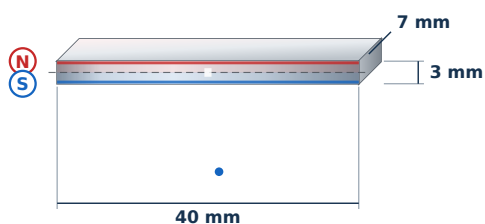


Raport obliczeń magnesu

MPL 40x7x3 / N38

Wygenerowano: 01.08.2026 12:29:20

<https://dhit.pl/kalkulator-magnesow/?shape=block&mat=4&len=40&wid=7&h=3&prec=2>



kierunek magnesowania (S → N)

Kształt:	płytkowy
Wymiary:	40,0 × 7,0 × 3,0 mm
Gatunek:	N38
Br:	12.2-12.6 kGs
Hcb:	860-915 kA/m
BHmax:	287-303 kJ/m ³
Temperatura:	≤ 80 °C

Dane katalogowe

MPL 40x7x3 / N38 - magnes neodymowy płytkowy

Nr katalogowy	020162	Siła oderwania	7.15kg
GTIN / EAN	5906301811688	Indukcja	284,46 mT / 2 845 Gs
Wymiary	40,0 × 7,0 × 3,0 mm	Powłoka	[NiCuNi] nikiel
Waga	6.30g	Gatunek	N38
Kierunek magnesowania	przez grubość		

<https://dhit.pl/produkt/magnes-neodymowy-plytkowy-40x7x3-n38-osowy>

Wynik obliczeń

7,14 kg
SIŁA ODERWANIA

2 843 Gs
INDUKCJA POWIERZCHNIOWA

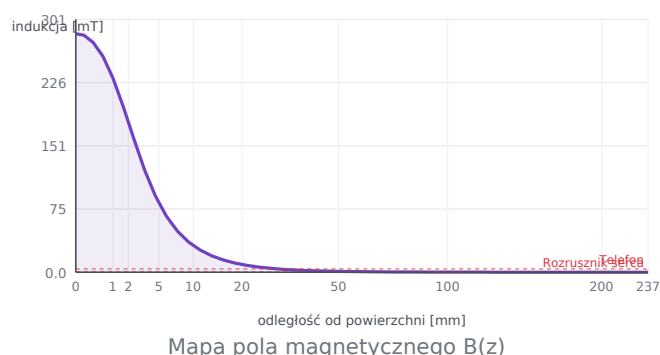
6,30 g
MASA MAGNESU

0,24 Pc
WSP. PERMEANCJI

Widelki wynikające z tolerancji materiału: 6,92 – 7,38 kg

Spis treści

1. Dane katalogowe	15. Siła w funkcji kąta obciążenia
2. Wynik obliczeń	16. Typowe scenariusze montażu
3. Metodologia i walidacja modelu	17. Ile magnesów potrzebuje?
4. Siła i indukcja w funkcji odległości	18. Kierunek obciążenia a realny udźwig
5. Siła ścinająca (poślizg)	19. Porównanie gatunków
6. Wpływ grubości blachy	20. Dwa magnesy — przyciąganie i odpychanie
7. Krzywa demagnetyzacji i punkt pracy	21. Stos magnesów
8. Spadek siły w funkcji temperatury	22. Parametry dodatkowe
9. Rozszerzona analiza temperaturowa	23. Krzywa spadku temperaturowego
10. Analiza wrażliwości i tolerancji	24. Krzywa wpływu grubości blachy
11. Porównanie metod obliczeniowych	25. Starzenie i stabilność długoterminowa
12. Bezpieczne odległości (BHP)	26. Zalecane współczynniki bezpieczeństwa
13. Strumień magnetyczny	27. Jak używać tych danych w praktyce
14. Dynamika przyciągania	28. Warunki odniesienia



Indukcja mierzona na osi, w powietrzu, bez płyty stalowej. Skala pozioma jest zagęszczona przy powierzchni, żeby pokazać jednocześnie gwałtowny spadek przypowierzchniowy i zasięg pola resztkowego. Poziome linie odniesienia odpowiadają progom istotnym dla bezpieczeństwa.

Metodologia i walidacja modelu

Wyniki w tym raporcie nie pochodzą z symulacji polowej metodą elementów skończonych (FEM) ani z tabeli wartości katalogowych. Liczy je zamknięty model analityczny: pole na osi magnesu wyznaczane jest ze wzoru na potencjał jednorodnie namagnesowanej bryły, a siła oderwania z równania Maxwella dla naprężenia magnetycznego na granicy magnes-stal. Cały tor obliczeniowy jest jawny i podany niżej, więc każdy wynik da się odtworzyć ręcznie.

Równania modelu

Płytką prostokątnościenną — indukcja na osi, gdzie $a = L/2$ oraz $b = W/2$

$$B(z) = \left(\frac{B_r}{\pi} \right) \cdot \left[\arctan\left(\frac{a \cdot b}{(z + H) \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + (z + H)^2}} \right) - \arctan\left(\frac{a \cdot b}{z \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} \right) \right]$$

Siła oderwania — naprężenie Maxwella scałkowane po powierzchni bieguna

$$F [N] = \frac{B_{load}^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0} \quad F [kg] = \frac{F [N]}{g}$$

Współczynnik skupienia strumienia — gruba stal działa jak zwierciadło magnetyczne: domyka obwód i podnosi indukcję w szczelinie względem wartości mierzonej w wolnej przestrzeni

$$B_{load} = B(0) \cdot sf \quad sf = 1 + 1,6 \cdot \exp(-1,2 \cdot \lambda) \quad \lambda = H / D$$

Współczynnik permeancji — miara tego, jak bardzo kształt magnesu sam siebie odmagnesowuje; De oznacza średnicę zastępczą bieguna

$$P_c = k \cdot 1,7 / (1 + 0,9 \cdot k) \quad k = H / D_e$$

Stała kalibracyjna — model bez korekty systematycznie zaniża siłę, ponieważ pomija strumień rozproszony z poboczniczy, który również zamyka się przez płytę i przenosi część obciążenia. Poprawkę wyznaczono regresją najmniejszych kwadratów na 127 pozycjach katalogowych dh1t

$$F \text{ [kg]} = k_{cal} \cdot B_{load}^2 \cdot A / (2 \cdot \mu_0 \cdot g) \quad k_{cal} = 1,4837$$

Stałe i parametry wejściowe modelu

Symbol	Znaczenie	Wartość
Br	Remanencja gatunku, środek widełek	12,40 kGs (1,240 T)
Hcb	Koercja indukcji, katalogowa	860-915 kA/m
Hcj	Koercja wewnętrzna, minimum gwarantowane	≥ 955 kA/m
μrec	Przenikalność powrotna	1,05
k_cal	Stała kalibracyjna modelu	1,4837
Pc	Współczynnik permeancji tej geometrii	0,236
sf	Współczynnik skupienia strumienia	2,290
A	Powierzchnia bieguna	2,80 cm²
ρ	Gęstość spieku NdFeB	7,50 g/cm³

Kalibracja i dokładność odwzorowania

Stała k_{cal} jest jedynym parametrem dopasowywanym w całym modelu — reszta toru to czysta fizyka bez współczynników korygujących. Dopasowanie objęło 127 pozycji katalogowych obejmujących walce, płytki i pierścienie w gatunkach od N35 do N52. Po kalibracji mediana rozbieżności między modelem a wartością katalogową wynosi 0,09%, dziewiąty decyl 0,45%, a największa zaobserwowana rozbieżność 1,9%. Są to miary zgodności modelu z bazą, na której go dopasowano — nie są to niezależne pomiary laboratoryjne i nie należy ich interpretować jako niepewności pomiarowej.

Założenia przyjęte w obliczeniach

1. Materiał jest namagnesowany jednorodnie w całej objętości, a wektor magnetyzacji jest równoległy do osi podanej jako kierunek magnesowania.
2. Płyta stalowa jest płaska, czysta, odtłuszczona, o grubości co najmniej takiej, przy której model wykazuje pełne wykorzystanie strumienia (patrz tabela wpływu grubości blachy), i nie wchodzi w nasycenie.
3. Styk jest pełnopowierzchniowy, bez szczeliny poza grubością powłoki ochronnej.
4. Siła działa prostopadle do powierzchni styku i narasta powoli — bez uderzenia i bez składowej obrotowej.
5. Temperatura magnesu i stali wynosi 20 °C, przenikalność powrotna $\mu_{rec} = 1,05$.
6. W obliczeniach użyto remanencji ze środka widełek katalogowych gatunku; wpływ skrajnych wartości pokazuje osobna tabela porównania metod.
7. W polu nie ma innych źródeł magnetycznych ani elementów ferromagnetycznych poza opisaną płytą.

Ograniczenia modelu

1. Model liczy pole wyłącznie na osi symetrii. Rozkład indukcji przy krawędzi bieguna jest inny — dla magnesu ustawionego przy samej krawędzi blachy siła spada o ok. 45%, co ujęto osobnym parametrem, ale nie wynika to z równania pola.
2. Magnesy o bardzo niskim współczynniku permeancji (P_c poniżej ok. 0,2, czyli bryły wyraźnie płaskie) pracują blisko kolana krzywej odmagnesowania. Model traktuje ich charakterystykę jako liniową, co jest prawdziwe w 20 °C, ale przestaje obowiązywać po podgrzaniu — rzeczywista strata bywa wtedy większa od obliczonej. Dla takich kształtów należy czytać raport razem z sekcją analizy temperaturowej.
3. Model opisuje magnesowanie osiowe. Dla magnesowania promieniowego i promieniowego bieguny leżą gdzie indziej i raport nie jest generowany.
4. Obwody zamknięte — uchwyty w obudowie stalowej, separatory, belki i chwytaki — mają inną topologię strumienia. Wartości dla uchwytów w tym raporcie są przybliżeniem opartym na współczynniku wzmocnienia, a nie rozwiązaniem obwodu magnetycznego.
5. Nie modelowano histerezy, prądów wirowych ani zjawisk dynamicznych przy szybkim odrywaniu. Siła oderwania przy uderzeniu bywa wyższa od statycznej.
6. Odchyłki płaskości i równoległości powierzchni, których w obliczeniach nie ma, w praktyce warsztatowej są najczęstszą przyczyną tego, że zmierzona siła wychodzi niższa niż policzona.

Siła i indukcja w funkcji odległości

Odległość	Gauss	mT	kg	lbs	N	Udział siły
0 mm	2 843	284,3	7,14	15,75	70,1	100%
1 mm	2 314	231,4	4,73	10,44	46,4	66%
2 mm	1 788	178,8	2,83	6,23	27,7	40%
3 mm	1 365	136,5	1,65	3,63	16,1	23%
5 mm	824	82,4	0,60	1,32	5,9	8%
10 mm	317	31,7	0,09	0,20	0,9	1%
15 mm	160	16,0	0,02	0,05	0,2	0%
20 mm	92	9,2	0,01	0,02	0,1	0%
30 mm	38	3,8	0,00	0,00	0,0	0%
50 mm	11	1,1	0,00	0,00	0,0	0%

Siła ścinająca (poślizg)

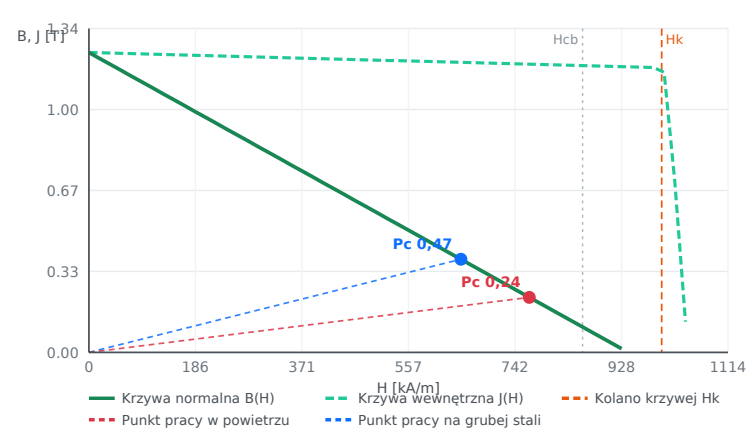
Powierzchnia	Tarcie	kg	N
Stal surowa	0,30	2,14	21,0
Stal lakierowana	0,20	1,43	14,0
Powierzchnia zaolejona	0,10	0,71	7,0
Powłoka gumowa	0,50	3,57	35,0

Wpływ grubości blachy

Grubość	Wykorzystanie	Siła
0,5 mm	10%	0,71 kg
1,0 mm	25%	1,79 kg
2,0 mm	50%	3,57 kg
3,0 mm	75%	5,36 kg
5,0 mm	100%	7,14 kg
8,0 mm	100%	7,14 kg
10,0 mm	100%	7,14 kg
12,0 mm	100%	7,14 kg

Krzywa demagnetyzacji i punkt pracy

Krzywa normalna B(H) opisuje indukcję wypadkową wewnątrz magnesu, krzywa wewnętrzna J(H) — samą polaryzację materiału. Punkt pracy leży na przecięciu krzywej normalnej z prostą obciążenia o nachyleniu równym współczynnikowi permeancji: $B = \mu_0 \cdot P_c \cdot H$. Im niżej ten punkt leży, tym bliżej kolana krzywej J(H) pracuje magnes i tym łatwiej stracić strumień bezpowrotnie.



Stan pracy	Pc	Bd [T]	Hd [kA/m]
Punkt pracy w powietrzu	0,236	0,228	767
Punkt pracy na grubej stali	0,473	0,385	648

	Zapas do kolana Hk/Hd	Ryzyko trwałej utraty
Punkt pracy w powietrzu	1,30	brak
Punkt pracy na grubej stali	1,54	brak

$H_k = 998 \text{ kA/m} \cdot H_{cj} \text{ 955-1 051 kA/m} \cdot H_{cb} \text{ 940 kA/m}$

Przyłożenie magnesu do grubej płyty stalowej domyka obwód magnetyczny i w przybliżeniu podwaja współczynnik permeancji. Punkt pracy przesuwają się w górę krzywej, indukcja w magnesie rośnie, a zapas do kolana wyraźnie się powiększa. To jest fizyczny powód, dla którego magnesy płaskie należy przechowywać przyklejone do stali lub w parach zwróconych przeciwnymi biegunami, a nie luzem.

Proporcje tego magnesu dają punkt pracy położony wysoko na krzywej, z dużym zapasem do kolana. W typowych warunkach eksploatacji ryzyko trwałej utraty strumienia jest pomijalne; ograniczeniem pozostaje maksymalna temperatura pracy gatunku.

Spadek siły w funkcji temperatury

Temperatura	Strata	Siła	%
20 °C	0,0%	7,14 kg	100%
40 °C	-2,2%	6,99 kg	98%
60 °C	-4,4%	6,83 kg	96%
80 °C	-6,6%	6,67 kg	93%
100 °C	-28,8%	5,09 kg	71%

Rozszerzona analiza temperaturowa

Temperatura odbiera siłę na dwa sposoby, które trzeba rozróżniać. Strata odwracalna wynika ze spadku remanencji o 0,11% na każdy kelwin i znika w całości po ostygnięciu. Strata nieodwracalna pojawia się dopiero wtedy, gdy punkt pracy zejdzie poniżej kolana krzywej J(H) — i już nie wraca. Ponieważ koercja wewnętrzna maleje z temperaturą ponad pięć razy szybciej niż remanencja, o granicy bezpiecznej pracy decyduje nie deklarowana maksymalna temperatura gatunku, lecz kształt magnesu.

Temperatura	Strata odwracalna	Zapas do kolana Hk/Hd	Strata nieodwracalna	Siła w temperaturze	Siła po ostygnięciu	Ryzyko trwałej utraty
20 °C	0,0%	1,30	0,0%	7,14 kg	7,14 kg	brak
40 °C	-2,2%	1,17	0,0%	6,83 kg	7,14 kg	niskie
60 °C	-4,4%	1,03	0,0%	6,53 kg	7,14 kg	umiarkowane
80 °C	-6,6%	0,89	-18,6%	4,13 kg	4,73 kg	wysokie
100 °C !	-8,8%	0,74	-37,2%	2,34 kg	2,81 kg	wysokie

Kolumna „siła po ostygnięciu” jest tą, która ma znaczenie dla trwałości wyrobu: pokazuje, ile magnes utrzyma już na zawsze po jednorazowym epizodzie przegrzania. Wartości nieodwracalne są oszacowaniem modelowym opartym na położeniu punktu pracy względem kolana krzywej, a nie wynikiem badania wytrzymałości termicznej. Rzeczywista strata zależy od czasu wygrzewania i od faktycznej koercji danej partii materiału.

Praktyczna konsekwencja: magnes płaski trzymany w powietrzu traci margines znacznie wcześniej niż ten sam magnes przyklejony do stali. Jeżeli aplikacja przewiduje podwyższoną temperaturę, najtańszym zabezpieczeniem nie jest wyższy gatunek, tylko zamknięcie obwodu magnetycznego albo pogrubienie magnesu.

Analiza wrażliwości i tolerancji

Podana siła oderwania jest wartością nominalną dla wymiarów nominalnych i warunków odniesienia. Poniższe tabele pokazują, jak bardzo wynik zmienia się przy odchyłkach, które w praktyce występują zawsze: tolerancji szlifowania, grubości powłoki, stanu powierzchni stali i jej gatunku.

Wpływ tolerancji wymiarowej ±0,1 mm

Wymiar	Zmiana siły	Zmiana indukcji	Siła w granicach tolerancji
Długość L	-0,26% ... +0,26%	-0,01% ... +0,01%	7,13 - 7,16 kg
Szerokość W	-0,30% ... +0,29%	-0,94% ... +0,96%	7,12 - 7,17 kg
Wysokość / grubość H	-3,91% ... +3,82%	-2,37% ... +2,31%	6,87 - 7,42 kg
Wszystkie wymiary skrajnie	-3,84% ... +3,82%	-1,41% ... +1,35%	6,87 - 7,42 kg

Tolerancja wykonawcza magnesów spiekanych NdFeB po szlifowaniu wynosi standardowo $\pm 0,1$ mm. Wniosek praktyczny jest niesymetryczny: dla magnesów płaskich o siłę decyduje niemal wyłącznie wysokość, bo to ona ustawia współczynnik permeancji, natomiast odchyłka średnicy niemal nic nie zmienia — większa powierzchnia bieguna jest równoważona spadkiem indukcji. Jeżeli siła jest parametrem krytycznym, warto zawężyć tolerancję wysokości, a nie średnicy.

Wpływ powłoki i stanu powierzchni				Wpływ gatunku stali podłoża		
Warunki styku	Zastępcza szczelina	Siła	%	Materiał podłoża	Współczynnik	Siła
Styk idealny, magnes bez powłoki	0,000 mm	7,14 kg	100,0%	Stal magnetycznie miękka (ARMCO, DT4)	1,03	7,36 kg
Powłoka NiCuNi 15–25 µm	0,025 mm	7,11 kg	99,5%	S235 / St3 — odniesienie modelu	1,00	7,14 kg
Powłoka + chropowatość blachy walcowanej	0,050 mm	7,05 kg	98,6%	S355	0,99	7,07 kg
Film olejowy lub konserwacyjny	0,060 mm	7,02 kg	98,3%	Stal węglowa C45	0,96	6,86 kg
Lakier proszkowy 60–80 µm	0,100 mm	6,93 kg	96,9%	Nierdzewna ferrytyczna 430	0,85	6,07 kg
Gruba powłoka malarska lub cynk natryskowy	0,200 mm	6,68 kg	93,5%	Żeliwo szare	0,75	5,36 kg
Nalot i łuszcząca się rdza	0,400 mm	6,18 kg	86,5%	Nierdzewna austenityczna 304 / 316	0,00	0,00 kg
Zgorzelina, gruba korozja	0,800 mm	5,20 kg	72,8%			

Wszystkie stany powierzchni sprowadzono do wspólnej miary — zastępczej szczeliny powietrznej. Wynik bywa zaskakujący: magnes o niskim współczynniku permeancji jest na cienką szczelinę mało wrażliwy, ponieważ o jego punkcie pracy decyduje własne odmagnesowanie, a nie reluktancja szczeliny. Ten sam lakier na magnesie smukłym, o wysokim P_c , kosztuje kilkanaście procent siły. Dlatego tabela jest liczona dla tej konkretnej geometrii, a nie przepisywana z tabeli ogólnej. Ważne zastrzeżenie: powyższe liczby opisują wyłącznie skutek samej szczeliny. Rdza, zgorzelina i gruba powłoka malarska działają jeszcze drugim mechanizmem — niszczą płaskość i sprowadzają styk pełnopowierzchniowy do kilku punktów podparcia. Ten drugi efekt jest zwykle znacznie kosztowniejszy od samej szczeliny i nie da się go wyliczyć z geometrii; na skorodowanej blasze realny udźwиг potrafi spaść o połowę i więcej.

Dopóki płyta jest odpowiednio gruba i nie wchodzi w nasycenie, jej gatunek ma niewielkie znaczenie: reluktancję obwodu zdominowało już samo odmagnesowanie magnesu, więc podniesienie przenikalności stali niewiele zmienia. Różnice stają się istotne dopiero dla żeliwa i stali ferrytycznej, gdzie niższa indukcja nasycenia realnie ogranicza strumień. Austenit 304 i 316 jest paramagnetyczny — magnes do niego nie przywrze w ogóle. Podane współczynniki są orientacyjne.

Porównanie metod obliczeniowych

Ta sama geometria policzona różnymi metodami daje wyniki różniące się kilkunastokrotnie. Nie jest to spór o fizykę, tylko o przyjęte założenia. Poniższa tabela pokazuje cały rozrzut, żeby było jasne, skąd bierze się wartość publikowana przez dhit i dlaczego bywa niższa od podawanych gdzie indziej.

Metoda obliczeniowa	Kluczowe założenie	Siła	Względem dhit
Maxwell na pełnej remanencji	Zakłada indukcję równą B_r w całej szczelinie. Granica termodynamiczna, fizycznie nieosiągalna.	17,47 kg	×2,44
Model zwierciadlany obwodu	Podwaja P_c i liczy siłę z indukcji w punkcie pracy. Pomija strumień rozproszony z pobocznic, więc zaniża wynik.	1,68 kg	×0,24
Model analityczny bez kalibracji	Ten sam tor obliczeniowy co dhit, ale bez stałej k_{cal} . Pokazuje, ile wnosi sama kalibracja.	4,82 kg	×0,67
Model dhit — wartość publikowana	Kalibrowany na katalogu, warunki odniesienia: S235, styk pełnopowierzchniowy, 20 °C.	7,14 kg	×1,00
Model dhit przy górnej granicy B_r	Ta sama metoda, ale z remanencją na górnej granicy widełek gatunku zamiast wartości środkowej.	7,38 kg	×1,03
Ten sam wymiar w wyższym gatunku (N42)	Częsta przyczyna rozbieżności — katalogi zagraniczne domyślnie podają N42, nie N38.	7,91 kg	×1,11

Kalkulatory publikowane przez zagranicznych dostawców podają dla tej klasy wymiarowej wartości rzędu 8–9 kg, czyli wyraźnie wyższe. Różnica nie bierze się z błędu żadnej ze stron, tylko z sumy założeń: domyślnego gatunku N42 zamiast

N38, remanencji przyjmowanej przy górnej granicy widełek, płyty docieranej zamiast walcowanej, zerowej szczeliny liczonej na magnesie bez powłoki oraz rozwiązania polowego, które oddaje strumień rozproszony korzystniej niż model analityczny. Każde z tych założeń z osobna jest obronne; razem dają liczbę, której w warsztacie nie da się powtórzyć.

dhit publikuje świadomie dolny koniec tego przedziału. Stosunek wartości publikowanej do wartości idealizowanej wypada w okolicy 0,6 — czyli dokładnie tam, gdzie i tak kazalibyśmy projektować, wprowadzając współczynnik bezpieczeństwa. Liczba z tego raportu jest więc od razu bliższa temu, co konstruktor powinien wpisać do obliczeń.

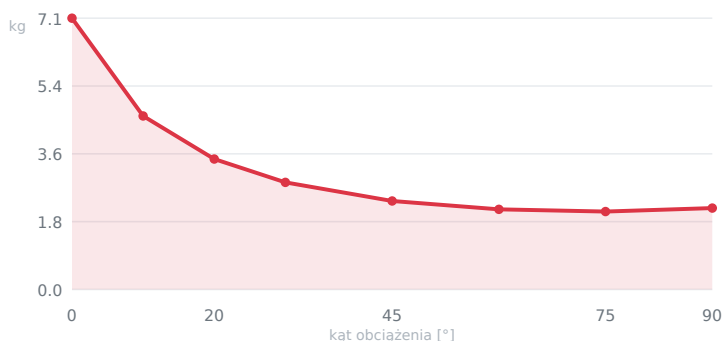
Bezpieczne odległości (BHP)			Strumień magnetyczny	
	Gs	cm	Φ	6 379 Mx
Rozrusznik serca	< 5	6,6	Φ (SI)	63,8 μWb
Aparat słuchowy	< 10	5,2	Bd	2 278 Gs
Zegarek	< 20	4,0	Pc	0,24
Telefon	< 40	3,0	A	2,80 cm²
Karta płatnicza	< 400	1,0	V	0,84 cm³
Dysk HDD	< 600	0,8		

Dynamika przyciągania

Dystans startowy	Prędkość	km/h	Energia	Ryzyko
10 mm	9,51 m/s	34,2	0,28 J	Bezpieczne
30 mm	16,34 m/s	58,8	0,84 J	Bezpieczne
50 mm	21,09 m/s	75,9	1,40 J	Bezpieczne
100 mm	29,83 m/s	107,4	2,80 J	Bezpieczne

Z jaką prędkością magnes uderzy w stalową płytę, jeśli puścisz go z danej odległości. Powyżej 5 J ryzyko zmiążdżenia palców jest realne – trzymaj magnes z boku, nigdy między magnesem a stalą.

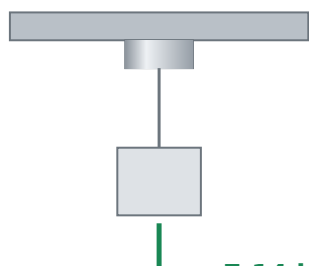
Siła w funkcji kąta obciążenia



Kąt	Udźwig	%
0°	7,14 kg	100%
10°	4,57 kg	64%
20°	3,44 kg	48%
30°	2,82 kg	39%
45°	2,33 kg	33%
60°	2,11 kg	30%
75°	2,05 kg	29%
90°	2,14 kg	30%

Wykres pokazuje, ile magnes realnie utrzyma w zależności od kierunku działania obciążenia. 0° to odrywanie prostopadłe od powierzchni (wartość katalogowa), 90° to ciągnięcie wzdłuż blachy. Spadek jest gwałtowny — już przy 30° tracisz połowę udźwigu.

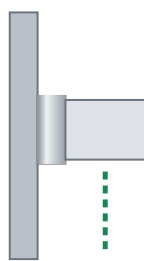
Typowe scenariusze montażu



7,14 kg

Sufit

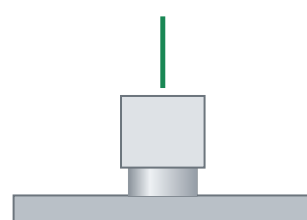
Ciężar wisi pionowo pod magnesem — obciążenie prostopadłe, pełny udźwig katalogowy.



2,14 kg

Ściana pionowa

Ciężar próbuje zsunąć magnes w dół po blasze — działa wyłącznie tarcie, udźwig spada do ok. 30%.



7,14 kg

Podłoga / poziomo

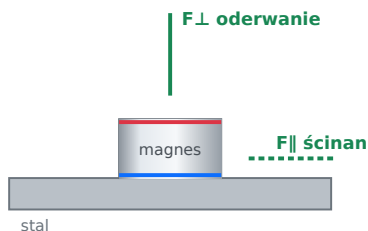
Magnes leży na poziomej blasze, obciążenie działa w górę — pełny udźwig prostopadły.

Ile magnesów potrzebuję?

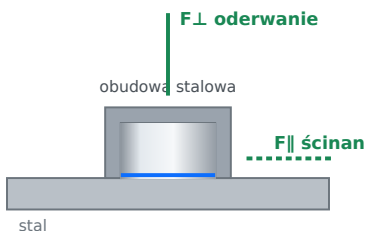
Masa do utrzymania	10,0 kg	Kierunek obciążenia	prostopadłe (odrywanie)
Margines bezpieczeństwa	2,0×	Udźwig jednego magnesu	7,14 kg
Potrzebna liczba magnesów	3	Łączny udźwig zestawu	21,43 kg (2,1×

Obliczenie uwzględnia kierunek działania obciążenia oraz przyjęty margines bezpieczeństwa. Do zastosowań, gdzie awaria mocowania jest groźna, stosuj margines co najmniej 3×

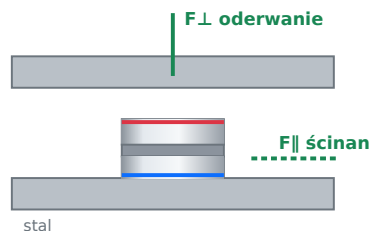
Kierunek obciążenia a realny udźwig



Magnes goły
magnes bez obudowy
F_⊥ oderwanie: **7,14 kg**
F_∥ ścinanie: **2,14 kg**



Uchwyt jednostronny
magnes w obudowie stalowej
F_⊥ oderwanie: **18,47 kg**
F_∥ ścinanie: **5,54 kg**



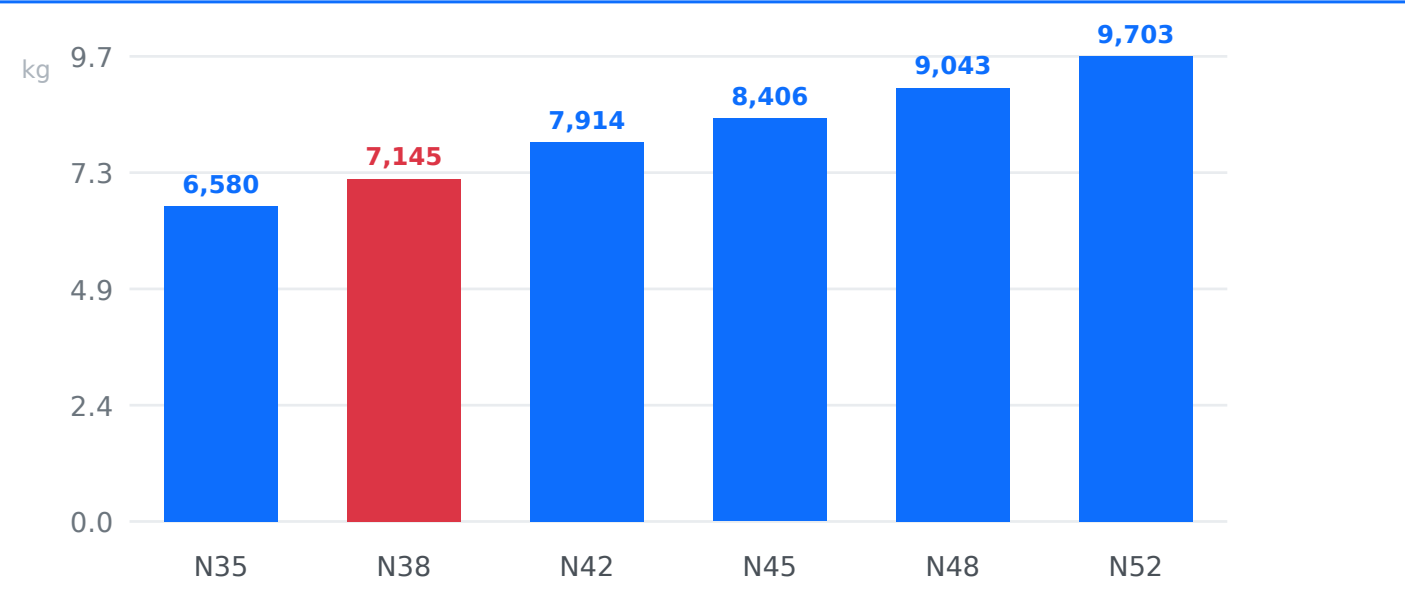
Uchwyt dwustronny
dwa magnesy, obudowa dzielona
F_⊥ oderwanie: **16,62 kg**
F_∥ ścinanie: **4,99 kg**

Wariant montażu	Siła prostopadła (oderwanie)	Siła równoległa (ścinanie)	Udział
Magnes goły	7,14 kg	2,14 kg	30%
Uchwyt jednostronny	18,47 kg	5,54 kg	30%
Uchwyt dwustronny	16,62 kg	4,99 kg	30%

Siła prostopadła to wartość katalogowa — mierzona przy odrywaniu magnesu wprost od powierzchni. Siła równoległa (ścinanie) działa, gdy obciążenie próbuje zsunąć magnes wzdłuż blachy i wynosi zaledwie ułamek tej pierwszej. Wartości dla stali surowej, współczynnik tarcia 0,30.

Projektując mocowanie, zawsze sprawdź, w którą stronę działa obciążenie. Magnes o udźwigu katalogowym 100 kg utrzyma pionowo zawieszony ciężar rzędu 30 kg, a i to bez marginesu bezpieczeństwa.

Porównanie gatunków



Ten sam magnes wykonany z różnych gatunków NdFeB. Wyższa klasa to większy udźwig przy identycznych wymiarach.

Dwa magnesy – przyciąganie i odpychanie

Szczelina	Przyciąganie	Odpychanie
0 mm	7,14 kg	6,43 kg
1 mm	4,73 kg	4,26 kg
2 mm	2,83 kg	2,54 kg
3 mm	1,65 kg	1,48 kg
5 mm	0,60 kg	0,54 kg
10 mm	0,09 kg	0,08 kg
20 mm	0,01 kg	0,01 kg
30 mm	0,00 kg	0,00 kg

Stos magnesów

Liczba sztuk	Udźwig stosu	Przyrost
1	7,14 kg	×1,00
2	12,40 kg	×1,74
3	13,47 kg	×1,89
5	12,04 kg	×1,68
10	8,35 kg	×1,17

Sklejanie magnesów w stos zwiększa udźwig tylko do pewnego momentu. Optimum wypada zwykle przy wysokości równej 0,6–0,8 średnicy — powyżej tej granicy siła zaczyna maleć, mimo że magnesu przybywa. Potwierdzają to pomiary z naszego magazynu: magnes $\varnothing 10$ mm osiąga maksimum przy wysokości 8 mm (3,39 kg), a przy 15 mm trzyma już tylko 2,61 kg.

Parametry dodatkowe

0,20 N·m

MOMENT OPORU OBROTU

0,16 J

PRACA ODERWANIA

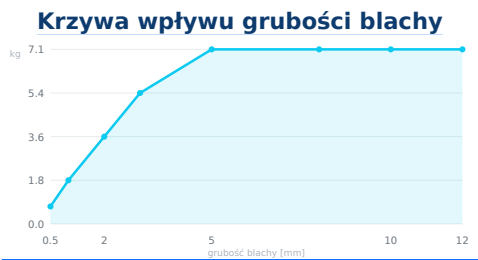
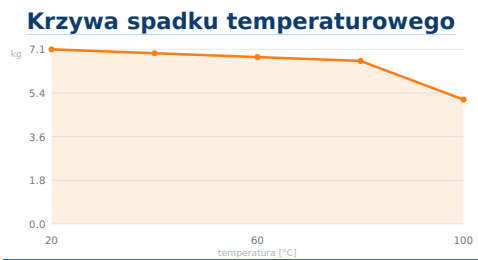
3,93 kg

UDŹWIG PRZY KRAWĘDZI BLACHY

250 kPa

NACISK JEDNOSTKOWY

Magnes ustawiony przy samej krawędzi blachy traci część strumienia i trzyma słabiej. Opór, jaki magnes stawia przy próbie obrócenia go na powierzchni stali.



Starzenie i stabilność długoterminowa

Okres eksploatacji	Spadek strumienia	Siła
1 lat	-0,2%	7,12 kg
5 lat	-0,5%	7,07 kg
10 lat	-1,0%	7,00 kg
20 lat	-1,8%	6,89 kg

Spiekany NdFeB w poprawnie dobranym obwodzie magnetycznym jest materiałem stabilnym — samoistny spadek strumienia liczy się w ułamkach procenta rocznie i po pierwszym roku niemal zanika. Poniższe wartości dotyczą pracy w temperaturze pokojowej, w suchym otoczeniu i przy niezmięnionej geometrii obwodu.

Zalecane współczynniki bezpieczeństwa

Charakter pracy	Zalecane wykorzystanie	Współczynnik bezpieczeństwa	Siła do obliczeń
Obciążenie statyczne, styk kontrolowany	70%	×1,4	5,00 kg
Obciążenie statyczne, montaż warsztatowy	50%	×2,0	3,57 kg
Obciążenie ścinające (zsuwanie po blasze)	50%	×2,0	1,07 kg
Ruch, przyspieszenia, cykle otwierania	40%	×2,5	2,86 kg
Wibracje, transport, praca ciąгла	33%	×3,0	2,36 kg
Praca nad ludźmi lub podnoszenie	20%	×5,0	1,43 kg

W praktyce o żywotności magnesu nie decyduje starzenie materiału magnetycznego, tylko korozja. Powłoka NiCuNi jest szczelna dopóki jest nieuszkodzona; odprysk na krawędzi, uderzenie albo praca w wilgoci otwierają drogę do rdzewienia rdzenia, a skorodowany spiek kruszy się i traci strumień znacznie szybciej niż wynika to z tabeli. Drugim czynnikiem jest cykliczne nagrzewanie — każdy epizod przekroczenia kolana krzywej odejmuje trwałą część mocy, a straty się sumują. Podane liczby są oszacowaniem opartym na położeniu punktu pracy, nie wynikiem badań długoterminowych.

Siła oderwania jest wartością graniczną osiąganą w warunkach idealnych i nie wolno jej wpisywać do obliczeń konstrukcyjnych wprost. Magnes to element o dużym rozrzucie wykonawczym i skrajnej wrażliwości na jakość styku, więc projektuje się na ułamek wartości nominalnej. Poniższa tabela podaje udziały sprawdzone w praktyce warsztatowej.

Do zastosowań, w których awaria mocowania zagraża zdrowiu, magnes nigdy nie może być jedynym elementem przenoszącym obciążenie — wymagane jest niezależne zabezpieczenie mechaniczne. Magnes nie jest zawiesiem transportowym i nie podlega ocenie jak sprzęt do podnoszenia ładunków.

Jak używać tych danych w praktyce

1. Zaczynij od kierunku obciążenia, nie od liczby kilogramów. Siła ścinająca to około 30% siły oderwania na stali surowej i wyraźnie mniej na lakierowanej — mocowanie na ścianie pionowej projektuje się z tabeli ścinania, nigdy z wartości katalogowej.
2. Przemnóż wynik przez udział z tabeli współczynników bezpieczeństwa odpowiadający charakterowi pracy. Dopiero ta liczba jest siłą projektową.
3. Sprawdź, czy blacha jest dostatecznie gruba. Poniżej progu pełnego wykorzystania strumienia magnes traci siłę proporcjonalnie do grubości — cienka blacha nasycy się i przestaje prowadzić strumień. Dla tego magnesu próg wypada przy 5,0 mm.
4. Policz temperaturę pracy, a nie tylko temperaturę otoczenia. Magnes w obudowie, przy silniku albo w nasłonecznionej maszynie bywa o kilkadziesiąt stopni cieplejszy niż hala.
5. Nie zwiększaj siły przez sklekanie magnesów w stos — powyżej wysokości równej mniej więcej 0,7 średnicy przyrost praktycznie ustaje. Taniej i pewniej jest zwiększyć średnicę albo rozłożyć obciążenie na kilka punktów mocowania.
6. Przygotuj powierzchnię. Odtłuszczenie i zeszlifowanie rdzy zwykle daje większy przyrost siły niż zmiana gatunku magnesu o dwie klasy w górę, a kosztuje ułamek tego.

7. Magnesy płaskie przechowuj przyklejone do stali lub w parach zwróconych przeciwnymi biegunami. Luzem pracują blisko kolana krzywej i tracą margines bezpieczeństwa termicznego.
8. Jeżeli mocowanie jest krytyczne, wykonaj próbę na docelowym materiale i w docelowym stanie powierzchni. Jeden pomiar siłomierzem na rzeczywistym detalu jest wart więcej niż każdy raport obliczeniowy, łącznie z tym.

Warunki odniesienia

Kierunek magnesowania: przez grubość · Bieguny znajdują się na powierzchniach czołowych, pole przechodzi wzdłuż wymiaru **3,0 mm**

Siła oderwania liczona dla płyty ze stali konstrukcyjnej niestopowej (S235 / St3) o grubości minimum 10 mm, powierzchni gładkiej, czystej i odtłuszczonej, przy zerowej szczelinie powietrznej i sile działającej prostopadle do powierzchni. Stal nierdzewna austenityczna (304, 316) jest niemagnetyczna — magnes jej nie przyciągnie.

Wartości pochodzą z modelu fizycznego skalibrowanego na 127 zmierzonych produktach. Są to wielkości szacunkowe do celów projektowych — zawsze stosuj margines bezpieczeństwa.

Wszystkie wartości w tym raporcie są wynikiem obliczeń modelowych, a nie pomiarem tego konkretnego egzemplarza. Służą do celów projektowych i porównawczych. Przed zastosowaniem w konstrukcji, od której zależy bezpieczeństwo, wykonaj próbę na docelowym detalu i zawsze stosuj margines bezpieczeństwa zgodnie z tabelą współczynników.