

Žekov, Žečko (Ingenieur)  
Kostov, Konstantin (Ingenieur)  
Slavčev, Cvetan (Ingenieur)

UNTERSUCHUNGEN DER DYNAMISCHEN BELASTUNGEN DER HUBGERÜSTE  
DER GABELSTAPLER

Übersetzung aus:

Mašinostroene. Sofija,  
20 (1971), Nr 7, S. 285 - 286.

Bulg.: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИНАМИЧНИТЕ НАТОВАРВАНИЯ НА  
ПОВДИГАТЕЛНИТЕ УРЕДБИ НА КАРИ-ВИСОКОПОВДИГАЧИ  
Izsledvane na dinamičnite naťovarvanija na podvigatelnite  
uredbi na kari-visokopodvigaci

Verallgemeinert sind die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen von elf verschiedenen Typen Hochhebekarren zur Bestimmung des dynamischen Belastungskoeffizienten. Die Versuchsdaten sind nach der Methode der mathematischen Statistik bearbeitet. Vorgeschlagen sind empfehlende Werte des dynamischen Koeffizienten der einzelnen Knoten, welche bei der Festigkeitsbemessung der Hebeeinrichtungen benutzt werden können.

Sowohl hinsichtlich der Festigkeitsberechnung der Bauteile (Hubrahmen) eines Hubgerüsts als auch hinsichtlich der Erfassung des Betriebsverhaltens bei Prüfstanderprobungen ist es wichtig, den dynamischen Belastungsfaktor zu kennen. Wir bestimmen den tatsächlichen Wert des dynamischen Faktors  $k$ , der durch das Verhältnis [1] ausgedrückt wird:

$$k_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{st}}, \quad (1)$$

hier ist  $\sigma_d$  [N/m<sup>2</sup>] maximale Spannung bei dynamischer Belastung,

$\sigma_{st}$  [N/m<sup>2</sup>] Spannung bei statischer Belastung,

was nur bei einer beträchtlichen Anzahl von Versuchen zustande kommt, die nach der Methode der mathematischen Statistik behandelt wurde. In der vorliegenden Arbeit wurde dies aufgrund von experimentellen Untersuchungen an Hubgerüsten von 11 bulgarischen und ausländischen Gabelstapler-Modellen durchgeführt; dabei wurden beinahe alle typischen Stapler erfasst, nämlich Universalstapler, mit Schnell- und Feinhub des Hubgerüstes und mit Querschubgabel. In Bezug auf das Fahrwerk wurden sowohl Fahrzeuge mit Vollgummi- als auch Luftbereifung untersucht. Die Messungen wurden bei folgenden aufeinanderfolgenden Betriebszuständen vorgenommen.

- 1) Freihubstellung ohne Last;
- 2) Lastaufnahme;
- 3) Heben der Last auf die entsprechende Höhe (ca. 2 m);
- 4) Senken der Last auf Transporthöhe (0,3 m über dem Boden);
- 5) Einstellen der Hubgerüste;
- 6) Transport der Last über eine etwa 20 m lange Entfernung und Passieren eines 0,05 m hohen Hindernisses;
- 7) Absetzen der Last;
- 8) Fahrt ohne Last unter den bei 6) genannten Bedingungen.

Mit Hilfe von DMS-Gebern, Verstärkern und Schreibern wurde zur Untersuchung der Hubgerüste bei der Durchführung dieser Operationen das unterschiedliche Bild der relativen Verformung  $\epsilon$  [1] als Funktion der Zeit  $t$  gemessen und aufgezeichnet. Wenn man berücksichtigt, daß die dynamischen Belastungen im elastischen Bereich nach dem Hookschen Gesetz ablaufen, dann geben die ermittelten Graphiken den bekannten Veränderungsbereich der mechanischen Spannung  $\sigma$  als Funktion der Zeit  $t$  wieder, d.h.  $\sigma = \sigma(t)$ .

Die Messungen wurden mit den folgenden Geräten durchgeführt: DMS-Geber Orion EMG 2359/TH; Verstärker Hottinger KWS II 5; Schreiber Görz.

Die Überarbeitung der Aufschriebe nach [1] ermöglichte es, den Wert des dynamischen Faktors für jede Operation aufgrund der gesamten Versuche zu bestimmen. Die Meßergebnisse wurden nach den baulichen Besonderheiten der untersuchten Stapler eingeteilt und danach statistisch überarbeitet, um einen Einfluß zufälliger Faktoren zu beseitigen.

Bei der statistischen Überarbeitung wurden die arithmetischen Mittelwerte des dynamischen Faktors  $\bar{k}_d$  und einer bestimmten mittleren quadratischen Abweichung  $\sigma_{qu,d}$  bestimmt. Letztere wurde nach Formel [2] berechnet:

$$\sigma_{qu,d} = \sqrt{\frac{(k_{d,i} - \bar{k}_d)^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

hierbei bezeichnen:

- $k_{d,i}$  den Wert des dynamischen Faktors, der bei einem Einzelversuch ermittelt wurde;
- $n$  die Anzahl der Versuche für die jeweilige Gruppe.

Die Wahrscheinlichkeitswerte des dynamischen Faktors wurden nach der bekannten Formel

$$k_d = \bar{k}_d \pm t_k \sigma_{k,d} \quad (3)$$

berechnet, mit  $t_k$  als Koeffizient der zuverlässigen Wahrscheinlichkeit nach Student [2].

Die errechneten Werte des dynamischen Faktors für die einzelnen Operationen bei jedem durchgeführten Versuch sind in Tab. 1 angegeben. Aus der Tabelle geht hervor, daß einige der insgesamt 38 durchgeführten Versuche die Möglichkeit bieten, einen großen Bereich von Operationen auszusondern, für die unsere Methode gilt. Bei den anderen Versuchen hatte der dynamische Faktor  $k_d$  nach bestimmten Operationen niedrige Werte (1 - 1,05), und weil der Meßfehler ungefähr 5 % beträgt, wurden diese Werte nicht berücksichtigt.

T a b e l l e 1

Bezeichnung der Baugruppe (des Hubgerüstes)	Durchgeführte Operationen				Art der Bereifung
	Heben	Senken	Ausladung	Fortbewegung	
Hubrahmenstiel	—	1,30	1,77	1,60	Vollgummi
—	1,05	1,34	1,09	1,86	—
—	—	1,72	—	2,14	—
—	1,05	1,68	1,09	1,4	—
—	—	—	—	1,75	—
—	1,12	1,37	—	1,24	—
—	—	—	—	1,80	—
—	1,10	1,56	—	1,75	—
—	—	—	—	1,88	—
—	—	—	—	1,39	Luft
—	—	—	—	1,45	—
—	—	—	—	1,16	—
—	—	—	—	1,45	—
—	—	—	—	1,29	—
—	—	1,23	1,08	—	Vollg.
—	—	1,25	1,13	—	—
—	—	1,09	1,21	—	—
—	—	1,35	—	—	—
Gabel	—	1,23	—	—	—
Gabelträger	1,09	1,25	—	—	—
—	—	1,15	—	—	—
—	—	1,37	—	—	—
—	—	1,14	—	1,48	—
Hubschere	—	1,32	—	1,77	—
—	—	1,54	—	1,78	—
Fahrzeugrahmen	—	1,22	—	1,63	—
Gabel	1,08	1,70	—	—	Luft
—	—	1,14	—	1,17	—
—	—	—	—	1,16	—
Querverband des Hubrahmens	1,05	1,24	—	—	Vollg.
—	—	1,23	—	1,59	Luft
—	—	1,32	—	1,18	—
—	—	1,17	—	1,35	Luft
—	—	—	—	1,29	—
—	—	—	—	1,35	—
Kettenbolzen	—	1,23	—	1,48	—
—	—	1,14	—	1,55	—
—	—	1,42	—	1,35	—

Aus der Tabelle ergeben sich die folgenden Möglichkeiten zur Veränderung des dynamischen Faktors:

- a) in Bezug auf die durchzuführenden Operationen: Beim Heben und Neigen des Hubgerüsts hat der dynamische Faktor die niedrigsten Werte; groß sind diese Werte beim Senken der Last und am größten bei Fahrt auf einem ungleichförmigen Boden und beim Passieren von Hindernissen;
- b) in Bezug auf die Beanspruchung der Bauteile: Bauteile, die an der Außenseite des Hubgerüsts liegen oder direkt mit der Last verbunden sind, haben, verglichen mit Bauteilen, die mit dem Fahrwerk verbunden sind, geringere  $k_d$ -Werte;
- c) bezüglich des Fahrwerks: bei den Fahrzeugen, die sich auf Vollgummireifen fortbewegen, hat der  $k_d$  beträchtlich stärker zu berücksichtigende Werte, verglichen mit den Fällen, wo das Fahrwerk mit Luftbereifung ausgestattet ist.

Für diese Gesetzmäßigkeiten sind die Dämpfungswirkungen verantwortlich, die in den Teilen mit höherer Elastizität (dem Hubgerüst und der Bereifung) infolge der dynamischen Belastungen, welche von der in der Last und dem Fahrwerk konzentrierten Hauptmassen erzeugt werden, zur Erscheinung kommen.

Bei der statistischen Überarbeitung wurden die in Tab. 1 enthaltenen Daten dementsprechend eingeteilt; dadurch konnten engere Bereiche für die nach Gleichung (3) errechneten Wahrscheinlichkeitswerte ermittelt werden. Zusammen mit den rechnerischen Zwischen- und Maximalwerten wurden sieben Gruppen von Werten gebildet, wie sie in Tab. 2 angegeben sind. Da für den Koeffizienten der zuverlässigen Wahrscheinlichkeit  $t_k$  [2] eine Wahrscheinlichkeit von 99 % gewählt wurde, konnten die Maximalwerte des dynamischen Faktors in allen Intervallen als Richtwerte für die praktische Planung angesehen werden.

Aus Tab. 2 geht hervor, daß die  $k_d$ -Werte beim Heben der Last und beim Neigen des Hubgerüsts am geringsten und für alle Bauteile gültig sind, unabhängig von der Art der Bereifung, mit denen die Stapler ausgestattet sind. Beim Senken ergeben sich drei Gruppen,

woran zwei für ein Fahrwerk mit Vollgummibereifung gelten, wenn das Merkmal der Lage des Bauteils bezüglich der Last und des Fahrwerks bestimmt ist. Die dritte Gruppe erfaßt alle Bauteile bei Gabelstaplern mit Luftbereifung.

T a b e l l e 2

Operationen und Bedingungen	Anzahl der Versuche n	Mittelwert des dynamischen Faktors $K_d$	Koeffizient der zuverlässigen Wahrscheinlichkeit $t_k$	Mittlere quadratische Abweichung $\sigma_{qu,d}$	Dynamischer Faktor (Richtwert) $k_d$
Heben	12	1,078	3,71	0,0107	1,12
Senken bei Vollgummibereifung und Bauteilen, die m.d.Last verbunden sind	8	1,28	3,50	0,046	1,44
dasselbe, wenn mit dem Fahrgestell verbunden	10	1,39	3,25	0,064	1,60
Senken bei Luftbereifung	8	1,235	3,50	0,0318	1,36
Fortbewegung bei Vollgummibereifung	13	1,70	3,05	0,0628	1,90
dasselbe bei Luftbereifung	15	1,36	3,00	0,0357	1,47
Ausladung	6	1,11	4,03	0,0214	1,20

Der Einfluß der Bereifungsart ist bei zwei Betriebszuständen besonders ausgeprägt. Die ermittelten  $k_d$ -Werte, 1,60 und 2,00, sind für alle Einzelteile bei Luft- und dementsprechend bei Vollgummibereifung gültig, und da sie Maximalwerte sind, bestimmen sie die Festigkeitsberechnung der Hubgerüste.

#### Schlußfolgerung

Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen zeigten, wie groß der Einfluß der Betriebs- und Konstruktionsfaktoren auf die

dynamische Belastung der Hubgerüste von Gabelstaplern ist. Die experimentell ermittelten Werte des dynamischen Belastungskoeffizienten können als Grundlage bei der Festigkeitsberechnung der Hubgerüste sowie bei der Erfassung der Betriebsbelastungen von Gabelstaplern unter Prüfstandbedingungen benutzt werden.

### Literatur

- [1] Беляев, Н. М., Сопротивление материалов. М., 1952.  
Beljaev, N.M.  
Soprotivlenie materialov.  
Moskva: 1952.  
<Der Werkstoffwiderstand>
- [2] Биргер, И. А., Б. Ф. Шорр, Р. М. Шнейгерович  
Расчет на прочность деталей машин. М., 1956.  
Birger, I.A., Šorr, B.F., Šnejgerovič, R.M.  
Rascet na pročnost' detalej masin.  
Moskva: 1956.  
<Festigkeitsberechnung von Maschinenbauteilen>
- 

Stuttgart, den 7. Mai 1979

übersetzt von

*Ottmar Pertschi*  
(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer