



Autorzy: dr inż. Patyk Radosław, inż. Szcześniak Michał, inż. Mioduszewski Piotr
e-mail: radoslaw.patyk@tu.koszalin.pl

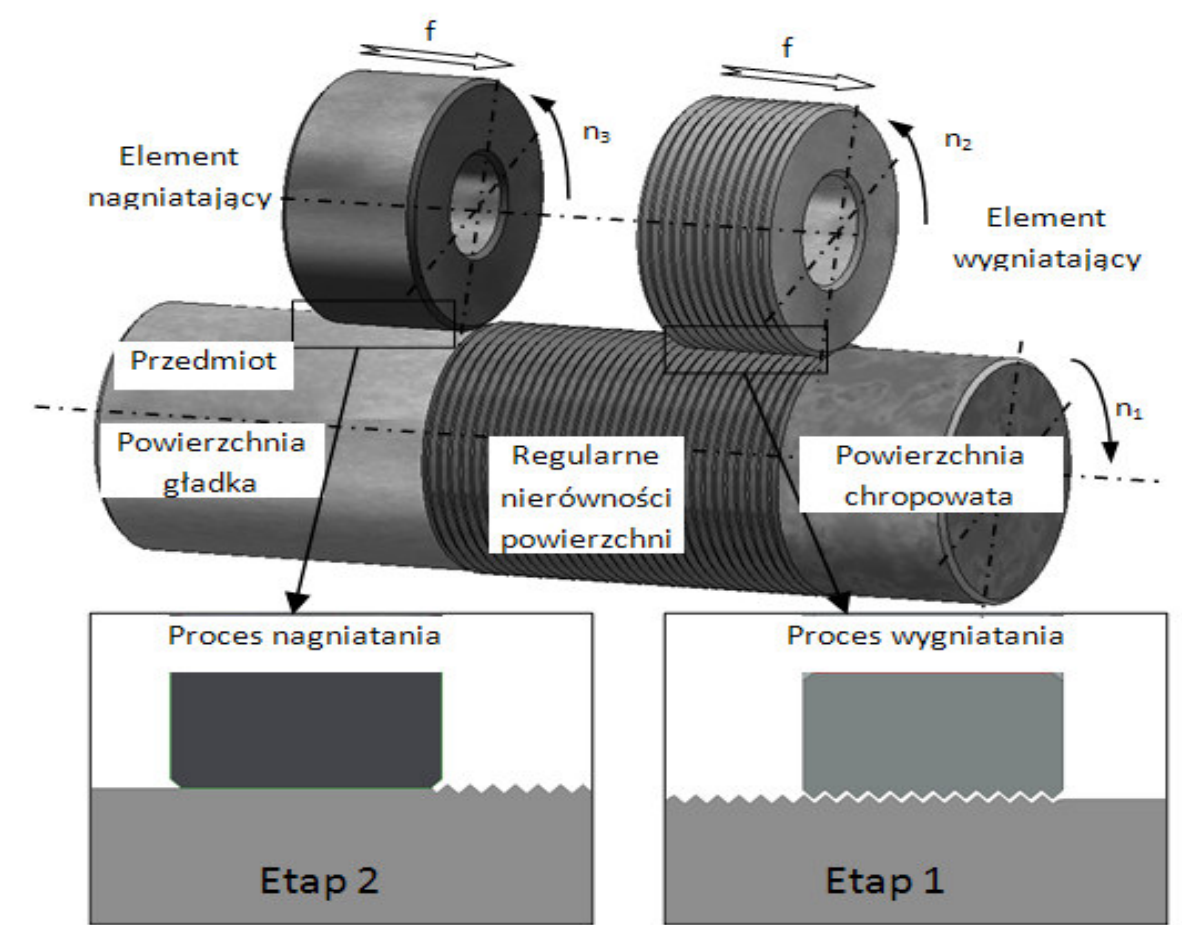
Instytucja: Politechnika Koszalińska, Katedra Mechaniki Technicznej
i Wytrzymałości Materiałów

**Tytuł plakatu: Analiza nacisków kontaktowych w procesie
wygniatania regularnych nierówności powierzchni**



WPROWADZENIE

Problematyka świadomego kształtowania warstwy wierzchniej (WW) pożądanej, ze względów eksploatacyjnych interesowała badaczy od wielu lat. Skutkiem tego było opracowanie wielu technologii obróbkowych (obróbki ubytkowe, bezubytkowe, cieplne, chemiczne itd.). Opracowane technologie, aby mogły być stosowane na skalę przemysłową wymagają szczegółowych badań mających na celu poznanie zjawisk i mechanizmów zachodzących podczas obróbki a następnie opracowanie szczegółowych wytycznych dotyczących doboru parametrów procesu. Jedną z obróbek wykończeniowych części maszyn stosowanych w celu poprawienia stanu powierzchni i/lub stanu warstwy wierzchniej jest powierzchniowa obróbka plastyczna (nagniatanie). Nagniatanie stosuje się w celu: zwiększenia gładkości powierzchni, jej umocnienia oraz zwiększenie dokładności wymiarowo-kształtowej. Z badań wynika, że jakość po nagniataniu istotnie zależy od jakości półwyrobu po obróbkach poprzedzających. Zaleca się, aby zarys nierówności powierzchni do nagniatania był regularny, zdeterminowany i okresowy. Dotychczasowe obróbki te charakteryzują się niestabilnością i ograniczoną trwałością narzędzi, które zużywają się w trakcie procesu. Ukształtowany zarys nierówności istotnie różni się od zarysu teoretycznego, a jakość wyrobu po nagniataniu różni się od jakości pożądanej. Poza tym wymienione obróbki ubytkowe nie nadają się w ogóle lub mogą być stosowane w ograniczonym zakresie dla przedmiotów wiotkich oraz wykonanych z materiałów trudnoobrabialnych. W pracy zaproponowano nowy sposób przygotowania powierzchni do nagniatania gładkościowo umacniającego (rys. 1). Przewiduje się, że nowa technologia wyraźnie poprawi jakość kształtowanych części oraz umożliwi sterowanie rozkładem i głębokością zalegania naprężeń własnych w WW. Istotny wpływ na jakość technologiczną wyrobu nagniatanego mają parametry technologiczne obróbki, współczynnik tarcia oraz zarys nierówności (trójkątny, trapezowy itd.) powierzchni nagniatanej powstały w obróbce poprzedzającej. Szczegółowej analizie poddano zagadnienie kontaktu narzędzia z przedmiotem obrabianym. Wyniki rozważań teoretycznych procesu plastycznego kształtowania regularnych nierówności uzyskano w oparciu o metodę charakterystyk. Opracowano aplikację w programie Ansys/Ls-Dyna, która umożliwia dokonywanie obliczeń dla różnych modeli materiałowych z uwzględnieniem wpływu odkształceń sprężystych, tarcia, prędkości odkształcenia i temperatury.



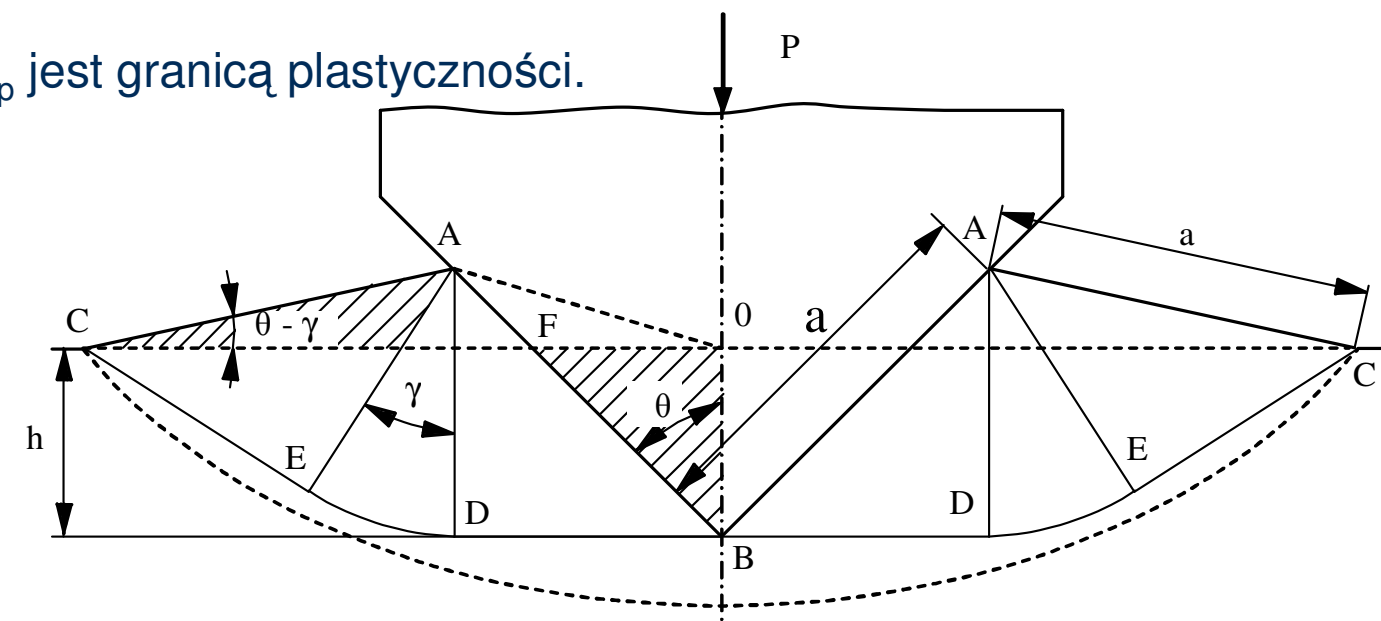
Rys. 1. Schemat procesu wygniatania i nagniatania gładkościowo-umacniającego wałków

ANALIZA TEORETYCZNA PROCESU

Analizę teoretyczną procesu kształtowania nierówności przeprowadzono z wykorzystaniem metody charakterystycznych linii poślizgu materiału. Ze względu na przyjęte założenia, podawane wzory mają zastosowanie dla przypadku braku tarcia w strefie kontaktu i materiałów o właściwościach sztywno – idealnie plastyczny (bez umocnienia). Stopień zaawansowania procesu jest określony głębokością h , na którą zagłębia się ostrze klina. Po obu stronach klina występuje lokalne wypchnięcie materiału, a objętość wzniesień nad początkową powierzchnią równa jest objętości materiału zajętej przez zagłębioną część klina. Założono, że swobodna krawędź wzniesień jest prostoliniowa. Siatka linii poślizgu składa się z dwóch trójkątów prostokątnych, w których panują jednorodne stany naprężeń oraz wycinka biegunowego ADE o kącie wierzchołkowym γ (rys. 2). Wartość nacisków w strefie kontaktu wyznaczono z nieliniowego warunku plastyczności Hubera – Misesa – Henckie'go:

$$p = 2k(1 + \gamma), \text{ gdzie } k = \sigma_p / \sqrt{3}$$

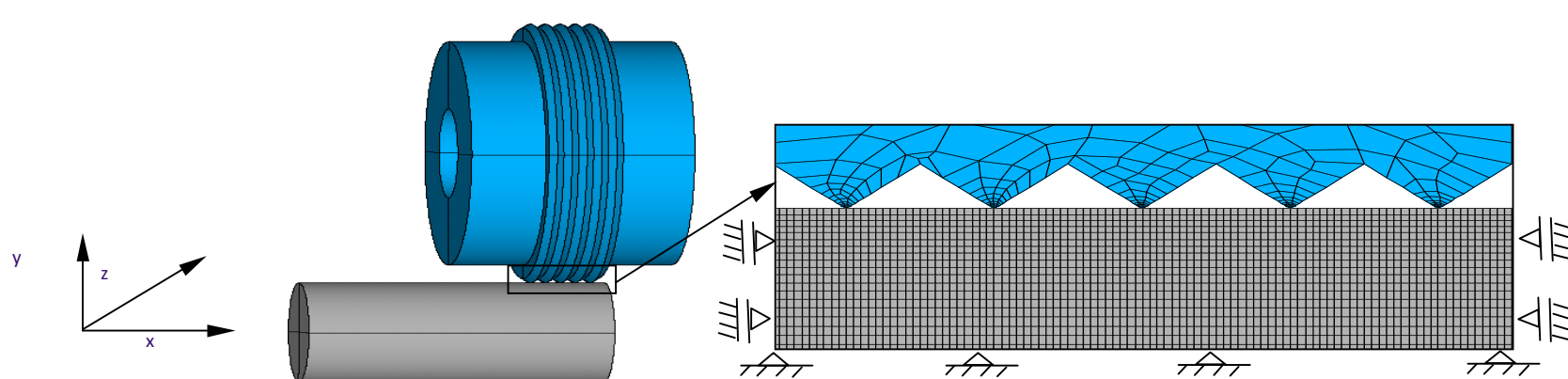
gdzie σ_p jest granicą plastyczności.



Rys. 2. Schemat odkształcenia przy wciskaniu klina w ośrodek plastyczny według Hill'a

ANALIZA NUMERYCZNA PROCESU

Opracowano aplikację w systemie Ansys/LS-DYNA geometrię przedmiotu i narzędzia zamodelowano w układzie płaskim (2D), dla występującego przypadku płaskiego stanu odkształcenia i przestrzennego stanu naprężenia. Narzędzie traktowano jako idealnie sztywne ($E \rightarrow \infty$), natomiast materiał obrabiany jako ciało sprężyste – lepko / plastyczne z umocnieniem dla przypadku występowania tarcia w strefie kontaktu. Przedmiot obrabiany dyskretyzowano elementami skończonymi typu Plane183 z liniową funkcją kształtu. Zadano obciążenia i warunki brzegowe: na narzędzie nałożono translacje po osi y na głębokość równą połowie wysokości nierówności (klina). Przedmiot materiału unieruchomiono odbierając translacyjne i rotacyjne stopnie swobody dla węzłów na spodzie i na bokach (rys. 3).

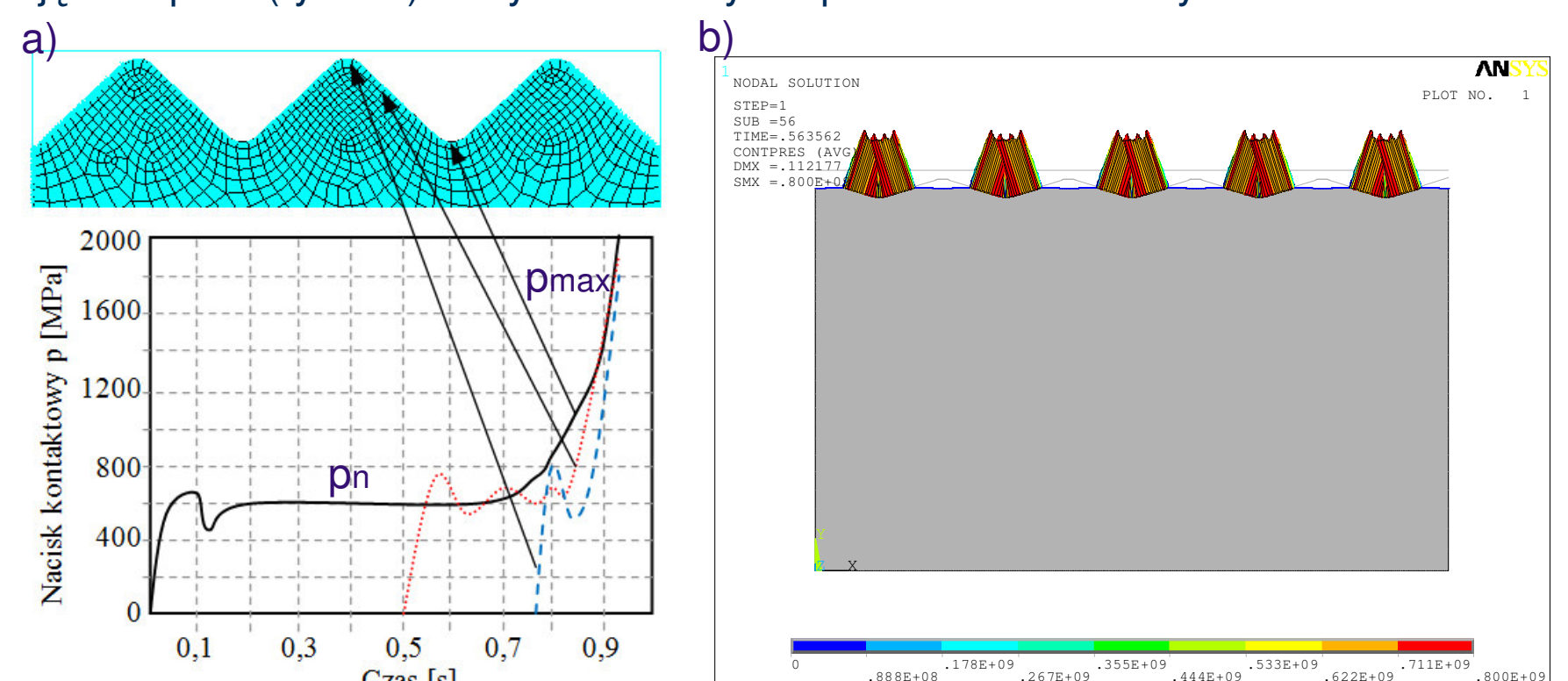


Rys. 3 Model komputerowy procesu

Wnioski:

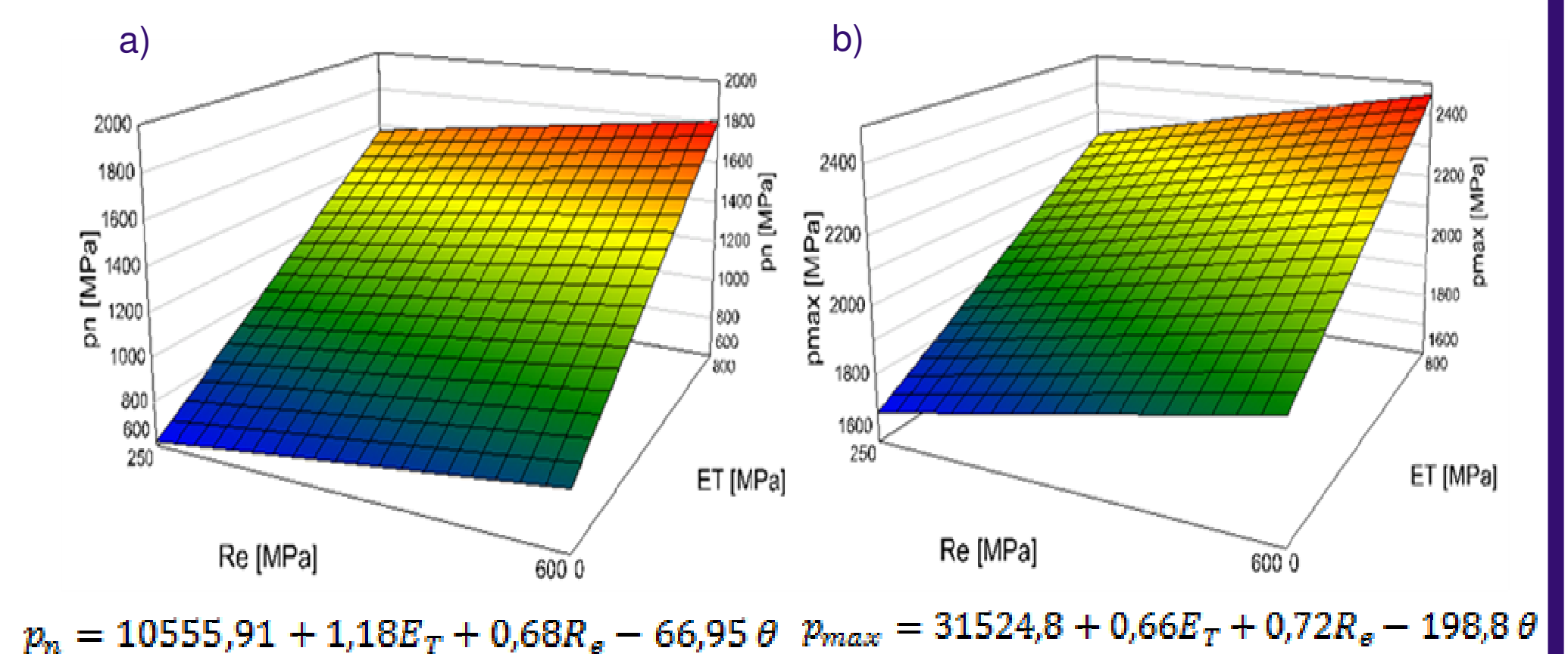
W przypadkach, gdy materiał umacnia się, a w obszarze kontaktu występują siły tarcia rozkład nacisków jest silnie nieliniowy, a ich wartość można określić za pomocą złożonej funkcji zależnej od: rodzaju i warunków realizacji obróbki poprzedzającej, właściwości mechanicznych materiału obrabianego oraz odmiany i warunków nagniatania. W tym przypadku analityczne obliczenie nacisków jest niemożliwe, możliwe jest natomiast obliczenie przybliżone, z założoną dokładnością, na drodze numerycznej

Eksperymenty numeryczne przeprowadzono zgodnie z dwupoziomym planem badań. Czynnikiami badanymi były: moduł wzmocnienia materiału, który zmieniał się w zakresie $ET = 0 \div 800$ [MPa], granica plastyczności $Re = 250 \div 600$ [MPa] oraz kąt wierzchołkowy klinów narzędzia $\theta = 146 \div 156^\circ$. Czynnikiem wynikowym były maksymalne wartości nacisków w strefie kontaktu dla przypadku ustabilizowanego procesu płynięcia p_n oraz dla przypadku gdy następuje całkowite wypełnienie objętości p_{max} (rys. 4a). Przykładowe wyniki przedstawiono na rysunku 4 b.



Rys. 4 Rozkład nacisku kontaktowego a) wykres dla wybranych punktów, b) rozkład

Po przeprowadzeniu analiz statystycznych opracowano funkcje regresji opisujące jakościowy wpływ czynników badanych na wartość nacisków w strefie kontaktu. Na podstawie funkcji opracowano odpowiadające im wykresy (rys. 5)



$$p_n = 10555,91 + 1,18E_T + 0,68R_s - 66,95 \theta \quad p_{max} = 31524,8 + 0,66E_T + 0,72R_s - 198,8 \theta$$

Rys. 5. Zmiany nacisków kontaktowych w funkcji parametrów sterujących a) dla nacisku w przypadku ustabilizowania się procesu, b) dla przypadku wypełnienia wolnych objętości między przedmiotem a narzędziem