

RICHARD KANDZIA  
MARIUSZ SZOT

## Technologiczne aspekty rozwoju produkcji górniczych łańcuchów ogniowych

*W artykule przedstawiono krótką historię rozwoju oraz typy aktualnie produkowanych łańcuchów górniczych, ich udział w rynku światowym. Określono kierunki rozwoju łańcuchów ogniowych górniczych w zakresie stosowanych materiałów i parametrów wytrzymałościowych. Wykazano negatywny wpływ niektórych czynników, które obniżają własności użytkowe łańcuchów ogniowych górniczych.*

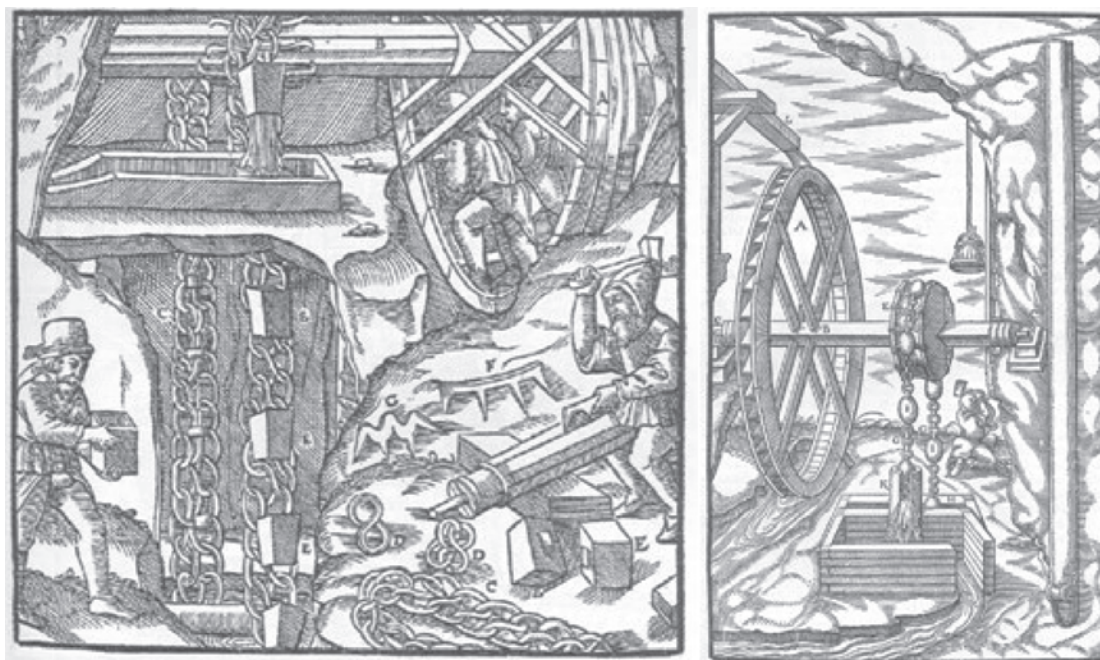
Słowa kluczowe: łańcuch, bezpieczeństwo, trwałość

### 1. WPROWADZENIE

Pierwsze przykłady zastosowania łańcuchów ogniowych w górnictwie znane są z obszernej pracy opublikowanej w roku 1556 przez Georgiusa Agricolę pod tytułem *De Re Metallica Libri XII*. W księdze szóstej zamieszczone są liczne ilustracje (rys. 1), na których widoczne są łańcuchy ogniowe wykorzystywane głównie w pionowych przenośnikach kubełko-

wych służących do wypompowania wody z podziemi kopalń [1, 2].

Łańcuchy ogniowe zastąpiły wcześniej rozpowszechnione liny konopne, które w wilgotnych wyrobiskach szybowych szybko butwiały, tracąc swą nośność. Stosowanie łańcuchów miało jednak inną wadę: uszkodzenie pojedynczego ogniwa często powodowało zerwanie łańcucha. Opadające łańcuchy niszczyły konstrukcję i obudowę przedziałów szybowych [3], co ostatecznie w XIX wieku doprowadziło do wynalezienia lin stalowych.



Rys. 1. Czerpadło łańcuchowe ciągnowe oraz łańcuchowy przenośnik rurowy [2]

Renesans stosowania łańcuchów ogniowych w górnictwie nastąpił dopiero po wprowadzeniu elektrycznego zgrzewania ogni, co znacznie obniżyło ich koszt produkcji i podniosło jakość zgrzein, oraz wraz z mechanizacją procesów wydobywczych, a w szczególności po wprowadzeniu technologii ścianowej przy eksploatacji pokładów węgla kamiennego.

## 2. ROZWÓJ ŁAŃCUCHÓW GÓRNICZYCH

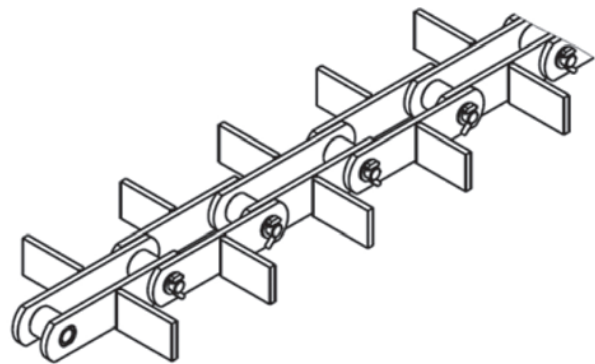
Mechanizacja transportu urobku w górnictwie węgla kamiennego rozpoczęła się w latach 20. XX wieku za pomocą przenośników wibracyjnych, tzw. rynien wstrząsanych. Pierwszy przenośnik wykorzystujący łańcuch ogniowy wprowadzono do eksploatacji w 1932 roku. Był to hamujący przenośnik tarczowy, stosowany na upadach powyżej  $18^\circ$  (rys. 2). Zadaniem tarcz zamontowanych na łańcuchu było wyhamowanie urobku staczającego się w otwartych rynnach. Przenośniki wibracyjne i przenośniki tarczowe zostały pod ziemią stopniowo wyparte przez przenośniki zgrzeblowe [4, 5].



Rys. 2. Hamujący przenośnik tarczowy [4, 5, 8]

Pierwsze przenośniki zgrzeblowe były wyposażone w łańcuchy drabinkowe (galla) schematycznie pokazane na rysunku 3 [6]. Taki typ łańcucha utrudniał przekładkę przenośnika, ponieważ umożliwiał przeginięcie trasy rynnościagu tylko w płaszczyźnie pionowej, dlatego w późniejszych konstrukcjach przenośników

zastosowano łańcuchy ogniowe w postaci ciągów z podwójnymi łańcuchami skrajnymi [7]. Początkowo były to łańcuchy zapożyczone z przemysłu okrętowego, np.  $16 \text{ mm} \times 64 \text{ mm}$ , tzn. o podziałce równej czterokrotności jego średnicy  $t = 4 \cdot d$ . W celu zwiększenia niezawodności przenośników zwiększono średnicę łańcuchów do 18 mm, zachowując jednocześnie podziałkę 64 mm. Zachowanie podziałki łańcucha wiązało się z zachowaniem średnicy podziałowej gwiazdy napędowej, co nie wymagało zmiany konstrukcji napędów. Natomiast średnica ogni 18 mm była wtedy największą średnicą, którą można było zgrzewać przy zastosowaniu metody zgrzewania oporowego. Dopiero wprowadzenie zgrzewania wyiskrzeniowego w 1952 roku [6] pozwoliło na elektryczne zgrzewanie łańcuchów o większych średnicach. Pierwszy ścianowy przenośnik zgrzeblowy wyposażony w łańcuch ogniowy został wypróbowany w kopalni „Bobrek” na Górnym Śląsku (wówczas „Gräfin-Johanna-Grube”) w roku 1941 [8, 9].



Rys. 3. Schematyczny przykład łańcucha drabinkowego (galla) [6]

Po drugiej wojnie światowej wzrosło zapotrzebowanie na węgiel kamienny, a w ślad za tym rozpoczęła się era mechanizacji górnictwa. W krótkim czasie zwiększyło się zapotrzebowanie na łańcuchy stosowane w przenośnikach zgrzeblowych, co doprowadziło do powstania pierwszej normy na tzw. łańcuchy górnicze – DIN 22252. Jej pierwsze wydanie z marca 1951 roku [10] uwzględniało jedynie łańcuchy  $16 \text{ mm} \times 64 \text{ mm}$  i  $18 \text{ mm} \times 64 \text{ mm}$ .

Początkowo łańcuchy górnicze były produkowane w odcinkach po 15 ogni. Tolerancję długości regulowała norma (+4 mm / -1 mm). Technologicznie nie było możliwe produkowanie odcinków o dokładnie tej samej długości w powtarzalnych seriach, dlatego odcinki 15-ogniowe były mierzone i sortowane według odchyłki długości, a następnie wiązane w pary. Wiązanie odcinków o tej samej odchyłce długości w pary wynikało ze sposobu pracy ciągów łańcuchowych w tzw. trasach z łańcuchami skrajnymi. Typowy

odcinek trasy łańcuchowej składa się z dwóch odcinków łańcucha ogniowego, dwóch zamków bocznych oraz jednego zgrzebła (rys. 4). W zależności od potrzeb takie odcinki łączyło się w sekcje o typowej długości, np. około 10 m, co zazwyczaj zależało od możliwości logistycznych użytkownika.

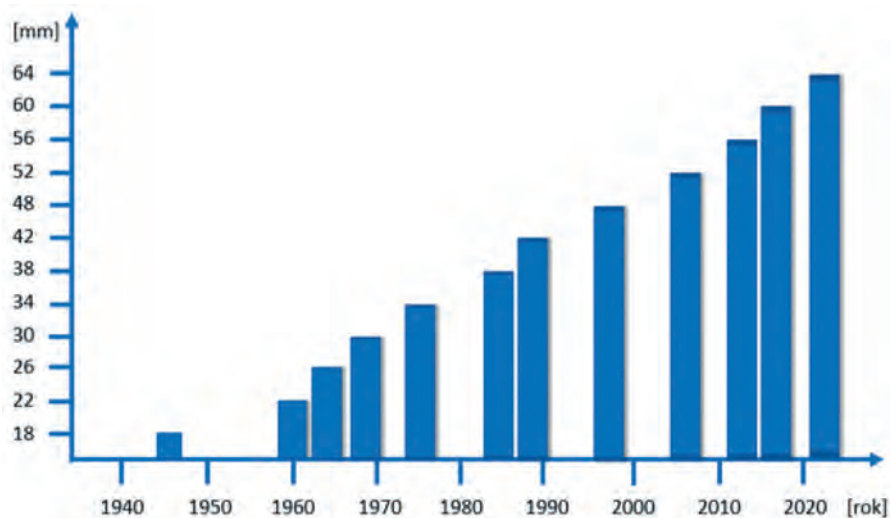


Rys. 4. Trasa łańcuchowa z zewnętrznym prowadzeniem łańcuchów [11]

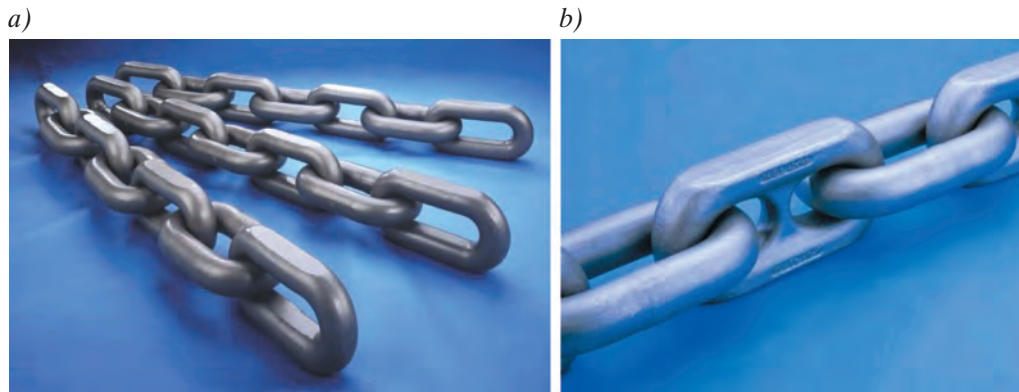
Rozwój łańcuchów górniczych wynikał ze wzrostu intensywności wydobywania i związanej z tym wydajności górniczych przenośników zgrzeblowych. Aby podnieść parametry użytkowe, zwiększano stopniowo średnice łańcuchów ( $\varnothing 20$  mm, 22 mm, 24 mm, 26 mm i 30 mm) oraz stosowano coraz to lepsze gatunki stali [2]. Czwarte wydanie normy DIN 22252 z grudnia 1973 roku [12] wymienia znane jeszcze obecnie łańcuchy, np. 22 mm  $\times$  86 mm, 24 mm  $\times$  87,5 mm, 26 mm  $\times$  92 mm i 30 mm  $\times$  108 mm. Łańcuch 30 mm  $\times$  108 mm był w tym czasie największym łańcuchem górniczym i pierwszym, który zaczęto produkować w długich odcinkach i stosować jako łańcuch centralny. Początkowo stosowano łańcuch 30 mm  $\times$  108 mm jako pojedynczy łańcuch centralny, a po udoskonaleniu procesu kalibracji

i parowania również jako podwójny łańcuch centralny [13]. Norma [12] wprowadza tolerancję różnicy długości dla odcinków o długości do 25 m. Dla pary łańcuchów dopuszcza się różnicę długości obu odcinków do 8 mm. Polska Norma PN-G-46701:1997. *Łańcuchy ogniowe górnicze* [14] dla łańcuchów długich dopuszcza różnicę długości pod obciążeniem próbnym nie większą niż 0,15% sumy podziałek ogniw. Na rysunku 5 pokazana jest historia rozwoju średnic nominalnych łańcuchów górniczych wykonywanych z prętów okrągłych.

Pierwszy łańcuch płaski został wprowadzony na rynek w roku 1985 [9]. Był to łańcuch o średnicy nominalnej pręta 38 mm. Wszystkie kolejne łańcuchy o większych średnicach nominalnych były łańcuchami płaskimi (rys. 6), superpłaskimi lub łańcuchami o konstrukcjach specjalnych [15]. Wyjątek w tym szeregu stanowi łańcuch strugowy 42 mm  $\times$  137 mm, który pojawił się w formie zwykłego łańcucha ogniowego w roku 2006. Wśród łańcuchów specjalnych wyróżniają się łańcuchy kompaktowe wprowadzone do produkcji w latach 80. XX wieku, w których średnica nominalna odnosi się do ogniwa poziomego, natomiast średnica ogniw pionowych jest zróżnicowana na obwodzie, a na łukach zazwyczaj większa niż średnica ogniwa poziomego. Szczególnym przypadkiem konstrukcyjnym są łańcuchy potrójnie niskie, w których średnica nominalna odnosi się zazwyczaj do teoretycznego przekroju obliczeniowego. Daty podane na rysunku 5 są tylko orientacyjne, ponieważ trudno jednoznacznie ustalić, co należy uznać za datę wprowadzenia nowego rozmiaru nominalnego łańcucha: czy datę opracowania konstrukcji, zgłoszenia patentowego, ustalenia technologii produkcji, pierwszego wdrożenia pod ziemią, czy wpisania do normy.



Rys. 5. Historia rozwoju średnic nominalnych łańcuchów górniczych



Rys. 6. Łańcuchy: a) płaskie; b) superpłaskie

### 3. WPŁYW WŁASNOŚCI MATERIAŁOWYCH NA TECHNOLOGIĘ PRODUKCJI ŁAŃCUCHÓW

Łańcuchy wykorzystywane w maszynach górniczych w początkach mechanizacji były jeszcze często zgrzewane ogniskowo, tzn. rozgrzewane na palenisku koksowym lub w piecu, a następnie kute ręcznie za pomocą młota. Zgrzeina znajdowała się na łuku, co wynikało z faktu, iż zgrzewano zaostrzone i nachodzące na siebie końcówki pręta. Tak wykonywane zgrzeiny nie odpowiadały rosnącym wymaganiom technicznym użytkowników. Zastosowanie zgrzewania oporowego pozwoliło na poprawę jakości zgrzeiny, ale jego stosowanie było ograniczone do ogniw o średnicy pręta 18 mm [6]. Jednak również w tak produkowanych łańcuchach górniczych słaba jakość zgrzeiny była jedną z głównych przyczyn zrywania łańcuchów. Dopiero wprowadzenie zgrzewania wyiskrzeniowego do produkcji łańcuchów w roku 1952 pozwoliło na zdecydowaną poprawę jakości zgrzein. Technologia zgrzewania wyiskrzeniowego umożliwiła rozwój łańcuchów o średnicach nominalnych powyżej 18 mm. Od 1940 roku następuje ciągły rozwój w zakresie produkcji łańcuchów. Potrzeba rynku spowodowała uruchomienie produkcji łańcuchów o zwiększonych średnicach i łańcuchów o podwyższonych własnościach kolejno >900 MPa, 1000 MPa, 1050 MPa, 1100 MPa, które charakteryzują się znacznie wyższymi parametrami użytkowymi w porównaniu z łańcuchami we-

dług PN, DIN. Stosowane nowe materiały i technologia obróbki cieplnej pozwoliły na osiągnięcie optymalnego i powtarzalnego rozkładu twardości w każdym ogniwie, jak również uzyskać zmienną twardość w pojedynczym ogniwie, czyli twarde łuki i uplastycznione odcinki proste o niższej twardości. Odpowiednio w kolejnych latach zmieniano rodzaj stosowanego materiału oraz rodzaj obróbki – dane zestawiono w tabeli 1.

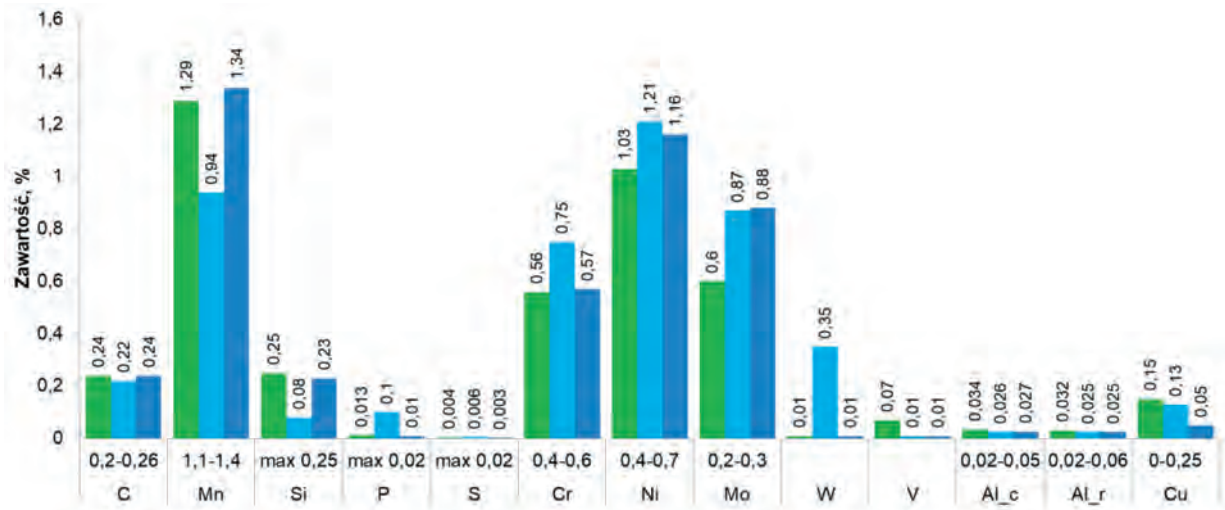
Obecnie najpopularniejszym gatunkiem stali wykorzystywanym do produkcji łańcuchów górniczych jest 1.6758 według niemieckiego klucza stali, czyli 23MnNiMoCr54, którego polski odpowiednik nosi nazwę 23G2NMHA. Dla łańcuchów o średnicach ogniw do 26 mm wykorzystuje się często stal niższego gatunku, 23MnNiMoCr52, numer 1.6541, której polski odpowiednik nosi nazwę 23GNMHA. Obecnie do produkcji łańcuchów stosowany jest gatunek stali o numerze 1.6758, z pewnymi modyfikacjami dotyczącymi składu chemicznego.

Skład chemiczny najpopularniejszego gatunku stali wykorzystywanego do produkcji łańcuchów górniczych podaje norma [16]. Norma polska [14] nie narzuca producentom łańcuchów określonego gatunku stali. Producenci łańcuchów, aby spełnić wymagania zamawiających w zakresie wytrzymałości łańcuchów, trwałości zmęczeniowej, odpowiedniego zabezpieczenia korozyjnego stosują ulepszone wersje stali. W pracy [17] przedstawiono przykładowe składy chemiczne łańcucha strugowego 42 mm × 137 mm trzech różnych producentów (rys. 7).

Tabela 1

#### Rodzaj materiału i obróbki cieplnej

1945	1950	1968	1974	1985	1990	1997
St-35.13K	15Mn3	20MnCr4	23MnNiCrMo64	23MnNiCrMo54	23MnNiCrMo54	23MnNiCrMo54
Naturalne hartowanie	Hartowanie	Hartowanie z odpuszczaniem	Hartowanie z odpuszczaniem	Hartowanie z odpuszczaniem	Hartowanie podwójne >Ac3	Hartowanie podwójne >Ac3



Rys. 7. Przykładowy skład chemiczny stali

Poszczególni producenci łańcuchów górnich starają się wprowadzić na rynek gatunki stali, które dodatkowo wzbogacane są mikrododatkami innych metali, np. wolframu, wanadu, boru i innych. Celem tych praktyk jest uzyskanie po obróbce termicznej takich parametrów stali, które poprawią własności mechaniczne łańcuchów górnich, a w szczególności osiągnięcie wyższej udarności.

### 3.1. WPŁYW WŁASNOŚCI MATERIAŁOWYCH NA ZGRZEWALNOŚĆ STALI

Wraz z rozwojem technologii zgrzewania nastąpił rozwój stali, z których wykonywano łańcuchy górnicze. Początkowo były to stale węglowe (niestopowe), następnie stale z dodatkiem manganu, a dopiero pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku do produkcji łańcuchów zaczęto stosować stale niskostopowe z dodatkiem manganu, niklu, molibdenu i chromu. W roku 1965 została wydana pierwsza norma opisująca stale niskostopowe do produkcji łańcuchów górnich. Była to norma niemiecka DIN 17115 [18]. Jej polskim odpowiednikiem jest norma PN-89/H-84023/08 [19].

Istotnym parametrem pozwalającym ocenić przydatność danego gatunku stali do produkcji łańcuchów górnich jest tzw. równoważnik węgla  $C_e$ . Jest to parametr stosowany w spawalnictwie mówiący o spawalności stali węglowych i niskostopowych w zależności od składu chemicznego stali. Charakteryzuje on skłonność materiału do występowania pęknięć spawalniczych. Równoważnik węgla wyznacza się ze wzoru (1) [11]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V + Mo}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \% \quad (1)$$

Im niższa wartość  $C_e$ , tym lepsza spawalność materiału. Zakłada się, że równoważnik węgla ocenia zdolność materiału również do zgrzewania wyiskrzeniowego. Wartości krytyczne równoważnika węgla dla zgrzewania odbiegają od wartości uznanych dla spawania i są wyznaczane doświadczalnie, co związane jest z temperaturą podgrzania i średnicą zgrzewanych prętów. Przyjmuje się, że zgrzewanie wyiskrzeniowe można przeprowadzić bez ryzyka pęknięć do wartości  $C_e = 0,8$ , natomiast wartością graniczną równoważnika węgla dla zgrzewania jest  $C_e < 0,9$  [11]. Duży wpływ na jakość zgrzeiny i zdolność materiału do zgrzewania mają również zanieczyszczenia, a w szczególności zawartość siarki i fosforu. Ich łączna ilość nie powinna przekraczać 0,035%. Niepożądane jako składniki stopowe są również aluminium i miedź.

### 3.2. Wpływ własności materiałowych na cynkowanie łańcuchów

Rozwiązaniem problemu korozji miało okazać się wprowadzenie cynkowania ogniowego łańcuchów górnich, nazywanego również cynkowaniem zanurzeniowym, ponieważ nanoszenie cynku na ogniwa łańcucha odbywa się podczas kilkuminutowej kąpeli w ciekłym cynku, w temperaturze około 440–460°C. Podczas tej kąpeli dochodzi do dyfuzji atomów cynku w strukturę krystaliczną stali [20], wypełnienia powierzchniowych nierówności i porów cynkiem, w wyniku czego tworzy się warstwa bardzo ściśle przylegająca do powierzchni ogniwa łańcucha określana jako stop stal-cynk (żelazo-cynk) o wysokości około 80–120 μm. Powłoka ta charakteryzuje się dużą przyczepnością do podłoża oraz stosunkowo dużą odpornością na ścieranie.

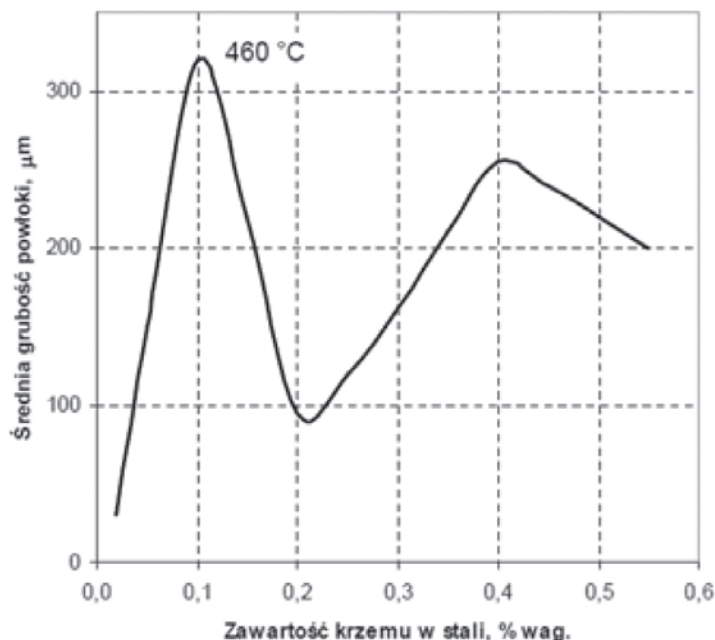
Jakość uzyskiwanych powłok cynkowych (połysk, gładkość, grubość, przyczepność itp.) jest różna i zależy od składu chemicznego stali w szczególności od zawartości węgla (C), fosforu (P) i krzemu (Si). Zawartość węgla i krzemu w stali nie powinna przekraczać łącznie 0,5%. Dla stali zawierających węgiel w postaci martenzytu wzrost zawartości węgla w przedziale 0,01–2,08% mas. systematycznie zwiększa reaktywność stali względem ciekłego cynku, nie rozszerzając zakresu liniowego przebiegu reakcji. Zdarza się, że w stalach zawierających krzem reakcja żelazo-cynk przebiegnie szczególnie intensywnie i udział stopu żelazowo-cynkowego w powłoce będzie wyższy niż normalnie. W skrajnym przypadku powłoka cynkowa może składać się całkowicie ze stopu żelazowo-cynkowego. Zjawisko to (tzw. efekt Sandelina) obserwuje się zwłaszcza przy zawartości krzemu od

0,03% do 0,14%, jak również powyżej 0,25%. W tych przypadkach powłoka cynkowa jest najczęściej matowoszara, chropowata, nierównomierna, krucha – wrażliwa na odkształcenia i uszkodzenia mechaniczne. Wpływ zawartego w stali krzemu na jej rozpuszczalność w ciekłym cynku przedstawia rysunek 8 [21]. Stosowany w metalurgii stali krzem powoduje znaczny wzrost jej reaktywności z ciekłym cynkiem i jest szczególnie wysoki przy dwóch stężeniach tego pierwiastka wynoszących około 0,1% i około 0,4% mas.

Właściwości powłoki cynkowej powiązane ze składem chemicznym stali określa norma [22]. Dlatego mając na uwadze zawartość krzemu i węgla w stali łańcuchowej, możemy określić kryteria przydatności stali do cynkowania ogniowego:

$$C + Si < 0,5\% \quad (2)$$

$$0,1 < Si < 0,25\% \quad (3)$$

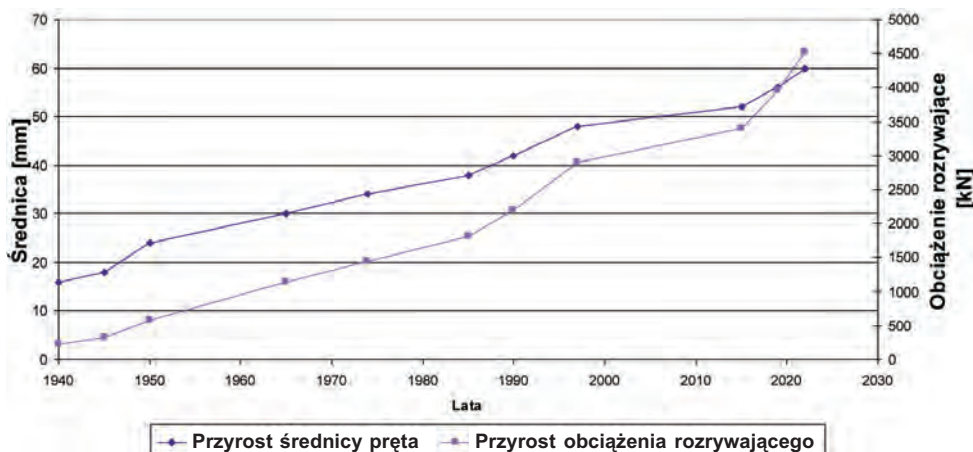


Rys. 8. Wpływ krzemu na grubość powłoki

### 3.3. Wpływ technologii wykonania ogniów na parametry wytrzymałościowe łańcuchów

Od wielu lat kierunkiem rozwoju w dziedzinie przenośników zgrzeblowych jest stosowanie łańcuchów wykonanych z grubszych prętów, lepszych materiałów i zastosowanej lepszej obróbki plastycznej. Doświadczenia z kopalń krajów zachodnioeuropejskich o rozwiniętym górnictwie węglowym wykazywały początkowo słuszność tego kierunku rozwojowego. Przykładowo [23] w 1983 roku we Francji wykazano, że prawidłowo wykonanym i dobranym ciągnem łańcu-

chowym 26 mm × 92 mm można w trudnych warunkach górniczo-geologicznych bezawaryjnie przetransportować 0,6–0,8 Mt węgla, zaś ciągnem łańcuchowym 34 mm × 126 mm aż 2,4 Mt urobku. Ten kierunek rozwojowy doprowadził do wyprodukowania przenośników z ciągnami o łańcuchach 60 mm × 189/136 mm, dla których należy się spodziewać jeszcze lepszych rezultatów ilościowych. Na wykresie (rys. 9) zestawiono zmiany w średnicy i wartości obciążenia zrywającego od 1940 roku. I tak od roku 1940 od średnicy pręta 16 mm doszliśmy do średnicy 60 mm i obciążenia zrywającego 4760 kN.



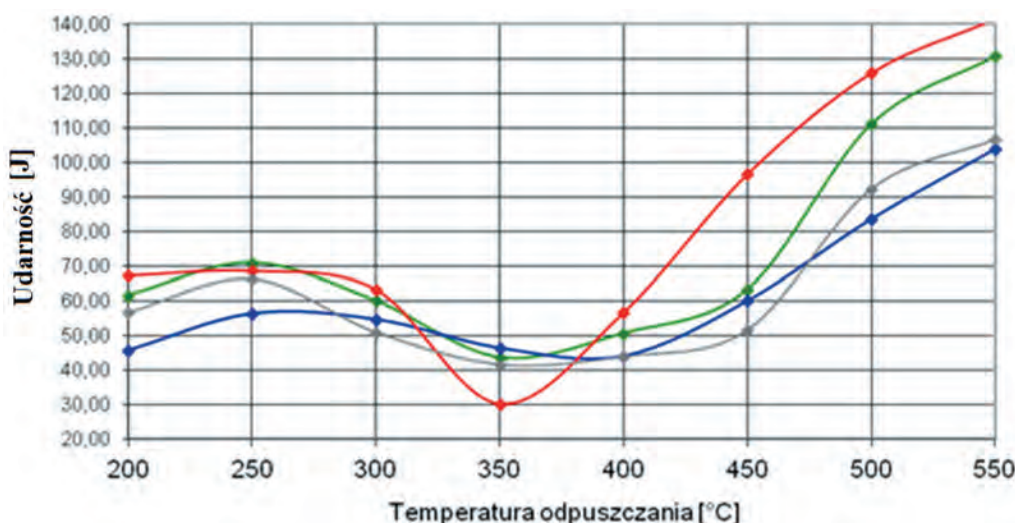
Rys. 9. Zmiany parametrów wytrzymałościowych i geometrycznych

### 3.3.1. Wpływ obróbki cieplnej na udarność

Wytrzymałość stali łańcuchowej, od której zależy klasa jakości łańcuchów górniczych, uzależniona jest od przeprowadzonej obróbki termicznej. Krokiem wielostopniowej obróbki decydującym o końcowych parametrach wytrzymałościowych jest odpuszczanie. W celu ustalenia zależności wielkości udarności od temperatury odpuszczania stali łańcuchowej przeprowadzono cykl badań porównawczych, w których porównano próbki

stali gatunku 1.6758 pochodzące od czterech dostawców: A, B, C i D. Na rysunku 10 naniesiono w formie wykresów wyniki wszystkich badań.

Na przykładzie dostawcy A jest najbardziej widoczne, że w zakresie temperatur około 350°C wyniki udarności osiągają lokalne minimum, co odpowiada temperaturom odpuszczania łańcuchów klasy D. Wysokie wartości udarności uzyskuje się przy temperaturach odpuszczania powyżej 450°C. W zakresie takich temperatur odpuszczane są łańcuchy klasy C.



Rys. 10. Wyniki badań udarności w zależności od temperatury odpuszczania próbek stali pochodzących od dostawców A, B, C i D

### 3.3.2. Wpływ procesu cynkowania na własności wytrzymałościowe

Badania doświadczalne opisane w [23] potwierdziły, że cynkowanie ogniowe obniża właściwości mechaniczne gatunków stali wysokowytrzymałych w wyniku dodatkowego odpuszczania struktury martenzytycznej. Kluczowymi zaletami stali wysokowytrzymałych są pla-

styczność i wytrzymałość na rozciąganie. Stale o dużej zawartości krzemu, chromu, molibdenu, manganu charakteryzują się dużą twardością połączoną z dużą wytrzymałością. Posiadają wysoką granicę plastyczności oraz wytrzymałość na rozciąganie. W przypadku tego rodzaju stali zmiana granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie wynikająca z cynkowania ogniowego będzie duża. W przypadku badań prowadzonych

w pracy [24] zanotowano spadek wytrzymałości na rozciąganie o 17%, a w przypadku wyników badań dla pracy [25] 14%. Wyniki opisane w opracowaniach badawczych potwierdzają, że stale wysokowytrzymałe nadają się do cynkowania ogniowego tylko wtedy, gdy stopień obniżenia właściwości wytrzymałościowych jest znany.

#### 4. ANALIZA WIELKOŚCI I KONSTRUKCJI ŁAŃCUCHÓW GÓRNICZYCH STOSOWANYCH W ŚWIATOWYM PRZEMYSŁE WYDOBYWCZYM

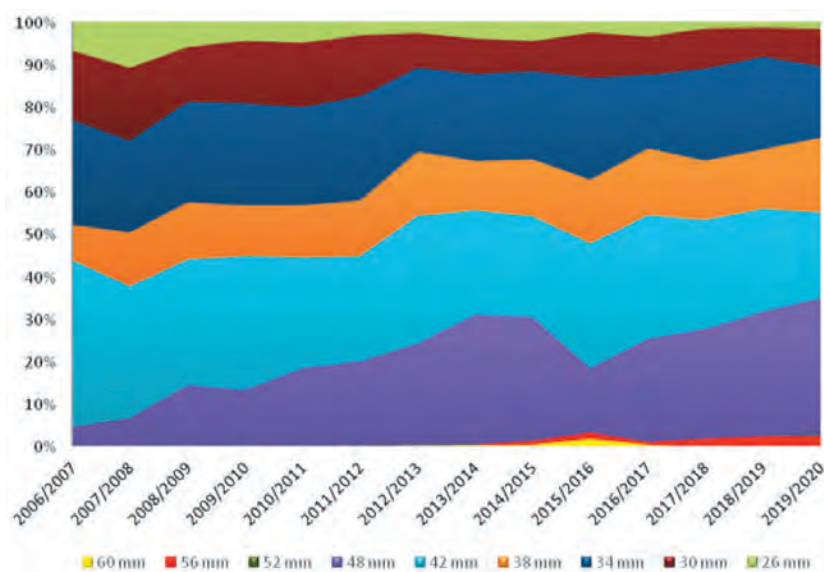
Generalny trend do stosowania coraz to większych średnic nominalnych łańcuchów górniczych potwierdza się na przykładzie ilości produkowanych przez jednego z wiodących producentów łańcuchów górniczych [26]. Ilości pokazane na rysunku 11 nie są reprezentatywne dla łącznej produkcji światowej, dają jednak wyobrażenie o tym, jaki w przybliżeniu jest udział procentowy poszczególnych rozmiarów. Analizując pojedyncze rynki górnicze, można zaobserwować okresy ilościowej dominacji poszczególnych rozmiarów. Na przykładzie rynku amerykańskiego można stwierdzić, że co mniej więcej 10 lat dochodzi do modernizacji parku maszynowego i przeskoku do kolejnego rozmiaru łańcuchów górniczych stosowanych w przenośnikach ścianowych. W latach 80. w USA najpopularniejsze były łańcuchy ogniowe 34 mm × 126 mm, które następnie wyparte zostały przez łańcuchy płaskie 38 mm × 126 mm. Po roku 2000 najczęściej

stosowane były łańcuchy płaskie 42 mm × 146 mm, natomiast po roku 2010 rynek został zdominowany przez łańcuchy o średnicy ogniwi 48 mm. Aktualnie autorom znane są projekty modernizacji istniejących instalacji uwzględniające łańcuchy o średnicy nominalnej 52 mm.

Intensyfikacja produkcji w przodkach ścianowych w połączeniu z coraz większymi rozmiarami łańcuchów przenośnikowych skutkuje zwiększeniem żywotności łańcuchów mierzonej w tonach odstawionego urobku i dochodzi do 10–12 milionów ton urobku brutto w przypadku łańcuchów o średnicy nominalnej 48 mm.

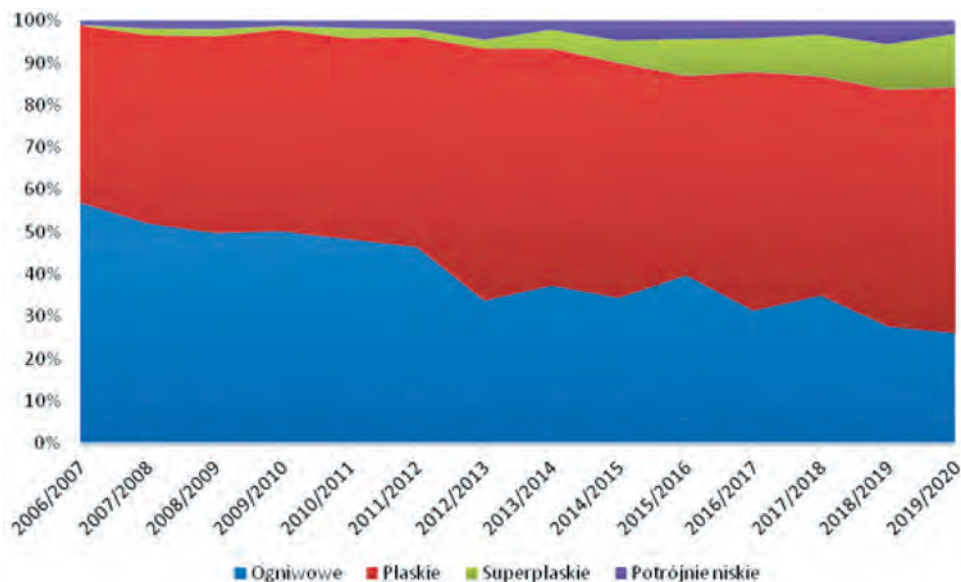
Żywotność łańcuchów górniczych z uwagi na okres eksploatacji ograniczona jest przede wszystkim warunkami eksploatacji, tzn. intensywnością wydobywania, ilością skały płonnej, warunkami górniczymi, a w szczególności ewentualnym występowaniem korozji i wynosi niezależnie od rozmiaru i typu łańcucha 12–24 miesięcy.

Jednocześnie można zaobserwować trend do stosowania coraz to niższych łańcuchów, co spowodowane jest dopasowaniem ich konstrukcji do ograniczonych gabarytów przenośników zgrzeblowych przy jednoczesnym wzroście zainstalowanych mocy silników elektrycznych. Widoczny na rysunku 12 stosunkowo niewielki udział łańcuchów potrójnie niskich wynika z wysokich kosztów ich produkcji oraz obostrzeń patentowych ograniczających możliwości ich rozpowszechnienia. Udział procentowy poszczególnych typów i rozmiarów łańcuchów górniczych na wyodrębnionych rynkach zależy od stopnia intensywności wydobywania, zaawansowania techniki górniczej oraz możliwości finansowych działających tam producentów węgla.



Rys. 11. Udział procentowy poszczególnych rozmiarów łańcuchów górniczych [27]





Rys. 12. Udział procentowy poszczególnych konstrukcji łańcuchów górniczych na przykładzie produkcji jednego z producentów łańcuchów górniczych [27]

## 5. WNIOSKI

Niniejszy artykuł jest podsumowaniem wyników badań laboratoryjnych oraz prowadzonej kwerendy literatury. Pierwsze łańcuchy ogniowe stosowane w maszynach górniczych miały średnicę 16 mm. Najmniejsze łańcuchy stosowane w przenośnikach górniczych to 14 mm × 50 mm, natomiast największe łańcuchy używane obecnie w przenośnikach górniczych mają średnicę nominalną 60 mm. Prowadzone są już prace rozwojowe nad łańcuchami kolejnych generacji o średnicach nominalnych 64 mm i 68 mm. Trend do powiększania średnicy łańcuchów utrzymał się przez ostatnich prawie 80 lat historii maszyn górniczych, choć już kilkakrotnie wydawało się, że osiągnięto granicę możliwości technicznych w ich produkcji. Wydawało się, że nie będzie potrzeby stosowania coraz to większych średnic z powodu instalowania w przenośnikach zgrzeblowych czy strugach węglowych coraz to większych mocy napędów celem zwiększenia ich wydajności. Przedstawiony materiał wskazuje, że nie możemy bezkrytycznie stosować dowolnego materiału oraz rodzaju obróbki cieplnej w produkcji łańcuchów. Istotny wpływ na rozwój produkcji łańcuchów miało opracowanie nowych gatunków stali wysokowytrzymałych. Poza zwiększaniem nośności łańcuchów górniczych w wyniku zwiększania średnicy ogniw prace konstruktorów i technologów koncentrowały się na następujących celach:

- zwiększaniu wytrzymałości łańcuchów w wyniku stosowania nowych gatunków stali,
- ujednorodnieniu parametrów mechanicznych w wyniku precyzyjnej obróbki termicznej,
- obniżaniu wysokości ogniw pionowych w łańcuchach kombinowanych umożliwiających redukcję wysokości przenośników zgrzeblowych,
- wydłużaniu żywotności łańcuchów przez projektowanie ogniw o kształtach umożliwiających wolniejsze wydłużanie podziałki łańcucha,
- uzyskaniu powtarzalności kształtu ogniw, a w szczególności ich podziałki.

Aktualnym trendem rozwojowym jest opracowanie łańcuchów wyposażonych w czujniki pomiaru obciążenia umożliwiające stałe jego monitorowanie, kontrolę wstępnego napięcia łańcucha oraz jego zabezpieczenie przed przeciążeniami w wyniku nadmiernego załadunku lub blokad przenośnika. Prace w tym kierunku są prowadzone przez kilka ośrodków badawczo-rozwojowych skupionych wokół producentów przenośników zgrzeblowych oraz producentów łańcuchów. Zintegrowanie czujników pomiaru siły w poruszającym się łańcuchu przenośnikowym jest wyzwaniem technicznym trudnym do realizacji z powodu barier technologicznych dotyczących zarówno miniaturyzacji systemu pomiarowego, jak i zasilania w energię elektryczną oraz możliwości transformacji danych pomiarowych.

Produkcja węgla kamiennego metodą ścianową w następnych dwóch dekadach będzie również stanowiła dużą część produkcji światowej tego surowca. Z uwagi na wzrost wydajności, potrzebę monitorowania produkcji – w celu zwiększenia bezpieczeństwa

eksploatacji – należy się liczyć z dalszym rozwojem konstrukcji i rozmiarów łańcuchów górniczych oraz w skali światowej z utrzymaniem dotychczasowego zapotrzebowania na ich produkcję.

#### Literatura

- [1] Agricola G.: *De Re Metallica Libri XII*. Bazylea 1556; *Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen gehören...* Sechstes Buch. Schiffner C., Darmstaedter E. (übersetzt und bearb.). VDI-Verlag, Düsseldorf 1978.
- [2] Philipp G.B., Thiele U., Cooper J.R.: *Eine neue Flachkette mit präzisen Kettenrädern für Hochleistungsstreben*. Glückauf 1993, 9: 682–688.
- [3] Philipp G.B.: *Grenzen der Technik – Lebensdauer von Bauteilen – August Wöhlers Schaffen und seine Verdienste*. Bergbau 2008, 5: 224–229.
- [4] Paschedag U.: *Face conveyor systems*. W: Junker M., Lemke M., Heiderich R.-M., Langefeld O., Mozar A., Paschedag U., Philipp G., Witthaus H.: *Technical developments in coal winning*. Vulkan-Verlag GmbH, Essen 2018: 181–224.
- [5] Paschedag U.: *Entwicklungen in der Strebördertechnik in den letzten 50 Jahren*. Bergbau 2018, 4: 175–182.
- [6] Philipp G.B.: *Die Rundstahlkette als Element der Leistungsübertragung bei Förderern im Strebbau*. RWTH, Aachen 1999 [rozprawa doktorska].
- [7] Spies K.: *Leistungsübertragung mit Rundstahlketten*. Glückauf 1993, 6: 411–415.
- [8] Dreher H.: *Górnictwo nie jest sprawą jednego*. XI Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania „TUR 2019”, Krynica-Zdrój, 17–20 września 2019 r. [artykuł konferencyjny].
- [9] Philipp G.B.: *Conveyor chains, plow chains and flight bars*. W: Junker M., Lemke M., Heiderich R.-M., Langefeld O., Mozar A., Paschedag U., Philipp G., Witthaus H.: *Technical developments in coal winning*. Vulkan-Verlag GmbH, Essen 2018: 225–247.
- [10] DIN 22252, März 1951. *Rundgliederketten*.
- [11] Forch K.: *Werkstoffkundliches Seminar*. Iserlohn, 17.02.2001.
- [12] DIN 22252, Dezember 1973. *Hochfeste Rundstahlketten für den Bergbau*.
- [13] Philipp G.B.: *Chain Matching – The key for high-extraction-rate longwalls*. Glückauf 1998, 2: 24–27.
- [14] Polska Norma PN-G-46701:1997. *Łańcuchy ogniwowe górnicze*.
- [15] Kandzia R.: *Kompendium wiedzy o ogniowych łańcuchach górniczych*. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze 2018, 1(39): 69–76.
- [16] DIN 22252, Juli 2012. *Rundstahlketten für Stetigförderer und Gewinnungsanlagen im Bergbau*.
- [17] Kandzia R., Szot M.: *Fatigue Life Testing of the Round Link Mining Chains*. Management Systems in Production Engineering 2023, 31(1): 78–85.
- [18] DIN 17115, Juli 2021, *Stähle für geschweißte Rundstahlketten und Ketten-Einzelteile – Technische Lieferbedingungen*.
- [19] Polska Norma PN-H-84023-08:1989. *Stal określonego zastosowania – Stal na łańcuchy ogniwowe – Gatunki*.
- [20] American Galvanizers Association: *Hot-Dip Galvanizing – Abrasion Resistance*. <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/why-specify-galvanizing/durability> [4.06.2021].
- [21] Głuszko M.: *Zagadnienia ochrony antykorozyjnej konstrukcji stalowych oraz urządzeń elektroenergetycznych eksploatowanych w warunkach atmosferycznych*. Prace Instytutu Elektrotechniki, z. 235, Instytut Elektrotechniki, Warszawa 2008.
- [22] Polska Norma PN-EN ISO 14713-2:2020-07. *Powłoki cynkowe – Wytyczne i zalecenia dotyczące ochrony przed korozją konstrukcji z żeliwa i stali – Część 2: Cynkowanie zanurzeniowe*.
- [23] Schriever K.: *Neue Antriebsysteme für den Bergbau unter Tage*. Glückauf 1979, 10.
- [24] Šmak M., Kubiček J., Kala J., Podaný K., Vaněrek J.: *The influence of Hot-Dip Galvanizing on the Mechanical Properties of High-Strength Steels*. Materials 2021, 14(18): 5219.
- [25] Gunalan S., Mahendran M.: *Experimental investigation of post-fire mechanical properties of cold-formed steels*. Thin-Walled Structures 2014, 84: 241–254.
- [26] Azhari F., Heidarpour A., Zhao X.L., Hutchinson C.R.: *Mechanical properties of ultra-high strength (Grade 1200) steel tubes under cooling phase of a fire: An experimental investigation*. Construction and Building Materials 2015, 93: 841–850.
- [27] Niepublikowane wyniki wewnętrznej analizy statystycznej firmy THIELE, 2021.

dr inż. RICHARD KANDZIA  
r.kandzia@thiele.de  
THIELE GmbH & Co.KG  
Werkstr. 3, 58640 Iserlohn, Niemcy

dr inż. MARIUSZ SZOT  
mszot@gig.eu  
GIG Central Mining Institute  
pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice