

Stanisław BUDIRSKY

Vedeckovyzkumny uhelny ustav

Ostrava - Radwanice CSRS

SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNA DEFORMACJA STALOWEJ OBUDOWY KORYTARZOWEJ PODDANEJ WIELOKROTNEMU OBCIĄŻENIU

Streszczenie. W pracy opisano badania zginania prętów o profilach P28 i K24. Porównano własności wytrzymałościowe profilów, a na podstawie badań i analizy odkształceń sprężysto-plastycznych przekroju wyznaczono kryterium odkształceń trwałych, dopuszczalnych ze względu na możliwość renowacji elementu obudowy.

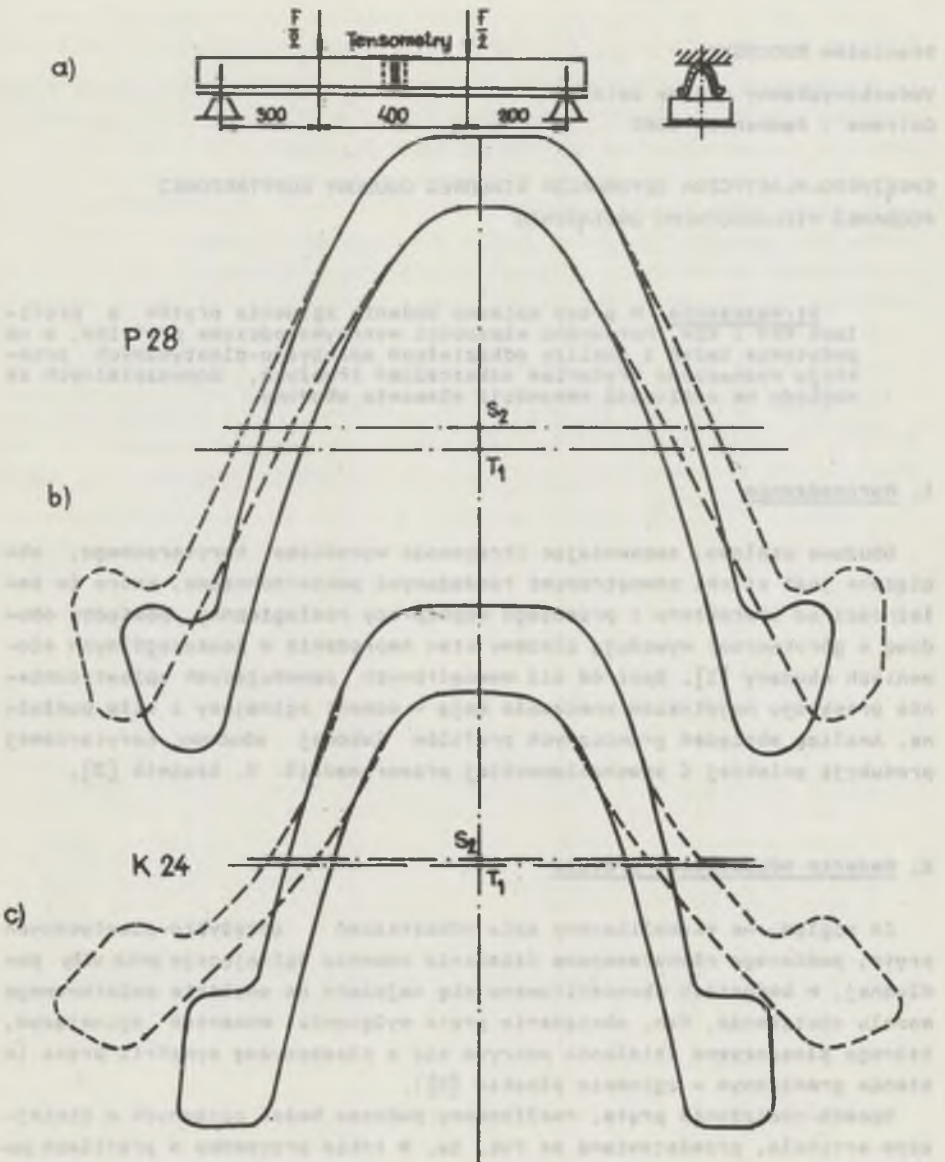
1. Wprowadzenie

Obudowa stalowa, zapewniając utrzymanie wyrobiska korytarzowego, obciążona jest siłami zewnętrznymi rozłożonymi powierzchniowo, które (w zależności od charakteru i przebiegu współpracy reologicznej pomiędzy obudową a górotworem) wywołują złożony stan naprężenia w poszczególnych elementach obudowy [1]. Spośród sił wewnętrznych powodujących uplastycznienie przekroju największe znaczenie mają - moment zginający i siła podłużna. Analizę obciążeń granicznych profilów łukowej obudowy korytarzowej produkcji polskiej i czechosłowackiej przeprowadził W. Szućcik [2].

2. Badania odkształceń profilu

Ze względu na skomplikowany opis odkształceń sprężysto-plastycznych pręta, poddanego równoczesnemu działaniu momentu zginającego oraz siły podłużnej, w badaniach skoncentrowano się najpierw na analizie podstawowego modelu obciążenia, tzn. obciążenia pręta wyłącznie momentem zginającym, którego płaszczyzna działania pokrywa się z płaszczyzną symetrii pręta (w stanie granicznym - zginanie płaskie [2]).

Sposób obciążenia pręta, realizowany podczas badań opisanych w niniejszym artykule, przedstawiono na rys. 1a. W takim przypadku w profilach poprzecznych występują również naprężenia styczne spowodowane skręcaniem ramienia profilu wskutek niewspółosiowego przyłożenia obciążenia działającego od strony penetratora na górną krawędź korytka oraz nacisku elementów oporowych na krawędzie dolne.



Rys. 1

Opisany sposób obciążenia był wybrany celowo, ponieważ lepiej symuluje rzeczywiste obciążenia eksploatacyjne niż w przypadku, kiedy podpory i kształtowane elementy penetratora umieszcza się wewnątrz korytka, tak jak tego wymagają normy DIN 21538 czy ČSN 422605.

Obciążenia badanego elementu przeprowadzano więc w sposób bardziej odpowiadający warunkom "in situ". Badany element obciążono wielokrotnie, tzn. po obciążeniu pręta momentem zginającym M i wykonaniu potrzebnych pomiarów, następowało całkowite odciążenie, ponowny pomiar odkształceń, po czym dany element obciążono momentem $M + \Delta M$.

Celem przeprowadzonych badań, oprócz analizy sprężysto-plastycznych odkształceń belki, było również porównanie dwóch profilów: ostatnie zaprojektowanego i wykonanego profilu P-28 (rys. 1b) oraz profilu K-28 (rys. 1c), który obecnie jest najczęściej stosowany w kopalniach w CSRS.

3. Wyniki prób

Na podstawie zależności pomiędzy całkowitym ugięciem t ugięciem trwałym t' (zmiernym po odciążeniu) a rozszerzeniem profilu a (rys. 2) stwierdzono, że w przypadku profilu K-24 odkształcenia trwałe zaczynają występować pod obciążeniem

$$M = 27 \text{ kNm,}$$

natomiast w przypadku profilu P-28 przy

$$M = 36 \text{ kNm}$$

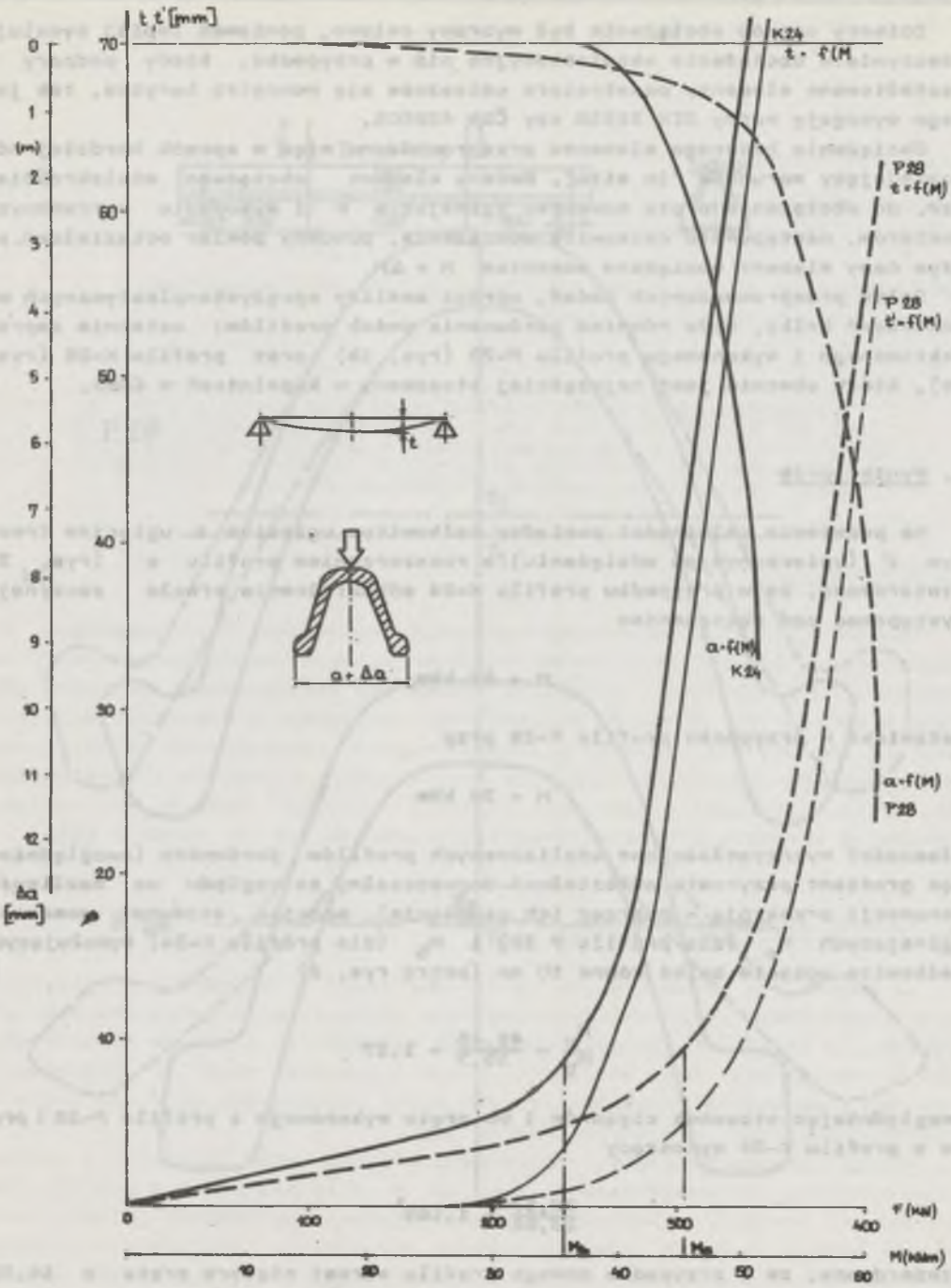
właściwości wytrzymałościowe analizowanych profilów porównano (uwzględniając gradient przyrostu odkształceń-dopuszczalny ze względu na możliwość renowacji przekroju - poprzez ich usunięcie) podając stosunek momentów zginających M_a (dla profilu P-28) i M_b (dla profilu K-24) wywołujących całkowite ugięcie belki równe 10 mm (patrz rys. 2)

$$\frac{M_a}{M_b} = \frac{45,45}{35,7} = 1,27$$

Uwzględniając stosunek ciężarów 1 mb pręta wykonanego z profilu P-28 i pręta o profilu K-24 wynoszący

$$\frac{27,57}{23,66} = 1,165$$

stwierdzono, że w przypadku nowego profilu wzrost ciężaru pręta o 16,5% umożliwia zwiększenie momentu "dopuszczalnego" (wytrzymałości na zginanie) o 27%.



Rys. 2

4. Analiza procesu przemieszczenia się osi obojętnej od środka przekroju do osi granicznej

Pomiary tensometryczne w obciążeniu między oddziałującymi obciążeniami (rys. 1a) umożliwiają przeprowadzenie dokładnej oceny przebiegu procesu uplastycznienia przekroju.

Jak wynika z rys. 3, w przypadku obydwu analizowanych przekrojów, proces przemieszczenia osi obojętnej odbywa się w trzech etapach. Proces uplastycznienia przekroju rozpoczyna się po osiągnięciu wytrzymałości materiału na granicy plastyczności przy rozciąganiu - $R_{e,r}$ we włóknie skrajnym. Ponieważ we włóknach ściskanych występuje większe wzmocnienie (spowodowane kształtem krzywej $\sigma = \sigma(\epsilon)$ w obciążeniu odkształceń plastycznych przy ściskaniu), w etapie I, charakteryzującym się stosunkowo małymi odkształceniami trwałymi, następuje intensywne przemieszczanie się osi obojętnej w kierunku części ściskanej przekroju od położenia pierwotnego - osi x - będącej osią obojętną w wypadku zginania sprężystego.

Stopniowo następuje jednak uplastycznienie włókien ściskanych (etap II) i w rezultacie położenie osi obojętnej określa odległość " y_0 " wyznaczana z warunków równowagi (sił i momentów) dla pręta.

$$-\int_{F_{pl.c}} \sigma_c(\epsilon) dF - \int_{F_{spr.c}} \sigma dF + \int_{F_{spr.r}} \sigma dF + \int_{F_{spr.r}} \sigma_r(\epsilon) dF = 0$$

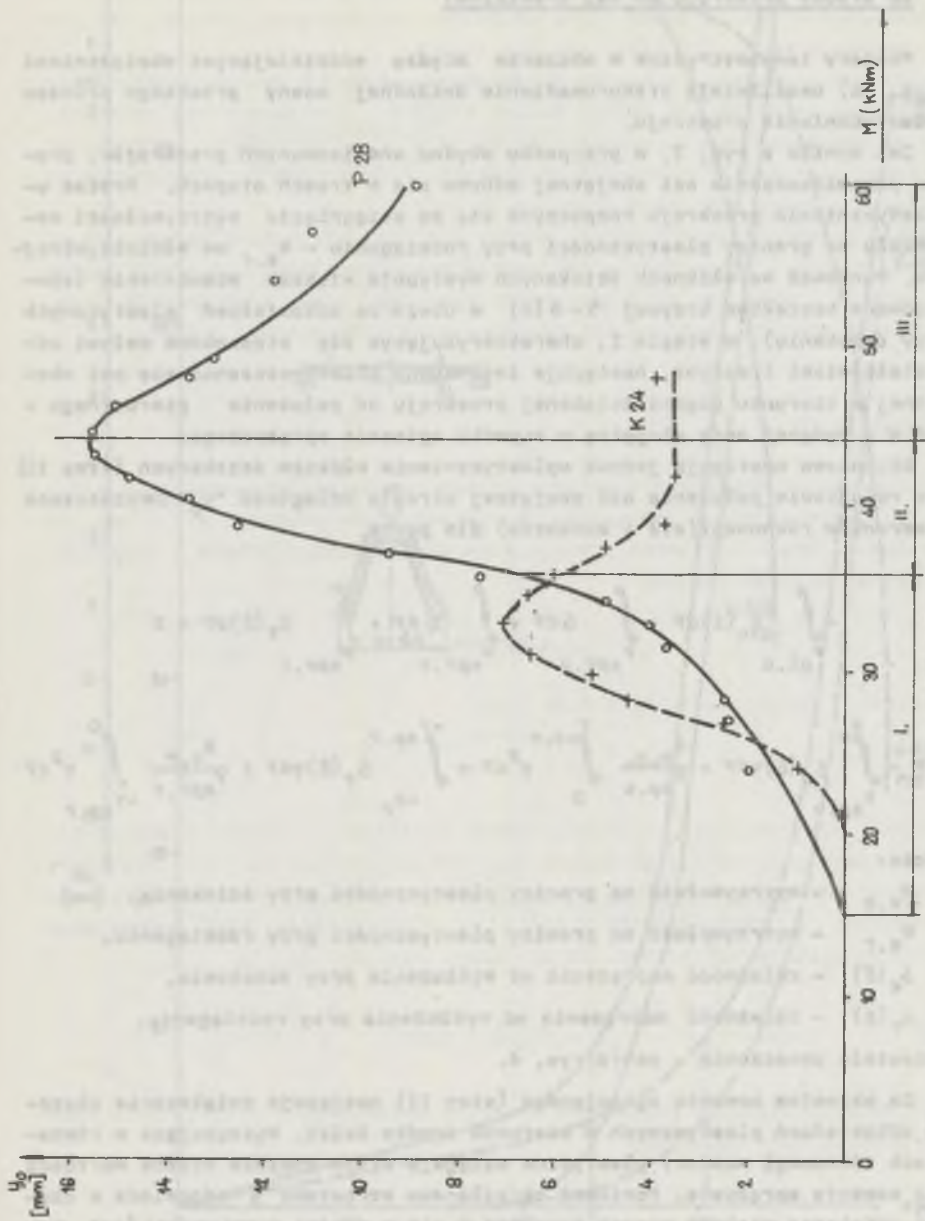
$$M = \int_{Y_{sp.c}}^{\sigma_c} \sigma_c(\epsilon) y dF + \frac{R_{e,c}}{Y_{sp.c}} \int_0^{Y_{sp.c}} y^2 dF + \int_{-y_r}^{-Y_{sp.r}} \sigma_r(\epsilon) y dF + \frac{R_{e,r}}{Y_{spr.r}} \int_{-Y_{sp.r}}^0 y^2 dF$$

gdzie:

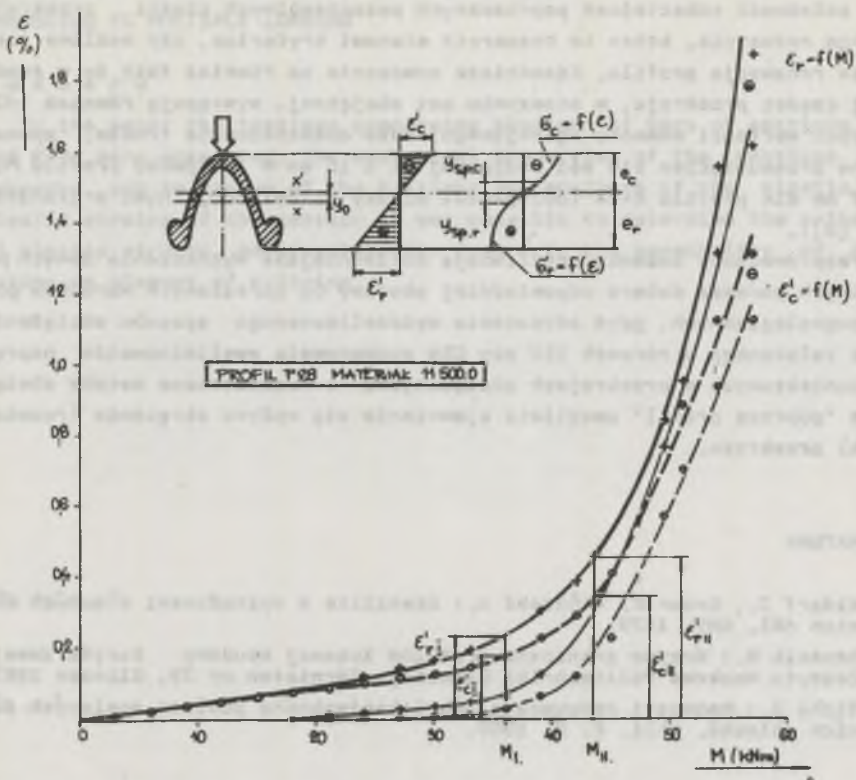
- $R_{e,c}$ - wytrzymałość na granicy plastyczności przy ściskaniu,
- $R_{e,r}$ - wytrzymałość na granicy plastyczności przy rozciąganiu,
- $\sigma_c(\epsilon)$ - zależność naprężenia od wydłużenia przy ściskaniu,
- $\sigma_r(\epsilon)$ - zależność naprężenia od wydłużenia przy rozciąganiu.

Pozostałe oznaczenia - patrz rys. 4.

Ze wzrostem momentu zginającego (etap II) następuje zwiększenie obciążenia odkształceń plastycznych w kierunku środka belki. Występujące w równaniach równowagi momenty plastyczne osiągają wtedy znacznie wyższe wartości niż momenty sprężyste. Ponieważ określönemu wzrostowi ξ odpowiada w części ściskanej większy wzrost naprężeń σ niż w części rozciąganej (zob. rys. 2), os obojętna zaczyna przemieszczać się w kierunku swojego początkowego położenia - odpowiadającego sprężystemu obciążeniu belki (etap III). Pewien wpływ na to przemieszczenie się osi obojętnej ma również odkształce-



Rys. 3



Rys. 4

nie poprzeczne profilu (rys. 1b,c) wzrastające stopniowo po osiągnięciu, w przypadku profilu P-28 (K-24), (rys. 2) momentu

$$M = 48 \text{ (39) kNm.}$$

5. Wnioski

Przedstawione wyniki badań umożliwiły przeprowadzenie porównania wytrzymałości konkretnych profili obudowy kopalnianej w warunkach symulacji jednego z możliwych obciążeń eksploatacyjnych. Kompleksowa ocena profili będzie przeprowadzona po przeprowadzeniu podobnych badań na zginanie "do korytka", skręcenie i wyboczenie.

Badania były również źródłem bardzo ważnych informacji dotyczących możliwości renowacji i wielokrotnego użycia łuku obudowy kopalnianej, wykonanego z walcowanego materiału 15 500.0 bez dodatków uszlachetniających. Badania dotyczące tego zagadnienia zostały już wykonane przez producenta,

tnzn. NHKG (Nowa Huta im. Klementa Gottwalda) [3]. Z rysunków 2, 3 i 4 wynika zależność odkształceń poprzecznych poszczególnych części przekroju od jego rozwarcia, które to rozwarcie stanowi kryterium, czy możliwa jest dalsza renowacja profilu. Zasadnicze znaczenie ma również fakt że w środkowej części przekroju, w otoczeniu osi obojętnej, występują również (dla wyższych wartości momentu zginającego) duże odkształcenia trwałe, spowodowane prześnięciem się osi obojętnej aż o 15 mm w przypadku profilu P-28 lub 7 mm dla profilu K-24 (odległości między osiami obojętymi a granicznymi [2]).

Przeprowadzone badania umożliwiają dokładniejsze wyznaczenie danych potrzebnych podczas doboru odpowiedniej obudowy do określonych warunków górniczo-geologicznych, gdyż odrzucenie wyidealizowanego sposobu obciążenia pręta zalecanego w normach DIN czy CSN spowodowało wyeliminowanie naprężeń kontaktowych w przekrojach obciążanych, a zastosowana metoda obciążania "poprzez profil" umożliwia ujawnienie się wpływu skręcania (rozwierania) przekroju.

LITERATURA

- [1] Aldorf J., Exner K. - Škrebš A.: Stabilita a vyztužování dlouhých důlních děl. SNTL 1979.
- [2] Szusćik W.: Krzywe graniczne profilów łukowej obudowy korytarzowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo nr 79, Gliwice 1963.
- [3] Tichý J.: Možnatá renovace a několikrátosobného použití ocelových důlních oblouků. Uhlí, č. 2, 1969.

Recenzent: Doc. dr inż. Walery SZUSĆIK

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1983 r.

УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СТАЛЬНОЙ ШТРЕКОВОЙ КРЕПИ ПОДВЕРГНУТОЙ МНОГОКРАТНОЙ НАГРУЗКЕ

Резюме

В статье рассматриваются испытания изгиба стальной профилированной крепи П-28 и К-24. Произведено сравнение прочностных свойств профилей, а на основе испытаний и анализа упруго-пластических деформаций сечения, определено критерий конечных деформаций, допускаемых ввиду возможности восстановления элемента крепи.

ELASTIC AND PLASTIC STRAINS OF THE STEEL LINING
SUBJECTED TO MULTIPLE LOADING

S u m m a r y

In the paper the testings concerning bending of bars of sections P-28 and K-24 were presented. The mechanical properties of the sections were compared, and in virtue of the testings and analysis of the elastic and plastic strains of the section it was possible to determine the criterion of plastic strains, permissible with regard to the possibility of renovating an element of a lining.

W niniejszym artykule przedstawiono badania nad wytrzymałością i właściwościami mechanicznymi prętów o przekrojach P-28 i K-24. Porównano właściwości mechaniczne tych prętów i na podstawie badań oraz analizy odkształceń sprężystych i plastycznych w tych prętach ustalono kryterium odkształceń plastycznych, które jest dopuszczalne z punktu widzenia możliwości renowacji elementu wykładki.

1. WSTĘP

W niniejszym artykule przedstawiono badania nad wytrzymałością i właściwościami mechanicznymi prętów o przekrojach P-28 i K-24. Porównano właściwości mechaniczne tych prętów i na podstawie badań oraz analizy odkształceń sprężystych i plastycznych w tych prętach ustalono kryterium odkształceń plastycznych, które jest dopuszczalne z punktu widzenia możliwości renowacji elementu wykładki.

W niniejszym artykule przedstawiono badania nad wytrzymałością i właściwościami mechanicznymi prętów o przekrojach P-28 i K-24. Porównano właściwości mechaniczne tych prętów i na podstawie badań oraz analizy odkształceń sprężystych i plastycznych w tych prętach ustalono kryterium odkształceń plastycznych, które jest dopuszczalne z punktu widzenia możliwości renowacji elementu wykładki.