

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

Irvin KRUMNACKER

Staatliches Materialprüfungsamt NRW, Dortmund,
Abteilung BergbautechnikPRÜFEINRICHTUNGEN UND VERFAHREN ZUR UNTERSUCHUNG DES VERHALTENS
VON GRUBENAUSBAUKONSTRUKTION UNTER GEODYNAMISCHER BELASTUNG

Zusammenfassung. Im Rahmen von Forschungsvorhaben der Landesregierung Nordrhein-Westfalen wurden beim Staatlichen Materialprüfungsamt NRW in Dortmund im Laufe der letzten 10 Jahre neue Prüfeinrichtungen für Grubenausbaukonstruktionen geschaffen. Im Artikel wurde Aufbau des Schlagbelastungsprüfstandes vorgestellt.

Ausgehend von Kennziffern und Daten für Kinematik und Systemkräfte eines Ausbauschildes wurden Ergebnisse der Untersuchungen der inneren Systemkräfte bei unterschiedlicher statischer und dynamischer Belastung des Grubenausbaus dargestellt.

1. EINLEITUNG

Mit dem weltweiten Vordringen des Steinkohlenbergbaues in Tiefen von mehr als 1000 m einerseits und in oberflächennahen Flözhorizonte mit Tiefen von weniger als 300 m andererseits hat die geodynamische Belastung des Grubenausbaus durch schnelle Hangendabsenkungen und Gebirgsschläge zugenommen. Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Landesregierung Nordrhein-Westfalen zur Erhöhung der technischen Grubensicherheit wurden in der Abteilung Bergbautechnik beim Staatlichen Materialprüfungsamt NRW in Dortmund als der alleinigen Zulassungsstelle für Grubenausbaukonstruktionen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland im Laufe der letzten 10 Jahre neue Prüfeinrichtungen geschaffen. Diese haben eine weitgehende Untersuchung der Systemkräfte in Grubenausbaukonstruktionen, insbesondere des Schildausbaus sowohl unter den normalerweise auftretenden quasistatischen Belastungen als auch den vor allem im Steinkohlenbergbau des Auslandes zunehmend häufiger auftretenden geodynamischen Belastungen möglich gemacht. Die Grubenausbaukonstruktionen des Schildausbaus sind gekennzeichnet durch

ein in der Höhe verstellbares Stabwerk von hochbelasteten Stahlbauteilen, die durch Gelenke miteinander verbunden sind und durch hydraulische Zylinder, sog. Stempel betätigt werden.

Das Bild 1 zeigt schematisch die Bauart eines Zweistempelschildes mit Viereckgetriebe und Eckzylinder, wie er heute überwiegend im Streibausbau des In- und Auslandes eingesetzt wird. Bei Stempelkräften bis zu $2 \times 3200 \text{ kN}$ erreichen derartige Schildausbaugestelle Ausbaustützkräfte bis zu 6000 kN . Als Bemessungsgrundlage für die Stahlbauteile werden die äußeren aus dem Gebirge kommenden Systemkräfte angenommen, die sich bei symmetrischer Belastung und einer normalen Konvergenzgeschwindigkeit des Hangendgesteins von $v = 10 \text{ mm/min}$ unter dem Nenndruck der Stempel ergeben.

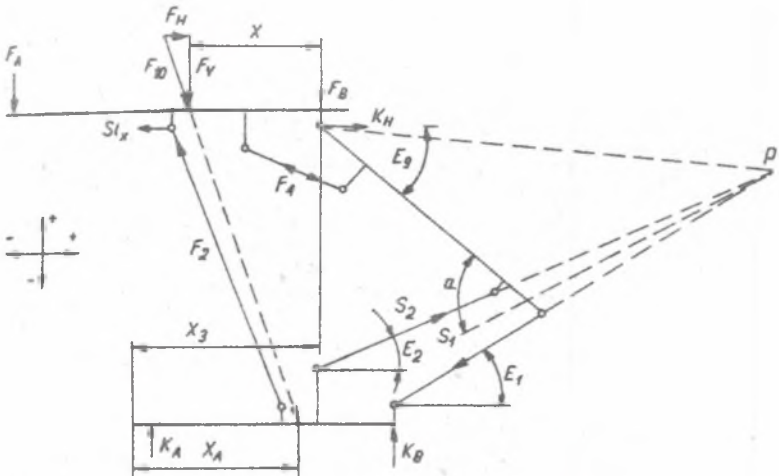


Bild 1. Signifikante Kennziffern und Daten für die Kinematik und Systemkräfte eines Ausbauschildes

Unter diesen Bedingungen dürfen die Streckgrenzen der verwendeten Stahlsorten bis zu 85% ausgenutzt werden. Diese seit mehr als 20 Jahren praktizierte Berechnungs- und Prüfverfahren haben sich für den Bereich des westdeutschen Steinkohlenbergbaus bewährt und zur fast 100%igen Ausstattung der westdeutschen Steinkohlenzechen mit mechanisiertem Schreibaubau geführt.

Schwere Beschädigungen und Zerstörungen von Schildausbaueinheiten im ausländischen Steinkohlenbergbau infolge geodynamischer Belastungen haben jedoch gezeigt, daß der für normale Einschubgeschwindigkeiten konzipierte und bewährte Schildausbau bei höheren Einschubgeschwindigkeiten bzw. bei stoßartiger Belastung wesentlich überbelastet wird.

Ziel der bisherigen und künftigen Untersuchungen ist daher die Größe und den Verlauf der inneren Systemkräfte bei unterschiedlicher statischer und geodynamischer Belastung zu bestimmen und damit Grundlagen für eine verbesserte Bemessung und Konstruktion der Stahlbauteile und der Stempel zu schaffen.

2. STOßARTIGE BELASTUNG VON GRUBENSTEMPELN

Die hydraulischen Stempel des Grubenausbaus, deren Tragfähigkeit den Bereich von 400-3200 kN überdeckt, verhalten sich gegenüber einer stoßartigen Belastung wie ein Feder-Masse-System.

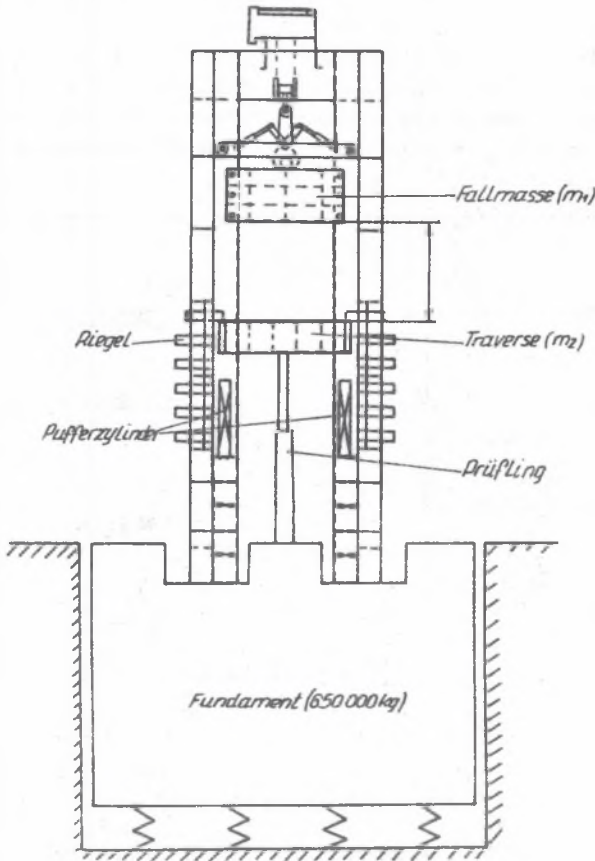


Bild 2. Prinzipieller Aufbau des Schlagbelastungsprüfstandes

Der an Einfachhubstempeln ohne Druckbegrenzungsventil gemessene zeitliche Verlauf des Stempelinnendruckes P und des elastischen Stempelschubweges s erfüllt die Kriterien einer gedämpften Schwingung, deren Parameter mit Hilfe eines entsprechend modifizierten Rechnerprogramms analysiert bzw. im voraus berechnet werden können.

Mit Hilfe des in Bild 2 schematisch dargestellten Schlagbelastungsprüfstandes können Stempel oder komplette Ausbauschilder bis zu 4,0 m Bauhöhe mit einer Schlagarbeit von max. $W = 400 \text{ kNm}$, d.h. mit einer variablen Fallmasse von 20 to aus einer Fallhöhe bis zu 2,0 m stoßartig belastet werden.

Aus dem Druckverlauf in Bild 3 geht deutlich die Wirkung eines modernen Gebirgsschlagventils mit einem Nenn-Volumenstrom von $V_N = 5000 \text{ l/min}$ gegenüber einem bereits verbesserten normalen Druckbegrenzungsventil hervor.

Vergleichende Schlagbelastungsversuche im Rahmen einer Schadensuntersuchung haben darüberhinaus ergeben, daß neben der sachgerechten Dimensionierung und Fertigung der Hochleistungsventile auch der konstruktiven Gestaltung und Qualität der Schweißverbindungen am

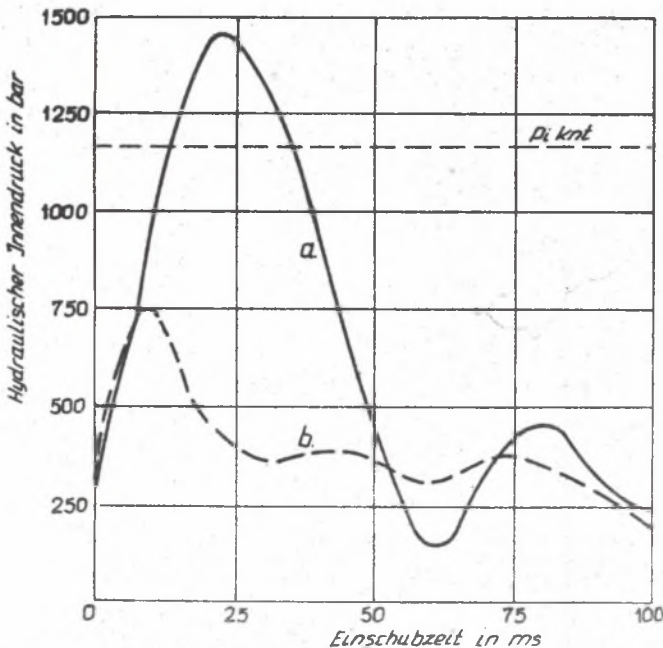


Bild 3. Hydraulischer Innendruck in Abhängigkeit von der Einschubzeit bei Schlagbelastung mit $W_{20} = 100 \text{ kNm}$ für Stempel mit 60 l Ventil DN10 (a) und Gebirgsschlagventil DN50 (b)

Rohrboden und an den Anschlußmuffen hinsichtlich ihrer Kerbschlagzähigkeit besondere Beobachtung geschenkt werden muß. Schließlich ist auch bei der Bemessung der Rohrwanddicken und Festlegung der Streckgrenzen des Rohrwerkstoffes die Abstimmung zwischen der elastischen Rohraufweitung und dem elastischen Verhalten der Kompakt-Dichtungssysteme notwendig. Die nunmehr vorhandene Kenntnis des zu erwartenden Innendruckverlaufes macht daher eine zielsichere Dimensionierung und konstruktive Ausführung möglich.

3. SCHNELLE EINSCHUBVORGÄNGE VON GRUBENSTEMPELN

Bei den im ausländischen Steinkohlenbergbau häufig auftretenden schnellen Hangendabsenkungen werden die Stempel zwar nur mit Geschwindigkeiten $v = 1,0$ m/s dafür aber um mehr als 100 mm zwangsweise eingeschoben. Mit Hilfe servohydraulischen Prüfzylinders mit 4000 kN Nennkraft und 1,0 m/s Einschubgeschwindigkeit über einen Einschubweg von 400 mm können derartige Belastungsvorgänge von Grubenstempeln simuliert werden.

Ziel dieser Belastungsprüfungen ist die Verbesserung des Verschleißverhaltens der Druckbegrenzungsventile bei den hier auftretenden großen Flüssigkeitsmengen sowie die Ermittlung der Sicherheitsreserven eines Stempels bei evtl. auftretenden bleibenden Rohraufweitungen.

4. SCHNELLE EINSCHUBVORGÄNGE VON AUSBAUSCHILDEN

Aufgetretene Schäden an den Stahlbauteilen von Schildausbaugestellen, die mit modernen Gebirgsschlagstempeln ausgerüstet waren, haben gezeigt, daß auch die Stahlbauteile bei geodynamischer Belastung erhöhten Systemkräften ausgesetzt sind.

Mit Hilfe einer servohydraulischen 4-Säulen-Prüfmaschine, mit der bereits die Systemkräfte im Schildausbau bei quasistatischer Belastung mit Einschubgeschwindigkeiten von $v = 10$ mm/min eingehend untersucht worden waren, wurden schnelle Einschubversuche an Ausbauschilden von unterschiedlicher Bauart durchgeführt und ausgewertet.

Wie das im Bild 4 wiedergegebene Versuchsdiagramm zeigt, werden dabei der zeitliche Verlauf der äußeren Systemkräfte d.h. der Vertikalkraft F_V und der Horizontalkraft F_H sowie der Einschubweg und der hydraulische Stempeldruck erfaßt. Die Ausbauschilder wurden in verschiedenen Bauhöhen und unter Verwendung von Druckbegrenzungsventilen mit unterschiedlichem Volumenstrom sowie bei Einschubge-

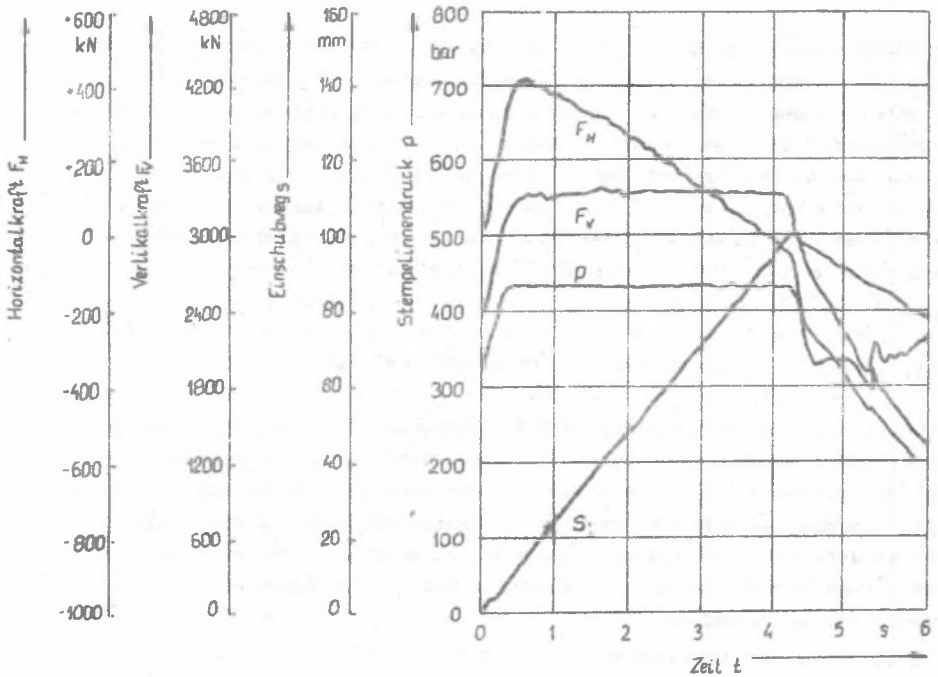


Bild 4. Belastungsdiagramm eines Ausbauschildes $v = 25 \text{ mm/s}$ Einschubgeschwindigkeit

Dateiname Statliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen
 5000 0 F7333.23 Daj MAz-Nr: 12073383 Vers-Nr: 2 Datum

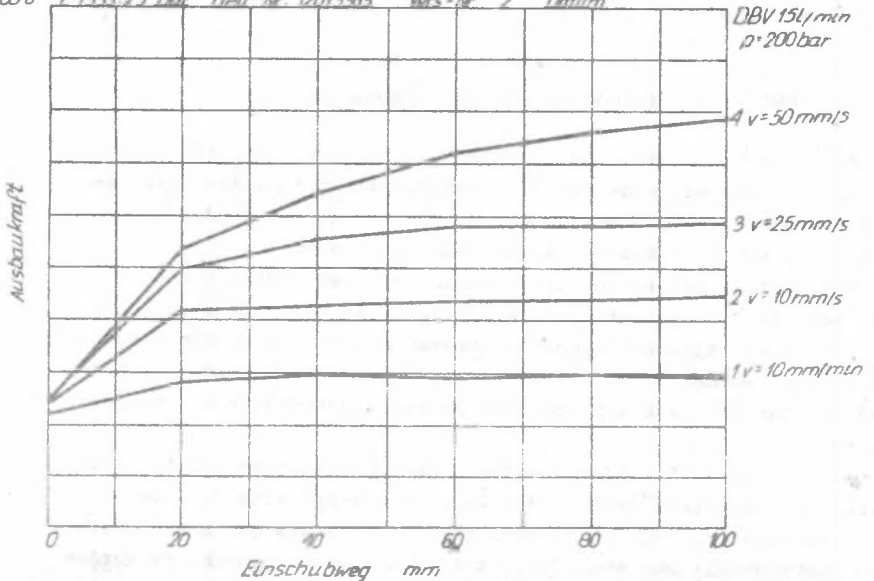


Bild 5. Ein Schubkraft des Ausbauschildes bei unterschiedlicher Ventilleistung

schwindigkeiten bis zu $v = 100 \text{ mm/s}$ über einen Einschubweg von $s_v = 100 \text{ mm}$ untersucht.

Wie Bild 5 zeigt, kann die Ausbaukraft, d.h. die vertikale Einschubkraft eines Ausbauschildes durch Verwendung von Hochleistungsventilen, in diesem Fall eines 200 l/min - Ventils um ca. 1400 kN bzw. um 35% der Einschubkraft mit einem normalen 15 l/min - Ventil gesenkt werden.

Wie bereits angeführt wurde, genügt der Einsatz von leistungsfähigeren Stempelventilen allein nicht um eine Überlastung der Stahlbauteile zu vermeiden.

Setzt man die gemessene Einschubkraft ins Verhältnis zur theoretischen d.h. reibungsfreien Einschubkraft bei dem gemessenen Stempeldruck, so ergibt sich als Quotient die prozentuale mechanische Schilddrehung $SRE(\%)$, die durch die Reibungsverluste in den Gelenken und in den Stempeldichtungen verursacht wird.

Aus Bild 6 geht hervor, daß diese mechanische Schilddrehung bei einer Einschubgeschwindigkeit von $v = 100 \text{ mm/s}$ 100% erreichen kann, gegenüber ca $7-8\%$ bei der normalen Einschubgeschwindigkeit von $v = 10 \text{ mm/min}$. Schließlich hat die Analyse des zeitlichen Verlaufes der Horizontalkraft F_H , die einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Lenkerkräfte im Viergelenkgetriebe hat, gezeigt, daß bei höherer Einschubgeschwindigkeiten, hier beispielsweise bei $V = 75 \text{ mm/s}$, zunächst Blockiervorgänge im Viergelenkgetriebe stattfinden, die nach 40 mm Einschubweg beim Entspannungsvorgang zu einem plötzlichen starken Anstieg der Lenkerkräfte und anderer innerer

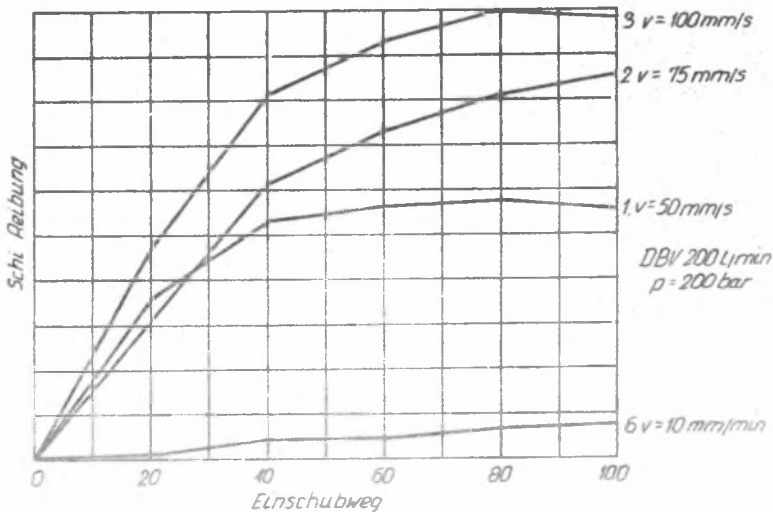


Bild 6. Mech. Reibung im Ausbauschild bei erhöhter Einschubgeschwindigkeit

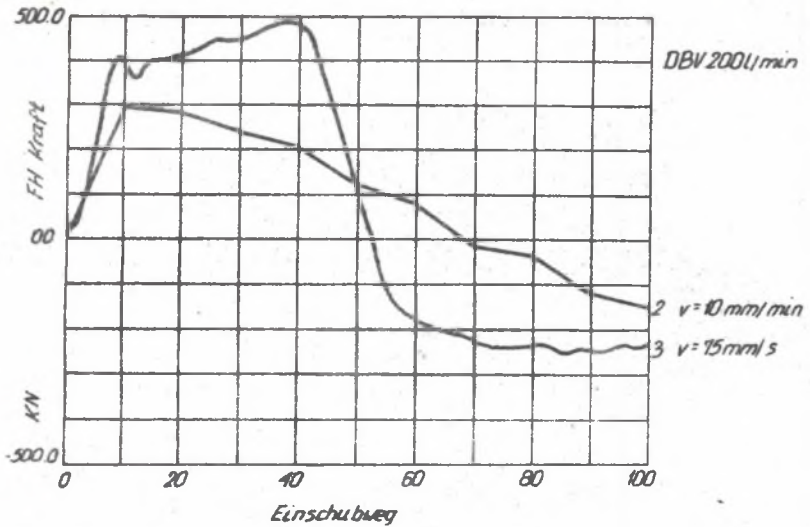


Bild 7. Verlauf der Horizontalkraft F_H bei erhöhter Einschubgeschwindigkeit

Systemkräfte führen. Diese Blockervorgänge haben ihre wesentliche Ursache in den relativ großen Gelenktoleranzen von 1,5-2,5 mm und den elastischen Verformungen der Bauteile, die beim Einsatz von Stahlsorten mit 1100 N/mm^2 Streckgrenze erheblich sein können.

5. SCHLUßFOLGERUNGEN

Die beim Staatlichen Materialprüfungsamt NRW in Dortmund in den letzten 10 Jahren geschaffenen Prüf- und Meßeinrichtungen gestatten es, das Verhalten sowohl von Ausbauschilden und hydraulischen Stempeln als auch von Gebirgsankern und anderen Ausbaukonstruktionen unter statischer und geodynamischer Belastung zu untersuchen. Im Zusammenhang damit wurden Berechnungsverfahren für die Analyse der Systemkräfte in Ausbauschilden sowie in hydraulischen Stempeln geschaffen, die eine Vorkalkulation der Anforderungsprofile an die Konstruktion ermöglichen.

In der Folge der wechselseitigen Beziehungen von Schadensuntersuchungen, Belastungsprüfungen und rechnergestützten Analysen war es möglich, Grubenstempel bis zu 2000 kN Nennkraft für stoßartige Belastungen mit max. 400 kN Schlagarbeit zu schaffen.

Weiterhin konnten die Ursachen für die hohen mechanischen Reibungsverluste in den Gelenkverbindungen des Schildausbaus analysiert werden. Daraus ergibt sich, daß die Reduzierung der Staudrücke in den Stempeln durch Einsatz von Hochleistungsventilen

allein nicht ausreicht. Vielmehr muß in Zukunft durch entsprechende Gestaltung der Schildkinematik, Verringerung der Gelenktoleranzen und der elastischen Verformungen sowie durch Schmierung der Gelenkverbindungen die Höhen eine dieser mechanischen Reibungsverluste zurückgeführt werden.

Die Abteilung Bergbautechnik beim Staatlichen Materialprüfungsamt NRW in Dortmund leistet damit nicht nur einen wesentlichen Beitrag zur Geräteleistung der technischen Grubensicherheit im westdeutschen Steinkohlebergbau; sie hat vielmehr auch die wissenschaftlichen Grundlagen für die zweckgerichtete Konstruktion und sachgerechte Fertigung von hochbeanspruchten Grubenausbaukonstruktionen für geodynamische Belastungen geschaffen.

Damit werden die Bemühungen der westdeutschen Bergbauzulieferindustrie unterstützt ihre weltweit führende Rolle bei der Ausrüstung des Untertagebergbaus im In- und Ausland auch in Zukunft zu sichern.

URZĄDZENIA BADAWCZE I METODA BADAŃ ZJAWISK DYNAMICZNYCH OBUDOWY KOPALNIANEJ W WARUNKACH OBCIĄŻEŃ GEODYNAMICZNYCH

S t r e s z c z e n i e

W ramach zamierzeń badawczych rządu Nadrenii - Westfalii wykonano w Staatlichen Materialprüfungsamt NRW w Dortmundzie w ciągu ostatnich 10 lat nowe stanowiska do badań obudów kopalnianych. W artykule przedstawiono budowę stanowiska do badań udarowych.

Na podstawie danych technicznych, kinematyki oraz rozkładu sił w obudowie przedstawiono wyniki badań sił wewnętrznych w obudowie przy różnych jej obciążeniach statycznych i dynamicznych.

СРЕДСТВА И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИИ В ГОРНОЙ КРЕПИ ПРИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Р е з ю м е

В рамках исследовательских работ Правительства Надрени-Вестфалии в отечественном Ведомстве исследований материалов NRW в Дортмунде в течение последних 10-лет были изготовлены новые стенды для испытания горных крепей. В статье рассматривается устройство стенда для проведения испытаний ударных нагрузок.

На основе технических данных, кинематику и распределение сил в крепи изложены результаты исследования внутренних усилий в крепи при различных ее статических и динамических нагрузках.