

JAN SADOWSKI

Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

# Przyczyny i możliwości zmniejszenia hałasu technologicznego na prasach mechanicznych

## Wstęp

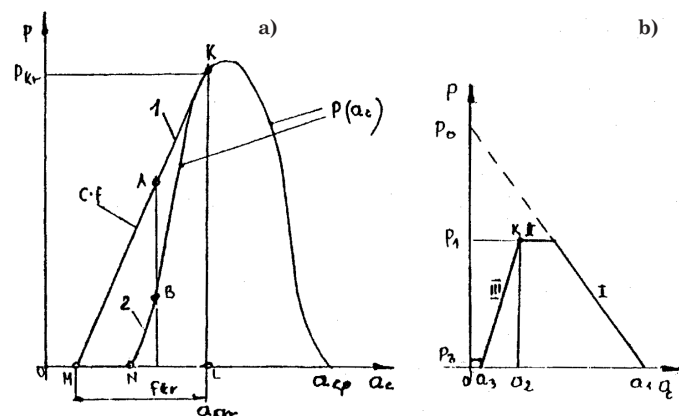
Jedną z podstawowych grup nadmiernie hałasujących maszyn występujących w zakładach przemysłowych są prasy mechaniczne. Hałas emitowany przez prasy, stosowane do przeróbki plastycznej metali, dochodzi nawet do 110 dB i składa się z emisji dźwięku własnego prasy tj. hałasu biegu jałowego oraz części technologicznej [1, 2].

Hałas technologiczny to słyszalne drgania akustyczne, spowodowane sprzężeniem układu roboczego prasy tzn. korpusu prasy, narzędzi (stempla i matrycy) oraz np. materiału wykrawanego. Przyczyną jego jest szybkozmienna siła technologiczna. Szybki wzrost a następnie szybki spadek siły technologicznej są czynnikami wzbudzającymi drgania pras zwiększając o 10–15 dB poziom hałasu w stosunku do biegu jałowego [2–4]. Tłumienie tych drgań, powstających w przypadku gwałtownego zmniejszania się siły technologicznej, jest aktualnym problemem naukowym, technicznym i zdrowotnym.

## Przyczyny powstawania hałasu technologicznego

W procesach przeróbki plastycznej wiadomo, iż żadna operacja technologiczna nie przebiega przy stałej sile technologicznej. Zmiana tej siły jest potencjalnym źródłem drgań elementów prasy, ujawniających się przede wszystkim zwiększonym poziomem hałasu. Warunki szczególnie sprzyjające powstawaniu drgań istnieją w tych operacjach, w których po osiągnięciu maksymalnej wartości siła technologiczna gwałtownie się zmniejsza. Taka zmienność siły jest charakterystyczna dla operacji, w których powstaje pęknięcie rozdzielcze obrabianego materiału – czyli np. podczas wykrawania lub cięcia (Rys. 1).

Na rys. 1a przedstawiono wykres siły technologicznej  $P$  w funkcji odległości  $a_c$  w przypadku wykrawania (cięcia)



Rys. 1. Wykres siły technologicznej  $P$  w funkcji odległości  $a_c$  dla wykrawania: a) rzeczywisty, b) po linearyzacji

blach. Na wykresie tym wyróżniamy punkt  $K$ , zwany punktem krytycznym, któremu odpowiada odległość  $a_{ckr}$  i siła  $P_{kr}$ . Do punktu  $K$  gdy  $a_c > a_{ckr}$  następuje gwałtowny wzrost siły technologicznej. W przedziale  $a_c < a_{ckr}$  następuje szybki spadek siły technologicznej. W punkcie krytycznym odkształcenie sprężyste prasy jest równe  $f_{kr}$ , zaś energia odkształcenia sprężystego wynosi  $\Delta E_{sp}$  i odpowiada polu trójkąta  $KLM$ , które jest większe od pola pod odcinkiem  $KBN$  krzywej  $P(a_c)$ . Wykonanie pracy zobrazowanej figurą  $KBNLK$  nie wymaga dostarczenia energii z koła zamachowego, gdyż praca zostaje wykonana kosztem energii odkształcenia sprężystego. Nadmiar energii wyrażony figurą  $KBNMK$  powoduje drgania prasy, ujawniające się nadmiernym hałasem technologicznym.

Analiza zjawisk dynamicznych wywołanych obserwowaną zmiennością siły technologicznej przy wykrawaniu wymaga sformułowania modelu fizycznego prasy korbowej [5]. Wprowadzając pewne uproszczenia i założenia, można drgania układu prasy opisać równaniem:

$$\ddot{f} + \frac{C - C_T}{m} \dot{f} = \frac{C_T}{m} R \left[ 1 - \cos \omega t + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\omega t) \right] + \frac{P_0}{m} \quad (1)$$

gdzie:

- $C$  – sztywność liniowa prasy,
- $C_T$  – sztywność technologiczna,
- $m$  – łączna masa korpusu ( $m_1$ ) i suwaka prasy ( $m_2$ ),
- $f$  – przemieszczenie (odkształcenie prasy),
- $R$  – promień korbowodu prasy,
- $\lambda = \frac{R}{L}$ ,  $L$  – długość korbowodu.

Równanie to stanowi liniowe równanie różniczkowe o stałych (na każdym odcinku łamanej  $P(a_c)$ ) współczynnikach (Rys. 1b). Rozwiązanie równania (1) składa się z dwóch części: rozwiązania ogólnego równania jednorodnego oraz rozwiązania szczególnego równania pełnego. Rozwiązanie równania jednorodnego opisuje drgania własne, rozwiązanie szczególne – drgania wymuszone.

Dla szczególnego przypadku  $C_T > C$  (szybki spadek siły technologicznej – krzywa III na rys. 1b), współczynnik  $C_T$  (sztywność technologiczna) wyznacza współczynnik kierunkowy prostej i możemy zapisać:

$$C_T = \frac{P_1 - P_3}{a_2 - a_3} > C \quad (2)$$

gdzie:

$P_1, P_3, a_2, a_3$  – siły i odległości od DZP (dolnego zwrotnego położenia suwaka).

Rozwiązanie jednorodnego równania (1) dla tego przypadku będzie miało postać:

$$f = D_1 e^{st} + D_2 e^{-st} \quad (3)$$

gdzie:  $s$  – dodatnia liczba rzeczywista.

Ze wzoru (3) wynika, że przemieszczenie rośnie nieograniczenie w czasie.

Gwałtowny spadek siły technologicznej wyrażony zależnością  $C_T > C$  jest więc przyczyną aperiodycznego ruchu mas  $m_1$ , i  $m_2$ . Prędkość suwaka, na tym etapie równa:

$$\dot{a}_c = \dot{a} + \dot{f} = \dot{a} + \frac{(sN_1 + N_2)e^{s(t-t_2)} - (sN_1 - N_2)e^{-s(t-t_2)}}{2} +$$

$$- \frac{C_T R \omega}{m(s^2 + \omega^2)} \sin \omega t - \frac{2C_T R \lambda \omega}{4m(s^2 + \omega^2)} \sin 2\omega t \quad (4)$$

jest tym większa im większy jest wykładnik  $s$ , czyli im większa jest różnica  $C_T - C$ .

Trzeci odcinek łamanej  $P(a_c)$  kończy się wraz z osiągnięciem przez stempel odległości od DZP równej  $a_3$  a w chwili czasowej  $t_3$ , gdy  $f = f_3$  oraz  $\dot{f} = \dot{f}_3$ .

Zazwyczaj  $P_3 < P_1$  i w związku z tym stempel zagłębia się w otwór płyty tnącej głębiej niż jest to potrzebne do efektywnego oddzielenia przedmiotu od materiału wyjściowego.

Drgania stempla w otworze płyty tnącej określane równaniem (3), są jedną z przyczyn nadmiernego hałasu technologicznego, a także obserwowanego w praktyce szybkiego tępienia się krawędzi tnących podczas wykrawania twardych blach. Czym mniejsza siła  $P_3$ , tym większe natężenie hałasu wywołanego gwałtownym zmniejszeniem się siły technologicznej.

### Możliwości zmniejszenia hałasu technologicznego

Prace, których celem jest opracowanie skutecznych metod tłumienia drgań prasy i jej elementów, występujących w trakcie wykonywania operacji technologicznych dla zmniejszenia hałasu technologicznego, prowadzone są aktualnie w wielu ośrodkach badawczych w kraju i na świecie [2, 3, 5, 6].

Rozpatrując przebieg wykresu  $P(a_c)$  z rys. 1a dla przypadku gdy  $C_T > C$ , niestabilny ruch elementów prasy opisany równaniem (3), spowodowany jest różnicą siły sprężystości i siły technologicznej. Miarą tej różnicy jest odległość między liniami 1 i 2, mierzona równoległe do osi P (odcinek AB rys. 1a). Jednym z możliwych kierunków postępowania, prowadzącym do wyeliminowania drgań charakterystycznych dla przypadku  $C_T > C$ , byłoby wyposażenie każdej prasy lub przyrządu w urządzenie tłumiące uderzenia stempla, którego siła  $P_{tm}$  zmieniałaby się zgodnie z zależnością:

$$P_{tm} = C f - P(a_c) \quad (5)$$

Techniczna realizacja tłumika spełniającego powyższą zależność jest trudna, wobec różnego, dla różnych materiałów i przedmiotów wykrawanych, przebiegu  $P(a_c)$ . Hydrauliczne tłumiki spełniające w przybliżeniu takie wymagania produkuje firma *Schuler* [2, 8]. Wytlumienie siły uderzenia stempla można uzyskać też przez odpowiednie ukształtowanie krawędzi tnącej stempla albo matrycy. Prawidłowe zeszlifowanie ostrzy stempla o kąt  $\alpha = 2-5^\circ$  przy wykrawaniu blachy o grubości 1,5÷3,5 mm, powoduje obniżenie siły cięcia o 30–60%, zwiększenie trwałości narzędzi o 15–20% i zmniejszenie hałasu o 5–10 dB(A) [2–4].

W tłocznikach wielotaktowych, w celu doprowadzenia do łagodniejszego w czasie narastania siły wykrawania, należy stosować zróżnicowanie wysokości poszczególnych stempli.

Wielkość uskoku stempli przyjmuje się w zależności od grubości materiału  $g$  i wynosi  $s = (0,6-1,5)g$  [1, 5]. Należy również zapobiegać uderzeniom o siebie różnych części tłoczniaka przez izolowanie ich podkładkami z tworzyw sztucznych [3, 7].

Zastosowanie elastycznych podkładek dystansowych z tworzywa sztucznego, umieszczonych na czole tulei prowadzącej oraz zderzaków zaopatrzonych w płytki z tworzywa sztucznego o dużym tłumieniu wewnętrznym elastomery lub z twardej gumy o twardości  $90^\circ$  Shore'a, może obniżyć poziom hałasu technologicznego. Wskazane jest stosowanie tworzyw sztucznych w oprawach słupowych a także w oprawach stempla i matrycy [3, 7].

Innym sposobem ograniczenia transmisji drgań prasy i stempla, przenoszonych do podłoża, poprzez elementy prasy, jest stosowanie dla dużych pras (o nacisku powyżej 60 T) specjalnego antywibracyjnego fundamentowania. Natomiast dla pras o nacisku mniejszym, stosownie odpowiednio dobranych wibroizolatorów i podkładek tłumiących [1–3].

### Badania własne

W zakładach sprzętu motoryzacyjnego *Polmo* w Brodnicy [8] przeprowadzono badania, zmierzające do zmniejszenia hałasu technologicznego na prasie PMS-100, podczas wykrawania krążka z blachy stalowej o grubości 3 mm. Dokonano pomiarów natężenia hałasu w różnych miejscach przy prasie w różnych fazach adaptacji akustycznej, zmierzających do minimalizacji hałasu technologicznego tj.:

**Etap I** – stan wyjściowy (bez adaptacji),

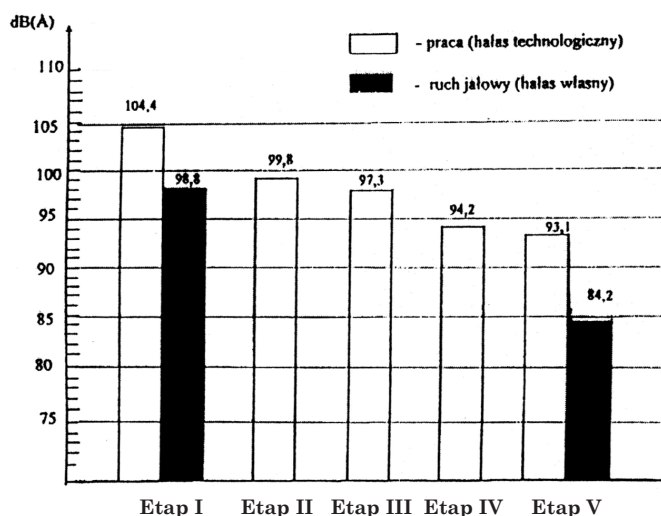
**Etap II** – wykonano posadowienie prasy na fundamencie antywibracyjnym,

**Etap III** – zamocowano na stole prasy cztery podkładki tłumiące (rozmessezone symetrycznie) z gumy półtwardej o twardości  $70^\circ$  Sh,

**Etap IV** – zukosowano krawędź roboczą stempla wycinającego o kąt  $\alpha = 3^\circ$

**Etap V** – dokonano dodatkowej adaptacji akustycznej prasy poprzez: wytłumienie osłony koła napędu, zainstalowanie osłony sprzęgła, wytłumienie przekładni zębatej.

Graficzne zestawienie otrzymanych wyników badań pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Graficzne zestawienie zmian hałasu technologicznego podczas wykrawania na prasie PMS-100, w różnych etapach adaptacji

Z analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że w porównaniu ze stanem wyjściowym (etap I) i stanem po adaptacji (etap IV) udało się znacznie obniżyć hałas technologiczny w otoczeniu prasy o 10 dB (A). Dalsze działania adaptacyjne (etap V) nie wpłynęły istotnie na obniżenie tego hałasu, a wydatnie spowodowały natomiast obniżenie poziomu hałasu biegu jałowego (hałasu własnego prasy), do wartości poniżej wielkości dopuszczalnej równoważnego poziomu dźwięku  $L_{Ex,Sh} = 85$  dB (A). Chwilowa wartość poziomu dźwięku równa 102 B(A) była niższa od dopuszczalnej  $L_{Amax} = 115$  dB(A), podobnie szczytowa wartość poziomu dźwięku, równa 117 dB(C), była też niższa od dopuszczalnej  $L_{Cpeak} = 135$  dB(C).

### Podsumowanie

Analiza teoretyczna wykazała możliwości dalszego obniżenia hałasu technologicznego aż do wartości dopuszczalnej określonej przez PN.

Z przeprowadzonej analizy przyczyn i badań powstania hałasu technologicznego w operacjach wykrawania na prasach mechanicznych można stwierdzić, iż główną jego przyczyną są drgania układu stempel – matryca, szczególnie po przekroczeniu krytycznej wartości siły  $P_{kr}$  (Rys. 1a). Wielkość i amplituda tych drgań a zarazem poziom natężenia tego

hałasu zależy od szybkości spadku i różnicy sił  $P_{kr}$  w stosunku do wartości siły występującej po oddzieleniu wykrawanego materiału. Istotnym też czynnikiem jest grubość i twardość wykrawanego detalu oraz wielkość nacisku prasy.

Wymienione powyżej działania, prowadzone w sposób kompleksowy, umożliwiają nie tylko zmniejszenie hałasu technologicznego na prasach o 8–16 dB(A) lecz również są uzasadnione z ekonomicznego, ergonomicznego i medycznego punktu widzenia.

### LITERATURA

1. *Cz.Puzyna*: Ochrona środowiska pracy przed hałasem. WNT, Warszawa, T.II (1992).
2. *J.Garstka*: Tłumienie drgań hałasu przy wykrawaniu. Ochrona Pracy nr 6, (1993).
3. *E.J.Judin*: Borba z sumom na proizvodstvie. Spravočnik. Moskva, Masinostrojenie (1985).
4. *A.F.Kozjakov*: Kuzmiečno-Štampovočnoje Proizvodstvo, nr 3, 9 (1995).
5. *K.Chodnikiewicz*: Mechanika młotów i pras mechanicznych. Wyd. Politechniki Warszawskiej, (1995).
6. *K. Wernerowski, J. Sadowski*: Sprawozdanie z pracy badawczej –Badania możliwości obniżenia hałasu pras mechanicznych. (Praca niepublikowana) ATR, Bydgoszcz (1999).
7. *J. Grześkowiak*: Zastosowanie tworzyw sztucznych w tłocznikach. WNT, Warszawa, (1996).
8. Katalogi i prospekty firmy Schuler, Göppingen, RFN, (2001).