

## Wyznaczanie parametrów kontaktowych układu zestaw kół - tor

### Część I

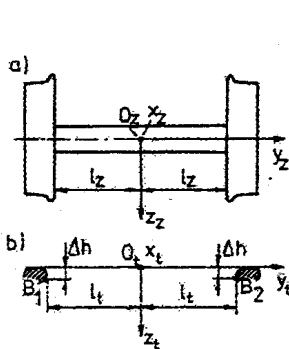
Ta część ćwiczenia polega na pomiarze zarysów i ocenie poprawności wyników (krok I). W razie potrzeby przeprowadza się korektę lub ponownie wykonuje pomiar. Wynikiem tej części ćwiczenia są sprawdzone zbiory opisujące zarysy powierzchni toczonej oraz rysunki zarysów.

### Część II

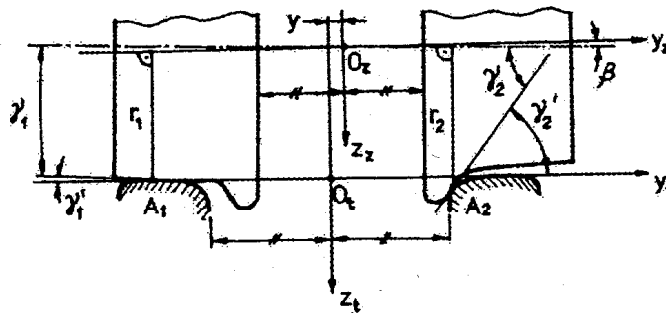
Ta część ćwiczenia to przeprowadzenie obliczeń geometrycznych i kontaktowych (kroki II i III). Wyniki mają postać tablicy kontaktowej oraz rysunków obszarów styku. Uzyskane wyniki należy skomentować ze zwróceniem uwagi na ewentualne osobliwości kontaktu.

#### I. Wielkości geometryczne

Modelowanie dynamicznego oddziaływania pomiędzy pojazdem szynowym i torem wymaga znajomości szeregu wielkości charakteryzujących współpracę zestawu kół z torem. Współpracę charakteryzują wielkości geometryczne i parametry wynikające z rozwiązania zadań kontaktowych.



Rys. 1 Układy współrzędnych



Rys. 2 Wielkości geometryczne kontaktu zestawu kół i toru

Na Rys. 2 przedstawiono schematycznie zarysy powierzchni toczonej szyn i kół, gdy zestaw kół jest przesunięty w kierunku poprzecznym względem linii środka toru o wielkość  $y$  a oś zestawu kół jest prostopadła do linii środkowej toru. Współpracę zestawu kół z torem w takim położeniu charakteryzują następujące wielkości geometryczne:

$\gamma_1, \gamma_{\Gamma}$  kąty styku w układzie współrzędnych  $\gamma_1, \gamma_{\Gamma}$  związanym z zestawem kół,

$r_1, r_{\Gamma}$  aktualne promienie toczone kół,

$\beta$  kąt kołysania.

Kąty styku odmierzone w układzie współrzędnych toru  $O_t y_t z_t$  oznaczono przez  $\gamma'_1, \gamma'_2$ . Wnoszą one

$$\gamma'_1 = \gamma_1 + \beta, \quad \gamma'_2 = \gamma_2 - \beta.$$

Podczas jazdy zestaw kół może przyjmować różne położenia w torze, określone przemieszczeniem poprzecznym  $y$ . Do opisu współpracy zestawu kół z torem należy wyznaczyć wymienione wyżej wielkości dla szeregu wartości przemieszczenia  $y$  ze zbioru wartości dopuszczalnych  $\langle y_{\min}, y_{\max} \rangle$ .

Przyporządkowując wartości wielkości geometrycznych przemieszczeniom  $y$  uzyskujemy tablicę, która służy do wyznaczenia tzw. geometrycznych funkcji kontaktowych opisujących geometrię kontaktu zestawu kół z szynami toru. Funkcje te są wyznaczone przez interpolację liniową danych zawartych w tablicy.

## 2. Parametry kontaktowe

Tablicę wielkości geometrycznych uzupełnia się wielkościami uzyskiwanymi z obliczeń kontaktowych. Obliczone obszary styku kół szynami w danym położeniu ( $y$ ) pod obciążeniem siłą normalną  $N$  są scharakteryzowane przez:

poła powierzchni obszarów styku  $A_1, A_2$ ,

stosunek długości do szerokości obszaru  $(D/S)_1, (D/S)_2$ ,

długości charakterystyczne  $\rho_1, \rho_2$ .

## 3. Tablica kontaktowa

Przykładową tablicę kontaktową przedstawiono poniżej. Zmienną niezależną jest przemieszczenie  $y$ . Następane 4 kolumny zawierają wyniki obliczeń geometrycznych. Parametry kontaktowe są umieszczone w ostatnich sześciu kolumnach tablicy.

y [mm]	wielkości geometryczne				parametry kontaktowe					
	R2-R1 [mm]	Beta [mrad]	Gama1 [stopnie]	Gama2	A1	A2 [mm <sup>2</sup> ]	D/S-1	D/S-2	RO1	RO2 [m]
-4.300	-10.782	1.199	61.926	0.465	72.485	190.688	6.049	0.737	0.226	1.452
-4.052	-5.096	1.081	28.775	0.478	53.161	203.181	5.170	0.692	0.138	1.457
-3.805	-4.917	0.987	28.369	0.491	67.197	214.071	3.318	0.654	0.292	1.440
-3.557	-4.378	0.897	23.856	0.503	109.827	223.732	1.978	0.615	0.483	1.396
-3.309	-1.611	0.818	13.458	9.983	102.607	87.336	2.063	2.338	0.467	0.398
-3.061	-1.288	0.749	11.954	10.225	87.883	82.666	2.530	2.585	0.346	0.349

1.893	3.081	-0.682	0.175	14.804	171.099	72.183	0.855	3.352	1.372	0.234
2.140	3.230	-0.728	0.179	15.536	162.198	73.402	0.907	3.276	1.332	0.243
2.388	3.386	-0.777	0.183	16.272	151.414	74.802	0.996	3.225	1.214	0.249
2.636	3.509	-0.827	0.187	16.673	139.422	76.838	1.193	3.130	0.948	0.262
2.883	3.952	-0.883	0.190	19.708	133.137	76.147	1.294	3.164	0.846	0.258
3.131	4.147	-0.946	0.193	20.979	129.943	81.520	1.367	2.675	0.785	0.360
3.379	4.355	-1.014	0.196	22.261	127.349	84.893	1.424	2.740	0.742	0.331
3.626	5.695	-1.103	0.198	31.524	125.193	70.665	1.466	3.484	0.715	0.245
3.874	5.829	-1.206	0.199	31.236	123.188	60.353	1.512	4.204	0.686	0.201
4.122	6.131	-1.314	0.200	33.569	121.725	71.385	1.553	3.206	0.660	0.316
4.370	8.639	-1.459	0.199	48.179	120.397	85.897	1.579	3.133	0.646	0.395

W ogólnym przypadku tablica kontaktowa może posiadać 6 zmiennych niezależnych:

$y$  - przemieszczenie poprzeczne zestawu kół względem toru,

$\psi$  - kąt nabiegania,

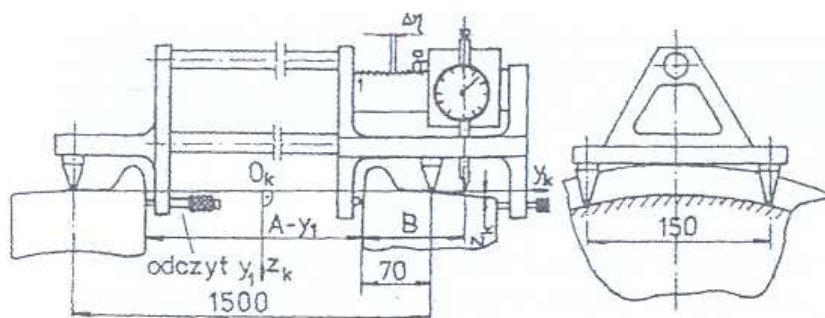
$N$  - siła normalna,

$u$  - poszerzenie (zwężenie) toru,

$\delta_1, \delta_2$  - kąty pochylenia szyn.

## 4. Pomiary geometryczne zestawu kół.

Pomiar zarysów powierzchni toczonej kół przeprowadza się przy użyciu specjalnego przyrządu bazowanego na powierzchniach toczonej kół. Schemat przyrządu pokazano na Rys.3. Elementem pomiarowym przyrządu jest czujnik zegarowy przymocowany do karetki, którą można przesuwając wzdłuż prowadnicy i zatrzymać w zadanych z góry położeniach.



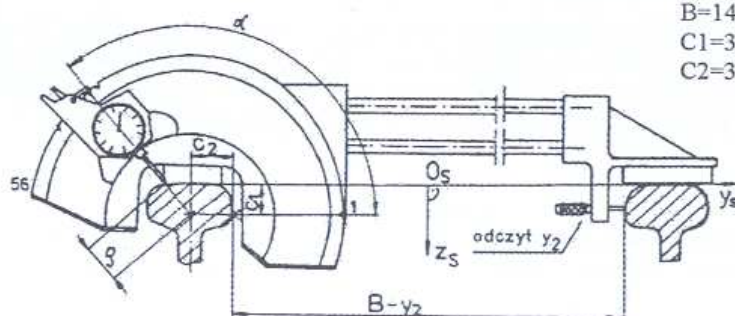
Skalowanie przyrządu  
 $A=1383.8$   
 $B=18.1$

Rys. 3 Schemat przyrządu do pomiaru zarysów obręczy kół

Odczyty wskazań czujnika przeprowadza się w 41 pozycjach z krokiem  $\Delta\eta$ . Po wykonaniu pomiaru jednego koła przyrząd odwraca się i wykonuje pomiary drugiego koła. Dodatkowo mierzona jest odległość między wewnętrznymi powierzchniami czołowymi kół. Do tego celu służy śruba mikrometryczna lub czujnik zegarowy (odczyt  $y_1$ ). Początek układu osi przyrządu  $O_k, z_k, y_k$  przyjmuje się w połowie odległości  $A - y_1$  między wewnętrznymi powierzchniami czołowymi kół. Wielkość  $A$  wynika ze skalowania przyrządu.

#### 5. Pomiary zarysów szyn

Pomiary zarysów szyn przeprowadzamy przy użyciu przyrządu pomiarowego bazowanego na powierzchniach toczonej szyn. Schemat przyrządu pokazano na Rys.4. Współrzędne punktów zarysu są mierzone w układzie biegunowym za pomocą czujnika zegarowego.



Skalowanie przyrządu  
 $B=1458.3$   
 $C_1=31.48$   
 $C_2=32.11$

Rys. 4 Schemat przyrządu do pomiaru zarysów główek szyn

Czujnik zegarowy przymocowany do karetki jest ustalany w 56 pozycjach kątowych za pomocą zapadki. Odczyty wskazań czujnika zegarowego w danej pozycji kątowej  $\alpha$  służą do obliczenia współrzędnych punktów zarysu w prostokątnym układzie współrzędnych przyrządu  $O_s, z_s, y_s$ . Początek układu  $O_s$  przyjmuje się w połowie odległości  $B - y_2$  między wewnętrznymi powierzchniami główek szyn. Do pomiaru tej odległości służy śruba mikrometryczna (odczyt  $y_2$ ) a wielkość  $B$  wynika ze skalowania przyrządu.

#### 6. Przetwarzanie wyników pomiarów.

Przetwarzanie wyników pomiarów ma na celu wyznaczenie parametrów kontaktowych uporządkowanych w formie tablicy kontaktowej. Przetwarzanie obejmuje kilka kroków.

### Krok I

Wyniki pomiarów zapisane w protokóle pomiarowym lub laptopie są użyte jako dane do programu LAB, który współpracuje z plotterem on-line. Sprawdzenie poprawności odczytów polega na wzrokowej ocenie rysunków zarysów. Pomyłki przy odczycie i zapisie są łatwe do wykrycia i często mogą być od razu poprawione. W tym kroku przetwarzania obliczane są współrzędne punktów zarysów w prostokątnych układach współrzędnych  $0_k, z_k, y_k$  i  $0_s, z_s, y_s$ .

### Krok II

Zbiór punktów opisany we współrzędnych  $0_k, z_k, y_k$  jest poddawany wygładzeniu przez filtrowanie cyfrowe. Celem wygładzenia jest wyeliminowanie wpływu przypadkowych mikrodefektów powierzchni toczonej. Po wygładzeniu zbiór punktów jest wykorzystywany do obliczenia ciągu sklejonych odcinków okręgów aproksymujących zarysy powierzchni toczonej kół. W ten sposób zarys wyznaczony przez zbiór punktów zostaje opisany funkcją ciągłą. W ten sam sposób przebiega II krok przetwarzania zarysów szyn. Do wykonania tego kroku obliczeń służy program LUKI, który jest uruchomiany jako zadanie wsadowe za pomocą WYKONAJ.BAT.

### Krok III

W tym kroku zarysy powierzchni toczonej kół i szyn opisane funkcjami ciągłymi są użyte jako dane do obliczeń geometrycznych i obliczeń kontaktowych, których wynikiem jest tablica kontaktowa. Obliczenia przeprowadzamy dla pewnego zakresu poprzecznych przemieszczeń zestawu kół względem środka toru  $\langle y_{\min}, y_{\max} \rangle$  i przy założonym obciążeniu siłą normalną  $N$ .

Wynikiem obliczeń jest tablica kontaktowa i rysunki obszarów styku. Wyniki obliczeń stanowią podstawowe dane do modelowania dynamiki pojazdu szynowego. Do wykonania obliczeń kontaktowych służy program CPBEZPLO, którego zbiór danych wejściowych nosi nazwę DANE.

Po wykonaniu programu CPBEZPLO otrzymujemy tablicę kontaktową oraz zbiór służący do wygenerowania rysunków. Zbiór ten ma nazwę RYS1. Aby otrzymać kod w języku graficznym HPGL wykonujemy program PGM4HPG. Wygenerowane zbiory w języku HPGL noszą nazwę WPRN.\*, (\*:=1,2,3,...6). Rysunki obszarów styku można obejrzeć na ekranie a następnie wydrukować wydrukować na drukarce.

### **Sprawozdanie**

Sprawozdanie zawiera protokoły pomiarów, zbiory danych, rysunki zarysów, wyniki obliczeń kontaktowych w postaci tablicy i rysunków obszarów styku oraz komentarz omawiający uzyskane wyniki obliczeń kontaktowych.

### **Literatura**

Piotrowski, J.: Poprzeczne oddziaływanie między pojazdem szynowym i torem. Podstawy modelowania numerycznego. Prace Naukowe, Mechanika z. 118, 1990. Wyd. Pol. Warszawskiej

Kik, W., Piotrowski, J.: A fast approximate method to calculate normal load at contact between wheel and rail and creep forces during rolling. Proc. of 2<sup>nd</sup> Conf. on Contact Mechanics and Wear of Wheel/Rail Systems. Ed. I. Zobory. TU Budapest 1996, pp. 52-6.

Piotrowski, J.: Rozwiązywanie zadań kontaktowych w dynamice pojazdów szynowych szybką metodą przybliżoną. Mat. XIV Konferencji Naukowej Pojazdy Szynowe 2000, str. 147-156

-----  
Z podstawami mechaniki kontaktowej i jej zastosowaniami można zapoznać się na przedmiotach:  
Pojazdy szynowe oraz Projektowanie zawieszek pojazdów szynowych.