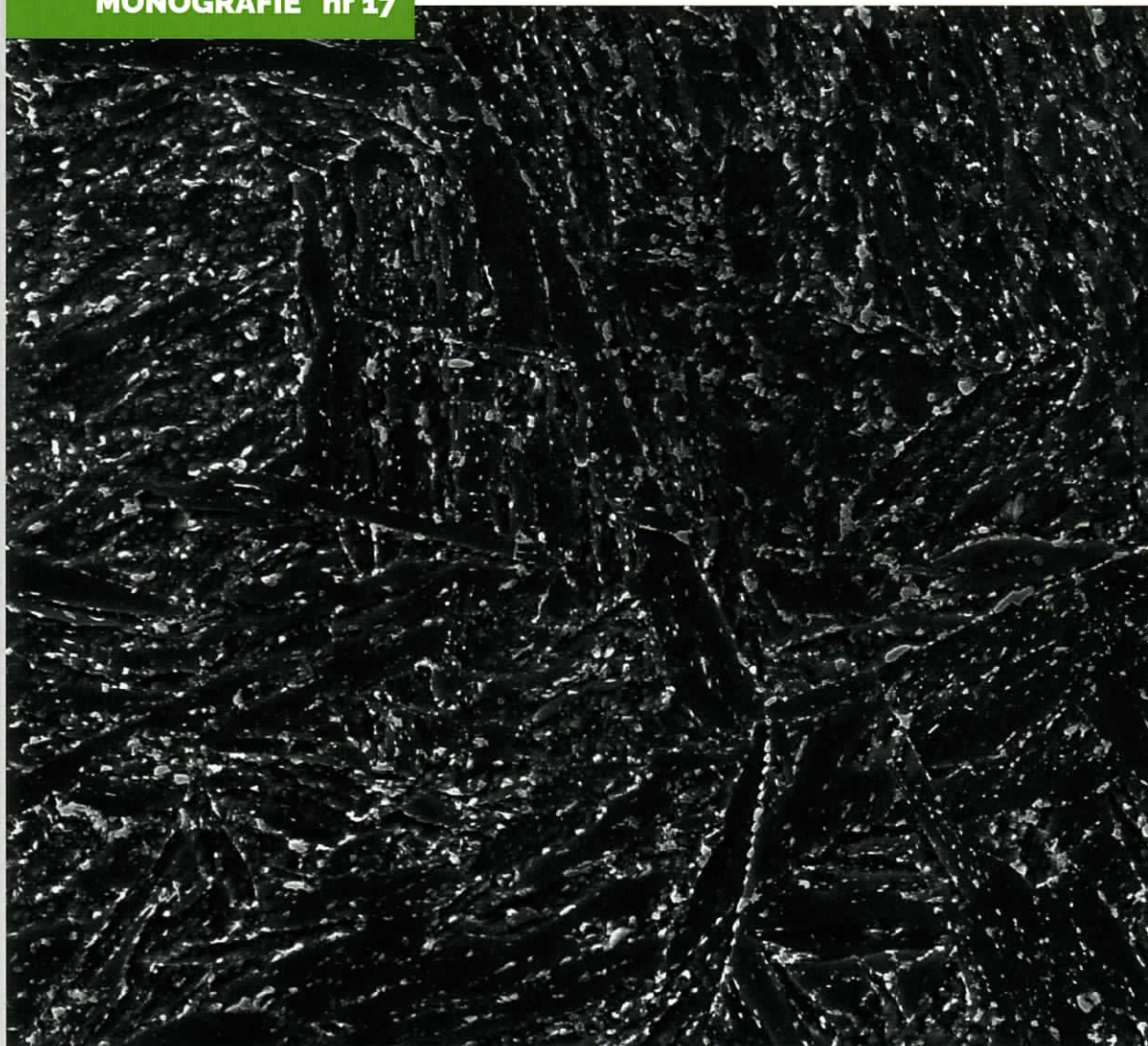


Grzegorz Golański

**ŻAROWYTRZYMAŁOŚĆ WYSOKOCHROMOWYCH  
STALI MARTENZYTYCZNYCH**

**MONOGRAFIE nr 17**



**Łukasiewicz**  
Instytut Metalurgii Żelaza

## **RECENZENCI**

Prof. dr hab. inż. Janusz DOBRZAŃSKI

Prof. dr hab. inż. Adam HERNAS

## **RADA NAUKOWA SERII MONOGRAFIE**

Prof. dr hab. inż. Leszek BLACHA

Prof. dr hab. inż. Rafał DAŃKO

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz DERDA

Prof. dr hab. inż. Henryk DYJA, M. dr h.c.

Prof. dr hab. Roman KUZIĄK

Prof. dr hab. inż. Andrzej ŁĘDZKI

Prof. dr hab. inż. Tadeusz TELEJKO

**ISBN: 978-83-958775-3-7**

Wydawca: Sieć Badawcza Łukasiewicz –  
Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica  
ul. K. Miarki 12-14, 44-100 Gliwice

## **ZESPÓŁ REDAKCYJNY**

redaktor naczelny – dr hab. inż. Adam ZIELIŃSKI

zastępca redaktora naczelnego – prof. dr hab. Józef PADUCH

redaktorzy tematyczni – prof. dr hab. inż. Bogdan GARBARZ, dr inż. Michał KUBECKI,

prof. dr hab. Roman KUZIĄK, dr hab. inż. Jarosław MARCISZ,

dr hab. inż. Marian NIESLER, dr inż. Łukasz POLOCZEK, dr inż. Hanna PURZYŃSKA,

dr hab. inż. Krzysztof RADWAŃSKI, dr hab. inż. Dariusz WOŹNIAK

redaktor techniczny – mgr inż. Danuta GRUSZCZYŃSKA

redaktor językowy – mgr Anna ŁUKOWIAK

sekretarz redakcji – mgr Dominika JARANOWSKA

Ark. wyd. 10,5

---

Skład i łamanie: Łukasiewicz – IMŻ

Druk: D&D Sp. z o.o. – Gliwice, tel. 32 230 84 24

## Spis treści

1. WPROWADZENIE .....	7
2. ROZWÓJ WIELKOSKŁADNIKOWYCH STALI MARTENZYTYCZNYCH .....	16
3. ROLA PIERWIASTKÓW STOPOWYCH W ŻAROWYTRZYMAŁYCH, WYSOKOCHROMOWYCH STALACH MARTENZYTYCZNYCH DLA ENERGETYKI ...	21
4. MECHANIZMY UMOCNIEŃ WYSOKOCHROMOWYCH STALI MARTENZYTYCZNYCH .....	45
5. OBRÓBKA CIEPLNA WYSOKOCHROMOWYCH STALI MARTENZYTYCZNYCH .....	58
6. MIKROSTRUKTURA STALI MARTENZYTYCZNYCH W STANIE DOSTAWY .....	72
7. WYDZIELENIA W STALACH MARTENZYTYCZNYCH TYPU 9-12%CR .....	82
8. DEGRADACJA MIKROSTRUKTURY I ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI STALI TYPU 9-12%Cr .....	105
LITERATURA .....	137
STRESZCZENIE .....	151
SUMMARY .....	153

## 1. WPROWADZENIE

Rozwój krajowej energetyki determinowany jest kilkoma istotnymi uwarunkowaniami:

- bezpieczeństwem energetycznym,
- prawnymi regulacjami związanymi z ochroną środowiska i problemem tzw. zmian klimatu wynikającymi z emisji zanieczyszczeń do atmosfery,
- ekonomicznymi – sprawnością i niezawodnością kotłów energetycznych,
- dostępnością źródeł energii [1–3].

Zapewnienie wysokiego bezpieczeństwa energetycznego Polski związane jest m.in. z [1, 3, 4]:

- bezpieczeństwem dostaw, czyli zapewnieniem ciągłości i jakości dostaw energii na poziomie wynikającym z potrzeb społecznych i gospodarczych,
- bezpieczeństwem surowcowym związanym z optymalnym wykorzystaniem krajowych zasobów energetycznych, a także dywersyfikacją źródeł oraz kierunków dostaw surowców – ropy naftowej, paliw ciekłych i gazowych,
- bezpieczeństwem ekonomicznym wyrażonym cenami energii nietworzącymi bariery dla rozwoju gospodarczego i nieprowadzącymi do ubóstwa energetycznego,
- bezpieczeństwem ekologicznym zapewnionym produkcją energii niepowodującą nadmiernego zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

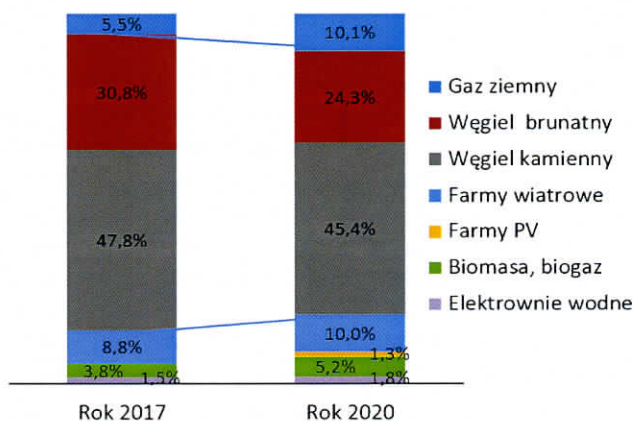
Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej zapewnia krajowa energetyka zawodowa oparta na spalaniu paliw stałych (węgla kamiennego i brunatnego), która obecnie obejmuje 20 bloków o mocy 120 MW, 54 bloki o mocy 200 MW, 16 bloków o mocy 360 MW, 2 bloki o mocy 500 MW oraz 7 nowoczesnych bloków pracujących na parametry nadkrytyczne. Obecnie energetyka oparta na spalaniu paliw kopalnych, pomimo jej systematycznego ograniczania (Rys. 1.1), zapewnia nadal ok. 70% produkcji energii elektrycznej (Rys. 1.2). Energetyka krajowa jest w znacznej mierze wyeksploatowana (zarówno technicznie, jak i moralnie), a sprawność większości bloków energetycznych jest niższa od średniej europejskiej [2, 5].

Rozwój polskiej energetyki obecnie jest związany z polityką klimatyczno-energetyczną Unii Europejskiej (UE), która dąży do dekarbonizacji energetyki (gospodarki) i uzyskania w roku 2050 tzw. neutralności klimatycznej. W ramach tych dążeń już w roku 2009 przyjęto pakiet regulacji wyznaczający trzy zasadnicze cele, mające do roku 2020 (pakiet 3 × 20%) przeciwdziałać tzw. zmianom klimatu, przy czym państwa członkowskie partycypują stosownie do swoich możliwości. Polska w ramach powyższych postulatów była zobowiązana do:

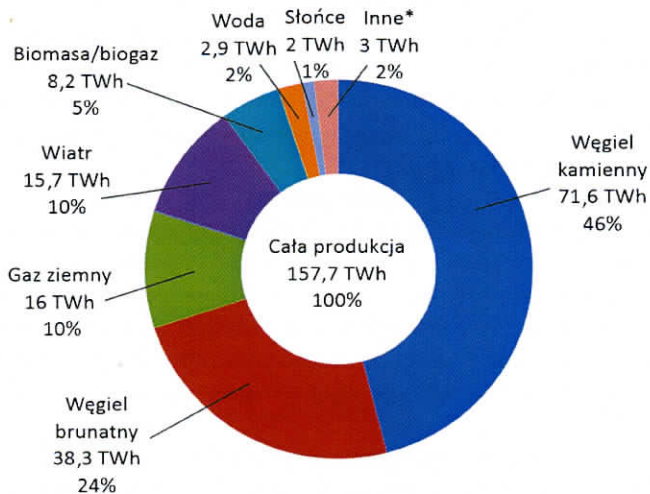
- zwiększenia efektywności energetycznej poprzez oszczędność zużycia energii pierwotnej o 13,6 Mtoe w latach 2010–2020 w porównaniu do prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię z 2007 r.,

- zwiększenia do 15% udziału energii z OZE w końcowym zużyciu energii brutto do 2020 r.,
- kontrybucji w ogólnounijnej redukcji emisji gazów cieplarnianych o 20% (w porównaniu do 1990 r.) do 2020 r. (w przeliczeniu na poziomy z 2005 r.: -21% w sektorach EU ETS i -10% w non-ETS) [1, 3, 4].

W roku 2014 Rada Europejska utrzymała kierunek przeciwdziałania zmianom klimatu i zatwierdziła cztery cele w perspektywie 2030 r. dla całej UE, które po rewizji w 2018 i 2020 r. mają następujący kształt:



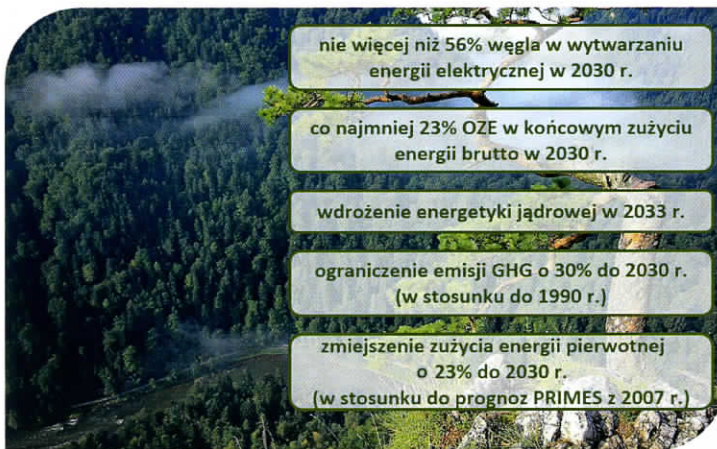
Rys. 1.1. Zmiana udziału w produkcji energii elektrycznej w latach 2017-2020



Rys. 1.2. Produkcja energii elektrycznej w Polsce w roku 2020 [5]

- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (ang. *greenhouse gases*, GHG) o co najmniej 55% w porównaniu z emisją z 1990 r.,
- co najmniej 32% udział źródeł odnawialnych w zużyciu finalnym energii brutto,
- wzrost efektywności energetycznej o 32,5%,
- ukończenie budowy wewnętrznego rynku energii UE [3, 4].

Coraz wyższe wymagania stawiane sektorowi paliwowo-energetycznemu w UE zaowocowały opracowaniem krajowej strategii w ramach transformacji energetycznej pod nazwą Polityka Energetyczna Polski 2040 (PEP2040) [6]. Kluczowe elementy transformacji w ramach PEP2040 zestawiono schematycznie na rysunku 1.3.



Rys. 1.3. Kluczowe elementy transformacji energetycznej w Polsce w ramach PEP2040 [6]

Osiągnięcie powyższych celów wiąże się z koniecznością dużych nakładów inwestycyjnych w zakresie:

- modernizacji konwencjonalnych źródeł energetyki cieplnej – dalsze podwyższanie ich sprawności,
- wzrostu ilości wytwarzanej energii z tzw. odnawialnych źródeł energii (OZE),
- wdrożenia energetyki jądrowej – przewiduje się budowę 6 bloków o łącznej mocy 6,0–9,6 GW, pierwszy blok ma być uruchomiony w roku 2033,
- poprawy efektywności energetycznej.

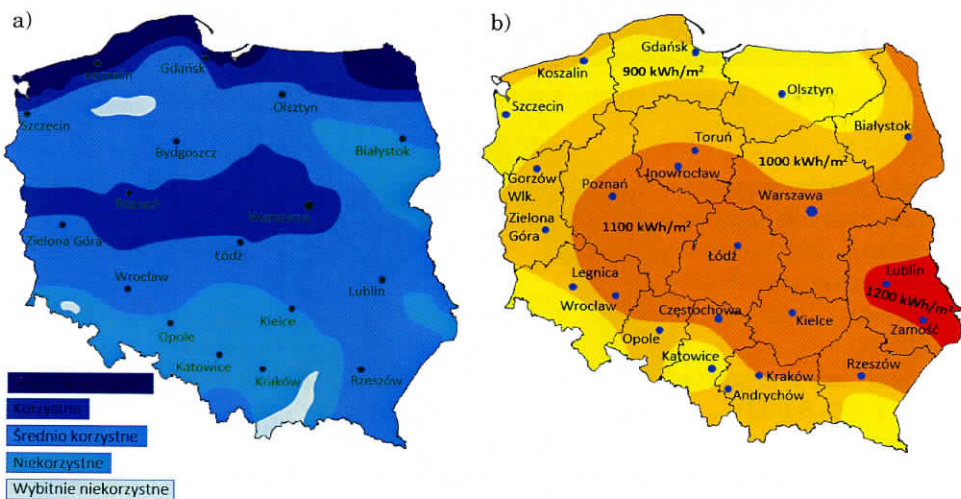
Przewidywany koszt inwestycji w ramach PEP2040 szacowany jest wstępnie na ok. 1600 mld złotych [6].

Położenie geograficzne Polski oraz klimat panujący w naszym kraju (Rys. 1.4) sprawia, że energia elektryczna pochodząca z OZE nie będzie

w stanie zapewnić dostaw na wymaganym poziomie. Również niestabilność i okresowa efektywność tych źródeł pozyskiwania energii nie wpływa na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego. Ponadto widoczne jest także znaczne opóźnienie w realizacji projektu i budowie elektrowni atomowej w Polsce. Wymaga to dostaw energii poprzez konwencjonalne bloki energetyczne, które ze względu na tzw. mix energetyczny muszą być przystosowane do pracy w układzie regulacyjnym. Dokonana ocena wskazuje, że zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju będzie więc nadal spoczywać na elektrowniach opalanych węglem kamiennym czy też brunatnym pomimo dążenia do ograniczenia ich udziału (Rys. 1.3).

Ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery w przypadku konwencjonalnych bloków energetycznych zapewniają bloki pracujące, przy tzw. parametrach nadkrytycznych. Termin „nadkrytyczny” określa w tym przypadku stan materii, w którym nie ma wyraźnego rozróżnienia między stanem ciekłym a gazowym, czyli występuje jedna faza. Woda osiąga ten stan przy ciśnieniu powyżej 22,06 MPa w temperaturze 374°C [7–10].

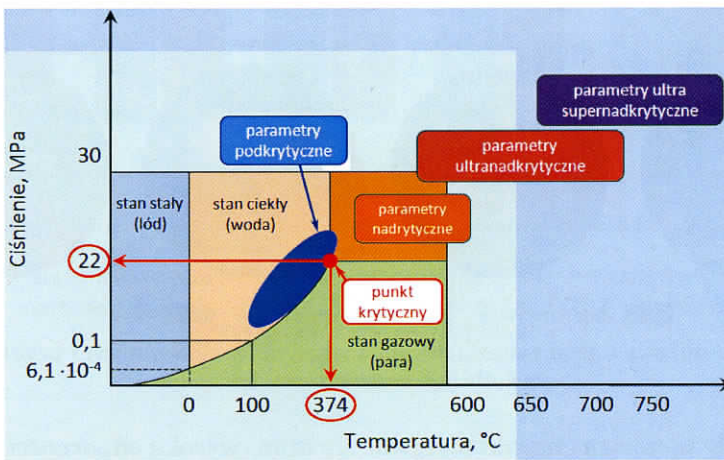
Parametry nadkrytyczne pracy (w dalszej kolejności ultra- czy też super-ultranadkrytyczne) uzyskano m.in. poprzez wzrost parametrów pary – temperatury i ciśnienia (Rys. 1.5). Podwyższenie temperatury pracy bloku energetycznego o 10°C przekłada się na wzrost sprawności o ok. 0,5% [9, 10–12]. Wzrost sprawności bloków energetycznych pozwala na znaczące ograniczenie zużycia paliw kopalnych w wytwarzaniu energii elektrycznej (Rys. 1.6), a tym samym zmniejsza negatywne oddziaływanie tej gałęzi przemysłu na środowi-



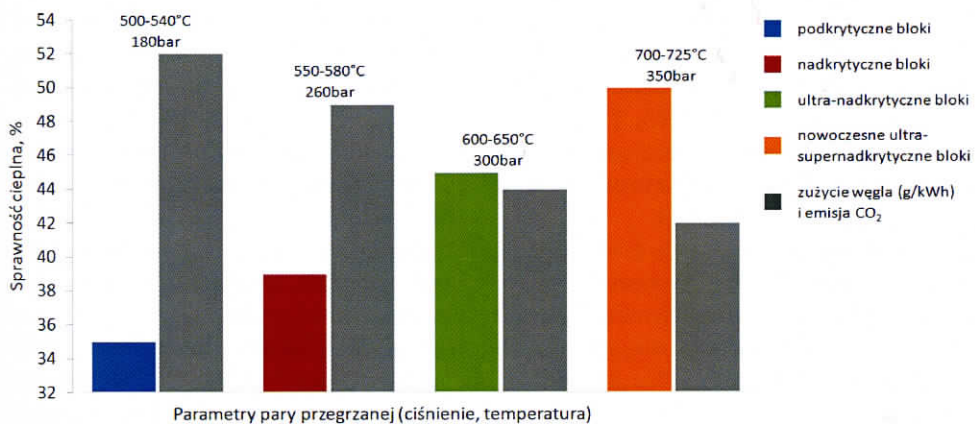
Rys. 1.4. Występujące obiektywne warunki klimatyczne Polski i ich wpływ na wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w oparciu o: a) mapę stref warunków wiatrych; b) średnie roczne nasłonecznienie [4]

sko naturalne. Przyjmuje się, że wzrost sprawności 1000 MW bloku energetycznego o 4% pozwala zaoszczędzić ok. 100 000 ton węgla na rok [10].

Budowa bloków energetycznych na parametry nadkrytyczne lub wyższe, celem osiągnięcia większej sprawności, wymusiła konieczność zastosowania w energetyce nowoczesnych stopów żarowytrzymałych i żaroodpornych o wyższych właściwościach użytkowych od dotychczas stosowanych materiałów. Wymagało to zastosowania w budowanych i modernizowanych blokach energetycznych na najbardziej wytężone elementy ciśnieniowe, takie jak:



Rys. 1.5. Wpływ temperatury i ciśnienia pary na parametry pracy bloku energetycznego [9]

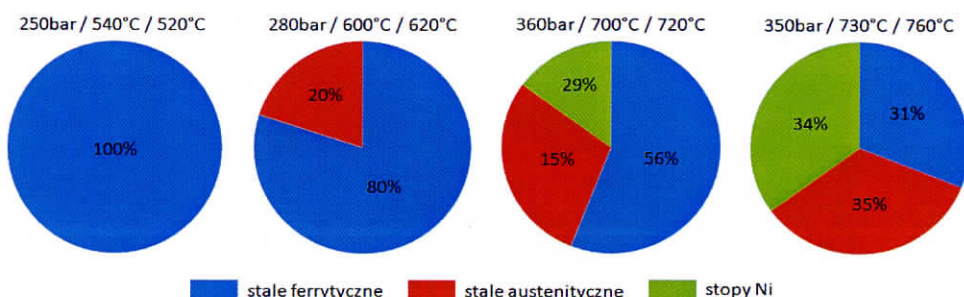


Rys. 1.6. Wpływ parametrów pracy bloku energetycznego na wzrost sprawności i ograniczenie zużycia węgla jako paliwa [7]



wężownice ostatnich stopni przegrzewaczy pary świeżej i wtórnie przegrzanej, komory zbiorcze oraz rurociągi pary świeżej, armatura i rury bez szwu – stali o odpowiednich, wysokich właściwościach mechanicznych.

Wśród materiałów przeznaczonych dla energetyki zawodowej w zależności od rodzaju elementu konstrukcyjnego i parametrów pracy w budowie kotłów stosuje się następujące grupy nowoczesnych stali: bainityczne, martenzytyczne oraz austenityczne, a ponadto stopy (nadstopy) na bazie niklu [13–17]. Procentowy udział poszczególnych grup materiałów stosowanych w budowie bloków energetycznych przedstawiono na rysunku 1.7.



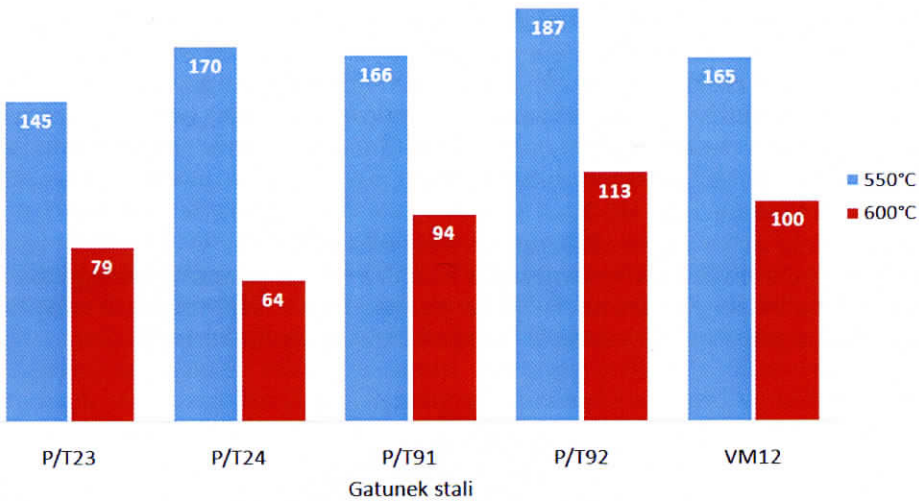
Rys. 1.7. Szacunkowy udział materiałów dla energetyki w stosowanych i projektowanych kotłach energetycznych [9]

Materiały te muszą charakteryzować się m.in. wysoką odpornością: na pełzanie – obecnie dla czasu 200 000÷250 000 godzin, na korozję wysokotemperaturową od strony spalin oraz na utlenianie od strony pary wodnej [13–16]. Wymusiło to zastosowanie w instalacjach części ciśnieniowej bloków energetycznych o parametrach nadkrytycznych nowoczesnych materiałów o odpowiedniej żarowytrzymałości, której miarą jest wytrzymałość na pełzanie (Rys. 1.8) oraz w mniejszym stopniu odporność na niskocyklowe zmęczenie cieplno-mechaniczne, a także żaroodporność – definiowaną jako odporność na korozję i utlenianie [13, 15, 17].

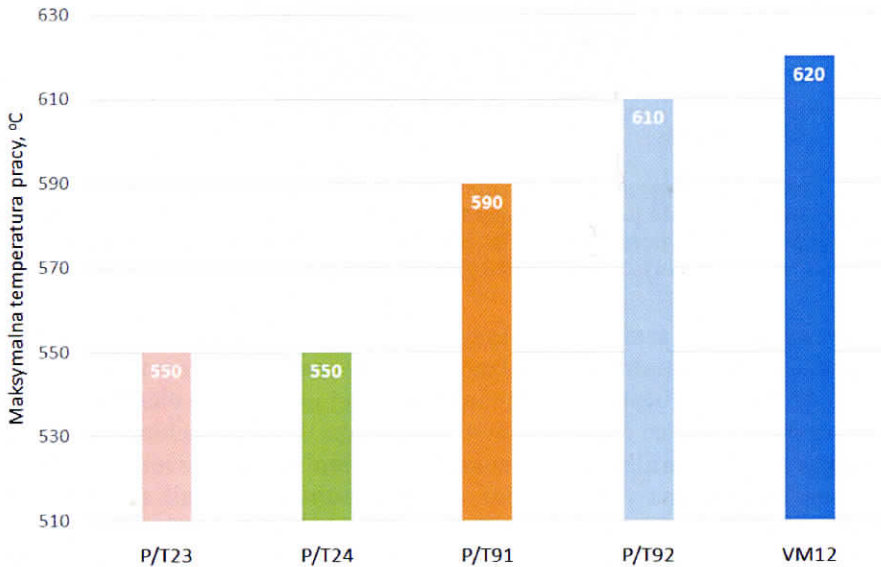
Żarowytrzymałość i żaroodporność danego gatunku stali przekłada się z kolei na maksymalną temperaturę długotrwałej pracy w instalacjach bloku energetycznego (Rys. 1.9).

Wprowadzenie nowych grup materiałów do energetyki przyczyniło się nie tylko do podwyższenia parametrów pary i związanego z tym ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery czy też wzrostu sprawności bloków, ale również doprowadziło do zmniejszenia średnicy i grubości elementów (Rys. 1.10).

Obniżenie grubości ścianki elementów ciśnieniowych bloków energetycznych skutkowało również zredukowaniem naprężeń cieplnych, a także wpłynęło na zmniejszenie kosztów wytwarzania energii elektrycznej (możliwość szybszego uruchomienia i odstawienia bloku energetycznego) [14, 17, 18].

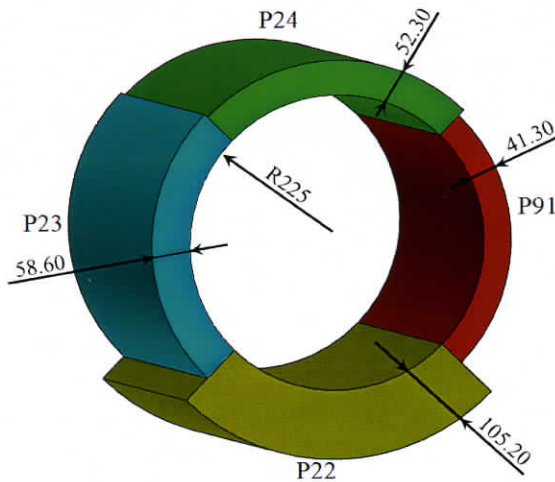


Rys. 1.8. Porównanie wytrzymałości na pełzanie dla 100 000 godzin w temperaturze 550 i 600°C wybranych gatunków nowoczesnych żarowytrzymałych stali o osnowie ferrytycznej – stali bainitycznych: P/T23 (7CrWVMoNb9-6); P/T24 (7CrMoVTiB10-10) oraz stali martenzytycznych: P/T91 (X10CrMoVNb9-1); P/T92 (X10CrWVMoVNb9-2) i VM12 (X12CrCoWVNb12-2-2)



Rys. 1.9. Maksymalna temperatura pracy dla nowoczesnych stali żarowytrzymałych o osnowie ferrytycznej, gdzie: P/T23 (7CrWVMoNb9-6); P/T24 (7CrMoVTiB10-10); P/T91 (X10CrMoVNb9-1); P/T92 (X10CrWVMoVNb9-2) i VM12 (X12CrCoWVNb12-2-2)

Oprócz dobrej żarowytrzymałości i żaroodporności materiały dla energetyki powinny charakteryzować się również: wysoką granicą plastyczności, nie tylko w temperaturze pokojowej, ale też w temperaturze pracy, dobrą odpornością na pękanie, wysoką odpornością na korozję naprężeniową, dobrymi właściwościami technologicznymi – spawalnością, dobrą odkształcalnością w czasie przeróbki plastycznej na zimno i na gorąco, a także dostępnością i przystępną ceną [13, 15, 17, 18]. Powyższe wymagania w znacznym stopniu spełniają nowoczesne stale martenzytyczne typu 9-12%Cr. Stale te są powszechnie stosowane do wytwarzania kluczowych elementów, szczególnie na przegrzewacze pary i główne rurociągi parowe części ciśnieniowych instalacji energetycznych w nowoczesnych i modernizowanych blokach [15–19].



Rys. 1.10. Fragment rurociągu z uwzględnionymi grubościami ścianek przy zastosowaniu różnych gatunków stali do pracy w temperaturze 545°C i ciśnieniu 19,1 MPa [20], gdzie: (w nawiasie podano oznaczenie według PN-EN) P22 (10CrMo9-10); P23 (7CrWVMoNb9-6); P24 (7CrMoVTiB10-10); P91 (X10CrMoVNb9-1)

W porównaniu do stali austenitycznych, stale o osnowie ferrytycznej, pomimo niższej wytrzymałości na pełzanie czy też gorszej odporności korozyjnej i odporności na utlenianie, umożliwiają bardziej elastyczną eksploatację bloków energetycznych, co związane jest z lepszymi właściwościami fizycznymi, tj. niższym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej oraz większą przewodnością cieplną. Istotna jest również większa odporność stali martenzytycznych na procesy zmęczenia oraz niższa cena ze względu na brak w składzie chemicznym drogiego niklu, co znajduje przełożenie na koszty wytwarzania rur [7, 9, 13–18].

Pomimo systematycznego obniżania udziału energii elektrycznej wytwarzanej przez spalanie węgla, bloki energetyczne przynajmniej przez kolejne

kilkanaście lat stanowić będą jedno z podstawowych źródeł produkcji energii elektrycznej w Polsce. Stąd też stale martenzytyczne będą w tym okresie jednymi z podstawowych materiałów konstrukcyjnych stosowanych na elementy części ciśnieniowej pracujące w warunkach pełzania, w nowoczesnych i modernizowanych blokach. Wymaga to posiadania uporządkowanej wiedzy w zakresie metaloznawstwa żarowytrzymałych stali martenzytycznych. Zapewni to ciągłość i bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej, a także trwałość i bezawaryjną eksploatację bloków energetycznych.

Stale martenzytyczne typu 9-12%Cr były i są przedmiotem licznych projektów badawczych realizowanych nie tylko w krajowych ośrodkach naukowo-badawczych, ale również na całym świecie. Efektem tych badań były liczne publikacje, monografie oraz wdrożenia. Niemniej jednak w literaturze krajowej brak jest specjalistycznej monografii przedstawiającej w sposób kompleksowy charakterystykę tej grupy materiałów. Niniejsza pozycja uzupełnia i poszerza stan wiedzy o żarowytrzymałych stalach martenzytycznych, uwzględniając problematykę stabilności ich mikrostruktury oraz właściwości mechanicznych. Monografię przygotowano, wykorzystując wieloletnie wyniki badań własnych i studiów prowadzonych przez Autora w tematyce degradacji materiałów dla energetyki oraz aktualny stan wiedzy o tych materiałach opracowany na bazie literatury krajowej i światowej.

## **ŻAROWYTRZYMAŁOŚĆ WYSOKOCHROMOWYCH STALI MARTENZYTYCZNYCH**

### **STRESZCZENIE**

Zachodzące zmiany w polskiej energetyce związane z odchodzeniem od wytwarzania energii elektrycznej pochodzącej ze spalania paliw kopalnych na rzecz odnawialnych źródeł energii (OZE) nie przekreślają jednak obecności w krajowym bilansie energetycznym konwencjonalnych elektrowni. Związane jest to zarówno z niestabilnością oraz okresowością pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł, jak i z opóźnieniem w realizacji budowy elektrowni atomowej w Polsce. Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego będzie więc nadal spoczywać na elektrowniach opalanych węglem kamiennym czy też brunatnym, których znacznymi pokładami dysponujemy.

Jednym z podstawowych materiałów konstrukcyjnych stosowanych przy budowie nowoczesnych bloków na parametry nadkrytyczne i modernizacji długo eksploatowanych bloków energetycznych o parametrach podkrytycznych były i są żarowytrzymałe stale martenzytyczne typu 9-12%Cr. W polskiej energetyce stale tego typu używane są od prawie trzydziestu lat, a powszechne zastosowanie znalazły następujące gatunki stali: P/T91, P/T92 i VM12 oraz sporadycznie stal P911. Zagwarantowanie długotrwałej i bezpiecznej eksploatacji bloków energetycznych poza obliczeniowy czas pracy 100 000 godzin, w celu zapewnienia ciągłości dostaw energii elektrycznej, wymaga posiadania wiedzy w zakresie metaloznawstwa materiałów dla energetyki. Z kolei przedłużanie czasu eksploatacji bloków do 200 000 ÷ 250 000 godzin wymusza działalność w zakresie diagnostyki i obliguje do posiadania umiejętności interpretacji i oceny stopnia degradacji mikrostruktury m.in. stali martenzytycznych typu 9-12%Cr.

W polskiej literaturze brak jest specjalistycznej pozycji stricte dotyczącej tej grupy materiałów, co skłoniło Autora do opracowania tej monografii. Niniejsze dzieło uzupełnia i poszerza dotychczasowy stan wiedzy związanej z procesami degradacji mikrostruktury i właściwości mechanicznych oraz stanowi swoistą bazę danych w zakresie metaloznawczej charakterystyki żarowytrzymałych stali martenzytycznych.

Przedmiotowa monografia ujmuje aktualny i specjalistyczny stan wiedzy w tematyce wysokochromowych stali martenzytycznych ze szczególnym uwzględnieniem stabilności ich mikrostruktury i właściwości mechanicznych. Praca ta została opracowana na bazie zarówno oryginalnych wyników badań własnych Autora, jak i w oparciu o najnowsze i aktualne krajowe oraz światowe dane literaturowe. Treść monografii została bogato zilustrowana dużą liczbą obrazów mikrostruktur wykonanych przy użyciu świetlnej (OM), ska-

ningowej (SEM) i transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM) oraz licznymi wykresami, schematami, a także tabelami pozwalającymi Czytelnikowi lepiej zrozumieć poszczególne zagadnienia i tematykę zawartą w pracy.

Monografia została podzielona na 8 rozdziałów, które mają w założeniu przybliżyć w przystępnej formie Czytelnikowi zagadnienia związane z tą grupą materiałów żarowytrzymałych, łącząc wiedzę teoretyczną z inżynierską. W poszczególnych rozdziałach przedstawiono zagadnienia dotyczące transformacji energetycznej polskiej energetyki według założeń „Polityki energetycznej Polski do 2040 r.” (PEP2040), rozwoju stali martenzytycznych, wpływu i oddziaływania pierwiastków stopowych na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne tych stopów. Ponadto w kolejnych rozdziałach przedstawiono i scharakteryzowano: mechanizmy umocnienia wpływające na właściwości tej grupy stali, mikrostrukturę tych materiałów w stanie dostawy, cząstki występujące w stanie dostawy oraz wydzielające się w czasie eksploatacji oraz ich wpływ na mikrostrukturę i właściwości. W pracy zawarto również pogłębiony opis problematyki związanej ze zmianami w mikrostrukturze stali martenzytycznych zachodzącymi w czasie eksploatacji oraz ich wpływu na właściwości mechaniczne tych materiałów.

Przedmiotowa monografia jest swoistym leksykonem zawierającym zarówno podstawowe, jak i specjalistyczne dane oraz informacje dotyczące wysokochromowych stali martenzytycznych. Z tego względu publikacja ta jest wartościową pozycją dla kadry inżynierskiej, jak również pracowników uczelni technicznych i instytutów badawczych zajmujących się tematyką metaloznawstwa stali dla energetyki. Opracowanie może też być pomocne dla studentów i doktorantów kierunków technicznych.

## HEAT RESISTANCE OF HIGH-CHROMIUM MARTENSITIC STEELS

### SUMMARY

The development of the Polish power sector, related to the departure from fossil fuel-based electricity generation toward renewable energy sources, does not rule out the presence of conventional power plants in the national energy balance. It results from the instability and periodicity of acquiring energy from renewable sources, as well as the delay in the realisation of the nuclear power plant construction in Poland. Therefore, ensuring energy security will remain with hard or brown coal-fired power plants, since coal reserves are not exhausted yet.

The creep-resistant martensitic steel of the 9-12%Cr type has been one of the basic construction materials used for building modern power units for work at supercritical parameters and modernising long-term operated power units working at subcritical parameters. In the Polish power sector, steels of this type have been used for almost 30 years, and the steel grades, such as: P/T91, P/T92, VM12, and sporadically P911, are widely applied. Ensuring long and safe service of power units above their design service time of 100 000 hours to provide continuous energy supply requires knowledge in the field of metal science and materials for power engineering. On the other hand, extending the service time of power units to 200 000 – 250 000 hours imposes action in the scope of diagnostics and requires competence to interpret and assess the extent of microstructure degradation in martensitic steel of the 9-12%Cr type.

The Polish literature lacks specialised publications strictly on this group of materials, which motivated the Author to prepare the monograph. The work herein complements and broadens the present state of knowledge connected with the processes of degradation of the microstructure and mechanical properties, and constitutes a database in the scope of metallurgical characteristics of creep-resistant martensitic steels.

The monograph reflects the current state of scientific knowledge in the field of high-chromium martensitic steels, with special attention paid to the stability of their microstructure and mechanical properties. The study was prepared on the basis of the original results of the Author's own research, as well as the latest national and international specialised literature data. The content of the monograph is richly illustrated with many images of microstructures obtained with the use of the optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM). It also contains graphs, diagrams, and tables to provide the Reader with a bet-

ter understanding of individual issues and the subject matter covered in the study.

The monograph is divided into 8 parts, which are intended to introduce, in an accessible form, the issues related to this group of creep-resistant materials, by combining theory and engineering knowledge. Individual chapters present the issues of energy transition in the Polish power sector according to the objectives of the Energy Policy of Poland until 2040 (EPP2040) project, the development of martensitic steel, and the impact and effect of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of these alloys. Additionally, subsequent chapters present the characteristics of the strengthening mechanisms influencing the properties of this steel group, the microstructure of these materials in the as-received state, the particles present in the as-received state, as well as those precipitating during operation, and their influence on the microstructure and properties. The study also includes a detailed description of issues related to the changes in the microstructure of martensitic steels during operation, and their impact on mechanical properties of these materials.

The monograph constitutes a kind of a lexicon containing the basic and specialised data, as well as the information on high-chromium martensitic steel. It is, therefore, a valuable publication for engineering and scientific staff working at technical universities and research institutes dealing with metal science of steels for power sector. The monograph can also be helpful for students and doctoral students of technical faculties.