

# Odkrywanie najwyższej wydajności w dziedzinie wysokowydajnej obróbki skrawaniem (HSM)

**SIEMENS**

## Artykuł techniczny

**Podejście praktyczne do określenia ustawień posuwu i obrotów  
dla wysokowydajnej obróbki na maszynach CNC**

W tym artykule technicznym omówiono bezkosztową i praktyczną procedurę, opartą na teorii drgań, umożliwiającą określenie maksymalnej ilości usuwanego materiału dla bezpiecznych i stabilnych warunków obróbki. Aby osiągnąć korzyści wynikające z inwestycji w narzędzia do obróbki HSM, programiści NC muszą zrozumieć ograniczenia związane z najwyższą wydajnością ich systemów. W niniejszym artykule wskazano, w jaki sposób określić optymalne parametry obróbki HSM dla dowolnej kombinacji narzędzia, oprawki i maszyny. W niektórych przypadkach podejście to zaowocowało poprawą wydajności obróbki aż do 6 razy.

## Zawartość

<b>Streszczenie dla kadry zarządzającej</b> .....	3
<b>Proponowany nowy proces</b> .....	5
Pobranie odpowiednich danych z katalogu narzędzi .....	6
Zawężenie zakresu próby.....	7
Utrzymywanie stałej wielkości wióra.....	7
Obróbka maszynowa .....	7
Wyniki.....	8
<b>Podsumowanie</b> .....	9
Zmniejszenie szybkości może nie być najefektywniejszym sposobem na drgania.....	9
Obróbka z większymi obrotami może nie być najefektywniejszym sposobem.....	10
Wskazówki dotyczące użytkowania .....	10

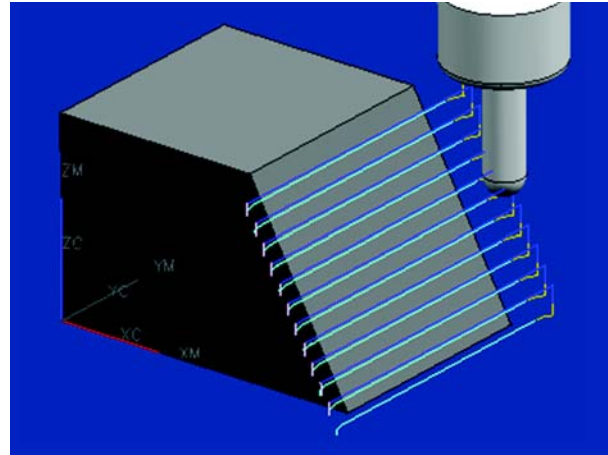
## Streszczenie dla kadry zarządzającej

Jednym z wielu wyzwań, przed jakimi każdego dnia staje programista NC, jest określenie podstawowych parametrów obróbki, takich jak głębokość skrawania, szerokość skrawania, ilość obrotów wrzeciona czy posuw roboczy. Tradycyjnie punktem wyjścia dla tych danych był podręcznik z danymi dotyczącymi maszyn lub doświadczenie starszych pracowników. W większości przypadków dane te są zaniżone i/lub przestarzałe. W razie wystąpienia problemów zwykle redukuje się jeden lub kilka parametrów obróbki. Takie sposoby redukują jednak wskaźnik usuwania metalu (MRR). Dawniej było to akceptowane, ale współczesny konkurencyjny rynek obróbki odlewów/form zmusza użytkowników do przekraczania granic wydajności.

Coraz powszechniejsze stosowanie maszyn do obróbki HSM w ciągu ostatnich kilku lat wiąże się z koniecznością odświeżenia spojrzenia na sposób wykonywania prac w hali produkcyjnej. Zwiększenie obrotów wrzeciona oraz posuwu roboczego i znaczne zmniejszenie przekroju wióra nie zapewnia jeszcze obróbki HSM. Aby osiągnąć korzyści ze znacznych inwestycji w narzędzia do HSM oraz akcesoria, programiści NC muszą zoptymalizować bezpieczne limity systemu.



Rysunek 1: Dwie obróbki pokazujące warunki obróbki stabilnej i z drganiami.



Rysunek 2: Ekran programu NX™ pokazujący obróbki na stałym poziomie Z wykonane na elemencie testowym.

W tym artykule technicznym omówiono stosunek między najważniejszymi parametrami obróbki a HSM. Przedstawiono też nowy proces, podkreślający wagę uzyskiwania danych o obróbce dla HSM. Metoda ta jest zgodna z teorią drgań oraz wykresami stabilności i umożliwia praktyczne wdrożenie bez konieczności ponoszenia kosztów.

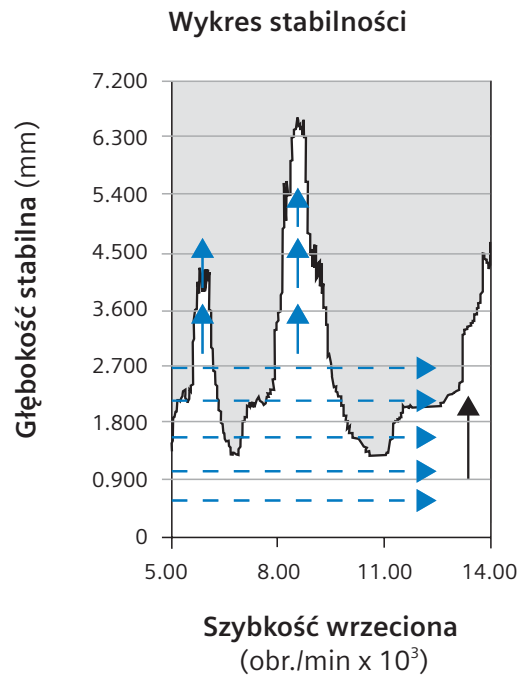
Niestabilna obróbka daje w rezultacie słabej jakości, nierówne wykończenie powierzchni, jakie wielu ludzi kojarzy ze stukaniem w wyniku drgań.

Nowa metodologia wykorzystuje prostą charakterystykę do określenia optymalnych szybkości wrzeciona, obciążeń noża dla dowolnego narzędzia, oprawki, maszyny oraz kombinacji tworzyw. Mówiąc krótko, metoda ta polega na wycięciu określonej liczby przebiegów w płaszczyźnie Z z różnymi szybkościami wrzeciona, co ma na celu określenie stabilnych warunków obróbki.

Kilka identycznych przebiegów wykonywanych jest na nachylonej powierzchni testowej kostki, jak na rysunku 2. Każde przejście jest wykonywane z większymi obrotami wrzeciona i posuwem, przy takiej samej wielkości wióra. Przyjrzenie się obróbce i inspekcja wykończenia powierzchni każdego przejścia pozwalają na określenie warunków stabilnej obróbki.

Każda linia pozioma na rysunku 3 wskazuje serię przejść na poziomie Z wykonanych z rosnącymi obrotami wrzeciona. Linie równoległe skierowane w górę wskazują wzrost wskaźników usuwania metalu (MMR). Linie pionowe określają, w jaki sposób można odnaleźć granice dla każdej określonej stabilnej szybkości wrzeciona.

Warunki próbne oraz wyniki przejść skrawania przedstawiono na wykresie stabilności (rysunek 3). W oparciu o wykres i proste równania można wyliczyć wskaźnik usuwania materiału (MRR) dla każdej szybkości wrzeciona oraz głębokości skrawania. Praca systemu ze szczytową wartością MRR oraz w zakresie bezpiecznych i stabilnych limitów zapewnia optymalne wykorzystanie sprzętu do obróbki.



Rysunek 3: Próbne warunki skrawania pokazane na wykresie stabilności.

## Proponowany nowy proces

Nowo zaproponowany proces wprowadzony został w życie na Makino V33. W tym przypadku zastosowano frez kulowy Jabro Tornado o średnicy 10 mm. Długość narzędzia ustawiono na 30 mm na oprawce HSK. Jako obiektu testowego użyto tworzywa P20 o długości 82 mm, szerokości 65 mm oraz wysokości 48 mm. Na boku kostki wycięty został 30-stopniowy stożek pod oprawkę i umożliwiający obserwację wszystkich przebiegów skrawania.

Dla tego przykładu należy założyć głębokość skrawania równą około 30% średnicy narzędzia. W przypadku jakichkolwiek innych rozważań ograniczających obciążenie narzędzia należy postępować zgodnie z mniejszym z nich. Upewnij się, że narzędzie stworzy wyraźne wierzchołki, aby możliwe było odróżnienie poszczególnych głębokości. Wysokość kostki powinna umożliwiać wykonanie przynajmniej 12 głębokości skrawania. Nachylenie po stronie wykonywania obróbki powinno regulować oprawkę narzędzia. Długość kostki powinna wystarczać do zastosowania zamocowania, co pozwoli na wykonanie co najmniej 10 przebiegów bocznych. Szerokość powinna być wystarczająca, aby umożliwić obserwację nacięć.

## Pobranie odpowiednich danych z katalogu narzędzi

Prędkość skrawania Vc							
Materiał	Numer grupy Seco	Zgrubne frezowanie rowków m/min	Wykończenie helikalne/ pochyleń m/min	Zgrubne frezowanie boczne m/min	Wykończenie frezowania boczno m/min	Zgrubne frezowanie kopia m/min	Wykończenie frezowania kopia m/min
Stal miękka	1-2	90/225*	250	375	450	325	500
Stal normalna	3-4	80/180*	210	310	390	280	385
Stal narzędziowa <48 HRC	5-6	50/160	180	280	350	240	325
Stal utwardzana >48-56 HRC	7	125	150	250	300	200/170*	280
Stal utwardzana >56-62 HRC	7	80	90	150	175	120/100*	150
Stal utwardzana >62-65 HRC	7	50	55	80	90	100/80*	110
Stal utwardzana >65 HRC	7	35	35	55	60	80/60*	85
Stal nierdzewna	8-9	95	100	155	200	125	210
Trudna stal nierdzewna	10-11	60	70	120	145	80	125
Żeliwo miękkie	12-13	175	185	250	285	250	345
Żeliwo twarde	14-15	150	160	200	245	200	290
Aluminium z <16% Si	16	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.
Aluminium z >16% Si	17	250	280	295	325	300	345
Superstopy	20	50	60	80	120	100	150
Trudne superstopy	21	25	30	40	50	50	75
Stopy tytanowe	22	75	80	120	145	100	170
Grafit		600	600	600	400	800	500
Tworzywo miękkie * *		300	400	385	450	Maks.	Maks.
Tworzywo twarde * *		150	175	190	250	200	175
Miedź		350	450	450	550	Maks.	Maks.

\* Odnosi się do narzędzi alternatywnych w tabeli wyboru narzędzia.

\*\* W przypadku topienia się tworzywa sztucznego należy zmniejszyć szybkość skrawania (w przypadku dużego zużycia w związku z dodanymi elementami należy zmniejszyć szybkość skrawania).

Posuw/ząb Fz Ø 8-10 mm							
Materiał	Numer grupy Seco	Zgrubne frezowanie rowków mm/ząb	Wykończenie helikalne/ pochyleń mm/ząb	Zgrubne frezowanie boczne mm/ząb	Wykończenie frezowania boczno mm/ząb	Zgrubne frezowanie kopia mm/ząb	Wykończenie frezowania kopia mm/ząb
Stal miękka	1-2	0.090/0.045*	0.057	0.081	0.085	0.130	0.117
Stal normalna	3-4	0.80/0.042*	0.053	0.076	0.079	0.121	0.109
Stal narzędziowa <48 HRC	5-6	0.070/0.041*	0.051	0.072	0.076	0.115	0.105
Stal utwardzana >48-56 HRC	7	0.039	0.049	0.070	0.074	0.150/0.112*	0.101
Stal utwardzana >56-62 HRC	7	0.036	0.045	0.065	0.068	0.120/0.104*	0.093
Stal utwardzana >62-65 HRC	7	0.030	0.038	0.054	0.057	0.100/0.086*	0.078
Stal utwardzana >65 HRC	7	0.030	0.038	0.054	0.057	0.090/0.086*	0.078
Stal nierdzewna	8-9	0.045	0.057	0.081	0.085	0.091	0.117
Trudna stal nierdzewna	10-11	0.042	0.053	0.076	0.079	0.085	0.109
Żeliwo miękkie	12-13	0.045	0.057	0.081	0.085	0.104	0.117
Żeliwo twarde	14-15	0.042	0.053	0.076	0.079	0.097	0.109
Aluminium z <16% Si	16	0.060	0.076	0.108	0.113	0.173	0.156
Aluminium z >16% Si	17	0.050	0.063	0.090	0.095	0.144	0.130
Superstopy	20	0.040	0.050	0.072	0.076	0.081	0.104
Trudne superstopy	21	0.036	0.045	0.065	0.068	0.073	0.093
Stopy tytanowe	22	0.042	0.053	0.076	0.079	0.085	0.109
Grafit		0.055	0.069	0.099	0.104	0.159	0.143
Tworzywo miękkie		0.050	0.063	0.090	0.095	0.144	0.130
Tworzywo twarde		0.045	0.057	0.081	0.085	0.123	0.117
Miedź		0.048	0.061	0.086	0.091	0.138	0.124

\* Odnosi się do narzędzi alternatywnych w tabeli wyboru narzędzia.

Rysunek 4: Tabele ukazujące dane dotyczące obróbki zalecane przez producenta.

Producent narzędzi podaje dwie bardzo istotne informacje: maksymalną szybkość skrawania i wielkość wióra. Maksymalna szybkość skrawania zależy od typu powłoki na narzędziu oraz maksymalnej temperatury, jaką może ona wytrzymać. Wielkość wióra (posuw/ząb) zależy od materiału oraz od geometrii ostrza narzędzia.

Zgodnie z tabelą, maksymalna szybkość skrawania wynosi 280 mm/min, a wielkość wióra 0,072 mm/ząb. W tym przykładzie założono do potrzeb testu zgrubne boczne warunki obróbki.

Aby nie naruszyć maksymalnej prędkości skrawania, należy utrzymywać poniżej 9000 obr./min.

(Uwaga: Obroty te można zwiększyć dla obróbki wykańczającej).

$$\text{Maks. RPM} = \frac{\text{Maks.}_{\text{szybkość skrawania w mm/min}}}{\pi * \text{Średnica}_{\text{narzędzia}}}$$

$$\text{Maks.}_{\text{RPM (obroty/minutę)}} = \frac{280 * 103}{\pi * 10} = 8912 \approx 9000$$

### Zawężenie zakresu próby

Podczas tych prób szybkość wrzeciona wynosiła od 6000 do 11 500 w odstępach co 500 obr./min. Maksymalne obroty na minutę zwiększono, aby wyniki odnosiły się również do warunków skrawania podczas obróbki wykańczającej. Głębokość skrawania dla każdego poziomu Z wynosiła 4mm. Program był dostosowywany ręcznie dla odzwierciedlenia zmieniającej się szybkości wrzeciona na każdym poziomie Z.

### Utrzymywanie stałej wielkości wióra

Podawanie zostało odpowiednio skorygowane dla utrzymania przez cały test stałej wartości posuw/ząb.

$$\text{Posuw}_{\text{mm/min}} = \text{Posuw}_{\text{na ząb}} * \text{Liczba}_{\text{zębów}} * \text{obr./min}$$

### Obróbka maszynowa

Wstępna obróbka z przejściem 0,5 mm wykonana została na nachyleniu. Szerokość skrawania została ustawiona w rejestrach korekcji osi X. Eliminuje to konieczność ustalania nowego programu dla każdego cyklu.

Wstępną obróbkę o szerokości skrawania 0,5 mm powtórzono dla uzyskania podobnych warunków początkowych dla każdego cyklu. Ta obróbka daje stabilne warunki obróbki dla całego nachylenia. (Niektóre z przejść były stępione na dnie wierzchołków z powodu zmniejszonej szybkości skrawania).

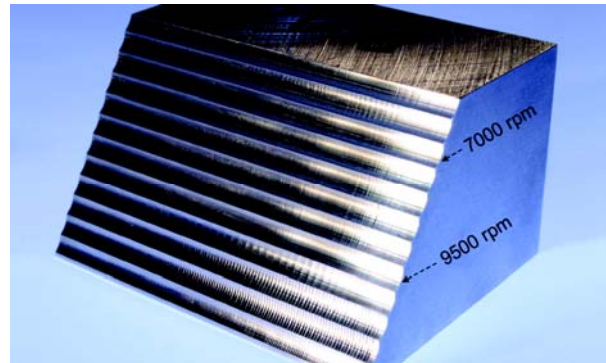
Po zwiększeniu szerokości skrawania do 1 mm cykl powtórzono. Mimo że wykres stabilności przewiduje stabilne warunki obróbki przy wszystkich szybkościach wrzeciona, niewielkie oznaki drgań zauważono przy obu skrajnych szybkościach wrzeciona. Proces powtarzano, zwiększając wartość szerokości skrawania aż do chwili zauważenia oznak drgań przy 2 mm. Cykl wyraźnie pokazał stabilną obróbkę przy 7000 obr./min i 9500 obr./min.

Szerokość skrawania stopniowo zwiększano aż do 3 mm. Obróbka przy 7000 i 9500 obr./min pozostawała stabilna.

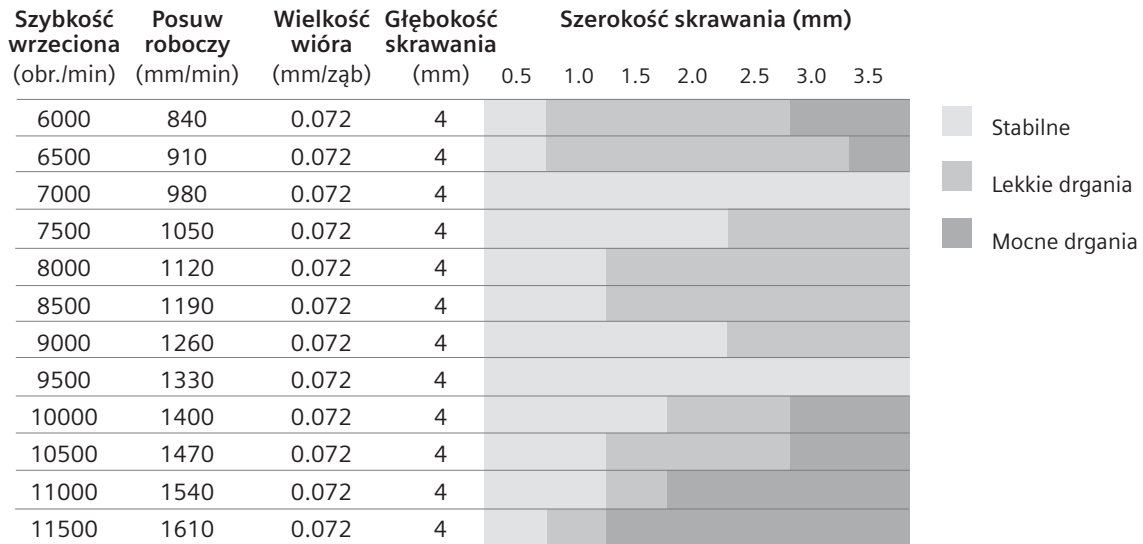
## Wyniki

Część rysunku 5 pokazuje stabilne i niestabilne warunki obróbki. Oznacza to głębokość nacięcia wynoszącą 4 mm i przejście boczne wynoszące 3 mm. Należy zauważyć, że trzeci i ósmy krok to cięcia czyste przy 7000 obr./min i 9500 obr./min.

Uwaga: Wykres stabilności pokazany na rysunku 6 wyliczony został dla tego samego założonego narzędzia/oprawki/maszyny. Należy zauważyć, że rzeczywiste zachowanie jest zgodne z przewidzianym wzorem, lecz rzeczywiste wielkości różnią się o około 1000 obr./min.



Rysunek 5: Dowód ostateczny.



Rysunek 6: Wykres stabilności.



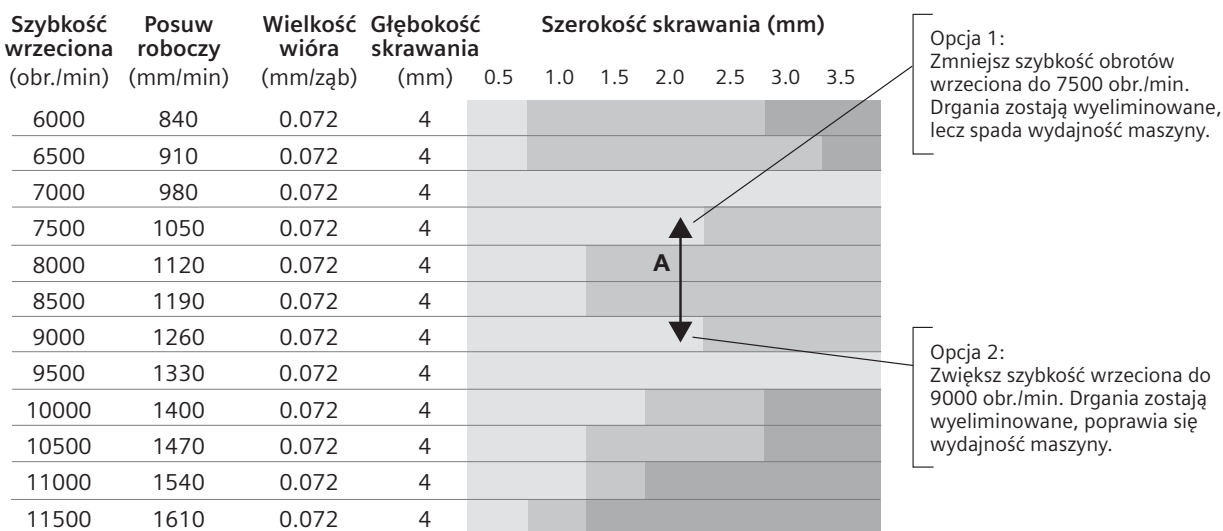
## Podsumowanie

Wykres stabilności to użyteczne narzędzie do określania stabilnych warunków skrawania dla różnych szybkości wrzeciona oraz MRR (szybkości usuwania materiału). Wykres można wykorzystać do znalezienia maksymalnej dopuszczalnej szybkości usuwania materiału (MRR), która jest kluczowym wskaźnikiem wydajności obróbki dla danej szybkości wrzeciona. Warto zauważyć, że stabilną obróbkę można osiągnąć przy dowolnej wielkości obrotów na minutę, lecz dzieje się to kosztem MRR. Globalny wykres stabilności, przedstawiony z przewidzeniem drgań narzędzi czy też za pomocą metody opisanej w niniejszym artykule technicznym, pomaga użytkownikom uzyskać wysokie wartości MRR przy określonych stabilnych wartościach obrotów na minutę.

### Zmniejszenie szybkości może nie być najefektywniejszym sposobem na drgania

W wielu przypadkach, zauważywszy drgania, osoba obsługująca narzędzie próbuje zmniejszać obroty wrzeciona, aby te drgania wyeliminować. Technika ta zapewni stabilne warunki skrawania, lecz może nie być najefektywniejszym rozwiązaniem. Często jest możliwe zwiększenie szybkości obrotów wrzeciona, co wyeliminuje drgania, a jednocześnie poprawi wydajność pracy.

Na poniższym diagramie niewielkie drgania zauważono w punkcie A (8000 obr./min z szerokością skrawania 2,0 mm). Poza przeprogramowaniem części z mniejszą szerokością skrawania istnieją dwie łatwe opcje zlikwidowania drgań — zmniejszenie lub zwiększenie szybkości obrotów wrzeciona. Ponieważ wykres wyraźnie wskazuje, że stabilne warunki skrawania można osiągnąć przez zwiększenie szybkości wrzeciona, jest to opcja lepsza dzięki zwiększeniu wydajności.



Rysunek 7: Wzrost szybkości obrotów wrzeciona zapewnia stabilne warunki skrawania i poprawę wydajności obróbki.

## Obróbka z większymi obrotami może nie być najefektywniejszym sposobem

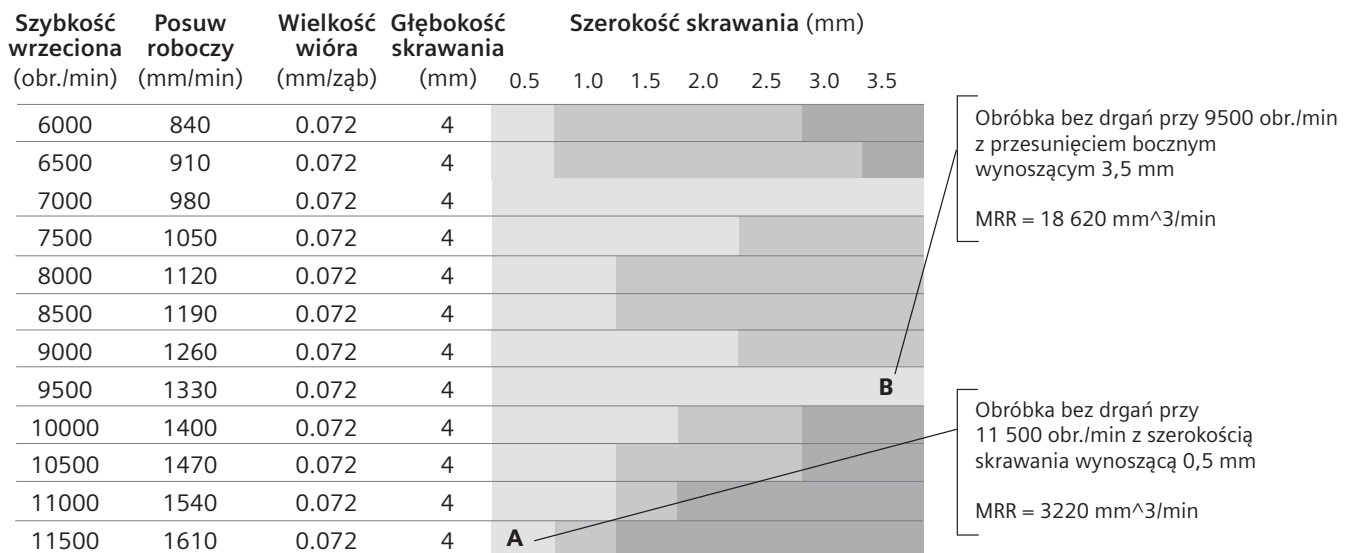
Często przy zastosowaniu obrabiarek do obróbki HSM pojawia się chęć obsługiwanie maszyny z jej maksymalną dopuszczalną szybkością. Brak drgań można osiągnąć w krańcowych szybkościach, jednak wydajność mierzona wskaźnikiem MRR (wskaźnik usuwania materiału) może być dość niska.

$$\text{Wskaźnik\_usuwania\_materiału} = \text{Prędkość\_posuwu\_mm/min} * \text{Głębokość\_skrawania\_mm} * \text{Szerokość\_skrawania\_mm}$$

Na poniższym diagramie stabilne skrawanie osiągnięte jest przy 11 500 obr./min z szerokością skrawania 0,5 mm (punkt A). W związku z tym, że wrzeczono pracuje przy wysokich obrotach na minutę, powszechnie zakłada się, że system pracuje wydajnie. Jednak, jak widać na wykresie, wcale tak nie jest. Punkt B — mniejsze obroty na minutę, lecz większa głębokość skrawania — zapewnia prawie sześciokrotnie większą wydajność obróbki.

## Wskazówki dotyczące użytkowania

- Stosuj praktyczne, powtarzalne warunki (np. dokręć oprawkę tulejki zaciskowej za każdym razem z tym samym momentem). Należy to powtarzać dla każdej kombinacji narzędzie/oprawka/maszyna. Może się to wydawać pracochłonne, lecz jest bardzo opłacalne.
- Najlepsze rezultaty są bezpośrednio przenoszone na inne tworzywa. Różnić się będą maksymalną głębokością i szerokością skrawania.
- Możliwe jest zastąpienie narzędzia innym podobnym narzędziem pochodzącym od tego samego producenta. Wyniki są wciąż ważne. Podobnie jest również w przypadku oprawek.
- Ustaw długość narzędzia możliwie najbliższą warunkom testowym.
- Możliwe jest zwiększanie głębokości skrawania przy odpowiednim zmniejszaniu szerokości skrawania i odwrotnie.
- Nie należy korzystać z tych danych w przypadku części o cienkich ścianach, ponieważ naturalna częstotliwość części poddawanej obróbce zmienia się podczas procesu obróbki.



Rysunek 8: Stabilna obróbka przy niższych obrotach na minutę i większej głębokości skrawania jest znacznie bardziej efektywna niż obróbka przy znacznie większych obrotach na minutę i mniejszej głębokości skrawania.

## Siemens PLM Software

Firma Siemens PLM Software, jednostka biznesowa firmy Siemens Industry Automation Division, to czołowy w skali globalnej dostawca oprogramowania i usług z zakresu zarządzania cyklem życia produktu (PLM). Dotychczas firma sprzedała licencje na produkty obejmujące prawie 6,7 mln stanowisk, z których korzysta 63 tys. klientów na całym świecie. Siedziba firmy Siemens PLM Software mieści się w Plano w Teksasie. Siemens PLM Software współpracuje z wieloma firmami w celu dostarczania otwartych rozwiązań, pomagających przekuć pomysły na cieszące się zainteresowaniem klientów produkty. Więcej informacji na temat produktów i usług firmy Siemens PLM Software można znaleźć pod adresem [www.siemens.com/plm](http://www.siemens.com/plm).

### Siemens PLM Software

#### Centrala

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
972 987 3000  
Faks 972 987 3398

#### Ameryka Pn. i Ameryka Płd.

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
800 498 5351  
Faks 972 987 3398

#### Europa

3 Knoll Road  
Camberley  
Surrey GU15 3SY  
United Kingdom  
44 (0) 1276 702000  
Faks 44 (0) 1276 702130

#### Azja i Pacyfik

Suites 6804-8, 68/F  
Central Plaza  
18 Harbour Road  
WanChai  
Hongkong  
852 2230 3333  
Faks 852 2230 3210

#### Polska

ul. Marynarska 19a  
02-674 Warszawa  
Tel.: 0 800 200 201  
Faks: + 48 22 339 36 99  
E-mail:  
[info.pl.plm@siemens.com](mailto:info.pl.plm@siemens.com)

[www.siemens.com/plm](http://www.siemens.com/plm)

© 2010 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone. Siemens i logo Siemens są zarejestrowanymi znakami towarowymi firmy Siemens AG. D-Cubed, Femap, Geolus, GO PLM, I-deas, Insight, Jack, JT, NX, Parasolid, Solid Edge, Teamcenter, Tecnomatix i Velocity Series są znakami towarowymi lub zarejestrowanymi znakami towarowymi firmy Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. lub jej spółek zależnych w USA oraz innych krajach. Pozostałe występujące w niniejszej publikacji znaki logo, znaki towarowe, zarejestrowane znaki towarowe i znaki usług należą do odpowiednich właścicieli.

X10-PL 17610 9/10 L