

ENRX

# Zastosowania nagrzewania indukcyjnego

PROCESY, URZĄDZENIA, KORZYŚCI.



# Spis treści

|                                   |     |                                     |       |
|-----------------------------------|-----|-------------------------------------|-------|
| Wprowadzenie .....                | 3   | Kucie .....                         | 14    |
| Cewki indukcyjne .....            | 4-5 | Topienie .....                      | 15    |
| Hartowanie .....                  | 6   | Prostownie .....                    | 16    |
| Odpuszczanie .....                | 7   | Pasowanie .....                     | 17    |
| Lutowanie .....                   | 8   | Jak działa indukcja .....           | 19    |
| Spajanie .....                    | 9   | Wybór najlepszego rozwiązania ..... | 20-21 |
| Zgrzewanie .....                  | 10  | Rozwiązania na każdą potrzebę ..... | 22    |
| Wyżarzanie i normalizowanie ..... | 11  | Niektórzy z naszych klientów .....  | 23    |
| Nagrzewanie przedoperacyjne ..... | 12  | O firmie ENRX .....                 | 24    |
| Nagrzewanie pooperacyjne .....    | 13  |                                     |       |



# Wprowadzenie

Nagrzewanie indukcyjne jest szybkie, precyzyjne, czyste, energooszczędne, sterowalne i powtarzalne. Co więcej – w ENRX odkryliśmy, jak wykorzystać tę niezwykłą technologię w praktycznie każdej przemysłowej aplikacji grzewczej. ENRX – odpowiednia energia może zabrać Cię wszędzie.

ENRX to potęga w dziedzinie nagrzewania indukcyjnego, bezprzewodowego ładowania indukcyjnego oraz bezstykowego zasilania dla zaawansowanego przemysłu i mobilności. Nasza historia w branży nagrzewania indukcyjnego sięga lat 50. XX wieku. Od tamtej pory staliśmy się jednym z wiodących światowych dostawców systemów nagrzewania indukcyjnego. Do dziś zainstalowano ponad 30 000 systemów indukcyjnych, wspieranych przez naszą globalną sieć fabryk, laboratoriów, biur i przedstawicieli.

Od początku naszym celem było rozszerzenie korzyści płynących z technologii indukcyjnej na jak najszerszy zakres zastosowań przemysłowych. Doprowadziło nas to do pionierskiego wykorzystania indukcji do prostowania pokładów i grodzi statków oraz do zastosowania technologii półprzewodnikowej, dzięki której urządzenia indukcyjne stały się mniejsze, bezpieczniejsze, bardziej wszechstronne i niezawodne.

Dziś nasze rozwiązania wykorzystywane są do produkcji wszystkiego – od kranów po statki kosmiczne; od ogniw słonecznych po spychacze. A ponieważ wiele z naszych rozwiązań jest wystarczająco kompaktowych, by być mobilnymi, urządzenia ENRX można znaleźć również na platformach wiertniczych, farmach wiatrowych i w elektrowniach.

Na kolejnych stronach znajduje się krótki przegląd głównych obszarów zastosowań naszych urządzeń. Oczywiście taki dokument nie jest w stanie zawrzeć wszystkiego. Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej – o nas, lub o technicznych i handlowych korzyściach technologii indukcyjnej – zapraszamy do kontaktu. Dane kontaktowe znajdziesz na naszej stronie internetowej: [www.enrx.com](http://www.enrx.com).

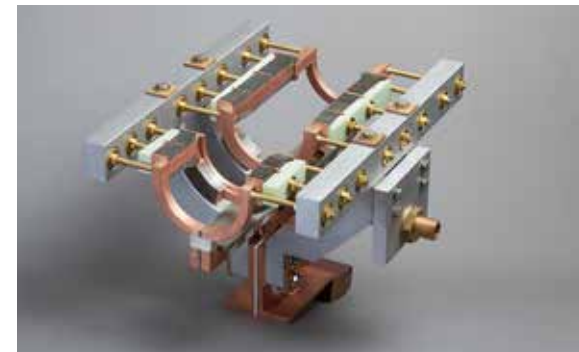
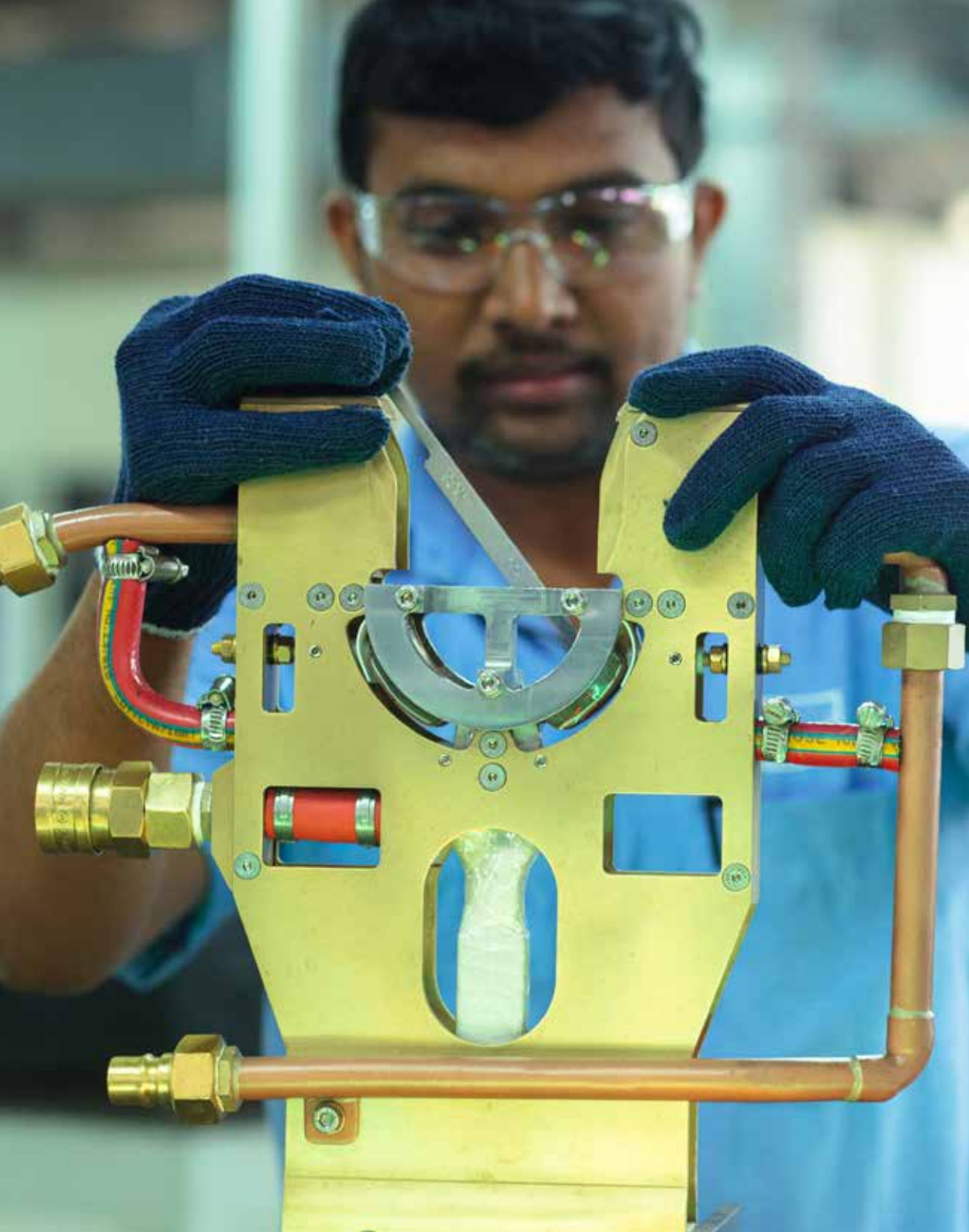


# Cewki indukcyjne

Cewka indukcyjna, znana również jako „induktor”, jest kluczowym elementem procesu nagrzewania indukcyjnego. Na skuteczność cewki wpływa wiele czynników: staranność wykonania, jakość użytych materiałów, kształt cewki, jej konserwacja, prawidłowe dopasowanie do źródła zasilania itd. Dlatego tak ważne jest, aby korzystać wyłącznie z profesjonalnie wykonanych i serwisowanych cewek – najlepiej od tych samych specjalistów, którzy zbudowali Twój system indukcyjny.

ENRX posiada prawdopodobnie najbardziej zaawansowane na świecie programy wytwarzania i serwisowania cewek. Projektujemy i wykonujemy cewki dostosowane do wszystkich materiałów i zastosowań, a ponadto oferujemy rozwiązania z zakresu konserwacji prewencyjnej oraz renowacji cewek. Dzięki tym inicjatywom masz pewność, że zawsze używasz odpowiednich cewek i że ich żywotność jest maksymalizowana.

Szczegóły techniczne i konstrukcyjne każdej pojedynczej cewki ENRX są zapisywane w stale aktualizowanej bazie danych. Dzięki temu jesteśmy w stanie szybko i sprawnie wymienić lub naprawić dowolną cewkę, w dowolnym miejscu – bez kompromisów w zakresie jakości czy wydajności.



### **Cewki ENRX**

Dzięki naszej wewnętrznej wiedzy i zapleczu technologicznemu w zakresie budowy cewek jesteśmy w stanie tworzyć cewki na zamówienie, praktycznie do każdego specjalistycznego zastosowania. Jak pokazuje zdjęcie po lewej stronie, mamy również doświadczenie w konstruowaniu cewek o wyjątkowych wymiarach i zastosowaniu.

# Hartowanie

## Na czym polega hartowanie indukcyjne?

Hartowanie indukcyjne zwiększa twardość i trwałość stali poprzez jej indukcyjne nagrzewanie i następnie gwałtowne chłodzenie (hartowanie). Indukcja to bezstykowy proces, w ramach którego generowany jest intensywny, kontrolowany punktowy strumień ciepła. Dzięki zastosowaniu indukcji nagrzewana jest tylko część wymagająca hartowania. Optymalny dobór parametrów procesu, takich jak cykl nagrzewania, częstotliwość, konstrukcja cewki czy rodzaj medium hartowania, pozwala uzyskać najlepsze możliwe rezultaty.

## Jakie przynosi korzyści?

Hartowanie indukcyjne zwiększa wydajność. To niezwykle szybki i powtarzalny proces, który można z powodzeniem stosować na liniach produkcyjnych. Jest czysty, bezpieczny i kompaktowy. Elementy zwykle hartuje się oddzielnie. Dzięki temu każdy element jest zahartowany zgodnie z osobnymi, precyzyjnymi specyfikacjami. Zoptymalizowane parametry procesu dla każdego elementu można przechowywać na naszych serwerach. Ponieważ nagrzewany jest tylko ten element, który ma zostać zahartowany, hartowanie indukcyjne jest niezwykle energooszczędne.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Hartowaniu indukcyjnemu poddaje się różne elementy, przykładowo koła zębate, wały korbowe, wały krzywkowe, wały napędowe, wały zdawcze, drążki skrętne, ramiona wahaczy, przeguby homokinetyczne, kielichy, zawory, wiertnice, pierścienie obrotowe czy bieżnie wewnętrzne i zewnętrzne.

## Jakie urządzenia są dostępne?

HardLine to rodzina systemów hartowania ENRX, obejmująca urządzenia pionowe, poziome, stoły obrotowe oraz bezśrodkowe. Sercem naszych rozwiązań do hartowania są generatory Sinac, dostępne z mocami wyjściowymi i częstotliwościami w zakresie od 5–2000 kW i 0,3–350 kHz. ENRX może również dostarczać kompletne linie hartownicze zawierające urządzenia do obsługi procesu nie tylko nagrzewania, ale również chłodzenia, mycia, prostowania oraz zapewnić dalszy rozwój procesów, a także programy serwisowe i wsparcia.



*Rozwiązania do hartowania ENRX są wykorzystywane przez wielu czołowych producentów samochodów na świecie oraz ich dostawców. Wysoka wydajność, krótkie czasy realizacji, zapewniona jakość oraz bezpieczeństwo pracowników i środowiska to kluczowe powody, dla których wybierają nasze rozwiązania.*



*Rozwiązanie ENRX jest wykorzystywane do hartowania ogromnych pierścieni obrotowych stosowanych w turbinach wiatrowych.*

# Odpuszczanie

## Na czym polega odpuszczanie indukcyjne?

Odpuszczanie indukcyjne to proces nagrzewania, który optymalizuje właściwości mechaniczne wcześniej zahartowanych elementów, takie jak udarność (odporność na złamanie) i plastyczność.

## Jakie przynosi korzyści?

Główną zaletą odpuszczania indukcyjnego w porównaniu do odpuszczania w piecu jest szybkość. Indukcja może odpuszczać elementy w ciągu minut, a czasem nawet sekund, podczas gdy proces w piecu zajmuje zazwyczaj kilka godzin. Odpuszczanie indukcyjne doskonale nadaje się do integracji liniowej, co pozwala na ograniczenie liczby urządzeń w procesie produkcyjnym. Ułatwia również kontrolę jakości każdego pojedynczego elementu. Zintegrowane stacje odpuszczania indukcyjnego pozwalają także zaoszczędzić cenną przestrzeń na hali produkcyjnej.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Odpuszczanie indukcyjne jest powszechnie stosowane w przemyśle motoryzacyjnym do odpuszczania powierzchniowo hartowanych elementów, takich jak wały, pręty i przeguby. Proces ten wykorzystywany jest również w przemyśle rur i przewodów do odpuszczania elementów zahartowanych w całej objętości. Odpuszczanie

indukcyjne może być realizowane bezpośrednio na stanowisku hartowania lub na jednym bądź kilku oddzielnych stanowiskach odpuszczania.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Kompletne systemy HardLine są idealnym rozwiązaniem dla wielu zastosowań związanych z odpuszczaniem. Ich największą zaletą jest możliwość realizacji zarówno hartowania, jak i odpuszczania w ramach jednej maszyny. Przekłada się to na znaczące oszczędności czasu i kosztów oraz mniejsze zapotrzebowanie na przestrzeń w porównaniu do technologii alternatywnych. W przypadku pieców, przykładowo, jeden piec służy do hartowania, a drugi – oddzielny – do odpuszczania. Do zastosowań odpuszczania wykorzystywane są również samodzielne systemy ENRX Sinac i Minac.



*Wał poruszający się z dużą prędkością przez cewkę indukcyjną. Odpuszczanie indukcyjne nie ma sobie równych pod względem szybkości i precyzji.*



*Kompletny system odpuszczania ENRX zazwyczaj obejmuje źródła zasilania, cewki, mechanizmy podające oraz oprogramowanie sterujące. Dostępne są również opcje szkolenia, konserwacji i serwisu.*

# Lutowanie

## Na czym polega lutowanie indukcyjne?

Lutowanie to proces łączenia przylegających elementów metalowych przy użyciu spoiwa lutowniczego (oraz zwykle czynnika przeciwutleniającego zwanego topnikiem), bez topienia materiału bazowego. Zamiast tego ciepło indukowane do materiału bazowego topi spoiwo, które następnie wnika pomiędzy elementy bazowe dzięki działaniu sił kapilarnych.

## Jakie przynosi korzyści?

Lutowanie indukcyjne pozwala łączyć szeroką gamę metali, nawet żelaznych z nieżelaznymi. Jest precyzyjne i szybkie. Podczas procesu nagrzewane są wyłącznie wąsko zdefiniowane obszary, dzięki czemu sąsiadujące materiały pozostają nietknięte. Prawidłowo wykonane połączenia lutowane są mocne, szczelne i odporne na korozję. Dodatkowo są bardzo estetyczne i zazwyczaj nie wymagają dalszej obróbki, szlifowania ani wykańczania. Lutowanie indukcyjne doskonale nadaje się do integracji z liniami produkcyjnymi.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Systemy do lutowania ENRX mogą być wykorzystywane praktycznie w każdym zastosowaniu wymagającym lutowania. Obecnie nasze systemy są powszechnie używane w przemyśle elektrotechnicznym do lutowania komponentów generatorów i transformatorów, takich jak pręty, przewody, pierścienie, druty oraz pierścienie SC. W przemyśle motoryzacyjnym stosowane są do lutowania przewodów paliwowych oraz części układów klimatyzacji i hamulcowych. Przemysł lotniczy wykorzystuje indukcję do lutowania łopatek wentylatorów, łopatek do obudów oraz elementów układów paliwowych i hydraulicznych. W przemyśle AGD lutowane są komponenty sprężarek, grzałek oraz armatury łazienkowej.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Nasze rozwiązania do lutowania zazwyczaj opierają się na mobilnych systemach ENRX Minac lub stacjonarnych systemach Sinac. Obie linie produktowe oferują szeroki zakres mocy wyjściowej i częstotliwości, automatyczne dopasowanie oraz kompatybilność z robotami przemysłowymi.



Lutowanie z użyciem systemu ENRX. Zwróć uwagę, że strefa nagrzewania jest w pełni widoczna – co jest praktycznie niemożliwe w przypadku lutowania płomieniowego.



System ENRX Minac lutuje uzwojenia generatora. Dzięki mobilności Minaca i ręcznemu transformatorowi operatorzy mają dostęp do trudno dostępnych miejsc.

# Spajanie

## Na czym polega spajanie indukcyjne?

Spajanie indukcyjne polega na nagrzewaniu klejów za pomocą indukcji w celu ich utwardzenia. Indukcja jest obecnie główną metodą utwardzania klejów i uszczelnaczy stosowanych w elementach samochodowych, takich jak drzwi, maski, błotniki, lusterka boczne czy magnesy. Technologia ta znajduje również zastosowanie w utwardzaniu klejów w połączeniach kompozyt-metal oraz włókno węglowe-włókno węglowe. W przemyśle motoryzacyjnym stosuje się obecnie dwie główne metody spajania: spajanie punktowe, podczas którego nagrzewane są tylko niewielkie fragmenty łączonych materiałów, oraz pełne spajanie pierścieniowe, w którym nagrzewane jest całe połączenie.

## Jakie przynosi korzyści?

Systemy ENRX do spajania punktowego zapewniają precyzyjne doprowadzenie energii dla każdego panelu. Niewielki wpływ cieplny ogranicza całkowite wydłużenie elementu. Podczas spajania paneli stalowych nie jest wymagane ich unieruchamianie w zaciskach, co redukuje ryzyko powstawania naprężeń i odkształceń. Każdy panel jest elektronicznie monitorowany, co zapewnia, że odchylenia doprowadzanej energii mieszczą się w określonych tolerancjach. Przy pełnym spajaniu pierścieniowym stosowana jest uniwersalna cewka, która ogranicza konieczność używania wielu cewek dodatkowych.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Metoda spajania indukcyjnego jest preferowana w przemyśle motoryzacyjnym. Indukcja, powszechnie stosowana do łączenia blach stalowych i aluminiowych, znajduje coraz szersze zastosowanie w spajaniu nowoczesnych lekkich materiałów kompozytowych i włókien węglowych. W przemyśle elektrotechnicznym indukcja wykorzystywana jest do spajania zakrzywionych splotek, klocków hamulcowych oraz magnesów. W sektorze AGD znajduje zastosowanie w spajaniu przewodnic, szyn, półek oraz paneli.

## Jakie urządzenia są dostępne?

ENRX jest największym na świecie specjalistą w dziedzinie utwardzania indukcyjnego. To właśnie nasza firma opracowała technologię indukcyjnego utwardzania punktowego. Stworzyliśmy również proces U-Coil® – najbardziej zaawansowany system do spajania krawędziowego dostępny na rynku. Jest to system samonastawny i w 100% powtarzalny, który zapewnia jednolite nagrzewanie przy minimalnym ryzyku odkształceń. Nasza oferta obejmuje zarówno pojedyncze elementy systemów – takie jak źródła zasilania czy cewki – jak i kompletne, w pełni wspierane rozwiązania „pod klucz”.



Dwa z naszych systemów do spajania indukcyjnego. Na górnym zdjęciu przedstawiono rozwiązanie do pełnego spajania pierścieniowego. Dolne zdjęcie pokazuje spajanie punktowe – metodę opracowaną przez ENRX.

# Zgrzewanie

## Na czym polega zgrzewanie indukcyjne?

Podczas zgrzewania indukcyjnego ciepło jest generowane w obrabianym elemencie metodą elektromagnetycznej indukcji. Szybkość i precyzja tej technologii sprawiają, że zgrzewanie indukcyjne doskonale nadaje się do wzdłużnego łączenia rur i przewodów rurowych. W trakcie procesu rury przesuwają się z dużą prędkością przez cewkę indukcyjną. Ich krawędzie są jednocześnie nagrzewane, a następnie dociskane do siebie, tworząc wzdłużny szew spawalniczy. Zgrzewanie indukcyjne jest szczególnie polecane do przemysłowej produkcji seryjnej. Zgrzewarki indukcyjne mogą być również wyposażone w głowice stykowe, co pozwala przekształcić je w systemy dwufunkcyjne.

## Jakie przynosi korzyści?

Zautomatyzowane indukcyjne zgrzewanie wzdłużne to proces niezawodny i wyjątkowo wydajny. Niskie zużycie energii oraz wysoka efektywność systemów zgrzewających ENRX pozwalają znacząco ograniczyć koszty operacyjne. Precyzyjna kontrola i powtarzalność procesu minimalizują ilość odpadów. Nasze systemy są także bardzo elastyczne – funkcja ciągłego elektronicznego dopasowania obciążenia zapewnia pełną moc wyjściową dla różnych rozmiarów rur, umożliwiając uzyskanie

maksymalnej prędkości zgrzewania dla każdej średnicy. Dodatkowo, dzięki kompaktowej konstrukcji, urządzenia łatwo integrują się z nowymi oraz już istniejącymi liniami produkcyjnymi.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Zgrzewanie indukcyjne znajduje zastosowanie w przemyśle rur i przewodów do wzdłużnego łączenia rur cienko- i grubościennych wykonanych ze stali nierdzewnej (zarówno magnetycznej, jak i niemagnetycznej), aluminium, stali niskowęglowej oraz stali wysokowytrzymałej niskostopowej (HSLA), a także wielu innych materiałów przewodzących.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Weldac to rodzina sprawdzonych, wysokowydajnych zgrzewarek tranzystorowych firmy ENRX, przeznaczonych do zgrzewania rur i przewodów. Systemy Weldac obejmują szeroki zakres mocy – od 50 kW do 2200 kW – oraz częstotliwości od 60 do 500 kHz. Zastosowanie technologii inwerterów z tranzystorami IGBT lub węglika krzemu (SiC) zapewnia imponującą sprawność sięgającą nawet 95% od zasilania sieciowego do samej cewki zgrzewającej, co pozwala ograniczyć zużycie energii i zapotrzebowanie na wodę chłodzącą. Odporna na zwarcia konstrukcja gwarantuje bezpieczną i niezawodną pracę.



*Weldac może być wyposażony w różne cewki indukcyjne, które są bardzo łatwe do wymiany.*

# Wyżarzanie i normalizowanie

## Na czym polega wyżarzanie indukcyjne?

Wyżarzanie indukcyjne to proces nagrzewania metali, które wcześniej zostały poddane intensywnej obróbce. Proces ten zmniejsza twardość, poprawia plastyczność (elastyczność) i redukuje naprężenia wewnętrzne. Wyżarzanie pełne obejmuje cały element obrabiany cieplnie. W przypadku wyżarzania spoinowego (często precyzyjniej określanego jako normalizowanie szwu) obróbce poddawana jest wyłącznie strefa wpływu ciepła powstała w wyniku procesu spawania lub zgrzewania.

## Jakie przynosi korzyści?

Wyżarzanie i normalizowanie indukcyjne zapewnia szybki, niezawodny i lokalny dopływ ciepła, precyzyjną kontrolę temperatury oraz łatwą integrację z linią produkcyjną. Dzięki zaawansowanemu systemowi sterowania każdy element jest obrabiany zgodnie z dokładnie określoną specyfikacją, a cały proces jest stale monitorowany i rejestrowany.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Wyżarzanie i normalizowanie indukcyjne znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle rur i przewodów. Proces ten stosowany jest również do wyżarzania drutów, taśm stalowych, ostrzy noży oraz rur miedzianych. W rzeczywistości indukcja doskonale sprawdza się niemal w każdym zastosowaniu wymagającym procesu wyżarzania.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Każdy system wyżarzania ENRX jest projektowany indywidualnie, zgodnie z określonymi wymaganiami klienta. Serce każdego systemu stanowi generator indukcyjny ENRX Sinac, który zapewnia automatyczne dopasowanie obciążenia oraz stały współczynnik mocy na wszystkich poziomach zasilania. Większość dostarczanych systemów obejmuje również indywidualnie zaprojektowane rozwiązania w zakresie podawania elementów oraz sterowania.



*Ruch orbitalny cewek w tym systemie normalizacji ENRX umożliwia precyzyjne śledzenie spoiny. Normalizacja jest niezbędna dla rur stosowanych w przemyśle naftowym i gazowym.*



*System sterowania pomaga sprostać wyzwaniom związanym z normalizacją spoin w nowej generacji rur zgodnych ze standardem API.*

# Nagrzewanie przedoperacyjne

## Na czym polega nagrzewanie przedoperacyjne?

Nagrzewanie przedoperacyjne to proces, w którym materiały lub elementy są nagrzewane indukcyjnie przed dalszą obróbką. Powody zastosowania takiego nagrzewania są różne. W przemyśle kablowym i drucianym rdzeń kabla jest nagrzewany przed wytłaczaniem izolacji. Taśmy stalowe są podgrzewane przed trawieniem i cynkowaniem. Indukcja służy również do zmiękczenia metalu przed gięciem oraz do przygotowywania rur i przewodów do zgrzewania. Mobilne systemy do nagrzewania przedoperacyjnego ułatwiają wykonywanie napraw zespołów łożyskowych na miejscu, bez konieczności ich demontażu.

## Jakie przynosi korzyści?

ESystemy ENRX do nagrzewania przedoperacyjnego są wyjątkowo energooszczędne, co przekłada się na znaczną redukcję zużycia energii. W przypadku nagrzewania taśm stalowych, drutów i kabli zastosowanie prostowników diodowych zapewnia stały współczynnik mocy na poziomie 0,95, eliminując tym samym koszty związane z mocą bierną. Krótkie czasy cykli oraz funkcja ciągłego automatycznego dopasowywania sprawiają, że jedna cewka może być używana w szerokim zakresie zastosowań. Systemy do nagrzewania przedoperacyjnego mają kompaktową konstrukcję i można je łatwo zintegrować z istniejącymi lub planowanymi liniami produkcyjnymi.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Nagrzewanie przedoperacyjne znajduje zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, maszynowym, lotniczym, elektrotechnicznym, AGD oraz stoczniowym. Głównym obszarem zastosowania jest wstępne nagrzewanie przed procesem zgrzewania. Nasze mobilne systemy Minac są wykorzystywane w sektorze morskim do nagrzewania elementów przed spajaniem bezpośrednio na miejscu. Generatory Minac są również regularnie wykorzystywane podczas prac serwisowych i naprawczych na platformach wiertniczych oraz lotniskach.

## Jakie urządzenia są dostępne?

ENRX projektuje i dostarcza specjalistyczne systemy do nagrzewania przedoperacyjnego taśm stalowych, drutów i kabli. Systemy te najczęściej wykorzystują urządzenia serii Sinac i mogą mieć układ cewek w konfiguracji poziomej lub pionowej. Istnieje również możliwość zamówienia układów w pełni dostosowanych do potrzeb klienta. Do nagrzewania na miejscu stosowane są kompaktowe, mobilne jednostki ENRX Minac.



*Średnioczęstotliwościowy system ENRX Sinac wstępnie nagrzewa bezszwową rurę offshore przed nałożeniem powłoki.*



*Brak pyłu, brak oparów, brak hałasu. Nagrzewnica ENRX z łatwością radzi sobie z trzpieniami anodowymi o średnicy 170 milimetrów.*

# Nagrzewanie pooperacyjne

## Na czym polega nagrzewanie pooperacyjne?

Nagrzewanie pooperacyjne to każdy proces, w którym indukcja jest wykorzystywana do nagrzewania elementów lub materiałów, które wcześniej przeszły istotną obróbkę. Przykładowo metalowe komponenty i spoiny muszą być często poddawane nagrzewaniu po zgrzewaniu lub spawaniu, aby zredukować naprężenia wewnętrzne powstałe w wyniku wcześniejszych procesów. Nagrzewanie pooperacyjne znajduje również zastosowanie przy nagrzewaniu rdzeni kabli po wytłaczaniu izolacji.

## Jakie przynosi korzyści?

Szybkość, wszechstronność, precyzja i pełna kontrolowalność sprawiają, że indukcja jest idealnym rozwiązaniem dla wielu zadań związanych z nagrzewaniem pooperacyjnym. Przykładowo, nasze systemy do nagrzewania pooperacyjnego kabli i drutów kierują zlokalizowany strumień ciepła bezpośrednio na rdzeń kabla. Powoduje to niezwykle szybkie usieciowienie polimerów w izolacji, jednocześnie minimalizując ryzyko deformacji kabli. Mobilne systemy Minac umożliwiają bezpłomieniowe nagrzewanie w miejscach takich jak morskie platformy wiertnicze do wydobywania ropy i gazu.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Nasze rozwiązania do nagrzewania pooperacyjnego są głównie stosowane w produkcji kabli i drutów, rur i przewodów rurowych, a także w przemyśle elektrotechnicznym i lotniczym. W branży motoryzacyjnej technologia ta wykorzystywana jest do nagrzewania pooperacyjnego pierścieni, wałów, złączy i przekładni oraz do utwardzania osłon tarcz hamulcowych wykonanych z materiałów odpornych na korozję. Indukcja znajduje również zastosowanie w procesach lutowania rozpliwowego z użyciem cyny.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Stacjonarne systemy ENRX Sinac – dostępne z szeroką gamą opcji, funkcji sterowania i rozwiązań podawania materiału – są szeroko stosowane w aplikacjach o dużej wydajności, takich jak nagrzewanie kabli i drutów. Mobilne systemy Minac umożliwiają wykorzystanie indukcji w trudno dostępnych lokalizacjach, takich jak morskie platformy wiertnicze, farmy wiatrowe czy elektrownie.



*Nagrzewanie pooperacyjne na miejscu dla branży naftowo-gazowej to dynamicznie rozwijający się obszar zastosowań technologii ENRX.*

# Kucie

## Na czym polega kucie indukcyjne?

W procesie kucia indukcyjnego metalowe elementy są nagrzewane za pomocą indukcji przed ich kształtowaniem lub odkształcaniem przy użyciu pras lub młotów.

## Jakie przynosi korzyści?

Kucie indukcyjne ma kilka istotnych zalet w porównaniu do kucia z użyciem pieców. Szybkość i precyzyjna kontrola nad procesem zapewniają wysoką wydajność. Indukcja ogranicza utlenianie powierzchni, pomagając zachować integralność metalurgiczną obrabianego materiału. Dzięki punktowemu i lokalnemu nagrzewaniu możliwe jest znaczne ograniczenie zużycia energii. Stałość i powtarzalność procesu sprawiają, że kucie indukcyjne doskonale nadaje się do integracji z zautomatyzowanymi liniami produkcyjnymi.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Kucie indukcyjne jest szeroko stosowane w przemyśle metalurgicznym i odlewniczym do nagrzewania kęsów, prętów oraz końcówek prętów. Do najczęściej obrabianych metali z użyciem systemów ENRX należą aluminium, mosiądz, miedź, stal oraz stal nierdzewna.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Do zastosowań związanych z kuciem wykorzystywane są trzy linie produktowe ENRX: HeatLine, Sinac i Minac. Systemy HeatLine obejmują różne modele zaprojektowane specjalnie do intensywnego nagrzewania kęsów (ciętek), prętów, końcówek prętów, haków, śrub oraz elementów wstępnie uformowanych.



Rozgrzany kęs stalowy w stanowisku kuźniczym ENRX.



Pionowa nagrzewnica częściowa ENRX. Systemy te mogą być wyposażone w dowolną liczbę cewek indukcyjnych i są dostępne w wersjach z tranzystorami IGBT lub tyrystorami.

# Topienie

## Na czym polega topienie indukcyjne?

W procesie topienia indukcyjnego metal jest stapiany do postaci ciekłej w tyglu pieca indukcyjnego. Stopiony metal jest następnie przelewany z tygla – zazwyczaj do formy odlewniczej.

## Jakie przynosi korzyści?

Topienie indukcyjne to proces niezwykle szybki, czysty i jednorodny. Prawidłowo przeprowadzony nie wymaga etapu oczyszczania, który jest niezbędny w przypadku innych metod. Jednolite ciepło wytwarzane indukcyjnie w metalu przyczynia się do uzyskania wysokiej jakości produktu końcowego. Systemy ENRX do topienia oferują zaawansowane funkcje ergonomiczne, które nie tylko poprawiają bezpieczeństwo pracy, ale również zwiększają produktywność, czyniąc cały proces szybszym i wygodniejszym.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Systemy topienia indukcyjnego ENRX są wykorzystywane w odlewniach, na uniwersytetach, w laboratoriach i ośrodkach badawczych. Umożliwiają topienie szerokiego zakresu materiałów – od metali żelaznych i nieżelaznych po materiały jądrowe oraz stopy stosowane w medycynie i stomatologii.

## Jakie urządzenia są dostępne?

ENRX oferuje pięć różnych typów pieców, dostosowanych do szerokiego zakresu potrzeb w zakresie topienia: piece uchylne z jedną osią, piece uchylne z dwiema osiami, piece z ruchomą cewką, piece przewracalne (rollover) oraz piece laboratoryjne.



*Stopiony mosiądz w piecu do topienia z ruchomą cewką. Prefabrykowany (gliniano-grafitowy) tygiel pozostaje nieruchomy przez cały cykl topienia. Zamiast tego, cewka porusza się wokół tygla, nie dotykając go. Specjalne tygla – pełniące jednocześnie funkcję kadzi odlewniczych – eliminują ryzyko zanieczyszczenia stopów.*



*Jednoosiowy piec uchylny ENRX. Systemy tego typu mogą topić metale żelazne i nieżelazne (stopy miedzi i aluminium). Dostępnych jest kilka modeli dostosowanych do różnych potrzeb w zakresie pojemności. Piece oferowane są zarówno z łatwymi do wymiany prefabrykowanymi tyglami, jak i z wykładzinami ubijanymi.*

# Prostowanie

## Na czym polega prostowanie indukcyjne?

Prostowanie indukcyjne polega na wykorzystaniu cewki indukcyjnej do generowania zlokalizowanego ciepła w precyzyjnie określonych strefach nagrzewania. W miarę chłodzenia się tych stref następuje ich skurcz, który „ściąga” metal zapewniając płaskość powierzchni lub w przypadku konstrukcji proste kształty.

## Jakie przynosi korzyści?

Prostowanie indukcyjne jest niezwykle szybkie. Podczas prostowania pokładów i grodzi okrętowych nasi klienci często zgłaszają oszczędności czasu sięgające co najmniej 50% w porównaniu do tradycyjnych metod. W przypadku dużych jednostek prostowanie bez użycia indukcji może pochłonąć dziesiątki tysięcy roboczogodzin. Wysoka precyzja nagrzewania indukcyjnego znacząco zwiększa produktywność. Na przykład podczas prostowania podwozia samochodów ciężarowych nie ma potrzeby demontażu elementów wrażliwych na temperaturę. Indukcja działa tak dokładnie, że nie wpływa na sąsiednie materiały.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Nagrzewanie indukcyjne jest szeroko stosowane do prostowania pokładów i grodzi statków. W budownictwie technologia ta znajduje zastosowanie przy prostowaniu belek. Coraz częściej wykorzystuje się ją również w produkcji i naprawach lokomotyw, taboru kolejowego oraz pojazdów ciężarowych.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Systemy ENRX Terac zostały zaprojektowane specjalnie z myślą o prostowaniu elementów kadłubów statków. Każdy system Terac zawiera przekształtnik częstotliwości, układ chłodzenia, panel operatora oraz jednostkę nagrzewania pokładu. Do prostowania grodzi jednostka pokładowa zastępowana jest przez ręczną głowicę indukcyjną. W zadaniach prostowania niezwiązanych z przemysłem stoczniowym wykorzystywane są mobilne nagrzewnice Minac.



*System Terac sprawdza się również dobrze przy prostowaniu grodzi i innych pionowych konstrukcji, jak i przy nagrzewaniu pokładów.*



*System ENRX Terac gwarantuje bezpieczną pracę – przegrzanie stali magnetycznej jest po prostu niemożliwe. Co więcej, Terac nie generuje toksycznych gazów z źródła ciepła ani hałasu akustycznego.*

# Pasowanie

## Na czym polega pasowanie indukcyjne?

Pasowanie indukcyjne (skurczowe) polega na nagrzewaniu metalowych części w celu ich rozszerzenia i dopasowania do innych elementów. Po schłodzeniu powstaje trwałe, ciasne połączenie. Technologię stosuje się również do luzowania połączeń przed demontażem.

## Jakie przynosi korzyści?

Proces jest szybki, dokładny i w pełni kontrolowalny. Ciepło powstaje tylko tam, gdzie jest potrzebne, co minimalizuje straty energii i ryzyko deformacji. Brak otwartego płomienia umożliwia stosowanie indukcji nawet w środowiskach wrażliwych, jak zakłady petrochemiczne.

## Gdzie jest wykorzystywane?

Technologia sprawdza się m.in. w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i kolejowym. Używana jest też do montażu i demontażu dużych elementów na statkach, platformach offshore oraz w turbinach i generatorach.

## Jakie urządzenia są dostępne?

Oferujemy wszechstronne rozwiązania do pasowania indukcyjnego w wersji mobilnej i stacjonarnej. Systemy Minac i Ventac zapewniają pełną elastyczność w operacjach prowadzonych w terenie. Dla zastosowań stacjonarnych oferujemy system Sinac, który można dostosować do konkretnych potrzeb, zapewniając powtarzalne i precyzyjne nagrzewanie dla różnych zastosowań pasowania skurczowego.



*Powietrznie chłodzony system nagrzewania indukcyjnego Ventac doskonale sprawdza się w zastosowaniach do pasowania skurczowego.*



*Przykład pasowania skurczowego – urządzenia ENRX umożliwiają demontaż dużych nakrętek i śrub w ułamku czasu potrzebnego przy tradycyjnym nagrzewaniu gazowym lub oporowym.*



Nie nagrzewa się. Nie dotyka  
elementu. Więc jak to możliwe,  
że cewka rozgrzewa metal do  
czerwoności w zaledwie kilka  
sekund?

# Jak działa indukcja

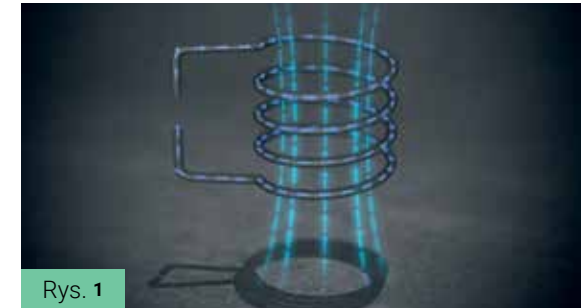
Indukcja to bezpłomieniowa, bezkontaktowa metoda nagrzewania, która pozwala w ciągu kilku sekund rozgrzać precyzyjnie określoną część metalowego pręta do czerwoności. Jak to możliwe?

Prąd przemienny przepływający przez cewkę generuje pole magnetyczne. Siła tego pola zmienia się proporcjonalnie do natężenia prądu przepływającego przez cewkę. Pole jest skoncentrowane w obszarze otoczonym przez cewkę, a jego wartość zależy od natężenia prądu oraz liczby zwojów cewki. (Rys. 1)

W każdym obiekcie przewodzącym prąd elektryczny – np. metalowym pręcie – umieszczonym wewnątrz cewki, indukowane są prądy wirowe. Zjawisko oporu elektrycznego powoduje powstawanie ciepła w miejscach, gdzie przepływają te prądy wirowe. Zwiększenie siły pola magnetycznego wzmacnia efekt nagrzewania. Całkowity efekt nagrzewania zależy jednak również od właściwości magnetycznych nagrzewanego obiektu oraz odległości między nim a cewką. (Rys. 2)  
Prądy wirowe generują własne pole magnetyczne, które przeciwdziała pierwotnemu polu

wytwarzanemu przez cewkę. To przeciwstawienie uniemożliwia natychmiastowe przeniknięcie pierwotnego pola do wnętrza obiektu otoczonego przez cewkę. Prądy wirowe są najsilniejsze w pobliżu powierzchni nagrzewanego obiektu, ale ich natężenie znacznie spada w kierunku jego środka. (Rys. 3)

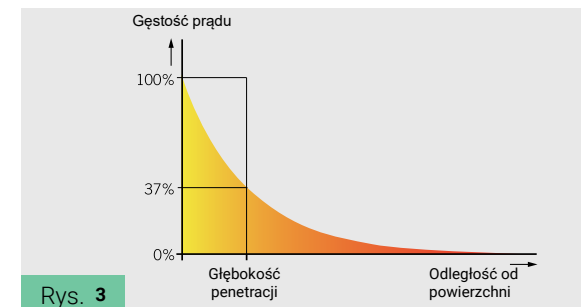
Odległość od powierzchni nagrzewanego obiektu do miejsca, w którym gęstość prądu spada do 37%, to tzw. głębokość penetracji. Głębokość ta zwiększa się wraz ze spadkiem częstotliwości. Dlatego tak ważne jest dobranie odpowiedniej częstotliwości, aby osiągnąć pożądaną głębokość nagrzewania.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

*Inteligentniejsze ciepło – indukcja wykorzystuje podstawowe prawa elektromagnetyzmu do generowania kontrolowanego ciepła bezpośrednio w obrabianym elemencie. Cewka nigdy nie dotyka obrabianego elementu.*

# Wybór najlepszego rozwiązania

Jak bardzo wydajne jest nagrzewanie indukcyjne? Jakie częstotliwości najlepiej pasują do Twoich zastosowań? Ten przewodnik pomoże Ci zorientować się w możliwościach technologii indukcyjnej. Aby dowiedzieć się więcej, skontaktuj się z najbliższym biurem lub przedstawicielem ENRX.

## Ile energii potrzebujesz?

Zanim przystąpisz do obliczania zapotrzebowania na energię, musisz znać:

- Rodzaj materiału (stal, miedź, mosiądz itd.)
- Wymiary elementu obrabianego
- Pożądaną wydajność godzinową
- Docelową temperaturę końcową

## Oblicz swoje zapotrzebowanie na energię

**Krok 1** Najpierw określ współczynnik pochłaniania energii przez dany materiał. Na rysunku 1 przedstawiono wartości dla niektórych powszechnie stosowanych materiałów.

**Krok 2** Pomnóż współczynnik pochłaniania energii przez pożądaną wydajność godzinową (kg/godz.). Wynik to Twoje specyficzne zapotrzebowanie na moc.

**Krok 3** Teraz możesz określić całkowitą sprawność systemu indukcyjnego. Typowe poziomy sprawności dla różnych materiałów przedstawiono na rysunku 2. Podziel wcześniej obliczone specyficzne zapotrzebowanie na moc przez sprawność urządzenia – uzyskasz całkowite zapotrzebowanie na moc. This gives you the total power requirement.

## Obliczanie mocy

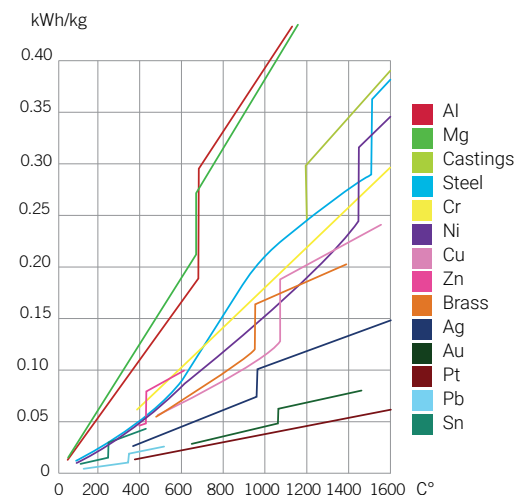
### Przykład: Nagrzewanie stali magnetycznej

- Waga 0,5 kg
- Temp od 20 °C do 1200 °C (68 °F – 2192 °F)
- Czas: 60 sekund

**Tabela: Przy temp. 1200 °C => P<sub>xt</sub> = 0.250 kWh/kgm**

$$\text{Oblicz moc } P_{wp} = \frac{0.25(\text{kWh/kg}) \times 0.5(\text{kg}) \times 3600\text{s}}{60 \text{ sec}} = 7.5\text{kW}$$

$$P_{\text{generator}} = \frac{7.5 \text{ k}}{n} = \frac{7.5 \text{ k}}{0.7} = 10.7 \text{ kW}$$



Rys. 1 Współczynniki pochłaniania energii dla różnych materiałów.

| Materiał        | Temp. końcowa °C | Sprawność |
|-----------------|------------------|-----------|
| Stal węglowa    | 1250             | 0.65      |
| Stal węglowa    | 700              | 0.80      |
| Stal nierdzewna | 1250             | 0.60      |
| Mosiądz         | 800              | 0.50      |
| Miedź           | 900              | 0.40      |
| Aluminium       | 500              | 0.40      |

Rys. 2. Typowe poziomy sprawności nagrzewnic indukcyjnych. Powyższe wartości zakładają zastosowanie otaczających cewek wielozwojowych. Różne konstrukcje cewek mogą wpływać na poziom sprawności. Na przykład w przypadku miedzi, ze względu na typowo stosowany rodzaj cewki, sprawność wynosi zwykle 0,1–0,2.

Wybór odpowiedniej częstotliwości

Wybór częstotliwości ma kluczowe znaczenie w nagrzewaniu indukcyjnym, ponieważ to właśnie częstotliwość decyduje o głębokości penetracji ciepła. Poniższa tabela przedstawia przybliżone częstotliwości stosowane do nagrzewania na wskroś niektórych powszechnie spotykanych materiałów.

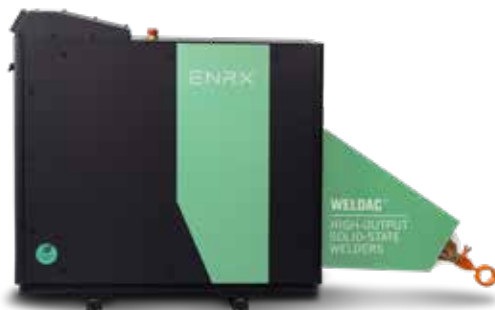
| Materiał                     |                    |              |              |                             | Częstotliwość |
|------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------------|---------------|
| Stal – niemagnetyczna        | Stal – magnetyczna | Mosiądz      | Miedź        | Aluminium i stopy aluminium |               |
| Temp. końcowa 1,200°C • Ø mm | 700°C • Ø mm       | 800°C • Ø mm | 850°C • Ø mm | 500°C • Ø mm                | Hz            |
| 150–500                      | 27–75              | 110–         | 50–          | 50–                         | 50            |
| 60–250                       | 8–35               | 35–440       | 22–800       | 22–800                      | 500           |
| 40–175                       | 6–25               | 30–300       | 15–600       | 15–600                      | 1,000         |
| 25–100                       | 3.5–14             | 15–180       | 9–350        | 9–350                       | 3,500         |
| 20–85                        | 2.5–10.5           | 10–130       | 7–260        | 7–260                       | 5,000         |
| 14–60                        | 2–8.5              | 8–100        | 5–180        | 5–180                       | 10,000        |
| 10–40                        | 1.5–5.5            | 6–75         | 3–125        | 3–125                       | 20,000        |
| 5–22                         | 0.7–3.0            | 3.5–40       | 2–75         | 2–75                        | 60,000        |
| 4–17                         | 0.5–2.0            | 2.5–30       | 1.5–60       | 1.5–60                      | 100,000       |
| 1.8–8                        | 0.2–1.0            | 1.2–15       | 0.6–20       | 0.6–20                      | 500,000       |

# Rozwiązanie na każdą potrzebę

W ramach rozwiązań ENRX do nagrzewania indukcyjnego istnieje sześć rodzin produktowych. Razem pozwalają one realizować praktycznie każde przemysłowe zadanie grzewcze. W mało prawdopodobnym przypadku, gdyby nie spełniały one Twoich konkretnych wymagań, chętnie usiądziemy z Tobą i opracujemy indywidualne rozwiązanie w zakresie nagrzewania indukcyjnego – dopasowane do Twoich potrzeb.

## HEATLINE

Przemysłowe systemy normalizacji



## WELDAC

Spawarki półprzewodnikowe o wysokiej wydajności



## MINAC

Mobilne generatory ciepła



## VENTAC

Powietrznie chłodzony system nagrzewania indukcyjnego



## SINAC

Uniwersalne generatory ciepła



## HARDLINE

Przemysłowe systemy hartowania i odpuszczania indukcyjnego

# Niektórzy z naszych klientów

Sprzęt ENRX był wykorzystywany do budowy i konserwacji wszystkiego – od ogromnych pierścieni obrotowych dla turbin wiatrowych po drobne elementy w luksusowych zegarkach naręcznych. Poniżej znajduje się częściowa lista klientów ENRX. Historie zastosowań oraz opinie klientów z całego świata są dostępne u najbliższego przedstawiciela ENRX.

|                     |                            |                           |                         |                        |                   |                            |
|---------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------|
| ABB                 | CHESS                      | Fincantieri               | IFAPowertrain           | Mercedes Benz          | S.N.R.            | Swarovski                  |
| AirTac              | CPOC                       | Ford                      | Indar                   | Metalor                | SAAB              | Technip                    |
| Alcatel             | DAF                        | Fraunhofer-Institut       | ISI Airbag              | Miba                   | Saint Gobain      | Tenaga National            |
| Alstom              | Daimler                    | GCME                      | Jaguar Land Rover       | Mitec                  | Sandvik           | Thyssenkrupp               |
| Andritz Hydro       | Danfoss                    | Gearbox del Prat          | John Deere              | Mitsubishi             | Sauer Sundstrand  | Tianjin Pipe International |
| Ansaldo             | Delphi                     | Geislinger                | Johnson Control         | MTU                    | Savoil            | Timken                     |
| ArcelorMittal       | Deutsche Bahn              | Gelenkwellenwerk Stadtilm | Jos L. Meyer            | Mubea                  | SCANIA            | Toshiba                    |
| Ashok Leyland       | DEUTZ                      | General Electric          | Joseph Vögele           | Nexans                 | Schaeffler        | Toto                       |
| Aston Martin        | Dongfang Electrical        | General Motors            | JTEKT                   | Nexteer                | Schneeberger      | TOYOTA                     |
| Audi                | Machinery                  | Getrag                    | KBP Kettenwerk          | Nippon Steel           | Shanghai Baosteel | Transformer                |
| Autocam             | DongfangElectric           | GKN                       | KmB Technologie         | NIPPON Oil             | Shanghai Turbine  | TRW                        |
| Avesta Sandvik Tube | Dongfeng                   | Greatwall                 | KME                     | NISSAN                 | Generator         | Vallourec                  |
| Baosteel            | Dongfeng-Nissan            | Gree                      | Kobelco                 | NSK                    | ShanghaiElectric  | Vestas                     |
| Bartell Machinery   | Dongying Dongyi            | Grundfos                  | Komatsu                 | NTN                    | Shawcor           | Visteon                    |
| Benteler            | Doosan                     | Häggglunds                | Kongsberg Automotive    | OAO 'Electrosila'      | SHELL             | Voestalpine                |
| BHEL                | Dörrenberg Edelstahl       | Hair                      | Koni                    | Opel                   | Showa             | Voith                      |
| BMW                 | Dreister                   | Halberg Precision         | KS Kolbenschmidt        | Padana                 | Showcor           | Volkswagen                 |
| Bodycote            | Edelstahlwerke             | Haldex Garphyttan         | Lankhorst Indutech      | PETRONAS               | Siemens           | Volvo                      |
| Boehler             | Südwestfalen               | Hanomag                   | Läpple                  | Pratt & Whitney        | SKF               | Vyksa Steel Works          |
| Bombardier          | Electricity generating     | HarbinElectric            | Linamar Antriebstechnik | PT Inti Gandhi Perdana | Skoda             | Wanxiang                   |
| Borg Warner         | authority of Thailand EGAT | Heidelberg                | Linde                   | Sulzer                 | SNR               | Wanxiang Qianchao          |
| Borusan             | EMD Curtiss Wright         | Druckmaschinen            | LUK                     | PTT                    | Splintex          | Wazhou                     |
| Bosch               | Electro-Mecha. Corp.       | Hilti                     | Magna                   | Renault                | Sprimag           | WEG                        |
| BPW                 | ENQUEST                    | Hitachi                   | Mahle                   | Retezarna              | Stabilus          | Weigl Antriebstechnik      |
| Brakes India        | EXXONMOBIL                 | Hoerbiger Antriebstechnik | Maillefer               | Rieckermann            | Stellantis        | Whirlpool                  |
| Burseryds Bruk      | FAG                        | Hörmann Industrietechnik  | Malakoff Power          | Rockinger              | Stihl             | XinqianglianSlewing        |
| Busatis             | Fardis                     | HQM Haertetechnik         | MAN                     | Roctool                | STX Europe        | ZF                         |
| Caterpillar         | FAW                        | Hydro Aluminium           | Mannesmann              | Roth Technik           | Sumitomo          | Zhuzhou Electric           |
| Changzhou XD        | Federal-Mogul              | Hyundai                   | Marcegaglia             | Rothe Erde             | Suzlon            |                            |
| Chery               | Ferrovaz                   | I.S.R.                    | MAZDA                   | Rover Group            | Suzuki            |                            |



# O firmie ENRX

ENRX to globalna firma z branży zielonych technologii, napędzana indukcją.  
Oferujemy nagrzewanie indukcyjne, bezprzewodowe ładowanie indukcyjne oraz bez-  
stykowe zasilanie – o niskim lub zerowym śladzie węglowym – do praktycznie każdego  
zastosowania w obszarach mobilności i produkcji.

THE RIGHT ENERGY CAN TAKE YOU ANYWHERE • [ENRX.COM](https://enrx.com)

ENRX®