

Wendelförderer mit elliptischer Schwingung ist leise und schnell

Ing. Jindřich Calta

Entwicklungsingenieur bei ROBOTERM s r.o., Chotěboř, Tschechische Republik

jindrich.calta@roboterm.cz

Dieser Artikel wurde im Oktober 2024 in der Zeitschrift Kovárenství, Nr. 82, ISSN 1213-9289 publiziert.

Abstrakt:

Von Unwuchtmotoren angetriebene Vibrationswendelförderer sorgen in vielen Schmieden für die automatische Beschickung von Abschnitten in Schmiedelinien. Das tschechische Unternehmen ROBOTERM hat einen neuen Wendelförderer entwickelt, der die Eigenschaften der bisherigen Vibrationstechnik grundlegend übertrifft. Die patentierte Technologie der elliptischen Schwingung im Vergleich zur geraden Schwingung erhöht die Fördergeschwindigkeit, reduziert den Lärm, verringert den Verschleiß der Zuführbahn und verlängert die Lebensdauer bis um ein Vielfaches.

1 Vorwort

Um die Schmiedelinie zu automatisieren, muss zunächst die automatische Zuführung der Abschnitte gelöst werden, die normalerweise lose in Transportbehältern gelagert werden. Zu diesem Zweck werden Vibrationswendelförderer (Abb. 1), Stufenförderer oder Roboter mit maschinellem Sehen (Bin Picking) eingesetzt. Wendelförderer bieten viele Vorteile gegenüber ihren Alternativen, insbesondere die Einfachheit, die mechanische Robustheit und die Möglichkeit, ein breites Spektrum von Formen und Größen zuzuführen [1].

In vielen Schmiedelinien ersetzen sie erfolgreich die manuelle Arbeit und sorgen für eine zuverlässige und leise Beschickung. Neben völlig problemlosen Anwendungen sind in der Praxis aber auch Fälle bekannt, in denen der Wendelförderer unter bestimmten Bedingungen nicht die erforderliche Fördergeschwindigkeit erreicht oder einen extrem hohen Geräuschpegel aufweist. Zu den Nachteilen von Wendelförderer gehört auch die begrenzte Lebensdauer der Förderbahn, die einem Verschleiß unterliegt. Die Reparatur einer verschlissenen Bahn ist in der Regel zeitaufwendig und erfordert längere Ausfallzeiten der Anlage.

Die Firma ROBOTERM, ein tschechischer Hersteller von Induktionsanlagen, stellte den ersten Wendelförderer im Jahre 1984 her und führte in den 40 Jahren seiner Entwicklung viele Innovationen ein, die nach und nach die Schwächen der Wendelförderer beseitigten. Die jüngste Innovation ist die Einführung der elliptischen Schwingung, die die Eigenschaften der Wendelförderer grundlegend verbessert. Die Vorteile der Elliptischen Schwingung wurden durch unabhängige Forschung [2, 3], Tests bei ROBOTERM [4] und den Betrieb in der Praxis nachgewiesen. Die neue Erfindung wurde bereits in mehreren tschechischen und einer deutschen Schmiede eingesetzt.



Abb. 1 - Wendelförderer für die automatische Zuführung von Knüppeln in Schmiedelinien

2 Das Prinzip des Wendelförderers

Die Konstruktion von Schwingförderern ist je nach Anwendung sehr unterschiedlich. Es kann sich um horizontales oder vertikales Fördern, Sortieren, Sieben und Orientieren handeln, und die Maschine kann Teile unterschiedlicher Form und Größe oder Schüttgut unterschiedlicher Körnung befördern. Ein gemeinsames Merkmal ist ein flexibel gelagerter Körper mit einer Förderbahn, die linear oder schraubenförmig sein kann. Zur Anregung der Schwingung werden verschiedene Antriebsarten verwendet. Schwingförderer können in Resonanz (Erregerfrequenz ist gleich der Eigenfrequenz), oberhalb der Resonanz (Erregerfrequenz ist höher) oder ausnahmsweise unterhalb der Resonanz (Erregerfrequenz ist niedriger) arbeiten. Je nach Größe der Vertikalbeschleunigung der Schwingungen werden zwei Grundprinzipien der Vibrationsförderung unterschieden: das Wurfprinzip, bei dem die Erdbeschleunigung überschritten wird und das Material springt, und das Gleitprinzip, bei dem die Erdbeschleunigung nicht überschritten wird und das Material entlang der Bahn gleitet.

Die ROBOTERM Wendelförderer für Zuführung von Abschnitten in Induktionsanlagen arbeiten oberhalb der Resonanz und sind für das Gleitprinzip konstruiert. Die Abschnitte werden in eine federgelagerte Schüssel gefüllt, an deren Innenwand eine schraubenförmige Förderbahn entlangführt. An der Schüssel sind zwei Unwuchtmotoren angebracht, d. h. Elektromotoren mit einem ungewuchteten Rotor, der Vibrationen erregt. Die Unwuchtmotoren synchronisieren sich beim Einschalten spontan, so dass sich die radial zur Vertikalachse der Schüssel wirkenden Komponenten der erregenden Kraft gegenseitig aufheben. Die Vertikal- und Torsionskomponenten der Kräfte erregen Vertikal- und Torsionsschwingung des Wendelförderers.

Die Schwingung des Wendelförderers ist durch die Form der Schwingung, ihre Amplitude und Frequenz charakterisiert. Die Frequenz der Schwingung wird durch die Drehzahl des Unwuchtmotors bestimmt. Ein sechspoliger Asynchron-Unwuchtmotor hat beispielsweise eine Erregerfrequenz von 16,67 Hz bei einer Synchrodrehzahl von 1000/min. Die Amplitude der Schwingung wird hauptsächlich durch die Unwucht des Unwuchtmotors bestimmt, die in der Regel einstellbar ist. Die Form der Schwingung wird hauptsächlich durch die Position der Unwuchtmotoren bestimmt [5]. Amplitude und Form der Schwingung werden auch durch Faktoren beeinflusst, die die Schüssel näher an die Resonanz der Vertikal- und Torsionsschwingungen heranführen. Zu diesen Faktoren gehören die Drehzahl der Unwuchtmotoren, das

Gewicht der Füllung und die Steifigkeit der Federn, die im Falle von Gummifedern durch ihre Temperatur und ihr Alter beeinflusst werden kann.

Die Amplitude und die Frequenz bestimmen die Beschleunigung der Schwingung. Die horizontalen und vertikalen Komponenten der Beschleunigung können zur Berechnung der Trägheits- und Reibungskräfte verwendet werden, die die Art der Materialbewegung bestimmen. Bei geringen Beschleunigungen liegt das Material auf der Bahn und bewegt sich nicht. Wenn die Trägheitskräfte die Reibungskraft übersteigen, beginnt sich das Material entlang der Bahn zu bewegen. Wenn die vertikale Komponente der Beschleunigung die Schwerkraftbeschleunigung übersteigt, beginnt das Material zu springen. Ein Springen der Knüppel ist unerwünscht, da es mit einer starken Geräuschentwicklung einhergeht. Um das Springen zu vermeiden, dürfen die Drehzahl und die Unwucht der Unwuchtmotoren nicht zu hoch sein. Dadurch wird die Zuführgeschwindigkeit begrenzt.

3 Anregung der elliptischen Schwingung

Wenn die Unwuchtmotoren wie in Abb. 2 gezeigt platziert werden, sind die vertikale Erregungskraft und das Torsionserregungsmoment in der gleichen Phase. Dies führt dazu, dass die Zuführbahn entlang der Spirale schwingt und auf der Bahn eine lineare, schräge Schwingung zu beobachten ist. Das Umdrehen des Unwuchtmotors bestimmt die Steilheit der Schwingung und wird in der Praxis üblicherweise optimiert, um bessere Transporteigenschaften zu erzielen.

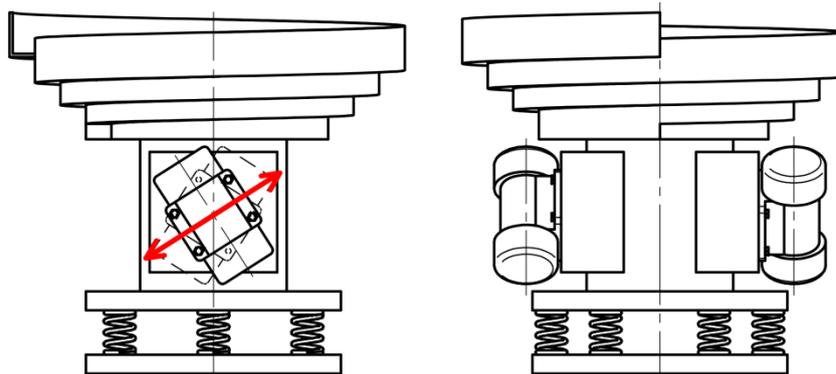


Abb. 2 – Wendelförderer mit linearer Schwingung

Die lineare Schwingung ist nur ein Spezialfall der allgemeinen harmonischen Schwingung. Wenn die Vertikal- und die Torsionsschwingung gegeneinander phasenverschoben sind, entsteht eine elliptische Schwingung. Eine elliptische Schwingung kann durch drei Variablen definiert werden: Amplitude, Steilheit und Elliptizität. Die Elliptizität der Schwingung ist ein weiterer Parameter, der optimiert werden kann. Die Anregung der elliptischen Schwingung erfolgt, wenn die Achsen der Unwuchtmotoren einen Winkel ungleich Null mit der Ebene senkrecht zur Verbindungslinie der Mittelpunkte der Unwuchtmotoren haben [5]. Diese Stellung der Unwuchtmotoren kann durch Neigung gemäß Abb. 3 oder durch Verschieben gemäß Abb. 4 erreicht werden. Die relativen Positionen der Unwuchtmotoren in Abb. 3 und Abb. 4 sind gleichwertig. Die Anregung der elliptischen Schwingung durch die Neigung der Motoren kann auch bei linearen Vibrationsförderern angewendet werden, die in vielen Bereichen der Industrie eingesetzt werden. Die Anregung der elliptischen Schwingung durch das Verschieben der Motoren ist bei bereits hergestellten Wendelförderern vorteilhaft, da sie ohne aufwendige bauliche Veränderungen durchgeführt werden kann.

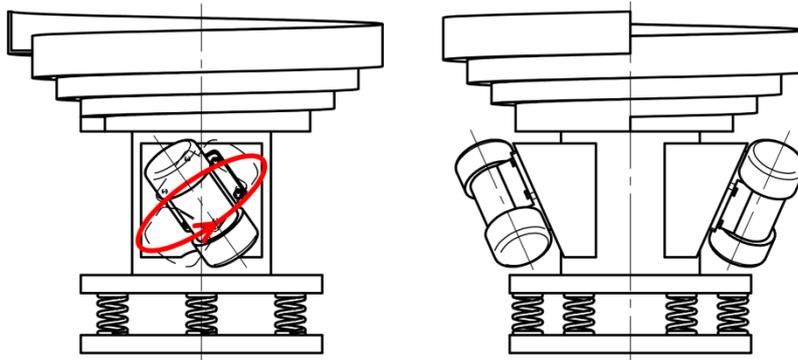


Abb. 3 – Wendelförderer mit geneigten Unwuchtmotoren

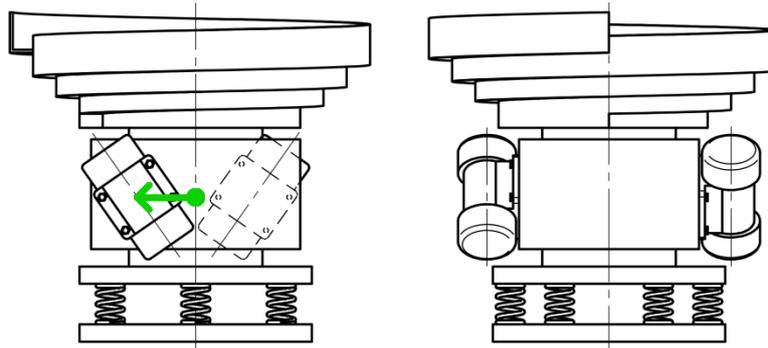


Abb. 4 – Wendelförderer mit verschobenen Unwuchtmotoren

4 Erhöhung der Fördergeschwindigkeit

Die Fördergeschwindigkeit kann stark von der Reibung und der Form des Fördergutes beeinflusst werden. Auf der Grundlage eines mathematischen Modells, Experimenten und Beobachtungen an linear schwingenden Wendelförderer wurde festgestellt, dass beim Gleitprinzip der Vibrationsförderung auf einer ansteigenden Bahn die Reibung zwischen dem Material und der Zuführbahn einen großen Einfluss auf die Fördergeschwindigkeit hat und in kritischen Fällen die Richtung der Materialbewegung bestimmt. Fördergut mit geringer Reibung bewegt sich langsamer. Insbesondere wenn die Oberfläche der Knüppel fettig oder nass ist, kann auch eine unerwünschte Rückwärtsbewegung beobachtet werden. Außerdem wird beobachtet, dass höhere Geschwindigkeiten bei langen Abschnitten erreicht werden, die gut auf der Bahn liegen. Geringere Geschwindigkeiten werden mit Abschnitten mit kleinem Längen/Durchmesser-Verhältnis oder fassförmigen Abschnitten, die taumeln kann, erreicht. So sind längere rostige Abschnitte für die Beschickung günstig, während die Beschickung kurzer glatter Abschnitte problematisch sein kann.

Dies gilt jedoch nicht für die elliptische Schwingung, bei der auch bei reduzierter Reibung hohe Zufürgeschwindigkeiten erreicht werden können. Bei ROBOTERM wurden Messungen am Wendelförderer VZ 1800 durchgeführt, um den Einfluss der Elliptizität der Schwingung auf die Fördergeschwindigkeit zu bewerten. Zwei Positionen des Vibrationsmotors mit unterschiedlichen Verschiebungen gemäß Abb. 4 wurden getestet. Für jede Position wurden beide Drehrichtungen der Unwuchtmotoren und damit beide Richtungen der elliptischen Schwingung gemessen. Eine Änderung der Drehrichtung hat den gleichen Effekt wie das Verschieben der Unwuchtmotoren auf die andere Seite oder die Neigung der Unwuchtmotoren in den umgekehrten Winkel. Es wurden also insgesamt vier Varianten der elliptischen Schwingung getestet. Die vertikale Amplitude und damit die vertikale Beschleunigung waren immer gleich. Für jede Variante wurde die Fördergeschwindigkeit von verschiedenen Abschnitten gemessen. Die Ergebnisse der Messungen sind in der Grafik in Abb. 5 dargestellt. Die auf der horizontalen Achse angegebene Verschiebung der Unwuchtmotoren entspricht der unterhalb der Achse dargestellten Schwingungsform.

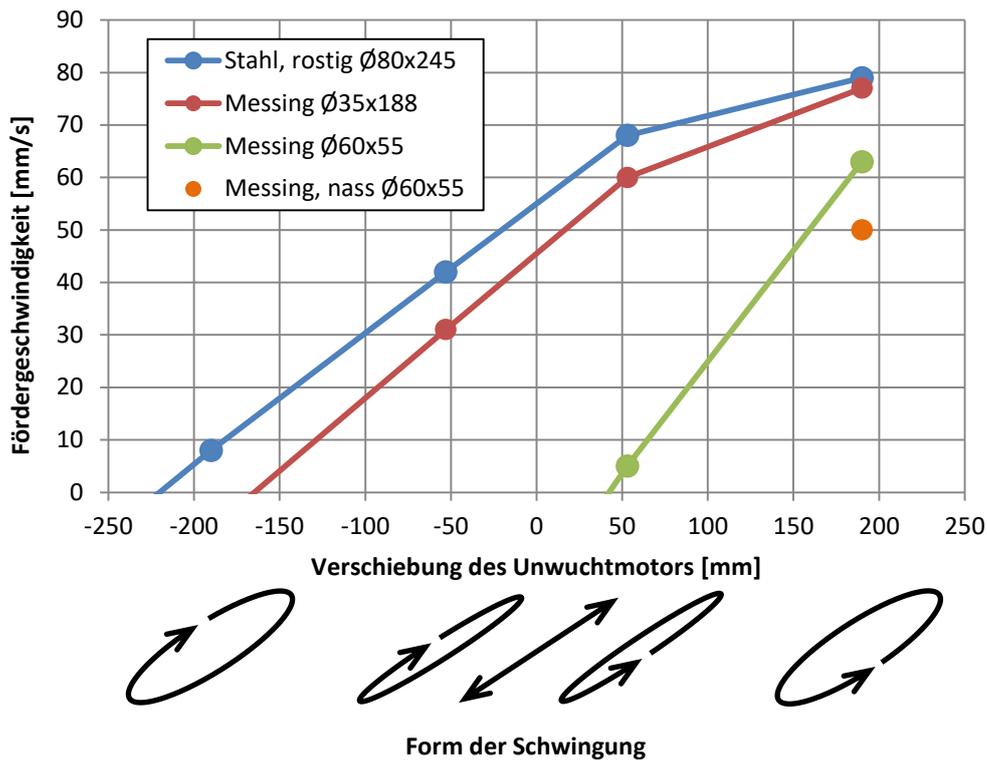


Abb. 5 - Abhängigkeit der Fördergeschwindigkeit verschiedener Halbzeuge von der Elliptizität der Schwingung

Messungen haben gezeigt, dass eine elliptische Schwingung in der richtigen Richtung die Fördergeschwindigkeit deutlich erhöht. Mit der elliptischen Schwingung wurden auch hohe Geschwindigkeiten mit reibungsarmen Materialien erreicht, die sich bei der linearen Schwingung nicht vorwärts bewegen. In kritischen Fällen ist die Elliptizität der Schwingung entscheidend für das zuverlässige Funktionieren des Wendelförderers. Messingabschnitte mit einem Durchmesser von 60 mm und einer Länge von 55 mm sind für die Zuführung sehr ungünstig, da sie ein geringes Längen/Durchmesser-Verhältnis aufweisen und zum Taumeln und Schwingen neigen. Bei linearer Schwingung konnte mit ihnen keine erfolgreiche Zuführung erreicht werden. Mit der elliptischen Schwingung wurden auch bei Nässe hohe Fördergeschwindigkeiten erreicht.

Aus Messungen geht hervor, dass bereits eine geringe Elliptizität der Schwingung, die durch eine Verschiebung des Unwuchtmotors um 50 mm verursacht wird, die Fördereigenschaften verbessert. Wie mathematische Modelle und Forschungsarbeiten [2] und [3], die sich mit der Optimierung der Schwingungsform befassen, zeigen, können Geschwindigkeit und Effizienz der Vibrationsförderung durch die Optimierung der Elliptizität und des Winkels der Schwingung weiter gesteigert werden.

5 Lärmreduzierung

Probleme mit unzureichender Geschwindigkeit bei Wendelförderern mit linearer Schwingung wurden oft durch Erhöhung der Unwucht oder der Drehzahl der Unwuchtmotoren gelöst, was zur Überschreitung der Schwerkraftbeschleunigung, Springen von Knüppel und übermäßigem Lärm oberhalb der Schmerzgrenze von 100 dB führte. Die Abhängigkeit des Geräuschpegels des Wendelförderers VZ 1800 von der vertikalen Komponente der Beschleunigung ist in Abb. 6 dargestellt. Der Vibrationsförderer mit elliptischer Schwingung erreicht die erforderliche Fördergeschwindigkeit mit geringerer Beschleunigung als mit linearer Schwingung so dass er mit weniger Unwucht und niedrigerer Drehzahl der Unwuchtmotoren betrieben werden kann. Dadurch kann die Lärmemission erheblich reduziert werden.

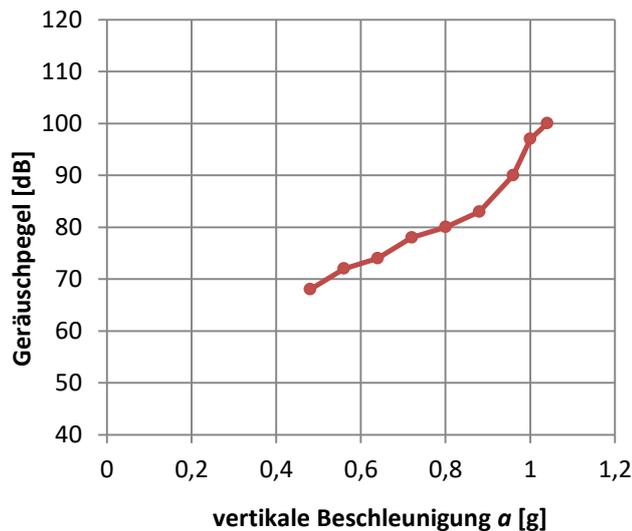


Abb. 6 - Abhängigkeit des Geräuschpegels des VZ 1800 von der Vertikalbeschleunigung

6 Verlängerung der Lebensdauer

Aufgrund der höheren Fördergeschwindigkeit fördert die elliptische Schwingung die gleiche Materialmenge in kürzerer Zeit und verlängert so die Lebensdauer des gesamten Wendelförderers. Die Auswirkung der elliptischen Schwingung auf den Verschleiß der Zuführbahn wurde in einem mathematischen Modell berechnet, das eine direkte Proportionalität zwischen Reibungsverlusten und Verschleiß annimmt. Der Verschleiß der Zuführbahn wurde beim Befördern der gleichen Materialmenge mit linearen und elliptischen Schwingung mit 10° Neigung der Unwuchtmotoren verglichen. Bei einem Reibungskoeffizienten von 0,3 wurde eine 1,6-fache Verlängerung der Lebensdauer der Zuführbahn errechnet, bei einem Reibungskoeffizienten von 0,2 sogar eine 3,3-fache Verlängerung der Lebensdauer.

Die elliptische Schwingung verlängert auch die Lebensdauer der anderen Teile des Wendelförderers. Der Körper des Förderers besteht aus einem Schweißteil, das starken dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt ist und unter Materialermüdung leidet. Ermüdungsrisse können zu unerwarteten Ausfallzeiten führen. Die Lager der Vibrationsmotoren werden durch die Zentrifugalkraft eines unwuchtigen Rotors stark beansprucht. Die elliptische Schwingung ermöglicht es, die Betriebszeit zu verkürzen oder den Vibrationsförderer mit geringerer Beschleunigung zu betreiben. In beiden Fällen werden die dynamischen Beanspruchungen des gesamten Vibrationsförderers und seiner Umgebung reduziert.

7 Verbrauchsreduzierung

Dem mathematischen Modell zufolge verringert die elliptische Schwingung die Reibungsverluste und kann je nach Reibung um ein Vielfaches effektiver sein als die lineare Schwingung. Geht man davon aus, dass der Energieverbrauch sowohl der Verschleiß der Förderbahn den Reibungsverlusten proportional ist, steigt der Wirkungsgrad und sinkt der Energieverbrauch im gleichen Verhältnis, wie sich die Lebensdauer verlängert. Wenn die Reibungsverluste wesentlich zum Gesamtenergieverbrauch beitragen, könnte die elliptische Schwingung bei Vibrationsförderern mit großer Förderleistung interessante Energieeinsparungen bringen.

8 Fazit

Die neu entwickelte Lösung des elliptisch schwingenden Wendelförderers verbessert die Eigenschaften der Schwingtechnik grundlegend und erweitert die Einsatzmöglichkeiten des Gleitprinzips in der Vibrationsförderung. Die elliptische Schwingung ermöglicht es, die Probleme der unzureichenden Fördergeschwindigkeit und des hohen Lärmpegels vollständig zu beseitigen. Durch die elliptische Schwingung kann die Produktionskapazität erhöht werden, wenn sie derzeit durch den Vibrationsförderer begrenzt ist. In Fällen, in denen die Leistung des Vibrationsförderers mit linearer Schwingung ausreicht, ermöglicht die elliptische Schwingung einen Betrieb mit weniger Lärm und weniger dynamischer Belastung. Nach dem mathematischen Modell reduziert die elliptische Schwingung die Reibungsverluste um ein Vielfaches und erhöht die Effizienz der Vibrationsförderung. Obwohl der Einfluss der Elliptizität der Schwingungen auf den Verschleiß der Bahn noch nicht durch Messungen bestätigt wurde, deuten die geringeren Reibungsverluste und die geringere Anzahl von Schwingungen, die erforderlich sind, um die gleiche Materialmenge zu transportieren, auf einen deutlich geringeren Verschleiß und eine längere Lebensdauer der Förderbahn hin. Die elliptische Schwingung ermöglicht auch die Konstruktion der spiralförmigen Zuführbahn mit steilerer Steigung, was zu kleineren Abmessungen und niedrigeren Produktionskosten des Wendelförderers führt.

Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, dass sie in einer einfachen Änderung der Position der Unwuchtmotoren besteht und daher auf verschiedene Arten von neu konstruierten und bereits hergestellten Vibrationsförderern angewendet werden kann, ohne dass größere Veränderungen erforderlich sind oder die Produktionskosten steigen. Die Risiken, die sich aus einer geringen Konstruktionsänderung eines bewährten Produkts ergeben, wie z. B. einer 10° Neigung der Unwuchtmotoren, sind minimal, da die grundlegenden Konstruktionsparameter der Schwingmaschine unverändert bleiben. Von Unwuchtmotoren angetriebene Vibrationswendelförderer haben ein breites Anwendungsspektrum und sind oft ein wesentliches Element der Produktionsautomatisierung. Dank der einfachen Anwendung kann die Erfindung in vielen Bereichen der Industrie zu höherer Produktivität, niedrigeren Kosten und geringeren ökologischen Fußabdruck beitragen.

Quellen:

- [1] CALTA J., *Automatic billet feeding into heating lines in forges*, 2023, *Kovárenství*, issue 78, ISSN 1213-9289.
- [2] RISCH T., *Zweidimensionale Bewegungsformen in der Vibrationsfördertechnik*, Dissertation, 2011, Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-65499
- [3] VRUBLEVSKYI I.: *The phase difference between components of elliptical oscillation of vibratory conveyor providing maximum conveying velocity*, 2015, *Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science*
- [4] CALTA J., *Vibratory conveyor with elliptical oscillation is quiet and fast*, 2023, [online], available from: <https://www.roboterm.cz/media/files/Roboterm/Elliptical-oscillation/vibratory-conveyor-with-elliptical-oscillation-is-quiet-and-fast.pdf>
- [5] ROBOTERM spol. s r. o.: *Vibratory conveyor for transporting and/or sorting and/or orienting materials or parts, in particular for use in a production line*, Patent 309962, 2023, inventor: CALTA J., Czech republic

Begutachtet von: doc. Ing. Robert Brázda, Ph.D.; prof. Ihor Vrublevskyi