



Dr inż. Andrzej MALCZYK
Dr inż. Marek WŁASZCZUK
Politechnika Śląska

DŁUGOTRWAŁE WPŁYWY DYNAMICZNE I ŚRODOWISKOWE NA KONSTRUKCJĘ NOŚNĄ BUDYNKU PŁUCZKI ZAWIESINOWEJ W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

**LONG – LASTING INFLUENCE OF ENVIRONMENT AND DYNAMICS ON THE STRUCTURE OF
A WASHER BUILDING IN A COAL - MINE**

Streszczenie Trudne warunki środowiskowe i dynamiczne jakie panują we wnętrzu budynku płuczki są przyczyną wielu uszkodzeń w złożonej konstrukcji nośnej obiektu. Wysoka wilgotność w obiekcie jest przyczyną znacznych zniszczeń korozyjnych, a niewłaściwa konstrukcja stropów jest źródłem silnych zjawisk rezonansowych. W pracy przedstawiono sposób odstrojenia konstrukcji stropów w obiekcie i przytoczono aktualne rezultaty zaleconych zmian konstrukcyjnych.

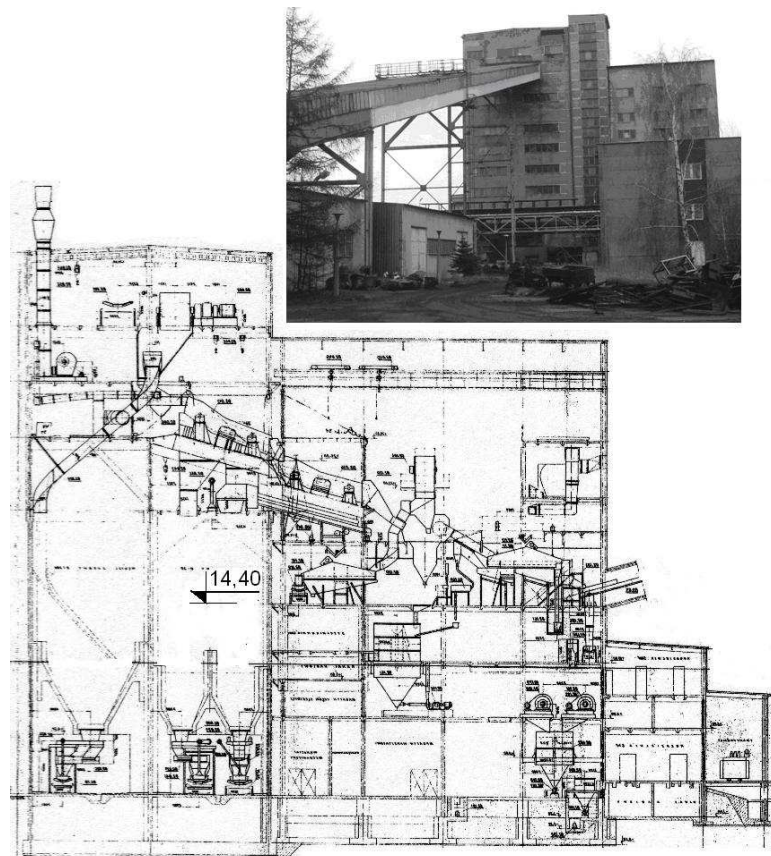
Abstract Very difficult environmental and dynamic conditions inside the washer building are reasons of the damages in the structure. High moisture and unsuitable structure of floors are responsible for corrosion and strong resonances. A method of changes the amplitudes of forced vibrations of the floors is presented in this paper.

1. Ogólny opis obiektu

Jednym z głównych obiektów Zakładów Przeróbki Mechanicznej Węgla w kopalniach węgla kamiennego jest płuczka zawieszinowa, wewnątrz której odbywa się proces oddzielenia węgla od skały płonnej. Proces ten jest realizowany metodą moką, polegającą na wykorzystaniu zjawiska pływalności węgla w cieczy o podwyższonej gęstości. Do rozdzielania frakcji węgla służą zespoły sit wstrząsowych generujące bardzo silne wpływy dynamiczne.

Przedmiotowy budynek płuczki zawieszinowej został wykonany w drugiej połowie lat 70-tych ubiegłego wieku. Obiekt jest podzielony dylatacją na dwie części: segment żelbetowych, wielokomorowych zbiorników i segment technologiczny, nasycony urządzeniami mechanicznymi, który był przedmiotem badań opisanych w niniejszym referacie (rys.1).

Płuczka zawieszinowa jest obiektem wolno stojącym, wielokondygnacyjnym o zwartym rzucie poziomym. Całkowita wysokość budynku płuczki wynosi 40,70m, a wymiary rzutu poziomego 24,0x43,5m. Poziom posadowienia fundamentów budynku płuczki znajduje się 3,50m poniżej poziomu terenu.



Rys. 1 Widok i przekrój budynku płuczki

Budynek posadowiono bezpośrednio na gruncie na ruszcie żelbetowych, monolitycznych łań rozstawionych co 6,00 i 6,60m. Do poziomu +/- 0,00m konstrukcja budynku jest żelbetowa, monolityczna, powyżej tego poziomu konstrukcja nośna wykonana jest jako stalowa z żelbetowo-stalowymi stropami.

Stalowy szkielet budynku to układ poprzecznych, cztero-nawowych ram złożony ze słupów i rygli wykonanych z profili walcowanych lub blachownic.

Nad wszystkimi kondygnacjami budynku płuczki wykonano stropy żelbetowo-stalowe. Monolityczne, żelbetowe jednokierunkowo zbrojone płyty stropów są oparte na walcowanych dwuteownikach stalowych o pocienionym średniku (profile typu „p”). Dwuteowniki mają obetonowany średnik. Rozpiętości płyt i dwuteowników, na których opierają się płyty są zróżnicowane. W konstrukcji budynku występują liczne stężenia wewnętrzne usytuowane w płaszczyznach ram i prostopadle do płaszczyzn ram.

2. Stan konstrukcji obiektu

2.1. Opis wizualny uszkodzeń

Na podstawie wielu szczegółowych wizji lokalnych przeprowadzonych w obiekcie w styczniu 2006r stwierdzono, że:

- przestrzenna stalowa konstrukcja nośna obiektu: słupy, rozpory ram, krzyżulce i belki stropowe są w różnym stopniu skorodowane; najsilniejsze zniszczenia korozyjne występują w tych strefach obiektu, gdzie elementy stalowe mają okresowy, bezpośredni kontakt z wodą (rys.2),

- korozja zbrojenia w płytach stropowych wszystkich kondygnacji oraz korozja stalowych belek stropowych jest lokalnie silnie zaawansowana; płyty stropowe są miejscami spękane (rys.3).
- występuje silna korozja powierzchniowa stopni i belek policzkowych stalowych schodów wewnętrznych ,
- elementy zewnętrzne budynku płuczki zawieszinowej (tynki elewacji, stolarka okienna, rynny i rury spustowe, pokrycie dachowe) są lokalnie uszkodzone i wymagają napraw.



Rys. 2 Korozja stali w węzłach konstrukcji



Rys. 3 Korozja zbrojenia w stropach

2.2. Badania betonów w stropach

Wytrzymałość betonu w żelbetowych płytach stropowych płuczki oceniono na podstawie badań nieniszczących wykonanych za pomocą młotka Schmidta typu N. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na zakwalifikowanie betonów płyt stropowych do klasy C12/15.

2.3. Obliczenia nośności stropów

W obliczeniach sprawdzających przyjęto parametry wytrzymałościowe materiałów konstrukcyjnych zgodne z wynikami badań dokonanych na obiekcie:

- wytrzymałość betonu w konstrukcjach żelbetowych jak dla klasy C12/15,
- wytrzymałość stali w konstrukcjach żelbetowych jak dla klasy A-I ,
- wytrzymałość stali w konstrukcjach stalowych jak dla stali St3S,
- warstwy stropów przyjęto na podstawie odkrywek.

W projekcie konstrukcji płuczki do obliczeń stopów przyjęto obciążenie użytkowe charakterystyczne o wartości $5,00 \text{ kN/m}^2$. Celem obliczeń sprawdzających było określenie , czy wobec istniejących uszkodzeń w konstrukcji budynku i przy realnych wytrzymałościach materiałów konstrukcyjnych, nośność stropów i pozostałych elementów konstrukcyjnych jest wystarczająca do przenoszenia obciążeń użytkowych założonych w projekcie. Obliczenia wykonano dla reprezentatywnych elementów stropów na wszystkich poziomach.

Należy podkreślić, że cała konstrukcja nośna budynku płuczki zawieszinowej pracuje w środowisku XC2 (wg PN –B-03264/2002). Dla tego środowiska minimalna klasa betonu to C16/20, a minimalna grubość otuliny zbrojenia wynosi 25mm. Brak spełnienia wymienionych zaleceń jest główną przyczyną powstania występujących uszkodzeń w konstrukcjach żelbetowych. Uszkodzenia konstrukcji stalowych wynikają natomiast z braku właściwej ich ochrony przed korozją w środowisku występującym w obiekcie.

2.4. Badania dynamiki konstrukcji budynku płuczki zawieszinowej

Cel badań

Pomiary dynamiki konstrukcji w budynku płuczki, przeprowadzone na wszystkich kondygnacjach obiektu, miały do spełnienia następujące cele:

- pomiar parametrów dynamicznych na wszystkich kondygnacjach budynku i w wybranych strefach stropów, wszędzie tam, gdzie są odczuwalne silne drgania konstrukcji, w sytuacjach zmiennego obciążenia dynamicznego pracą urządzeń (maszyny włączane i wyłączane),
- ustalenie wartości parametrów dynamicznych „poziomu tła” na wybranych stropach,
- określenie dominujących częstotliwości wymuszeń dynamicznych na wybranych kondygnacjach, w strefach dużej odczuwalności drgań,
- ocena skuteczności istniejących wibroizolacji urządzeń,
- pomiar częstotliwości drgań własnych wybranych fragmentów stropów i ocena wartości współczynników tłumienia drgań,
- ocena wpływu drgań konstrukcji na ludzi pracujących w budynku.

Urządzenia pomiarowe

Pomiary przyspieszeń w wytypowanych punktach pomiarowych wykonano za pomocą aparatury typu WSAD 3M z aktualnym atestem. Do pomiarów uzupełniających i sprawdzających oraz do oceny skuteczności wibroizolacji maszyn posłużono się miernikiem drgań RFT Vibrationsprüfer VP 102 typ1116 . Przyspieszenia drgań stropów mierzono w trzech prostopadłych do siebie kierunkach : dwóch poziomych i pionowym. Wartości skuteczne przemieszczeń i prędkości drgań w kierunku pionowym mierzono urządzeniem RFT.

Wymuszenia dynamiczne w budynku

Wewnątrz budynku płuczki zawieszinowej jest zainstalowanych wiele urządzeń obsługujących proces technologiczny wzbogacania urobku (por. rys.1). Z punktu widzenia oddziaływania dynamicznego na konstrukcję obiektu do istotnych należą przede wszystkim przesiewacze i napędy taśmociągów. Są one źródłami intensywnych wymuszeń o charakterze harmonicznym, szczególnie ważnym ze względu na zmęczenie materiałów w konstrukcji nośnej. Przesiewacze i podajniki wibracyjne zainstalowane w obiekcie charakteryzują się następującymi częstotliwościami wymuszenia dynamicznego :

Tablica 1 Charakterystyka wybranych urządzeń mechanicznych płuczki

Typ przesiewacza	Miejsce zabudowy	Skok rzeszota mm	częstotliwość Hz
WZ1P-2,6x7,0	poz. +26m	12	14,16
PWP-1- 2,6x5,25	poz.+26m,+14m	6-9	16,66
WPPE-1,8x5,5	poz. +14m	8	16,0
WP-2-1,8x5,5	poz.+14m	12	13,3
PWK-1-2,2x5,25	poz.+20m	11	12,1
PWE2 - 2,2x5,5	poz.+20m	8-13	16,25
PWE2-1,8x5,5	poz.+9m	9	15,8
PWRB	poz.+12m		15,25
PWB	poz.0m	9-12	15,75
MIFAMA	poz.0m	8	15,75

Metodyka pomiarów

Drgania ujawniające się na fragmentach stropów nie obciążonych maszynami mierzono w środku pól stropowych, gdzie odczuwalność drgań przez użytkowników była największa, oraz w pasmach podporowych tych pól, w celu rejestracji intensywności przekazywania się wpływów dynamicznych przez główny szkielet stalowy konstrukcji nośnej.

Wstępne rozpoznanie stanu dynamicznego obiektu wskazało na dominujący wpływ dynamiczny przesiewaczy PWP-1 (por. tabl. 1 i rys. 1), zainstalowanych w poziomie 14,40m.

Wobec nakładania się wpływów dynamicznych wielu maszyn zainstalowanych w obiekcie, w strefach głównych pomiarów wykonano rejestrację „poziomu tła”, to znaczy w sytuacji wyłączonych przesiewaczy PWP – I, co pozwoliło na ocenę wpływu tych przesiewaczy na ogólny stan dynamiczny konstrukcji.

Główne pomiary, które miały na celu ocenę ilościową i jakościową oddziaływania przesiewaczy PWP-1 na konstrukcje stropów, wykonano w trakcie pełnych cykli pracy maszyn oraz w sytuacjach ich włączania i wyłączania. Określono dominujące częstotliwości wymuszeń ujawniających się w trakcie pracy urządzeń.

Wykonano również pomiary drgań własnych wybranych fragmentów stropów rejestrując przebiegi drgań konstrukcji wywołane wymuszonym jednorazowym impulsem (podskok osoby w środku rozpiętości pola stropu lub innych strefach). Rejestracje w postaci tłumionych przebiegów harmonicznym pozwoliły na określenie częstości drgań własnych konstrukcji stropu oraz umożliwiły ocenę wartości logarytmicznego dekrementu tłumienia całego lokalnego ustroju nośnego.

Wyniki pomiarów

Na podstawie analizy wyników ponad 60 pomiarów wykonanych na stropach obiektu stwierdzono :

- składowe poziome przyspieszeń w obydwu prostopadłych do siebie kierunkach były mało istotne w porównaniu ze składową pionową , której wartości amplitud przyspieszeń sięgały 1100mm/s^2 . Pomiar wykazał jednoznaczną dominację częstotliwości 16,6 Hz, związaną z pracą przesiewaczy PWP-1 w poziomie 14,40m (por. tabl. 1 i wibrogram na rys. 6),
- stwierdzono intensywne zjawisko dudnienia związane z dodawaniem się wymuszeń dynamicznych z urządzeń o bardzo zbliżonych częstotliwościach (por. rys. 6),
- z analizy wielu prób inicjacji drgań własnych i ich zarejestrowanych przebiegów wynika, że badane pola stropowe charakteryzują się podstawową częstotliwością drgań własnych wynoszącą 17,2 Hz.

Obliczenia drgań własnych stropów

W celu oszacowania zakresu zjawisk rezonansowych w przedmiotowym obiekcie wykonano obliczenia częstotliwości drgań własnych stropów w wybranych strefach, w szczególności tam, gdzie rejestruje się drgania o znacznej intensywności.

Stropy w budynku płuczki zawieszinowej mają konstrukcję stalowo-żelbetową. Grubość konstrukcyjna płyt żelbetowych wynosi 8,0cm, zaś żebra stalowe w postaci dwuteowników mają zróżnicowane wysokości . Po analizie dokumentacji stwierdzono, że z punktu widzenia dynamicznego o wartości częstotliwości drgań własnych poszczególnych pól stropu decydują pasma stropowe składające się z dwuteownika 300p i współpracującej z nim płyty żelbetowej o szerokości średniej ok. 200cm. Przy takim założeniu wykonano obliczenia drgań własnych pasm stropowych, przyjmując zróżnicowane schematy dynamiczne i różne warunki podparcia, w zależności od sztywności pasm brzegowych w analizowanych polach stropu.

W wyniku obliczeń stwierdzono, że częstotliwości drgań własnych wybranych pól stropowych wynoszą:

- dla płyt o rozpiętości 6,0m – od ok. 15 Hz do ok. 22 Hz,
- dla płyt o rozpiętości 6,6m – od ok. 12 Hz do ok. 19 Hz.

3. Przyczyny stanu awaryjnego i proponowane sposoby naprawy

Analiza statyki konstrukcji

Wieloletnia eksploatacja obiektu doprowadziła do powstania uszkodzeń, które objęły elementy konstrukcyjne i wykończeniowe. Pierwsze poważne problemy pojawiły się w latach 90-tych i dotyczyły konstrukcji żelbetowych zbiorników na węgiel. Zbiorniki te zostały wzmocnione, a ich eksploatacja dzięki temu nie została przerwana.

Niebezpieczna dla nośności konstrukcji jest korozja stalowych elementów budynku, zwłaszcza ich połączeń. Korozja zbrojenia w żelbetowych elementach konstrukcji budynku (płytach, belkach) istotnie ogranicza nośność tych elementów.

Po uwzględnieniu w obliczeniach rzeczywistych wytrzymałości betonu i stali oraz korozji stali, określono aktualnie dopuszczalną wielkość obciążenia użytkowego na poziomie $4,00 \text{ kN/m}^2$ czyli o 20% niższą od założonej w projekcie.

Niepokojący jest zakres korozji w połączeniach słupów z ryglami w stalowych konstrukcjach ram oraz w połączeniach belek stropowych z ryglami. Połączenia te wykonano jako spawane, a ich konstrukcja nie zawsze jest prawidłowa. W licznych zagłębieniach występujących w węzłach nagromadzony jest wilgotny pył węglowy co sprzyja powstawaniu procesów korozyjnych. Zanieczyszczenia te nie były usuwane.

Na etapie projektowania obiektu w elementach żelbetowych założono zbyt małą otulinę zbrojenia (w płytach 10mm, w belkach 20mm). Rzeczywiste grubości otulin zbrojenia są znacznie mniejsze (5 – 10mm w płytach i 10 – 15mm w belkach).

Konstrukcja budynku pracuje w środowisku wilgotnym i mokrym co przy zbyt małych grubościach otulin i występującym procesie karbonatyzacji betonu doprowadziło do odpadania otuliny betonu wskutek korozji stali. Badania odczynu pH wykazały wartości zawarte w przedziale 9 – 7. Pierwotny zasadowy odczyn pH w betonie, który chroni stal przed korozją, zmienił się w odczyn kwaśny. Spowodowało to zanik właściwości ochronnych betonu i przyspieszoną korozję prętów zbrojenia.

Oceniono, że konstrukcja nośna budynku płuczki zawieszinowej po 30 latach eksploatacji znajduje się ogólnie w zadowalającym stanie technicznym, pozwalającym na dalszą eksploatację obiektu pod warunkiem ograniczenia dopuszczalnego obciążenia stropów z $5,0 \text{ kN/m}^2$ do $4,0 \text{ kN/m}^2$. Największym zagrożeniem dla trwałości konstrukcji budynku płuczki jest korozja stali w elementach żelbetowych i stalowych. W związku z tym zalecono wykonanie kompleksowych napraw uszkodzonych elementów i wykonanie powłok ochronnych.

Skala uszkodzeń posadzek betonowych jest tak znaczna, że zalecono skucie istniejących posadzek i wykonanie nowych, ze spadkami do istniejących studzienek odwadniających.

Analiza dynamiki konstrukcji

- Stwierdzono, że intensywne drgania stropów w budynku są wywołane głównie przez wymuszenia dynamiczne, których źródłem są przesiewacze PWP-1 zainstalowane w poziomie +14,40m. Praca tych urządzeń wywołuje wymuszenia kinematyczne przenoszące się na słupy i główne belki ram stalowej konstrukcji nośnej. Przemieszczenia konstrukcji przenoszone tą drogą są stosunkowo niewielkie, jednak na obserwowaną intensywność pionowych amplitud przemieszczeń w środkach płyt stropowych mają wpływ dwa zjawiska dynamiczne: rezonans konstrukcji stropów i zjawisko dudnienia. Na etapie projektowania konstrukcji, jak wykazał przegląd udostępnionej dokumentacji, nie wykonano żadnych obliczeń dynamiki stropów. Zaprojektowano stropy o właściwej nośności, jednak nie uwzględniono długotrwałych

wpływów środowiskowych i możliwości ujawnienia się wymienionych zjawisk dynamicznych.

- Zjawiska rezonansowe obserwowane w konstrukcjach pól stropowych potwierdzono obliczeniami i pomiarami drgań własnych stropów. Zarówno drgania własne wywołane impulsami w środkach pól stropowych jak i obliczenia przeprowadzone z uwzględnieniem różnych schematów dynamicznych wykazały, że częstotliwości drgań własnych stropów stalowo-żelbetowych są bardzo bliskie częstotliwościom wymuszeń pochodzących od przesiewaczy PWP-1. Dudnienie, które jest przyczyną pojawiania się szczególnie intensywnych zjawisk dynamicznych jest związane z sumowaniem się wymuszeń dynamicznych od urządzeń o zbliżonych częstotliwościach, w przedmiotowym przypadku od wibratorów czterech przesiewaczy PWP-1.
- Wartości skutecznych przyspieszeń drgań stropów w strefach o największej intensywności wpływów dynamicznych, rejestrowane w trakcie pracy wszystkich przesiewaczy PWP-1, osiągały wartość 1100mm/s^2 . Według skal ocen szkodliwości wpływów na konstrukcję drgania o tych parametrach mogą stać się przyczyną powstania zarysowań w żelbetowych elementach stropów. Długotrwałe działania dynamiczne o rejestrowanej intensywności mogą wywołać obniżenie ich nośności związane ze zjawiskami zmęczeniowymi w konstrukcji stalowej i żelbetowej.

Proponowane odstrojenie dynamiczne pasm stropowych

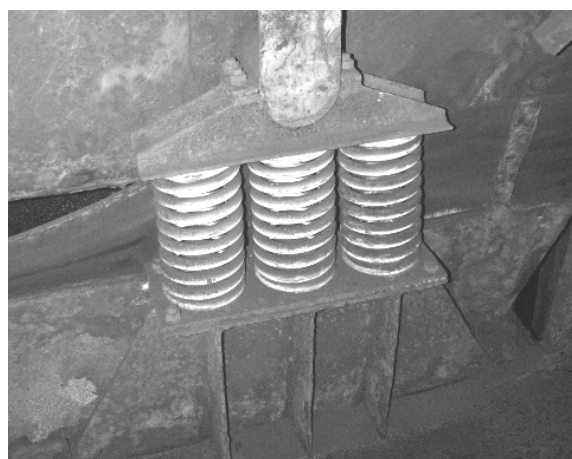
Zmiana częstotliwości drgań własnych pasm stropowych jest trudna do zrealizowania, gdyż jest związana z koniecznością znacznego zwiększenia sztywności pasm płytowych lub zwiększenia ich masy. Ze względu na brak miejsca związany z licznymi instalacjami w budynku obydwie te rozwiązania są praktycznie niemożliwe do zrealizowania. W pierwszej kolejności zalecono wdrożenie działań mających na celu zmniejszenie wartości sił dynamicznych przekazywanych z maszyn na stropy, a więc zastosowanie w maszynach PWP-1 wibroizolacji skuteczniejszej od obecnie istniejącej. Należy podkreślić, że dotychczasowa wibroizolacja w postaci walców gumowych (por. rys.4) spełniała kryteria normowe skuteczności, co potwierdzono pomiarami i obliczeniami.

Pomimo, że podwyższenie skuteczności wibroizolacji i obniżenie drgań własnych układów wibroizolowanych nie pozwoli na wyeliminowanie zjawiska rezonansu, to jednak - jak oceniono - zredukuje wartości sił dynamicznych przenoszonych na konstrukcję stropów, a w rezultacie doprowadzi do redukcji amplitud przemieszczeń.

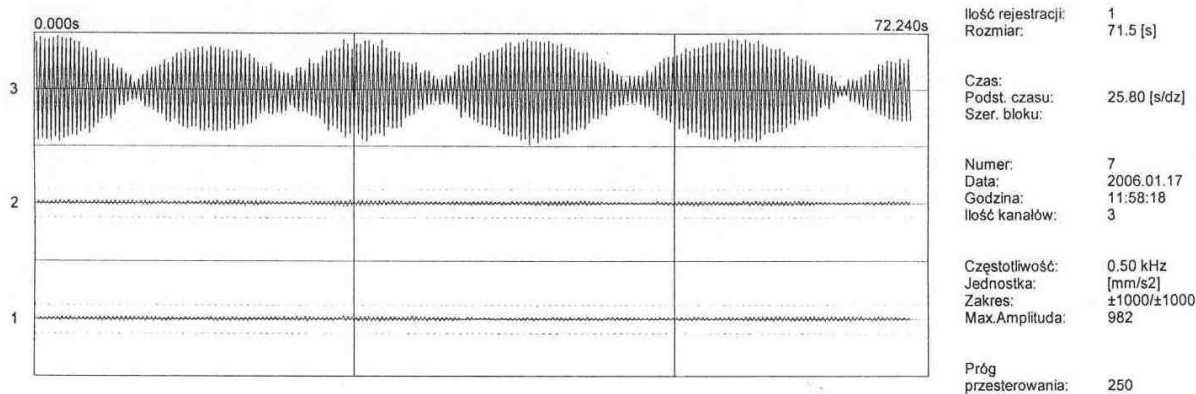
Zalecono dokonanie wymiany wibroizolatorów gumowych na sprężynowe o sztywnościach potwierdzonych szczegółowymi obliczeniami drgań własnych przesiewaczy w różnych schematach obciążeń.



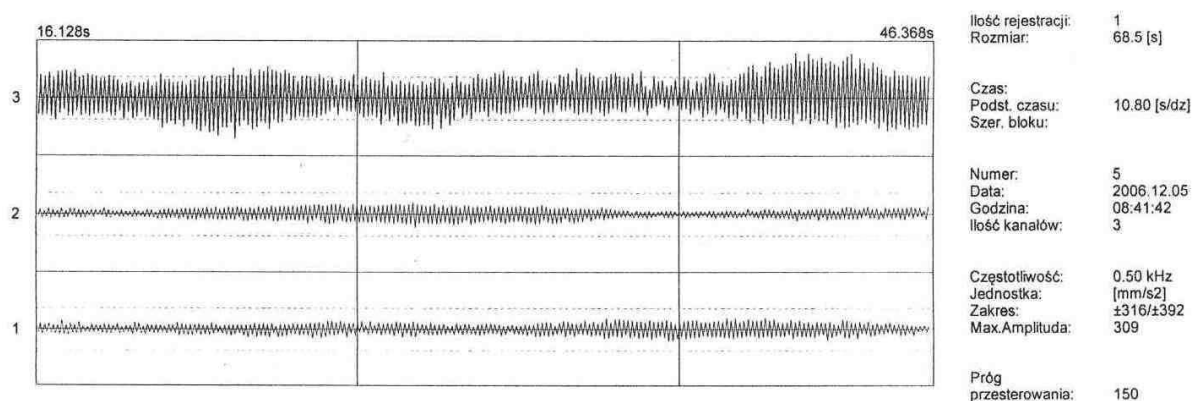
Rys. 4. Wibroizolatory gumowe



Rys. 5. Wibroizolatory sprężynowe



Rys. 6. Przyspieszenia na stopie przed wymianą wibroizolatorów



Rys. 7. Przyspieszenia na stopie po wymianie wibroizolatorów

4. Badania konstrukcji po wymianie wibroizolacji

Po zrealizowanych wymianach wibroizolacji przesiewaczy (por. rys.5) wykonano pomiary kontrolne drgań stropów w strefach największego natężenia wpływów dynamicznych. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono porównanie wibrogramów przyspieszeń w tych samych punktach pomiarowych przed i po wymianie wibroizolatorów. Na rysunkach numerami 1 i 2 oznaczone są przyspieszenia poziome, a numerem 3 – przyspieszenia pionowe, szczególnie odczuwalne na płytach stropowych. Po wymianie wibroizolacji nastąpiła trzykrotna redukcja amplitud pionowych przyspieszeń i eliminacja uciążliwego zjawiska dudnienia (należy zwrócić uwagę na różnice zakresów pomiarowych na obydwu wibrogramach).

Badania kontrolne potwierdziły trafność diagnozy dotyczącej wskazania głównych źródeł wymuszeń dynamicznych i celowość działań polegających na podwyższeniu skuteczności wibroizolacji.