

Projektowanie systemów EM

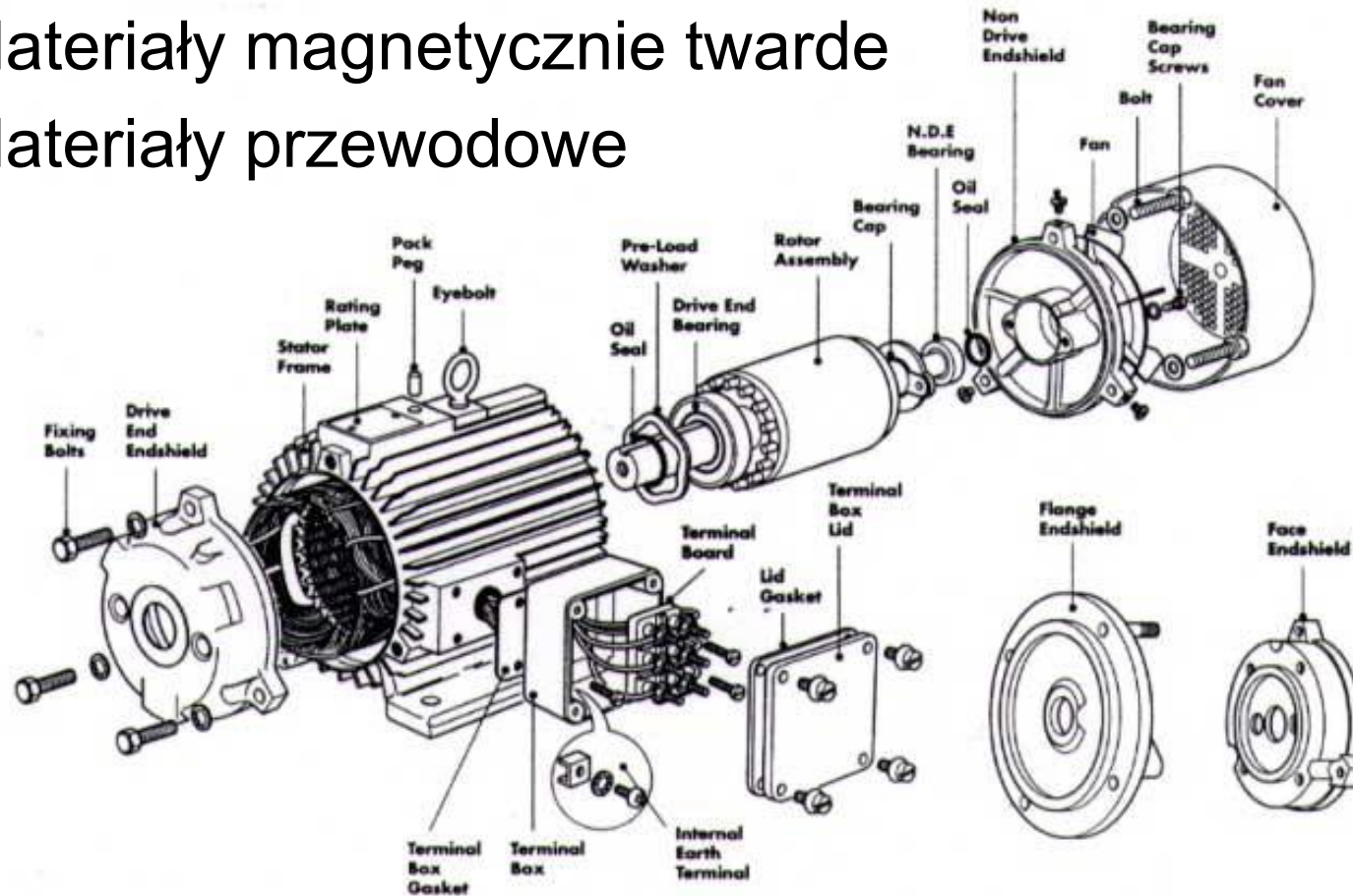
dr inż. Michał Michna

Materiały magnetyczne

Materiały magnetyczne stosowane w budowie ME

Materiały

- ▶ Materiały magnetyczne miękkie
- ▶ Materiały magnetycznie twarde
- ▶ Materiały przewodowe



Moc wewnętrzna

Współczynniki konstrukcyjne

Objętość maszyny

Prędkość maszyny

$$P = \eta \frac{\pi}{2} \frac{1}{1 + K_r} K_I K_P K_E (AB_m) (D_s^2 l_s) \frac{f}{p}$$

Okład prądowy

Indukcja w szczelnie

Indukcja w szczelnie

Table 6.1 Permitted flux densities of the magnetic circuit for various standard electrical machines

	Flux density B/T			
	Asynchronous machines	Salient-pole synchronous machines	Nonsalient-pole synchronous machines	DC machines
Air gap	0.7–0.90 ($\hat{B}_{\delta 1}$)	0.85–1.05 ($\hat{B}_{\delta 1}$)	0.8–1.05 ($\hat{B}_{\delta 1}$)	0.6–1.1 (B_{\max})
Stator yoke	1.4–1.7 (2)	1.0–1.5	1.1–1.5	1.1–1.5
Tooth	1.4–2.1 (stator) 1.5–2.2 (rotor)	1.6–2.0	1.5–2.0	1.6–2.0 (compensating winding) 1.8–2.2 (armature winding)
Rotor yoke	1–1.6 (1.9)	1.0–1.5	1.3–1.6	1.0–1.5
Pole core	—	1.3–1.8	1.1–1.7	1.2–1.7
Commutating poles	—	—	—	1.3

Gęstość liniowa prądu – okład prądowy

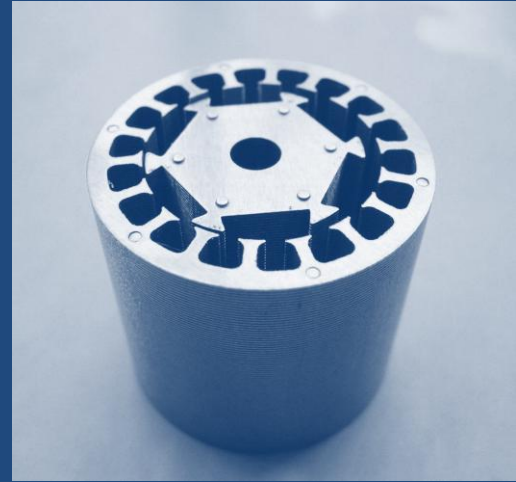
Table 6.2 Permitted RMS values for current densities J and linear current densities A for various electrical machines. Depending on the size of a permanent magnet machine, a synchronous machine, an asynchronous machine or a DC machine, suitably selected values can be used. Copper windings are generally assumed

	Asynchronous machines	Salient-pole synchronous machines or PMSMs	Nonsalient-pole synchronous machines			
			Indirect cooling		Direct water cooling	DC machines
			Air	Hydrogen		
$A/\text{kA/m}$	30–65	35–65	30–80	90–110	150–200	25–65
$J/\text{A/mm}^2$	Stator winding 3–8	Armature winding 4–6.5	3–5	Armature winding 4–6	7–10	Armature winding 4–9
$J/\text{A/mm}^2$	Copper rotor winding 3–8	Field winding: 2–3.5		Field winding 3–5		Pole winding 2–5.5
$J/\text{A/mm}^2$	Aluminium rotor winding 3–6.5	Multi-layer 2–4	3–5	Field winding 3–5	6–12	Compensating winding 3–4
		Single-layer	With direct water cooling, in field windings 13–18 A/mm ² and 250–300 kA/m can be reached			

Współczynnik wyzyskania maszyny

Table 6.3 Tangential stresses $\sigma_{F_{tan}}$ calculated from the values of Tables 6.1 and 6.2. There are three stress values, calculated with the lowest linear current density and flux density, with the average values and with the highest values. The flux density and linear current density distributions are assumed sinusoidal. For DC machines, a pole width coefficient of 2/3 is assumed. The power factor of synchronous machines is assumed to be 1, and for asynchronous machines, 0.8

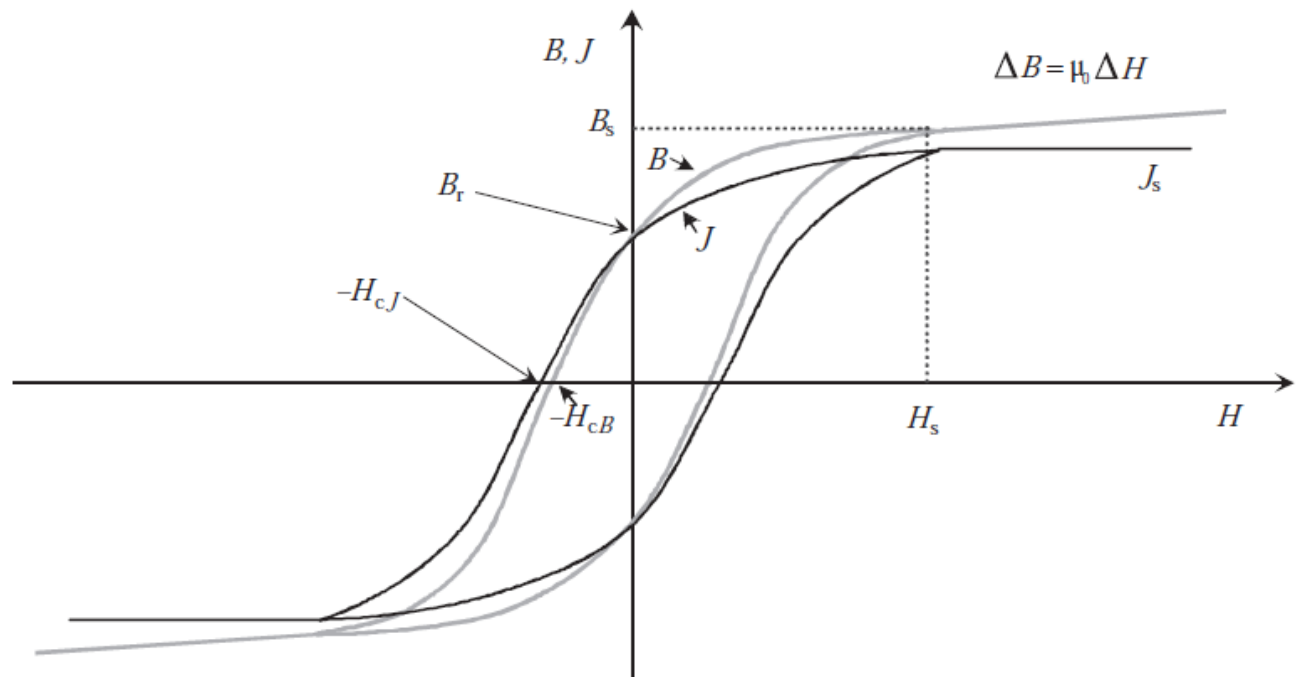
	Totally enclosed asynchronous machines	Sailent-pole synchronous machines or PMSMs	Nonsalient-pole synchronous machines			
			Indirect cooling		Direct water cooling	DC machines
			Air	Hydrogen		
$A/kA/m$, RMS	30–65	35–65	30–80	90–110	150–200	25–65
Air-gap flux density $\hat{B}_{\delta 1}/T$	0.7–0.9	0.85–1.05	0.8–1.05	0.8–1.05	0.8–1.05	0.6–1.1
Tangential stress $\sigma_{F_{tan}}/Pa$						
minimum	12 000*	21 000*	17 000*	51 000*	85 000*	12 000*
average	21 500*	33 500*	36 000*	65 500*	1,14 500*	29 000*
maximum	33 000*	48 000*	59 500*	81 500*	1,48 500*	47 500*
	* $\cos \varphi = 0.8$	* $\cos \varphi = 1$	* $\cos \varphi = 1$	* $\cos \varphi = 1$	* $\cos \varphi = 1$	* $\alpha_{DC} = 2/3$



Materiały magnetycznie miękkie

Materiały magnetycznie miękkie

- ▶ Zastosowanie:
 - ▶ obwód magnetyczny stojana i wirnika
- ▶ Parametry:
 - ▶ Indukcja nasycenia,
 - ▶ stratność



Materiały magnetycznie miękkie

▶ Cechy

- ▶ duża indukcja nasycenia
- ▶ wąska pętla histerezy
- ▶ duża rezystywność
- ▶ duża przenikalność magnetyczna

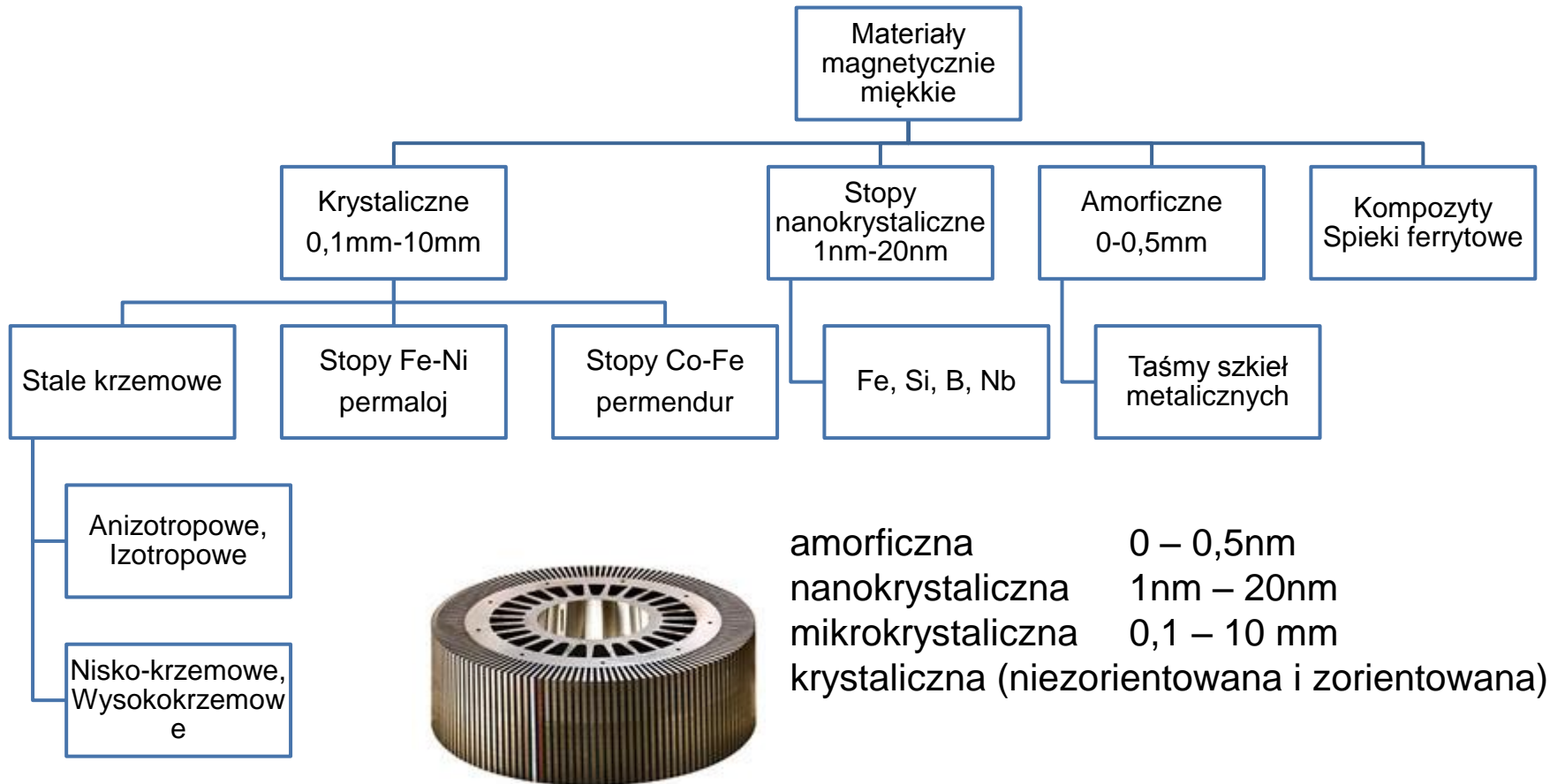
▶ Właściwości

- ▶ skład stopu i jego czystość
- ▶ technologia produkcji (np.: walcowanie)
- ▶ obróbka cieplna (np.: wyżarzanie 1100-1300 st. C przez ok. 1h)



Pakiet stojana z blach okrągłych
spawany
www.donako.com.pl

Materiały magnetycznie miękkie



Pakiet wirnika zapiekany

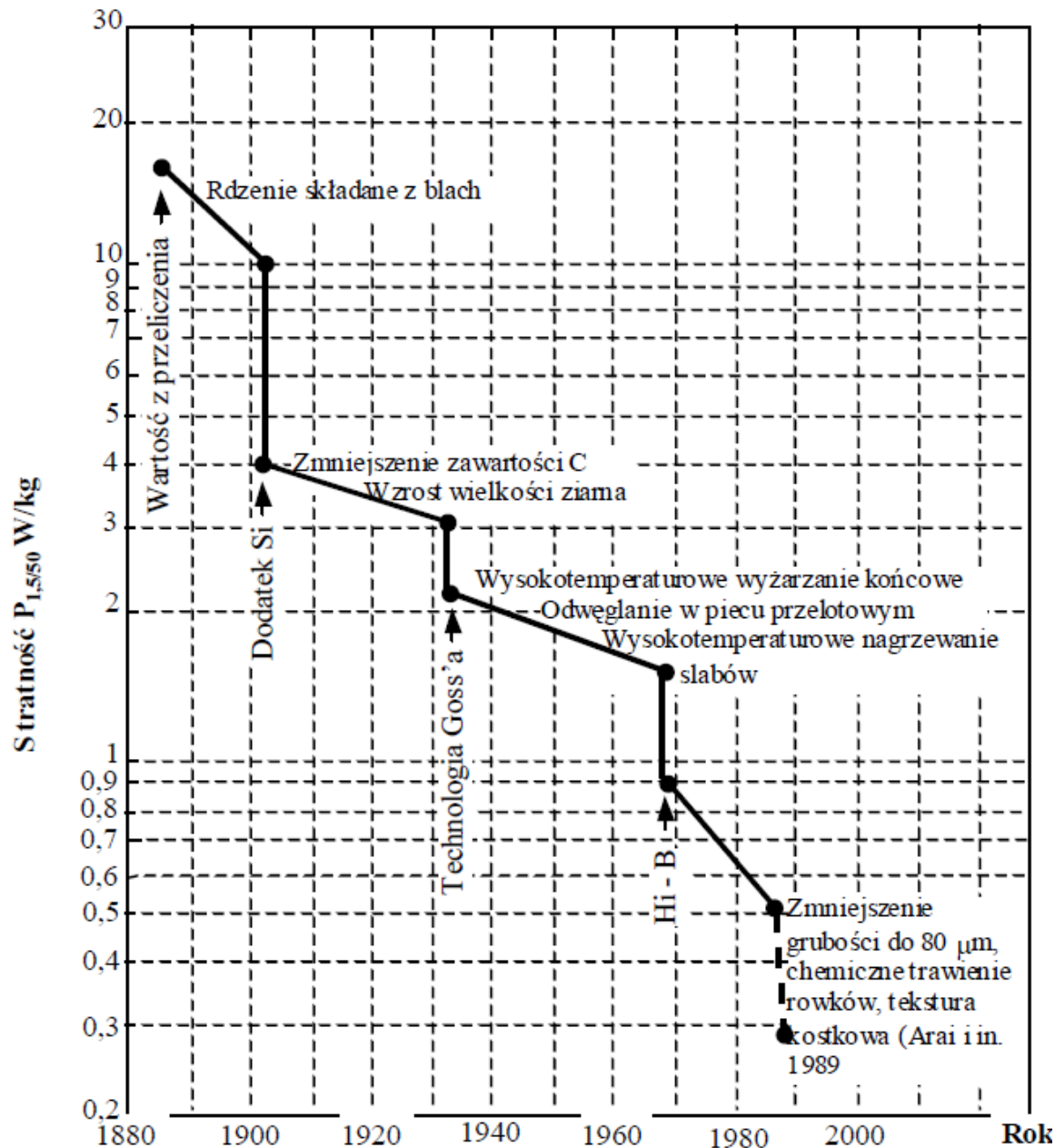
www.donako.com.pl

Materiały magnetycznie miękkie

Materiał	Stratność (0,2T 25KHz) [W/kg]	Indukcja nasycenia [T]
Permaloy (Fe-Ni)	14	0,7-1,5
Ferryt	17	0,6
Taśma amorficzna (30-50um)	5	0,57-,77
Taśma amorficzna (20um)	3	1,25

Materiały magnetycznie miękkie

Wpływ usprawnień technologicznych na straty całkowite na jednostkę masy blach elektrotechnicznych



Stale krzemowe

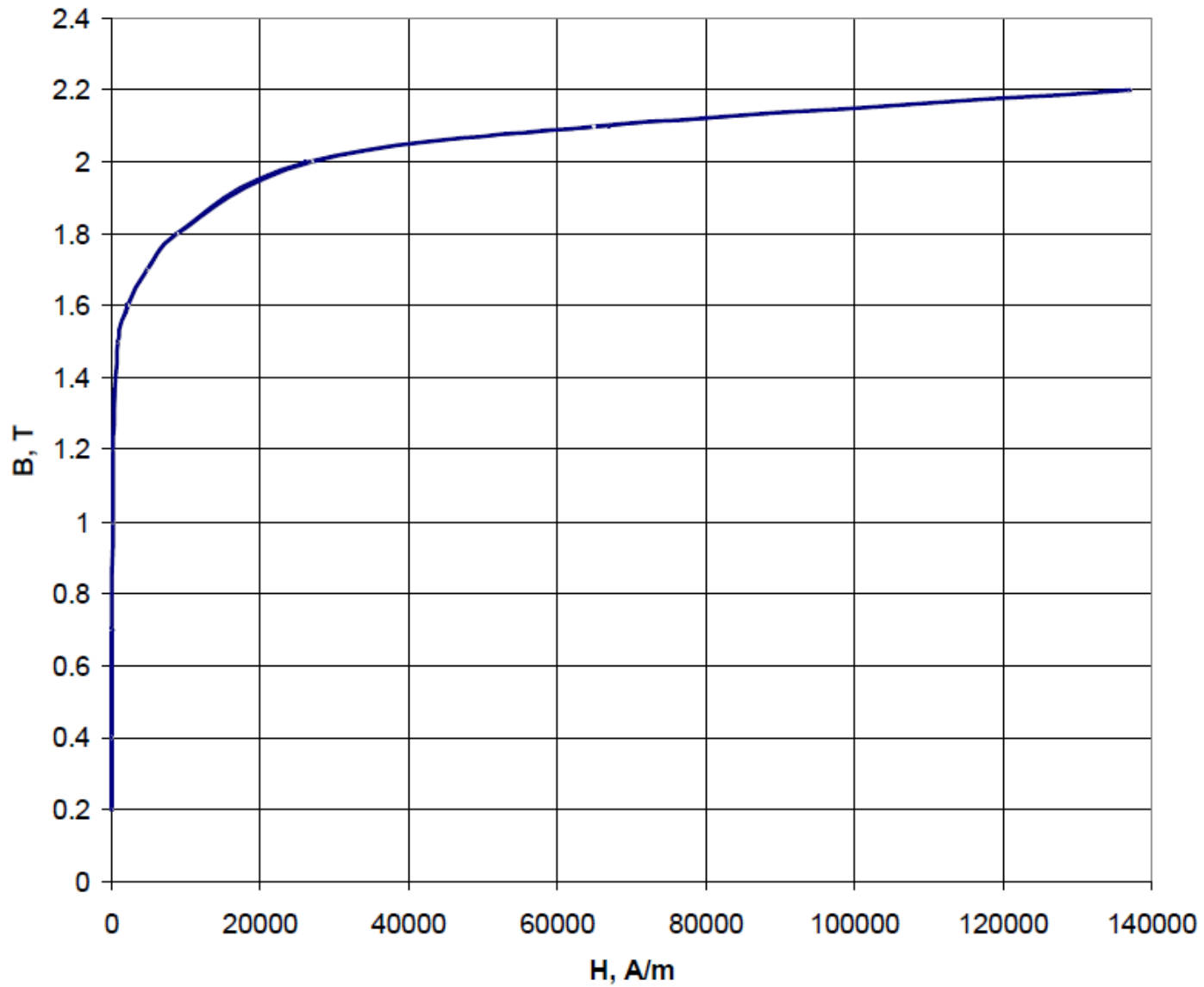
Zawartość Si [%]	B_{\max} [T]	μ_{\max} [-]	Stratność [W/kg]
1	2,1	14 000	3
3	2,0	9 000	2,3
4,5	1,96	7 000	1,7

Stopy żelaza z krzemem (0,4-4,2 % Si)

Stale krzemowe

- ▶ blachy o ziarnie zorientowanym
anizotropowe, „transformatorowe”
 - ▶ stal niskowęglowa, 3 % Si
 - ▶ niewielka grubość: 0,27 mm, 0,30 mm, 0,35 mm

- ▶ blachy o ziarnie niezorientowanym
blachy izotropowe, tzw.: „prądnicowe”
 - ▶ wysokostopowe (3 % Si i do 1 % Al.) - niska stratność
 - ▶ niskostopowe (1-2% Si)- wyższa stratność
 - ▶ grubość: 0,35 mm, 0,50 mm i 0,65 mm



Armco DI-MAX nonoriented electrical steels M-27, M-36 and M-43.

Materiały magnetycznie miękkie

Gatunek w IEC 404g-8-7	Grubość [mm]	Maksymalna stratność zmierzona przy		Minimalna indukcja magnetyczna [T] przy H=800 A/m	Minimalna wartość współczynnika zapełnienia
		1,5 T	1,7 T		
Materiał o normalnych własnościach					
089-27-N5	0,27	0,89	1,40	1,75	0,950
097-30-N5	0,30	0,97	1,50	1,75	0,955
111-35-N5	0,35	1,11	1,65	1,75	0,960
Materiał o obniżonej stratności					
130-27-S5	0,27		1,30	1,78	0,950
140-30-S5	0,30		1,40	1,78	0,955
155-35-S5	0,35		1,55	1,78	0,960

Właściwości blach o ziarnie zorientowanym produkcji Stalprodukt S.A.

Gatunek	Grubość [mm]	Maksymalna stratność (W/kg) przy		Minimalna indukcja (T) przy natężeniu pola H		Anizotropia stratności [%]	Współczynnik zapełnienia	Teoretyczna gęstość materiału [kg/dm ³]
		1,5 T	1,0T	2500 [A/m]	5000 [A/m]			
EP 330-50A	0,35	3,30	1,30	1,49	1,60	+ 18	0,95	7,65
EP 350-50A	0,50	3,50	1,50	1,50	1,60	+ 14	0,97	7,65
EP 400-50A		4,00	1,70	1,51	1,61			
EP 470-50A		4,70	2,00	1,52	1,62	+12		7,70
EP 530-50A		5,30	2,30	1,54	1,64			7,75
EP 600-50A		6,00	2,60	1,55	1,65			7,80
EP 700-50A		7,00	3,00	1,58	1,68			7,80
EP 800-50A		8,00	3,60	1,58	1,68			
EP 530-65A		0,65	5,30	2,30	1,52	1,62		+14
EP 600-65A	6,00		2,60	1,54	1,64	+12	7,80	
EP 700-65A	7,00		3,00	1,55	1,65			
EP 800-65A	8,00		3,60	1,58	1,68			

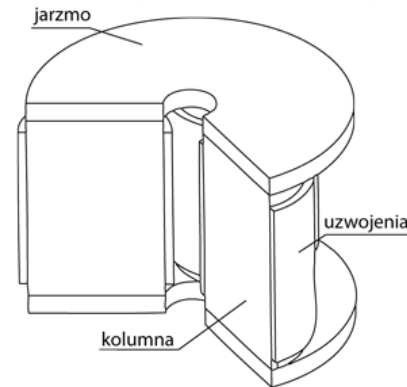
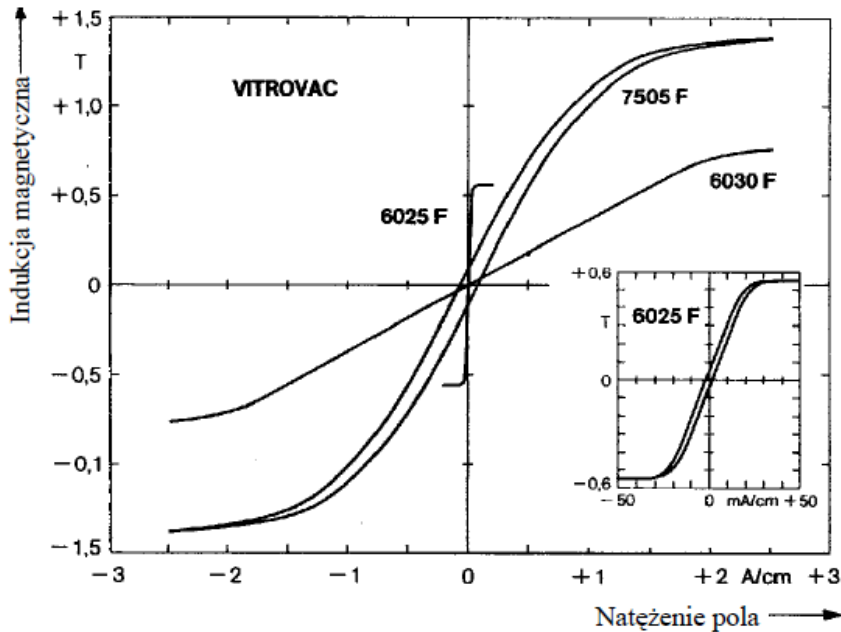
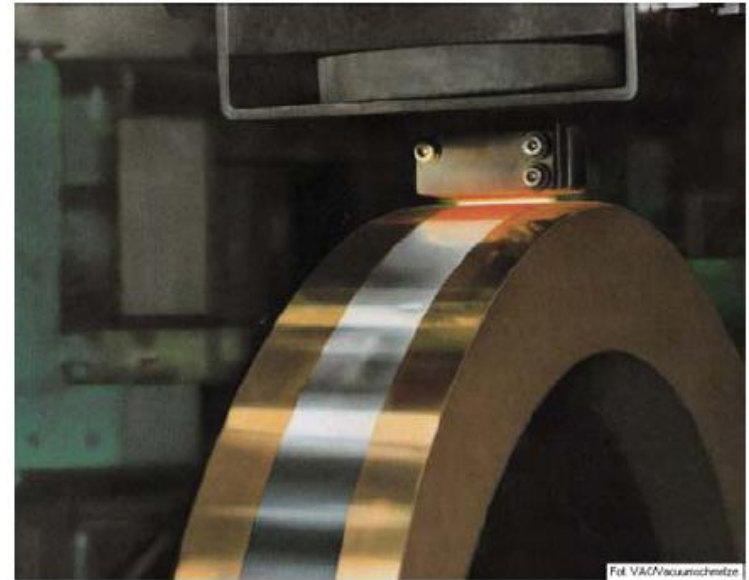
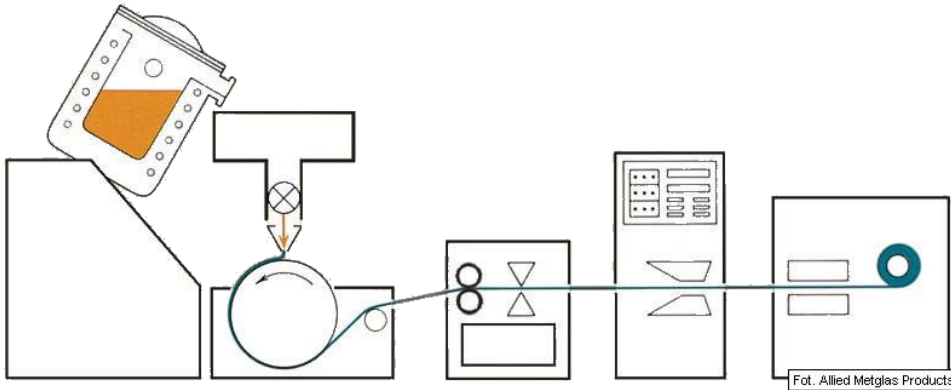
Europe IEC 404-8-4 (1986)	U.S.A. AISI	Japan JIS 2552 (1986)	Russia GOST 21427 0-75
250-35-A5	M 15	35A250	2413
270-35-A5	M 19	35A270	2412
300-35-A5	M 22	35A300	2411
330-35-A5	M 36	—	—
270-50-A5	—	50A270	—
290-50-A5	M 15	50A290	2413
310-50-A5	M 19	50A310	2412
330-50-A5	M 27	—	—
350-50-A5	M 36	50A350	2411
400-50-A5	M 43	50A400	2312
470-50-A5	—	50A470	2311
530-50-A5	M 45	—	2212
600-50-A5	—	50A600	2112
700-50-A5	M 47	50A700	—
800-50-A5	—	50A800	2111
350-65-A5	M19	—	—
400-65-A5	M27	—	—
470-65-A5	M43	—	—
530-65-A5	—	—	2312
600-65-A5	M45	—	2212
700-65-A5	—	—	2211
800-65-A5	—	65A800	2112
1000-65-A5	—	65A1000	—

Stale amorficzne

- ▶ Starty 0,125-0,28 W/kg 1T 50Hz
- ▶ Silnik indukcyjny małej mocy 550W
 - ▶ blacha krzemowa – straty 137W sprawność 74%
 - ▶ blacha amorficzna – straty 88W sprawność 84%
- ▶ Kruche
- ▶ Cięcie laserem i EDM niszczy strukturę

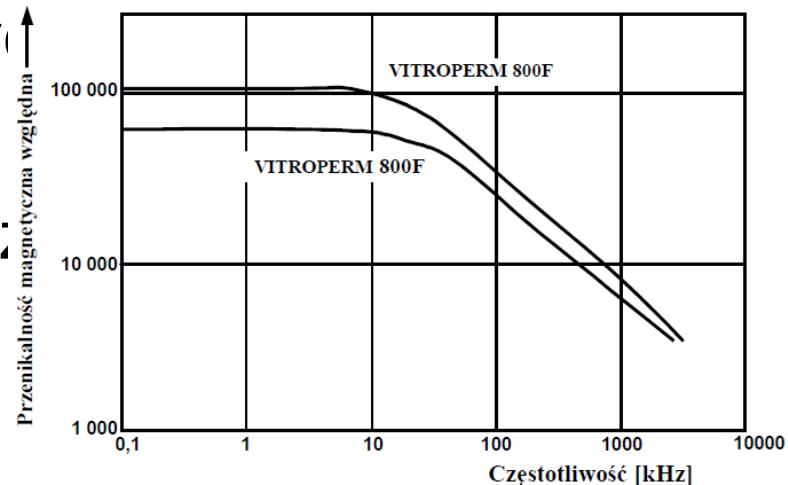
B [T]		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
Stratność p [W/kg]	60 Hz	0,0035	0,010	0,026	0,045	0,070	0,10	0,14	0,22	0,28
	50 Hz	0,0028	0,008	0,021	0,036	0,056	0,08	0,11	0,17	0,22
Magnesowalność H [A/m]	prąd stały	0,84	1,00	1,10	1,18	1,26	1,35	1,6	5,6	8,0

Stale amorficzne



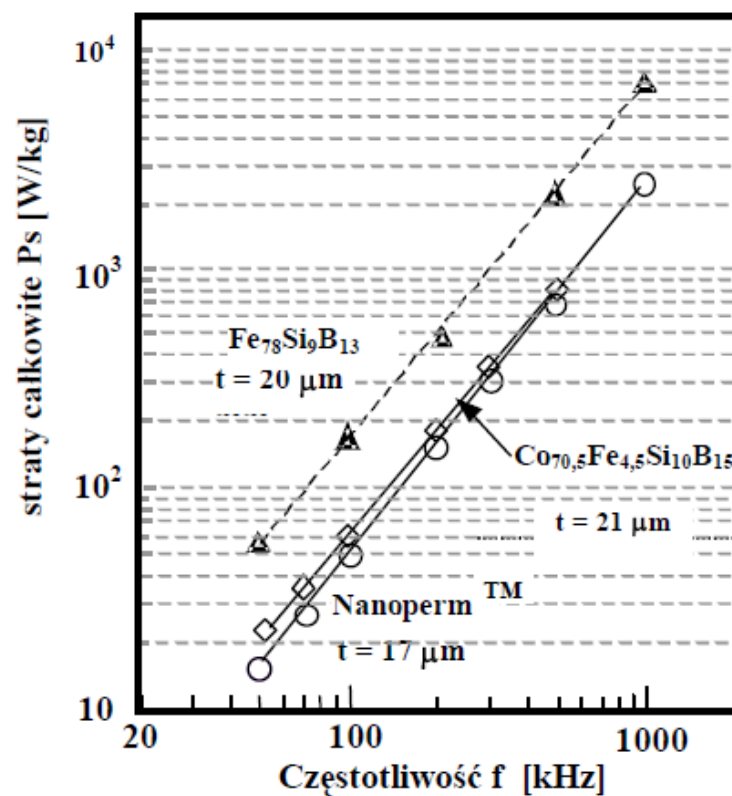
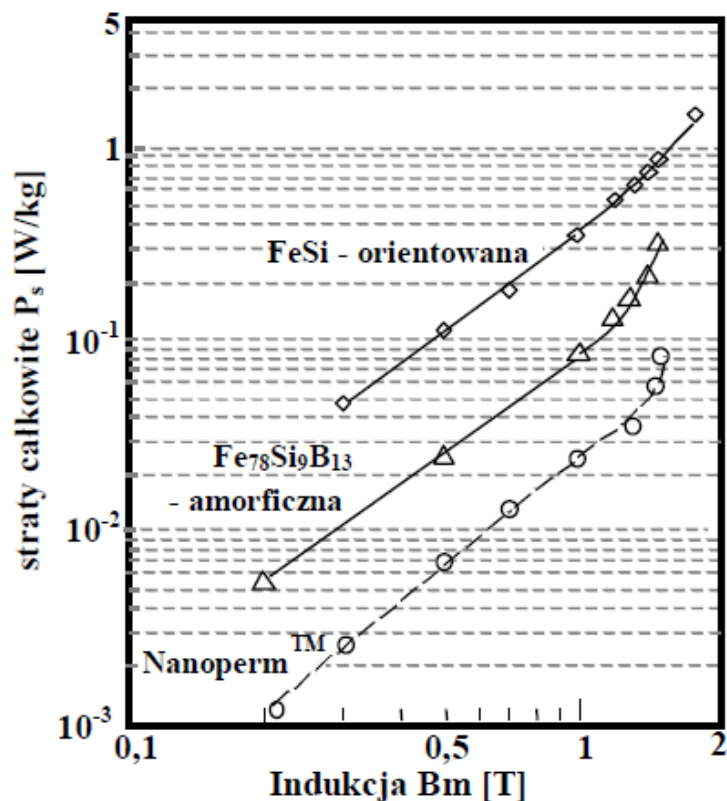
Stale krzemowe - nanokrystaliczne

- ▶ krystalizacja blach amorficznych
- ▶ mała koercja $< 1 \text{ A/m}$
- ▶ duża przenikalność magnetyczna
- ▶ indukcja 1,2T
- ▶ Vitroperm, Finemet,



Stop	Struktura	B_s [T]	$\mu_{0,4}$ (dla 1 kHz)	H_c [A/m]	$\lambda_s \times 10^{-6}$
$\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$	nanokrystaliczna	1,24	100 000	0,53	1
$\text{Fe}_{87}\text{Nb}_{3,25}\text{Zr}_{3,25}\text{B}_{6,5}$	nanokrystaliczna	1,6	30 000	4,5	0,4
Fe - B - Si	amorficzna	1,41	6 000	6,9	25
Co - Fe - Si - B	amorficzna	0,53	80 000	0,32	< 1
Fe - 3,5% wag. Si	krystaliczna orientowana	1,95	1000 (dla 50 Hz)	30 (przy 1,7 T)	4,5

Stale krzemowe - nanokrystaliczne



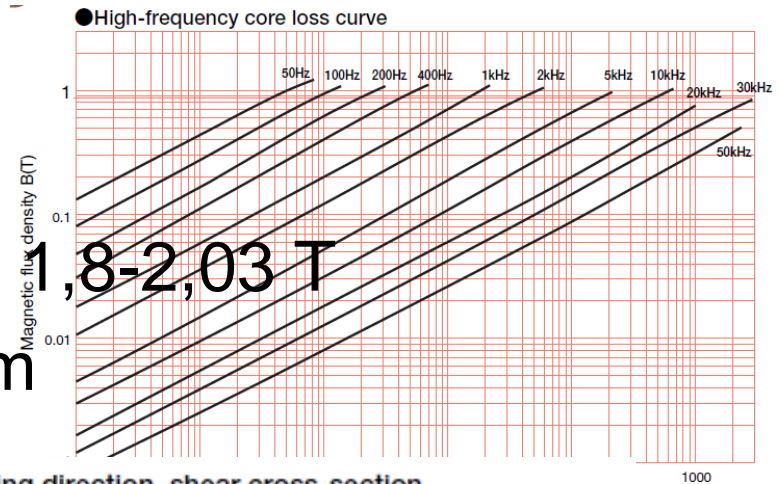
Straty całkowite

stopu nanokrystalicznego Nanoperm (Fe_{85,6}Nb_{3,3}Zr_{3,3}B_{6,8}Cu₁)

stopów amorficznych Fe₇₈Si₉B₁₃ i Co_{70,5}Fe_{4,5}Si₁₀B₁₅

Stale krzemowe - mikrokrystaliczne

- ▶ Wielkość ziarna 0,1-10 μm
- ▶ Zawartość krzemu Si 6,5%
- ▶ Mniejsza indukcja nasylenia 1,8-2,03 T
- ▶ Grubości 0,05 0,1 0,2 0,3 mm



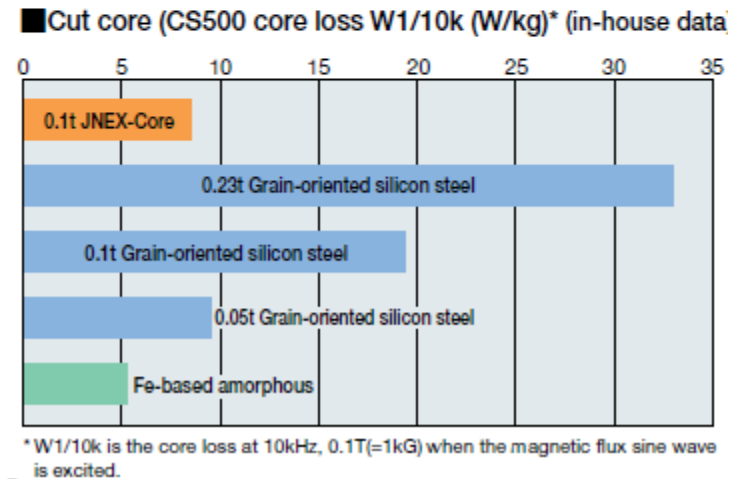
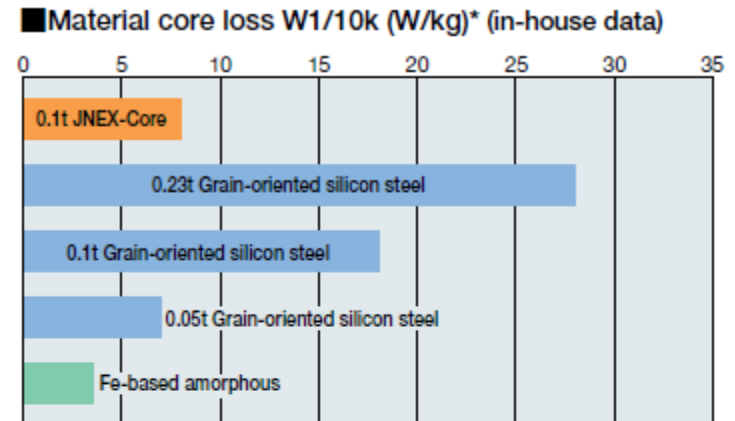
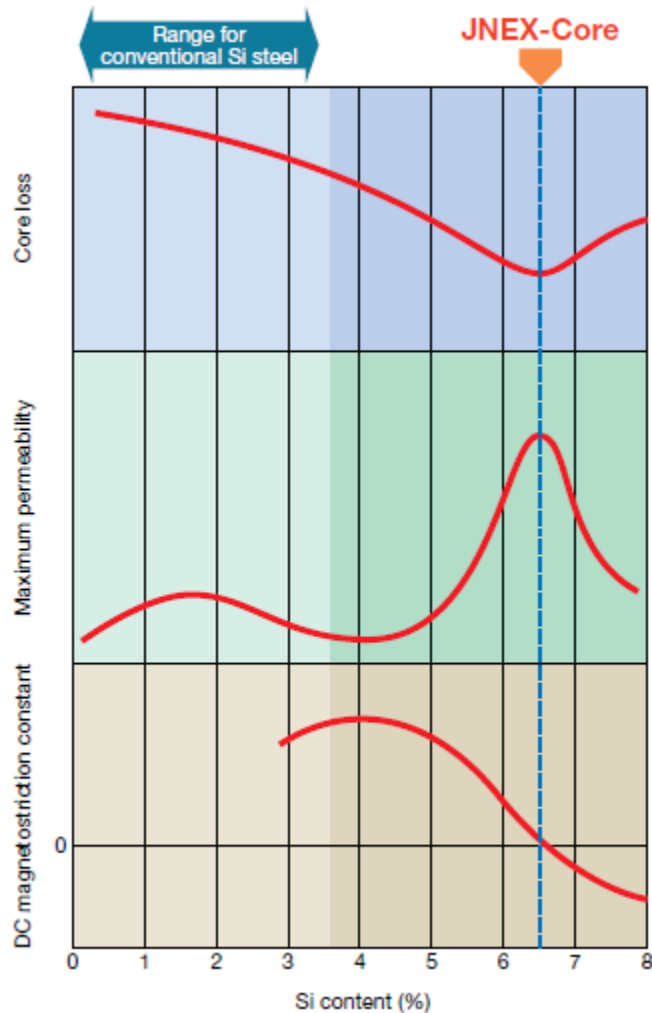
■ Comparison of magnetic characteristics (JFE in-house data) : Rolling direction, shear cross-section

Material	Thickness (mm)	DC max relative permeability	Saturation magnetization (T)	Magnetic flux density B_s (T)	Magnetic flux density B_{2s} (T)	Core loss (W/kg)						
						W10/50	W10/400	W10/1k	W5/2k	W2/5k	W1/10k	W0.5/20k
JNHF-Core	0.10	4,100	1.88	1.15	1.44	1.1	10.1	30.0	20.2	11.5	7.1	5.0
	0.20	3,900	1.94	1.09	1.47	1.2	14.5	51.6	29.1	17.9	12.7	9.5
JNEX-Core	0.10	23,000	1.80	1.29	1.40	0.5	5.7	18.7	13.7	11.3	8.3	6.9
Grain-oriented silicon steel	0.10	24,000	2.03	1.84	1.91	0.7	6.0	22.7	22.0	20.0	18.0	14.0
Non-oriented silicon steel	0.35	18,000	1.96	1.45	1.56	0.7	14.4	62.0	50.2	38.0	33.0	—
Amorphous	0.025	300,000	1.50	—	—	0.1	1.5	5.5	8.1	4.0	3.6	3.3

* W10/50 is the core loss at 50 Hz, 1 T (=10kG) when the magnetic flux sine wave is excited

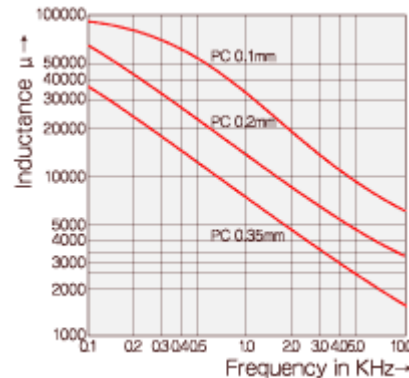
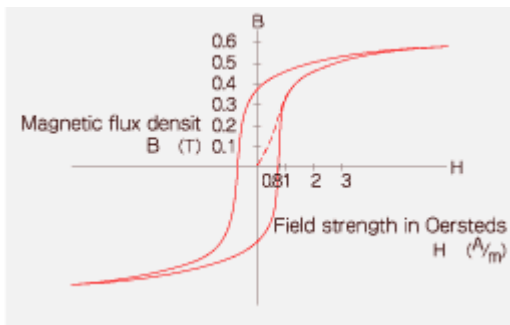
* B_s is the magnetic flux density at 800A/m.

Stale krzemowe - mikrokryształiczne



Stopy żelaza z niklem Fe-Ni

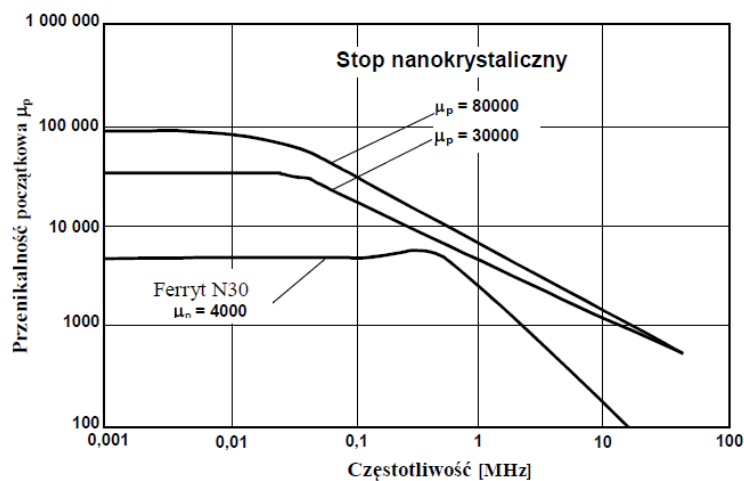
Nazwa	Zawartość Ni [%]	B_{\max} [T]	μ_{\max}	anizotropia
Hyperm	36	1,3	14 000	Nie
Hyperm	50	1,5	28 000	Nie
Permaloj	70-79	0,8	120 000	Tak
Supermaloj	80 Ni, 4-6 Mo, reszta Fe	0,82	1 000 000	Tak



W chwili obecnej materiał wypierany jest powoli przez rdzenie z taśmy amorficznej i nanokrystalicznej

Stopy żelaza z niklem Fe-Ni

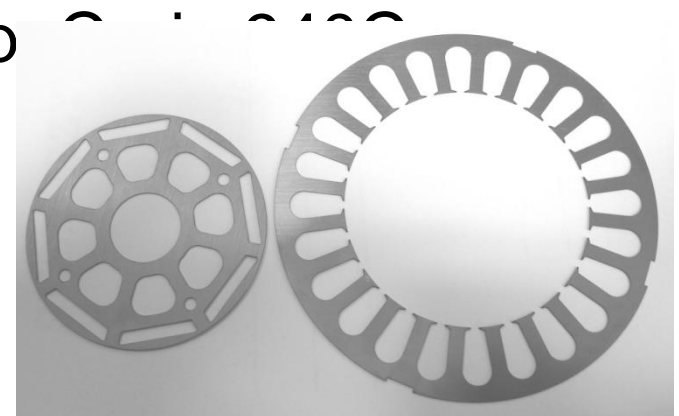
Material	Straty dla 25kHz, 0,2T, 100°C [W/kg]	Indukcja nasylenia [T]	Temperatura Curie [°C]	Magnetostrykcja $\lambda_s \times 10^{-6}$
Ferryty miękkie	17	< 0,5	220	-
Ni ₈₀ Fe ₂₀ ; 30 μm	14	0,8	400	1
Ni ₆₀ Fe ₄₀ ; 50 μm	45	1,2	500	10
CoSiB amorf.; 25μm	5	0,8	480	0,2
FeCuNbSiB nanokrystaliczny 17 - 20 μm	3 - 4	1,2 - 1,7	600	0,1



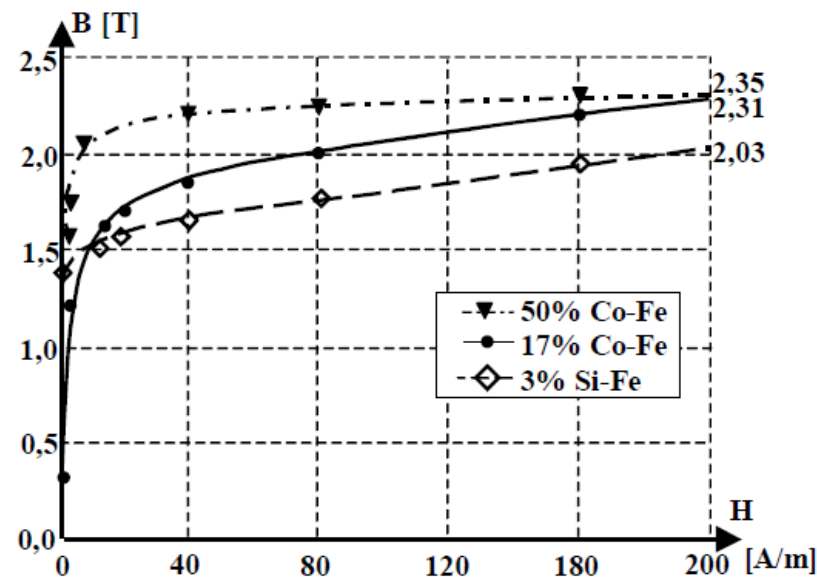
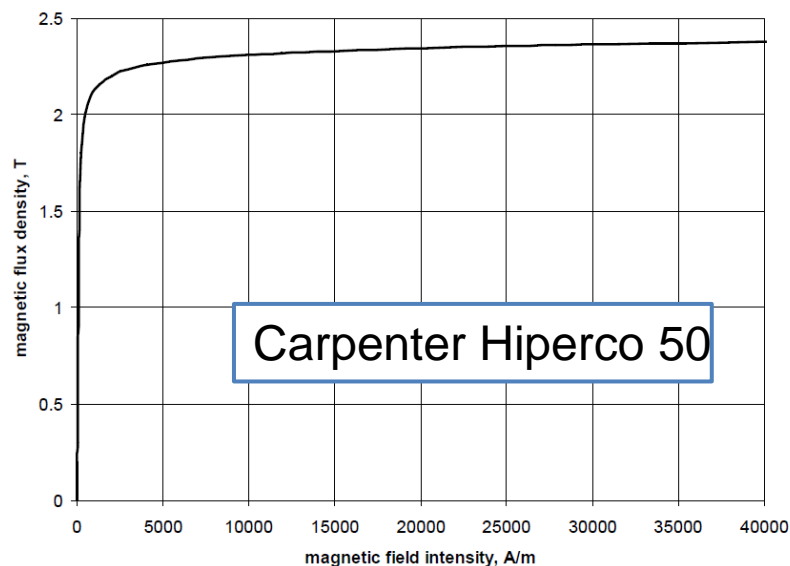
W chwili obecnej materiał wypierany jest powoli przez rdzenie z taśmy amorficznej i nanokrystalicznej

Stopy żelaza z kobaltem Co-Fe

- ▶ stop kobaltu i żelaza z niewielkimi dodatkami wanadu, tantalu i niobu
 - ▶ Carpenter Hiperco 50
49% Fe, 48.75% Co, 1.9% V, 0.05% Mn, 0.05% Nb
0.05% Si
 - ▶ Vanadium Permendur
- ▶ Wysoka indukcja nasycenia 2,4T
- ▶ Wysoka temperatura pracy, temp
- ▶ Stratność 6 W/kg dla 2T, 400 Hz
- ▶ Grubość 0.15 to 0.36 mm
- ▶ Wysoka cena



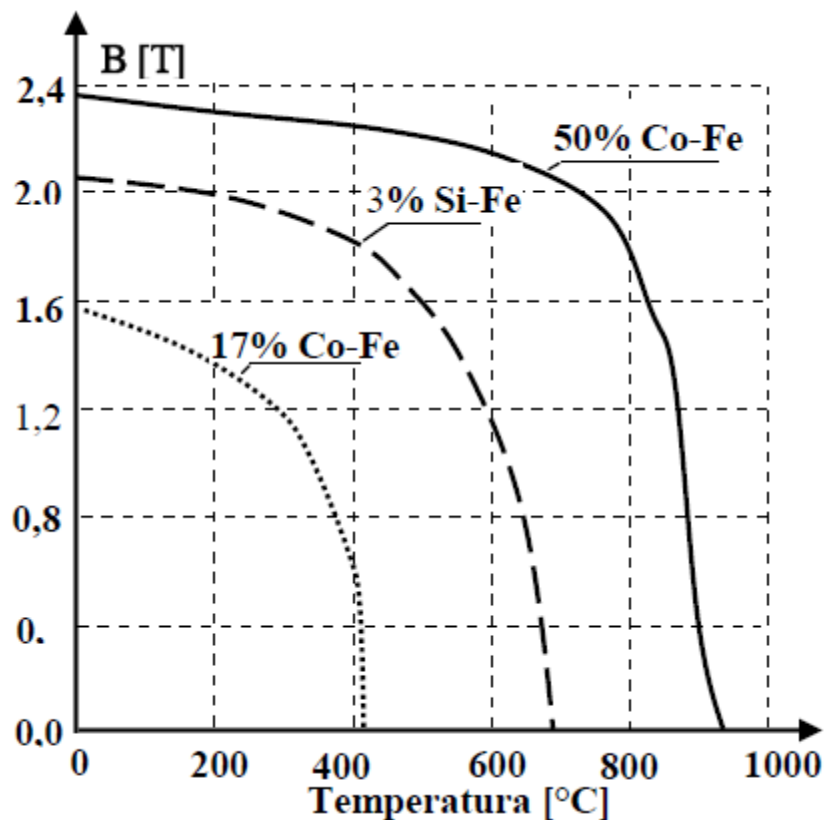
Stopy żelaza z kobaltem Co-Fe



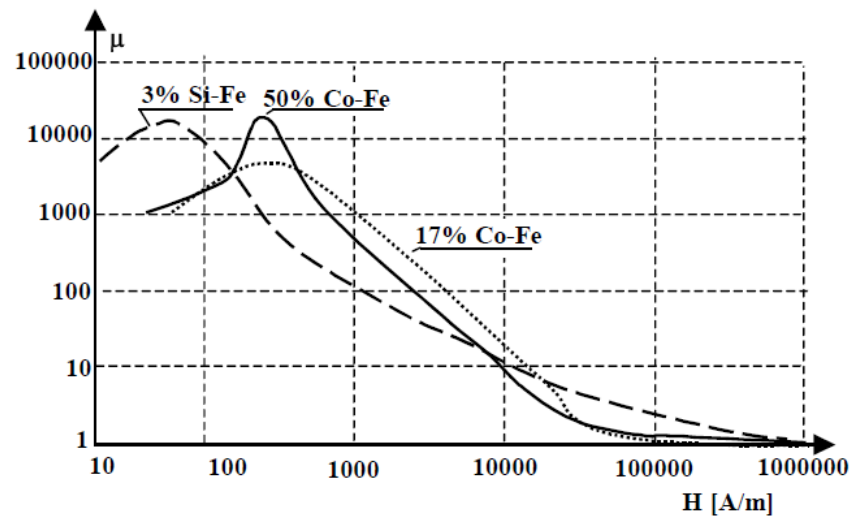
Stop	Przenikalność początkowa $\mu_{0,4}$	Przenikalność maksymalna μ_{max}	H_C [A/cm]	Indukcja B_S [T]	Magnetostrykcja $\times 10^{-6}$	Straty całkowite przy 2 T [W/kg]
50 % Co-Fe	1000	12 000	1,1	2,35	70	5,5
48 % Co-Fe	1200	20 000	0,4	2,35	70	1,8
24 % Co-Fe	250	2200	1,0	2,35	70	-
17 % Co-Fe	100	4000	1,2	2,28	25	7,8

Stopy żelaza z kobaltem Co-Fe

zmiany indukcji magnetycznej
w funkcji temperatury



przenikalności od natężenia
pola magnetycznego



Stopy żelaza z kobaltem Co-Fe

Table 2.4. Specific losses (W/kg) in 0.356 mm iron-cobalt alloy strips at 400 Hz.

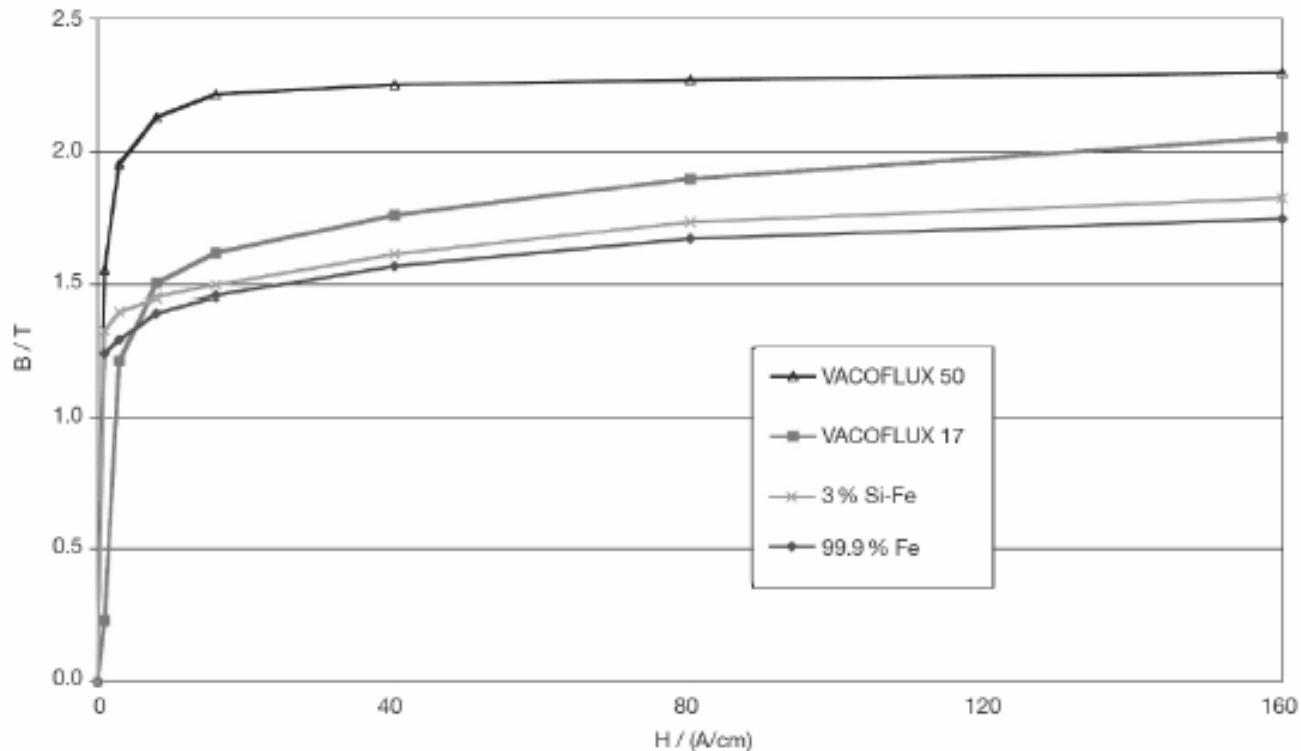
Alloy	Magnetic flux density		
	1.0 T	1.5 T	2.0 T
Hiperco 15	30	65	110
Permendur 24	42	105	160
Hiperco 27	53	110	180
Rotelloy 5	40	130	200
Hiperco 50	25	44	76
Hiperco 50A	14	31	60
Hiperco 50HS	43	91	158
Rotelloy 3	22	55	78
Permendur 49	22	55	78
Rotelloy 8	49	122	204
HS 50	—	—	375

Stopy żelaza z kobaltem Co-Fe

Table 2.5. Comparison of physical properties of Hiperco 50 with electrical steels.

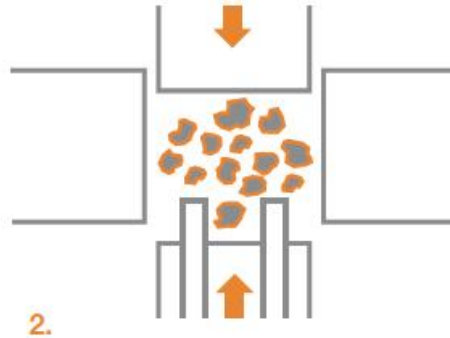
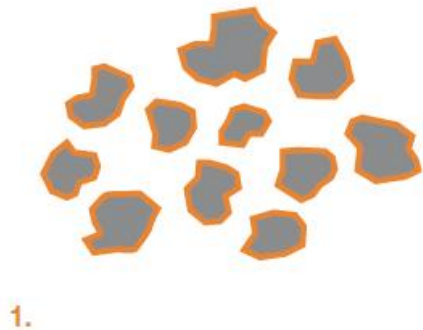
Property	Hiperco 50	Q-core XL	M15
Saturation flux density, T	2.38	2.10	2.0
Electric conductivity, S/m	2.38	2.94	2.00
Curie temperature, °C	940	770	760
Maximum relative permeability	10 000	> 14 000	8300
Core losses at 400 Hz and 1.5 T, W/kg	44	57	44
Core losses at 400 Hz and 2.0 T, W/kg	76	–	–
Yield strength, MPa	430	310	360

Stopy żelaza z kobaltem Co-Fe



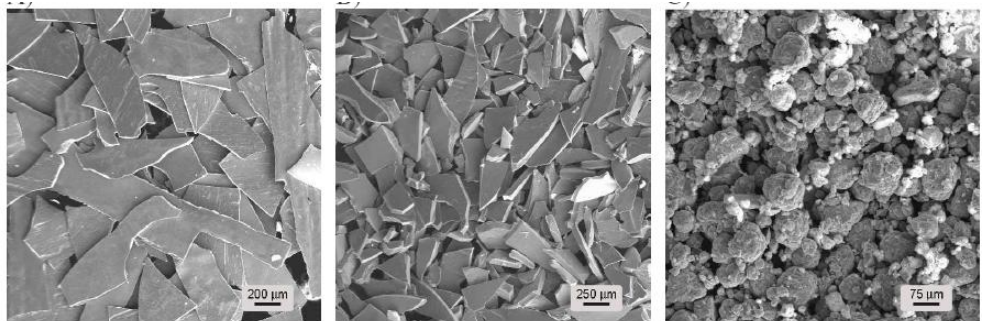
Rys. 1. Charakterystyki magnesowania różnych rodzajów blach (rys. wg VaccumSchmelze)

Materiały kompozytowe

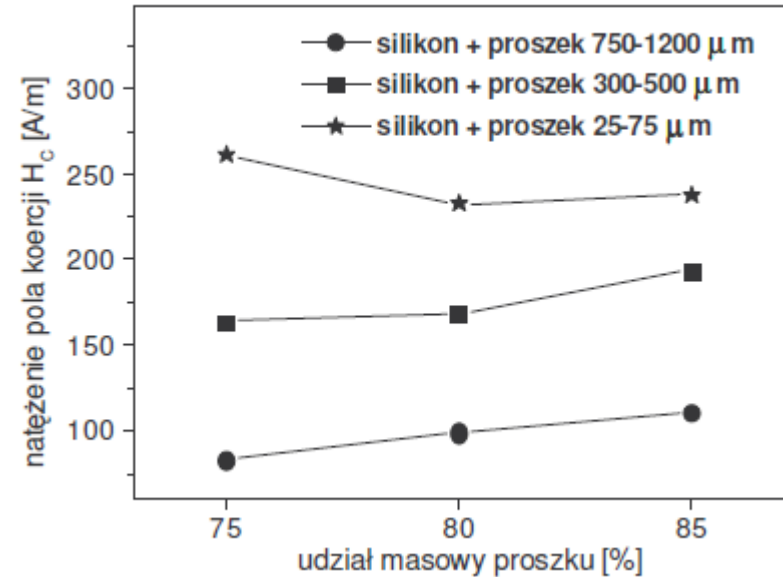
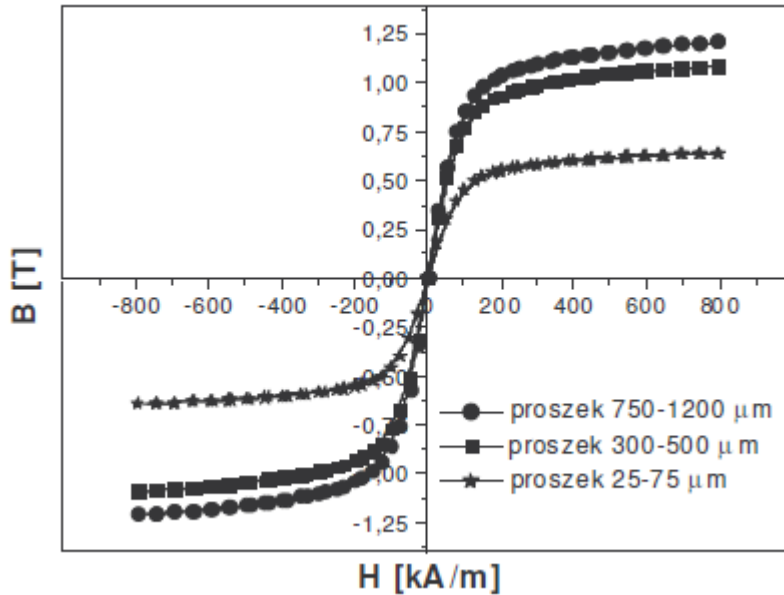


- ▶ mielenie amorficznych taśmy szkła metalicznego
- ▶ wiązanie materiałem polimerowym, termo lub chemoutwardzalnym
- ▶ formowanie kształtu

Wielkość cząstek proszku dobiera się z uwagi na zakres częstotliwości pracy, wartość przenikalności

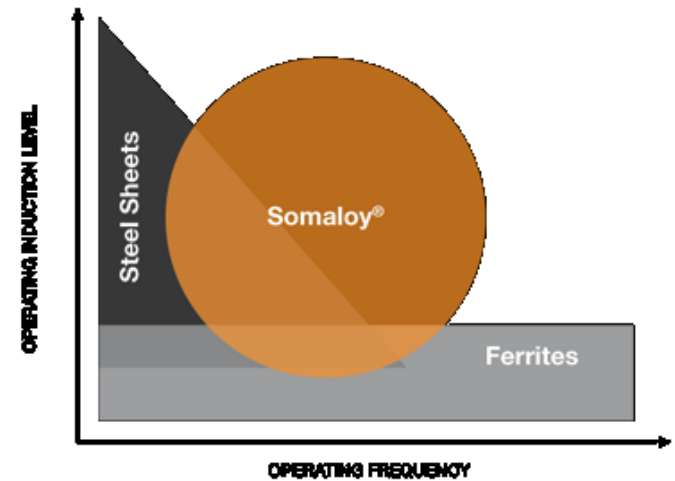
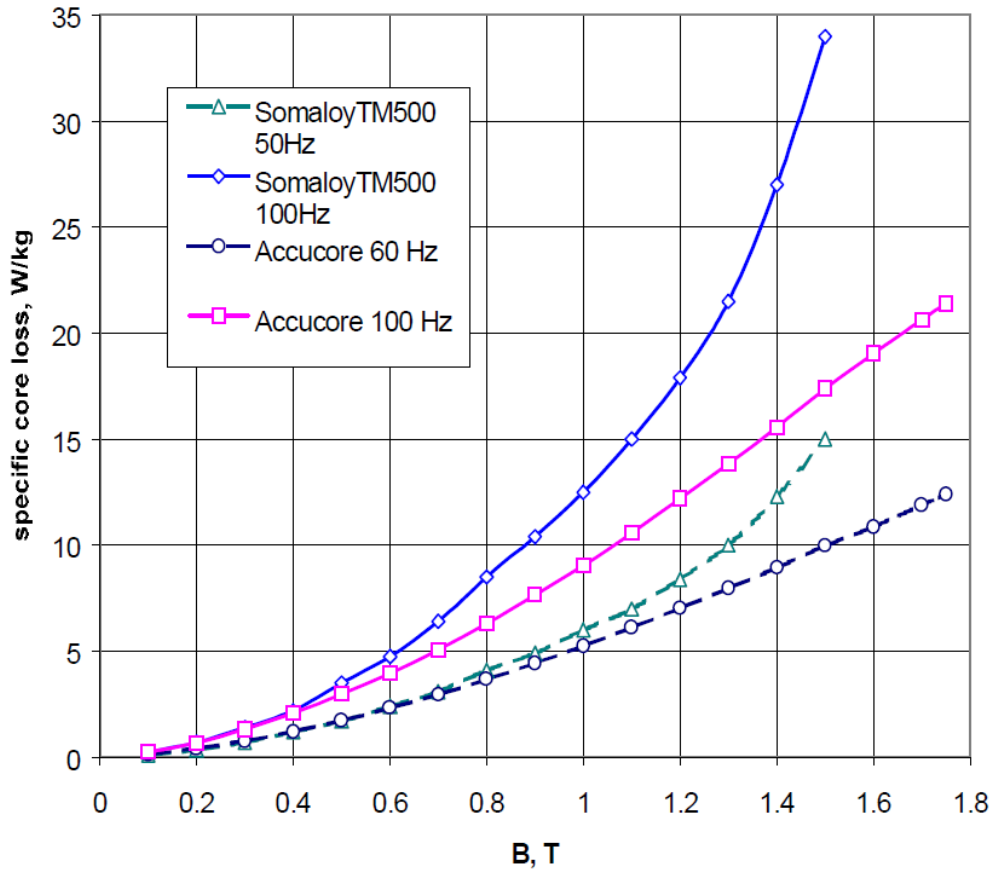


Materiały kompozytowe



Wielkość cząstek proszku [μm]	B_s [T]	B_r [T]	H_c [A/m]	H_{max} [kA/m]	μ_{max} przy $H=3$ [kA/m]
750÷1200	1,21	0,0070	13,75	800	175
300÷500	1,06	0,0061	115,3	800	143
25÷75	0,64	0,0038	163,2	800	74

Materialy kompozytowe



Materiały magnetycznie miękkie

Rodzaj materiału	ρ [$\mu\Omega\text{m}$]	Bmax [T]	μ dla 50Hz	Zastosowanie
Stal krzemowa	0,5	2,1	3000 - 5000	Maszyny 50 – 60 Hz
Stopy Fe-Ni	0,4	1,5	4000 - 5500	Maszyny specjalne do 400 Hz
Nanokrystaliczne	11,5	1,2	80000	Maszyny specjalne do 20kHz
Metglas (amorfiki)	13,7	1,56	160000	
Accucore (kompozyty)	6,5	1,75	7000	

Powłoki elektroizolacyjne

▶ Powłoka C3 (AISI)

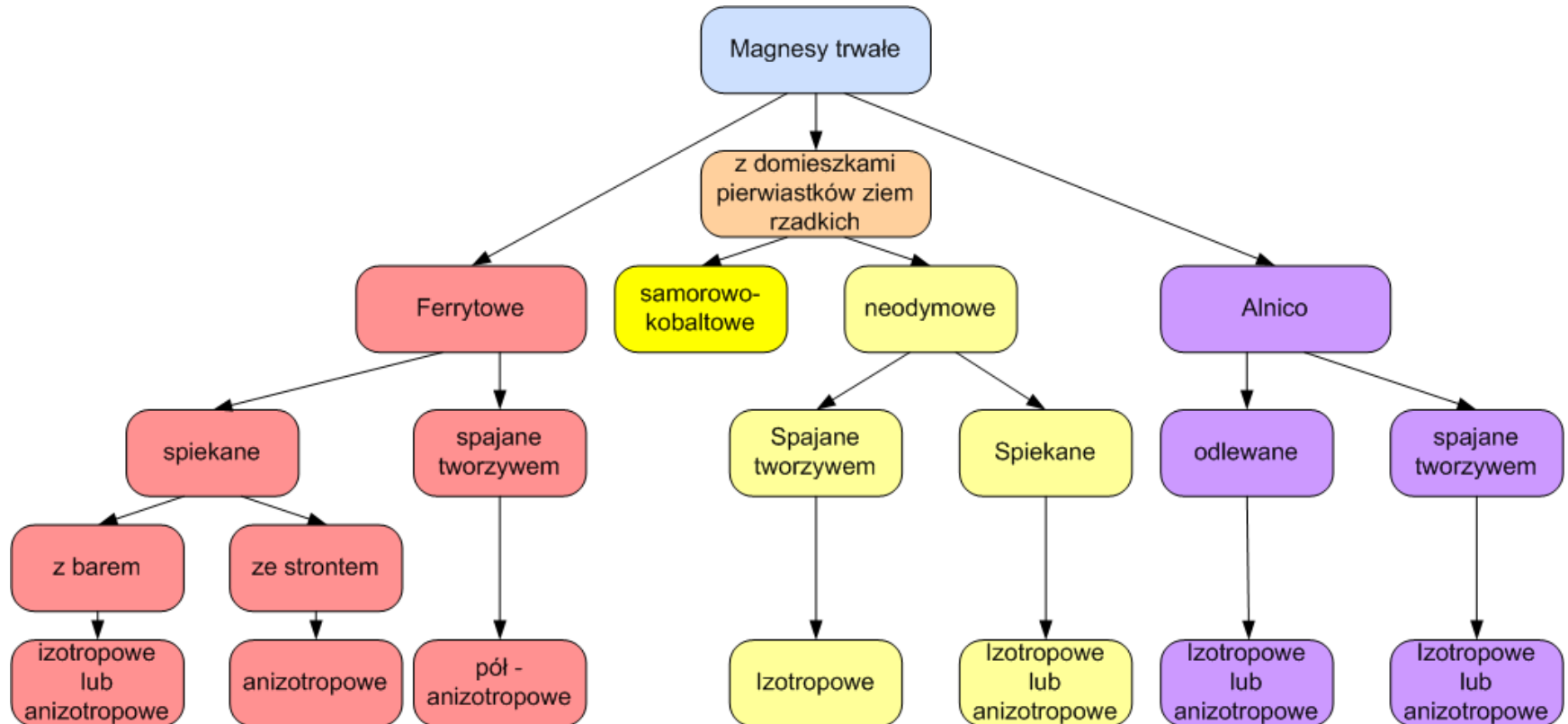
- ▶ organiczna odporna na działanie oleju i freonu
- ▶ lepsza wykrawalność blachy
- ▶ odporność temperaturowa 180°C
- ▶ grubość 1,5 μm /stronę.

▶ □ Powłoka typu C4 (AISI)

- ▶ nieorganiczna (fosforan glinu i magnezu)
- ▶ odporna na olej i freon
- ▶ odporność temperaturowa 800°C
- ▶ grubość 1 μm /stronę.

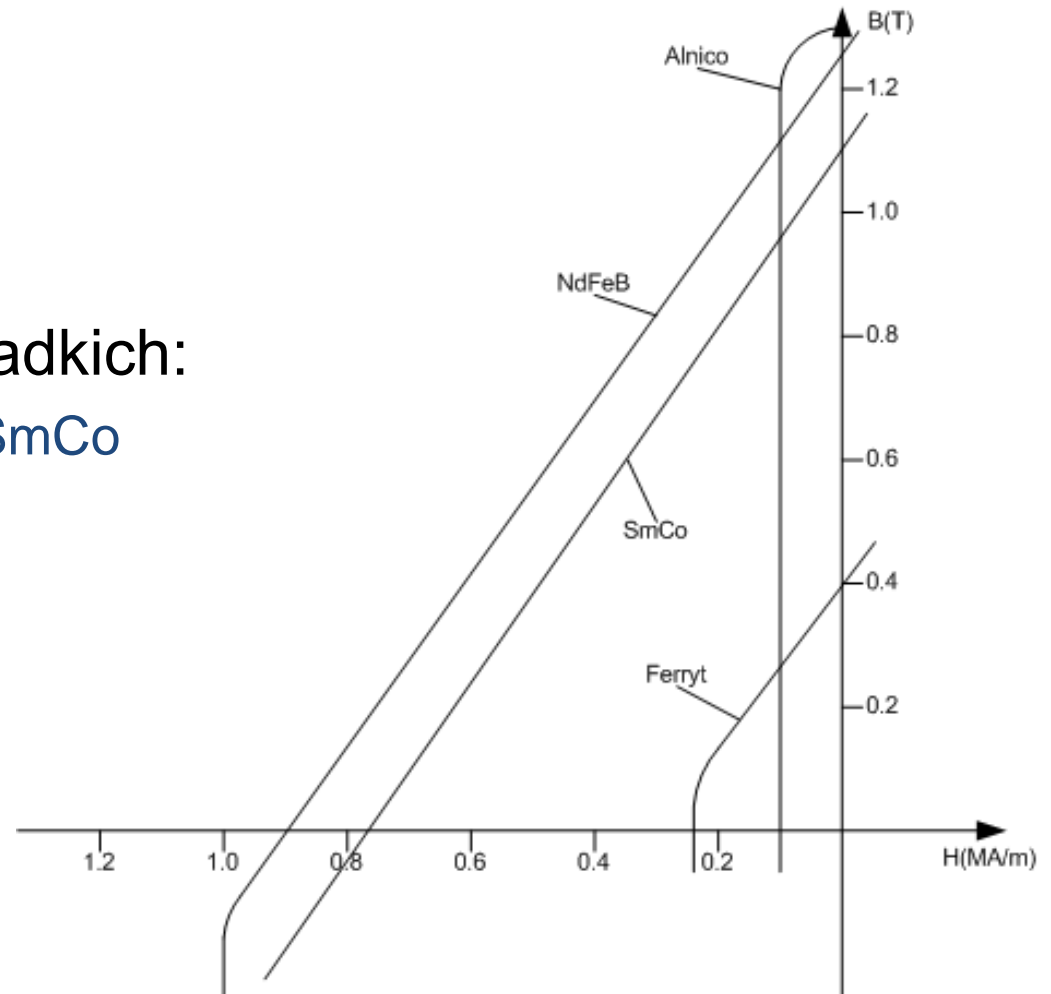
Materiały magnetycznie trwałe

Materiały magnetycznie trwałe



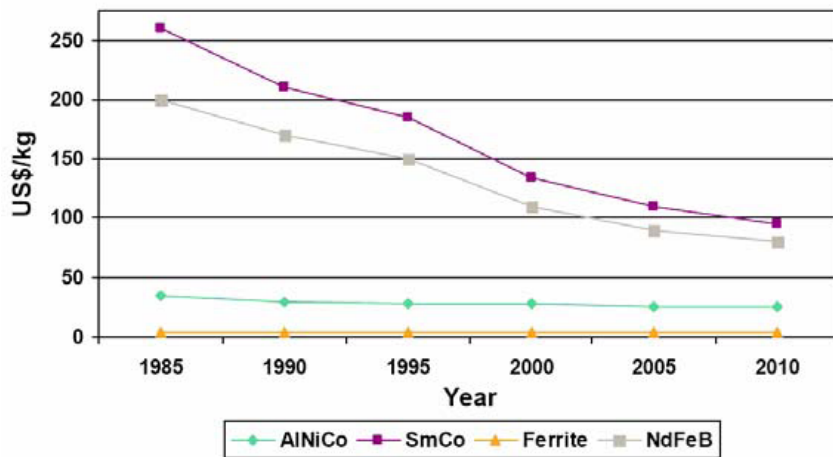
Materiały magnetycznie trwałe

- ▶ Alnico
- ▶ ceramiczne
 - ▶ ferryty baru i strontu
- ▶ z domieszkami pierwiastków ziem rzadkich:
 - ▶ samorowo-kobaltowe SmCo
 - ▶ **neodymowe NdFeB**



Materiały magnetycznie trwałe

	SmCo ₅	NdFeB	feryt	AlNiCo
B _r [T]	0.85 – 1	1 – 1.41	0.3 – 0.45	1.25
(BH) _{max} [kJ/m ³]	145 – 200	200 – 420	20 – 40	50
JH _c [kA/m]	>1600	1040 - 3000	240 – 320	55
T _{max} [°C]	250	80 – 200	150 – 300	450 - 500
cena	120 €/kg	50 €/kg	15-20 €/kg	

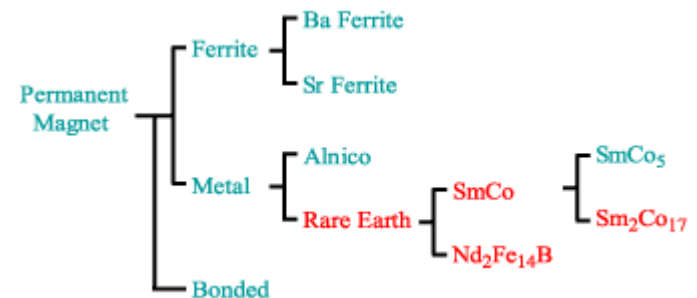


Materiały magnetycznie trwałe

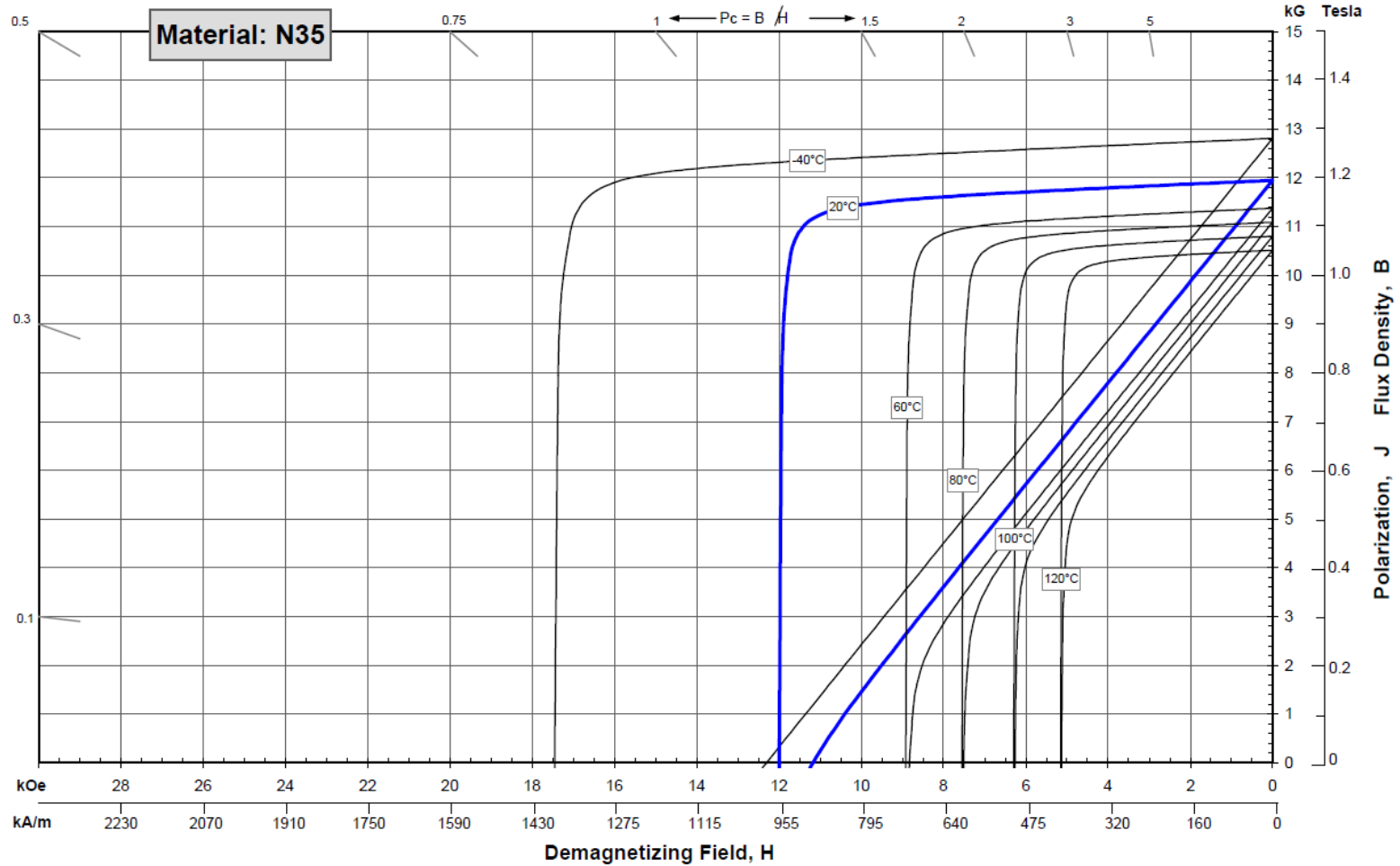
Material	Cost Index	Maximum Energy Products (BH) _{max} (MGOe)	Coercivity H _{ci} (KOe)	Maximum Working Temperature(°C)	Machinability
Nd-Fe-B(sintered)	65%	Up to 45	Up to 30	180	Fair
Nd-Fe-B (bonded)	50%	Up to 10	Up to 11	150	Good
Sm-Co (sintered)	100%	Up to 30	Up to 25	350	Difficult
Sm-Co (bonded)	85%	Up to 12	Up to 10	150	Fair
Alnico	30%	Up to 10	Up to 2	550	Difficult
Hard Ferrite	5%	Up to 4	Up to 3	300	Fair
Flexible	2%	Up to 2	Up to 3	100	Excellent



www.stanfordmagnets.com

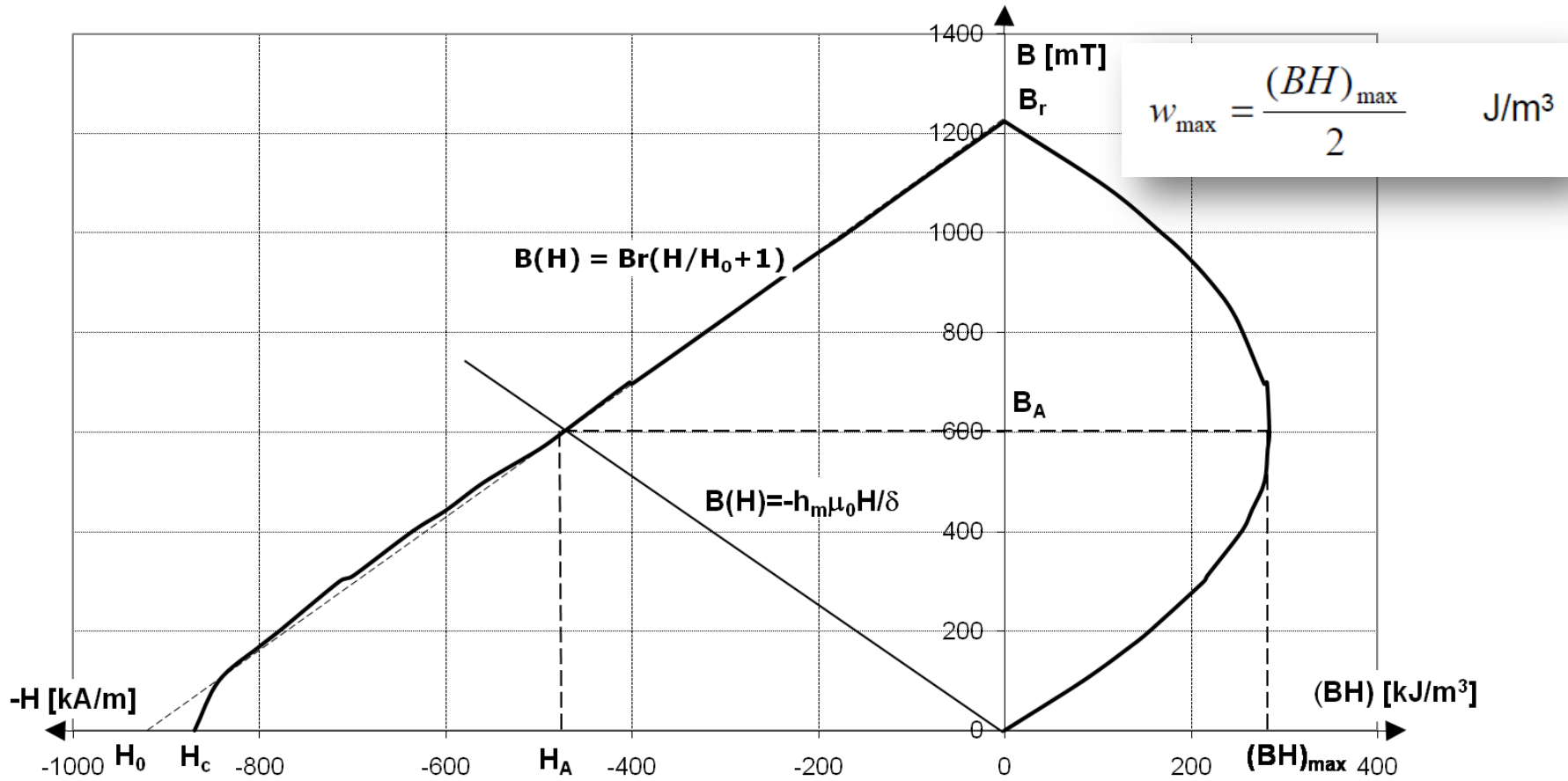


Materialy MT



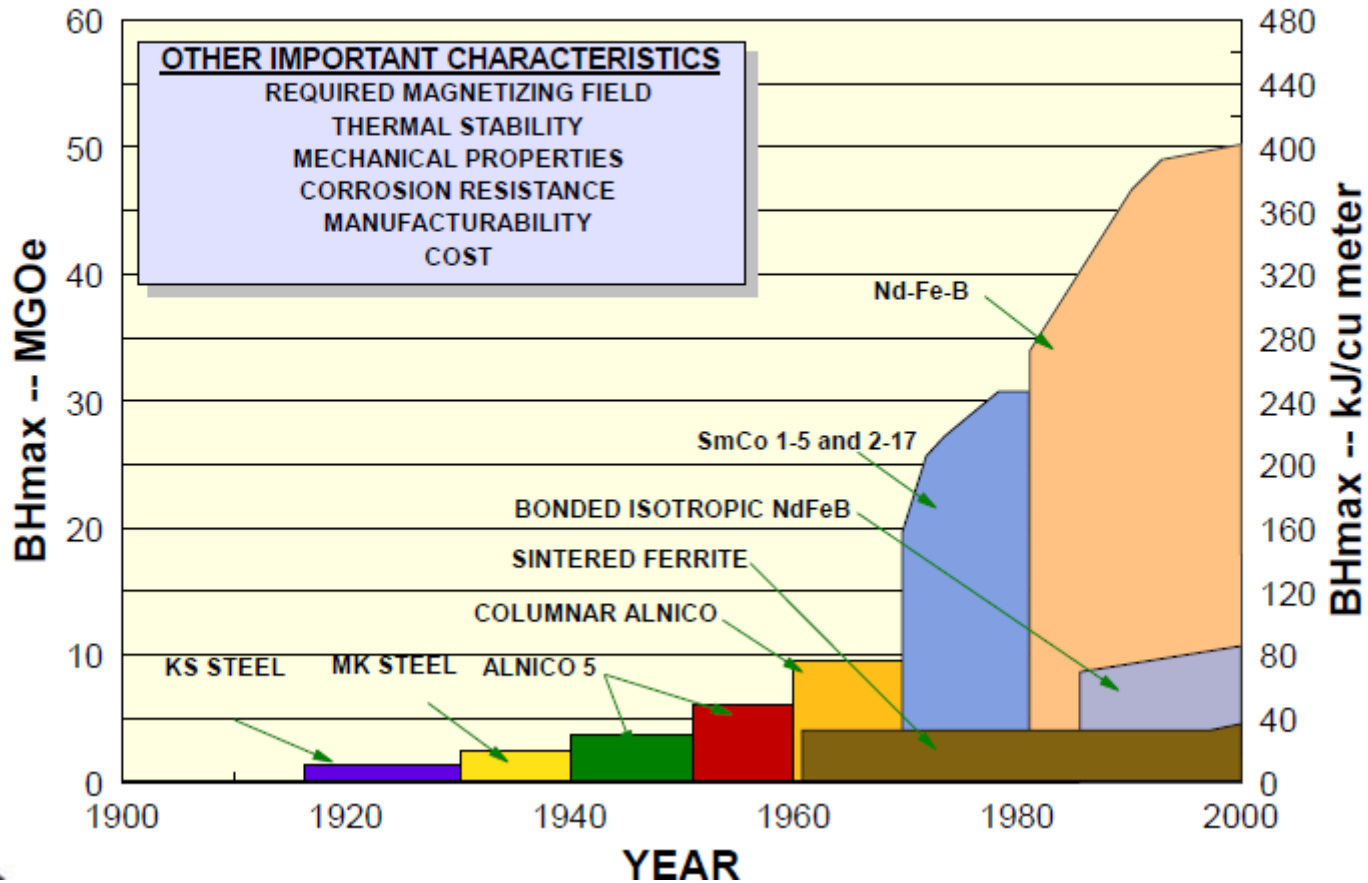
1 kA/m = 12.566 Oe 1 kOe = 79.577 kA/m

Materiały MT



Materiały magnetycznie trwałe

Improvement in Magnet Strength



<http://www.arnoldmagnetics.com/>

Materiały magnetycznie trwałe

- ▶ Tlenki ziem rzadkich są poddawane procesowi rozdrabniania i rafinacji (oczyszczania)
- ▶ Przygotowywane są kompozyty z materiałów bazowych (metali ziem rzadkich, żelaza, kobaltu) topionych w piecach indukcyjnych w środowisku próżni
- ▶ Bloki (wlewki) kompozytu są rozdrabnianie (szlifowanie lub ścieranie) w atmosferze gazów osłonowych (azotu i argonu) w celu uzyskania proszków o wielkości rzędu kilku mikronów



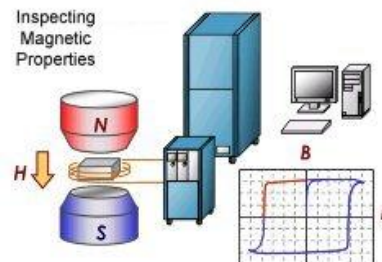
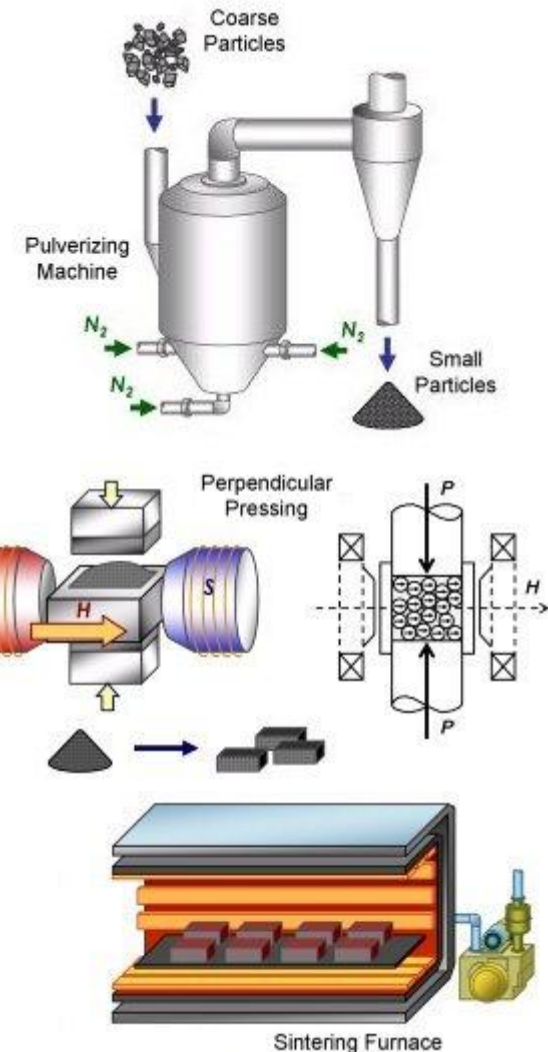
www.shimetsu-rare-earth-magnet.jp

Materiały magnetycznie trwałe

- ▶ Formowanie magnesów w procesie prasowania w polu magnetycznym
- ▶ Spiekanie – przeprowadzanie w próżni lub w atmosferze gazów osłonowych, w różnych temperaturach w zależności od typu magnesu.

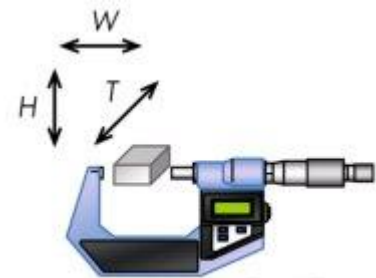
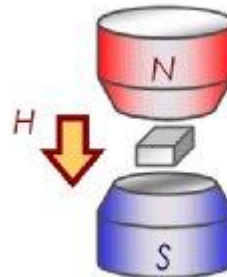
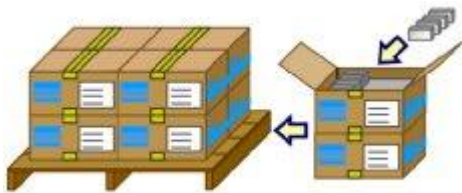
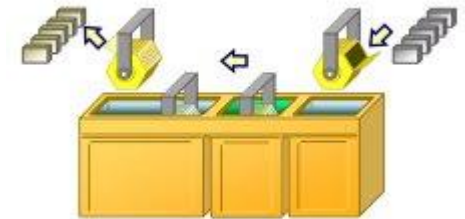
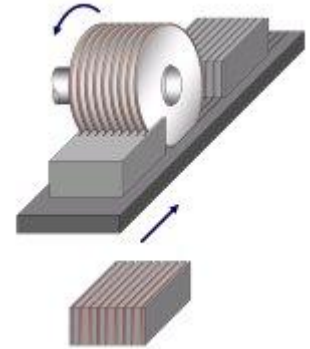
W tym procesie zwiększa się gęstość magnesów i zmniejsza ich objętość (około 50%)

- ▶ Wyżarzanie - starzenie magnesów – w celu poprawienia właściwości magnetycznych i stabilności parametrów
- ▶ Kontrola jakości i parametrów

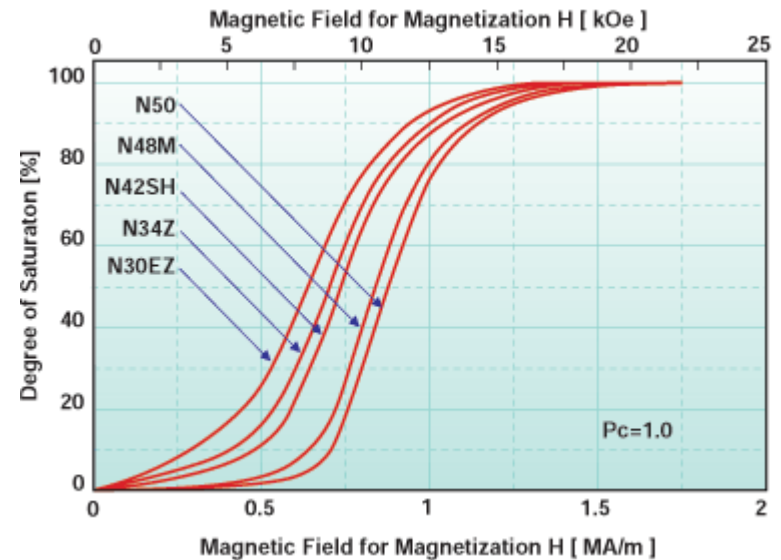
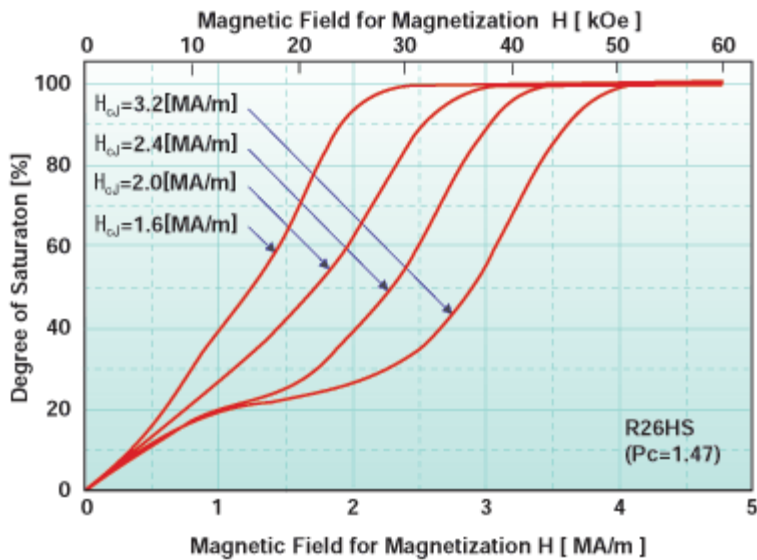
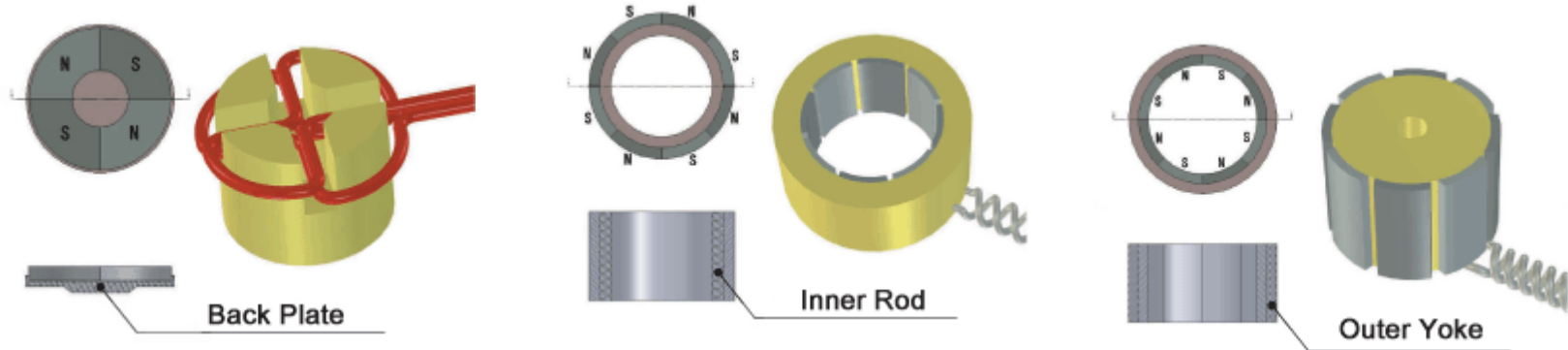


Materiały magnetycznie trwałe

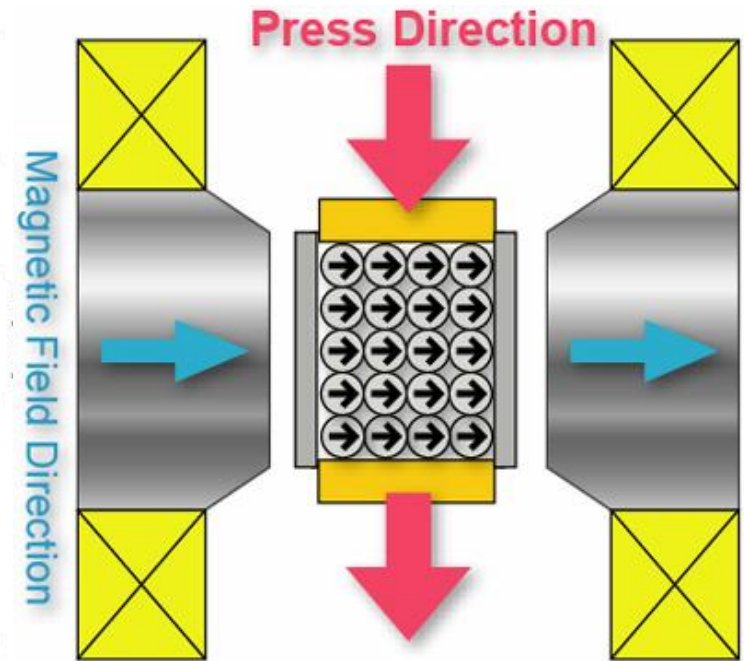
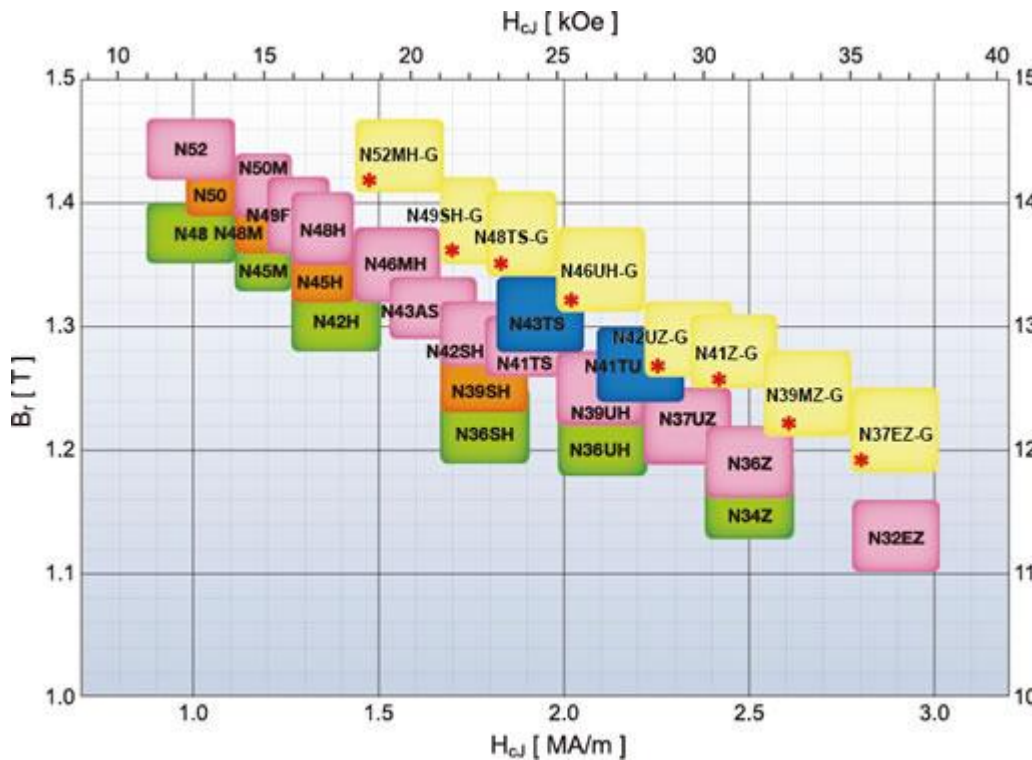
- ▶ Obróbka mechaniczna – przez szlifowanie magnesów – diament
- ▶ Platerowanie
 - ▶ Nd-Fe-B magnets are generally susceptible to rust so they are surface treated with nickel or paint. Sm-Co magnets have a high resistance to corrosion so they are not usually plated.
- ▶ Kontrola jakości, pomiary
- ▶ Magnesowanie
- ▶ Pakowanie, wysyłka



Materiały magnetycznie trwałe



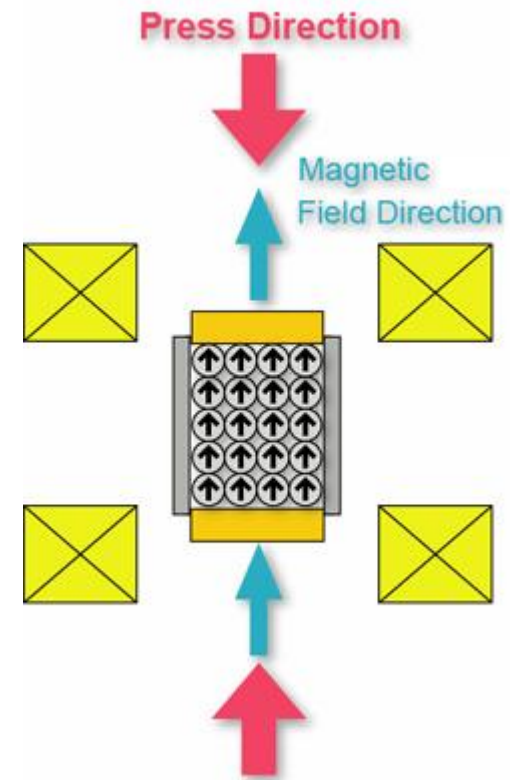
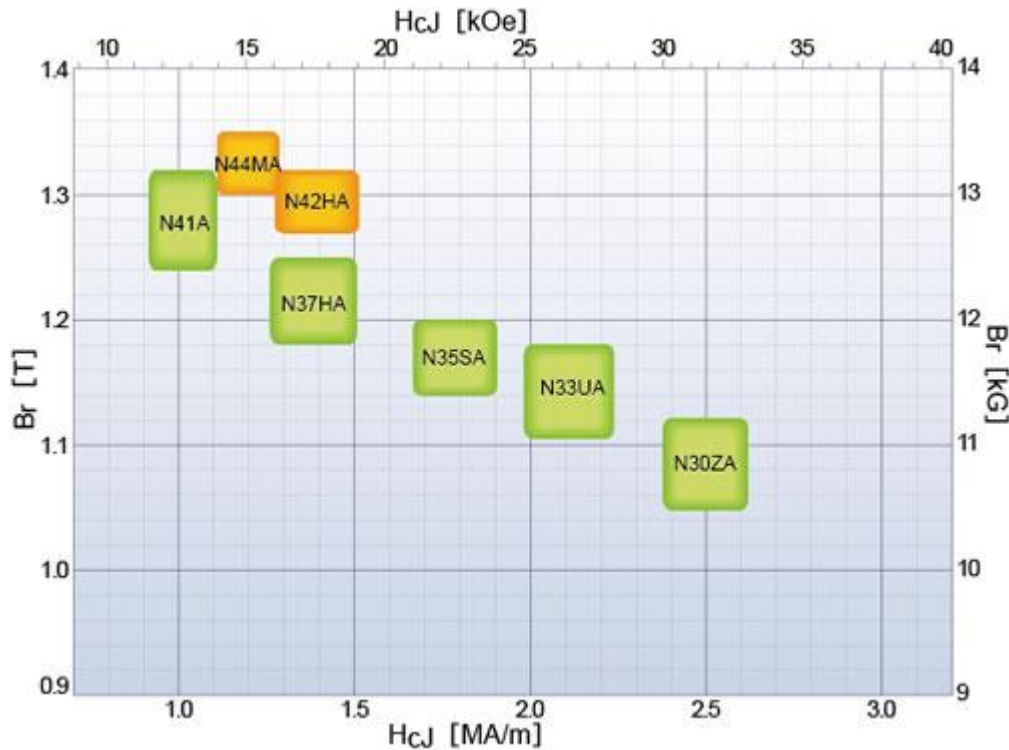
Materiały magnetyczne trwałe



Parametry magnesów NdFeB **prostopadłościennych magnesowanych prostopadle**

www.shinetsu-rare-earth-magnet.jp

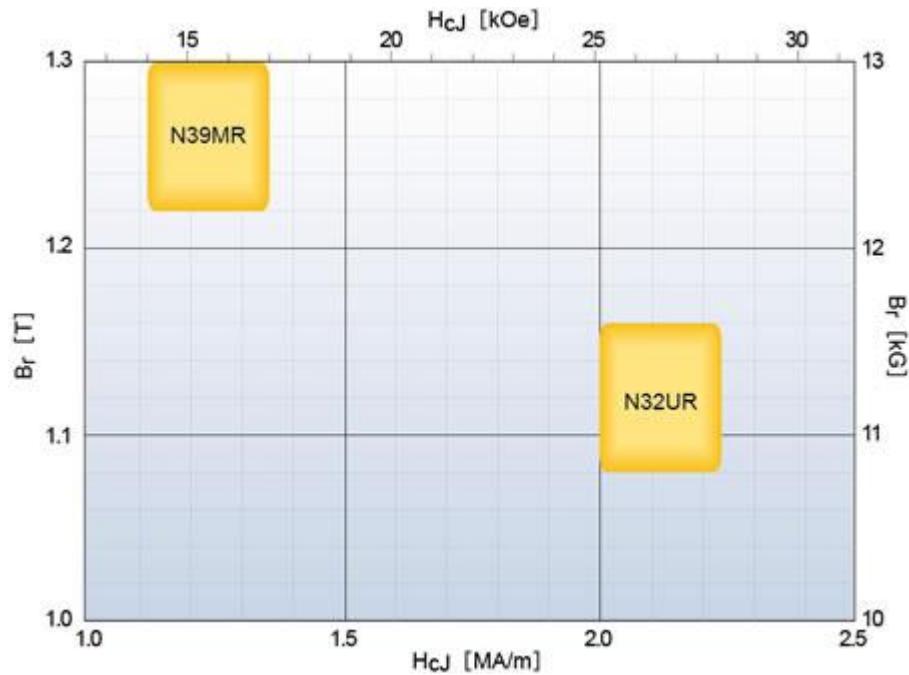
Materiały magnetycznie trwałe



Parametry magnesów NdFeB **prostopadłościennych magnesowanych równolegle**

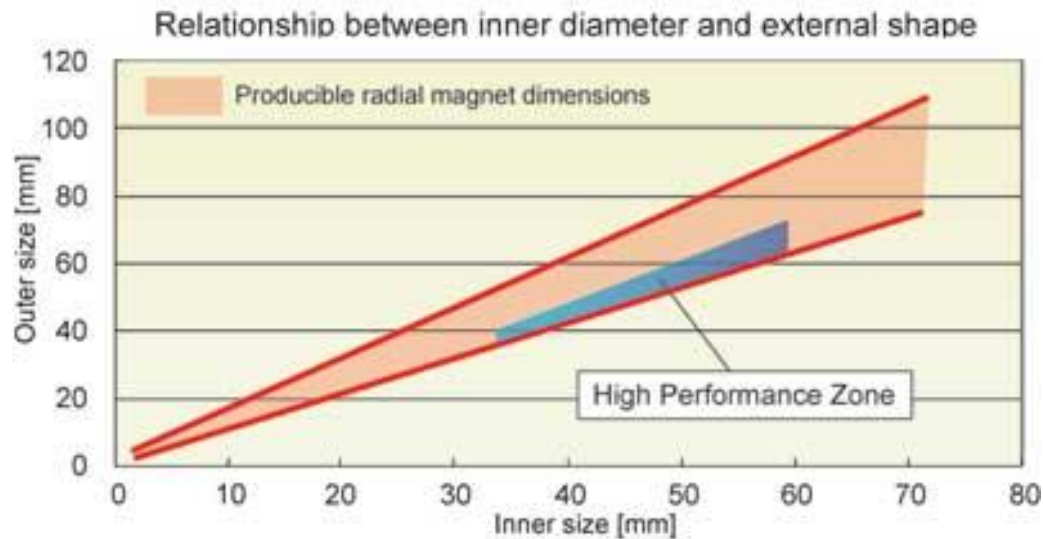
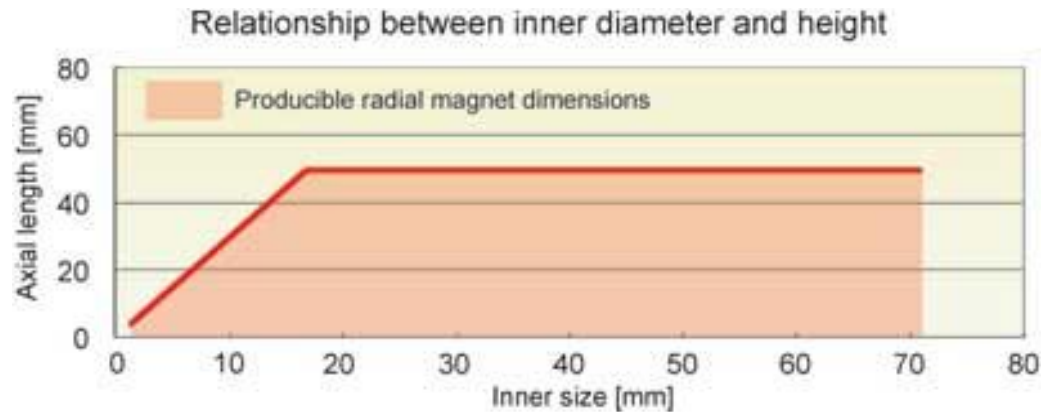
www.shinetsu-rare-earth-magnet.jp

Materiały magnetycznie trwałe



Parametry magnesów magnesów w kształcie pierścienia

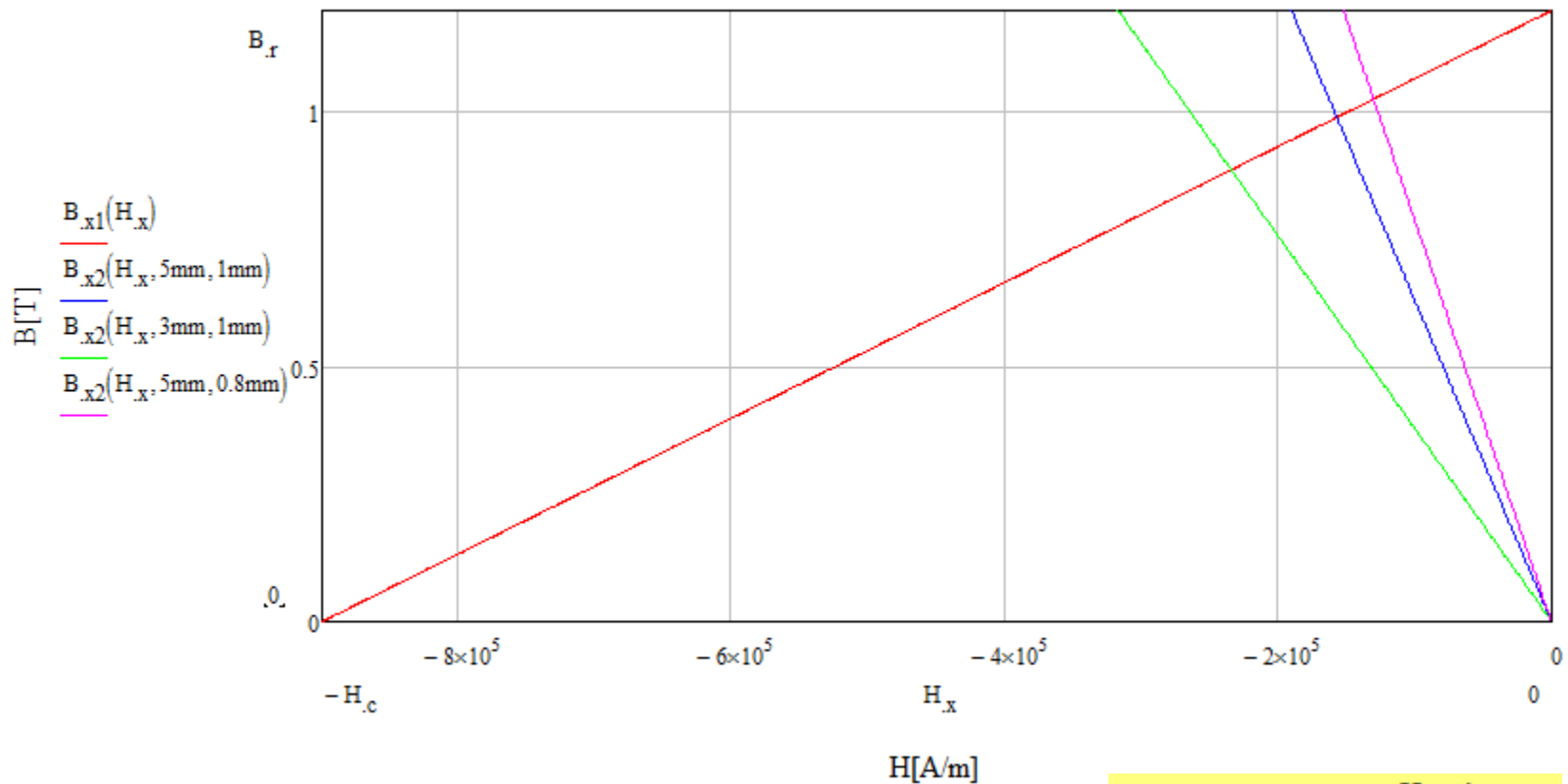
Materiały magnetycznie trwałe



Dopuszczalne wymiary magnesów trwałych wykonywanych w kształcie pierścienia

Punkt pracy MT - geometrycznie

Wyznaczenie punktu pracy magnesu trwałego - metoda graficzna

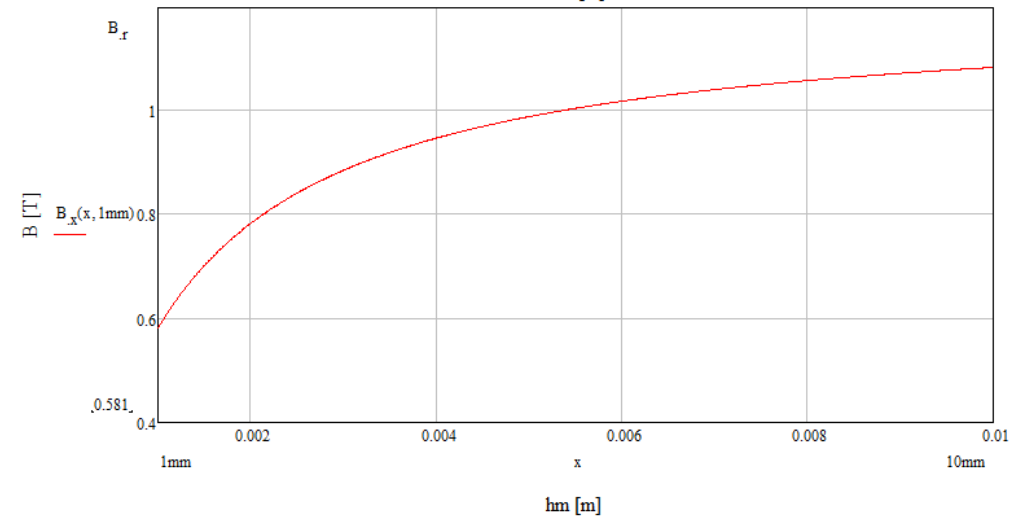
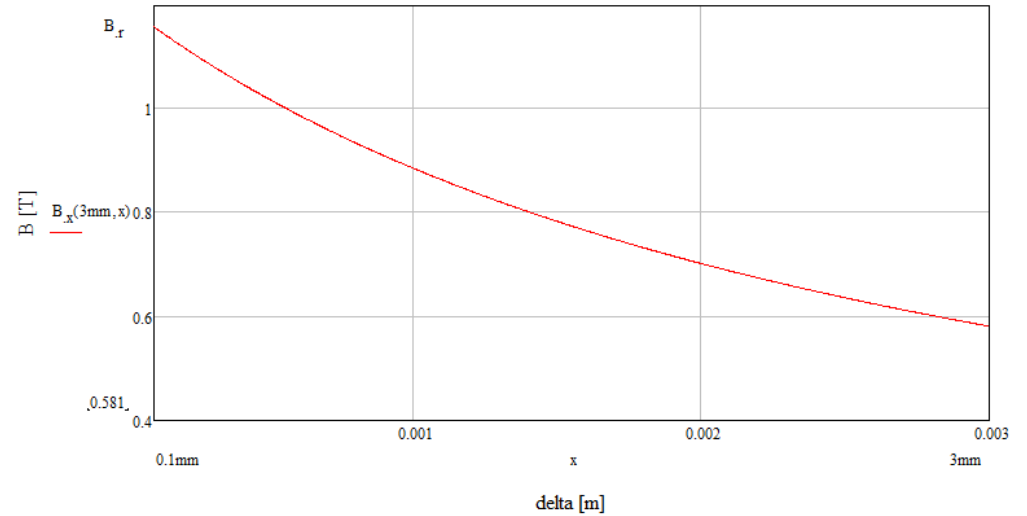
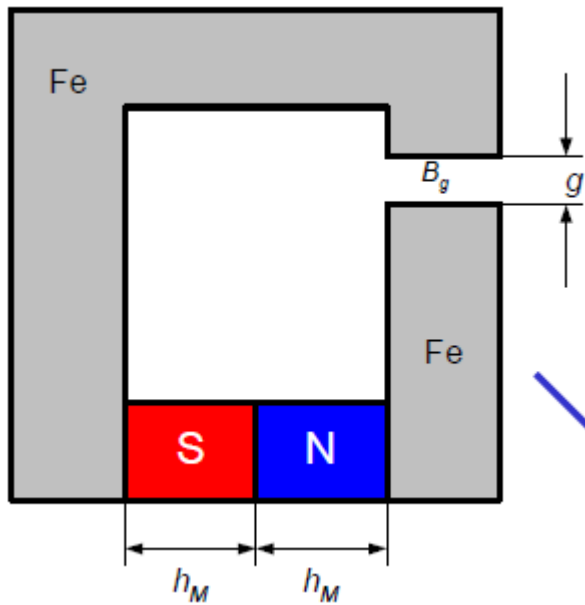


$$B_{x1}(H_{x1}) := B_r + H_{x1} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r$$

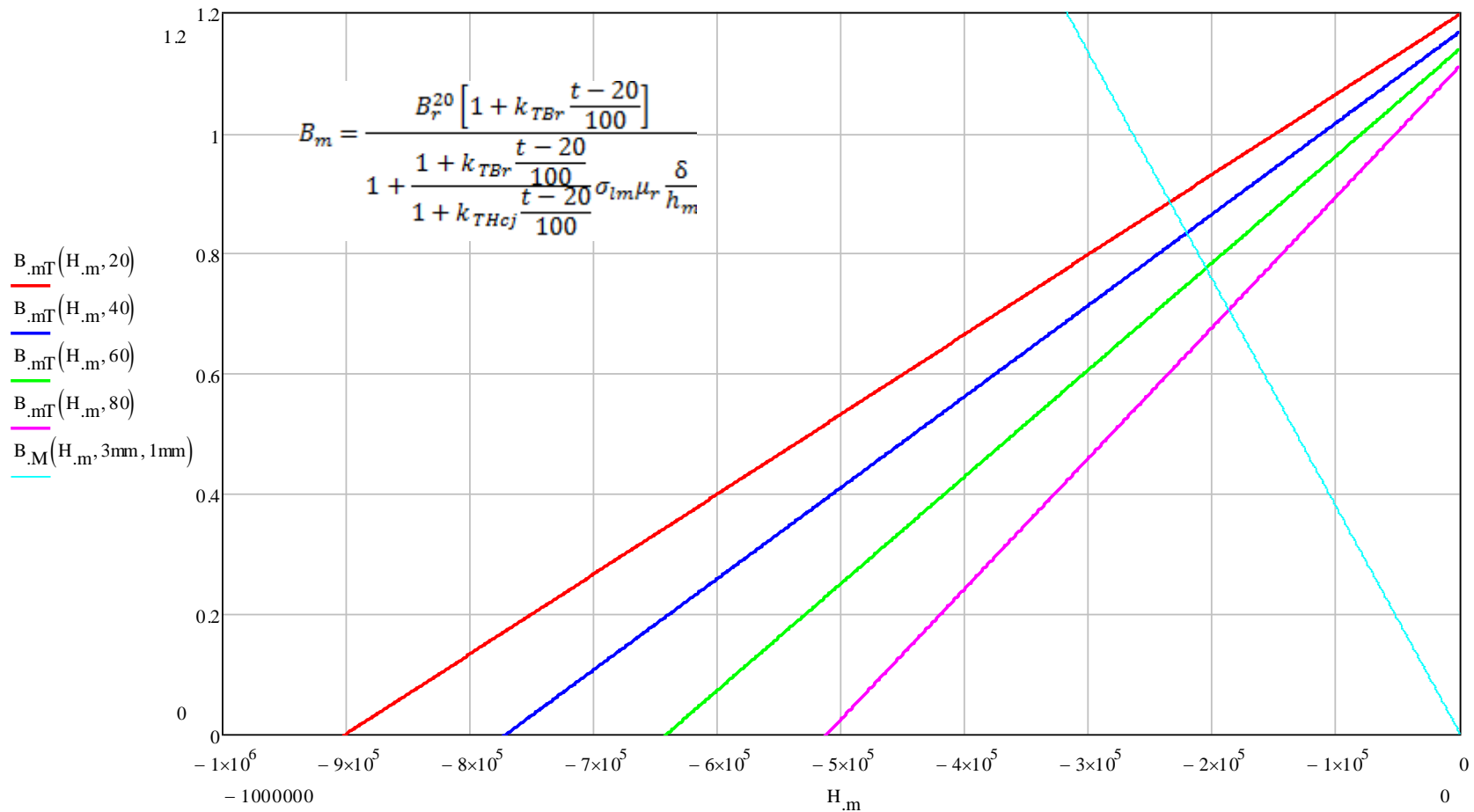
$$B_{x2}(H_{x2}, h_m, \delta) := -\frac{H_{x2} \cdot h_m \cdot \mu_0}{\delta}$$

Punkt pracy MT - analitycznie

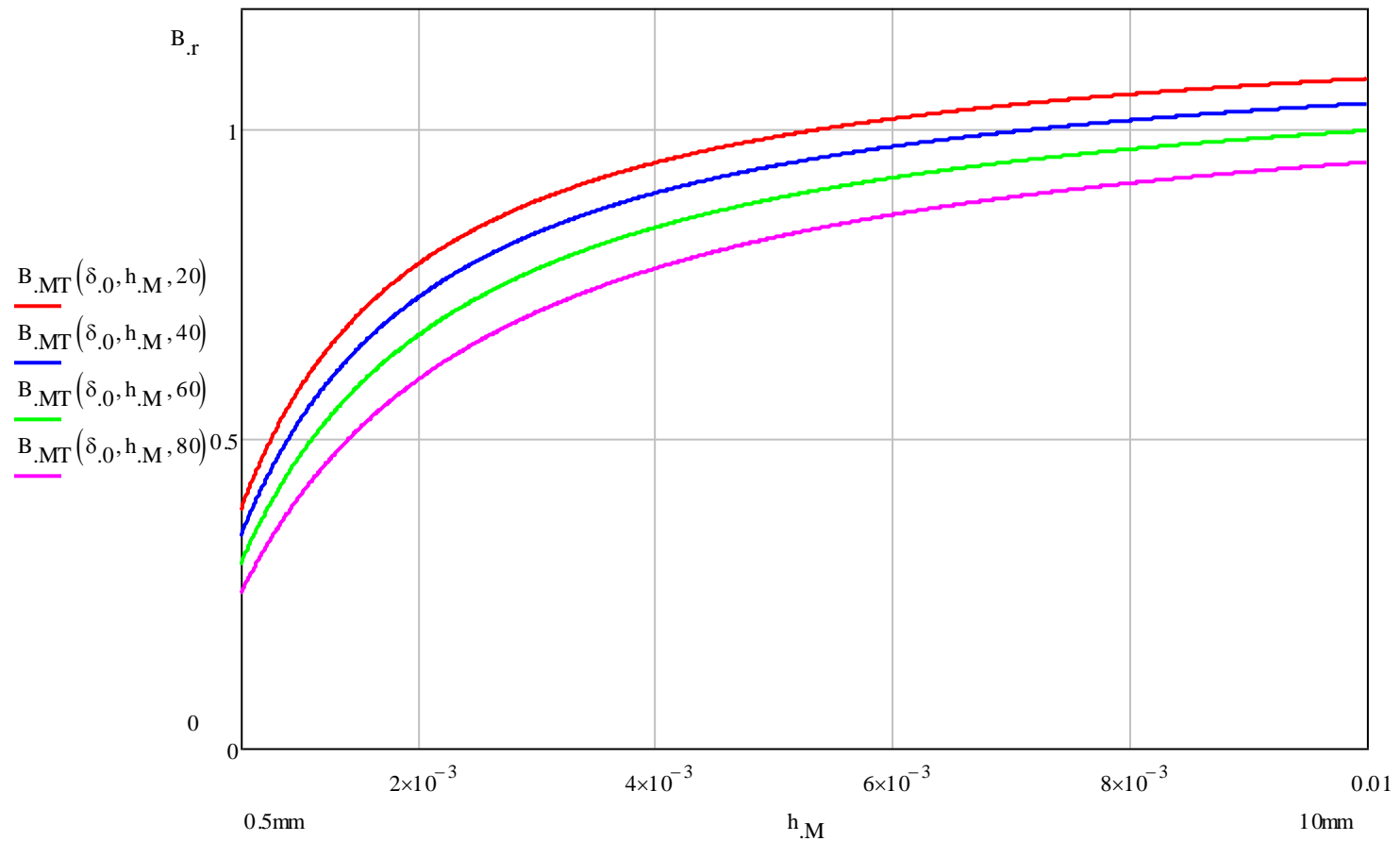
$$B_x(h_m, \delta) := \frac{B_r}{1 + \frac{\mu_r \cdot \delta}{h_m}}$$



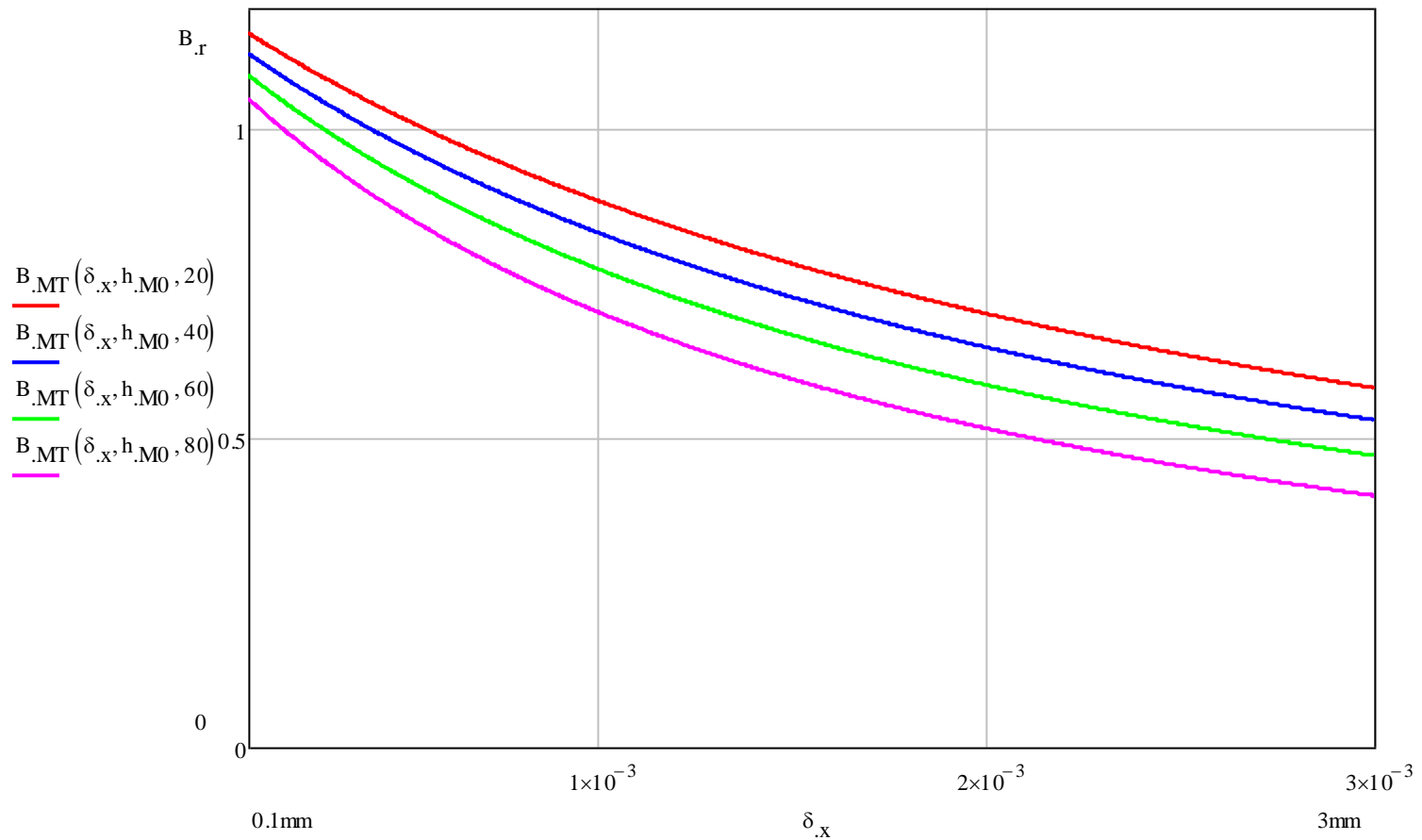
Punkt pracy MT – wpływ temperatury



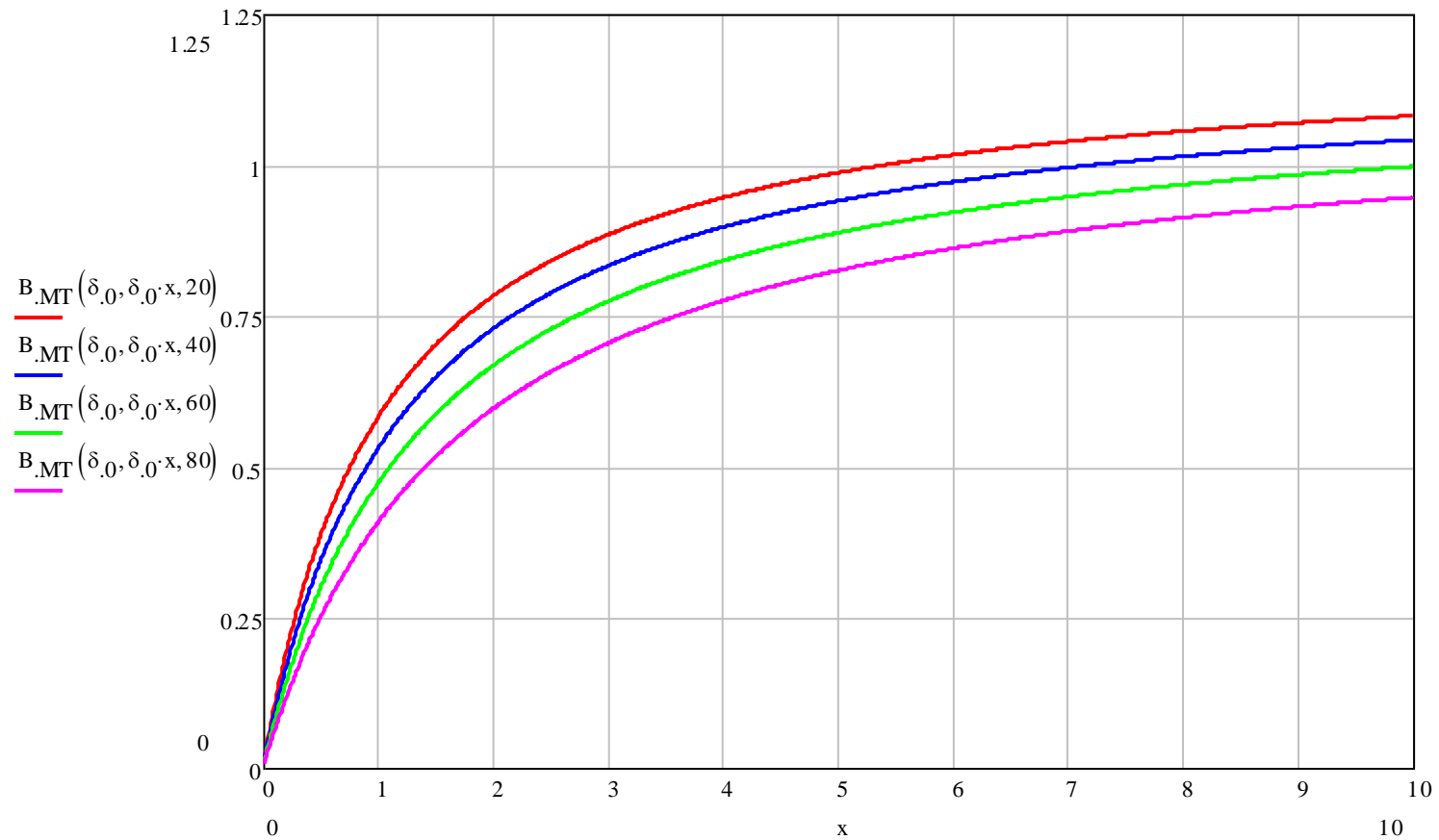
Punkt pracy MT – wpływ temperatury



Punkt pracy MT – wpływ temperatury



Punkt pracy MT – wpływ temperatury



Punkt pracy MT – wpływ temperatury

