

Analyse der Arbeitsverhältnisse einer Förderanlage während einer Notbremsung

Siemieniec, A.; Wolny, S.

Bremsdynamischen Problemen wird bei der Konstruktion von Bergbauförderanlagen oftmals nicht die notwendige Aufmerksamkeit gewidmet, Dimensionierungsvorschriften sind diesbezüglich kaum vorhanden. Der Artikel stellt Grundlagen vor, die Ausgangspunkt für weitere Arbeiten sein können.

Dynamical problems concerning the deceleration process of mining conveyors are often neglected in the design stage, rules and guides aren't available. The paper covers basics for advanced calculations.

1 Einleitung

Das Anwachsen der Tragfähigkeit und der Geschwindigkeit der Fördermaschinen in Gewinnungsanlagen im Bergbau verursachte den Wunsch nach größeren Bremsmomenten, sowohl der Rangierbremse als auch der Notbremse. Damit ist eine größere Belastung der Bremsanlagenelemente selber, sowie deren Umgebungskonstruktionen verbunden. Gleichzeitig führt dies zum Anwachsen der Belastung der Seile, des Schachtturmes und des Fördergefäßes selbst. Es besteht die Notwendigkeit, die Richtlinien festzusetzen, die zum Entwurf einer Bremsanlage benutzt werden, die auf den sogenannten „freien Wegen“ gebaut ist und die die Betriebserfordernisse dem Bremsgefäß gegenüber erfüllt /2/. In diesem Zusammenhang hat man in der Akademie für Bergbau und Hüttenwesen Kraków (Polen) in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen /3, 4/ durchgeführt, deren Ergebnisse in der folgenden Arbeit dargestellt werden.

2 Verzögerung des notgebremsten Fördergefäßes

Die Fördergefäßbremsanlage soll so konstruiert sein, daß die Verzögerung des gebremsten Gefäßes $2g$ bei Materialtransport oder $1g$ bei Menschenfahrt nicht überschreitet, unabhängig von der Art und Weise der Bremsprozeßrealisierung. Mit Hilfe der Überlegungen in /1, 2/ kann man die Verzöge-

rung des gebremsten Fördergefäßes in der Zeitspanne $0 \leq t \leq l_N/a_N$ mit der folgenden Abhängigkeit beschreiben:

Formel (1) im Anhang

Mit den Größen:

M_1 – Masse von Gefäß und Fördergut

M_0 – reduzierte Massen, die im Schachtturm rotieren

l_1 – Länge der Tragseile zwischen dem gebremsten Fördergefäß im Turm und der Treibscheibe

$A_N E_N$ – Steifheit der Tragseile bei Zugbelastung

$A_W E_W$ – Steifheit der Ausgleichsseile bei Zugbelastung

v_0 – Einfahrtgeschwindigkeit des Fördergefäßes in die Bremsschaltung

a_N, a_W – Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle der elastischen Verformung in den Trag- und Ausgleichsseilen

Für die meisten Förderanlagenkonstruktionen (besonders im Falle des Materialtransportes) ergibt sich der Maximalwert der Verzögerung nach der aus $t = l_N/a_N$ /4/ kürzeren Zeit, das heißt vor Rückkehr der elastischen Verformungswelle in den Seilen. Formel (1) nimmt ein Extremum für die durch die folgende Abhängigkeit bestimmte Zeit an (ohne kleine Glieder):

$$t_m = \frac{\left(\frac{3\pi a}{4} + b\right)^2 - b}{a} \quad (2)$$

Indem man als Kriterium die Nichtüberschreitung der Verzögerung $2g$ durch das Fördergefäß annimmt, können die Parameter der Bremsschaltung als Funktion der Bewegungsparameter der Förderanlage wie folgt beschrieben beschrieben werden:

Formel (3) im Anhang

In den **Bildern 1 bis 3** wurde die Abhängigkeit zwischen dem Wert des Anwachsens der Bremskraft im Schachtturm k geteilt durch die Masse M_1 und der Steifheit des Tragseiles bei Zug $A_N E_N$ geteilt durch M_1 für verschiedene Abhängigkeiten der Massen M_0/M_1 , der Geschwindigkeit des Ziehens v_0 und der Länge des Tragseiles zwischen dem gebremsten Gefäß im Schachtturm und der Treibscheibe l_1 dargestellt. Diese Geschwindigkeit garantiert eine Verzögerung nicht größer als $2g$ des gebremsten Gefäßes. Man beschränkte sich auf die Parameter der Förderanlagen, die im polnischen Bergbau am häufigsten anzutreffen sind, also auf die Geschwindigkeit $v_0=16\text{...}20$ m/s, auf Massenverhältnisse $M_0/M_1=0,8\text{...}1$ und auf die Länge der Tragseile $l_1=30\text{...}40$ m. Diese Parameter gelten hauptsächlich für die Förderanlagen, die für den Materialtransport bestimmt sind. Die Vergrößerung der Steifheit der Tragseilstrecke zwischen dem gebremsten Fördergefäß im Schachtturm und der Treibscheibe um $1/3$ (durch Verkleinerung ihrer Länge von 40 m auf 30 m) ermöglicht die Benutzung einer Bremsschaltung mit einem größeren Wert für den Bremskraftanstieg ($\approx 50\%$). Eine kleinere Geschwindigkeit beim Einfahren des Fördergefäßes in die freie Fahrwegezone ergibt günstigere Bremsverhältnisse. Dadurch wird die Benutzung der Anlage mit größeren Werten für den Anstieg der Bremskraft ermöglicht, ohne die Verzögerung von $2g$ zu überschreiten. Die besten Bremsverhältnisse erreicht man, wenn das Verhältnis der Massen $M_0/M_1=1$ ist. Wesentlich ist, daß die oben beschriebenen Überlegungen die Parameter der Bremsschaltung betreffen, die das Bremsen des Fördergefäßes mit einer Verzögerung gleich $2g$ ermöglichen. Für andere Bewegungsverhältnisse werden diese Parameter viel niedriger sein. Das Verhältnis $(A_N E_N)/M_1$ für die im polnischen Bergbau arbeitenden Förderanlagen schwankt in den Grenzen $0,6 \cdot 10^4$ N/kg bis $1,0 \cdot 10^4$ N/kg und ist hauptsächlich eine Funktion der Tiefe des Materialtransportes. Dagegen ist die Entfernung zwischen dem Zonenanfang der freien Fahrwege und der Treibscheibe mit $l_1=40$ m der maximal in den Schachtturmförderanlagen auftretende Wert.

Aus den eben genannten Überlegungen können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

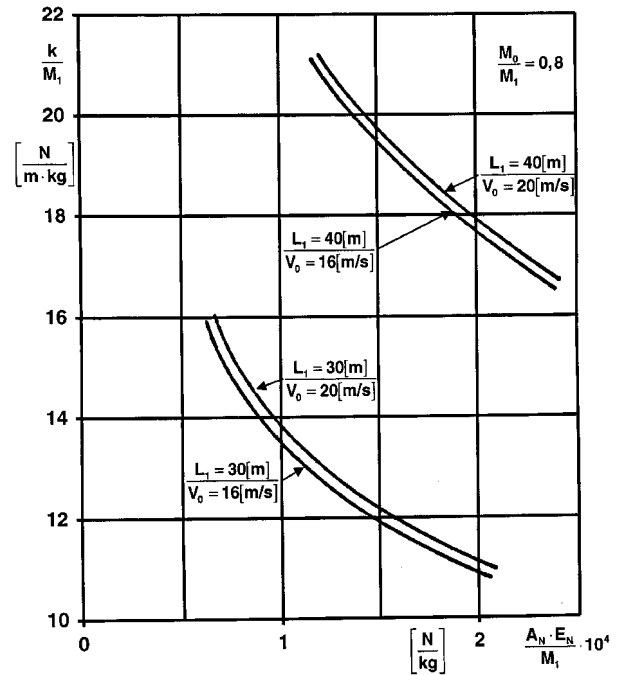


Bild 1: Bezogener Bremskraftanstiegsfaktor in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Tragseile (für $M_0/M_1=0,8$)

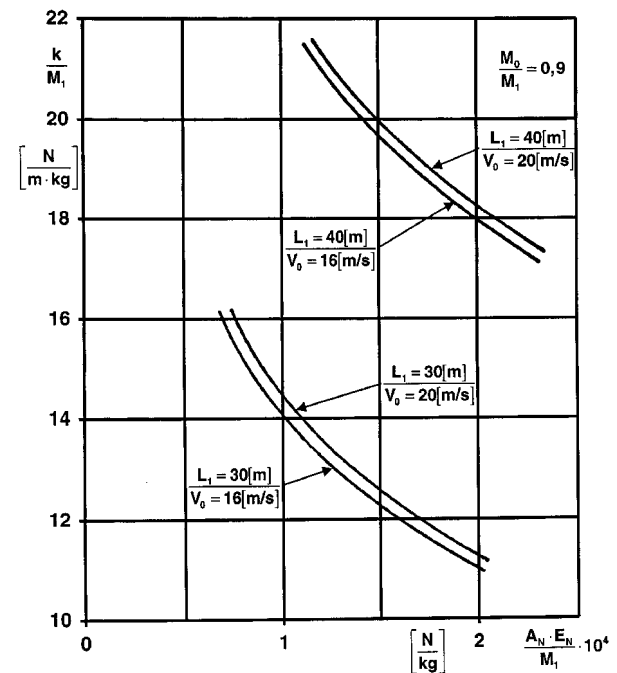


Bild 2: Bezogener Bremskraftanstiegsfaktor in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Tragseile (für $M_0/M_1=0,9$)

Damit die Verzögerung des gebremsten Gefäßes $2g$ nicht überschreitet - für eine Förderanlage, die das Fördergut aus einer Tiefe von 1500 m transportiert, entspricht das: $(A_N E_N)/M_1=1,0 \cdot 10^4$ N/kg bei $M_0/M_1=0,8$ und einer Einfahrtgeschwindigkeit des Gefäßes von $v_0=20$ m/s und einer Entfernung des Zonenanfangs der freien Fahrwege von der Treibscheibe von $l_1=40$ m. Dann kann man die Brems-

schaltung mit dem Bremskraftanstiegsfaktor $k=14 \cdot M_1$ [N/m] (die Masse M_1 [kg]) benutzen.

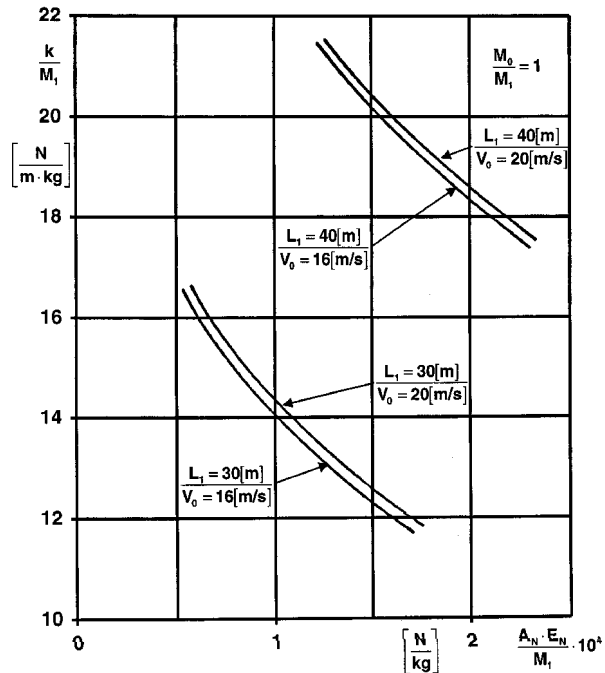


Bild 3: Bezogener Bremskraftanstiegsfaktor in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Tragseile (für $M_0/M_1=1,0$)

Die oben genannten Parameter der Förderanlage gehören zu den maximalen im Betrieb von Förderanlagen. Bei Anlagen mit niedrigeren Bewegungsparametern kann man die Bremsschaltung benutzen, die einen höheren Bremskraftanstiegsfaktor besitzt (mit Hilfe der Parameter aus den Bilder 1-3). In individuellen Fällen können mit Formel (3) die Parameter für Förderanlagen berechnet werden, die nicht in den betrachteten enthalten sind.

3 Belastung der Tragseilstrecke zwischen dem gebremsten Fördergefäß im Schachturm und der Treibscheibe

Die Belastung der Treibseilstrecke zwischen dem gebremsten Fördergefäß im Schachturm und der Treibscheibe kann mit der folgenden Gleichung /3, 4/ beschrieben werden:

$$S_{LN} = \frac{A_N E_N}{l_1 - v_0 t - v(y=0, t)} \Delta l_1 \quad (4)$$

Mit der asymptotischen Annäherungen der Lösungen $u(x,t)$ und $v(y,t)$ (Formeln (2.10 a) und (2.10 b) /4/) ergibt sich:

Formel (5) im Anhang

Der Ausdruck (5) nimmt das Extremum (ohne kleine Glieder) für die durch die Gleichung (3) bestimmte Zeit an. Da der Gegenstand der Analyse Förderanlagen sind, die fast ausschließlich für den Materialtransport bestimmt sind, sind für einen Projektierenden die Werte der maximalen Verzögerungen, denen die Fördergefäße während des Bremsens unterliegen, weniger wesentlich, als eine möglichst geringe Bewegungsstrecke der Gefäße bis zum Moment, wo die Null-Geschwindigkeit erreicht wird, also der sogenannte Bremsweg. Der größere Bremskraftangriff bei den Fördergefäßen verursacht das Anwachsen der Tragseilstrecke zwischen dem gebremsten Gefäß im Schachturm und der Treibscheibe, und damit das Anwachsen seiner Belastung. Um das Abreißen dieses Seiles zu verhindern, muß der Kraftwert in dieser Tragseilstrecke kleiner als die Kraft des Abreißen sein:

$$S_{LN} \leq n \cdot S_{Zr} \quad (6)$$

mit S_{Zr} – Abreißkraft der Tragseile

n – zulässiger Belastungsanteil gegenüber der Abreißkraft

Das Beschränken der Belastung dieser Tragseilstrecke ist eine der Voraussetzungen zur richtigen Wahl der Bremsschaltung. Nachdem die Abhängigkeiten (3) und (5) benutzt worden sind, nimmt der Ausdruck (6) folgende Form an:

Formel (7) im Anhang

Aufgrund der verschiedenen Werte der Abreißkräfte je nach Konstruktion der Tragseile muß die Voraussetzung (7) individuell für jede Förderanlage betrachtet werden.

4 Zusammenfassung

Die Lösungen, die in dieser Arbeit enthalten sind, bilden den Ausgangspunkt für den Entwurf einer Notbremsanlage für Schachtförderanlagen zum Materialtransport. Damit wird die zulässige Verzögerung der Fördergefäße und die Belastung der Seile nicht überschritten.

5 Literatur

- /1/ Siemieniec A., Wolny S.: Dynamische Probleme beim Betrieb der Förderanlagen im Bergbau. Institutsmittteilung Nr.16, 1991.
- /2/ Detaillierte Vorschriften für die Verkehrsführung und die Leitung der Lagerstättenwirtschaft in Braun- und Steinkohlebergwerken (in polnisch). Katowice 1984.
- /3/ Wolny S.: Ausgewählte Probleme der Dynamik der Gefahrenbremsung von Schachtfördergefäßen (in polnisch). Wiss. Zeitschrift der AGH Kraków Nr 995. Mechanika z. 7, Kraków 1985.
- /4/ Wolny S.: Theoretische Betrachtungen zum Bremsvorgang von Schachtförderanlagen in Bergbauförderanlagen (in polnisch). Wiss. Zeitschrift der ZN AGH Kraków Nr 112. Mechanika z. 11, Kraków 1987.

$$\frac{\partial^2 u(x=0, t)}{\partial t^2} = e^{-h_2 t} \frac{\frac{k}{M_1} h_2 l_1}{\frac{A_N E_N}{M_1 l_1} \cdot \frac{M_0 + M_1}{M_0}} \left\{ h_2^2 \frac{t + \frac{1}{a}}{t + \frac{b}{a}} \cdot t - 2h_2 + 2h_2 \left(1 + \frac{a}{b} t\right)^{\frac{1}{4}} \right.$$

$$\left. \cos \left[\frac{2}{3a} (at + b)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] + b^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{a}{b} t\right)^{\frac{3}{4}} \sin \left[\frac{2}{3a} (at + b)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] \right\} \quad (1)$$

$$a = \frac{A_N E_N}{M_1 l_1} \left(\frac{M_0 + M_1}{M_0} \right) \cdot \frac{v_0}{l_1} \quad b = \frac{A_W E_W}{M_1 l_1} \left(\frac{M_0 + M_1}{M_0} \right) + \frac{k}{M_1} - h_2^2 \quad h_2 = \frac{A_W E_W}{2 \cdot M_1 a_W}$$

$$e^{-h_2 t_m} \frac{\frac{k}{M_1} h_2 l_1}{\frac{A_N E_N}{M_1 l_1} \cdot \frac{M_0 + M_1}{M_0}} \left\{ h_2^2 \frac{t_m + \frac{1}{a}}{t_m + \frac{b}{a}} \cdot t_m - 2h_2 + 2h_2 \left(1 + \frac{a}{b} t_m\right)^{\frac{1}{4}} \right.$$

$$\left. \cos \left[\frac{2}{3a} (at_m + b)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] + b^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{a}{b} t_m\right)^{\frac{3}{4}} \sin \left[\frac{2}{3a} (at_m + b)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] \right\} \leq 2g \quad (3)$$

$$\cos \left[\frac{2}{3a} (at_m + b)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] + b^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{a}{b} t_m\right)^{\frac{3}{4}} \sin \left[\frac{2}{3a} (at_m + b)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] \leq 2g$$

$$S_{LN(t)} = e^{-\frac{A_W E_W}{2M_1 a_W} t} \frac{\frac{k}{M_1} l_1}{\frac{1 - v_0 t}{M_1 l_1} \cdot \frac{M_0 + M_1}{M_0}} \left\{ \frac{\frac{A_W E_W}{2 \cdot M_1 a_W}}{\left((ab)^{\frac{1}{4}} \left(t + \frac{b}{a} \right)^{\frac{1}{4}} \right)} \sin \left[\frac{2}{3} a^{\frac{1}{2}} \left(t + \frac{b}{a} \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] - t \frac{\frac{A_W E_W}{2 \cdot M_1 a_W} t + 1}{\frac{b}{a} + t} \right\} \quad (5)$$

$$e^{-\frac{A_W E_W}{2M_1 a_W} t_m} \frac{\frac{k}{M_1} l_1}{\frac{A_W E_W}{M_1 l_1} \cdot \frac{M_0 + M_1}{M_0}} \frac{A_N E_N}{l_1 - v_0 t_m} \left\{ \frac{\frac{A_W E_W}{2 \cdot M_1 a_W}}{\left((ab)^{\frac{1}{4}} \left(t_m + \frac{b}{a} \right)^{\frac{1}{4}} \right)} \sin \left[\frac{2}{3} a^{\frac{1}{2}} \left(t_m + \frac{b}{a} \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{3a} b^{\frac{3}{2}} \right] - t_m \frac{\frac{A_W E_W}{2 \cdot M_1 a_W} t_m + 1}{\frac{b}{a} + t_m} \right\} \leq n \cdot S_z \quad (7)$$