

WYRAŻENIA ANALITYCZNE I TABLICE MOMENTÓW BEZWŁADNOŚCI

i

MOMENTÓW WYTRZYMAŁOŚCI

PRZECIEĆ KSZTAŁTU PODWÓJNEGO T

PRZEZ

Maurycego Hulewicza

Inżyniera, b. ucznia szkoły dróg i mostów w Paryżu, naczelnika wydziału budowl metalicznych
przy drodze żelaznej „Grande Ceinture de Paris”.

(Ciąg dalszy.)

b) Momenty wytrzymałości kątowników.

Wartość momentu wytrzymałości kątowników podaną jest we wzorze (11), po wykonaniu wskazanych działań wzór ten przybierze kształt następujący:

$$m_c = 1\,000\,000 [12(a'c_1 + a''c_2) h - 12(a'c_1^2 + a''c_2^2) + \\ + \frac{4}{h} (a'c_1^3 + a''c_2^3)]. \quad \dots \quad (16)$$

Jeżeli w powyższem wyrażeniu nadamy wymiarom $a'c_1$ i $a''c_2$ wartości odpowiadające kątownikom najczęściej używanym a które przyjęliśmy w pierwszej części naszej pracy, wtedy otrzymamy szereg wyrażeń momentów m_c w funkcji wysokości h . Wyrażenia te podajemy w tablicy XI. Przyjęliśmy iż kątowniki o ramionach nierównych są w podobny sposób przytwierdzone jak przy odnośnych obliczeniach w pierwszej części tej pracy, to jest iż dłuższe ich ramiona są poziome i prostopadłe do płaszczyzny zgięcia, która według przypuszczenia jest pionową.

Tablica XI. Momenty wytrzymałości kątowników.

Wymiary kątowników	Wyrażenia m_c	Ciążar metra bieżą- cego kątownika we- dług albumów żelaz w kilogramach.
$\frac{70 \cdot 70}{7}$	$22344 h + \frac{19,381}{h} - 897$	7,25
$\frac{70 \cdot 70}{9}$	$2296 h + \frac{25,052}{h} - 1177$	9,25
$\frac{80 \cdot 60}{7}$	$22344 h + \frac{12,296}{h} - 691$	7,25
$\frac{80 \cdot 60}{10}$	$31200 h + \frac{17,840}{h} - 1032$	10,05
$\frac{80 \cdot 60}{11}$	$34056 h + \frac{19,743}{h} - 1151$	11,00
$\frac{90 \cdot 70}{10}$	$36000 h + \frac{28,080}{h} - 1368$	11,50
$\frac{90 \cdot 70}{12}$	$42624 h + \frac{34,006}{h} - 1681$	13,65
$\frac{100 \cdot 80}{9}$	$36936 h + \frac{37,395}{h} - 1559$	11,85
$\frac{100 \cdot 80}{12}$	$48384 h + \frac{50,368}{h} - 2147$	14,00
$\frac{80 \cdot 80}{8}$	$29184 h + \frac{33,063}{h} - 1339$	9,25
$\frac{80 \cdot 80}{10}$	$36000 h + \frac{41,520}{h} - 1704$	11,70
$\frac{80 \cdot 80}{11}$	$39336 h + \frac{45,771}{h} - 1891$	12,60
$\frac{90 \cdot 90}{10}$	$40800 h + \frac{58,960}{h} - 2136$	13,20
$\frac{90 \cdot 90}{12}$	$48384 h + \frac{71,062}{h} - 2602$	15,45
$\frac{90 \cdot 90}{15}$	$59400 h + \frac{89,505}{h} - 3321$	18,85
$\frac{100 \cdot 100}{12}$	$54144 h + \frac{97,217}{h} - 3184$	17,20
$\frac{100 \cdot 100}{15}$	$66600 h + \frac{122,295}{h} - 4059$	21,90
$\frac{100 \cdot 100}{18}$	$78624 h + \frac{147,826}{h} - 4958$	25,75

Tablica XI. (ciąg dalszy).

Wymiary kątowników	Wyrażenia m_c	Ciężar metra bieżą- cego kątownika we- dług albumu żelaz w kilogramach.
$\frac{125 \cdot 125}{13}$	$73944 h + \frac{205,094}{h} - 5329$	23,30
$\frac{125 \cdot 125}{15}$	$84600 h + \frac{237,345}{h} - 6219$	26,50
$\frac{125 \cdot 125}{18}$	$100224 h + \frac{286,242}{h} - 7582$	31,20
$\frac{150 \cdot 150}{18}$	$121824 h + \frac{492,195}{h} - 10746$	39,75
$\frac{150 \cdot 150}{20}$	$134400 h + \frac{548,320}{h} - 12048$	43,75
$\frac{150 \cdot 150}{22}$	$146784 h + \frac{604,904}{h} - 13367$	47,75

Nadając wysokości h wartości zawarte w granicach powyżej wskazanych, otrzymamy liczebne wartości momentów wytrzymałości, odpowiadające tymże wysokościami. Wypadki wykonanych działań zamieściliśmy w tablicy XII. Wymiary kątowników podobnie jak w poprzednim przypadku zastosowane zostały do wysokości h w ten sposób, aby utworzyć przecięcie belki o ile można najbardziej odpowiadające wymaganiom praktyki. Kątowniki o ramionach nierównych używane są zwykle do budowy poprzecznic i podłużników pod szyny w tych przypadkach gdy niema dostatecznej wysokości, momenty wytrzymałości takich kątowników obliczone zostały tylko dla wysokości $2h$, zawartych pomiędzy $0,20^m$ i $1,00^m$ i zwiększających się stopniowo o $0,05^m$; — dla większych wysokości używa się zwykle w praktyce kątowników równoramiennych.

Tablica XII. Momenty wytrzymałości kątowników.

Wysoko- ści $2h$	Wyrażenia m_c skoro wymiary kątowników są następujące:					
	$\frac{70 \cdot 70}{7}$	$\frac{70 \cdot 70}{9}$	$\frac{80 \cdot 60}{7}$	$\frac{80 \cdot 60}{10}$	$\frac{80 \cdot 60}{11}$	$\frac{90 \cdot 70}{10}$
	7	9	7	10	11	10
0,20	1 531	1 903	1 666	2 266	2 452	2 513
0,25	2 050	2 560	2 201	3 011	3 264	3 356
0,30	2 584	3 234	2 742	3 767	4 089	4 219
0,35	3 124	3 918	3 289	4 530	4 922	5 092
0,40	3 669	4 607	3 839	5 297	5 759	5 972
0,45	4 217	5 301	4 391	6 067	6 599	6 857
0,50	4 766	4 997	4 944	6 839	7 442	7 744

Tablica XII (ciąg dalszy).

Wysoko- ści $2h$	Wyrażenia m_c skoro wymiary kątowników są następujące:					
	70 . 70	70 . 70	80 . 60	80 . 60	80 . 60	90 . 70
	7	9	7	10	11	10
0,55	5 318	6 696	5 498	7 613	8 286	8 634
0,60	5 871	7 395	6 053	8 387	9 132	9 526
0,65	6 424	8 096	6 609	9 163	9 978	10 418
0,70	6 979	8 798	7 165	9 939	10 825	11 312
0,75	7 534	9 501	7 691	10 716	11 673	12 207
0,80	8 089	10 204	8 277	11 493	12 521	13 102
0,85	8 645	10 908	8 834	12 270	13 369	13 998
0,90	9 201	11 612	9 391	13 048	14 218	14 894
0,95	9 757	12 316	9 948	13 826	15 067	15 791
1,00	10 314	13 021	10 506	14 604	15 916	16 688
$2h$	90 . 70	100 . 80	100 . 80	80 . 80	80 . 80	80 . 80
	12	9	12	8	10	11
0,20	2 921	2 509	3 195	1 910	2 311	2 500
0,25	3 919	3 357	4 304	2 573	3 128	3 492
0,30	4 939	4 231	5 448	3 259	3 973	4 315
0,35	5 972	5 118	6 608	3 957	4 834	5 254
0,40	7 014	6 015	7 782	4 663	5 704	6 205
0,45	8 060	6 918	8 963	5 374	6 581	7 163
0,50	9 111	7 824	10 150	6 089	7 462	8 126
0,55	10 164	8 734	11 342	6 807	8 347	9 093
0,60	11 220	9 646	12 537	7 526	9 234	10 062
0,65	12 276	10 560	13 733	8 247	10 124	11 034
0,70	13 335	11 475	14 931	8 970	11 015	12 007
0,75	14 394	12 392	16 131	9 693	11 907	12 982
0,80	15 454	13 309	17 332	10 417	12 800	13 958
0,85	16 514	14 227	18 535	11 142	13 694	14 934
0,90	17 575	15 145	19 738	11 867	14 588	15 912
0,95	18 637	16 064	20 941	12 593	15 483	16 890
1,00	19 699	16 984	22 146	13 319	16 379	17 868
$2h$	90.90	90.90	90.90	100.100	100.100	100.100
	10	12	15	12	15	18
0,30	4 377	5 129	6 186	5 586	6 746	7 821
0,35	5 341	6 271	7 585	6 847	8 295	9 646
0,40	6 319	7 430	9 007	8 131	9 872	11 506
0,45	7 306	8 600	10 442	9 430	11 469	13 389

Tablica XII (ciąg dalszy).

Wysoko- ści 2h	Wyrażenia m_c skoro wymiary kątowników są następujące:					
	90.90	90.90	90.90	100.100	100.100	100.100
	10	12	15	12	15	18
0,50	8 300	9 778	11 887	10 741	13 080	15 289
0,55	9 298	10 962	13 339	12 059	14 701	17 191
0,60	10 300	12 150	14 797	13 383	16 328	19 122
0,65	11 305	13 341	16 259	14 712	17 965	20 050
0,70	12 312	14 535	17 724	16 044	19 600	22 983
0,75	13 321	15 732	19 193	17 379	21 242	24 920
0,80	14 331	16 929	20 663	18 717	22 887	26 861
0,85	15 962	18 129	22 134	20 056	24 534	28 705
0,90	16 355	19 329	23 606	21 397	26 183	30 751
0,95	17 368	20 530	25 082	22 739	27 834	32 700
1,00	18 382	21 732	26 558	24 082	29 486	34 650
1,10	20 411	24 138	29 511	26 772	32 793	38 554
1,20	22 442	26 547	32 468	29 464	36 104	42 463
1,30	24 475	28 957	35 426	32 159	39 420	46 375
1,40	26 508	31 368	38 386	34 856	42 736	50 290
1,50	28 542	33 781	41 448	37 554	46 054	54 207
1,60	30 582	36 194	44 311	40 253	49 374	58 126
1,70	32 613	38 608	47 274	42 953	52 695	62 046
1,80	34 549	41 022	50 237	45 654	56 017	65 968
1,90	36 686	43 438	53 203	48 355	59 340	69 890
2,00	38 723	45 853	56 168	51 057	62 663	73 814
2,10	40 760	48 268	59 134	53 760	65 987	77 738
2,20	42 798	50 685	62 100	56 463	69 312	81 663
2,30	44 835	53 101	65 067	59 166	72 637	85 588
2,40	46 873	55 518	68 043	61 870	75 963	89 514
2,50	48 911	57 935	71 001	64 574	79 289	93 540
2,60	50 909	60 352	73 968	67 278	82 615	97 367
2,70	52 987	62 767	76 936	69 982	85 941	101 304
2,80	55 026	65 186	79 902	72 687	89 268	105 221
2,90	57 064	67 604	82 870	75 392	92 596	109 149
3,00	59 103	70 021	85 838	78 097	95 922	113 077
3,10	61 142	72 439	88 807	80 802	99 250	117 005
3,20	63 181	74 857	91 777	83 507	102 577	120 933
3,30	65 220	77 275	94 743	86 212	105 905	124 861
3,40	67 258	79 693	97 711	88 918	109 233	128 790
3,50	69 297	82 111	100 680	91 624	112 560	132 718
3,60	71 337	84 529	103 648	94 329	115 887	136 647
3,70	73 376	86 947	106 617	97 035	119 217	140 576
3,80	75 415	89 365	109 586	99 741	122 549	144 505
3,90	77 474	91 783	112 555	102 447	125 874	148 435

Tablica XII (ciąg dalszy).

Wysoko- ści 2 <i>h</i>	Wyrażenia <i>m_c</i> skoro wymiary kątowników są następujące:					
	90.90	90.90	90.90	100.100	100.100	100.100
	10	12	15	12	15	18
4,00	79 493	94 202	115 524	105 153	129 202	152 364
4,10	81 532	96 620	118 491	107 859	132 530	156 293
4,20	83 572	99 038	121 462	110 565	135 859	160 223
4,30	85 611	101 457	124 431	113 271	139 188	164 152
4,40	87 651	103 875	127 400	115 977	142 517	168 082
4,50	89 690	106 294	130 369	118 683	145 845	172 012
4,60	91 730	108 712	133 329	121 389	149 174	175 941
4,70	93 769	111 131	136 307	124 096	152 503	179 871
4,80	95 809	113 549	139 276	126 802	155 832	183 801
4,90	97 858	115 968	142 245	129 508	159 161	187 731
5,00	99 888	118 386	145 215	132 215	162 490	191 661
5,10	101 927	120 805	148 184	134 921	165 819	195 591
5,20	103 967	123 224	151 154	137 628	169 148	199 521
5,30	106 006	125 642	154 123	140 334	172 477	203 451
5,40	108 046	128 060	157 093	143 041	175 806	207 381
5,50	110 085	130 479	160 062	146 747	179 135	211 311
5,60	112 125	132 899	163 031	148 454	182 377	215 242
5,70	114 165	135 317	166 000	151 161	185 794	219 172
5,80	116 204	137 736	168 970	153 867	189 123	223 102
5,90	118 244	140 155	171 939	156 574	192 452	227 033
6,00	120 284	142 574	174 909	159 280	195 782	230 963
6,10	122 323	144 992	177 878	161 987	199 111	234 883
6,20	124 363	147 411	180 848	164 694	202 440	238 824
6,30	126 403	149 830	183 817	167 400	205 770	242 754
6,40	128 442	152 249	186 787	170 107	209 099	246 685
6,50	130 482	154 668	189 756	172 714	212 428	250 615
6,60	132 522	157 087	192 726	175 521	215 758	254 546
6,70	134 561	159 506	195 695	178 227	219 087	258 476
6,80	136 601	161 924	198 665	180 934	222 417	262 407
6,90	138 641	164 343	202 635	183 641	225 746	266 337
	125 . 125	125 . 125	125 . 125	150 . 150	150 . 150	150 . 150
	13	15	18	18	20	22
3,00	105 724	120 906	142 945	172 318	189 917	207 212
3,10	109 416	125 128	147 950	178 399	196 526	214 538
3,20	113 109	129 351	152 955	184 480	203 335	221 865
3,30	116 803	133 575	157 961	190 562	210 544	229 193
3,40	120 476	137 799	162 967	196 644	216 754	236 522

Tablica XII (ciąg dalszy).

Wysoko- ści $2h$	Wyrażenia m_c skoro wymiary kątowników są następujące:					
	125. 125	125. 125	125. 125	150. 150	150. 150	150. 150
	13	15	18	18	20	22
3,50	124 190	142 023	167 974	202 727	223 485	293 851
3,60	127 884	146 247	172 980	208 811	230 177	251 180
3,70	131 577	150 473	177 987	214 894	236 888	258 510
3,80	135 273	154 698	182 994	220 979	243 600	265 841
3,90	138 967	158 924	188 002	227 063	250 313	273 172
4,00	142 661	163 149	193 009	233 148	257 026	280 503
4,10	146 356	167 375	198 017	239 233	263 739	287 835
4,20	150 051	171 601	203 025	245 319	270 453	295 167
4,30	153 746	175 828	208 033	251 404	277 167	302 500
4,40	157 441	180 054	213 041	257 490	283 881	309 833
4,50	161 136	184 281	218 049	263 577	290 596	317 166
4,60	164 831	188 507	223 058	269 663	297 310	324 499
4,70	168 527	192 735	228 066	275 740	304 025	331 833
4,80	172 222	196 961	233 075	281 837	310 740	339 169
4,90	175 918	201 189	238 084	287 924	317 456	346 501
5,00	179 614	205 415	243 092	294 011	324 171	353 835
5,10	183 308	209 643	248 101	300 098	330 887	361 169
5,20	187 004	213 870	253 110	306 186	337 603	369 504
5,30	190 701	218 098	258 120	312 273	344 319	376 839
5,40	194 396	222 326	263 129	318 361	350 955	384 174
5,50	198 092	226 554	268 138	324 449	357 752	390 509
5,60	201 787	230 781	273 147	330 537	364 468	397 844
5,70	205 483	235 009	278 157	336 625	371 184	405 179
5,80	209 180	239 237	283 166	342 713	377 901	412 515
5,90	212 876	243 465	288 176	348 802	384 618	419 851
6,00	216 571	247 693	293 185	354 890	391 335	427 187
6,10	220 267	251 921	298 195	360 978	398 052	434 522
6,20	223 963	256 149	303 205	367 067	404 769	441 858
6,30	227 660	260 377	308 214	373 155	411 486	449 195
6,40	231 363	264 606	313 224	379 255	418 203	456 531
6,50	235 052	268 835	318 234	385 333	424 920	463 866
6,60	238 748	273 063	323 244	391 422	431 638	471 203
6,70	242 444	277 391	328 254	397 511	438 356	478 540
6,80	246 141	281 520	333 264	403 600	446 073	485 877
6,90	249 838	285 749	338 274	409 689	451 791	493 213

Tablica XII (ciąg dalszy).

Wysoko- ści 2h	Wyrażenia m _c skoro wymiary kątowników są następujące:						
	100.100	100.100	100.100	125.125	125.125	125.125	
	12	15	18	13	15	18	
7,00	186 348	229 076	270 268	253 534	289 977	343 284	
7,10	189 055	232 405	274 199	257 230	294 206	348 294	
7,20	191 761	235 735	278 129	260 926	298 434	353 304	
7,30	194 468	239 065	282 060	264 623	302 663	358 314	
7,40	197 175	242 394	285 990	268 319	306 892	363 324	
7,50	199 882	245 724	289 921	272 015	311 121	368 334	
7,60	202 589	249 053	293 852	275 712	315 349	373 344	
7,70	205 296	252 388	297 783	279 408	319 578	378 355	
7,80	208 002	255 712	301 713	283 105	323 807	383 365	
7,90	210 709	259 042	305 644	286 801	328 036	388 375	
8,00	213 416	262 371	309 575	290 498	332 265	393 385	
8,10	216 123	265 701	313 506	294 194	336 494	398 396	
8,20	218 830	269 030	317 436	297 891	340 723	403 406	
8,30	221 537	272 360	321 367	301 558	344 952	408 416	
8,40	224 244	275 690	325 298	305 285	349 181	413 427	
8,50	226 951	279 020	329 229	308 981	353 410	418 437	
8,60	229 658	282 349	333 159	312 678	357 639	423 448	
8,70	232 365	285 679	337 090	316 374	361 868	428 458	
8,80	235 072	289 009	341 021	320 071	366 097	433 469	
8,90	237 779	292 338	344 952	323 768	360 327	438 479	
9,00	240 468	295 686	348 883	327 464	374 556	443 490	
9,10	243 193	298 998	352 814	331 161	388 785	448 500	
9,20	245 900	302 327	356 744	334 858	383 014	453 511	
9,30	248 606	305 657	360 685	338 555	387 244	458 521	
9,40	251 313	308 987	364 606	342 252	391 473	463 532	
9,50	254 020	312 317	368 537	345 948	395 901	468 542	
9,60	256 727	315 646	372 468	349 645	399 931	473 553	
9,70	259 434	318 976	376 399	353 342	404 160	478 563	
9,80	262 141	322 306	380 330	357 039	408 390	483 574	
9,90	264 848	329 635	384 261	360 735	512 619	488 584	
10,00	267 555	328 965	388 192	364 432	416 848	493 595	
	125.125	125.125	125.125	Wysoko- ści 2h	125.125	125.125	125.125
	13	15	18		13	15	18
2,00	68 820	78 718	92 928	2,60	90 956	104 020	122 929
2,10	72 507	82 932	97 926	2,70	94 647	108 241	127 932
2,20	76 195	87 148	102 925	2,80	98 339	112 462	132 936
2,30	79 885	91 364	107 924	2,90	102 031	116 693	137 940
2,40	83 574	95 582	112 925				
2,50	87 265	99 800	117 827	3,00	105 724	120 906	142 945

Tablica XII (ciąg dalszy).

Wy- so- kości 2h	Wyrażenia m_c skoro wymiary kątowników są następujące:			Wy- so- kości 2h	Wyrażenia m_c skoro wymiary kątowników są następujące:		
	150.150	150.150	150.150		150.150	150.150	150.150
	18	20	22		18	20	22
7,00	415 779	458 512	500 550	8,60	513 212	565 999	617 945
7,10	421 867	465 227	507 886	8,70	519 302	572 718	625 272
7,20	427 957	471 944	515 223	8,80	525 391	579 436	632 620
7,30	434 047	478 662	522 560	8,90	531 481	586 153	639 958
7,40	440 136	485 380	529 897	9,00	537 571	592 874	647 295
7,50	446 225	492 098	537 235	9,10	543 681	599 592	654 633
7,60	452 315	498 816	544 571	9,20	549 751	606 311	661 971
7,70	458 404	505 534	551 908	9,30	555 842	613 030	669 309
7,80	464 494	512 252	559 246	9,40	561 932	619 748	676 647
7,90	470 583	518 971	566 583	9,50	568 022	626 467	683 985
8,00	476 673	525 689	573 920	9,60	574 112	633 186	691 322
8,10	482 763	532 407	581 257	9,70	580 202	639 905	698 660
8,20	488 852	539 126	588 595	9,80	586 292	646 624	705 998
8,30	494 942	545 844	595 932	9,90	592 382	653 343	713 336
8,40	501 032	552 562	603 270				
8,50	507 122	559 281	610 607	10,00	598 472	660 061	720 674

c) Momenty wytrzymałości pasów poziomych.

Po wykonaniu działań wskazanych we wzorze (12) i po uproszczeniu, ogólne wyrażenie momentów wytrzymałości pasów poziomych, przedstawia się w kształcie następującym:

$$m_s = 1\,000\,000 \left(12h + \frac{4c^2}{h+c} \right) \alpha c. \quad (16).$$

Grubość blach, które najkorzystniej jest używać na pasy belek, tak ze względu na łatwość fabrykacji, jak również i z uwagi na uproszczenie obliczeń, wynosi 0,010 m; do tych więc tylko wymiarów zastosujemy rozwinięcie ostatniego wzoru ¹⁾.

Podstawiając w wyrażeniu (16) za grubość c wartości kolejno zwiększające się o 0,010 m i zawarte w granicach przyjętych w pierwszej części tej pracy t. j. pomiędzy $c = 0,01$ m i $c = 0,09$ m, otrzymamy wyrażenia współczynników momentów wytrzymałości $\frac{m_s}{\alpha}$ w funkcji h , odpowiadające tymże wartościom

¹⁾ Posiłkując się rachunkiem interpolacyjnym, można będzie na podstawie tablic XIV i XV oznaczyć wartości momentów wytrzymałości m_s , odpowiadające wszystkim innym wartościom pośrednim wymiaru c . (Przyp. Aut.)

Tablica XIII. Momenty wytrzymałości pasów poziomych.

Grubość pasów c_s	Wyrażenia $\frac{m_s}{a}$	Ciężar metra bież $p = 2 \times 7800 \text{ ac}$ kilogramów
0,01	$120\,000 h + \frac{400}{100 h + 1}$	156,00 α
0,02	$240\,000 h + \frac{3\,200}{100 h + 2}$	312,00 α
0,03	$360\,000 h + \frac{10\,800}{100 h + 3}$	468,00 α
0,04	$480\,000 h + \frac{25\,600}{100 h + 4}$	624,00 α
0,05	$600\,000 h + \frac{50\,000}{100 h + 5}$	780,00 α
0,06	$720\,000 h + \frac{86\,400}{100 h + 6}$	936,00 α
0,07	$840\,000 h + \frac{137\,200}{100 h + 7}$	1092,00 α
0,08	$960\,000 h + \frac{204\,800}{100 h + 8}$	1248,00 α
0,09	$1\,080\,000 h + \frac{291\,600}{100 h + 9}$	1404,00 α

(d. n.)