – 9, dopasowującą się do każdego nierównego podłoża. W ten sposób dodatkowe drgania z przenośnika i podłoża nie przenosiły się na ekran.

Wielowarstwowy ustrój dźwiękochłonna-izolacyjny składał się z kilku warstw. Od strony propagacji hałasu (Rys. 6) składał się z płyty pochłaniającej – a, posiadającej otwory kanalikowe, nachylone pod kątem 15° oraz trzech płyt dźwiękochłonnych – b, e, f o odpowiednio dobranych do widma hałasu przenośnika taśmowego, współczynnikach pochłaniania α_1 , α_2 i α_3 , oddzielonych od siebie przestrzenią powietrzną (dystansową). W dalszej kolejności była płyta izolacyjna – g, o odpo-

Tab. 1. Wartość parametru DL [dB] dla różnych wartości skuteczności zabezpieczeń NR w funkcji odległości d od środka taśmociągu, przy długości odcinka wyciszzonego równej 18 m

d [m] \ NR [dB]	3	5	8	10	15
3	2,2	3,5	4,9	5,6	6,5
4	2,0	3,1	4,3	4,8	5,5
5	1,8	2,8	3,7	4,2	4,8
6	1,7	2,5	3,3	3,7	4,2
7	1,5	2,3	3,0	3,3	3,7
8	1,4	2,1	2,7	3,0	3,3
9	1,3	1,9	2,5	2,7	3,0
10	1,2	1,7	2,3	2,5	2,7
11	1,1	1,6	2,1	2,3	2,5
12	1,0	1,4	1,8	1,9	2,1
13	1,0	1,4	1,8	1,9	2,1
14	0,9	1,3	1,7	1,8	2,0



Rys. 6. Przekrój konstrukcji wiszącej segmentu taśmociągu w Kopalni Węgla Brunatnego Turów: 1 – wielokrotny ekran dźwiękochłonna, 2 – konstrukcja wsporcza prękośnika, 3 – uchwyty osadcy ekrany, 4 – warstwa gumy izolującej, 5 – listwa prowadząca, 6 – konstrukcja nośna ekrany, 7 – kątownik podtrzymujący stopę elastyczną, 8 – blacha perforowana odprowadzająca wodę, 9 – elastyczna stopa tłumiąca (a – płyta z otworkami *Waben*, b – wełna mineralna miękka – 50 kg/m³, c – szczelina powietrzna, d – wkład dystansowy, e – wełna mineralna półmiękka – 60 kg/m³, wełna mineralna twarda – 80 kg/m³, g – gumy, h – blacha ocynkowana, i – konstrukcja nośna ekranu)

wiednio dobranej do widma hałasu izolacyjności właściwej R_w . Całość ekranu zamknięta była antykorozyjną płytą – *h* oraz konstrukcją nośną (usztyniającą) ekranu – *i*.

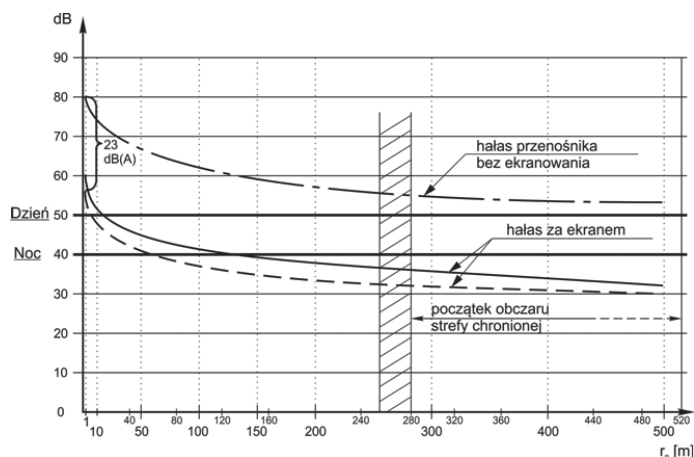
Efekty obniżenia hałasu

Efekty obniżenia hałasu uzyskane dzięki ekranowi zainstalowanemu na wybranym odcinku taśmociągu o długości ok. 30 m pokazano na rys. 7. Wynika z niego wyraźnie, iż bez zastosowania ekranu, mieszkańcy obszarów chronionych (miasta Bogatynia), narażeni byli na uciążliwy i przykry, działający w sposób ciągły, a szczególnie w porze nocnej, hałas przekraczający o 15 dB(A) dopuszczalne normy.

Po zainstalowaniu ekranu poziom hałasu w strefie chronionej spadł poniżej dopuszczalnej normy o ok. 8 dB(A). Krzywa ciągła na rys. 7 przedstawia obniżenie hałasu, które otrzymano na podstawie obliczeń symulacyjnych, natomiast krzywa przerywana przedstawia wartości rzeczywiste, osiągnięte podczas pomiarów i badań po zainstalowaniu opisanego powyżej ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego [Wernerowski i Sadowski, 2009].

Podsumowanie i wnioski

Problem likwidacji nadmiernego hałasu emitowanego do środowiska zewnętrznego przez prękośniki taśmowe transportujące w ruchu



Rys. 7. Spadek hałasu za ekranem dźwiękochłonna-izolacyjnym przy różnych odległościach od źródła

ciągłym urobek z Kopalni Węgla Brunatnego Turów (Bogatynia) był bardzo trudny do opanowania i wymagał eliminacji fal akustycznych, szczególnie w zakresie niskich częstotliwości, tzw. *białego szumu*, które dominowały w ogólnym poziomie hałasu.

Instalacja ustroju dźwiękochłonna-izolacyjnego na wybranym odcinku taśmociągu w obszarze strefy chronionej miasta Bogatynia wykazała jego bardzo dobrą skuteczność akustyczną.

Poziom hałasu (szacowany oraz po zainstalowaniu ekranów) w strefie chronionej obniżył się o ok. 20 dB(A) w stosunku do stanu bez ekranowania, a w porze nocnej był on niższy o ok. 8 dB(A) od dopuszczalnego progu normy. Można więc mówić o osiągnięciu dużego efektu ekologicznego.

Należy również wziąć pod uwagę aspekty społeczne i ekonomiczne np. koszty przesiedleń, wykupu terenów, przemieszczeń, migracji itp., których można było uniknąć dzięki zainstalowaniu ekranów.

Podsumowując można stwierdzić, że w wyniku podjętych działań wyciszających nastąpiła wyraźna poprawa klimatu akustycznego w obszarze miasta Bogatynia, a szczególnie na terenach obszarów chronionych.

LITERATURA

- Engel Z., 2001. *Ochrona środowiska przed hałasem i drganiami*. PWN, Warszawa
- Jaroch A., Rąbiega M., Rudno-Rudzińska B., 1991. *Metody prognozowania hałasu emitowanego z obszarów dużych źródeł powierzchniowych*. (Instrukcja ITB nr 311) Wyd. Inst. Techniki Budowlanej, Warszawa
- Sadowski J., 2006. *Wielowarstwowy ustrój dźwiękochłonna-izolacyjny zwłaszcza na ciągach prękośników taśmowych*. Wzór użytkowy nr 59682-2006
- Sadowski J., 2012. Minimalizacja hałasu środowiskowego na przykładzie oczyszczalni ścieków w Sztumie. *Inż. Ap. Chem.*, 51, nr 5, 251-253
- Sas-Bojarska A., 2000. Ochrona krajobrazu a zabezpieczenia autostrad na terenach zurbanizowanych. *Problemy Ocen Środowiskowych*, nr 1(8), 13-17
- Wernerowski K., Sadowski J., 2006. *Sprawozdanie z prac badawczych BZ 81/2003: Obniżenie hałasu prękośników taśmowych oraz stacji napędów w Kopalni Węgla Brunatnego „Turów” – Bogatynia. Cz. I: Podstawy teoretyczne obliczeń i ocena efektów wyciszenia taśmociągów*. (Praca niepublikowana)
- Wernerowski K., Sadowski J., 2009 *Sprawozdanie z prac badawczych BZ 81/2003: Obniżenie hałasu prękośników taśmowych oraz stacji napędów w Kopalni Węgla Brunatnego „Turów” – Bogatynia. Cz. III: Opracowanie dokumentacji i rzeczowe wyciszenie hałasu taśmociągu na wybranym odcinku* (Praca niepublikowana)