



Analiza zachowania się mas podczepionych do wibroizolatorów sprężynowych – analiza statyczna oraz modalna

mgr inż. Paweł E. Okroj
WIBRO-PROJEKT



AGENDA

- CEL WYSTĄPIENIA
- GŁÓWNY BOHATER WYSTĄPIENIA: WIBROIZOLATOR SPRĘŻYNOWY
- OPIS PROPONOWANYCH MODELÓW
- WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW
- ANALIZA OBLICZENIOWA STATYCZNA I MODALNA PROPONOWANYCH MODELÓW
- PODSUMOWANIE

CEL WYSTĄPIENIA

- OCENA MOŻLIWOŚCI PROGRAMU „MIDAS GTS NX” W ZAKRESIE MODELOWANIA UKŁADU MAS PODCZEPIONYCH DO WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH, ORAZ WYKONANIA ANALIZY STATYCZNEJ I MODALNEJ WYKONANEGO MODELU.
 - UWAGA. WE WYSTĄPIENIU NINIEJSZYM UŻYTE ZOSTAŁO OKREŚLENIE „MAS PODCZEPIONYCH DO WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH” PONIEWAŻ TAKI ZAPREZENTOWANO TU MODEL. JEDNAK ROZUMIEĆ NALEŻY, ŻE OKREŚLENIE „MAS OPARTYCH NA WIBROIZOLATORACH SPRĘŻYNOWYCH”, BĘDZIE RÓWNIEŻ PRAWIDŁOWE.

GŁÓWNY BOHATER WYSTĄPIENIA: WIBROIZOLATOR SPRĘŻYNOWY

- W PRZYPADKU POTRZEBY ODIZOLOWANIA (BIERNEGO, LUB CZYNNEGO) „OBIEKTU WRAŻLIWEGO NA DRGANIA MECHANICZNE” OD ŹRÓDŁA DRGAŃ, KORZYSTNE JEST STOSOWANIE WIBROIZOLACJI.
- W RAMACH SZEROKIEGO PODZIAŁU WIBROIZOLACJI, NAJBARDZIEJ POPULARNE SĄ WIBROIZOLATORY SPRĘŻYNOWE.
- ZASADNICZYM ELEMENTEM WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH JEST SPRĘŻYNA STALOWA, NATOMIAST DODATKOWYM WYPOSAŻENIEM MOŻE BYĆ SYSTEM TŁUMIENIA.



PODSTAWOWA WERSJA
WIBROIZOLATORA SPRĘŻYNOWEGO

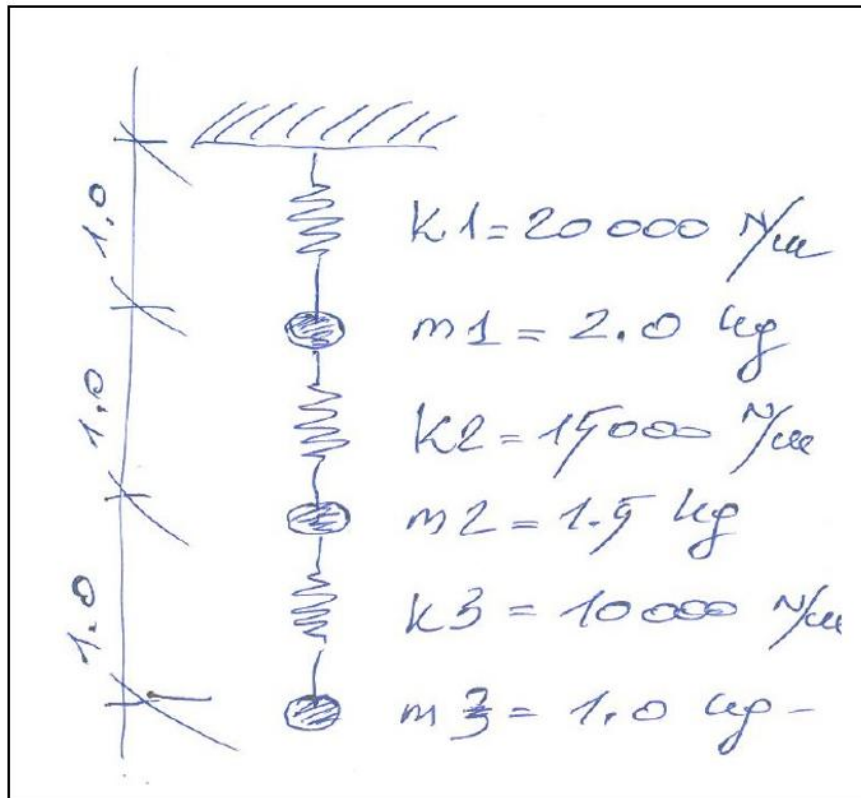
OPIS PROPONOWANYCH MODELÓW

- MODEL MATEMATYCZNY MM-1 – ATRYBUTY (str. 1/2).
 - TRZY WIBROIZOLATORY POŁĄCZONE ZE SOBĄ W UKŁADZIE SZEREGOWYM, KAŻDY O INNEJ SZTYWNOŚCI, POZBAWIONY TŁUMIENIA.
 - DO KAŻDEGO WIBROIZOLATORA PODCZEPIONE ZOSTAŁO OBCIĄŻENIE (O KIERUNKU GRAWITACYJNYM), W POSTACI:
 - MASY MODALNEJ (BEZ DEKLARACJI GEOMETRII).
 - SIŁY SKUPIONEJ NIEMODALNEJ.
 - UKŁAD POSIADA TRZY DYNAMICZNE STOPNIE SWOBODY.

OPIS PROPONOWANYCH MODELÓW

- MODEL MATEMATYCZNY MM-1 (str. 2/2).

SZKIC MODELU

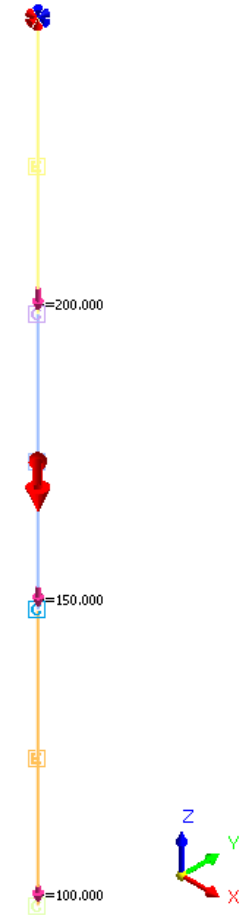


Brak możliwości tłumienia.
SIŁA F1 = -200 N

Brak możliwości tłumienia.
SIŁA F2 = -150 N

Brak możliwości tłumienia.
SIŁA F3 = -100 N

PROPOZYCJA MODELU W MIDAS GTS NX



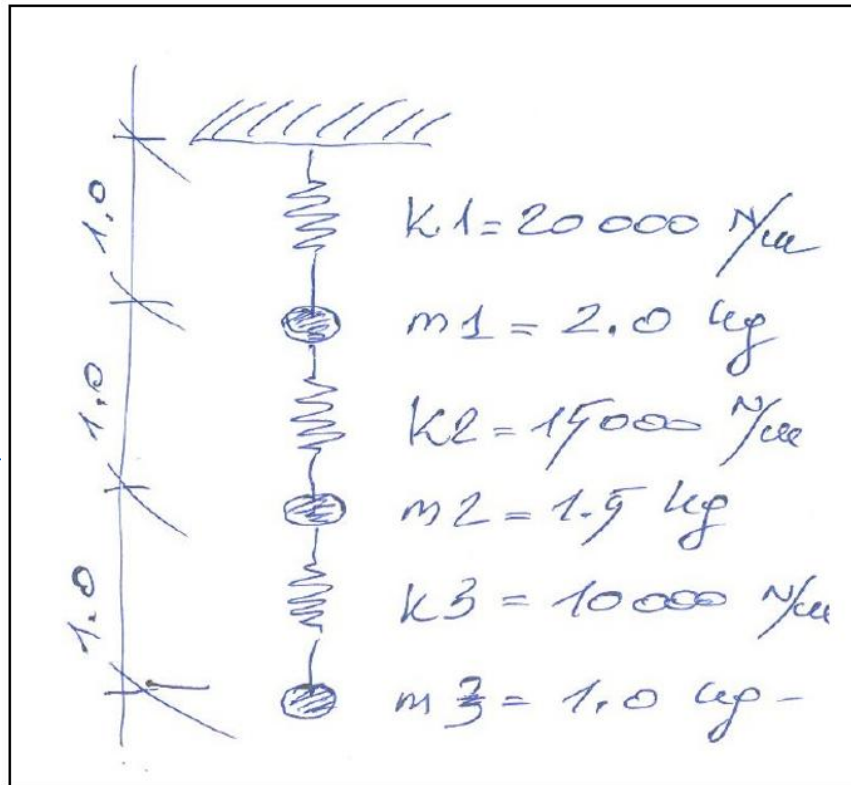
OPIS PROPONOWANYCH MODELÓW

- MODEL MATEMATYCZNY MM-2 – ATRYBUTY (str. 1/2).
 - TRZY WIBROIZOLATORY POŁĄCZONE ZE SOBĄ W UKŁADZIE SZEREGOWYM, KAŻDY O INNEJ SZTYWNOŚCI, ORAZ O INNYM TŁUMIENIU.
 - DO KAŻDEGO WIBROIZOLATORA PODCZEPIONE ZOSTAŁO OBCIĄŻENIE (O KIERUNKU GRAWITACYJNYM), W POSTACI:
 - MASY MODALNEJ (BEZ DEKLARACJI GEOMETRII).
 - SIŁY SKUPIONEJ NIEMODALNEJ.
 - UKŁAD POSIADA TRZY DYNAMICZNE STOPNIE SWOBODY.

OPIS PROPONOWANYCH MODELÓW

- MODEL MATEMATYCZNY MM-2 (str. 2/2).

SZKIC MODELU

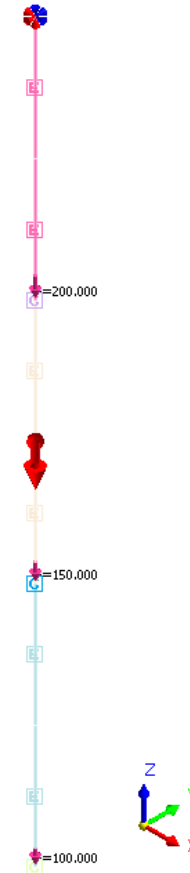


Tłumienie:
 $C=200 \text{ N*s/m.}$
SIŁA $F_1 = -200 \text{ N}$

Tłumienie:
 $C=150 \text{ N*s/m.}$
SIŁA $F_2 = -150 \text{ N}$

Tłumienie:
 $C=100 \text{ N*s/m.}$
SIŁA $F_3 = -100 \text{ N}$

PROPZYCJA MODELU W MIDAS GTS NX



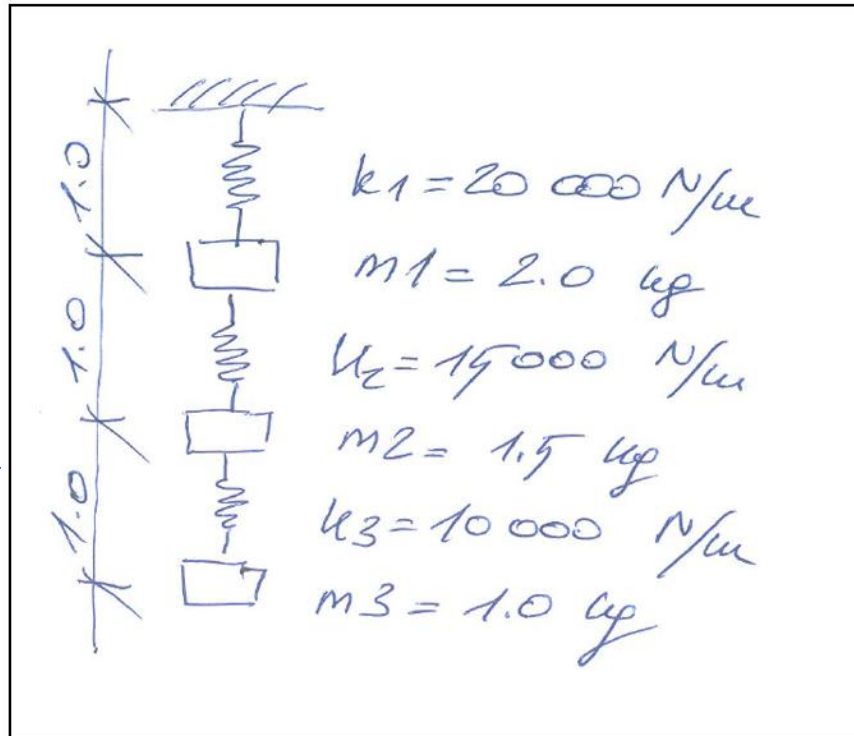
OPIS PROPONOWANYCH MODELÓW

- MODEL FIZYCZNY MF-1 – ATRYBUTY (str. 1/2).
 - TRZY WIBROIZOLATORY POŁĄCZONE ZE SOBĄ W UKŁADZIE SZEREGOWYM, KAŻDY O INNEJ SZTYWNOŚCI, ORAZ O INNYM TŁUMIENIU.
 - DO KAŻDEGO WIBROIZOLATORA PODCZEPIONE ZOSTAŁO OBCIĄŻENIE (O KIERUNKU GRAWITACYJNYM), W POSTACI:
 - MASY MODALNEJ (Z DEKLARACJĄ GEOMETRII).
 - SIŁY SKUPIONEJ NIEMODALNEJ.
 - UKŁAD POSIADA TRZY DYNAMICZNE STOPNIE SWOBODY.

OPIS PROPONOWANYCH MODELÓW

- MODEL FIZYCZNY MF-1 (str. 2/2).

SZKIC MODELU

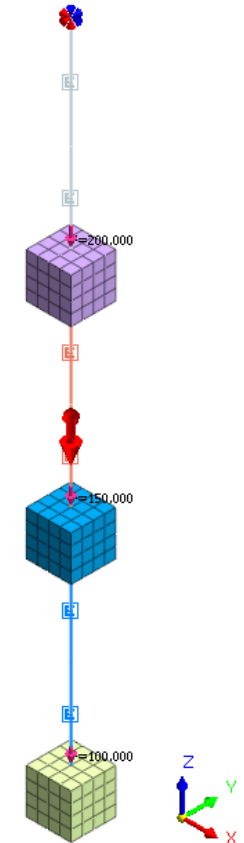


Tłumienie:
 $C = 200 \text{ N*s/m}$
SIŁA $F_1 = -200 \text{ N}$

Tłumienie:
 $C = 150 \text{ N*s/m}$
SIŁA $F_2 = -150 \text{ N}$

Tłumienie:
 $C = 100 \text{ N*s/m}$
SIŁA $F_3 = -100 \text{ N}$

PROPOZYCJA MODELU W MIDAS GTS NX



WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- KAŻDY Z MODELI POSIADA IDENTYCZNE ATRYBUTY (POMIJAJĄC ELEMENT TŁUMIENIA) ZATEM PRZYJMUJE SIĘ, ŻE W ZAKRESIE ANALIZY STATYCZNEJ I ANALIZY MODALNEJ, WYNIKI DLA KAŻDEGO MODELU BĘDĄ TAKŻE IDENTYCZNE.
- WERYFIKACJA UKŁADU BĘDZIE PROWADZONA METODĄ ANALITYCZNA, A WYNIKI BĘDĄ DODATKOWO POTWIERDZANE W PROGRAMIE GTS NX. DLA UPROSZCZENIA OBLICZEŃ METODĄ ANALITYCZNA PRZYJĘTO, ŻE ANALIZIE BĘDZIE PODLEGAĆ JEDYNNIE FRAGMENT PROPONOWANYCH MODELI, OGRANICZONY DO UKŁADU O JEDNEJ MASIE (TU: „m1”), PODCZEPIONEJ DO JEDNEGO WIBROIZOLATORA (TU: SZTYWNOŚCI „k1”), KTÓRY JEST OBCIĄŻONY JEDNĄ SIŁĄ SKUPIONĄ (TU: F1”).
- REALIZACJA POWYŻSZEGO ZAKRESU NA KOLEJNYCH STRONACH.

WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- WERYFIKACJA PROWADZONA METODĄ ANALITYCZNA – str. 1/2.

- Analiza statyczna LA_1M (m1) – występuje tylko jedna masa modalna m1.
 - Masa m1: 2.00 kg.
 - Ciężar.
 - $G(m1) = 19.6 \text{ N.}$
 - $\Sigma G (m1) = 19.6 \text{ N.}$
 - Sztywność pionowa wibroizolatora:
 - $\Sigma K = 20000 \text{ N/m.}$
 - Maksymalne przemieszczenie pionowe masy m1:
 - Obciążenie: 19.6 N.
 - $uZ(\max) = G(m1) / \Sigma K = (19.6 / 20000) * 1e3 = 0.98 \text{ mm.}$
 - Suma reakcji: $R = 19.6 \text{ N.}$
 - Siła we wibroizolatorze: 19.6 N („+”: rozciąganie).

WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- WERYFIKACJA PROWADZONA METODĄ ANALITYCZNA – str. 2/2.

- Analiza statyczna LA_1M (F1) – występuje tylko jedna siła niemodalna F1, zastępująca masę modalną $m1$

- SIŁA.

- $F = 200 \text{ N.}$
- $\Sigma F = 200 \text{ N.}$

- Sztywność pionowa wibroizolatora:

- $\Sigma K = 20000 \text{ N/m.}$

- Maksymalne przemieszczenie pionowe miejsca siły F1:

- $u_Z(\max) = F / \Sigma K = (200 / 20000) * 1e3 = 10 \text{ mm.}$

- Suma reakcji: $R = 200 \text{ N.}$

- Siła we wibroizolatorze: 200 N („+” : rozciąganie).

- Analiza modalna LBA-1M ($m1$).

- Sztywność pionowa wibroizolatora:

- $\Sigma K = 20000 \text{ N/m.}$

- Częstotliwość własna minimalna pionowa systemu:

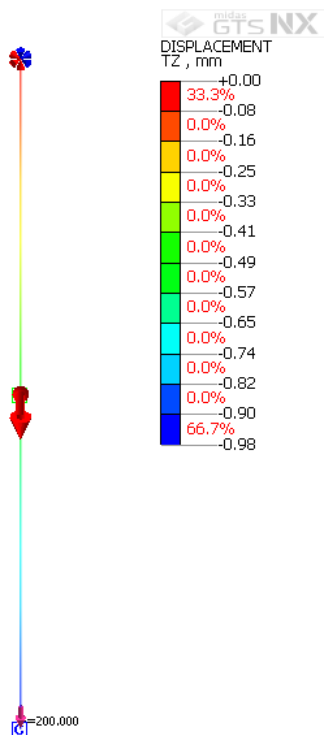
- $\lambda = \{\Sigma K [\text{N/m}] / m1 [\text{N*s}^2/\text{m}]\}^{0.5} =$
 $= (20000 / 2.0)^{0.5} = 100 \text{ rad/s} = 15.9 \text{ Hz.}$

WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

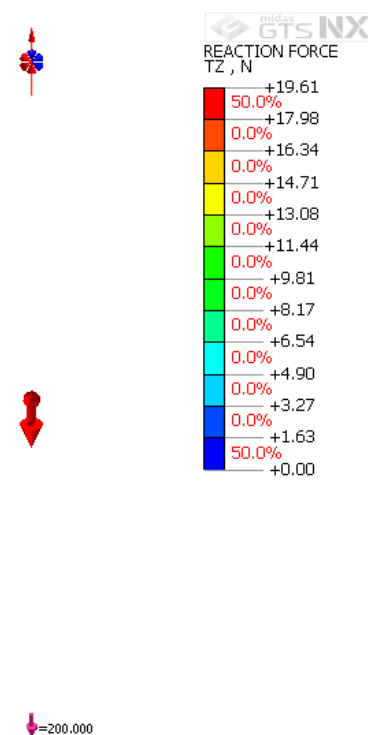
- WERYFIKACJA PROWADZONA METODĄ KOMPUTEROWĄ – str. 1/3.

- Analiza statyczna LA_1M (m1) – tylko masa modalna m1 ; opis w części obliczeń analitycznych.

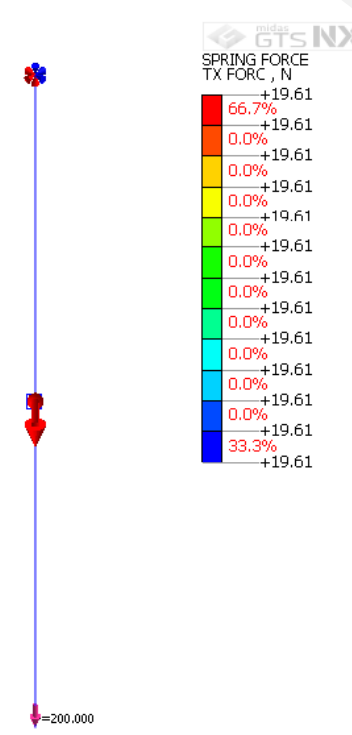
- Maksymalne przemieszczenie pionowe masy m1.



- Suma reakcji.



- Siła we wibroizolatorze.



WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- WERYFIKACJA PROWADZONA METODĄ KOMPUTEROWĄ – str. 3/3.
 - Analiza modalna LBA_1M ; opis w części obliczeń analitycznych.

MODE NUMBER	EIGENVALUE	RADIANS	CYCLES	PERIOD
1	1.000000e+004	1.000000e+002	1.591549e+001	6.283187e-002

WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- PORÓWNANIE WYNIKÓW WERYFIKACJI PROWADZONYCH METODĄ ANALITYCZNA, ORAZ KOMPUTEROWĄ – str. 1/1.
 - W ramach analizy komputerowej wykonano obliczenia każdego ze zaproponowanych modeli, lecz dla układu jednomasowego, rozważanego w ramach analizy analitycznej. Otrzymane wyniki tych obliczeń były identyczne dla każdego z modeli, zatem zaprezentowane zostały na trzech poprzednich stronach tylko jednokrotnie.
 - Uwaga. Podczas prezentacji modelu obliczeniowego każdego z przypadków, przedstawiany był na szkicu komplet obciążeń (zarówno masa modalna, jak i siła niemodalna), jakkolwiek oddziaływania były określane tylko wg opisu w tytule.
 - Porównując wyniki analizy statycznej rozważanego układu jednomasowego, obciążonego tylko masą modalną, następnie tylko siłą niemodalną widać, że wyniki otrzymane na drodze analizy analitycznej, oraz komputerowej są identyczne.
 - Porównując wyniki analizy modalnej rozważanego układu jednomasowego, obciążonego tylko masą modalną widać, że wyniki otrzymane na drodze analizy analitycznej, oraz komputerowej są identyczne.
 - Pomyślna weryfikacja wyników analizy analitycznej, oraz komputerowej pozwala stwierdzić, że zaproponowane powyżej modele w zakresie analizy statycznej, oraz modalnej, są równoważne.

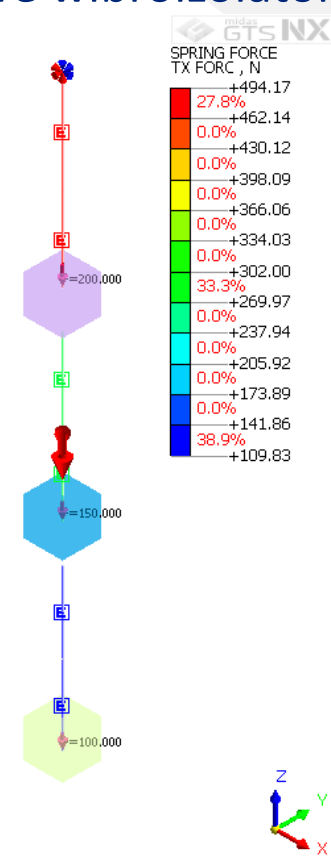
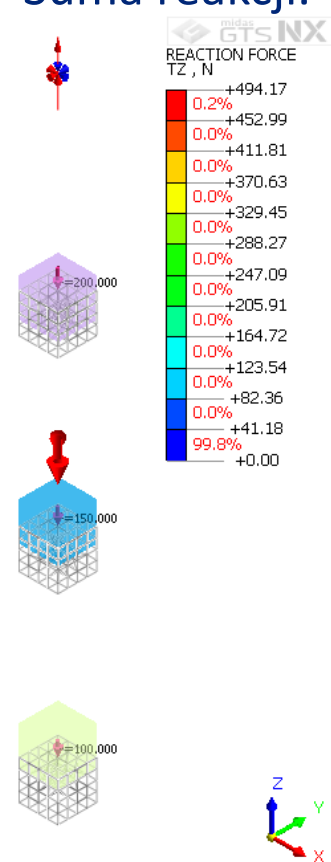
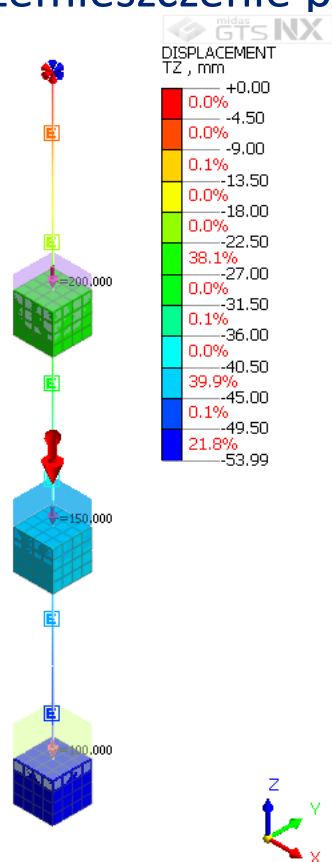
WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- ANALIZA OBLICZENIOWA STATYCZNA PROPONOWANYCH MODELÓW UKŁADU WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH – str. 1/2.
 - W ramach analizy komputerowej wykonano obliczenia każdego ze zaproponowanych trójmasowych modeli układu wibroizolatorów sprężynowych. Otrzymane wyniki tych obliczeń były identyczne dla każdego z modeli, zatem zaprezentowano je poniżej tylko jednokrotnie.
 - Analiza obliczeniowa prowadzona była dla przypadku obciążeniowego, obejmującego jednoczesne istnienie trzech mas modalnych, oraz trzech sił niemodalnych.
 - Wyniki analiz przedstawiono na kolejnej stronie.

WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

• ANALIZA OBLICZENIOWA STATYCZNA PROPONOWANYCH MODELÓW UKŁADU WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH – str. 2/2.

- Maksymalne przemieszczenie pionowe mas.
- Suma reakcji.
- Siły we wibroizolatorach.



WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- ANALIZA OBLICZENIOWA MODALNA PROPONOWANYCH MODELÓW UKŁADU WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH – str. 1/2.
 - W ramach analizy komputerowej wykonano obliczenia każdego ze zaproponowanych trójmasowych modeli układu wibroizolatorów sprężynowych. Otrzymane wyniki tych obliczeń były identyczne dla każdego z modeli, zatem zaprezentowano je poniżej tylko jednokrotnie.
 - Analiza obliczeniowa prowadzona była dla przypadku obciążeniowego, obejmującego jednoczesne istnienie trzech mas modalnych.
 - Wyniki liczbowe analiz przedstawiono na kolejnej stronie, a modalne zachowanie się mas przedstawione będzie podczas prezentacji.

WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI PROPONOWANYCH MODELÓW

- ANALIZA OBLICZENIOWA MODALNA PROPONOWANYCH MODELÓW UKŁADU WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH – str. 2/2.
 - Analiza modalna LBA_3M.

MODE NUMBER	EIGENVALUE	RADIANS	CYCLES	PERIOD
1	2.609425e+003	5.108253e+001	8.130038e+000	1.230007e-001
2	1.381264e+004	1.175272e+002	1.870503e+001	5.346156e-002
3	2.774460e+004	1.665671e+002	2.650998e+001	3.772164e-002

PODSUMOWANIE WYSTĄPIENIA

- OMÓWIONO TRZY RÓŻNE MODELE UKŁADU MAS PODCZEPIONYCH DO WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH, O IDENTYCZNYM ZESTAWIE OBCIĄŻEŃ. ROZWAŻANO ZACHOWANIE SIĘ TYCH UKŁADÓW W ZAKRESIE ANALIZY STATYCZNEJ, ORAZ MODALNEJ, WERYFIKUJĄC PRZY TYM WYNIKI ANALITYCZNE, ORAZ KOMPUTEROWE DLA UPROSZCZONEGO FRAGMENTU MODELU. STWIERDZONO, ŻE KOMPLET OTRZYMANYCH WYNIKÓW DLA UPROSZCZONEGO FRAGMENTU MODELU JEST IDENTYCZNY DOWODZĄC, ŻE KAŻDY Z TRZECH KOMPUTEROWYCH MODELI ZBUDOWANO PRAWIDŁOWO, ORAZ SĄ ONE RÓWNOWAŻNE SOBIE.
 - UWAGA. WE WYSTĄPIENIU NINIEJSZYM UŻYTE ZOSTAŁO OKREŚLENIE „MAS PODCZEPIONYCH DO WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH” PONIEWAŻ TAKI ZAPREZENTOWANO TU MODEL. JEDNAK ROZUMIEĆ NALEŻY, ŻE OKREŚLENIE „MAS OPARTYCH NA WIBROIZOLATORACH SPRĘŻYNOWYCH”, BĘDZIE RÓWNIEŻ PRAWIDŁOWE.
- FINALNYM ROZWAŻANIOM W ZAKRESIE ANALIZY STATYCZNEJ, ORAZ MODALNEJ PODDANO NAJBARDZIEJ ZAAWANSOWANY MODEL UKŁADU MAS (NAZWANY TUTAJ: „MODEL FIZYCZNY MF-1”) – WYNIKI ANALIZY PRZEDSTAWIONO NA STOSOWNEJ STRONIE.
 - UWAGA. MODEL FIZYCZNY MF-1 UMOŻLIWIA TESTOWANIE WPŁYWU OBCIĄŻENIA DYNAMICZNEGO, CO BĘDZIE PRZEDMIOTEM KOLEJNEGO WYSTĄPIENIA.
- OSTATECZNIE UZNANO, ŻE PROGRAM „MIDAS GTS NX” ZAPEWNIĄ PEŁNĄ FUNKCJONALNOŚĆ W ZAKRESIE MODELOWANIA MAS MOCOWANYCH DO WIBROIZOLATORÓW SPRĘŻYNOWYCH, DLA POTRZEB WYKONANIA ANALIZY STATYCZNEJ I MODALNEJ.



Dziękuję za uwagę.



Paweł Okroj 



601 064 858



biuro@wibro-projekt.com



www.wibro-projekt.com