

Téléphone : +41 21 693 24 27  
 Fax : +41 21 693 28 68  
 E-mail : [dimitrios.lignos@epfl.ch](mailto:dimitrios.lignos@epfl.ch)  
 Site web : <http://resslab.epfl.ch>  
 Address: EPFL ENAC IIC RESSLAB  
 GC B3 485, Station 18,  
 CH-1015, Lausanne

## Exercise #8: Seismic Design of Steel MRFs - Steel Columns

The steel moment-resisting frame (MRF) shown in Figure 1 has been designed in a high seismicity zone for gravity and earthquake loading. The cross sections represent the final design of the steel MRF in the North-South loading direction. Steel beams and columns have been designed with S355J2 profile (i.e.,  $E = 210GPa$ ,  $f_y = 355MPa$ ). A behaviour factor of  $q = 5$  has been adopted as part of the design process. End plate beam-to-column connections have been utilized for the seismic design. The total floor weight due to gravity loading is  $G = 5kN/m^2$  (all included). The stability coefficient is  $\theta = 0.13$  for story 1 of the steel MRF. For stories 2, 3, 4 assume that  $\theta < 0.10$ . The column can be assumed to be fixed at the base (exposed type column-base connection).

The following questions should be addressed:

1. Compute the force demands ( $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$ ) for column 1. For these computations use the shear, axial and bending force diagrams shown in Figure 2.
2. Does column 1 satisfy the design requirements for shear demand/shear resistance?
3. What is the section classification of column 1? Can it be used for the seismic design of the steel MRF?
4. Compute the buckling resistance of column 1. Check if it is adequate for the design against compression. Assume that the steel column is restrained laterally with respect to its weak axis every 0.75m.
5. Check the column resistance for the effects of lateral torsional buckling. The steel column is braced laterally only at the first-floor level ( $L = 3500mm$ ).
6. What should the flexural resistance of the column be after considering bending and axial load interaction?
7. Check the column for biaxial bending interaction. Assume that the  $M_{z,Ed} = -150kN\cdot m$  (top end) and  $M_{z,Ed} = 300kN\cdot m$  (fixed end).
8. Check the stability of the column for interaction of axial load and biaxial bending. Assume that the  $M_{z,Ed} = -150kN\cdot m$  (top end) and  $M_{z,Ed} = 300kN\cdot m$  (fixed end).
9. Is the strong column/weak beam ratio check satisfied at the first floor exterior joint? Assume that the steel beams are braced laterally to develop their full plastic moment resistance  $M_{y,pl,Rd}$ . The steel beams are not considered to be fully composite (i.e., the slab does not provide additional strength to the steel beam).

Depending on the assumptions made, the answers can vary.

The axial, shear and bending diagrams are shown in Figures 2, 3, 4, respectively.

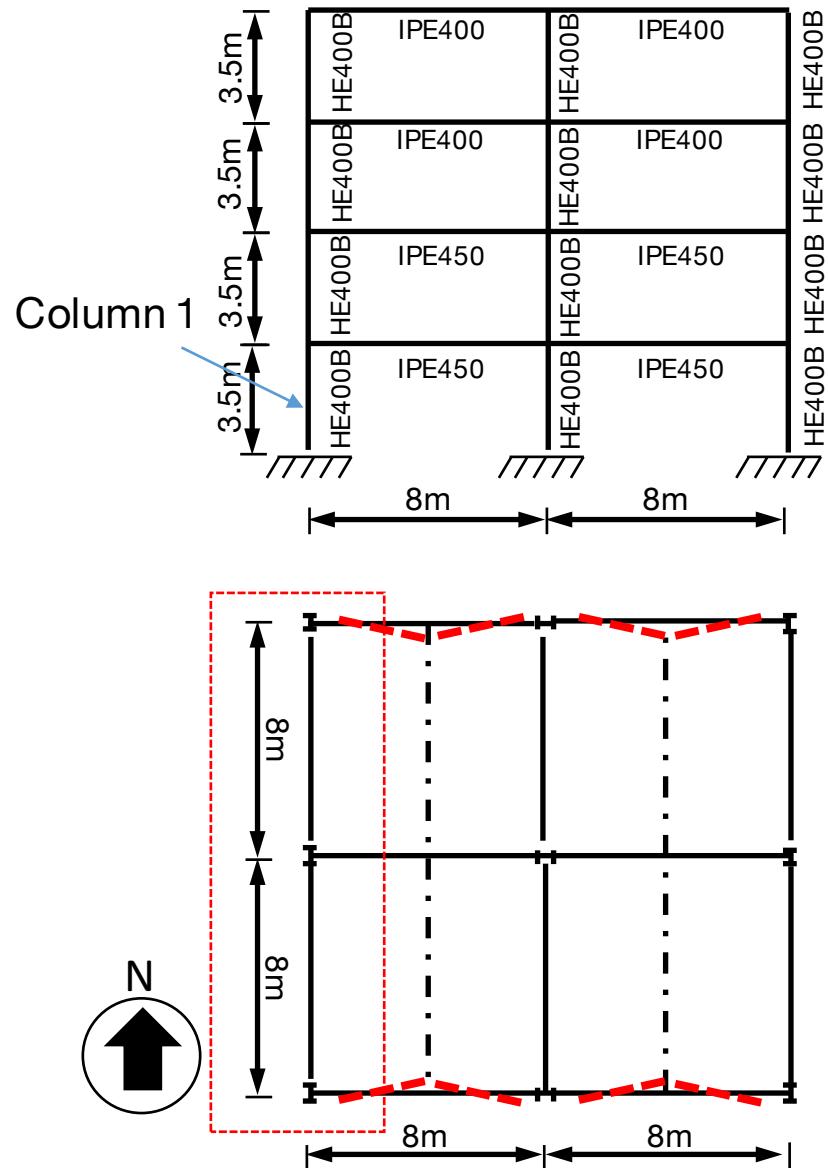


Figure 1. Final design of steel MRF

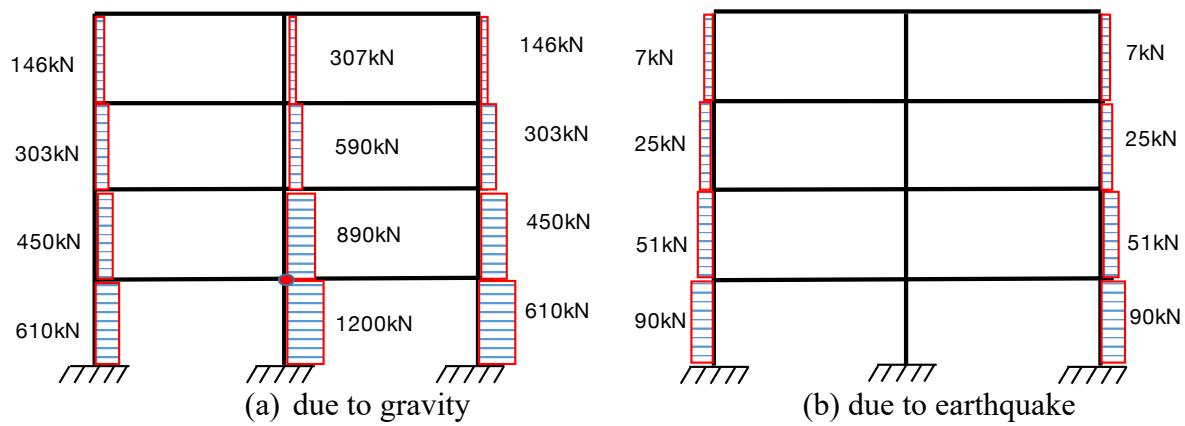


Figure 2. Axial force diagram for gravity and seismic loading

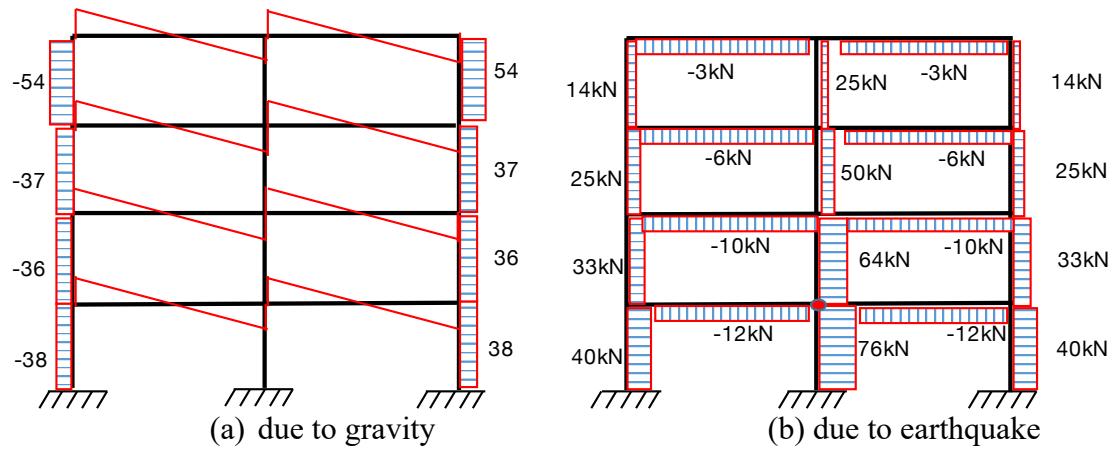


Figure 3. Shear force diagram for gravity and seismic loading

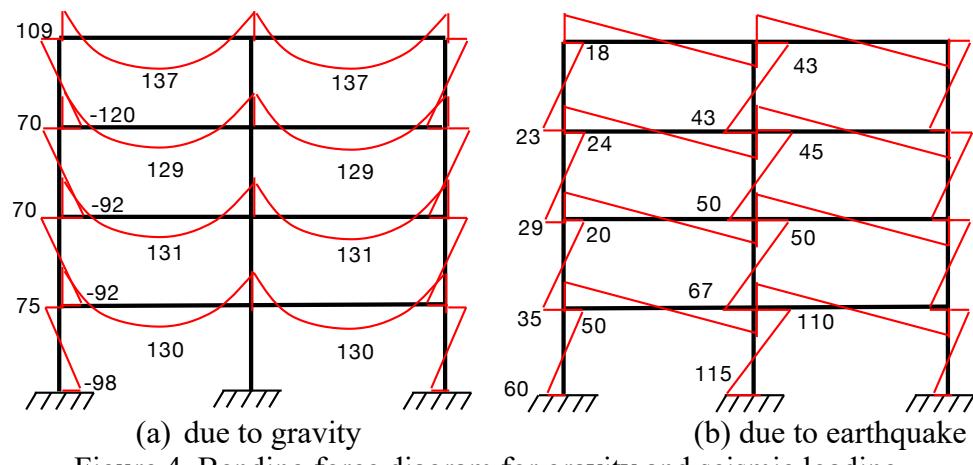
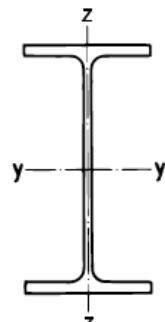


Figure 4. Bending force diagram for gravity and seismic loading



$$\begin{aligned}
 A_v &= A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \\
 A_w &= (h - t_f) \cdot t_w \quad W_{ely} = \frac{I_y}{h/2} \\
 S_y &= \frac{1}{2} W_{ply} \\
 S_z &= \frac{1}{2} W_{plz} \quad \bar{W}_y = \frac{I_y}{(h - t_f)/2} \\
 & \quad W_{elz} = \frac{I_z}{b/2}
 \end{aligned}$$

Maximale Lagerlängen /  
*Longueurs maximales en stock:*  
 $h \leq 180$  18 m  
 $h \geq 200$  24 m  
 EURONORM 19 - 57,  
 DIN 1025/5, ASTM A 6,  
 Werksnorm/*Norme d'usine*

- Das Verfahren PP nach SIA 263 ist für dieses Profil aus S355 bei reiner Biegung ( $n = 0$ ) nicht anwendbar!
- \* Auch in S355J0 oder S355J2 ab Schweizer Lager erhältlich.

- La méthode PP selon SIA 263 n'est pas applicable pour ce profilé en acier S355 en flexion simple ( $n = 0$ )!
- \* Livrable en S355J0 ou S355J2 du stock suisse.

IPE	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup>	$\bar{W}_y$ mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	K = I <sub>x</sub> mm <sup>4</sup>
80*	6,0	764	358	284	0,801	20,0	21,4	23,2	32,4	0,085	3,69	5,82	10,5	0,0067
100*	8,1	1030	508	387	1,71	34,2	36,3	39,4	40,7	0,159	5,79	9,15	12,4	0,0115
120*	10,4	1320	631	500	3,18	53,0	55,9	60,7	49,0	0,277	8,65	13,6	14,5	0,0169
140*	12,9	1640	764	626	5,41	77,3	81,3	88,3	57,4	0,449	12,3	19,2	16,5	0,0240
160*	15,8	2010	966	763	8,69	109	114	124	65,8	0,683	16,7	26,1	18,4	0,0353
180*	18,8	2390	1125	912	13,2	146	154	166	74,2	1,01	22,2	34,6	20,5	0,0472
200*	22,4	2850	1400	1070	19,4	194	203	221	82,6	1,42	28,5	44,6	22,4	0,0685
220*	26,2	3340	1588	1240	27,7	252	263	285	91,1	2,05	37,3	58,1	24,8	0,0898
240*	30,7	3910	1914	1430	38,9	324	338	367	99,7	2,84	47,3	73,9	26,9	0,127
270*	36,1	4590	2214	1710	57,9	429	446	484	112	4,20	62,2	97,0	30,2	0,157
300*	42,2	5380	2568	2050	83,6	557	578	628	125	6,04	80,5	125	33,5	0,198
330*	49,1	6260	3081	2390	117,7	713	739	804	137	7,88	98,5	154	35,5	0,276
360*	57,1	7270	3514	2780	162,7	904	937	1020	150	10,4	123	191	37,9	0,371
400*	66,3	8450	4269	3320	231,3	1160	1200	1310	165	13,2	146	229	39,5	0,504
450*	77,6	9880	5085	4090	337,4	1500	1550	1700	185	16,8	176	276	41,2	0,661
500*	90,7	11600	5987	4940	482,0	1930	1990	2190	204	21,4	214	336	43,1	0,886
550	106	13400	7234	5910	671,2	2440	2520	2790	223	26,7	254	401	44,5	1,22
600	122	15600	8378	6970	920,8	3070	3170	3510	243	33,9	308	486	46,6	1,65
750 x 137		17500	9290	8460	1599	4250	4340	4860	303	51,7	393	614	54,4	1,36
750 x 147		18700	10540	9720	1661	4410	4510	5110	298	52,9	399	631	53,1	1,57
750 x 173		22100	11640	10700	2058	5400	5560	6220	305	68,7	515	810	55,7	2,71
750 x 196		25100	12730	11600	2403	6240	6450	7170	310	81,8	610	959	57,1	4,06

Die Profile PER, IPEo und IPEv sind im Walzprogramm einzelner Werke aufgeführt. PEA 80 und PEA 100 sind ebenfalls normiert, aber kaum wirtschaftlich.

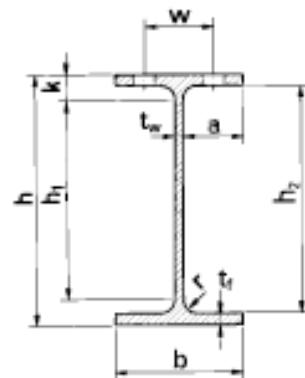
Im allgemeinen nur ab Werk lieferbar. Mindestmengen und Termine beachten.

Les profilés PER, IPEo et IPEv figurent dans le programme de laminage de quelques aciéries. Les PEA 80 et PEA 100, également normalisés, sont peu économiques.

En général livrable d'usine uniquement. Tenir compte des quantités minimales et des délais.

Walztoleranzen siehe Seite 116

Toléances de laminage voir p. 116

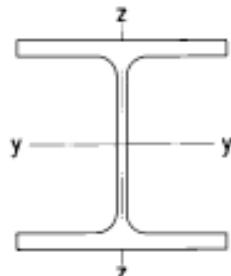


IPE	m kg/m	Profilmasse Dimensions de la section					Konstruktionsmasse Dimensions de construction					Oberfläche Surface	IPE
		h mm	b mm	t <sub>w</sub> mm	t <sub>l</sub> mm	r mm	h <sub>1</sub> mm	k mm	a mm	h <sub>2</sub> mm	w mm	Ø <sub>max</sub> mm	
80	6,0	80	46	3,8	5,2	5	60	10	21	70			80
100	8,1	100	55	4,1	5,7	7	74	13	25	89			100
120	10,4	120	64	4,4	6,3	7	92	14	29	107	36	M10	120
140	12,9	140	73	4,7	6,9	7	112	14	34	126	38	M10	140
160	15,8	160	82	5,0	7,4	9	126	17	38	145	44	M12	160
180	18,8	180	91	5,3	8,0	9	146	17	42	164	50	M12	180
200	22,4	200	100	5,6	8,5	12	158	21	47	183	56	M12	200
220	26,2	220	110	5,9	9,2	12	178	21	52	202	60	M16	220
240	30,7	240	120	6,2	9,8	15	190	25	56	220	68	M16	240
270	36,1	270	135	6,6	10,2	15	220	25	64	250	72	M20	270
300	42,2	300	150	7,1	10,7	15	248	26	71	279	80	M20	300
330	49,1	330	160	7,5	11,5	18	270	30	76	307	86	M24	330
360	57,1	360	170	8,0	12,7	18	298	31	81	335	90	M24	360
400	66,3	400	180	8,6	13,5	21	330	35	85	373	96	M27	400
450	77,6	450	190	9,4	14,6	21	378	36	90	421	106	M27	450
500	90,7	500	200	10,2	16,0	21	426	37	94	468	110	M27	500
550	106	550	210	11,1	17,2	24	468	41	99	516	120	M27	550
600	122	600	220	12,0	19,0	24	514	43	104	562	120	M27	600
750 x 137		753	263	11,5	17,0	17	685	34	126	719	120	M27	750 x 137
750 x 147		753	265	13,2	17,0	17	685	34	126	719	120	M27	750 x 147
750 x 173		762	267	14,4	21,6	17	685	39	126	719	120	M27	750 x 173
750 x 196		770	268	15,6	25,4	17	685	42	126	719	120	M27	750 x 196

# HEB

## Breitflanschträger HEB

## Profils à larges ailes HEB



$$\begin{aligned}
 A_v &= A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \\
 A_w &= (h - t_f) \cdot t_w \quad W_{ely} = \frac{I_y}{h/2} \\
 S_y &= \frac{1}{2} W_{ply} \\
 S_z &= \frac{1}{2} W_{plz} \quad W_y = \frac{I_y}{(h - t_f)/2} \\
 & \quad W_{elz} = \frac{I_z}{b/2}
 \end{aligned}$$

\* Auch in S355J0 oder S355J2  
ab Schweizer Lager erhältlich

Maximale Lagerlängen /  
Longueurs maximales en stock:

$h \leq 180$  18 m

$h \geq 200$  24 m

EURONORM 53 – 62, DIN 1025/2

Andere Bezeichnungen } DIN, IPB  
Autres désignations } DIN, IPB

\* Livrable en S355J0 ou S355J2  
du stock suisse

HEB	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>aly</sub> mm <sup>3</sup>	W̄ <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	K = I <sub>x</sub> mm <sup>4</sup>
100*	20,4	2600	904	540	4,50	89,9	100	104	41,6	1,67	33,5	51,4	25,3	0,0931
120*	26,7	3400	1096	708	8,64	144	158	165	50,4	3,18	52,9	81,0	30,6	0,139
140*	33,7	4300	1308	896	15,1	216	236	245	59,3	5,50	78,5	120	35,8	0,202
160*	42,6	5430	1759	1180	24,9	311	339	354	67,8	8,89	111	170	40,5	0,312
180*	51,2	6530	2024	1410	38,3	426	461	481	76,6	13,6	151	231	45,7	0,422
200*	61,3	7810	2483	1660	57,0	570	616	643	85,4	20,0	200	306	50,7	0,596
220*	71,5	9100	2792	1940	80,9	736	793	827	94,3	28,4	258	394	55,9	0,770
240*	83,2	10600	3323	2230	112,6	938	1010	1050	103	39,2	327	498	60,8	1,04
260*	93,0	11800	3759	2420	149,2	1150	1230	1280	112	51,3	395	602	65,8	1,26
280*	103	13100	4109	2750	192,7	1380	1470	1530	121	65,9	471	718	70,9	1,45
300*	117	14900	4743	3090	251,7	1680	1790	1870	130	85,6	571	870	75,8	1,87
320*	127	16100	5177	3440	308,2	1930	2060	2150	138	92,4	616	939	75,7	2,29
340*	134	17100	5609	3820	366,6	2160	2300	2410	146	96,9	646	986	75,3	2,62
360*	142	18100	6060	4220	431,9	2400	2560	2680	155	101	676	1030	74,9	2,98
400*	155	19800	6998	5080	576,8	2880	3070	3230	171	108	721	1100	74,0	3,61
450*	171	21800	7966	5940	798,9	3550	3770	3980	191	117	781	1200	73,3	4,49
500	187	23900	8982	6840	1072	4290	4540	4820	212	126	842	1290	72,7	5,50
550	199	25400	10010	7820	1367	4970	5250	5590	232	131	872	1340	71,7	6,12
600	212	27000	11080	8840	1710	5700	6000	6420	252	135	902	1390	70,8	6,80
650	225	28600	12200	9900	2106	6480	6800	7320	271	140	932	1440	69,9	7,52
700	241	30600	13710	11400	2569	7340	7690	8330	290	144	963	1490	68,7	8,42
800	262	33400	16180	13400	3591	8980	9360	10230	328	149	994	1550	66,8	9,62
900	291	37100	18880	16000	4941	10980	11400	12580	365	158	1050	1660	65,3	11,5
1000	314	40000	21250	18300	6447	12890	13400	14860	401	163	1090	1720	63,8	12,7

Anstelle des nicht mehr gewalzten Profils HEB 1100 können HL-Profile verwendet werden, siehe Seiten 40/41.

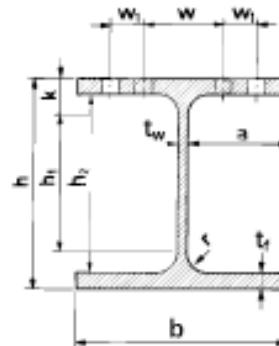
$w_1$  mit  $\varnothing_{\max}$  nur für versetzte Schrauben.

Walztoleranzen siehe Seite 116

*Au lieu du profilé HEB 1100 qui n'est plus laminé, on utilisera des profilés HL (voir pages 40/41).*

*$w_1$  avec  $\varnothing_{\max}$  seulement pour boutons décalés.*

*Tolérances de laminage voir page 116*



HEB	m kg/m	Profilmasse Dimensions de la section					Konstruktionsmasse Dimensions de construction							Oberfläche Surface	HEB	
		h mm	b mm	$t_w$ mm	$t_f$ mm	r mm	$h_1$ mm	k mm	a mm	$h_2$ mm	w mm	$w_1$ mm	$\varnothing_{\max}$	$U_m$ m <sup>2</sup> /m	$U_t$ m <sup>2</sup> /t	
100	20,4	100	100	6	10	12	56	22	47	80	56	M12	0,567	27,8	100	
120	26,7	120	120	6,5	11	12	74	23	56	98	66	M16	0,686	25,7	120	
140	33,7	140	140	7	12	12	92	24	66	116	76	M20	0,805	23,9	140	
160	42,6	160	160	8	13	15	104	28	76	134	86	M20	0,918	21,5	160	
180	51,2	180	180	8,5	14	15	122	29	85	152	100	M24	1,04	20,3	180	
200	61,3	200	200	9	15	18	134	33	95	170	110	M24	1,15	18,8	200	
220	71,5	220	220	9,5	16	18	152	34	105	188	120	M24	1,27	17,8	220	
240	83,2	240	240	10	17	21	164	38	115	206	96	35	M24	1,38	16,6	240
260	93,0	260	260	10	17,5	24	176	42	125	225	106	40	M24	1,50	16,1	260
280	103	280	280	10,5	18	24	196	42	134	244	110	45	M24	1,62	15,7	280
300	117	300	300	11	19	27	208	46	144	262	120	45	M27	1,73	14,8	300
320	127	320	320	11,5	20,5	27	224	48	144	279	120	45	M27	1,77	13,9	320
340	134	340	300	12	21,5	27	242	49	144	297	120	45	M27	1,81	13,5	340
360	142	360	300	12,5	22,5	27	260	50	143	315	120	45	M27	1,85	13,0	360
400	155	400	300	13,5	24	27	298	51	143	352	120	45	M27	1,93	12,4	400
450	171	450	300	14	26	27	344	53	143	398	120	45	M27	2,03	11,9	450
500	187	500	300	14,5	28	27	390	55	142	444	120	45	M27	2,12	11,3	500
550	199	550	300	15	29	27	438	56	142	492	120	45	M27	2,22	11,2	550
600	212	600	300	15,5	30	27	486	57	142	540	120	45	M27	2,32	11,0	600
650	225	650	300	16	31	27	534	58	142	588	120	45	M27	2,42	10,8	650
700	241	700	300	17	32	27	582	59	141	636	126	45	M27	2,52	10,5	700
800	262	800	300	17,5	33	30	674	63	141	734	130	40	M27	2,71	10,4	800
900	291	900	300	18,5	35	30	770	65	140	830	130	40	M27	2,91	10,0	900
1000	314	1000	300	19	36	30	868	66	140	928	130	40	M27	3,11	9,9	1000