

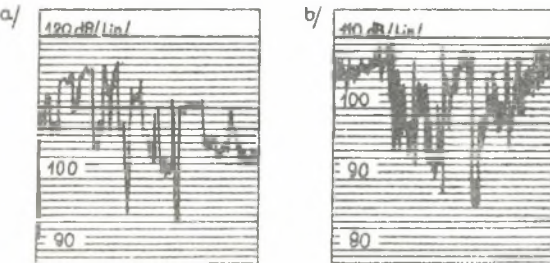
Maciej MAKOMASKI

Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn

BADANIA KONSTRUKCYJNE METODAMI AKUSTYCZNYMI
NA PRZYKŁADZIE ELEKTROSTALOWNICZEGO PIECA ŁUKOWEGO

Streszczenie. Przedmiotem referatu są badania konstrukcyjne, mające na celu określenie środków i sposobów zmniejszenia hałasu emitowanego przez elektrostalownicze piece łukowe. W wyniku przeprowadzonych badań rozpoznane zostały wszystkie podstawowe czynniki warunkujące hałas emitowany przez piec łukowy oraz określono zakres środków i sposobów czynnej i biernej redukcji hałasu.

Piece łukowe do wytapiania stali podczas działania emitują hałas, stanowiący jedno z największych zagrożeń zdrowia załogi obsługującej piec. Badania hałasu emitowanego przez piece łukowe dużej pojemności wykazały, że poziom hałasu przekracza 100 dBA, osiągając wartość do 120 dBA w początkowej fazie topienia złomu zimnego. Warunki zaś pracy załogi pogarszają dodatkowo panująca w pobliżu pieców wysoka temperatura oraz występowanie znacznego zapylenia hali stalowniczej.



Rys. 1. Wykresy zmiany poziomu ciśnienia akustycznego w czasie 50 t pieca łukowego przy stosowaniu

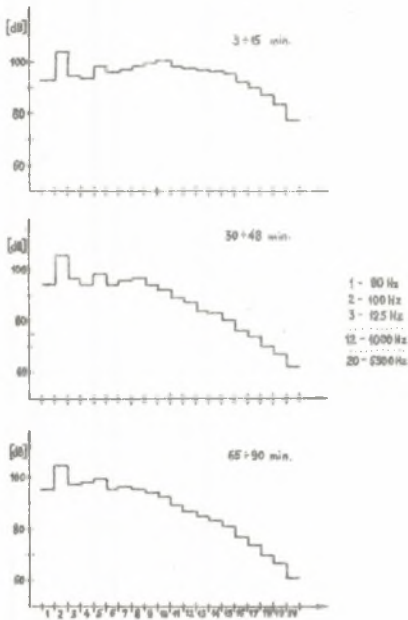
a) normalnej granulacji złomu, b) drobnej granulacji złomu

Prowadzone przez Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn badania środków i sposobów redukcji hałasu emitowanego przez elektrostalowniczy piec łukowy usystematyzowano następująco:

- podjęto badania w zakresie środków i sposobów czynnej redukcji hałasu, których celem jest minimalizacja drgań akustycznych emitowanych przez źródło,
- podjęto badanie nad wykorzystaniem środków i sposobów biernej redukcji hałasu, ze względu na możliwości adaptacji do warunków eksploatacyjnych.

W przypadku badanego obiektu głównym źródłem drgań akustycznych jest łuk elektryczny. Przeprowadzone badania wykazały niestabilność łuku, zależną od:

- granulacji złomu (rys. 1),
- stanu strukturalnego wsadu (rys. 2),
- konstrukcji elektrody.



Rys. 2. Poziom ciśnienia akustycznego w 1/3 oktaowych pasmach częstotliwości w wybranych czasokresach topienia 50 t pieca łukowego

wzajemne uderzenia części o siebie. Uderzenia te występują z różną intensywnością i z różną częstotliwością. Są to impulsy, które wzbudzają w maszynie drgania sprężyste o szerokim widmie.

W przypadku elektrycznych pieców łukowych makroparą kinematyczną tworzą elektrody i złom, pomiędzy którymi wywołane zostaje zjawisko łuku elektrycznego. Również z tym zjawiskiem związany jest ciąg impulsów wzbudzających drgania akustyczne i to o znacznej intensywności.

W procesie powstawania hałasu elektrycznego pieca łukowego można wyróżnić dwa charakterystyczne poziomy, które umownie nazwano: makroskopowym i mikroskopowym. Poziom makroskopowy znamionują impulsy o dużej wartości, które powstają podczas niestabilnego palenia się łuku elektrycznego. Poziom mikroskopowy jest związany ze zmianami strukturalnymi palącego się łuku.

W wyniku przeprowadzonych badań czynną redukcję hałasu postanowiono osiągnąć na drodze stabilizacji łuku elektrycznego poprzez wprowadzenie zmian materiałowych i geometrycznych cech konstrukcyjnych elektrody. Aby efekt ten osiągnąć, konieczne było możliwie precyzyjne określenie parametrów hałasu, przyczyn wzbudzenia oraz określenie dróg przenikania hałasu na halę stalowniczą.

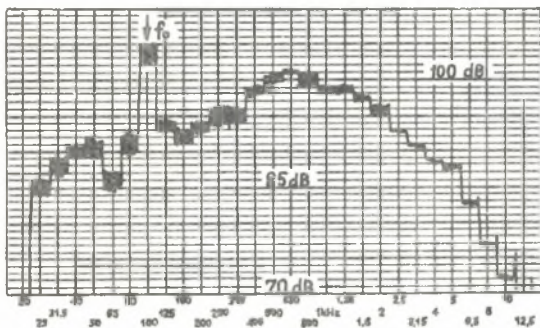
Należało więc rozpoznać strukturę pola akustycznego wywoływanego wokół pieca i określić zachodzące związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy czynnikami warunkującymi zjawisko hałasu i parametrami efektu akustycznego.

Układy materialne, którymi są środki techniczne znamionują tzw. pary kinematyczne, które tworzą współdziałające ze sobą elementy. Współdziałanie tych elementów ma często charakter nieliniowy - występują

Zachowanie się łuku elektrycznego zależne jest od fazy procesu metalurgicznego. Świadczy o tym hałas, który różny jest w fazie topienia i fazy rafinacji.

W fazie topienia "zimnego" złomu działanie łuku elektrycznego jest nierównomierne i ma charakter wybuchowy. Powstają fale uderzeniowe o dużym natężeniu. Połączone to jest z uderzeniowym i zniekształconym poborem energii elektrycznej z sieci. W tym początkowym okresie wytopu łuk elektryczny zapala się i gaśnie wielokrotnie. W fazie rafinacji zjawisk tych nie obserwujemy w takim stopniu.

Zjawisko niestabilnego palenia się łuku elektrycznego może trwać od kilku do kilkunastu minut, a więc do czasu jego stabilizacji. Zjawisko to nosi nazwę "niskiej temperatury atmosfery łuku". Towarzyszą mu gwałtówne skokowe zmiany temperatury. W tym też okresie można zaobserwować odłamywanie się części z wierzchołków elektrody.



Rys. 3. Analiza tercjowa próbki hałasu w pierwszej minucie działania pieca - elektroda UHP + Ti produkcja ZEW Racibórz

znamionuje struktura, która w ocenie analizy tercjowej przedstawia się jak na rys. 3 i 4. Są to widma częstotliwościowe próbek hałasu pobierane w dowolnych chwilach załączenia pieca. W wyniku przeprowadzonych badań istnieją obecnie podstawy dla następujących uogólnień odnoszących się do struktury hałasu.

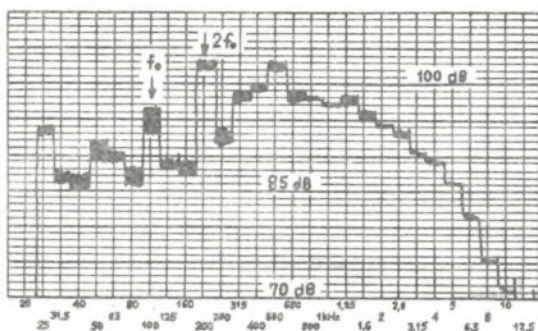
Struktura hałasu próbek pobieranych w okresie topienia złomu "zimnego" charakteryzuje się w ocenie analizy tercjowej istnieniem trzech zakresów zdarzeń akustycznych.

1. Jeden z zakresów charakteryzuje się występowaniem częstotliwości wzbudzenia w pasmie o częstotliwości środkowej $f_0 = 100 \text{ Hz}$. W tym pasmie częstotliwości występuje dominanta widma akustycznego, której udział w sumarycznym poziomie ciśnienia akustycznego jest znaczny. Badania również wykazały, że w pewnych przypadkach dominuje poziom ciśnienia akustycznego

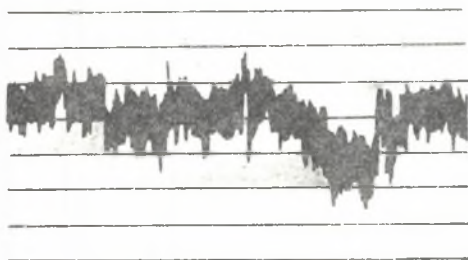
Przyczyną wahań napięcia jest również przemieszczanie się złomu i zwarcia kontaktowe wywoływane dotykiem przez elektrody części złomu. Jest to uwarunkowane tak stopniem zageźdzczenia złomu jak i jego jednorodnością.

Przeprowadzone dotychczas czasowo-przestrzenne obserwacje hałasu emitowanego przez elektryczny piec łukowy stwarzają podstawy do następujących uogólnień.

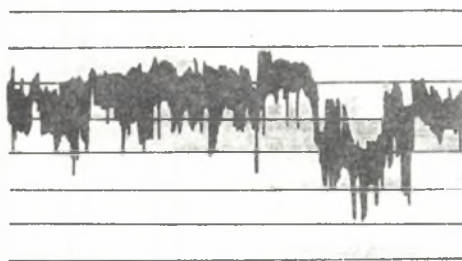
Hałas elektrycznego pieca łukowego o pojemności 50 t



Rys. 4. Analiza tercjowa próbki hałasu w drugiej minucie działania pieca - elektroda UHP + Ti produkcja ZEW Racibórz



Rys. 5. Zmiana skutecznego poziomu ciśnienia akustycznego w pasmie oktawowym 125 Hz - elektroda produkcji ZEW Racibórz



Rys. 6. Zmiana skutecznej wartości prądu w pasmie oktawowym 125 Hz - elektroda produkcji ZEW Racibórz

w pasmie częstotliwości będącej wielokrotnością częstości $f_0 = 100$ Hz; najczęściej w pasmie częstotliwości będącej drugą lub trzecią harmoniczną częstości $f_0 = 100$ Hz. Można więc przyjąć, że ten zakres zdarzeń akustycznych obejmuje te częstotliwości, które są harmonicznymi częstości podstawowej $f_0 = 100$ Hz. Jednocześnie, porównanie analizy pasmowej prądu i efektu akustycznego (rys. 5 i 6) pozwala stwierdzić, że jest (analiza oktawową) wyraźnie zbliżony charakter przebiegu skutecznego poziomu hałasu i wartości skutecznej prądu w następujących pasmach częstotliwości: $f_0 = 125$ Hz, $f_0 = 250$ Hz oraz $f_0 = 500$ Hz.

2. Znaczna część energii akustycznej emitowanej przez piece łukowe występuje jednak poza pasmem $f_0 = 400$ Hz.

Drugi zakres obejmuje więc pasmo zaczynające się w pasmie częstotliwości $f_0 = 400$ Hz lub $f_0 = 315$ Hz. Jest cechą charakterystyczną, że w tych pasmach nie zmienia się poziom ciśnienia akustycznego w kolejnych różnych chwilach pobierania prób-

ki hałasu. Poza tym poziom ciśnienia akustycznego w pasmach wyższych częstotliwości $f_0 > 400$ Hz utrzymuje się bądź na poziomie ciśnienia akustycznego w pasmie częstotliwości $f_0 = 400$ Hz lub $f_0 = 315$ Hz bądź stopniowo maleje. Jednocześnie stwierdzono, że w tych pasmach częstotliwości maleje również podobieństwo przebiegu skutecznego poziomu ciśnienia akustycznego i wartości skutecznej prądu. Szczególny brak podobieństwa zachodzi w pasmach 1000 Hz i 2000 Hz.

3. Trzeci, najmniej rozpoznany zakres zdarzeń akustycznych obejmuje pasmo częstotliwości znajdujące się poniżej $f_0 \leq 1$ Hz. W tym zakresie znajdują się głównie te zdarzenia, które warunkują tzw. poziom mikroskopowy. Mają one również związek ze zjawiskiem stabilności łuku elektrycznego.

Tak więc pomiary wykazały, że wzbudzany efekt akustyczny charakteryzuje się obecnością składowych tonalnych i szerokopasmowych. Jedne pozostają w związku z impulsowym paleniem się łuku elektrycznego, drugie wywoływane są zjawiskami wtórnymi.

Po to, by doprowadzić do minimalizacji drgań akustycznych na drodze czynnej należy:

- powiększyć stabilizację palenia się łuku elektrycznego, głównie w fazie złomu "zimnego",
- zmniejszyć amplitudę drgań emitowanych do otoczenia,
- skrócić czas przejścia z fazy złomu "zimnego" w fazę "atmosfery gorącej".

Struktura i własności elektrody zmieniają się w zależności od technologii i wprowadzonych dodatków. Jak wykazało doświadczenie, szczególne znaczenie mają te dodatki, które powodują występowanie niskiego napięcia jonizującego i obniżają wielkość pracy wyjścia elektronu. Stosowane były związki baru, wapna, cezu i toru. Pewien efekt stabilizacji dały związki alkaliczne, które nanoszono na elektrody metodami impregnacji. Okazało się jednak, że łatwo wchodzą one w połączenia z grafitem, w związku z czym następowało szybsze zużycie elektrod, metale zaś parowały.

Od dłuższego czasu stosowane są w elektrodach węglowych związki tytanu. Dodatki te, jak zauważono, zmniejszają szybkość wypalania się elektrody, stabilizują łuk elektryczny oraz zmniejszają zużycie energii elektrycznej.

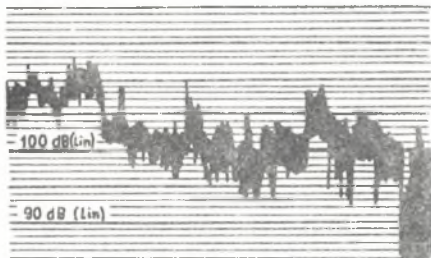
Związki tytanu można dodawać bezpośrednio do mieszaniny wejściowej w czasie produkcji elektrod. Mieszanina taka składa się zazwyczaj z koksu naftowego, paku i smoły. W czasie procesu grafityzacji związki tytanu przechodzą w węgliki tytanu.

Institut Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej przeprowadził badania nad wpływem rodzaju elektrody na hałas elektrycznego pieca łukowego. Obiektem badań były piece elektryczne o pojemności 50 t oraz 140 t. Badania te, prowadzone na zlecenie ZEW w Raciborzu miały na celu wyznaczenie optymalnego składu elektrody węglowej.

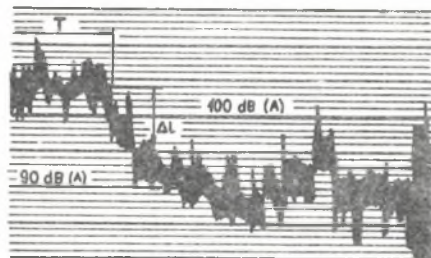
Zmienne, które były kontrolowane w doświadczeniu, obejmowały proces produkcyjny, wielkość natężenia przypadającego na jednostkę powierzchni oraz ilość dodatku tytanu.

Proces produkcyjny był o tyle zmienną decyzyjną, o ile porównywanie działania elektrod produkowanych w różnych zakładach do tego określenia upoważnia. Ostatecznie skoncentrowano uwagę na elektrodach produkcji wytwórni w Raciborzu.

Podzielmy elektrody na: zwykle, elektrody UHP oraz elektrody z dodatkiem tytanu. Badania skuteczności tych elektrod przeprowadzone zostały metodami akustycznymi.



Rys. 7. Zmiana poziomu ciśnienia akustycznego, elektroda UHP + Ti - ZEW Racibórz



Rys. 8. Zmiana poziomu ciśnienia akustycznego; elektroda UHP + Ti - ZEW Racibórz

w stosunku do elektrody zwykłej (to znaczy nie UHP i bez dodatku tytanu) wynosiło w mierze liniowej $L_{lin} = 10$ dB.

Niezależnie od tego, w krótszym okresie czasu nastąpiła stabilizacja poziomu hałasu (rys. 8).

Zmniejszyła się również wielkość amplitudy wahań poziomu ciśnienia akustycznego. Stabilizacja drgań akustycznych jest szczególnie znamienna dla elektrody UHP (rys. 9).

Badania hałasu elektrycznych pieców łukowych o pojemności 50 t dowiodły, że w widmie akustycznym dominuje najczęściej składowa tonalna w pas-

Jako miarę oceny skuteczności elektrody przyjęto:

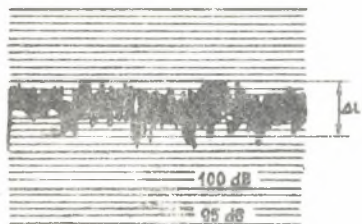
- poziom emitowanego hałasu przez elektryczny piec łukowy,
- poziom hałasu ważony (dBA),
- poziom skuteczny ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości,
- okres czasu do chwili uzyskania stabilizacji poziomu hałasu,
- wielkość amplitudy zmiany poziomu ciśnienia akustycznego.

W świetle tych kryteriów wyniki dotychczasowych badań przedstawiają się następująco.

Przedewszystkim doświadczenie wykazało, że jest możliwy taki eplot czynników, przy którym osiągalna jest redukcja hałasu na drodze czynnej. Efekt taki uzyskano w wypadku stosowania elektrody z dodatkiem około 2% tytanu i elektrody UHP.

W pierwszym przypadku (rys. 7) względne obniżenie poziomu hałasu

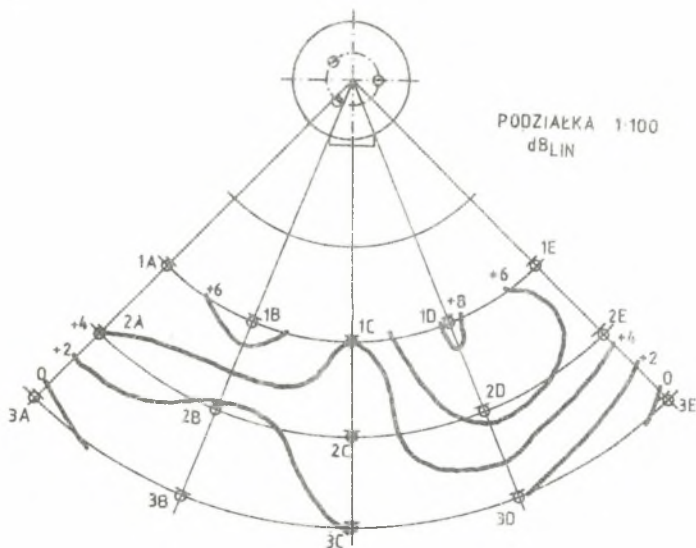
mie częstotliwości $f_0 = 100$ Hz. Dominowanie tych częstotliwości f_0 i harmonicznych wskazuje na konieczność stabilizacji łuku elektrycznego środkami warunkującymi zachowanie się łuku elektrycznego. Zaliczamy do nich rodzaj stosowanej elektrody, granulację wsadu, konstrukcję układu elektrycznego czy sposób sterowania elektrodami.



Rys. 9. Zmiana poziomu ciśnienia akustycznego; elektroda UHP - ZEW Racibórz

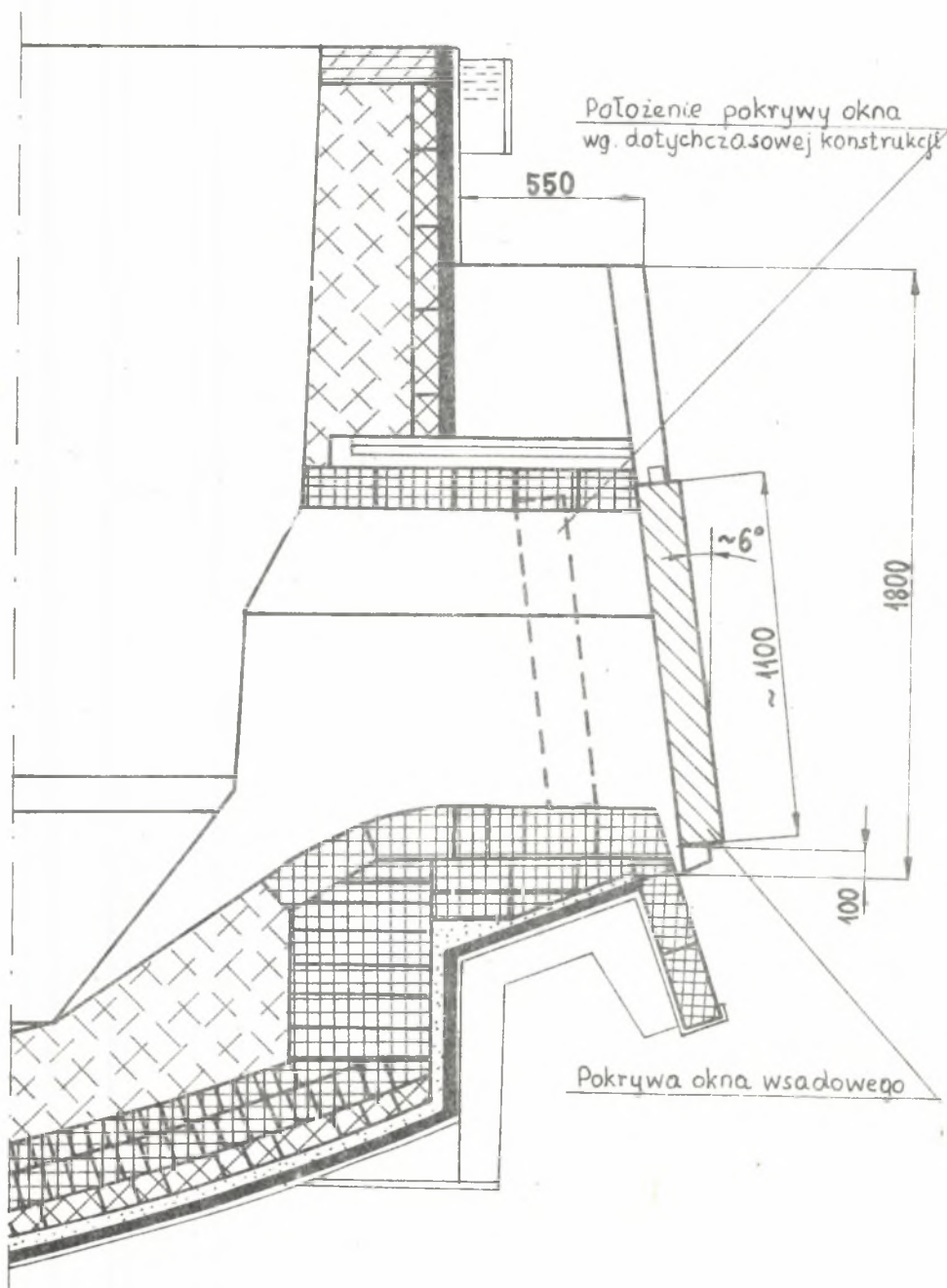
Efekt biernej redukcji hałasu postanowiono osiągnąć poprzez wprowadzenie zmian konstrukcyjnych elektrycznego pieca łukowego, a także poprzez stosowanie ekranu akustycznego oraz wprowadzenie zmian konstrukcyjnych kabiny sterowniczej pieca.

Przeprowadzone badania rozkładu pola akustycznego w obszarze pomiędzy piecem łukowym 50 t a kabiną sterowniczą wykazały, że istnieje wyraźne przewyższenie emisji hałasu od łuku elektrycznego na dwóch kierunkach poprzez krawędzie okna usadowienia pieca (rys. 10). Ponadto w pewnej odległości

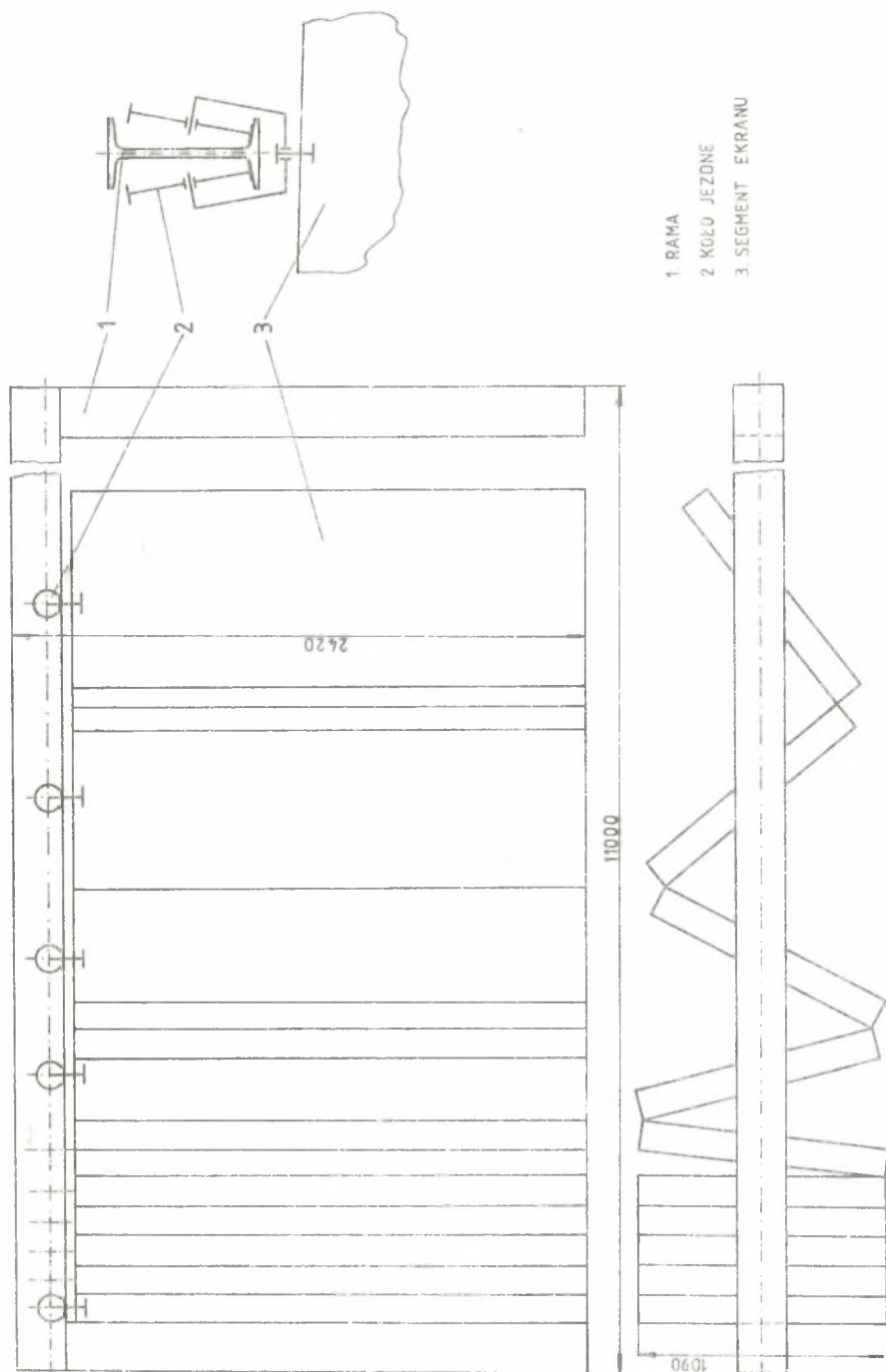


Rys. 10. Rozkład pola akustycznego w obszarze pomiędzy piecem łukowym 50t a kabiną sterowniczą

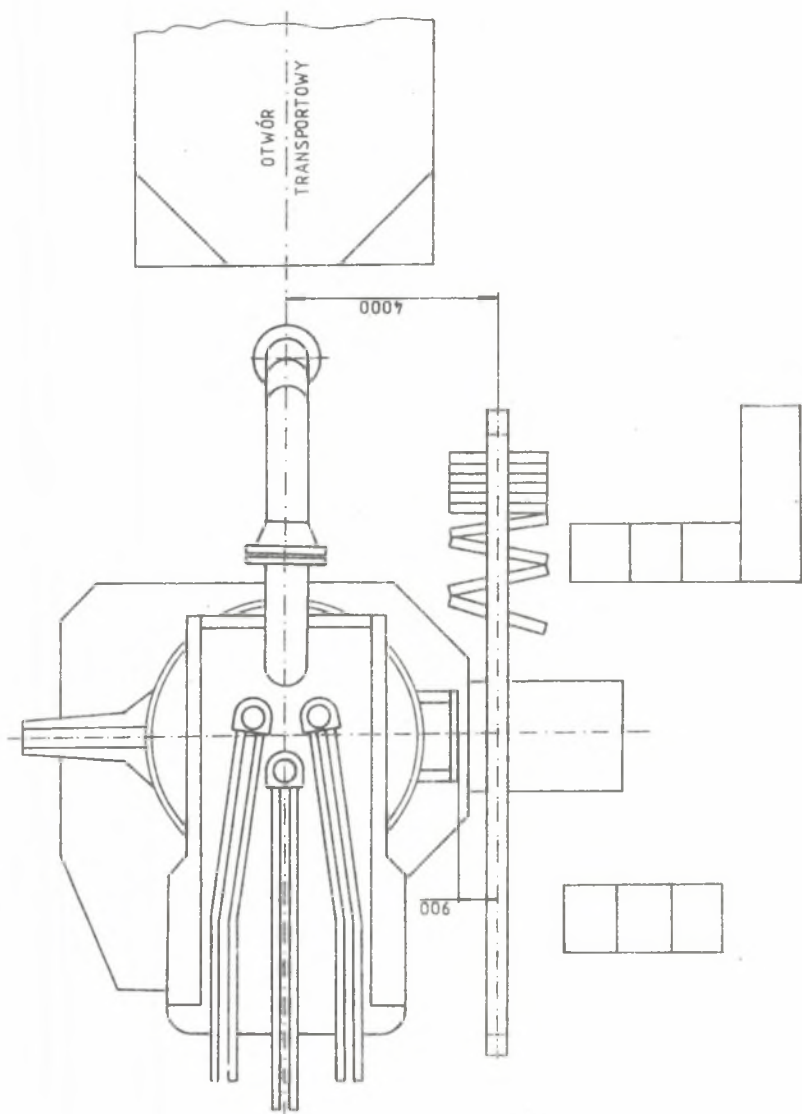
ści od pieca przewyższenie na dwóch wymienionych kierunkach powoduje przewyższenie emisji hałasu na wprost okna usadowienia. Tak więc, współczynnik kierunkowości promieniowania źródła dźwięku, jakim jest piec łukowy na kierunku piec - kabina sterownicza, jest stosunkowo duży.



Rys. 11



Rys. 12. Ekran akustyczny pieca łukowego 50 t



Rys. 13. Usytuowanie ekranu akustycznego pieca żukowego 50 t

Przyczyną przedstawionego rozkładu pola akustycznego są przede wszystkim nieszczelności płaszczu pieca. Ponieważ najbardziej znaczące nieszczelności, umożliwiające bezpośrednie przenikanie fali akustycznej z wnętrza pieca na podest roboczy, występują wokół pokrywy okna wsadowego, opracowano propozycję zmiany konstrukcji zamknięcia okna wsadowego (rys. 11).

Przedstawiona propozycja opracowana została przy uwzględnieniu następujących kryteriów:

- minimum zmian dotychczasowej konstrukcji,
- eliminacji elementów utrudniających prowadzenie procesu technologicznego,
- zachowania konstrukcji elementów pieca bezpośrednio wykorzystywanych w procesie technologicznym.

Aby spełnić częściowo kryteria ergonomiczne w obszarze pomiędzy piecem łukowym a kabiną sterowniczą zaproponowano ekran akustyczny.

Podstawowym tworzywem ekranu są płyty z wełny mineralnej, znajdujące się pomiędzy arkuszami z blachy pełnej oraz blachy perforowanej. Ekran wykonany wg tak obmyślanej konstrukcji posiada właściwości zarówno dźwiękoizolacyjne jak i dźwiękochłonne.

Celem stosowania ekranu akustycznego jest częściowe zabezpieczenie załogi obsługującej piec łukowy przed skutkami oddziaływania bezpośredniej fali akustycznej w okresie topienia charakteryzującym się najwyższą emisją hałasu.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań eksperymentalnego ekranu akustycznego postanowiono opracować konstrukcję ekranu akustycznego przystosowanego do warunków eksploatacyjnych pieca łukowego 50 t.

Przedstawiony na rys. 12 ekran akustyczny składa się z dziesięciu segmentów zawieszonych z możliwością przesuwu na balce dwuteowej, usytuowanych przed oknem wsadowym w polu akustycznym pieca łukowego (rys. 13). Każde dwa segmenty połączone są między sobą, co daje możliwość częściowego lub całkowitego złożenia ekranu i odsłonięcia pieca po zakończeniu okresu topienia. Złożony ekran może być usytuowany z jednej strony belki nośnej przy słupie podpierającym belkę. Dla dogodnego przeprowadzenia prac remontowych oraz wymiany sklepienia pieca zapewniono rozbiieralność górnej belki nośnej, przez co umożliwiono swobodny dostęp do pieca.

LITERATURA

- [1] Z. Jaskółka: Wpływ elektrody na hałas elektrycznego pieca łukowego. Materiały VI Symposium Przemysłu Elektrodowego, Racibórz 1976.
- [2] M. Makomaski: Some aspects of the technical diagnostics in the case of electric arc furnace for the smelting of steel - Materiały Międzynarodowej Konferencji Diagnostyki Technicznej, Praga 1977.

- [3] M. Makomaski, J. Kaźmierczak: Investigations concerning the means and ways of reducing noise emitted by an electric arc furnace for the smelting of steel. Materiały Międzynarodowej Konferencji Związania Hałasu, Warszawa 1976.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
НА ПРИМЕРЕ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Резюме

Предметом статьи являются конструкционные исследования, имеющие целью определить средства и способы уменьшения шума дуговой печи для производства стали. В результате этих исследований были распознаны все основные факторы, обуславливающие шум дуговой печи. Определён диапазон средств и способов активного и пассивного уменьшения шума.

ACOUSTIC CONSTRUCTIONAL INVESTIGATIONS OF A STEEL SMELTING
ARC FURNACE

Summary

Constructional investigations have been presented with the aim of finding means for an electric arc furnace noise emission as well as the resulting recognition of all fundamental factors affecting the phenomena of noise. A range of means for active and passive noise reduction has been determined.