

Měření dynamického chování stroje KK 1600/K112

Measurement of the Dynamic behaviour of the KK 1600/K112 Machine / Messung des dynamischen Verhaltens der Maschine KK 1600/K112

ING. VLASTIMIL MONI, PH.D., ING. JAROMÍR TÄUBER
VUHU a.s., Most

Přijato: 16. 1. 2024, recenzováno: 15. 4. a 23. 4. 2024

ABSTRAKT

Na konci roku 2023 byla na šestém skrývkovém řezu lomu Bílina realizována za aktivní účasti VUHU a.s. unikátní výkonová zkouška nového klasického kolesového rypadla KK1600/K112. Součástí této komplexní zkoušky byla také měření dynamického chování stroje za provozu pro ověření dynamické analýzy. Článek seznamuje čtenáře s přípravou, realizací a vyhodnocením těchto měření.

At the end of 2023, with the active participation of VUHU a.s., a unique performance test of the new classic wheel excavator KK1600/K112 was carried out in the sixth overburden section of the Bílina open-cast mine. This comprehensive test also included measuring the dynamic behaviour of the machine during operation to verify the dynamic analysis. The article introduces the reader to the preparation, execution and evaluation of these measurements.

Ende 2023 wurde unter aktiver Beteiligung des VUHU a.s. ein einzigartiger Leistungstest des neuen klassischen Radbaggers KK1600/K112 im sechsten Abraumschnitt des Bílina-Tagebaus durchgeführt. Dieser umfassende Test beinhaltete auch Messung des dynamischen Verhaltens der Maschine während des Betriebs, um die dynamische Analyse zu überprüfen. Der Artikel führt den Leser in die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung dieser Messungen ein.

Klíčová slova: rypadlo KK 1600/K112 - dynamické analýza - vibrace - ocelová konstrukce - výkonová zkouška
Keywords: KK 1600/K112 excavator - dynamic analysis - vibration - steel structure - performance test

1 | ÚVOD

V termínu od 4. 12. do 7. 12. 2023 byla provedena dle předem schválených plánů a požadavků pověřené realizační komise na šestém skrývkovém řezu lomu Bílina výkonová zkouška nového klasického kolesového rypadla KK 1600.1/K 112 [1]. V rámci této komplexní zkoušky rovněž proběhlo měření dynamického chování uvedeného stroje během standardní těžby skrývky uvedeného rypadla v reálném provozu lomu. Vlastní měření dynamického chování a následná analýza zjištěných výsledků byla rozdělena do dvou etap, a to:

- měření vlastních frekvencí stroje,
- měření kmitání kolesového a vyvažovacího výložníku.

2 | MĚŘENÍ VLASTNÍCH FREKVENCÍ STROJE

Pro ověření dynamické analýzy bylo zapotřebí provést měření vlastních frekvencí [2,3] kolesového výložníku dobývacího stroje KK 1600/K112. Měření vibrací bylo provedeno za klidu rypadla, během manipulační odstávky. Potřebný silový impuls pro vybudování kmitání byl získán přetržením zkušební ocelové tyčky. Tato zkušební tyčinka byla pomocí lan na jedné straně upoutána ke korečku kola a na druhé straně k buldozeru na pláni. Mikropohybem zdvihu výložníku bylo docíleno napružení konstrukce kolesového výložníku ve svislém směru a posléze přetržení tyčky a následného rozkmitání horní stav-

by stroje. Směr síly byl tečný k obvodu kola. Zkušební tyčka byla dimenzována na sílu 150 kN. Tato síla potřebná k přetržení byla ověřena na kalibrovaném etalonu „Lis EU100“ v akreditované laboratoři VUHU a.s. – viz následující foto.

Trhací zkouška a následné měření vlastních frekvencí na stroji KK 1600/K112 bylo realizováno celkem dvakrát. Během měření byl výložník v poloze blízcí se vodorovné rovině.

Trojosý snímač byl umístěn na pravé straně kolesového výložníku těsně před ložiskem kola na horní pásnici nosníku tak, že jeho osa x byla rovnoběžná s osou kola, osa y snímače byla rovnoběžná s osou nosníku ložiska kola, osa z snímače byla kolmá na rovinu os x-y a kladně orientovaná směrem vzhůru. Směr z byl v následujících časových záznamech uveden jako svislý. Měřenou veličinou mechanického kmitání bylo zrychlení [m.s^{-2}] pohybu v příslušném směru.

Výchylka kmitavého pohybu byla získána ze zrychlení podle vztahu:

$$s = a / \omega^2 \cdot 1\,000 \quad (1)$$

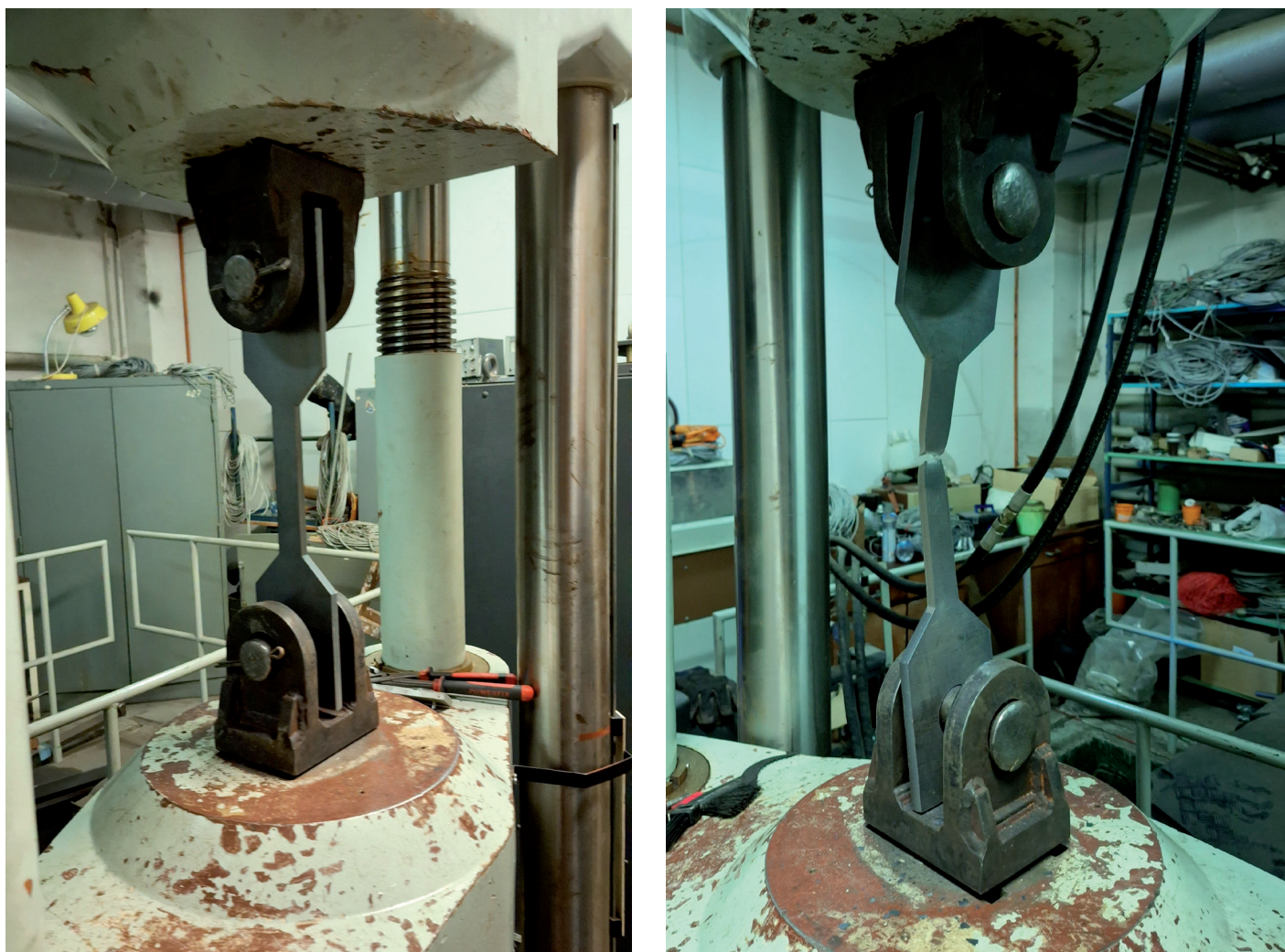
kde

s výchylka [mm]

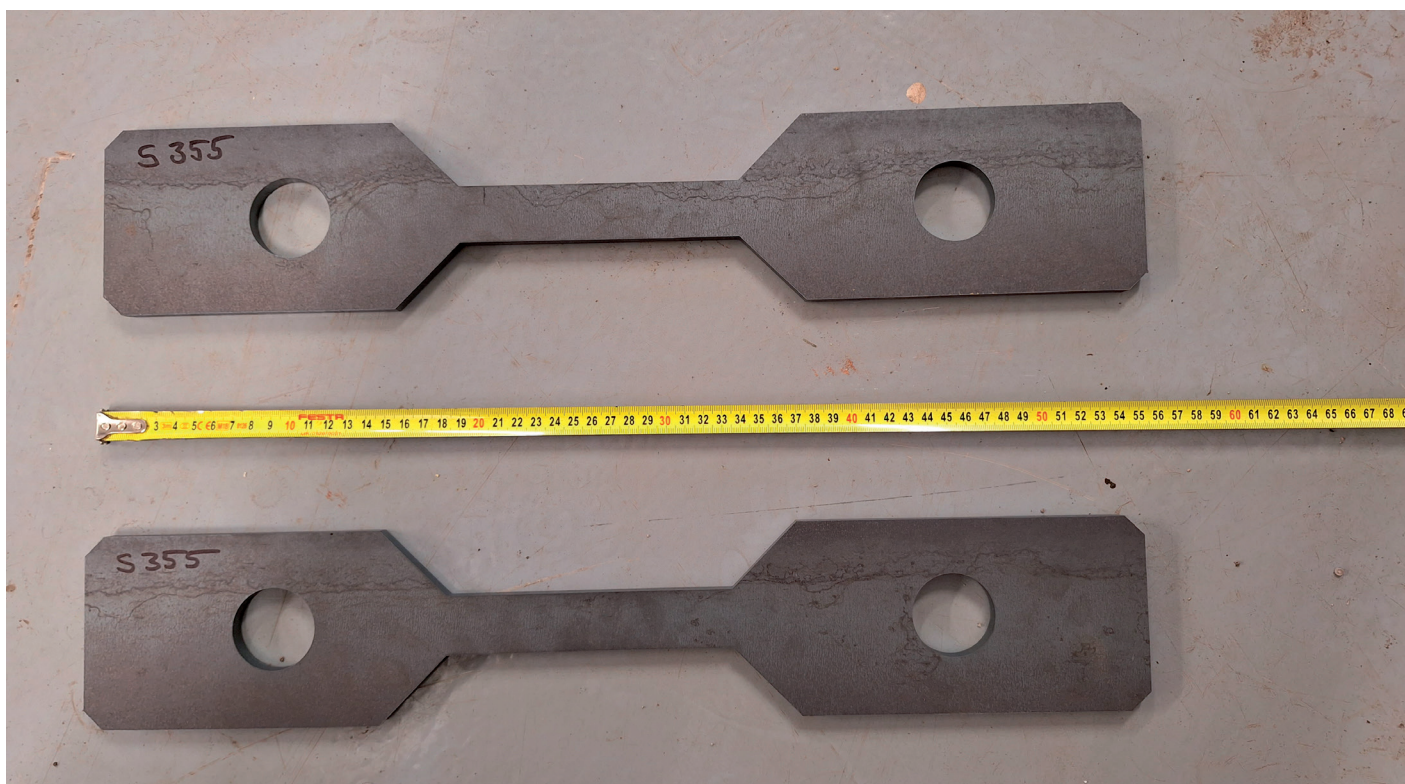
a zrychlení [m.s^{-2}]

ω úhlová rychlost kmitavého pohybu [s^{-1}]

Měřené veličiny byly snímány vzorkovací frekvencí 50 vzorků za sekundu a byly ukládány ve formě



Obr. 1: Ověřovací test na Lisu EU100 v akreditované laboratoři VUHU a.s.



Obr. 2: Zkušební tyčka byla dimenzována na sílu 150 kN.



Obr. 3: „Trhací zkouška“ na stroji KK 1600/K112.



následujících datových souborů na disk počítače. Po skončení měření byly soubory zpracovány softwarem měřicí jednotky a exportovány do příslušných souborů k následnému vyhodnocení.

Zjištěné hodnoty vlastních frekvencí kolesového výložníku:

- směr svislý
 - výložník v poloze vodorovně - $f = 0,647 \text{ Hz}$
- směr vodorovný
 - výložník v poloze vodorovně - $f = 0,878 \text{ Hz}$

Ve spektru záznamu svislého kmitání je ještě patrná frekvence 1,65 Hz.

Z amplitud naměřených kmitů lze vyhodnotit útlum kmitání vyjádřený pomocí dekrementu útlumu ν pro:

- kolesový výložník ve svislé rovině

$$\nu \approx 0,7288 + 0,01579 \cdot t \quad (2)$$

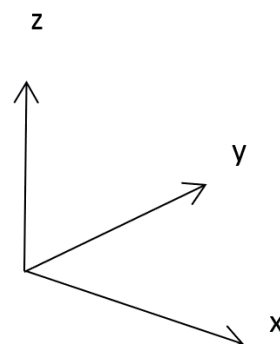
kde

t je čas kmitání [s]

Frekvence kmitání 2. modálního tvaru velkostroje dle dynamické analýzy činí 0,67 Hz. To je frekvence velmi blízká vlastní frekvenci kmitání KV velkostroje KK 1600 $f = 0,647 \text{ Hz}$. Tato frekvence je dostatečně vzdálená od nejnižší budící frekvence, která činí $f_{bud} = 1,15 \text{ Hz}$.

3 | KMITÁNÍ HORNÍ STAVBY VELKOSTROJE

Dále bylo pro účely ověření dynamické analýzy zapotřebí provést záznamy kmitání kolesového a vyvažovacího výložníku dobývacího stroje KK 1600/K112 za běžného provozu stroje [5]. V rámci výkonové zkoušky velkostroje KK 1600/K112 tak bylo provedeno měření kmitání kolesového a vyvažovacího výložníku. Z tohoto důvodu proběhla pracovníky VUHU a.s. instalace snímačů a dvou měřicích jednotek s vyhodnocovací ústřednou od firmy Dewetron Praha s.r.o. na vytypovaných místech na konstrukci uvedených výložníků stroje. Záznam potřebných dat byl zrealizován pracovní odbornou skupinou dne 4. 12. 2023 v dopoledních hodinách.



Obr. 4: Souřadný systém akcelerometrů.

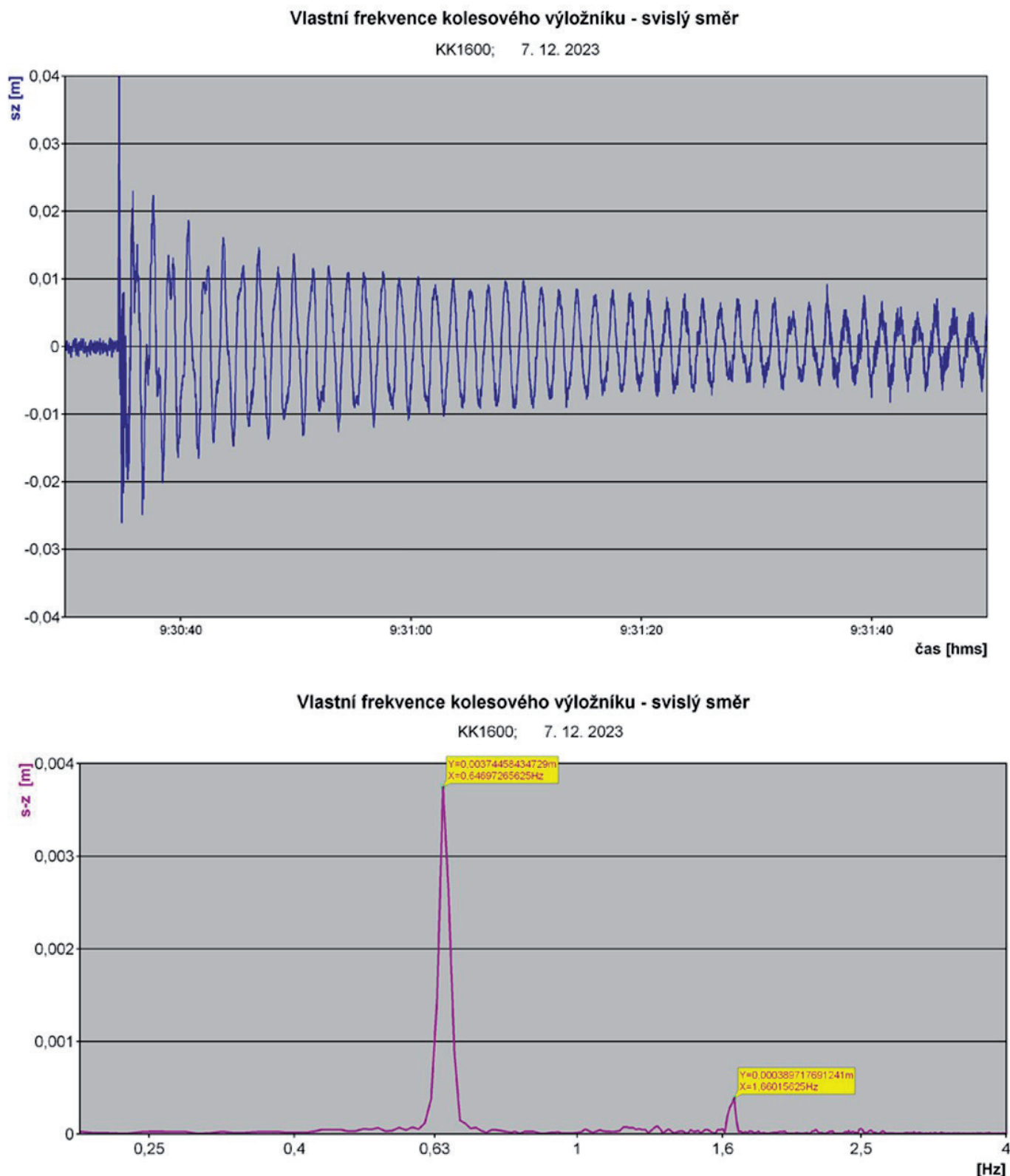
První měřicí jednotka s akcelerometry Seika B2 pro snímání zrychlení horního pásu vyvažovacího výložníku (viz tabulka 1):

- směr y (ve směru podélné osy V.V.; kladný ve směru pohledu od středu rypadla ke kolesu),
- směr x (kolmo na podélnou osu V.V.; leží ve vodorovné zavětrovací rovině),

- směr z (ve směru kolmo na rovinu x-y; kladný ve směru vzhůru).

Snímače byly instalovány na horní pásnici nosníku u pravého prutového závěsu výložníku.

Akcelerometry byly napájeny ze zdroje napětí 5,09 V a jejich výstup byl připojen na napěťový vstup měřicího zesilovače DS NET ACC2.



Obr. 5: Ukázka spektra záznamu svislého kmitání kolesového výložníku.

Tabulka 1: První měřicí jednotka s akcelerometry Seika B2 pro snímání zrychlení horního pásu vyvažovacího výložníku.

Místo	Veličina	Jednotky	Směr	V. č. snímače	Kabel	Měřicí kanál	Citlivost [mV/m.s ⁻²]
pravý pás	zrychlení	m.s ⁻²	X	25825	1	ACC2-G30-S0-Ch1-XL	19,29124
pravý pás	zrychlení	m.s ⁻²	Y	25832	2	ACC2-G30-S0-Ch2-YL	19,46245
pravý pás	zrychlení	m.s ⁻²	Z	25831	3	ACC2-G30-S0-Ch3-ZP	19,18944

Tabulka 2: Druhá měřicí jednotka s akcelerometry KS823B pro snímání kmitání kolesového výložníku.

Místo	Veličina	Jednotky	Směr	V. č. snímače	Kabel	Měřicí kanál	Citlivost [mV/m.s ⁻²]
pásnice	zrychlení	m.s ⁻²	X		2	ACC2-G28-S0-Ch0	51,837
pásnice	zrychlení	m.s ⁻²	Y		2	ACC2-G28-S0-Ch1	51,381
pásnice	zrychlení	m.s ⁻²	Z		2	ACC2-G28-S1-Ch0	51,112

Druhá měřicí jednotka s akcelerometry KS823B pro snímání kmitání kolesového výložníku - viz tabulka 2.

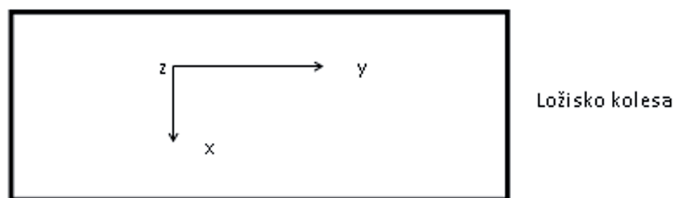
Kmitání kolesového výložníku bylo snímáno na pravém nosníku výložníku u ložiska kola pomocí třiosého akcelerometru KS823B. Orientace akcelerometru byla obdobná orientaci snímačů na vyvažovacím výložníku.

Vzorkování signálů měřených veličin na rypadle KK 1600/K112 bylo prováděno s frekvencí 20 Sample.s⁻¹. Sejmuté signály byly ukládány na disk řídicího počítače.

Naměřená data byla dále zpracovávána softwarovým vybavením FlexPro 5.0 a Microsoft Excel.



Obr. 6: Instalace měřicí techniky.



Obr. 7: Orientace směrů měření kmitání.

Z obrázku č. 9 je patrné, že ve větší zvýrazněné oblasti (větší elipsa) průběhy signálů mají navzájem opačný směr. To značí souhlasný smysl pohybu obou výložníků. Naopak v oblasti menší elipsy signály mají shodný smysl pohybu, tedy tzv. mávání křídel. Nutno dodat, že amplitudy kmitání vyvažovacího výložníku činí do 10 % amplitud kmitání kolesového výložníku.

Posouzení dynamického chování

Největší, a tedy rozhodující, výchyšky kmitání jsou na frekvencích uvedeny v tabulce 3. Vyvažovací výložník rypadla KK1600/K112 ztelně nekmitá.

4 | ZÁVĚR

Měření dynamického chování stroje za provozu pro ověření dynamické analýzy nového rypadla KK 1600.1/K112 zpracované dodavatelem byla provedena v termínu výkonové zkoušky od 4. do 7. 12. 2023 na šestém skryvkovém řezu lomu Bílina.

Frekvence $f = 0,29$ Hz koresponduje s vypočtenou frekvencí pro tzv. kmitání „spolu“ kolesového a vyvažovacího výložníku dle dynamické analýzy

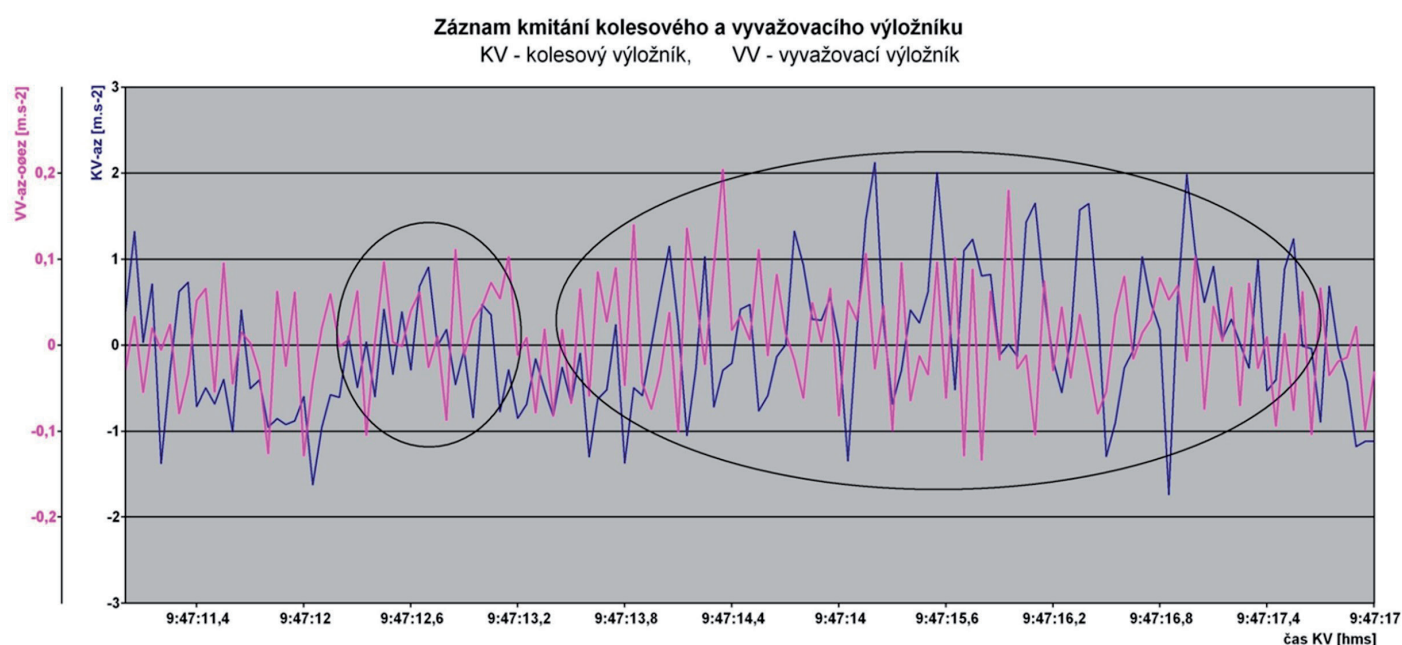


Obr. 8: Umístění akcelerometrů Seika B2 pro snímání zrychlení horního pásu vyvažovacího výložníku.

zpracované Dodavatelem v rámci projektování stroje. Další významné frekvence mají dostatečný odstup od budící frekvence.

Zároveň bylo ověřeno, že dynamické chování rypadla zjištěné měřením během výkonové zkoušky odpovídá výsledkům dynamické analýzy zpracované dodavatelem rypadla.

Rypadlo KK 1600.1/K112 může být úspěšně nasaženo do reálného provozu.

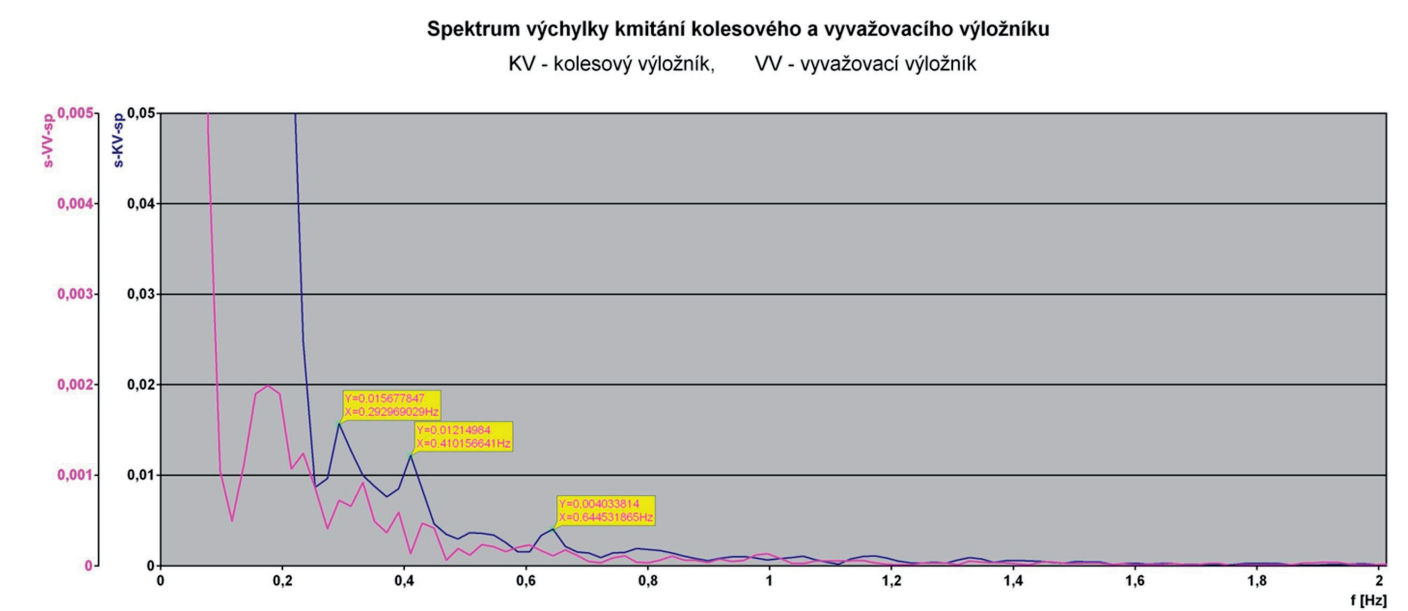


Obr. 9: Ukázka záznamu kmitání kolesového a vyvažovacího výložníku.

Tabulka 3:

Frekvence	0,195	Výchylka KV	82,0 mm	Výchylka VV	2,0 mm
Frekvence	0,290	Výchylka KV	16,0 mm	Výchylka VV	0,7 mm
Frekvence	0,41	Výchylka KV	12,0 mm	Výchylka VV	0,1 mm

Pozn. KV – kolesový výložník VV – vyvažovací výložník



Obr. 10: Ukázka záznamu výchylky kmitání ve spektrech.

LITERATURA

[1] MONI, V.: Výkonová zkouška rýpadla KK1300.1-CZ/K111, VUHU a.s., AZL-111/11.

[2] HELEBRANT, F.: Konstrukce velkostrojů a jejich spolehlivost - II. Provozní spolehlivost. MONTANEX, a.s. Ostrava 2004, I. vydání. 89 s., ISBN 80-7225-X.

[3] HOJDAR, J., HELEBRANT, F., GONDEK, H.: Povrchové dobývovací stroje I, Ostrava, 1991.

[4] MONI, V., KLOUDA, P., ŘEHOŘ, M.: Komplexní měření na ry-padle SchRs 1550-4x30/K109, Zpravodaj Hnědé uhlí, no. 1, str. 259-30, VUHU a.s., Most, ISSN 1213-1660.

[5] MONI, V., KLOUDA, P., KUBÍK, B.: Fragmenty z komplexního měření na lomovém velkostroji typu KU 800. In Zpravodaj Hnědé uhlí, 3/2009, s. 37-40, VUHU a.s., Most, ISSN 1213-1660.