

Możliwości symulacji wybranych zjawisk balistyki końcowej w programie PRODAS

Tomasz Rasztabiga

Zakłady Metalowe „MESKO” S. A., ul. Legionów 122, 26-111 Skarżysko-Kamienna, PL

Streszczenie: W pracy przedstawiono możliwość symulacji zjawisk balistyki końcowej takich jak fragmentacja, przebijalność i zjawisko kumulacji w programie PRODAS Version 3.4.1 firmy Arrow Tech (USA). W module Fragment2000 program wylicza ilość odłamków w założonych grupach masowych oraz geometrię rozlotu. W module Penet2000BAL66 i Penet2000Lambert program wylicza grubość przebijanej płyty pancerniej lub aluminiowej w funkcji prędkości uderzenia i kąta padania oraz wymaganą prędkość pocisku w funkcji grubości pancerza i kąta padania. W module JetSuite2000 program wylicza parametry strugi kumulacyjnej oraz głębokości penetracji przez nią celu. Możliwość symulacji w/w zjawisk ogranicza ilość eksperymentów fizycznych.

Słowa kluczowe: balistyka końcowa, fragmentacja, przebijalność, zjawisko kumulacji.

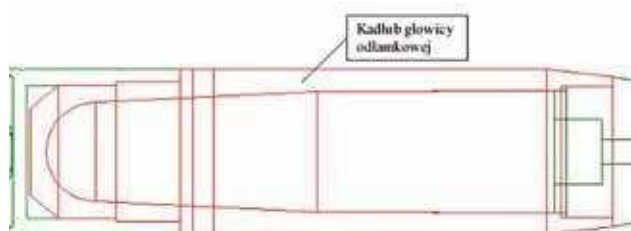
1. Wprowadzenie

W procesie projektowania głowic bojowych o działaniu odłamkowym, burzącym i kumulacyjnym nieodzownym jest wykonanie szeregu obliczeń i następujących po nim prób które to pozwolą konstruktorowi określić parametry techniczne i taktyczne w zależności od wymagań stawianym poszczególnym rodzajom głowic bojowych. Pomocnym narzędziem w optymalnym określeniu istotnych parametrów jest m.in. program PRODAS Version 3.4.1. Program ten posiada szereg różnych modułów obliczeniowych, które to umożliwiają symulowanie zjawisk balistyki wewnętrznej, zewnętrznej i końcowej. Zjawiska balistyki końcowej oblicza się w modułach *Fragment2000*, *Penet2000BAL66*, *Penet2000Lambert* i *JetSuite2000*. [1]

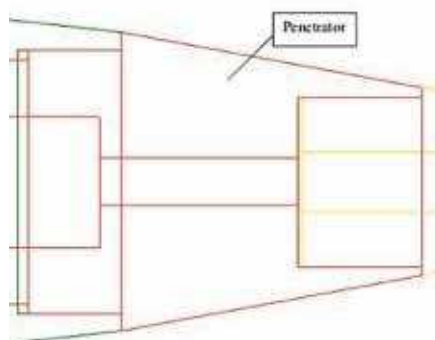
2. Model

Za pomocą modułu *Model Editor* należy wykonać modele głowic których to parametry taktyczno-techniczne są wyznaczane przy użyciu poszczególnych modułów programu m.in. symulujących zjawiska balistyki końcowej oraz określić parametry fizyczne modeli.

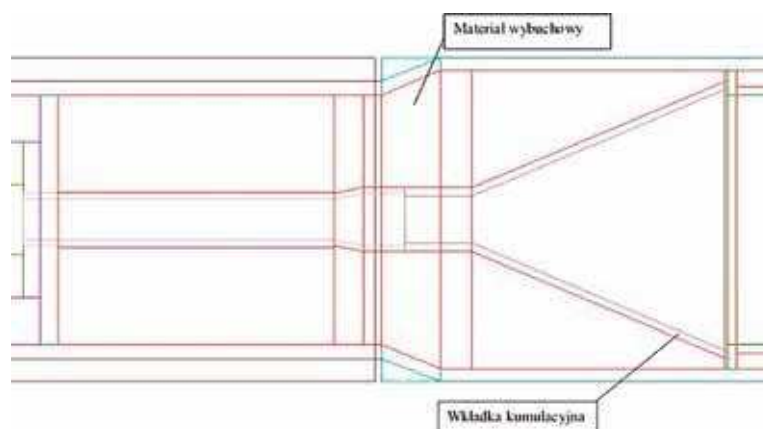
3. Przykładowe modele wykonane w programie PRODAS



Rys. 1. Model głowicy odłamkowej.



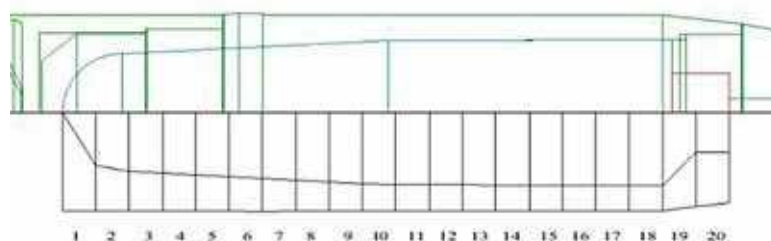
Rys. 2. Model penetratora w głowicy odłamkowo-burzącej.



Rys. 3. Model głowicy kumulacyjnej.

4. Przykładowe wyniki

4.1. Wyniki otrzymywane przy pomocy modułu *Fragment2000*



Rys. 4. Model fragmentacji.

Tab. 1. Zapis z programu Fragment2000 Version 3.0.0. - „Charge to Metal Sectional Results”.

Section	HE Wgt [gm]	Mtl Wgt [gm]	Ratio C/M	Frag Vel [m/sec]	Avg Wgt [gm]	Spr Ang [deg]
1	7.87	285.02	0.0276	377.4	28.440	31.6
2	26.59	212.33	0.1252	784.7	4.333	76.5
3	30.56	196.91	0.1552	867.5	3.368	84.4
4	32.28	190.21	0.1697	904.2	3.026	84.3
5	34.05	185.22	0.1839	938.0	2.772	84.2
6	35.87	182.01	0.1971	968.3	2.592	84.1
7	37.74	172.86	0.2183	1014.2	2.262	84.0
8	39.65	161.56	0.2454	1068.8	1.917	83.8
9	41.62	153.94	0.2703	1115.6	1.693	83.7
10	43.40	147.02	0.2952	1159.4	1.510	84.2
11	44.24	143.75	0.3078	1180.6	1.430	86.3
12	44.34	143.34	0.3093	1183.2	1.420	86.3
13	44.45	142.94	0.3110	1185.9	1.410	86.4
14	44.55	142.53	0.3126	1188.6	1.401	86.5
15	44.66	142.13	0.3142	1191.2	1.391	86.7
16	44.76	141.72	0.3158	1193.9	1.382	87.0
17	44.87	141.31	0.3175	1196.6	1.372	87.6
18	44.97	140.91	0.3192	1199.3	1.363	88.8
19	27.44	197.21	0.1391	824.5	3.819	134.8
20	13.05	229.99	0.0568	537.1	8.545	91.2

Tab. 2. Zapis z programu Fragment2000 Version 3.0.0. - „Fragment Numbers by Wgt Grp vs. Zone”.

	Weight Class (gm)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lower Weight	0.032	0.100	0.250	0.400	0.600	0.800	1.000	1.300	2.000
Upper Weight	0.100	0.250	0.400	0.600	0.800	1.000	1.300	2.000	>2.000
Average Weight	0.062	0.167	0.320	0.494	0.695	0.896	1.143	1.621	3.000
Total Number	171.19	194.39	118.08	109.38	80.15	62.63	73.04	115.10	977.51
Ave Velocity [m/sec]	1106.3	1102.6	1098.7	1095.2	1091.8	1088.8	1085.3	1079.5	931.7

Tab. 3. Zapis z programu Fragment2000 Version 3.0.0. - „Fragment Numbers by Polar Zone”.

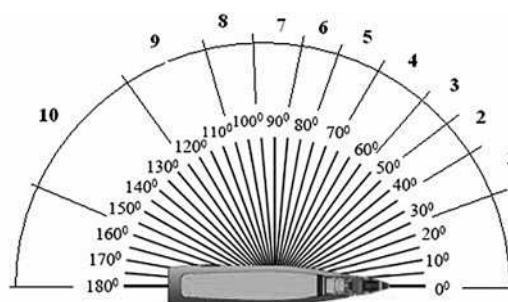
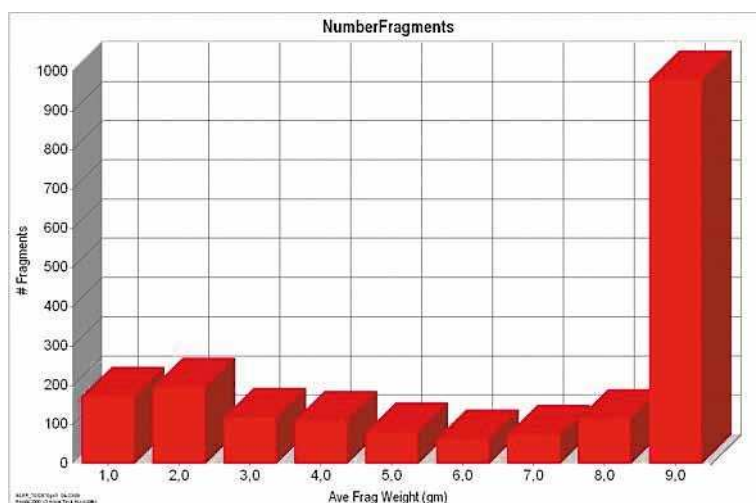
Polar Zone [deg]	Number of Fragments								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
27.5 ÷ 47.5	1.542	1.751	1.064	0.985	0.722	0.564	0.658	1.037	8.806
47.5 ÷ 57.5	4.284	4.865	2.955	2.737	2.006	1.567	1.828	2.881	24.462
57.5 ÷ 67.5	22.107	25.101	15.248	14.125	10.351	8.088	9.432	14.864	126.226
67.5 ÷ 77.5	9.254	10.508	6.383	5.913	4.333	3.386	3.948	6.222	52.839
77.5 ÷ 87.5	12.681	14.399	8.747	8.103	5.938	4.640	5.411	8.527	72.409
87.5 ÷ 97.5	35.302	40.085	24.349	22.556	16.529	12.916	15.062	23.736	201.57
97.5 ÷ 107.5	58.265	66.159	40.187	37.228	27.281	21.317	24.859	39.176	332.688
107.5 ÷ 122.5	12.167	13.816	8.392	7.774	5.697	4.451	5.191	8.181	69.473
122.5 ÷ 157.5	9.939	11.286	6.855	6.351	4.654	3.636	4.241	6.683	56.753

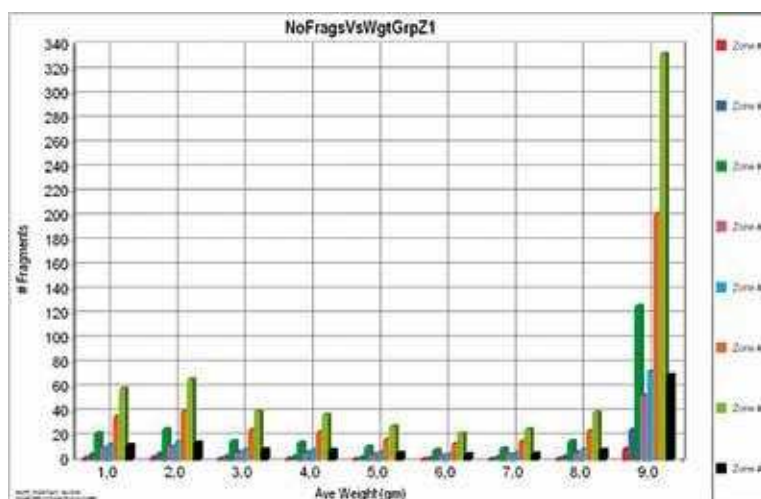
Tabele 1 ÷ 3 powyżej przedstawiają dane opisujące parametry poszczególnych sekcji głowicy podczas fragmentacji jak również ilość i rozkład odłamków, ich przedział masowy oraz średnią prędkość.

Tab. 4. Zapis z programu Fragment2000 Version 3.0.0. – podsumowanie wyników z tab. 1 ÷ 3.

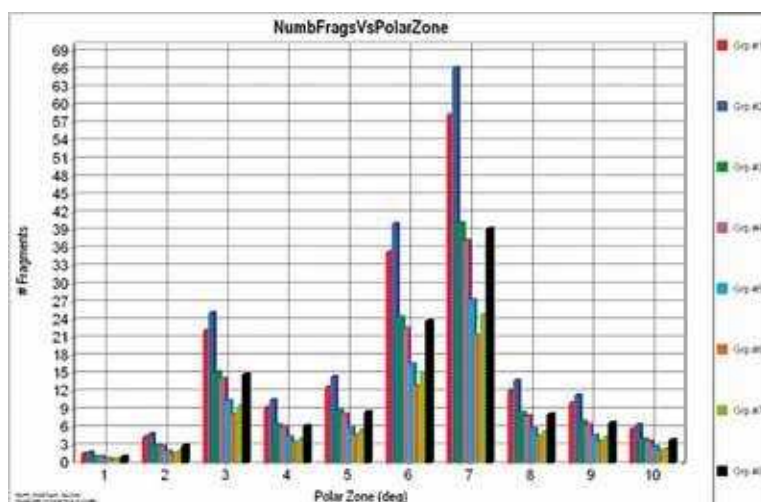
Charge Weight:	726.957 gm
Metal Weight:	3452.910 gm (HEI Cavity Only)
Charge Weight / Metal Weight:	0.2105
Number of Fragments:	1901.5
Average Fragment Weight:	1.8141 gm
Fragment Velocity-Sectional:	1011.5 m/sec
Fragment Velocity-Total:	997.7 m/sec

4.1.1. Przykładowe wykresy

**Rys. 5.** Rozmieszczenie kątów fragmentacji głowicy bojowej oraz umowne oznaczenie stref rozlotu odłamków.**Rys. 6.** Ilość odłamków w poszczególnych grupach masowych.



Rys. 7. Rozkład odłamków z poszczególnych grup masowych w strefach kątowych.



Rys. 8. Rozkład odłamków z poszczególnych stref kątowych w grupach masowych.

4.2. Wyniki otrzymywane przy pomocy modułu *Penet2000BAL6* i *Penet2000Lambert*

Tabele 5 i 6 opisują parametry penetratora oraz wielkości przebijałości płyt pancernych i aluminiowych w zależności odległości od celu, prędkości uderzenia w cel i kąta padania.

W tab. 7 przy pomocy parametru V50 „Penetration Ballistic Limit (PBL)” wyznaczone są prędkość uderzenia konieczne do przebicia celu o danej grubości.

Tab. 5. Zapis z modułu Penet2000Lambert Version 3.0.0. - „Penetrator Parameters”.

Weight:	1.191 kg
Effective Length:	47.805 mm
Diameter:	63.500 mm
Diameter Form Factor:	1.000

Tab. 6. Zapis z modułu Penet2000Lambert Version 3.0.0. - „Target Penetration”.

Target Parameters:		Target Penetration [mm]							
Slant Range [m]	Striking Velocity [m/sec]	- Obliquity Angle [deg.]:							
		0.		30.		45.		60.	
		- Target Material:							
		RHA	ALUM	RHA	ALUM	RHA	ALUM	RHA	ALUM
0.	52.	2.65	6.10	2.38	5.48	2.04	4.71	1.57	3.63
100.	323.	17.07	41.39	15.32	37.15	13.16	31.91	10.15	24.61
200.	492.	26.61	66.77	23.89	59.94	20.52	51.49	15.82	39.70
300.	646.	35.69	92.54	32.04	83.08	27.52	71.36	21.22	55.02
400.	725.	40.51	106.89	36.37	95.96	31.24	82.42	24.09	63.56
500.	720.	40.21	105.98	36.10	95.14	31.01	81.72	23.91	63.01
600.	708.	39.47	103.74	35.43	93.13	30.43	79.99	23.47	61.68
700.	696.	38.73	101.53	34.77	91.15	29.87	78.29	23.03	60.37
800.	684.	38.00	99.36	34.12	89.20	29.30	76.62	22.60	59.08
900.	672.	37.28	97.23	33.47	87.29	28.75	74.97	22.17	57.81
1000.	660.	36.57	95.13	32.83	85.40	28.20	73.35	21.75	56.56
1100.	649.	35.87	93.06	32.20	83.55	27.66	71.76	21.33	55.34
1200.	637.	35.18	91.03	31.58	81.72	27.12	70.19	20.92	54.13
1300.	626.	34.49	89.03	30.96	79.93	26.59	68.65	20.51	52.94
1400.	615.	33.81	87.06	30.35	78.16	26.07	67.14	20.10	51.77
1500.	603.	33.14	85.13	29.75	76.42	25.55	65.64	19.70	50.62
1600.	592.	32.48	83.23	29.16	74.72	25.04	64.18	19.31	49.49
1700.	581.	31.82	81.36	28.57	73.04	24.54	62.74	18.92	48.38
1800.	570.	31.18	79.52	27.99	71.39	24.04	61.32	18.54	47.28
1900.	559.	30.54	77.71	27.41	69.76	23.55	59.92	18.16	46.21
2000.	548.	29.87	75.82	26.81	68.07	23.03	58.47	17.76	45.08

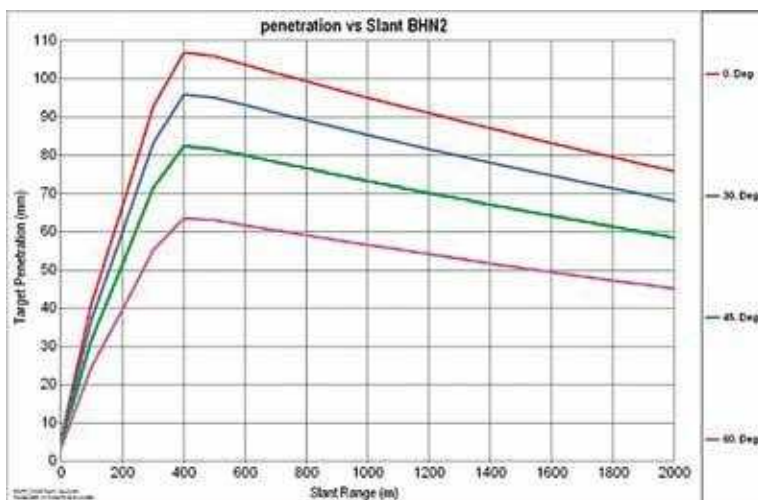
Tab. 7. Zapis z modułu Penet2000Lambert Version 3.0.0. - „V50 Velocity”.

Target Parameters:		V50 Velocity [m/sec]							
Target Thickness [mm]		- Obliquity Angle [deg.]:							
		0.		30.		45.		60.	
		- Target Material:							
		RHA	ALUM	RHA	ALUM	RHA	ALUM	RHA	ALUM
25.00		464.3	203.1	513.5	224.7	591.3	258.7	749.5	327.9
50.00		874.9	382.8	962.0	420.9	1097.3	480.1	1365.2	597.3
75.00		1241.4	543.1	1357.9	594.1	1536.7	672.3	1883.6	824.1
100.00		1571.2	687.4	1711.1	748.6	1923.7	841.6	2330.0	1019.4
125.00		1870.6	818.4	2029.5	887.9	2269.2	992.8	2722.4	1191.0
150.00		2144.5	938.2	2319.1	1014.6	2581.3	1129.3	3073.5	1344.6

4.2.1. Przykładowe wykresy



Rys. 9. Przebijalność płyty stalowej w funkcji odległości od celu i kąta uderzenia w cel.



Rys. 10. Przebijalność płyty aluminiowej w funkcji odległości od celu i kąta uderzenia w cel.

4.3. Wyniki otrzymywane przy pomocy modułu *JetSuite2000*

W tabelach 8 i 9 przedstawione są dane opisujące parametry strumienia kumulacyjnego i jego rdzenia.

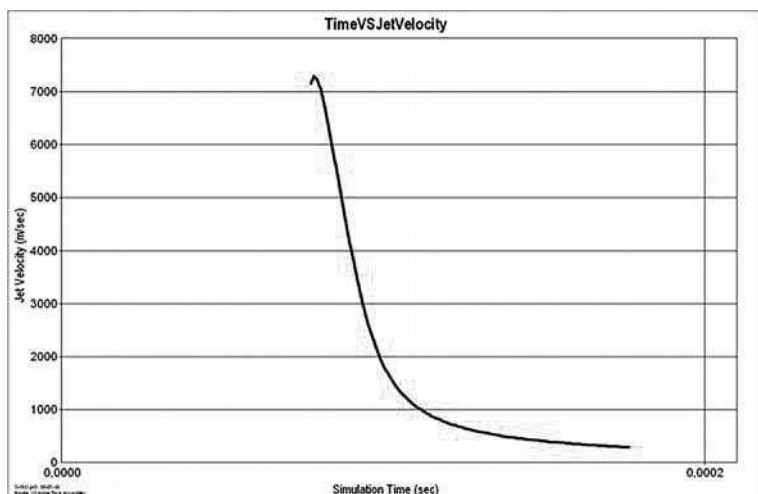
Tab. 8. Zapis z modułu *JetSuite2000*.

Time [sec]	Jet Data			Slug Data		
	Speed [m/sec]	Radius [cm]	Mass [gm]	Speed [m/sec]	Radius [cm]	Mass [gm]
0.000001	7295.1	0.146	0.170	620.3	0.370	1.123
0.000002	7235.0	0.165	0.229	566.0	0.408	1.428
0.000003	7052.1	0.182	0.279	513.9	0.442	1.679
0.000004	6796.0	0.196	0.324	463.5	0.471	1.891
0.000005	6497.8	0.210	0.361	414.2	0.497	2.042
0.000006	6176.7	0.224	0.393	365.6	0.518	2.156
0.000007	5843.8	0.236	0.421	317.1	0.537	2.214
0.000008	5505.6	0.249	0.446	268.3	0.551	2.241
0.000009	5166.5	0.263	0.468	218.7	0.563	2.220
0.000010	4829.5	0.276	0.489	168.2	0.572	2.176

Tab. 9. Zapis z modułu *JetSuite2000*.

Time [sec]	Mach No.	Jet Status	Jet Speed [m/sec]
0.000001	0.712	COHERENT	7295.1
0.000002	0.707	COHERENT	7235.0
0.000003	0.692	COHERENT	7052.1
0.000004	0.671	COHERENT	6796.0
0.000005	0.646	COHERENT	6497.8
0.000006	0.618	COHERENT	6176.7
0.000007	0.588	COHERENT	5843.8
0.000008	0.557	COHERENT	5505.6
0.000009	0.526	COHERENT	5166.5
0.000010	0.494	COHERENT	4829.5
0.000011	0.462	COHERENT	4497.9
0.000012	0.431	COHERENT	4175.2
0.000013	0.401	COHERENT	3864.5
0.000014	0.372	COHERENT	3569.1
0.000015	0.345	COHERENT	3291.6
0.000016	0.320	COHERENT	3033.8
0.000017	0.297	COHERENT	2796.8
0.000018	0.276	COHERENT	2580.8
0.000019	0.257	COHERENT	2385.4
0.000020	0.240	COHERENT	2209.5

4.3.1. Przykładowy wykres



Rys. 11. Prędkość tworzenia się strumienia kumulacyjnego w funkcji czasu.

Poniżej przedstawione są tabele 10÷12 z wynikami uzyskanymi w module JetSuite2000 opisującymi parametry umownych cząstek elementarnych strumienia kumulacyjnego oraz ich udział w tworzenie krateru.

Tab. 10. Zapis z modułu JetSuite2000 – „Particle Data” – dla Standoff = 11.588 cm, 2.25 CD.

Part. No.	Part. Length [cm]	Cumulative Length [cm]	Front Velocity [m/sec]	Back Velocity [m/sec]	Off-Axis Vel. (Y) [m/sec]	Off-Axis Vel. (Z) [m/sec]	Time At Charge Base [sec]	Particle Energy [kilojoule]	Cumulative Energy [kilojoule]
1	0.5172	0.5172	7295.0697	7295.0697	0.0000	0.0000	0.0001	4.5192	4.5192
2	0.3927	0.9099	7295.0697	7098.6951	1.0078	1.0078	0.0001	7.3666	11.8857
3	0.3257	1.2356	7098.6951	6951.6718	3.5705	3.5705	0.0001	3.7537	15.6395
4	0.3343	1.5699	6951.6718	6812.1454	5.7811	5.7811	0.0001	3.2730	18.9124
5	0.3465	1.9164	6812.1454	6678.0601	8.2322	8.2322	0.0001	2.8394	21.7518
6	0.3588	2.2753	6678.0601	6549.1179	10.5726	10.5726	0.0001	2.8613	24.6131
7	0.3732	2.6484	6549.1179	6424.3689	12.9101	12.9101	0.0001	2.4642	27.0772
8	0.3888	3.0372	6424.3689	6303.3087	15.2531	15.2531	0.0001	2.4505	29.5278
9	0.4058	3.4431	6303.3087	6185.4854	17.5929	17.5929	0.0001	2.4300	31.9577
10	0.4233	3.8664	6185.4854	6070.7957	19.9364	19.9364	0.0001	2.2380	34.1957

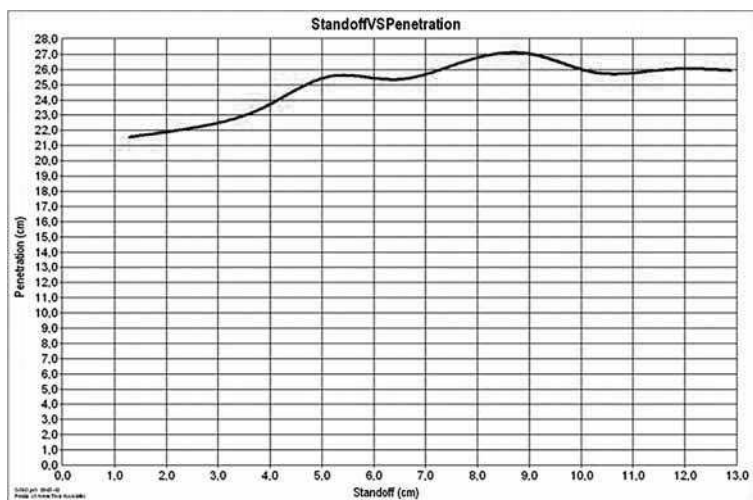
Tab. 11. Zapis z modułu JetSuite2000 – „Successful Penetration Results” – dla Standoff = 11.588 cm, 2.25 CD.

Part. No.	Tgt. No.	Pen. Start Time [sec]	Pen. Finish Time [sec]	Part. Pen. [cm]	Target Pen. [cm]	Total Pen. [cm]	Hole Rad. (Natural) [cm]	Hole Rad. (Smoothed) [cm]	Hole Disp.(Y) [cm]	Hole Disp.(Z) [cm]
1	1	99.256	0.000	0.000	1.461	1.461	0.808	0.000	0.285	0.285
2	1	101.967	0.000	0.000	2.598	2.598	0.586	0.000	0.002	0.002
3	1	104.123	0.000	0.000	3.529	3.529	0.463	0.000	0.007	0.007
4	1	105.930	0.000	0.000	4.478	4.478	0.428	0.000	0.013	0.013
5	1	107.814	0.000	0.000	5.457	5.457	0.395	0.000	0.022	0.022

Tab. 12. Zapis z modułu JetSuite2000 – „Data On Particles That Failed” – dla Standoff = 11.588 cm, 2.25 CD.

Particle No.	Hole Of Failure	Depth Of Failure [cm]	Time Of Failure [sec]	Particle Radius [cm]	Off-Axis Disp.(Y) [cm]	Off-Axis Disp.(Z) [cm]	Note
21	13	14.809	0.000	0.092	0.247	0.247	HIT SIDE
22	10	10.868	0.000	0.100	0.227	0.227	HIT SIDE
23	9	9.705	0.000	0.098	0.231	0.231	HIT SIDE
24	7	7.506	0.000	0.105	0.216	0.216	HIT SIDE
25	7	6.464	0.000	0.108	0.219	0.219	HIT SIDE

4.3.2. Przykładowy wykres

**Rys. 12.** Głębokość krateru w funkcji odległości ogniskowej.

5. Podsumowanie

Opisany program jest bardzo pomocnym narzędziem dla konstruktora. Umożliwia na etapie analiz wstępnych określenie parametrów taktyczno-technicznych projektowanych wyrobów oraz weryfikację konstrukcji przy zadanych założeniach.

W znacznym stopniu ogranicza ilość prób wymaganych w procesie projektowania nowych wyrobów.

Literatura

- [1] Dokumentacja techniczna programu PRODAŚ Version 3.4.1.