

# Wpływ blatów produkcyjnych na proces zagęszczania w wibroprasach

Wyroby betonowe są powszechnie stosowanym materiałem w budownictwie drogowym, ogrodnictwie oraz kształtowaniu architektury krajobrazu. Są produkowane w bardzo różnych kształtach i kolorach. W Niemczech i całej Europie większość wyrobów betonowych jest produkowana w wibroprasach, które formują i zagęszczają elementy na blatach produkcyjnych. Następnie wyroby są na tych samych blatach produkcyjnych transportowane i przechowywane w regałach wysokiego składowania.

Formowanie i zagęszczanie mieszanki betonowej odbywa się w wibroprasach poprzez bardzo intensywny proces wibrowania uderzeniowego. Skoordynowane ruchy określonych podzespołów układu produkcyjnego – mas roboczych – wywołują okresowe uderzenia o określonej sile, które poprzez podzespół formujący wprowadzane są do zagęszczanej mieszanki betonowej. Blaty produkcyjne wchodzi w skład mas roboczych układu wibracyjnego wibroprasy.

■ Dr inż. Jörg-Henry Schwabe,  
mgr inż. Jürgen Martin, IFF Weimar, Niemcy ■

Układ wibracyjny jest skomplikowanym systemem wywołującym drgania, który ma decydujące znaczenie dla jakości wyrobów betonowych.

Skoordynowane działanie mas roboczych (elementów):

- stołu wibracyjnego,
- formy,
- blatu produkcyjnego,
- stempla,

decyduje także o rezultacie procesu formowania i zagęszczania, a więc o właściwościach gotowego wyrobu.

Rys. 1 przedstawia uproszczony dyskretny wielomasowy model układu wibracyjnego wibroprasy wraz z masami roboczymi.

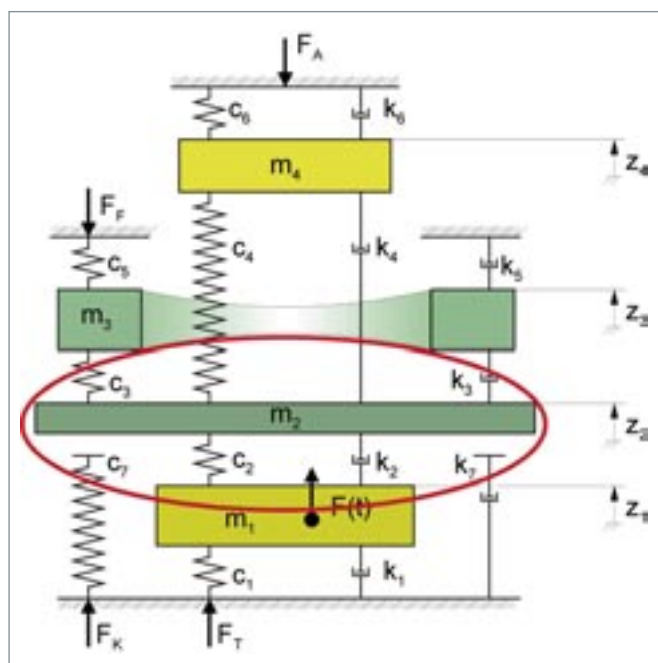
Obszar zakreślony na czerwono pokazuje masę roboczą „blat produkcyjny”. Drgania blatu produkcyjnego w układzie wibracyjnym są uwarunkowane jego masą ( $m_2$ ) oraz charakterystyką sztywnościową i tłumienia ( $c_2, k_2, c_3, k_3, c_7, k_7$ ).

Blaty produkcyjne są wytwarzane z różnych tworzyw lub kombinacji tworzyw i mogą mieć różną strukturę budowy. W zależności od właściwości tworzywa i struktury blaty produkcyjne różnią się między sobą charakterystyką drgań, a więc również wpływem na skuteczność procesu zagęszczania.

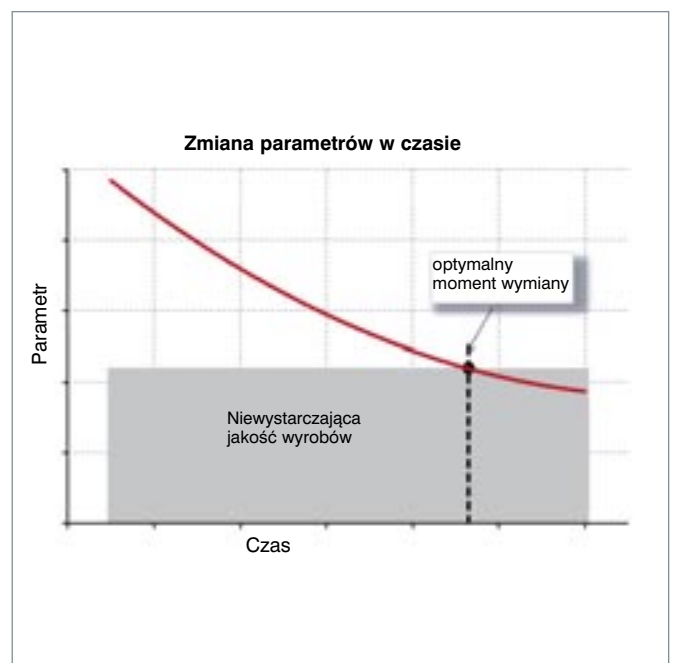
Z perspektywy użytkownika w celu zapewnienia produkcji wyrobów betonowych o odpowiedniej jakości ważna jest znajomość odpowiedzi na następujące pytania:

- Które parametry charakterystyki drgań blatu produkcyjnego wpływają na proces zagęszczania?
- Jakie zależności ilościowe zachodzą między parametrami wpływającymi na proces zagęszczania a jakością zagęszczania?
- Jakie charakterystyki drgań (parametry) mają poszczególne konstrukcje blatów produkcyjnych?
- Jak zmieniają się charakterystyki drgań blatów w miarę upływu okresu użytkowania?

Dla właściciela wibroprasy z obiegiem blatów istotne znaczenie ma na przykład ustalenie momentu, w którym najkorzystniej wymienić wszystkie blaty produkcyjne na linii.



1: Dyskretny wielomasowy model układu wibracyjnego wibroprasy [1].



2: Przebieg charakterystyki blatu w miarę upływu okresu użytkowania (hipotetyczny przebieg jakościowy).

Ze względu na charakter procesu produkcji wyrobów betonowych blaty produkcyjne szybko się zużywają i starzeją. Należy wyjść z założenia, że charakterystyka drgań blatów zmienia się w miarę upływu okresu użytkowania.

Często przy tych samych ustawieniach wibroprasy i tej samej recepturze mieszanki jakość wyrobów zaczyna się pogarszać wskutek zmienionego przenoszenia drgań przez blat produkcyjny i mniejszej skuteczności zagęszczania. Wymiana blatów produkcyjnych poprawiłaby sytuację w produkcji.

Niemniej jednak wymiana wszystkich blatów w przypadku linii obiegowych wykorzystujących od 3 000 do 5 000 blatów jest niezwykle kosztownym przedsięwzięciem, które należałoby odłożyć w czasie. Przydatna byłaby znajomość przebiegu charakterystyki blatu w miarę upływu okresu użytkowania (zob. hipotetyczny przebieg takiej charakterystyki na rys. 2), która umożliwiłaby przewidzenie optymalnego momentu wymiany blatów produkcyjnych biorąc pod uwagę maksymalne wykorzystanie dóbr inwestycyjnych i jednocześnie nie dopuszczając do pogorszenia jakości produkowanych wyrobów.

Pomimo tego, że zależność między tworzywem czy też rodzajem tworzywa, z jakiego wykonany jest blat produkcyjny i jego stopniem zużycia a oczekiwaną jakością wyprodukowanego wyrobu jest oczywista, nie są znane jeszcze żadne parametry, które:

- pozwoliłyby obiektywnie opisać stan blatów produkcyjnych w kontekście ich charakterystyki drgań,
- można by łatwo zmierzyć i
- które umożliwiłyby wystarczająco pewną prognozę oczekiwanej jakości produkowanych wyrobów.

Celem opisanych poniżej badań było znalezienie parametrów blatów produkcyjnych, które wpływają na proces zagęszczania mieszanki betonowej. Na tej podstawie zostały określone parametry charakterystyczne dla konkretnego rodzaju blatów.

Po określeniu odpowiednich parametrów zadanie polegało na ustaleniu zależności między parametrami blatów a skutecznością zagęszczania, tj. jakością produkowanych wyrobów.

W oparciu o znajomość zależności między możliwymi do określenia, zmieniającymi się



■ Dr inż. Jörg-Henry Schwabe w latach 1988 - 1993 studiował na kierunku budowa maszyn / mechanika stosowana, w 2002 r. uzyskał tytuł doktora na Politechnice w Chemnitz. Od 1993 r. pracuje w Institut für Fertigteiletechnik und Fertigbau Weimar e. V. Jego działalność dotyczy dynamiki maszyn do produkcji materiałów budowlanych. Jest członkiem Komitetu Technicznego RILEM „Simulation of fresh concrete flow”.  
j-h.schwabe@iff-weimar.de



■ Mgr inż. Jürgen Martin w latach 1975 - 1979 studiował na Politechnice Drezdeńskiej na kierunku elektronika i technika małych urządzeń elektronicznych, specjalność: technika urządzeń. Od 1997 r. pracuje w Institut für Fertigteiletechnik und Fertigbau Weimar e. V. Od kwietnia 2006 r. jest zastępcą kierownika działu badań „Technika prefabrykacji” w Institut für Fertigteiletechnik und Fertigbau Weimar e. V. Jego działalność dotyczy przede wszystkim konstruowania i wyposażania maszyn do produkcji elementów konstrukcyjnych, w szczególności form wibracyjnych i układów wzbudzających.

j.martin@iff-weimar.de

w czasie parametrami blatów a rezultatem zagęszczania został opracowany przyrząd pomiarowy, który można łatwo wykorzystać w zakładzie produkcyjnym i który umożliwia producentowi wyrobów betonowych szybką i nieskomplikowaną kontrolę stanu blatów produkcyjnych. ▶

## Parametry wpływające na proces zagęszczania

Skuteczne zagęszczanie w procesie wibrowania uderzeniowego polega na okresowych uderzeniach między blatem produkcyjnym a poruszającymi się do góry listwami stołu lub poruszającym się do dołu blatem produkcyjnym a zamocowanymi na stałe listwami uderzeniowymi oraz, w niektórych przypadkach, na uderzeniach między blatem produkcyjnym a formą.

Ze względu na dynamiczny charakter tego procesu przy określaniu odpowiednich parametrów blatów należy wziąć pod uwagę także jego właściwości, które można powiązać z parametrami ruchu i wartościami sił.

### Wybór parametrów

Podczas wyboru odpowiednich parametrów dokładniej zbadano przestrzeń, w której zachodzi typowe dla tego procesu uderzenie (zob. rys. 3).

Z perspektywy odkształcenia widoczne są lokalne obszary rozciągania, ścinania i ściskania materiału, ale nie można niczego powiedzieć o ilościowym wpływie rodzajów obciążenia na widoczne odkształcenia.

Jako wyjściowe parametry wpływające na proces zagęszczania można przyjąć parametry materiału, z którego wykonany jest blat.

Postanowiono stworzyć dopasowany parametr dla charakterystyki sztywnościowej blatu produkcyjnego podczas uderzenia, który:

- uwzględnia skomplikowane odkształcenia (ściskanie, rozciąganie) zachodzące podczas uderzenia,
- w warunkach pomiaru zbliżonych do warunków, w których zachodzi proces, określa zależności dynamiczne między siłą, odkształceniem i prędkością odkształcania oraz

- można zmierzyć w formie parametru ruchu lub wartości siły.

Ten dopasowany parametr charakterystyki sztywnościowej zwany jest poniżej „sztywnością uderzeniową” ( $S_K$ ).

Drugim parametrem jest tłumienie ( $D$ ), które określa ilość energii drgań przekształconej w inną formę energii (najczęściej cieplnej) i które oblicza się z zależności między parametrami ruchu a czasem.

### Opis parametrów

W celu określenia dopasowanych parametrów:

- sztywności uderzeniowej  $S_K$  i
- tłumienia  $D$

opracowano rozwiązanie w zakresie zasady pomiaru przedstawione poniżej.

Na powierzchnię roboczą blatu produkcyjnego (obiekt pomiaru) działa siła dynamiczna o wartości wywołującej odkształcenia i prędkości odkształceń charakterystyczne dla wibrowania uderzeniowego. W punkcie styku lub w jego bezpośrednim otoczeniu wykonywany i zapisywany jest pomiar wartości siły lub parametrów ruchu w zależności od czasu. Blat produkcyjny ułożony jest w taki sposób, że lokalne odkształcenia (np. ugięcie) zostają skutecznie uniemożliwione.

Na podstawie powyższej zasady pomiaru opracowano kilka procedur pomiaru, z których w pierwszej kolejności zbadano laboratoryjnie procedurę pomiaru nazwaną „spadający młotek”, którą w wyniku dalszej obróbki wykorzystano do opracowania, skonstruowania i przetestowania potencjalnego przyrządu pomiarowego.

Procedura pomiaru „spadający młotek” zachodzi w warunkach przypominających zasadę działania wibracji uderzeniowych (zob. rys. 4). Blat produkcyjny przymoco-

wany jest powierzchnią skierowaną przeciwnie do punktu pomiaru na sztywnej podkładce. Obiekt o masie  $m$  spada swobodnie z wysokości  $h_0$  i uderza z prędkością  $v$  w badany obiekt, czyli blat produkcyjny. Masa  $m$  spadającego obiektu oraz wysokość spadku  $h_0$  są obliczone tak, że zachodzą porównywalne odkształcenia, względnie występują porównywalne prędkości odkształceń, jak w procesie zagęszczania poprzez wibrowanie uderzeniowe.

W zależności od charakterystyki sztywnościowej i tłumienia blatu produkcyjnego spadający obiekt zostaje wyhamowany i odbija się od powierzchni blatu. Po osiągnięciu pewnej maksymalnej wysokości lotu obiekt ponownie spada na blat produkcyjny i następuje kolejne uderzenie. Proces ten powtarza się aż do całkowitego znierechomienia obiektu.

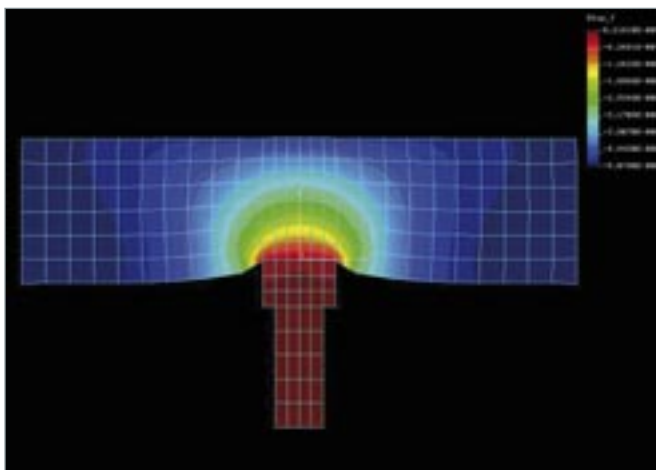
Ruch spadającego obiektu jest mierzony w postaci zmian przyspieszenia w czasie za pośrednictwem czujnika przyspieszenia o odpowiednim zakresie pomiaru, przy czym zmiany przyspieszenia w czasie można określić na podstawie takiego wykresu, jak np. na rys. 5.

Na podstawie tych podstawowych parametrów można w następujący sposób określić parametry charakterystyki sztywnościowej i tłumienia blatu.

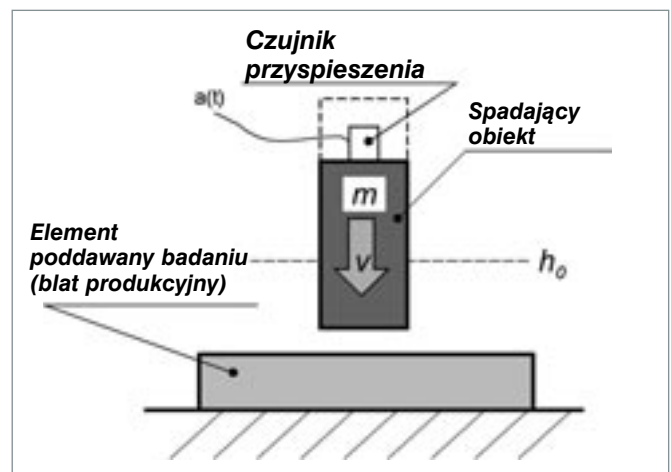
### Parametr charakterystyki sztywnościowej – sztywność uderzeniowa $S_K$

Wysokość pierwszego impulsu uderzeniowego zależy przede wszystkim od parametrów charakterystyki sztywnościowej obydwu zderzających się mas.

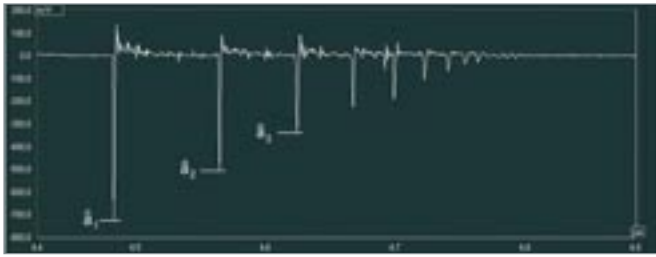
Zakładając, że sztywność spadającego ciężarka jest dużo większa od sztywności blatu produkcyjnego (co dotyczy wszystkich znanych blatów z drewna i z tworzywa



3: Obliczenia odkształcenia podczas uderzenia między blatem produkcyjnym a listwą stołu.



4: Schemat ilustrujący zasadę działania „spadającego młotka”.



5: Zapis zmian przyspieszenia w czasie (przykładowy odczyt).

sztucznego), to wysokość pierwszego impulsu uderzeniowego zależy zasadniczo od sztywności blatu produkcyjnego. Jedynie w przypadku stalowych blatów sztywności obydwu zderzających się mas są takie same.

Oprócz właściwości materiału na sztywność obiektu pomiaru wpływają także jego właściwości strukturalne. W przypadku blatu produkcyjnego wykonanego z jednolitego kawałka materiału, przy powyższej procedurze pomiaru jest to grubość blatu.

Po uwzględnieniu powyższych informacji wartość pierwszego impulsu uderzeniowego  $\hat{a}_1$  można przyjąć jako łatwy do określenia parametr opisujący sztywność uderzeniową  $S_K$  blatu produkcyjnego.

$$S_K \sim \hat{a}_1$$

#### Parametr charakterystyki tłumienia – tłumienie uderzenia D

Tłumienie D oblicza się jako liniową zależność amplitudową  $\Delta\hat{a}_{rel}$  względnie jako logarytmiczny dekrement  $\Lambda$  na podstawie wartości pierwszej i drugiej, względnie n-tej i (n+1)-ej amplitudy przyspieszenia.

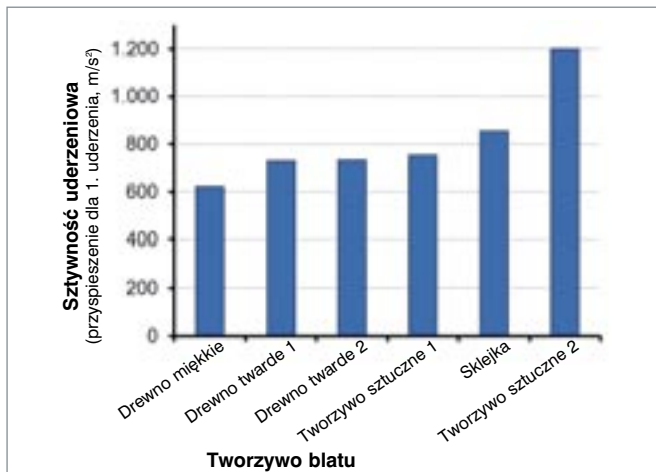
$$\Delta\hat{a}_{rel} = \frac{\hat{a}_1 - \hat{a}_2}{\hat{a}_1} = \frac{\hat{a}_n - \hat{a}_{n+1}}{\hat{a}_n}$$

$$\Lambda = \ln\left(\frac{\hat{a}_n}{\hat{a}_{n+1}}\right)$$

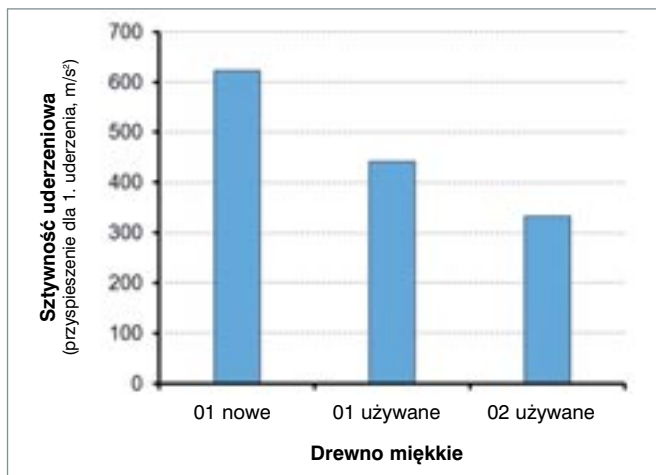
$$D \sim \Delta\hat{a}_{rel} \quad \text{lub} \quad D \sim \Lambda$$



6: Wygląd laboratoryjnej aparatury badawczej.



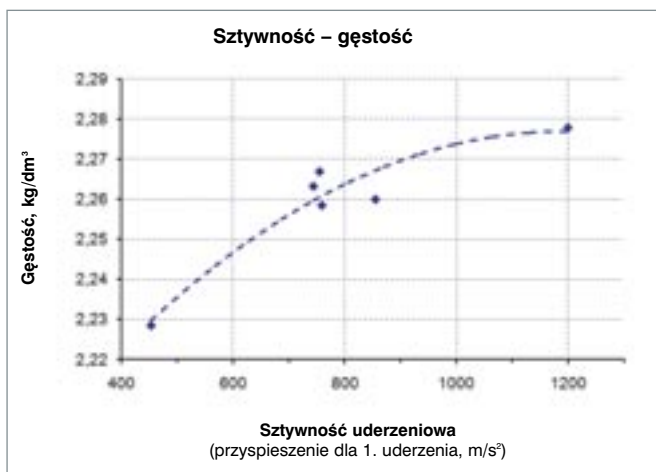
7: Wykres zależności między sztywnością uderzeniową a rodzajem tworzywa.



8: Wykres zależności między sztywnością uderzeniową a okresem użytkowania blatów z drewna miękkiego.

#### Pomiar parametrów

W celu zrealizowania procedury pomiaru i określenia parametrów charakterystycznych dla konkretnego rodzaju blatów produkcyjnych skonstruowano laboratoryjny przyrząd pomiarowy (zob. rys. 6). Parametry blatów produkcyjnych badano wykonując serie pomiarów. Badano przy tym takie czynniki jak:



9: Wykres zależności między skutecznością zagęszczania (gęstością) a sztywnością uderzeniową.

- rodzaj tworzywa,
- zawartość wody (dla blatów drewnianych),
- stopień zużycia (wiek).

Poniższe wykresy ilustrują wybrane wyniki pomiarów wykonanych w celu określenia parametrów blatów.

Wykres na rys. 7 przedstawia przykładowe wartości sztywności uderzeniowej określonych na podstawie amplitudy przyspieszenia dla pierwszego uderzenia dla różnych rodzajów tworzywa.

Na wykresie na rys. 8 widać parametry blatów produkcyjnych z drewna miękkiego o różnym okresie użytkowania.

#### Zależności między parametrami blatów a skutecznością zagęszczania / jakością wyrobów

Wykorzystując zbadane blaty produkcyjne wyprodukowano w wibroprasach kostkę brukową, którą zbadano pod kątem uzyskanej gęstości objętościowej i wytrzymałości na ściskanie. Badaną kostkę brukową wyprodukowano w dwóch różnych wibroprasach przy stałych ustawieniach.

Wykres na rys. 9 przedstawia zależność między sztywnością uderzeniową blatu a skutecznością zagęszczania wyrażoną gęstością objętościową kostki. Punkty zaznaczone na wykresie reprezentują wartości średnie gęstości objętościowej dla kilku próbek kostki brukowej wyprodukowanych na tym samym rodzaju blatu produkcyjnego (np. drewno miękkie, drewno twarde, tworzywo sztuczne). Wykres dotyczy konkretnego ustawienia wibroprasy.

#### Wnioski wyciągnięte na podstawie próby określenia parametrów blatów produkcyjnych

Dzięki opisanej procedurze pomiaru „spadający młotek” można za pomocą zdefiniowanych oddziaływań mechanicznych na blat produkcyjny i pomiaru zmieniających się w czasie tego oddziaływania parametrów ruchu na podstawie zmierzonych wartości określić parametry, które opisują charakterystykę drgań tego blatu produkcyjnego w odniesieniu do jego zastosowania w produkcji wyrobów betonowych w technologii wibrowania uderzeniowego.

Jako odpowiednie i możliwe do zmierzenia parametry wyznaczono:

- pierwszą amplitudę przyspieszenia  $\hat{a}_1$  jako wartość charakteryzującą sztywność, tu opisaną jako sztywność uderzeniową  $S_K$ ,
- liniową zależność amplitudową  $\Delta\hat{a}_{rel}$  względnie logarytmiczny dekrement  $\Lambda$  jako wartość charakteryzującą tłumienie D.

W ramach badań laboratoryjnych i badań w małej skali określono parametry dla obecnie wykorzystywanych rodzajów blatów produkcyjnych. Zbadano wpływ tworzywa, z którego został wykonany blat, zawartości wody i okresu użytkowania na charakterystykę drgań blatu produkcyjnego.

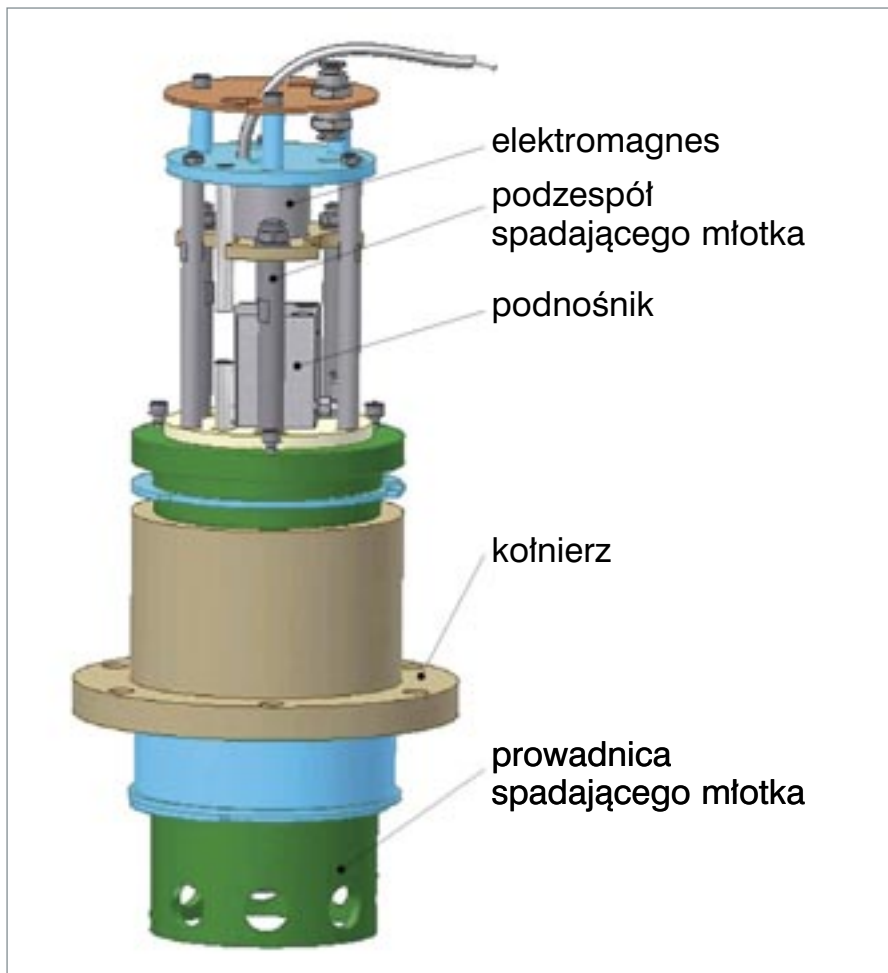
Podczas badań przetwarzania mieszanki betonowej przy stałych ustawieniach wibroprasy określono ilościowe zależności między sztywnością uderzeniową  $S_K$  a skutecznością zagęszczania względnie wytrzymałością na ściskanie kostki brukowej.

#### Przyrząd pomiarowy dla zakładów betonowych

W celu umożliwienia wykorzystania opracowanej procedury pomiarowej w zakładzie betonowym, zaprojektowano i skonstruowano przyrząd pomiarowy, który następnie przetestowano w warunkach przemysłowych.

Przyrząd pomiarowy jest przystosowany do zastosowania w wibroprasach z obiegiem blatów i składa się z trzech głowic czujnikowych służących do pomiaru właściwości blatu produkcyjnego w kilku miejscach.

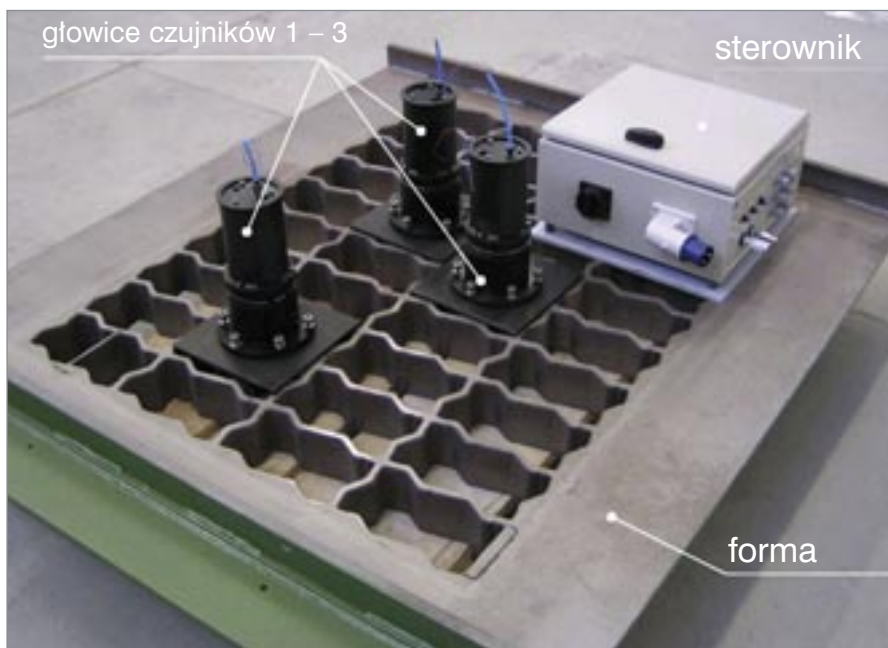




10: Model CAD głowicy czujnikowej.

Rys. 10 przedstawia model CAD głowicy czujnikowej wraz z opisem najważniejszych elementów umożliwiających wykonanie pomiaru. Na rys. 11 widać gotowy

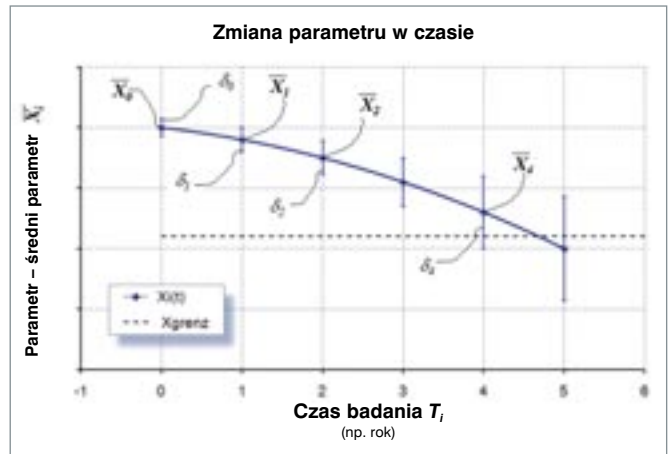
przyrząd pomiarowy przed montażem w wibroprasie. W ramach pierwszej serii testów zbadano 200 blatów produkcyjnych z drewna



11: Gotowy przyrząd pomiarowy.



12: Przyrząd pomiarowy zamontowany w wibroprase.



13: Zmiana parametrów dla wszystkich blatów wykorzystywanych na linii (hipotetyczny przebieg).

miękkiego (sosna) o dotychczasowym okresie użytkowania wynoszącym 2,75 roku. Na podstawie analizy statycznej otrzymano następujące wartości:

- Wartość średnia, łącznie  $457 \text{ m/s}^2$
- Odchylenie standardowe  $89,7 \text{ m/s}^2$ .

Kolejne serie pomiarów w celu ustalenia parametrów wszystkich blatów produkcyjnych wykorzystywanych na linii są zaplanowane na 2010 rok. Ponadto przewidziano cykliczne pomiary mające na celu zbadanie zmian parametrów blatów w czasie.

### Możliwości zastosowania procedury pomiarowej

Zastosowanie opracowanej procedury pomiaru może przynieść korzyści zarówno producentowi blatów jak i ich użytkownikowi w zakładzie betonowym.

Z perspektywy producenta blatów produkcyjnych istnieją następujące możliwości zastosowania:

- Pomiar i ocena właściwości dynamicznych blatów w zakładzie producenta i u klienta w ramach kontroli lub udokumentowania jakości;
- Potwierdzenie charakterystyki drgań przy dostawie zapasowych blatów produkcyjnych (w przypadku konieczności wymiany małej liczby blatów) dla istniejących linii technologicznych;
- Produkcja i dostawa blatów produkcyjnych o zdefiniowanych właściwościach, dopasowanych do parametrów pozostałych mas roboczych w układzie wibracyjnym.

Z perspektywy właściciela wibroprasy istnieją między innymi następujące możliwości zastosowania:

- Wybór blatów produkcyjnych w zależności od warunków brzegowych

określonych ustawieniami maszyny i procesem produkcyjnym oraz pożądaną jakością wyrobów betonowych już w fazie projektowania linii technologicznej;

- Identyfikacja blatów produkcyjnych, dla których rezultat zagęszczania jest niewystarczający oraz w razie potrzeby wyeliminowanie lub wymiana pojedynczych blatów;
- Rejestracja i ocena czasowych zmian parametrów blatów poprzez cykliczne pomiary oraz prognoza optymalnego momentu wymiany wszystkich blatów produkcyjnych wykorzystywanych na linii (zob. także wykres na rys. 13).

Znajomość czasowego przebiegu zmian parametrów wraz z ich wartościami średnimi i rozrzutem może w połączeniu z obiektywnymi wynikami pomiarów pomóc w określeniu optymalnego momentu wymiany blatów.

### Podsumowanie

Zdefiniowano parametry charakterystyki drgań blatów produkcyjnych. W celu określenia tych parametrów opracowano i przetestowano procedury pomiaru oraz aparaturę pomiarową.

Dzięki temu producenci i użytkownicy blatów mogą pozyskać obiektywne wartości pomiaru pozwalające wyznaczyć parametry blatów wpływające na skuteczność procesu zagęszczania.

Wyniki badań uzyskano w ramach kooperacyjnego projektu badawczego przedsiębiorstw:

- Fritz Herrmann GmbH & Co., Betonsteinwerke KG, Eisenberg
- Wasa Pallets GmbH & Co. KG, Neubrunn
- Institut für Fertigteiletechnik und Fertigbau Weimar e. V.

Projekt badawczy został sfinansowany przez Federalne Ministerstwo Gospodarki i Technologii (nr grantu KF 0031713UK7) w ramach programu PRO INNO („PROgramm INNOvationskompetenz mittelständischer Unternehmen“).

### ■ Bibliografia

- [1] Kuch, H.; Schwabe, J.-H.; Palzer, U.: Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen – Verfahren und Ausrüstungen, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf 2009

### WIEJĘJ INFORMACJI



IFF Institut für Fertigteiletechnik und Fertigbau Weimar e.V.  
Cranachstr. 46  
99423 Weimar, Niemcy  
T +49 3643 86840  
F +49 3643 868413  
kontakt@iff-weimar.de  
www.iff-weimar.de