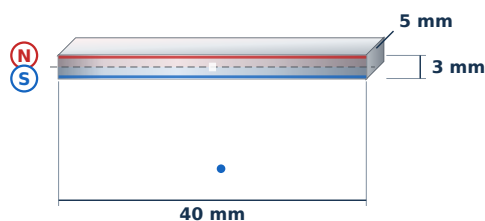


# Raport obliczeń magnesu

MPL 40x5x3 / N38

Wygenerowano: 01.08.2026 13:19:53

<https://dhit.pl/kalkulator-magnesow/?shape=block&mat=4&len=40&wid=5&h=3&prec=2>

kierunek magnesowania (S → N)

|                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| <b>Kształt:</b> | płytkowy                  |
| <b>Wymiary:</b> | 40,0 × 5,0 × 3,0 mm       |
| <b>Gatunek:</b> | <b>N38</b>                |
| Br:             | 12.2-12.6 kGs             |
| Hcb:            | 860-915 kA/m              |
| BHmax:          | 287-303 kJ/m <sup>3</sup> |
| Temperatura:    | ≤ 80 °C                   |

## Dane katalogowe

### MPL 40x5x3 / N38 - magnes neodymowy płytkowy

|                       |                            |                |                             |
|-----------------------|----------------------------|----------------|-----------------------------|
| Nr katalogowy         | <b>020402</b>              | Siła oderwania | <b>7.34kg</b>               |
| GTIN / EAN            | <b>5906301811916</b>       | Indukcja       | <b>348,83 mT / 3 488 Gs</b> |
| Wymiary               | <b>40,0 × 5,0 × 3,0 mm</b> | Powłoka        | <b>[NiCuNi] nikiel</b>      |
| Waga                  | <b>4.50g</b>               | Gatunek        | <b>N38</b>                  |
| Kierunek magnesowania | <b>przez grubość</b>       |                |                             |

<https://dhit.pl/produkt/magnes-neodymowy-plytkowy-40x5x3-n38-osiowy>

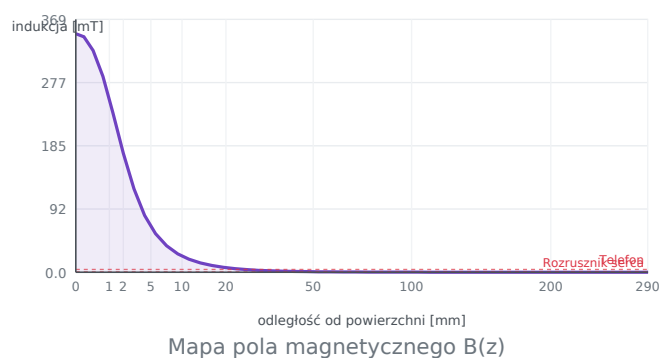
## Wynik obliczeń

**7,34** kg  
SIŁA ODERWANIA**3 485** Gs  
INDUKCJA POWIERZCHNIOWA**4,50** g  
MASA MAGNESU**0,27** Pc  
WSP. PERMEANCJI

Widelki wynikające z tolerancji materiału: 7,10 – 7,58 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 potrzebuję?                |
| 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 liczona na osi magnesu, w powietrzu, bez płyty stalowej. Oś pozioma jest zagęszczona blisko powierzchni, dzięki czemu na jednym rysunku widać i stromy spadek przy magnesie, i zasięg pola resztkowego. Poziome linie odniesienia to progi ważne ze względów bezpieczeństwa.

## Metodologia i walidacja modelu

Tego raportu nie policzył solver FEM i nie przepisano go z tabeli katalogowej. 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. Cała ścieżka obliczeń jest opisana poniżej, więc każdy wynik można sprawdzić na kartce.

### Równania modelu

**Płytką prostopadłościenną** — indukcja liczona na osi, gdzie  $a = L/2$ ,  $b = W/2$

$$B(z) = (Br / \pi) \cdot [ \arctan( a \cdot b / (z \cdot \sqrt{(a^2 + b^2 + z^2)}) ) - \arctan( a \cdot b / ((z + H) \cdot \sqrt{(a^2 + b^2 + (z + H)^2})) ) ]$$

**Siła oderwania** — całka naprężenia Maxwella po powierzchni bieguna

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

**Współczynnik skupienia strumienia** — gruba płyta stalowa zachowuje się jak zwierciadło magnetyczne, domykając obwód i podnosząc indukcję w szczelinie ponad wartość z 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 samoodmagnesowania wynikającego z samej geometrii magnesu;  $De$  oznacza średnicę zastępczą bieguna

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

**Stała kalibracyjna** — bez korekty model zaniża siłę w sposób systematyczny, pomija bowiem strumień rozproszony z poboczniczy, który również zamyka obwód przez płytę. Współczynnik dopasowano metodą najmniejszych kwadratów do 127 pozycji katalogowych dhit

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

### Stałe i parametry wejściowe modelu

| Symbol       | Znaczenie                                | Wartość                    |
|--------------|------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Br</b>    | Remanencja gatunku, środek widełek       | <b>12,40 kGs (1,240 T)</b> |
| <b>Hcb</b>   | Koercja indukcji, katalogowa             | <b>860-915 kA/m</b>        |
| <b>Hcj</b>   | Koercja wewnętrzna, minimum gwarantowane | <b>≥ 955 kA/m</b>          |
| <b>μrec</b>  | Przenikalność powrotna                   | <b>1,05</b>                |
| <b>k_cal</b> | Stała kalibracyjna modelu                | <b>1,4837</b>              |
| <b>Pc</b>    | Współczynnik permeancji tej geometrii    | <b>0,273</b>               |
| <b>sf</b>    | Współczynnik skupienia strumienia        | <b>2,240</b>               |
| <b>A</b>     | Powierzchnia bieguna                     | <b>2,00 cm²</b>            |
| <b>ρ</b>     | Gęstość spieku NdFeB                     | <b>7,50 g/cm³</b>          |

### Kalibracja i dokładność odwzorowania

W całym modelu dopasowywany jest wyłącznie jeden parametr,  $k_{cal}$ ; poza nim nie ma żadnych współczynników korygujących. Dopasowanie przeprowadzono na 127 pozycjach katalogowych: walcach, płytkach i pierścieniach w gatunkach N35-N52. Po kalibracji mediana rozbieżności między modelem a wartością katalogową wynosi 0,09%, dziewiąty decyl 0,45%, a największa zaobserwowana rozbieżność 1,9%. Powyższe liczby opisują zgodność z bazą, na której model dopasowano; nie są wynikiem niezależnych pomiarów i nie stanowią niepewności pomiarowej.

Założenia przyjęte w obliczeniach

- 1. Zakładamy jednorodne namagnesowanie całej bryły i wektor magnetyzacji równoległy do osi wskazanej 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. Kontakt obejmuje całą powierzchnię czołową, a jedyną szczeliną jest grubość powłoki ochronnej.
- 4. Siłę przykładaną się prostopadłe do powierzchni styku, powoli, bez uderzenia i bez składowej skręcającej.
- 5. Temperatura magnesu i stali wynosi 20 °C, przenikalność powietrza  $\mu_{rec} = 1,05$ .
- 6. W obliczeniach użyto remanencji ze środka widełek katalogowych gatunku; wpływ skrajnych wartości pokazuje osobna tabela porównania metod.
- 7. Zakładamy brak jakichkolwiek innych źródeł magnetycznych i elementów ferromagnetycznych poza opisaną płytą.

Ograniczenia modelu

- 1. Model wyznacza pole tylko na osi symetrii. Przy krawędzi bieguna rozkład indukcji wygląda inaczej: magnes na skraju blachy traci około 45% siły, co uwzględnia osobny parametr, a nie samo równanie pola.
- 2. Przy bardzo niskim współczynniku permeancji —  $P_c$  poniżej około 0,2, typowo dla kształtów płaskich — punkt pracy leży blisko kolana krzywej. 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 proporcji konieczne zestaw ten raport z sekcją analizy temperaturowej.
- 3. Model opisuje magnesowanie osiowe. Dla magnesowania diametralnego i promieniowego bieguny leżą gdzie indziej i raport nie jest generowany.
- 4. Układy o zamkniętym obwodzie, czyli uchwyty w obudowie stalowej, separatory, belki i chwytaki, mają odmienną topologię strumienia. Podane tu wartości dla uchwytów opierają się na współczynniku wzmocnienia i są przybliżeniem, nie rozwiązaniem obwodu magnetycznego.
- 5. Poza modelem pozostają histereza, prądy wirowe i zjawiska dynamiczne przy szybkim odrywaniu. Udar podnosi siłę oderwania ponad wartość statyczną.
- 6. Obliczenia nie obejmują odchyłek płaskości i równoległości, a to właśnie one najczęściej odpowiadają w warsztacie za wynik niższy od policzonego.

Siła i indukcja w funkcji odległości

| Odległość | Gauss | mT    | kg   | lbs   | N    | Udział siły |
|-----------|-------|-------|------|-------|------|-------------|
| 0 mm      | 3 485 | 348,5 | 7,34 | 16,18 | 72,0 | 100%        |
| 1 mm      | 2 529 | 252,9 | 3,86 | 8,52  | 37,9 | 53%         |
| 2 mm      | 1 741 | 174,1 | 1,83 | 4,04  | 18,0 | 25%         |
| 3 mm      | 1 217 | 121,7 | 0,89 | 1,97  | 8,8  | 12%         |
| 5 mm      | 664   | 66,4  | 0,27 | 0,59  | 2,6  | 4%          |
| 10 mm     | 235   | 23,5  | 0,03 | 0,07  | 0,3  | 0%          |
| 15 mm     | 116   | 11,6  | 0,01 | 0,02  | 0,1  | 0%          |
| 20 mm     | 67    | 6,7   | 0,00 | 0,01  | 0,0  | 0%          |
| 30 mm     | 27    | 2,7   | 0,00 | 0,00  | 0,0  | 0%          |
| 50 mm     | 8     | 0,8   | 0,00 | 0,00  | 0,0  | 0%          |

Siła ścinająca (poślizg)

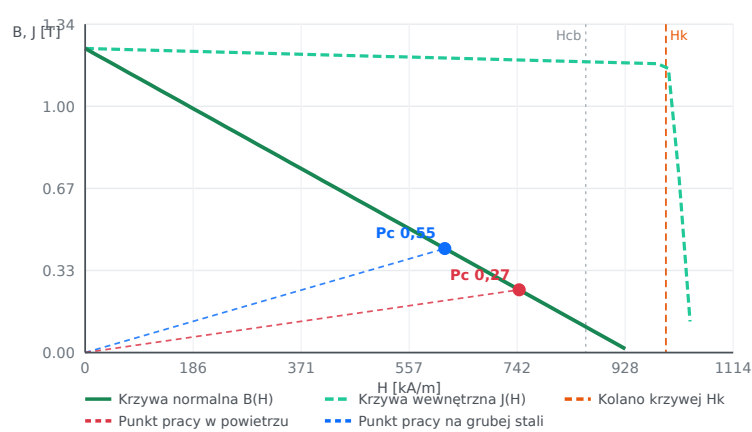
| Powierzchnia           | Tarcie | kg   | N    |
|------------------------|--------|------|------|
| Stal surowa            | 0,30   | 2,20 | 21,6 |
| Stal lakierowana       | 0,20   | 1,47 | 14,4 |
| Powierzchnia zaolejona | 0,10   | 0,73 | 7,2  |
| Powłoka gumowa         | 0,50   | 3,67 | 36,0 |

Wpływ grubości blachy

| Grubość | Wykorzystanie | Siła    |
|---------|---------------|---------|
| 0,5 mm  | 10%           | 0,73 kg |
| 1,0 mm  | 25%           | 1,83 kg |
| 2,0 mm  | 50%           | 3,67 kg |
| 3,0 mm  | 75%           | 5,50 kg |
| 5,0 mm  | 100%          | 7,34 kg |
| 8,0 mm  | 100%          | 7,34 kg |
| 10,0 mm | 100%          | 7,34 kg |
| 12,0 mm | 100%          | 7,34 kg |

## Krzywa demagnetyzacji i punkt pracy

Krzywa normalna B(H) opisuje indukcję wypadkową wewnątrz magnesu, krzywa wewnętrzna J(H) — samą polaryzację materiału. Punkt pracy wypada tam, gdzie krzywa normalna przecina prostą obciążenia o nachyleniu równym  $P_c$ :  $B = \mu_0 \cdot P_c \cdot H$ . Im niżej wypada, tym bliżej kolana krzywej J(H) pracuje magnes i tym łatwiej o bezpowrotną utratę strumienia.



| Stan pracy                  | Pc    | Bd [T] | Hd [kA/m] |
|-----------------------------|-------|--------|-----------|
| Punkt pracy w powietrzu     | 0,273 | 0,256  | 746       |
| Punkt pracy na grubej stali | 0,547 | 0,425  | 618       |

|                             | Zapas do kolana Hk/Hd | Ryzyko trwałej utraty |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Punkt pracy w powietrzu     | 1,34                  | brak                  |
| Punkt pracy na grubej stali | 1,61                  | brak                  |

$H_k = 998 \text{ kA/m} \cdot H_{cj} 955\text{--}1051 \text{ kA/m} \cdot H_{cb} 940 \text{ kA/m}$

Gruba płyta stalowa domyka obwód magnetyczny i mniej więcej podwaja współczynnik permeancji. Punkt pracy przesuwają się w górę krzywej, indukcja w magnecie rośnie, a zapas do kolana wyraźnie się powiększa. Właśnie dlatego magnesy płaskie trzymają się przyklejone do stali albo w parach przeciwnymi biegunami, nigdy luzem.

Dzięki proporcjom punkt pracy leży wysoko na krzywej, z dużym marginesem do kolana. W normalnej eksploatacji trwała utrata strumienia praktycznie nie grozi, a ogranicza nas maksymalna temperatura pracy gatunku.

Spadek siły w funkcji temperatury

| Temperatura | Strata | Siła    | %    |
|-------------|--------|---------|------|
| 20 °C       | 0,0%   | 7,34 kg | 100% |
| 40 °C       | -2,2%  | 7,18 kg | 98%  |
| 60 °C       | -4,4%  | 7,02 kg | 96%  |
| 80 °C       | -6,6%  | 6,85 kg | 93%  |
| 100 °C      | -28,8% | 5,23 kg | 71%  |

Rozszerzona analiza temperaturowa

Utrata siły w temperaturze ma dwa różne mechanizmy i warto je rozdzielać. Strata odwracalna to spadek remanencji o 0,11% na kelwin — po ostygnięciu znika bez śladu. Dopiero zejście punktu pracy poniżej kolana krzywej J(H) daje stratę nieodwracalną, która 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%              | 1,34                  | 0,0%                 | 7,34 kg             | 7,34 kg             | brak                  |
| 40 °C       | -2,2%             | 1,20                  | 0,0%                 | 7,02 kg             | 7,34 kg             | niskie                |
| 60 °C       | -4,4%             | 1,06                  | 0,0%                 | 6,71 kg             | 7,34 kg             | umiarkowane           |
| 80 °C       | -6,6%             | 0,92                  | -15,0%               | 4,62 kg             | 5,30 kg             | wysokie               |
| 100 °C !    | -8,8%             | 0,76                  | -34,8%               | 2,60 kg             | 3,12 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. Liczby dla strat nieodwracalnych oszacowano modelowo z odległości punktu pracy od kolana krzywej — nie są to wyniki badań termicznych. Faktyczna strata jest funkcją czasu wygrzewania i rzeczywistej koercji danej partii spieku.

Konsekwencja praktyczna jest taka, że płaski magnes w powietrzu traci margines o wiele wcześniej niż przyklejony do stali. Gdy aplikacja pracuje w podwyższonej temperaturze, taniej niż zmiana gatunku wypada domknięcie obwodu magnetycznego lub pogrubienie magnesu.

## Analiza wrażliwości i tolerancji

Podany udźwig to wartość nominalna — dla wymiarów nominalnych i warunków odniesienia. Tabele poniżej pokazują wpływ odchyłek, których w praktyce nie da się uniknąć: tolerancji szlifowania, grubości powłoki, stanu powierzchni stali i jej gatunku.

### Wpływ tolerancji wymiarowej $\pm 0,1$ mm

| Wymiar                     | Zmiana siły       | Zmiana indukcji   | Siła w granicach tolerancji |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|
| Długość L                  | -0,28% ... +0,28% | -0,01% ... +0,01% | 7,32 - 7,36 kg              |
| Szerokość W                | -0,13% ... +0,10% | -1,07% ... +1,09% | 7,33 - 7,35 kg              |
| Wysokość / grubość H       | -2,89% ... +2,76% | -1,92% ... +1,85% | 7,13 - 7,54 kg              |
| Wszystkie wymiary skrajnie | -3,23% ... +3,21% | -0,82% ... +0,77% | 7,10 - 7,57 kg              |

Standardowa tolerancja wykonania spiekanych magnesów NdFeB po szlifowaniu to  $\pm 0,1$  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. Przy krytycznym wymaganiu na siłę opłaca się zacieśnić tolerancję wysokości, a średnicę zostawić.

| 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            | 7,34 kg | 100,0% | Stal magnetycznie miękka (ARMCO, DT4) | 1,03         | 7,56 kg |
| Powłoka NiCuNi 15–25 $\mu$ m               | 0,025 mm            | 7,28 kg | 99,2%  | S235 / St3 — odniesienie modelu       | 1,00         | 7,34 kg |
| Powłoka + chropowatość blachy walcowanej   | 0,050 mm            | 7,18 kg | 97,9%  | S355                                  | 0,99         | 7,27 kg |
| Film olejowy lub konserwacyjny             | 0,060 mm            | 7,14 kg | 97,3%  | Stal węglowa C45                      | 0,96         | 7,05 kg |
| Lakier proszkowy 60–80 $\mu$ m             | 0,100 mm            | 6,98 kg | 95,2%  | Nierdzewna ferrytyczna 430            | 0,85         | 6,24 kg |
| Gruba powłoka malarska lub cynk natryskowy | 0,200 mm            | 6,59 kg | 89,9%  | Żeliwo szare                          | 0,75         | 5,50 kg |
| Nalot i łuszcząca się rdza                 | 0,400 mm            | 5,83 kg | 79,5%  | Nierdzewna austenityczna 304 / 316    | 0,00         | 0,00 kg |
| Zgorzelina, gruba korozja                  | 0,800 mm            | 4,46 kg | 60,8%  |                                       |              |         |

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. Na magnesie smukłym o wysokim  $P_c$  identyczna powłoka lakieru kosztuje już kilkanaście procent siły. Z tego powodu tabelę liczymy dla tej konkretnej geometrii zamiast przepisywać z tabeli ogólnej. Istotne zastrzeżenie: powyższe wartości dotyczą wyłącznie skutku samej szczeliny. Przy rdzy, zgorzelinie i grubej powłoce dochodzi drugi mechanizm — utrata płaskości sprowadza styk do kilku punktów podparcia. Drugi mechanizm bywa dużo kosztowniejszy od szczeliny i nie da się go policzyć z wymiarów; na zardzewiałej blasze realny udźwig spada nawet o ponad połowę.

Póki płyta jest dostatecznie gruba i nie nasycy się, gatunek stali znaczy niewiele — reluktancją obwodu rządzi odmagnesowanie samego magnesu, więc wyższa przenikalność stali niewiele wnosi. Realne różnice pojawiają się dopiero przy żeliwie i stali ferrytycznej, w których niższa indukcja nasycenia faktycznie 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. To nie różnica w fizyce, lecz w przyjętych założeniach. 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 Br w całej szczelinie. Granica termodynamiczna, fizycznie nieosiągalna.                         | 12,48 kg | ×1,70         |
| Model zwierciadlany obwodu             | Podwaja Pc i liczy siłę z indukcji w punkcie pracy. Strumień uciekający bokiem zostaje pominięty, stąd wynik zaniżony. | 1,46 kg  | ×0,20         |
| Model analityczny bez kalibracji       | Identyczna ścieżka obliczeń jak w modelu dhit, tyle że bez stałej k_cal. Pokazuje, jaki wkład ma sama kalibracja.      | 4,95 kg  | ×0,67         |
| Model dhit — wartość publikowana       | Kalibrowany na katalogu, warunki odniesienia: S235, styk pełnopowierzchniowy, 20 °C.                                   | 7,34 kg  | ×1,00         |
| Model dhit przy górnej granicy Br      | Metoda bez zmian, tylko remanencja wzięta z górnej granicy widełek zamiast ze środka.                                  | 7,58 kg  | ×1,03         |
| Ten sam wymiar w wyższym gatunku (N42) | To częsta przyczyna rozbieżności: katalogi zagraniczne domyślnie operują na N42, a nie N38.                            | 8,13 kg  | ×1,11         |

Kalkulatory publikowane przez zagranicznych dostawców podają dla tej klasy wymiarowej wartości rzędu 8–9 kg, czyli wyraźnie wyższe. Za różnicę nie odpowiada niczyj błąd, tylko suma założeń: domyślny gatunek N42 zamiast N38, remanencja z górnej granicy widełek, płyta docierana zamiast walcowanej, zerowa szczelina liczona na magnesie bez powłoki i solver połowy traktujący strumień rozproszony łaskawiej niż model analityczny. Pojedynczo wszystkie te założenia są uzasadnione — razem dają wartość, której nie odtworzysz na warsztatowym stanowisku.

dhit publikuje świadomie dolny koniec tego przedziału. Iloraz wartości publikowanej i idealizowanej wynosi około 0,6, czyli dokładnie tyle, ile i tak zaleciłby współczynnik bezpieczeństwa. Dzięki temu wartość z raportu jest od początku bliższa tej, którą konstruktor powinien wziąć do obliczeń.

Bezpieczne odległości (BHP)

|                  | Gs    | cm  |
|------------------|-------|-----|
| Rozrusznik serca | < 5   | 6,0 |
| Aparat słuchowy  | < 10  | 4,6 |
| Zegarek          | < 20  | 3,6 |
| Telefon          | < 40  | 2,6 |
| Karta płatnicza  | < 400 | 0,8 |
| Dysk HDD         | < 600 | 0,6 |

Strumień magnetyczny

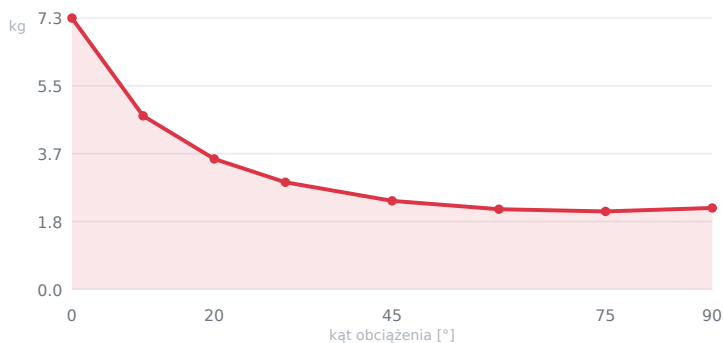
|        |          |
|--------|----------|
| Φ      | 5 123 Mx |
| Φ (SI) | 51,2 μWb |
| Bd     | 2 561 Gs |
| Pc     | 0,27     |
| A      | 2,00 cm² |
| V      | 0,60 cm³ |

## Dynamika przyciągania

| Dystans startowy | Prędkość  | km/h  | Energia | Ryzyko     |
|------------------|-----------|-------|---------|------------|
| 10 mm            | 11,34 m/s | 40,8  | 0,29 J  | Bezpieczne |
| 30 mm            | 19,59 m/s | 70,5  | 0,86 J  | Bezpieczne |
| 50 mm            | 25,29 m/s | 91,1  | 1,44 J  | Bezpieczne |
| 100 mm           | 35,77 m/s | 128,8 | 2,88 J  | Bezpieczne |

Prędkość, z jaką magnes dojdzie do stalowej płyty po wypuszczeniu z danej odległości. Od 5 J w górę zagrożenie zmiążdżenia palców jest jak najbardziej realne – trzymaj magnes z boku, nie na drodze jego ruchu.

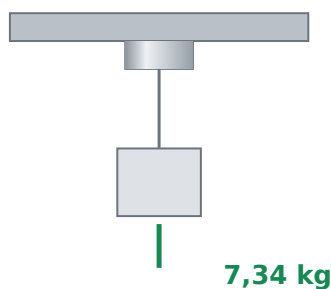
## Siła w funkcji kąta obciążenia



| Kąt | Udźwig  | %    |
|-----|---------|------|
| 0°  | 7,34 kg | 100% |
| 10° | 4,69 kg | 64%  |
| 20° | 3,53 kg | 48%  |
| 30° | 2,90 kg | 39%  |
| 45° | 2,40 kg | 33%  |
| 60° | 2,17 kg | 30%  |
| 75° | 2,11 kg | 29%  |
| 90° | 2,20 kg | 30%  |

Wykres odpowiada na pytanie, ile magnes faktycznie uniesie przy danym kierunku obciążenia. 0° to odrywanie prostopadle od powierzchni (wartość katalogowa), 90° to ciągnięcie wzdłuż blachy. Charakterystyka opada bardzo szybko — 30° kosztuje już połowę udźwigu.

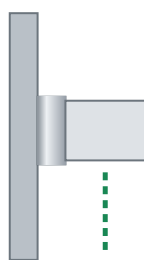
## Typowe scenariusze montażu



**Sufit**

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

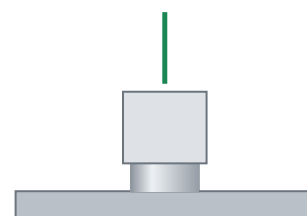
**7,34 kg**



**Ściana pionowa**

Obciążenie zsuwa magnes po blasze — nośność zapewnia tylko tarcie i spada do mniej więcej 30%.

**2,20 kg**



**Podłoga / poziomo**

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

**7,34 kg**

## Ile magnesów potrzebuję?

|                           |         |                        |                         |
|---------------------------|---------|------------------------|-------------------------|
| Masa do utrzymania        | 10,0 kg | Kierunek obciążenia    | prostopadle (odrywanie) |
| Margines bezpieczeństwa   | 2,0×    | Udźwig jednego magnesu | 7,34 kg                 |
| Potrzebna liczba magnesów | 3       | Łączny udźwig zestawu  | 22,02 kg (2,2×          |

Obliczenie uwzględnia kierunek działania obciążenia oraz przyjęty margines bezpieczeństwa. Tam, gdzie awaria mocowania jest niebezpieczna, przyjmij margines minimum 3×

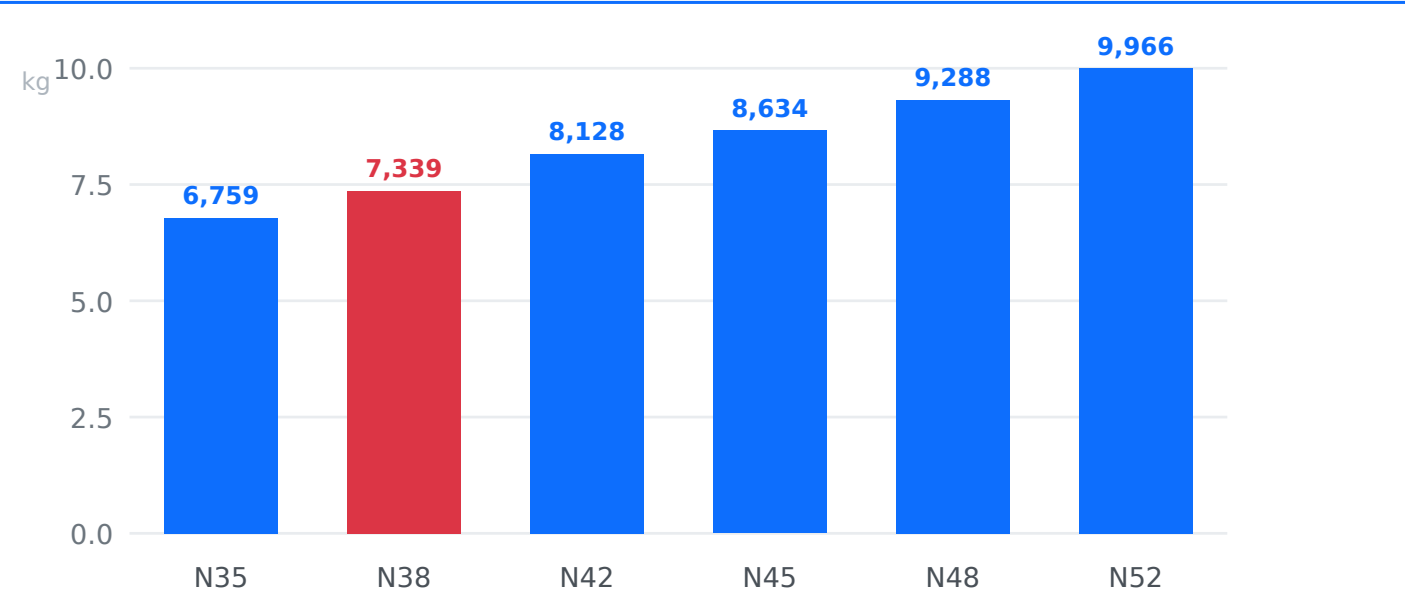


| Wariant montażu     | Siła prostopadła (oderwanie) | Siła równoległa (ścinięcie) | Udział |
|---------------------|------------------------------|-----------------------------|--------|
| Magnes goły         | 7,34 kg                      | 2,20 kg                     | 30%    |
| Uchwyt jednostronny | 18,68 kg                     | 5,60 kg                     | 30%    |
| Uchwyt dwustronny   | 16,81 kg                     | 5,04 kg                     | 30%    |

Siła prostopadła to wartość katalogowa — mierzona przy odrywaniu magnesu wprost od powierzchni. Siła równoległa, czyli ścinięcie, pojawia się przy zsuwaniu magnesu po blasze i stanowi tylko ułamek tamtej. Wartości dla stali surowej, współczynnik tarcia 0,30.

Przy projektowaniu mocowania kierunek obciążenia jest pierwszą rzeczą do sprawdzenia. Przy udźwigu katalogowym 100 kg pionowo zawieszony ciężar to około 30 kg, licząc bez marginesu.

## Porównanie gatunków



Ten sam magnes wykonany z różnych gatunków NdFeB. Wyższy gatunek daje większy udźwig bez zmiany wymiarów.

### Dwa magnesy – przyciąganie i odpychanie

| Szczelina | Przyciąganie | Odpychanie |
|-----------|--------------|------------|
| 0 mm      | 7,34 kg      | 6,60 kg    |
| 1 mm      | 3,86 kg      | 3,48 kg    |
| 2 mm      | 1,83 kg      | 1,65 kg    |
| 3 mm      | 0,89 kg      | 0,81 kg    |
| 5 mm      | 0,27 kg      | 0,24 kg    |
| 10 mm     | 0,03 kg      | 0,03 kg    |
| 20 mm     | 0,00 kg      | 0,00 kg    |
| 30 mm     | 0,00 kg      | 0,00 kg    |

### Stos magnesów

| Liczba sztuk | Udźwig stosu | Przyrost |
|--------------|--------------|----------|
| 1            | 7,34 kg      | ×1,00    |
| 2            | 10,22 kg     | ×1,39    |
| 3            | 9,97 kg      | ×1,36    |
| 5            | 8,10 kg      | ×1,10    |
| 10           | 5,49 kg      | ×0,75    |

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

0,17 N·m

MOMENT OPORU OBROTU

0,12 J

PRACA ODERWANIA

4,04 kg

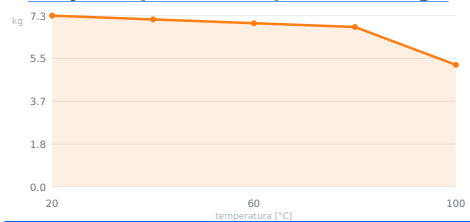
UDŹWIG PRZY KRAWĘDZI  
BLACHY

360 kPa

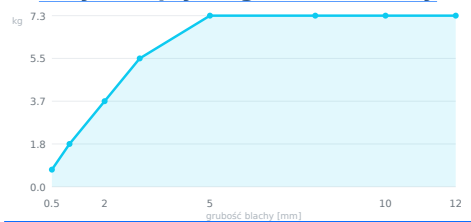
NACISK JEDNOSTKOWY

Przy krawędzi blachy część strumienia ucieka poza materiał i udźwig spada. Moment potrzebny do obrócenia magnesu leżącego na stali.

### Krzywa spadku temperaturowego



### Krzywa wpływu grubości blachy



## Starzenie i stabilność długoterminowa

| Okres eksploatacji | Spadek strumienia | Siła    |
|--------------------|-------------------|---------|
| 1 lat              | -0,2%             | 7,31 kg |
| 5 lat              | -0,5%             | 7,27 kg |
| 10 lat             | -1,0%             | 7,19 kg |
| 20 lat             | -1,8%             | 7,08 kg |

Spiekany NdFeB w dobrze dobranym obwodzie jest stabilny — traci ułamki procenta strumienia rocznie, a po pierwszym roku praktycznie przestaje. Poniższe wartości dotyczą pracy w temperaturze pokojowej, w suchym otoczeniu i przy niezmienionej geometrii obwodu.

## Zalecane współczynniki bezpieczeństwa

| Charakter pracy                           | Zalecane wykorzystanie | Współczynnik bezpieczeństwa | Siła do obliczeń |
|-------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|
| Obciążenie statyczne, styk kontrolowany   | 70%                    | ×1,4                        | 5,14 kg          |
| Obciążenie statyczne, montaż warsztatowy  | 50%                    | ×2,0                        | 3,67 kg          |
| Obciążenie ścinające (zsuwanie po blasze) | 50%                    | ×2,0                        | 1,10 kg          |
| Ruch, przyspieszenia, cykle otwierania    | 40%                    | ×2,5                        | 2,94 kg          |
| Wibracje, transport, praca ciągła         | 33%                    | ×3,0                        | 2,42 kg          |
| Praca nad ludźmi lub podnoszenie          | 20%                    | ×5,0                        | 1,47 kg          |

To korozja, a nie starzenie samego materiału, decyduje w praktyce o żywotności magnesu. Dopóki powłoka NiCuNi jest nienaruszona, pozostaje szczelna; odprysk, uderzenie albo praca w wilgoci wpuszczają wilgoć do rdzenia, a skorodowany spiek kruszy się i traci strumień znacznie szybciej niż przewiduje tabela. Drugi czynnik to cykliczne nagrzewanie: każde przekroczenie kolana krzywej zabiera trwale część mocy, a straty się kumulują. Podane liczby oszacowano z położenia punktu pracy; nie są to wyniki badań długoterminowych.

Udźwig katalogowy jest wartością graniczną dla warunków idealnych i nie nadaje się do bezpośredniego użycia w obliczeniach konstrukcyjnych. Magnes ma duży rozrzut wykonawczy i skrajnie reaguje na jakość styku, dlatego projektuje się go na ułamek wartości nominalnej. Poniższa tabela podaje udziały sprawdzone w praktyce warsztatowej.

**Tam, gdzie awaria mocowania zagraża zdrowiu, magnes nie może być jedynym elementem przenoszącym obciążenie; konieczne jest niezależne zabezpieczenie mechaniczne. Magnes nie jest zawiesiem transportowym ani sprzętem do podnoszenia ładunków i nie podlega takiej ocenie.**

1. Zaczynij od kierunku obciążenia, nie od liczby kilogramów. Na stali surowej ścinanie daje około 30% siły oderwania, na lakierowanej wyraźnie mniej; mocowanie na ścianie pionowej dobiera się z tabeli ścinania, nie z wartości katalogowej.
2. Wynik przeskaluj udziałem z tabeli współczynników bezpieczeństwa dobranym do charakteru pracy. Dopiero ta liczba jest siłą projektową.
3. Zweryfikuj grubość blachy. Poniżej progu pełnego wykorzystania strumienia siła spada proporcjonalnie do grubości: cienka blacha nasycy się i przestaje prowadzić strumień. Dla tego magnesu próg wypada przy 5,0 mm.
4. Wyznacz temperaturę pracy, nie poprzestawaj na temperaturze otoczenia. Magnes zabudowany, umieszczony przy silniku lub w nasłonecznionej maszynie potrafi być o kilkadziesiąt stopni cieplejszy od hali.
5. Nie zwiększaj siły przez sklekanie magnesów w stos — powyżej wysokości równej mniej więcej 0,7 średnicy przyrost praktycznie ustaje. Lepszym wyjściem jest większa średnica albo rozdzielenie obciążenia na kilka punktów mocowania.
6. Przygotuj powierzchnię. Zwykle odtłuszczenie i usunięcie rdzy dają więcej niż podniesienie gatunku o dwie klasy, przy ułamku kosztu.
7. Magnesy płaskie przechowuj przyklejone do stali lub w parach zwróconych przeciwnymi biegunami. Trzymane luzem pracują blisko kolana krzywej i tracą margines bezpieczeństwa termicznego.
8. Przy krytycznym mocowaniu przeprowadź próbę na docelowym materiale i w docelowym stanie powierzchni. Pojedynczy pomiar siłomierzem na prawdziwym detalu przebija każdy raport obliczeniowy, nie wyłączając tego.

## Warunki odniesienia

**Kierunek magnesowania:** przez grubość · Bieguny wypadają na powierzchniach czołowych, pole idzie 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. Austenityczna stal nierdzewna (304, 316) nie jest magnetyczna — magnes do niej nie przywrze.

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

*Każda wartość w raporcie jest wynikiem obliczenia modelowego, nie pomiarem konkretnej sztuki. Mają charakter projektowy i porównawczy. Zanim użyjesz ich w konstrukcji odpowiedzialnej za bezpieczeństwo, wykonaj próbę na docelowym detalu i zastosuj margines z tabeli współczynników.*