

HTM

HT-TERÄSPAALUT

www.htmyhtiot.fi

HT-teräspaalujen loppulyöntiohjeet

Hydraulivasaroille sekä pudotus- ja hydraulijärkäleille



ver. 12/2015 HTM

Sisällys

1.	Yleistä.....	3
2.	Lyöntilaitteet	3
3.	Paalutyypit.....	4
4.	Paalutustyön simulointi.....	5
4.1	Hydraulivasarat	5
4.2	Pudotus- ja kiihdytetyt hydraulijärkäleet	5
5.	Loppulyönnit	6
5.1	Hydraulivasarat	6
5.1	Pudotus- ja hydraulijärkäleet	21

1. Yleistä

HT-teräspaalujen loppulyöntien simulointi on suoritettu iskuaaltoteoriaan pohjautuvalla GRLWEAP 2010 –ohjelmalla. Laskennassa on noudatettu pääosin RIL254-2011 mukaisia menetelmiä.

2. Lyöntilaitteet

Loppulyöntiohjeiden määrittämistä varten hydraulivasarat on jaettu eri kokoluokkiin joiden perusteella laskenta on suoritettu. Suomessa yleisesti käytössä olevat vasaramallit on esitetty taulukossa 1. Taulukossa 1 on myös eritelty eri kokoluokat ja kokoluokkiin sisältyvät vasarat. Mallinnuksen perusteena on ollut jokaisessa kokoluokassa se vasara, joka antaa mallinnuksessa tiukimmat loppulyöntiohjeet suurimmassa osassa tapauksia.

Taulukko 1. Mallinnetut hydraulivasarat ja vasaroiden jaottelu eri kokoluokkiin.

Vasaran kokoluokka	Vasara tyyppi	Männän massa [kg]	Teoreettinen energia [J]
Luokka 1.5	Furukawa F9	31	1305
	Hydraram SG600S	25	1356
	Rammer S52	33	1500
Luokka 2.0	Hydraram SG800S	42	2035
	Rammer S54	37	2200
Luokka 2.5	SPD1000	42,4	2443
Luokka 3.5	Rammer S56	73,8	3500
	Furukawa F19	64	3579
	MSB MS600H	75,2	3750
Luokka 4.0	Rammer E68	79	4000
	Furukawa HB20G	101	4119
	SPD1500	71	4234
Luokka 5.0	SPD2000	106	5290


Vasaroiden lisäksi loppulyönnit on laskettu 4 ja 5 tonnin pudotus- ja kiihdytetyille hydraulijärkäleille. Järkäleet on mallinnettu Junttan HHK 4 ja 5 järkäleiden mukaan.

3. Paalutyypit

HTM Yhtiöiden pieniläpimittaisten teräspaalujuen tuotevalikoimaan kuuluu 14 eri paalukokoa. Taulukossa 2 on esitetty mallinnetut lyöntilaitteet ja paalukoot joille loppulyöntiohjeet on laskettu.

Taulukko 2. Mallinnetut lyöntilaitteet ja paalukoot, joille loppulyöntiohjeet on laskettu.

Lyöntilaite	Paalukoko													
	90/6,3	115/8	127/6,3	140/8	140/10	170/10	170/12,5	220/10	220/12,5	270/10	270/12,5	320/10	320/12,5	
Furukawa F9														
Hydraram SG600S														
Rammer S52														
Hydraram SG800S														
Rammer S54														
SPD1000														
Rammer S56														
Furukawa F19														
MSB MS600H														
Rammer E68														
Furukawa HB20G														
SPD1500														
SPD2000														
Pudotusjätkäle 4t														
Pudotusjätkäle 5t														
Hydraulijätkäle 4t														
Hydraulijätkäle 5t														

 Punaisella merkityille vasara-paalukokoyhdistelmille on laskettu loppulyöntiohje, mutta kyseisellä vasara-paalukokoyhdistelmällä lyönnin aikaiset jännitykset ylittävät laskelmien mukaan tason $0,9 \cdot f_{yd}$ suurimmassa osassa tapauksia, kun laskennassa käytetään lyöntilaitteen oletettua maksimitehoa 80 %.

4. Paalutustyön simulointi

4.1 Hydraulivasarat

Hydraulivasaroiden loppulyöntiohjeita laskettaessa maamalli on luotu niin, että paalun vaippakestävyys jakautuu tasaisesti alaspäin kasvavana kolmiona ja vaippakestävyys on 1 % paalun kokonaisvastuksesta. Dynaamiset maaparametrit on määritetty RIL254-2011 esitettyjen kaavojen mukaisesti. Smithin vaimennuskertoimeksi paalun vaipalla on valittu kitkamaan arvo $J_s=0,16$ s/m. Vaimennuskertoimen valinnan merkitys on kuitenkin lähes olematon, kun vaippavastus muodostaa ainoastaan 1 % kokonaisvastuksesta. Mallinnettujen vasaroiden ja iskutyynyjen ominaisuudet on esitetty kokoluokittain taulukossa 3.

Taulukko 3. Vasaroiden kokoluokat ja niitä vastaavat ominaisuudet.

Vasaran kokoluokka	Iskuluku [iskua/min]	Männän massa [kg]	Männän pituus [mm]	Männän halkaisija [mm]	Iskutyynyn halkaisija [mm]	Iskutyynyn paksuus [mm]	Iskutyynyn massa [kg]
Luokka 1.5	550	25	500	90	90	800	40
Luokka 2.0	400	37	450	115	115	850	58
Luokka 2.5	560	42,4	700	100	100	679	42
Luokka 3.5	400	73,8	840	119,5	130	700	70
Luokka 4.0	400	71	763	124	118	550	45,7
Luokka 5.0	550	106	1320	140	135	700	77

Laskennoissa käytetyt vasaroiden iskuluvut perustuvat mittaukseen tai arvioon. Lyöntilaitteen tehokkuutena kaikilla vasaroilla on käytetty 80 % ja iskutyynyn sysäyskertoimena 0,9. Männän mallinnuksessa on käytetty kaikilla vasaroilla yhtä elementtiä, jolloin elementin pituus on yhtä suuri männän pituuden kanssa.

4.2 Pudotus- ja kiihdytetyt hydraulijärkäleet

Järkäleiden kohdalla maamallina on käytetty tasaisesti alaspäin kasvavaa kolmiota ja vaippakestävyuden arvona 10 % paalun kokonaisvastuksesta. RIL254-2011 esittää vaippakestävyuden arvoksi 20 % kokonaisvastuksesta riippumatta paalumateriaalista. PDA-mittauksista saatujen kokemusten perusteella 10 % vaippavastusosuuden arvioidaan kuitenkin vastaavan teräsputkipaaluilla asennuksen aikaista tilannetta paremmin.

Dynaamiset maaparametrit on määritetty RIL254-2011 esitettyjen kaavojen mukaisesti. Smithin vaimennuskerrointa paalun vaipalla määrittäessä, on oletettu, että paalu on puoliksi kitkamaassa (alaosa) ja puoliksi koheesiomaassa (yläosa). Tällöin vaippakestävyydestä 25 % tulee koheesiomaasta ja 75 % kitkamaasta. Kun koheesiomaan ja kitkamaan vaimennuskertoimia $J_s=0,65$ s/m ja $J_s=0,16$ s/m painotetaan näillä vaippakestävyuden prosentiosuuksilla, saadaan laskennoissa käytetyksi vaimennuskertoimeksi $J_s=0,28$ s/m.

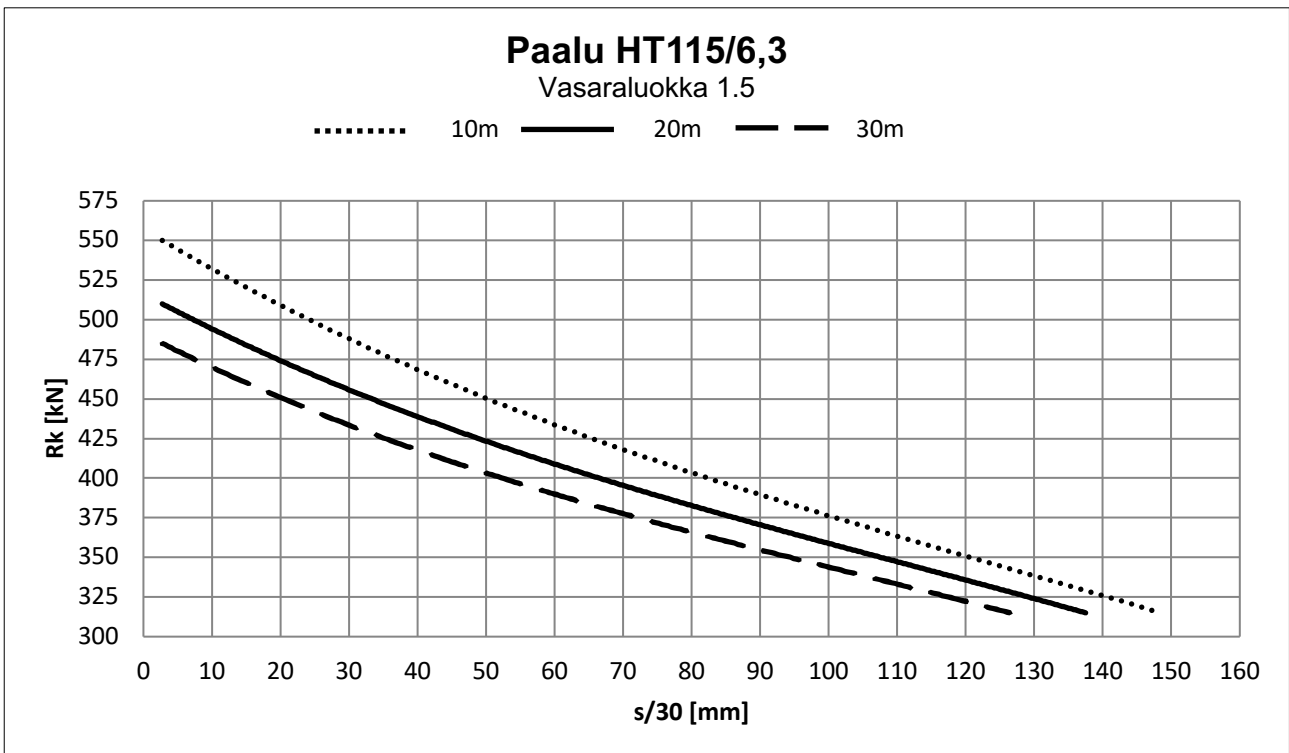
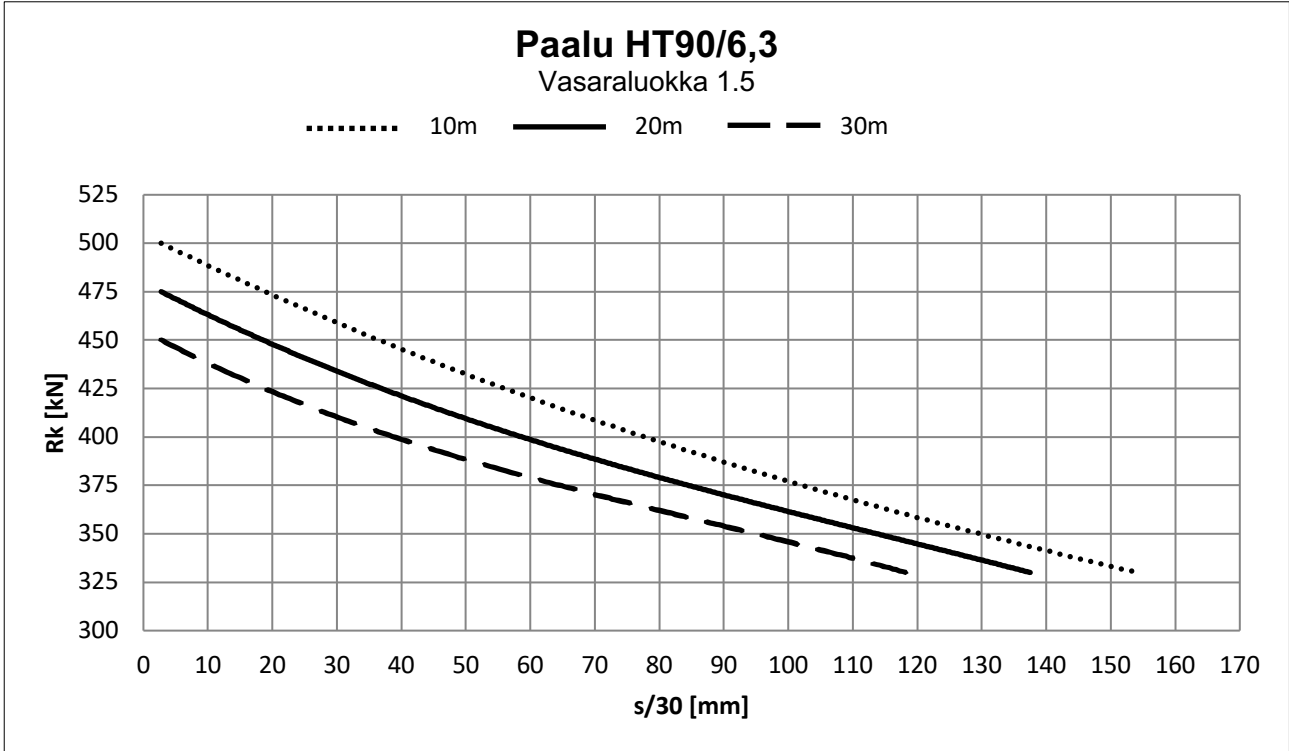
Sekä pudotus- että kiihdytetyt hydraulijärkäleet ja niiden iskutyyny on mallinnettu samoilla GRLWEAPohjelman kirjastosta löytyvillä laitevalmistajan antamilla lyöntilaitemalleilla Junttan HHK 5S ja Junttan HHK 4A (joka on muutettu 4S-mallia vastaavaksi muuttamalla maksimipudotuskorkeus 1,5 metriin). Laskennassa lyöntilaitteen tehokkuutena on käytetty pudotusjärkäleellä 80 % ja kiihdytetyllä hydraulijärkäleellä 95 %.

5. Loppulyönnit

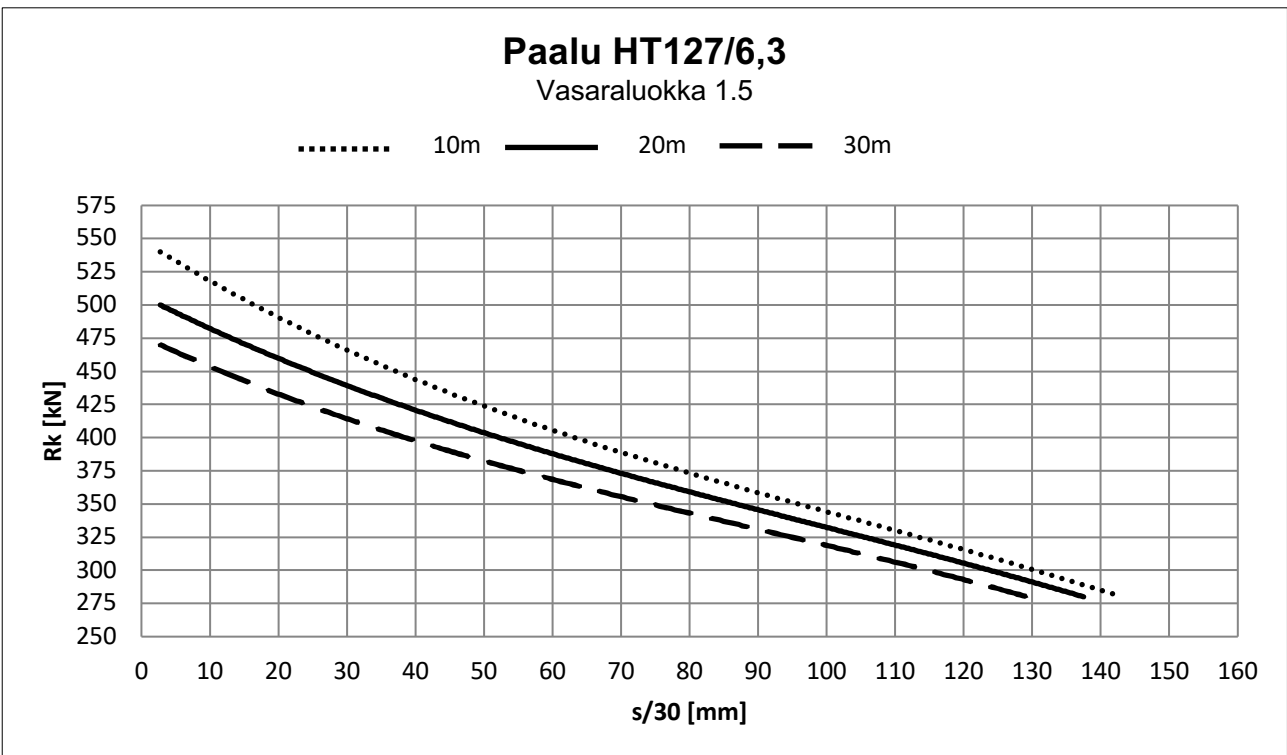
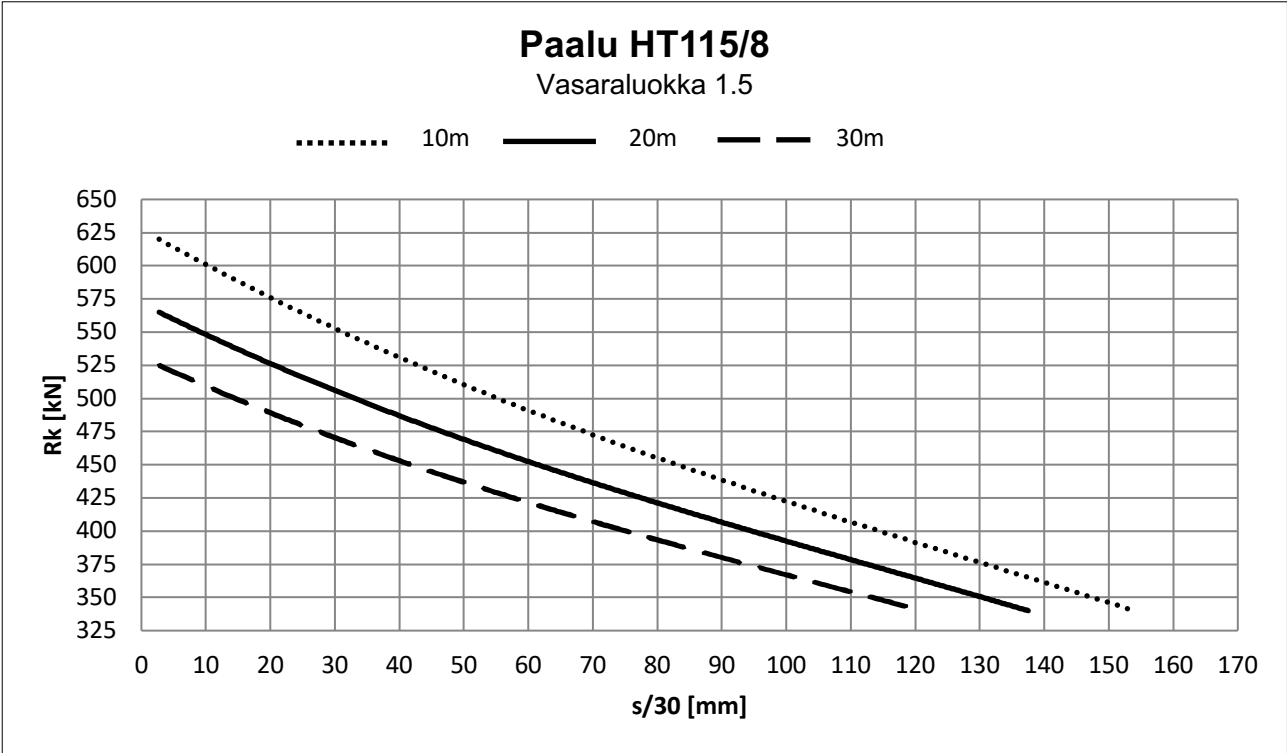
5.1 Hydraulivasarat

Hydraulivasaroilla on laskettu paalutustyöluokkien geoteknisen kestävyys ominaisarvojen maksimiarvoja vastaavat loppulyöntipainumat 30 sekunnin sarjalla kullekin taulukossa 2 esitetyle vasarapaalukokoyhdistelmälle ja kolmelle eri paalupituudelle. Mikäli jollain varasara-paalukokoyhdistelmällä ei ole ollut mahdollista saavuttaa PTL3:n mukaista geoteknisen kestävyys maksimiarvoa, on kyseiselle vasara-paalukokoyhdistelmälle laskettu 2 tai 3 mm loppulyöntipainumaa (30 sekunnin sarjalla) vastaava paalun geotekninen murtokuorma.

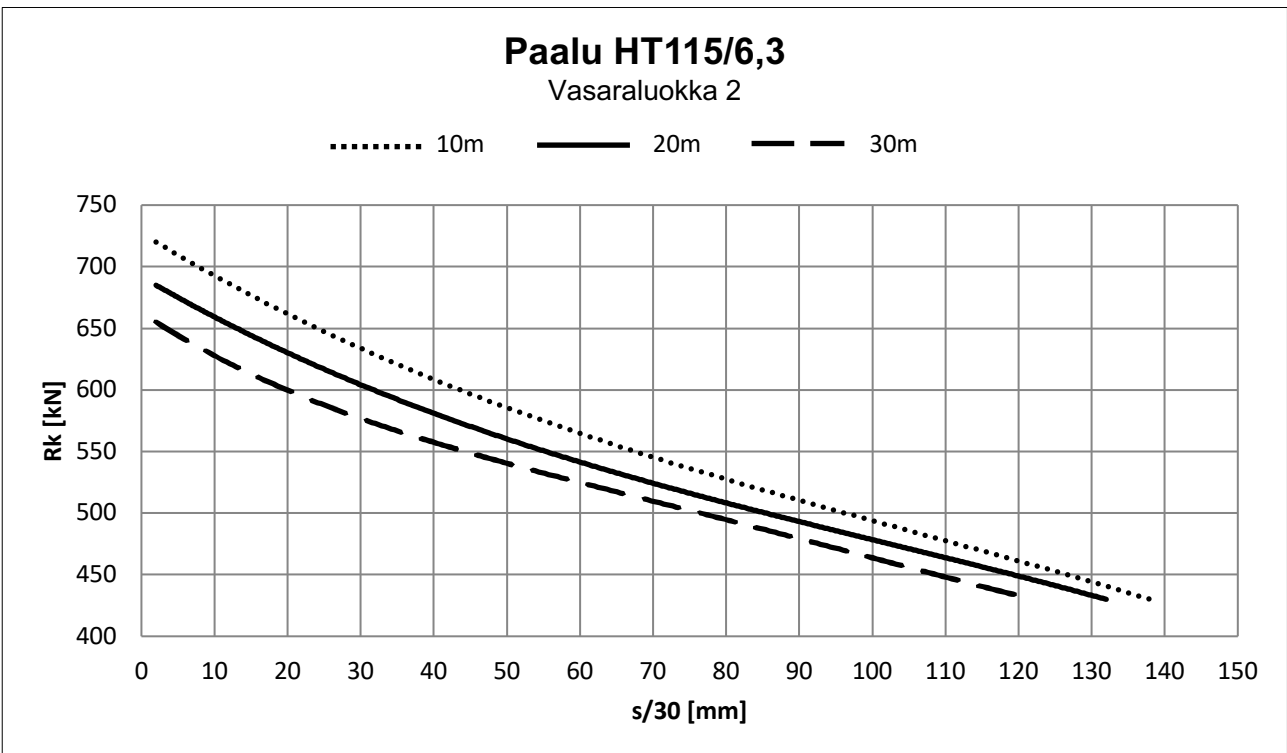
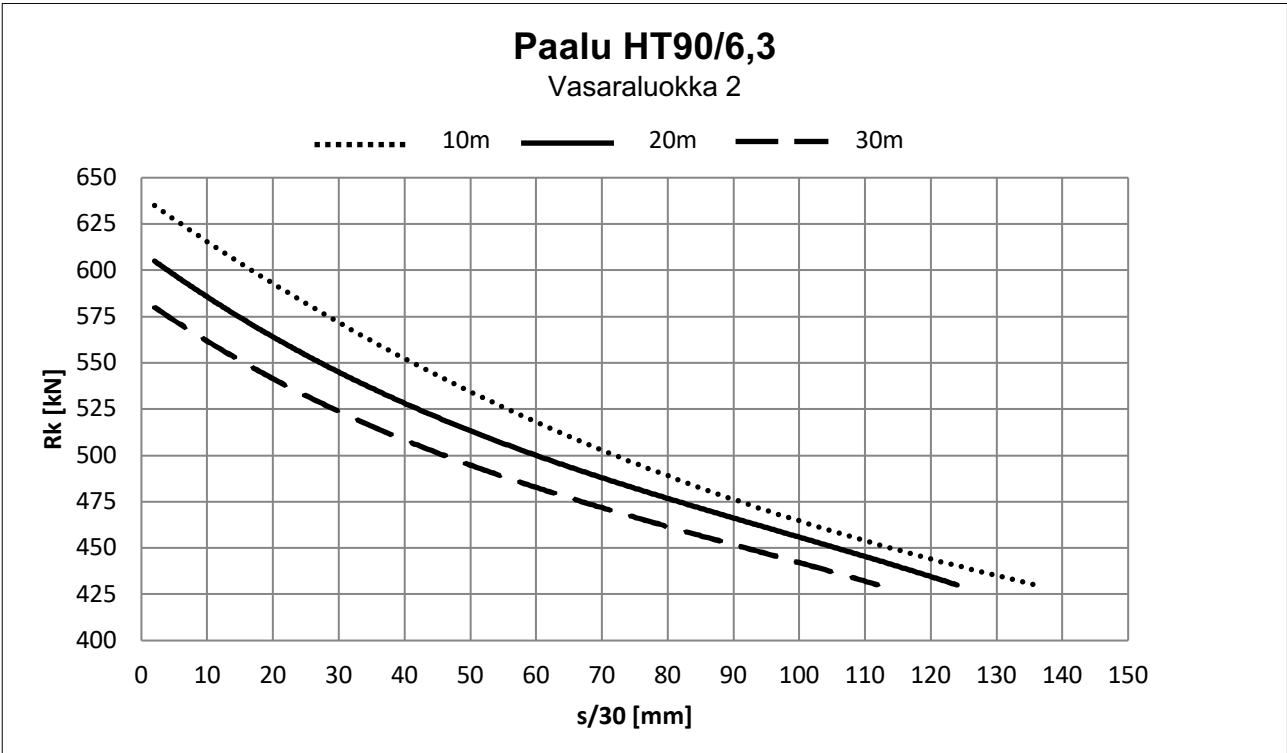
Luokka 1.5	Furukawa F9
	Hydraram SG600S
	Rammer S52



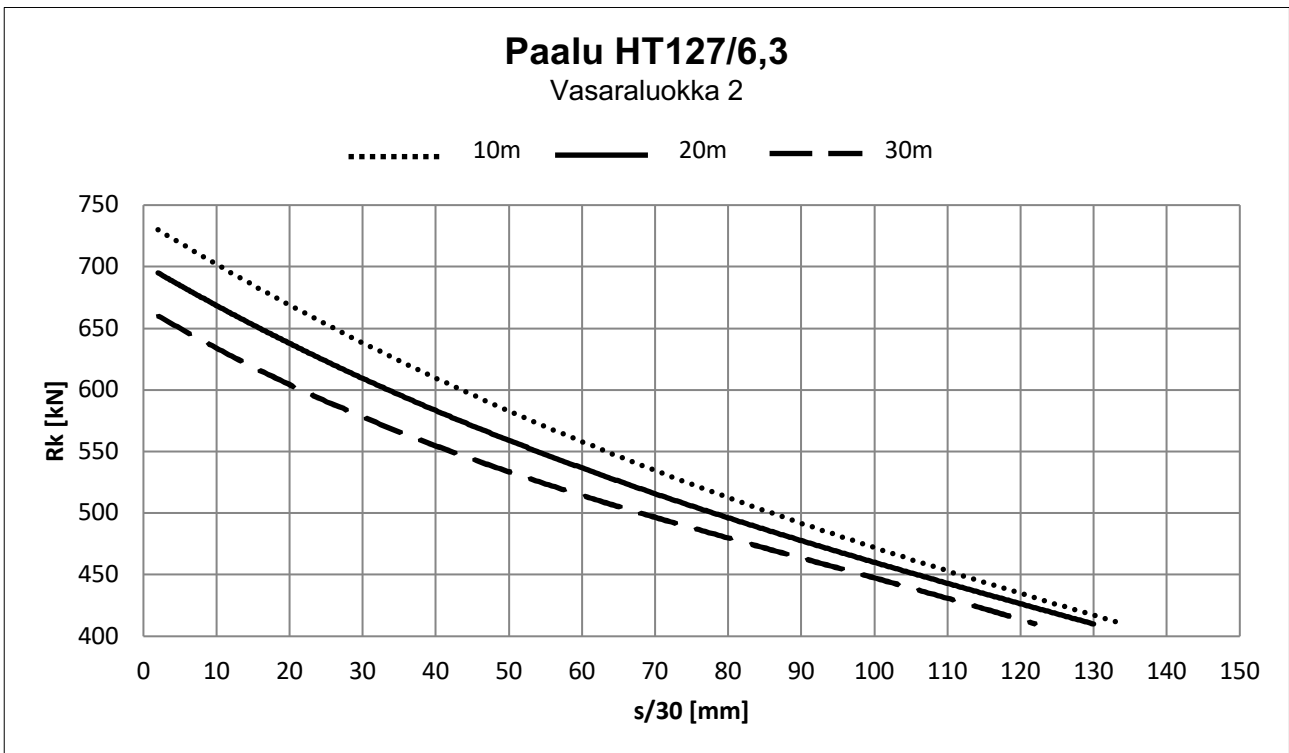
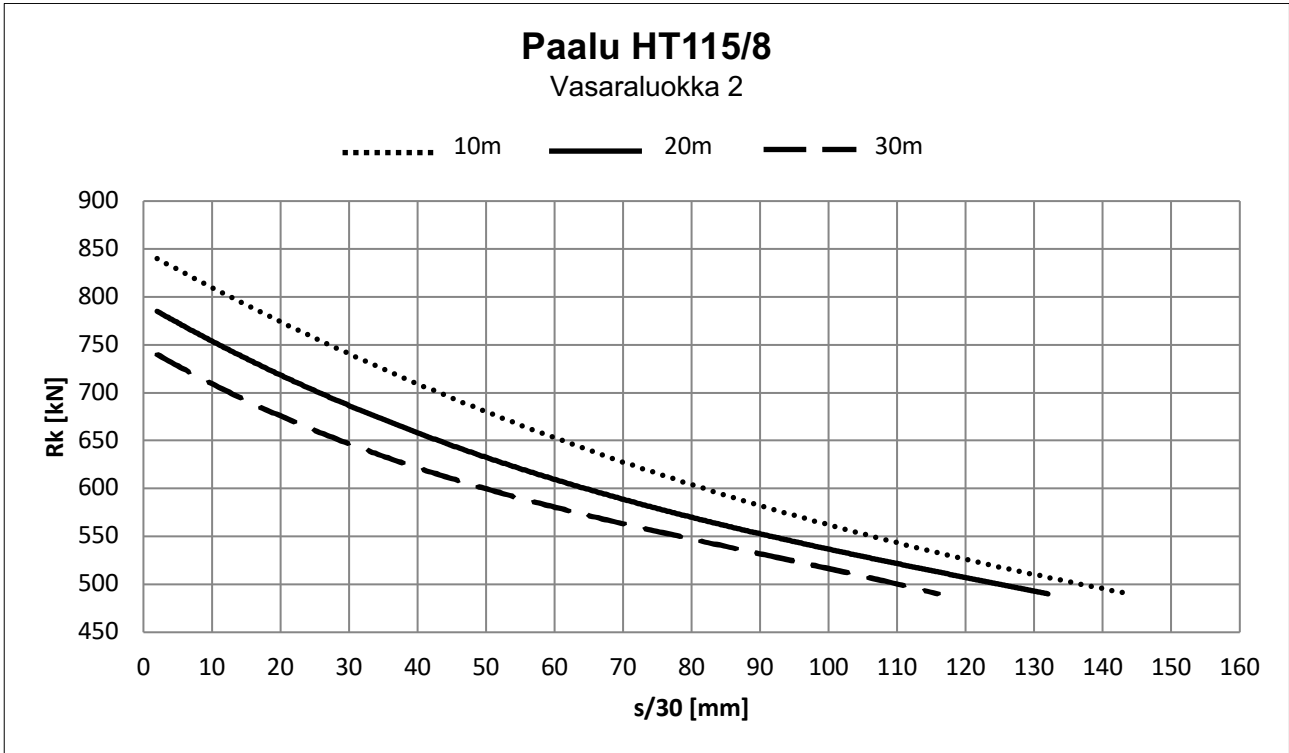
Luokka 1.5	Furukawa F9
	Hydraram SG600S
	Rammer S52



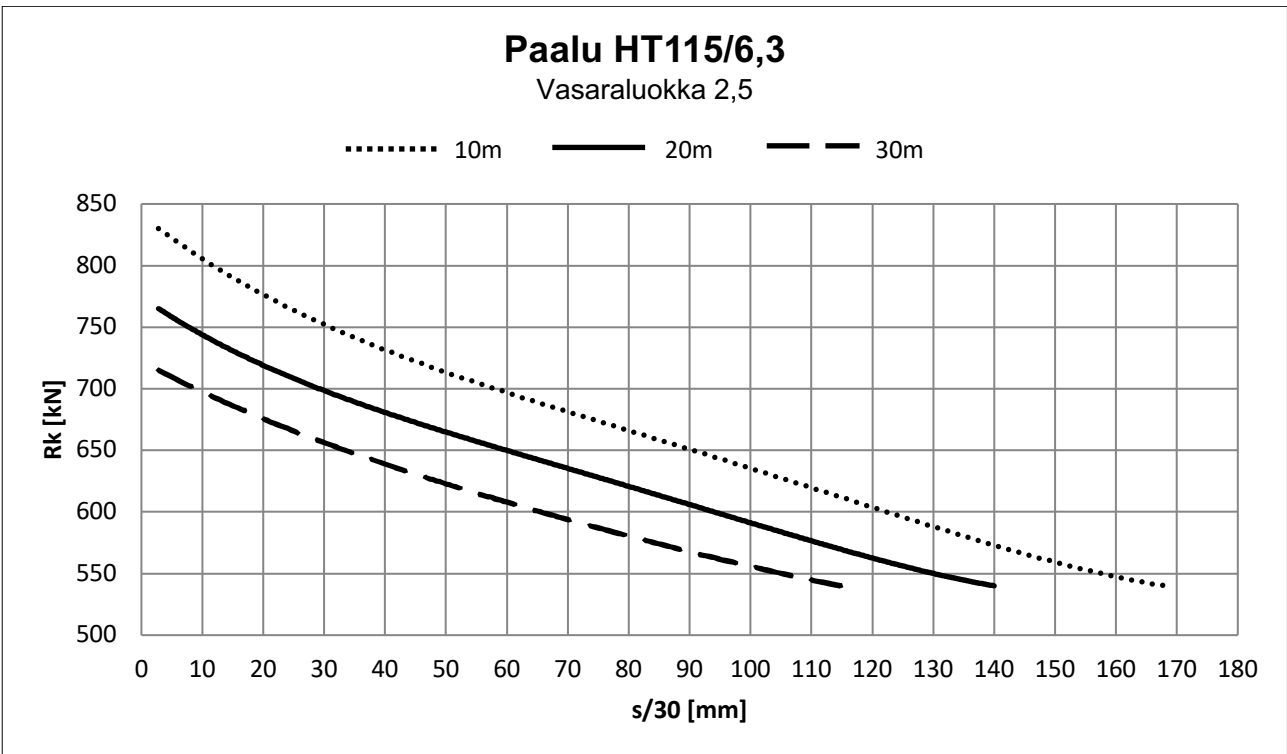
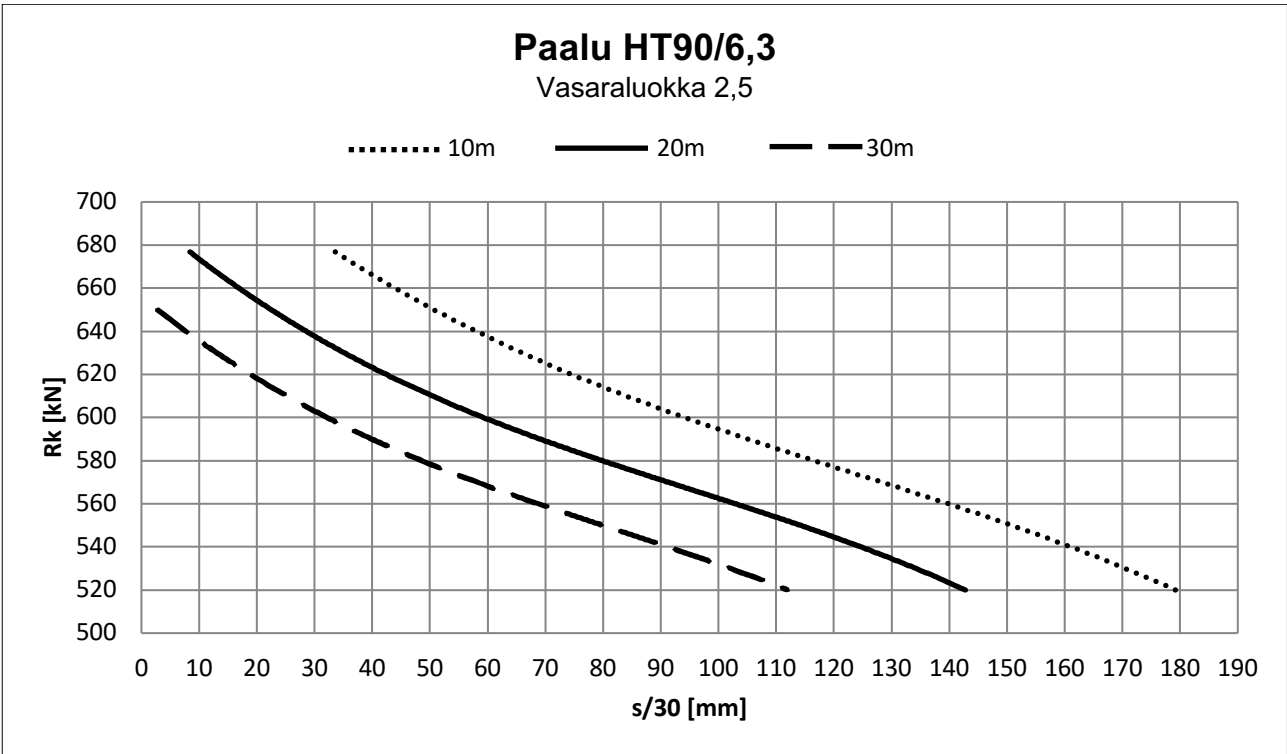
Luokka 2.0	Hydraram SG800S
	Rammer S54



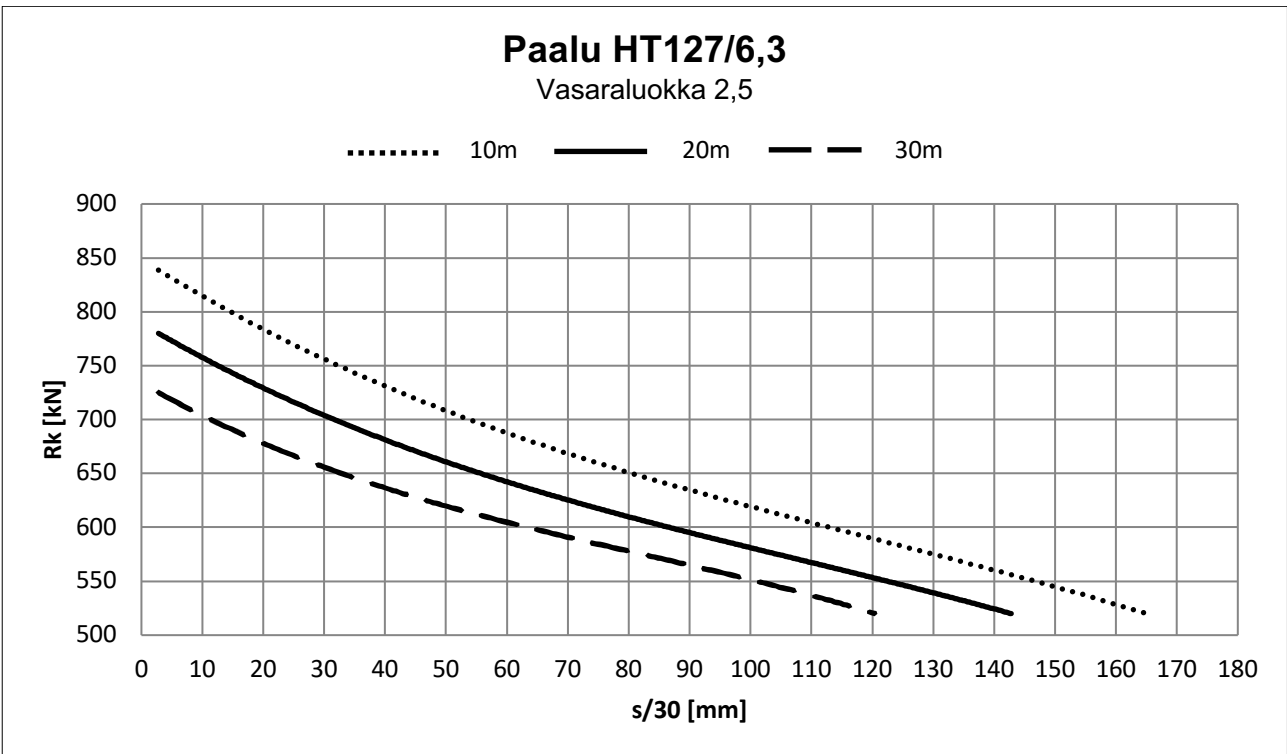
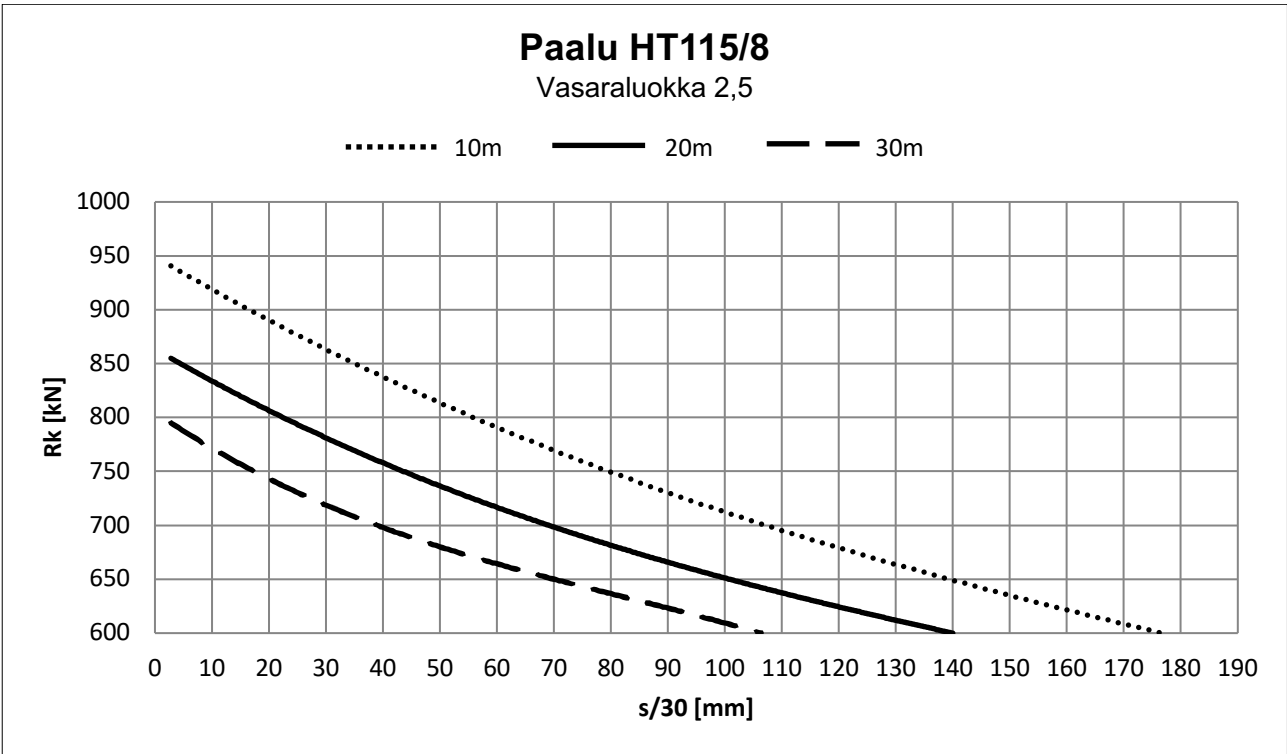
Luokka 2.0	Hydraram SG800S
	Rammer S54



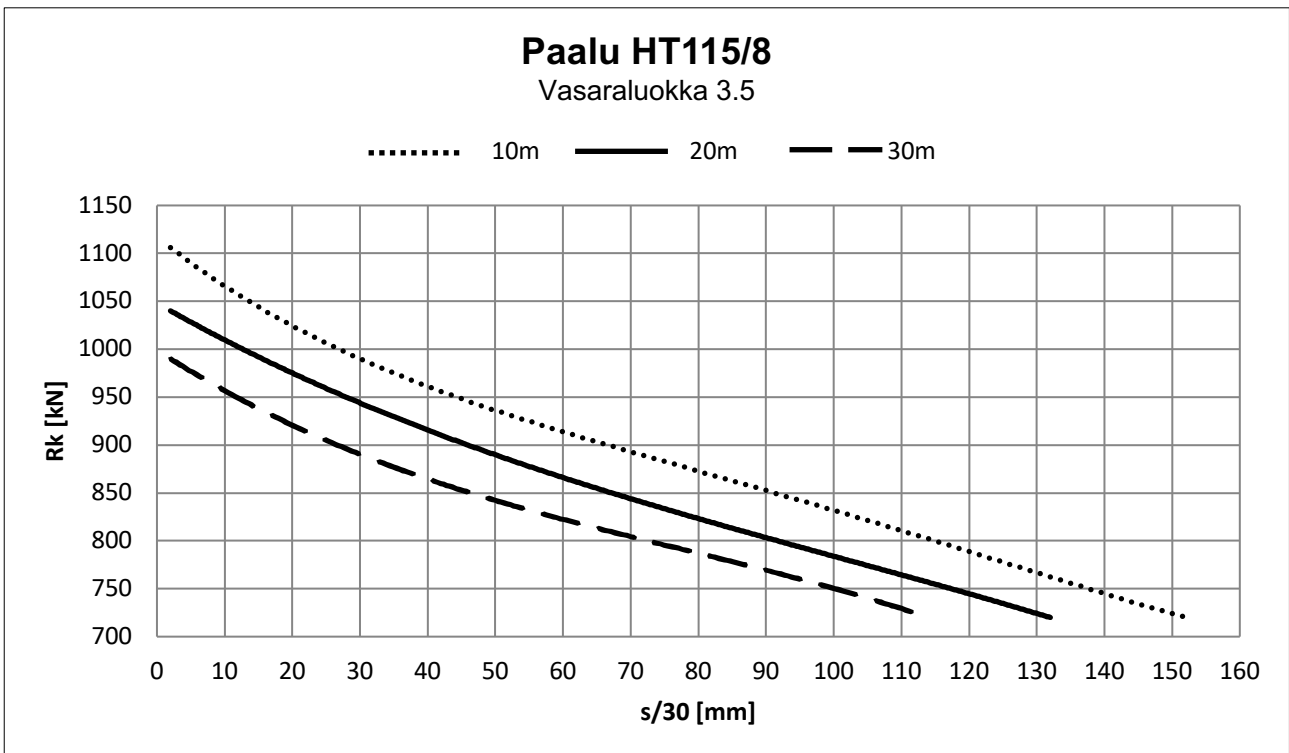
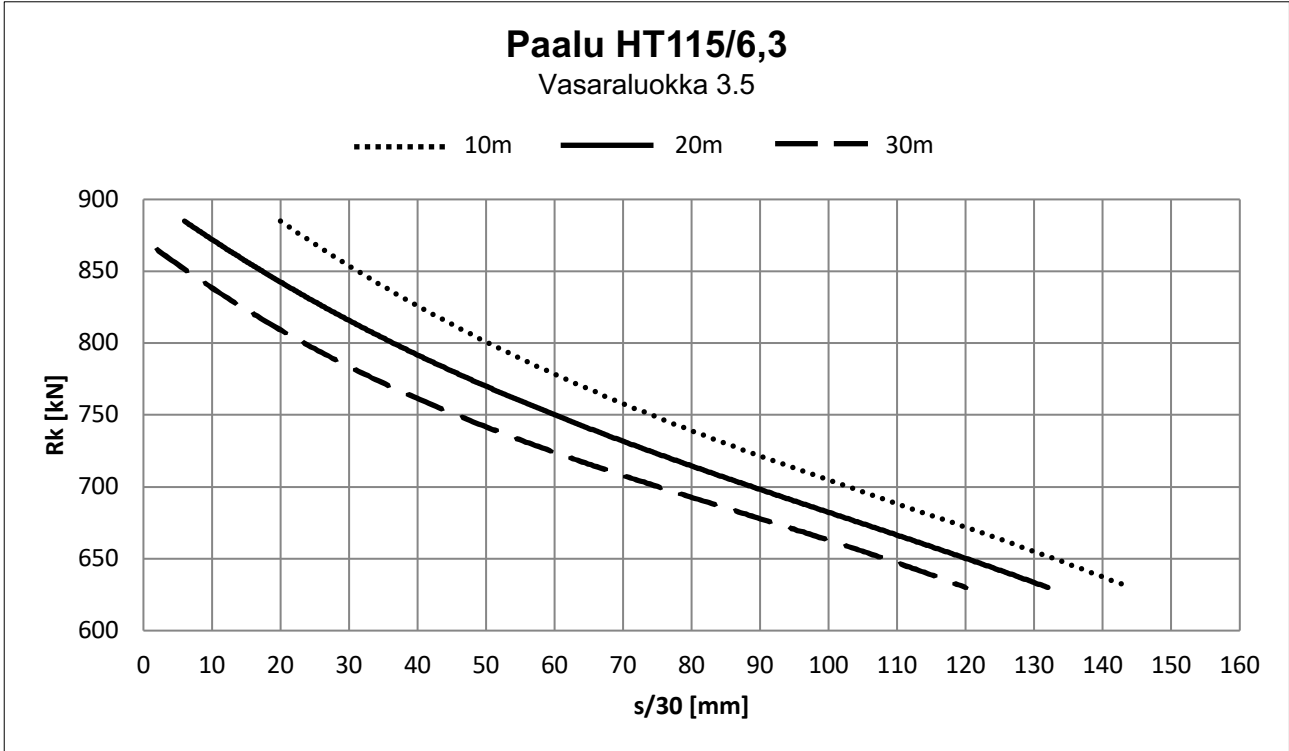
Luokka 2.5	SPD1000
------------	---------



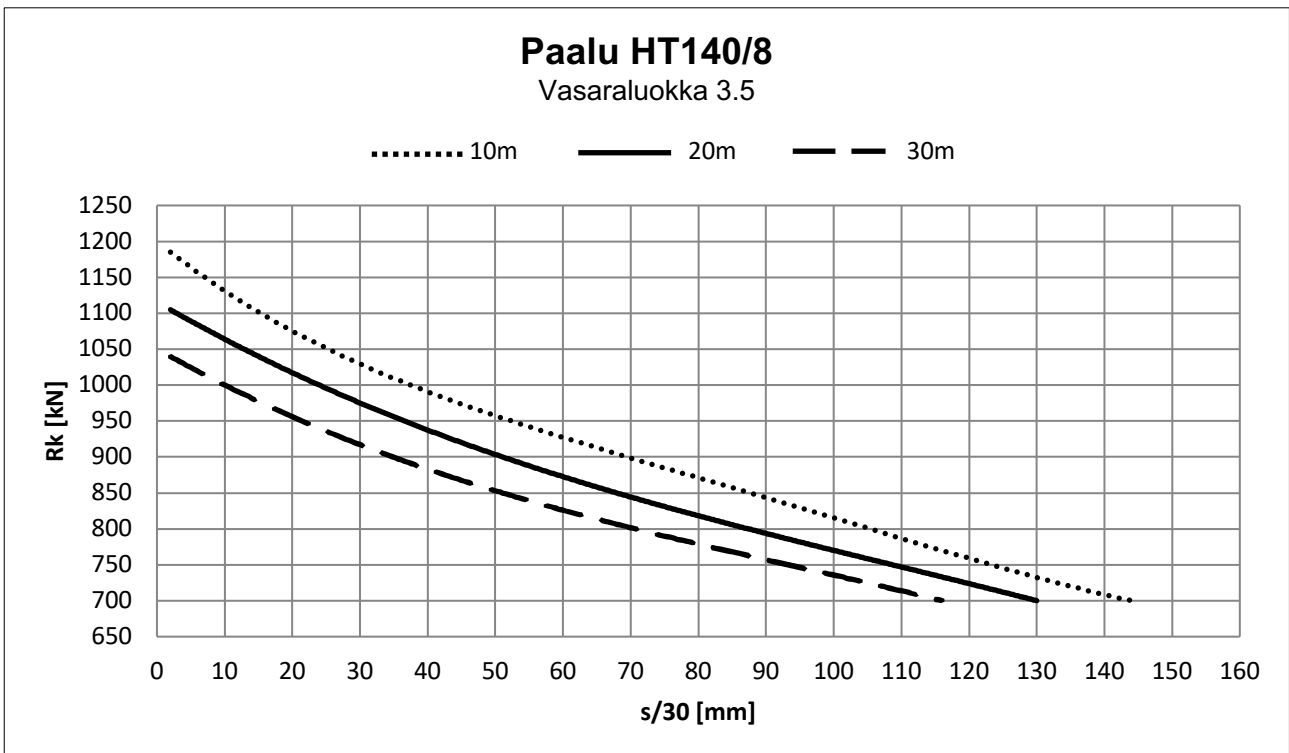
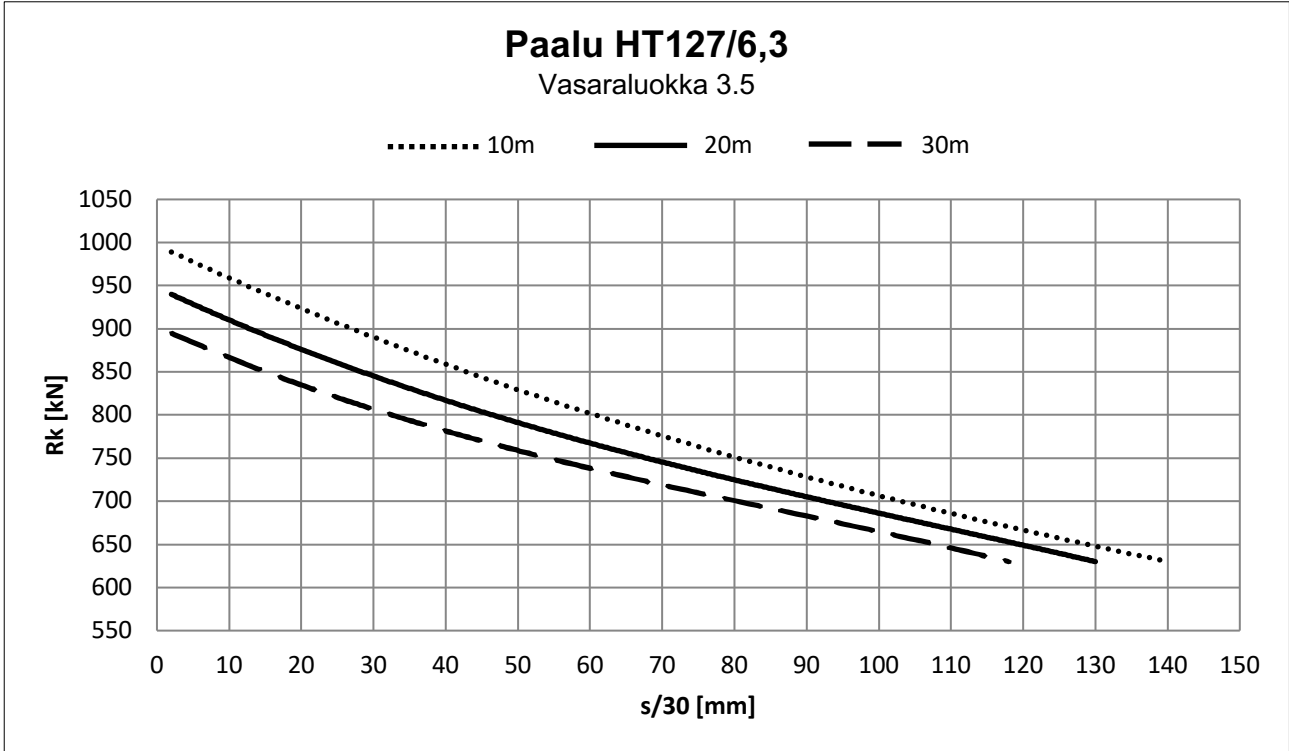
Luokka 2.5	SPD1000
------------	---------



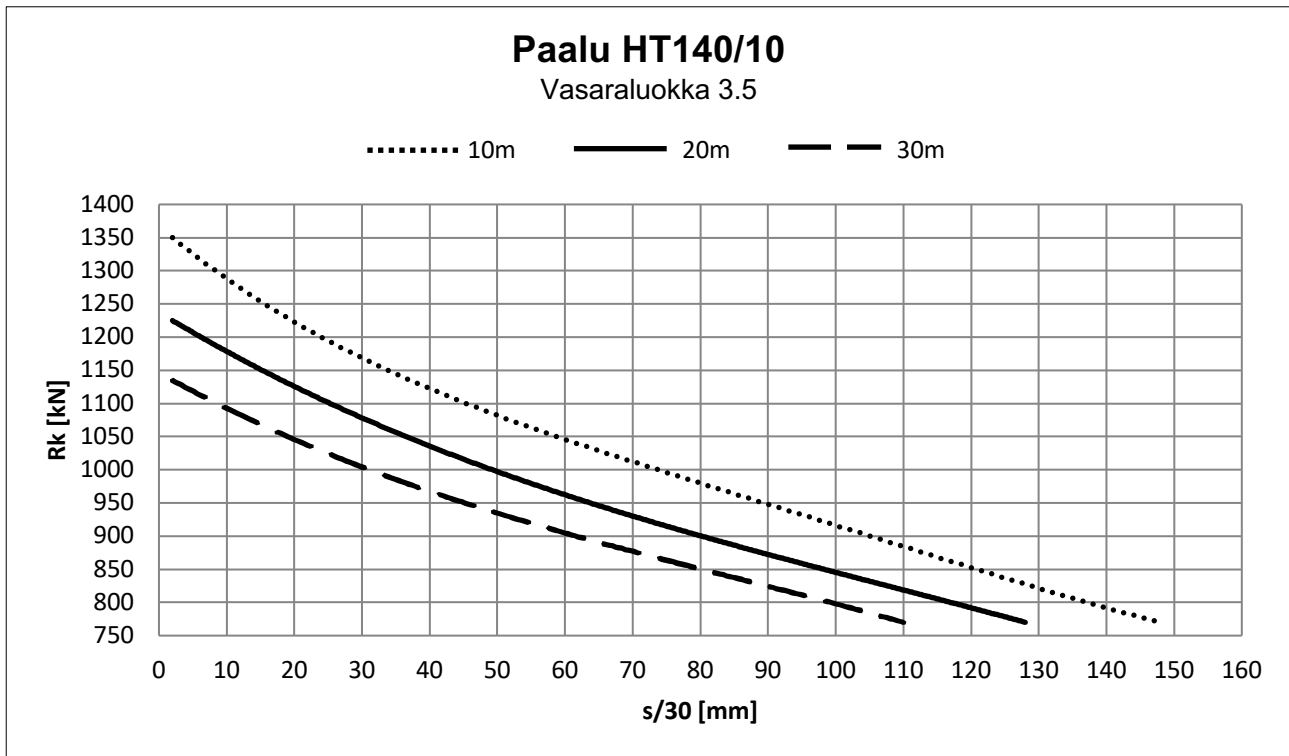
Luokka 3.5	Rammer S56
	Furukawa F19
	MSB MS600H



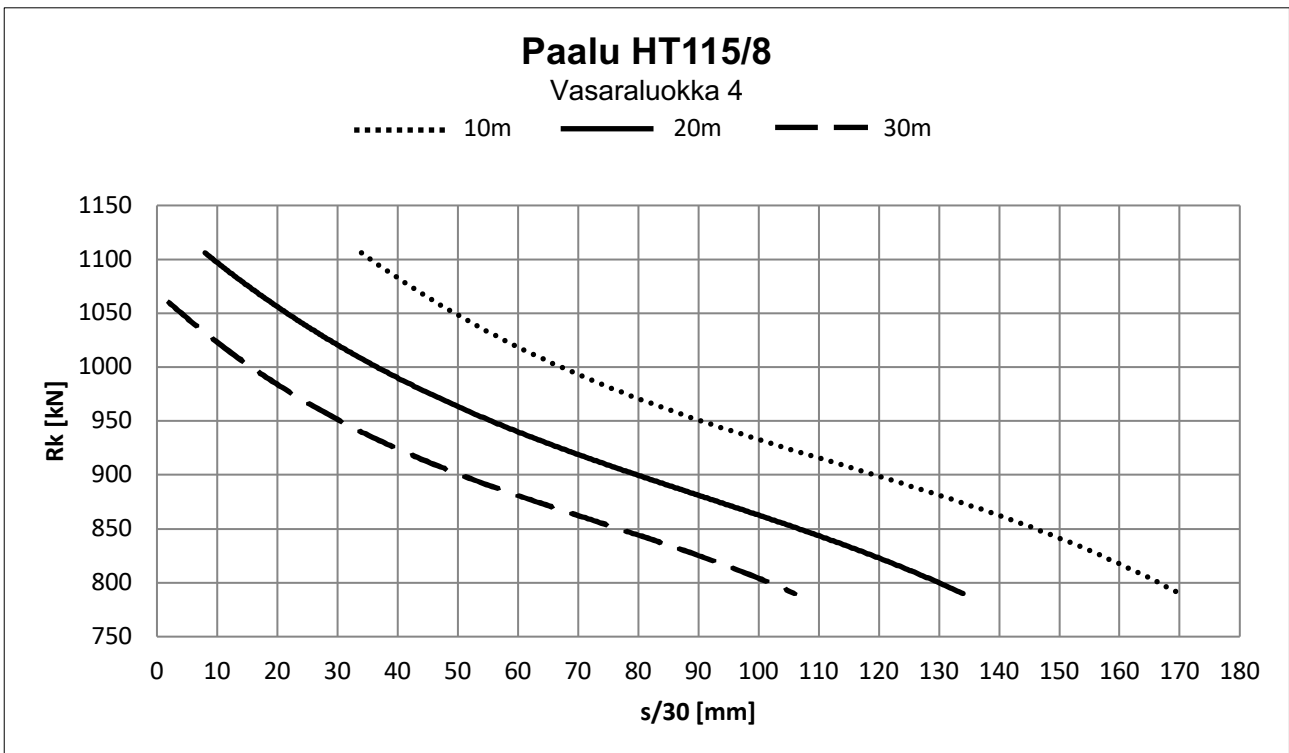
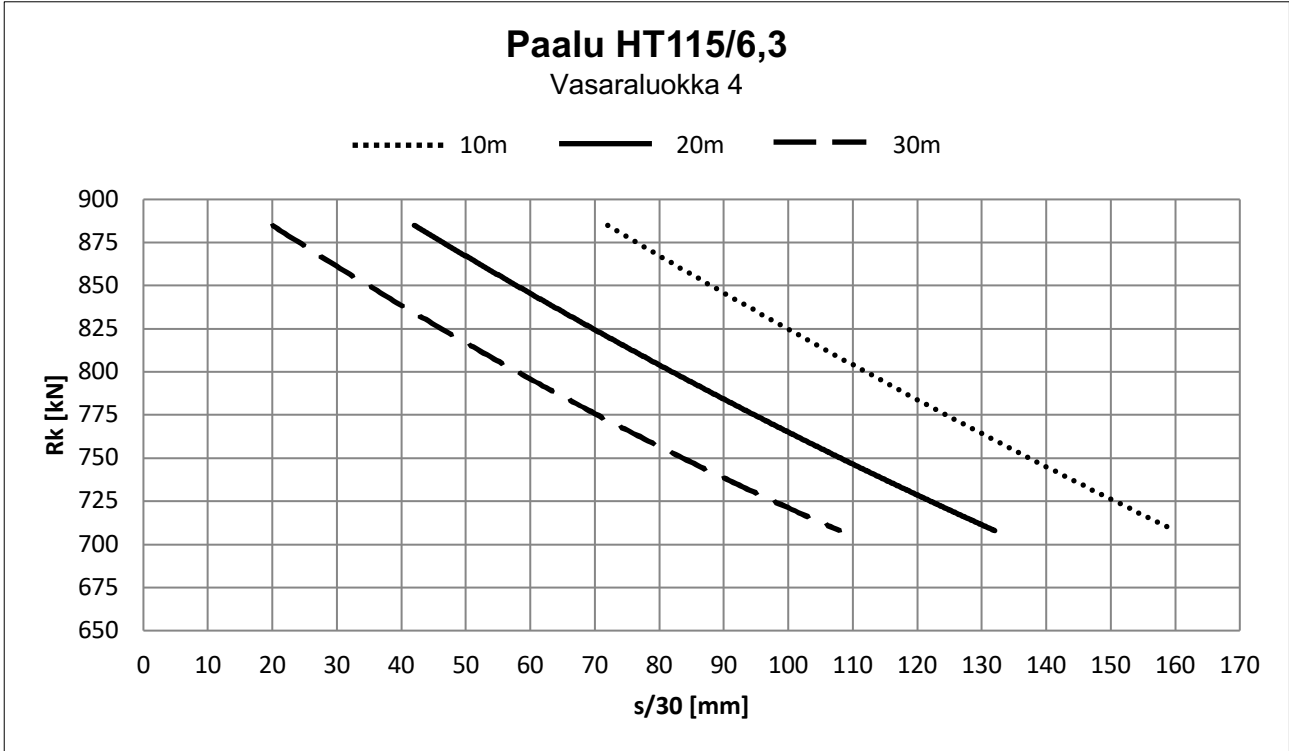
Luokka 3.5	Rammer S56
	Furukawa F19
	MSB MS600H



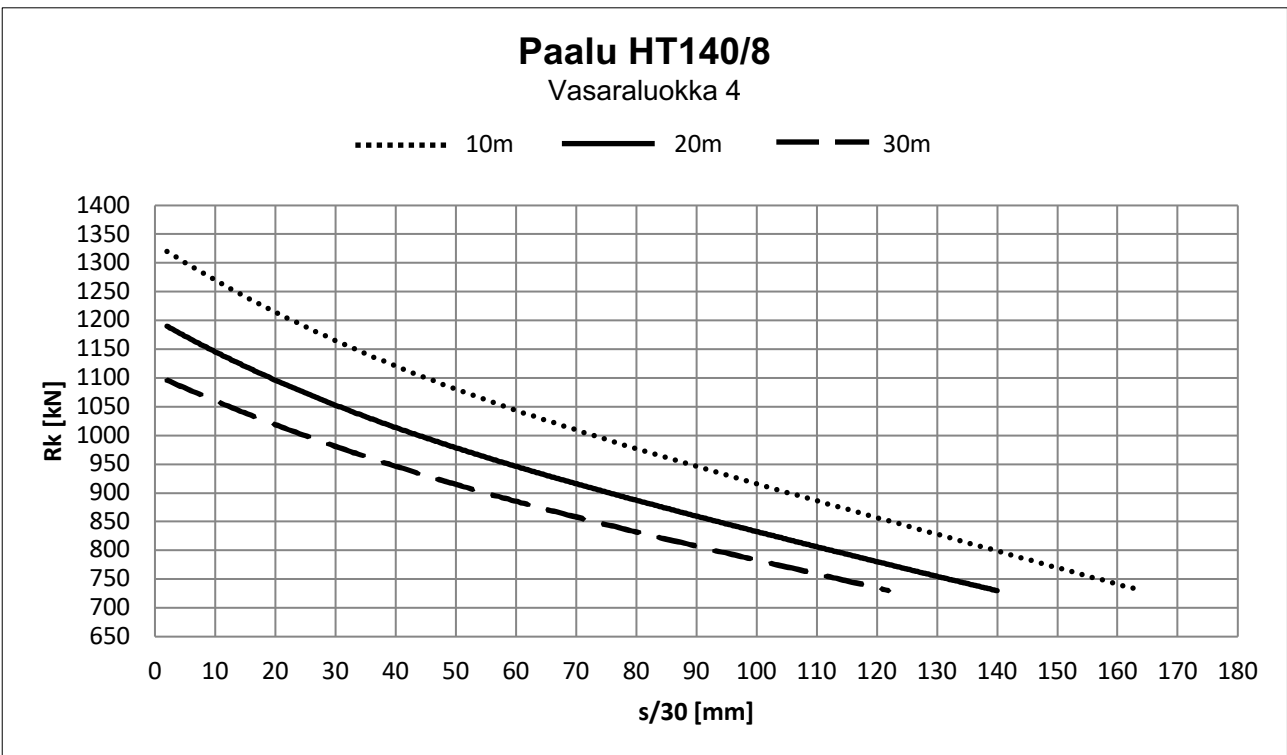
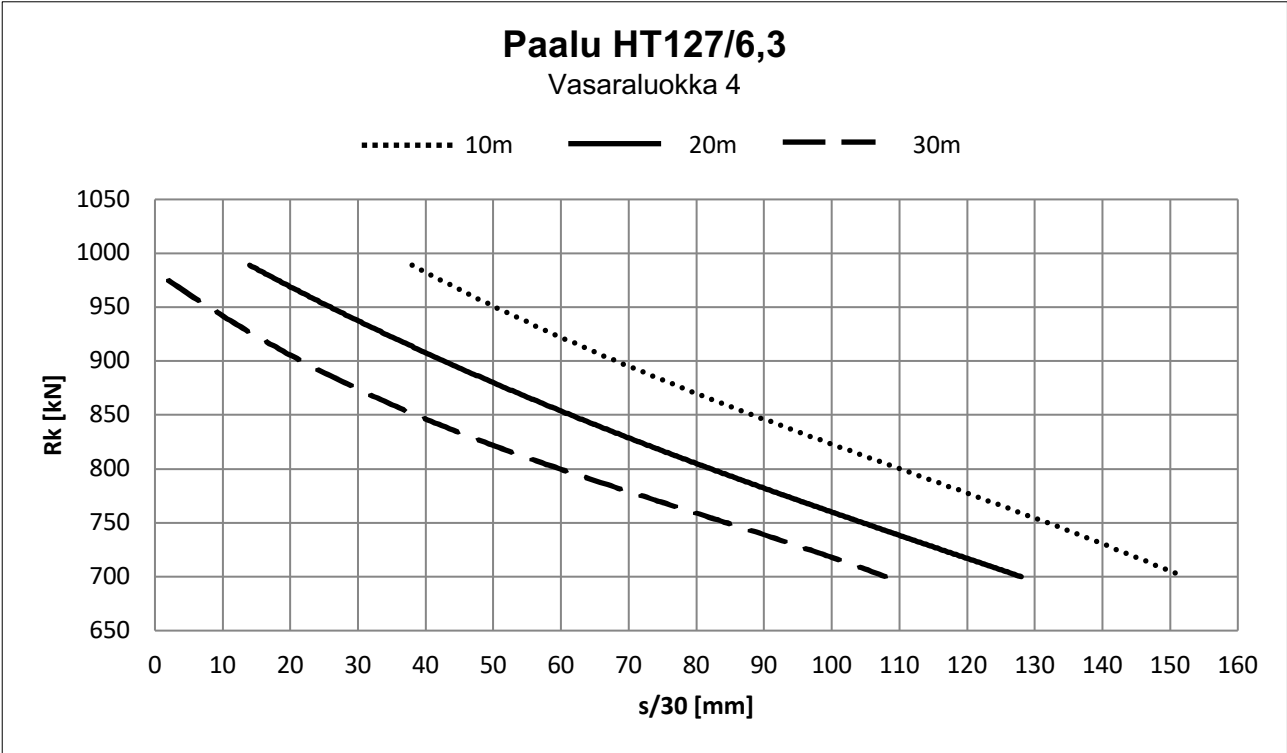
Luokka 3.5	Rammer S56
	Furukawa F19
	MSB MS600H



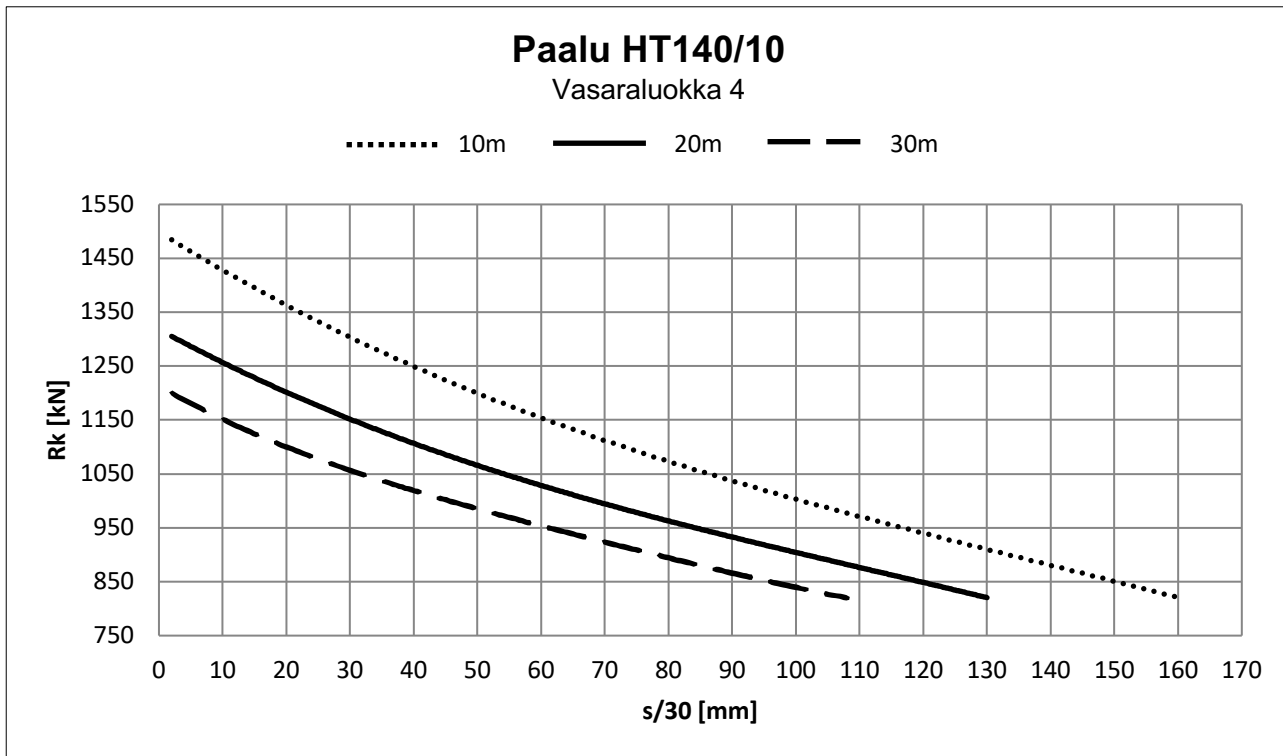
Luokka 4.0	Rammer E68
	Furukawa HB20G
	SPD1500



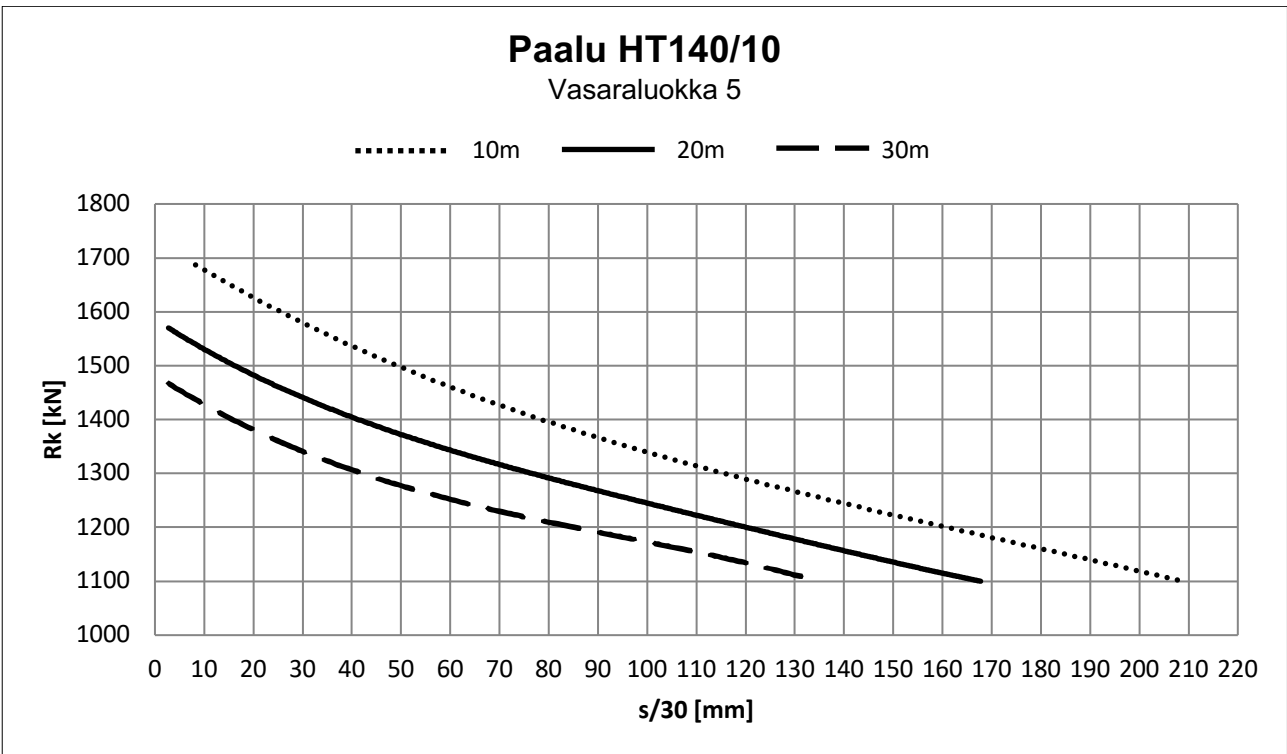
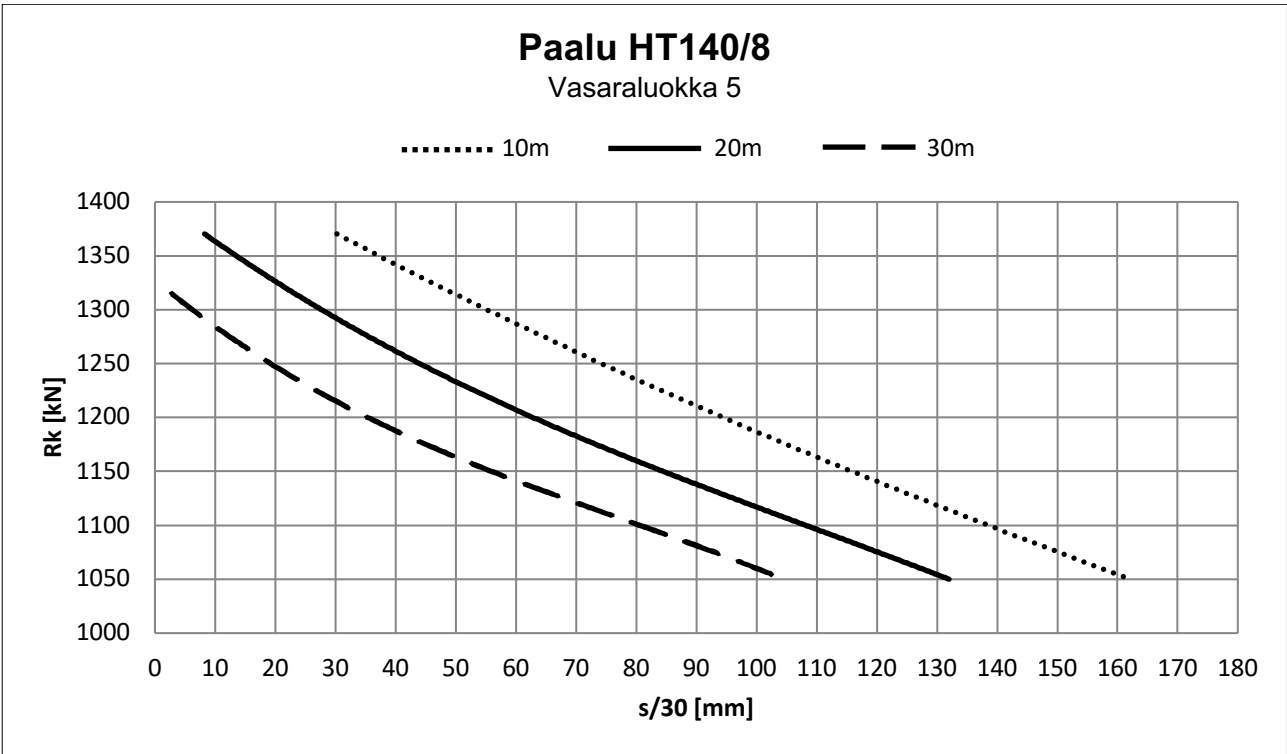
Luokka 4.0	Rammer E68
	Furukawa HB20G
	SPD1500



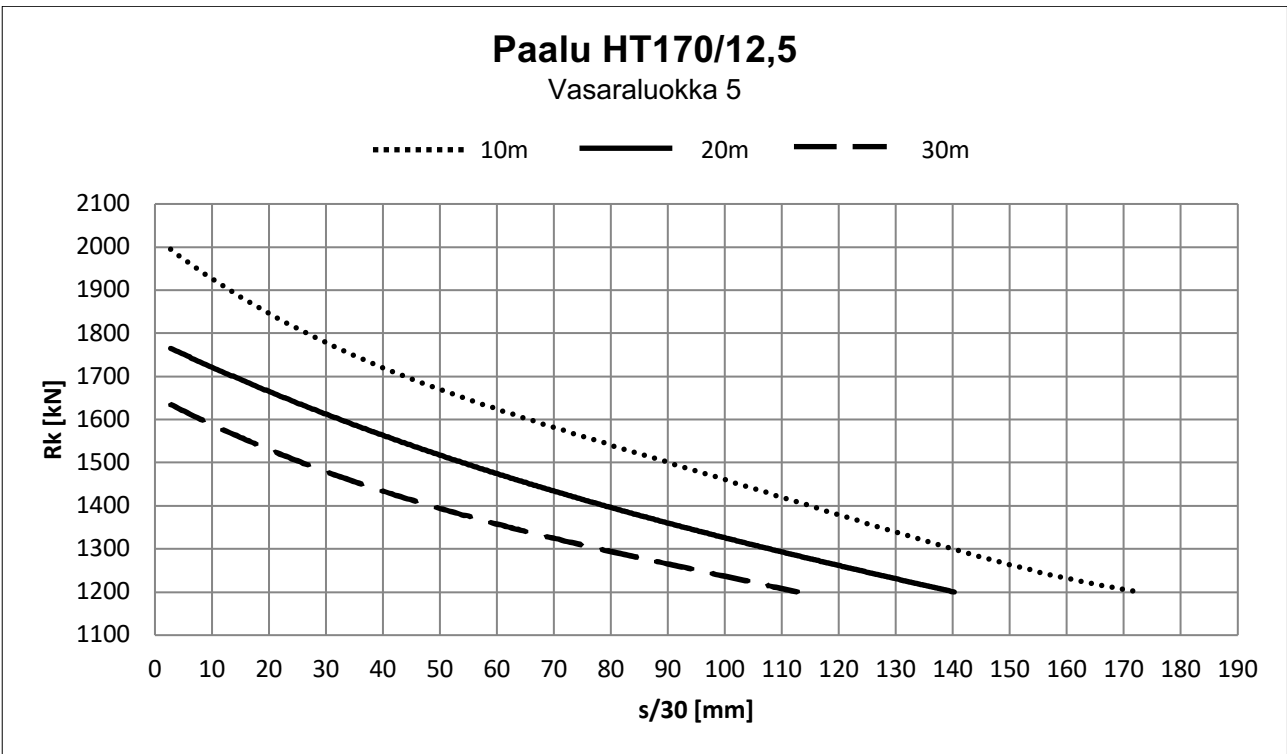
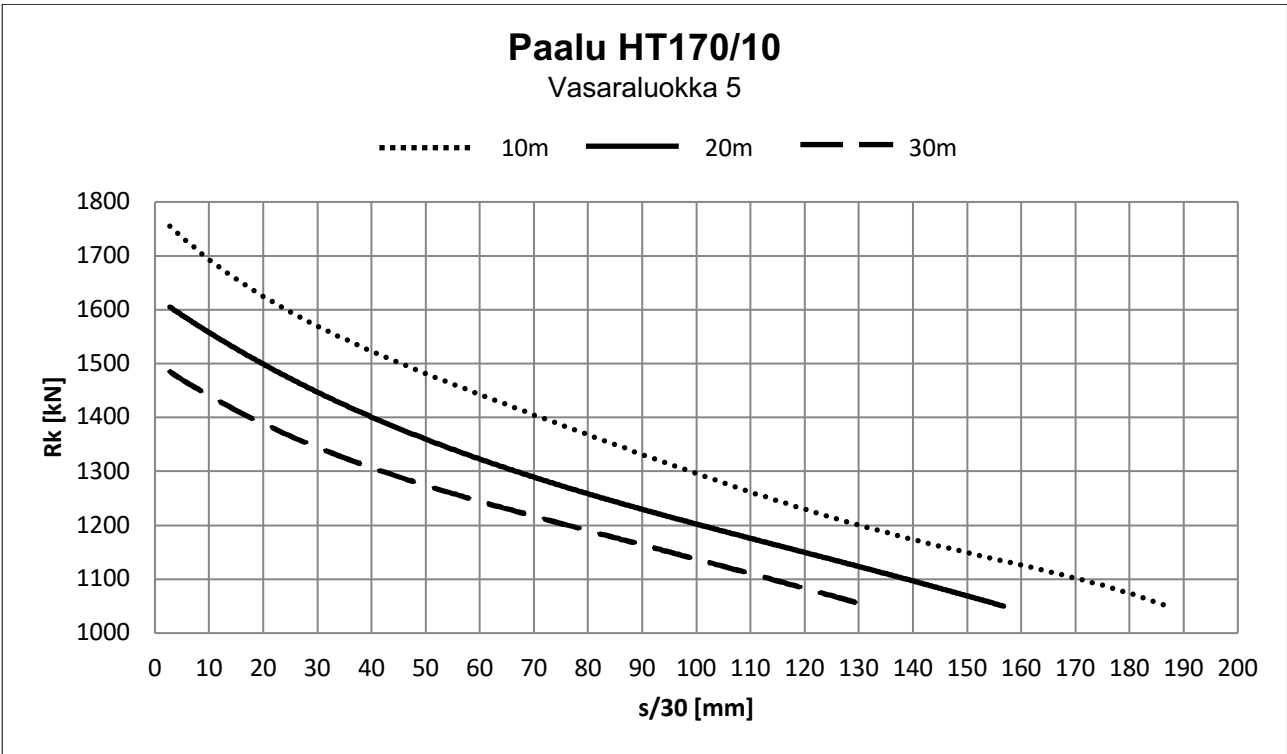
Luokka 4.0	Rammer E68
	Furukawa HB20G
	SPD1500



Luokka 5.0	SPD2000
------------	---------



Luokka 5.0	SPD2000
------------	---------



5.1 Pudotus- ja hydraulijärkäleet

Järkäleillä on laskettu valittua loppulyöntipainumaa ja paalutustyöluokan geoteknisen kestävyuden ominaisarvon maksimiarvoa vastaava vaadittu pudotuskorkeus. PTL1:ssä ja PTL2:ssa loppulyöntipainumaksi on valittu ”10 mm / 10 iskun sarja”. PTL3:ssa, jossa lyöntijännitykset rajoittavat pudotuskorkeutta, loppulyöntipainumana on käytetty 6 mm. Pudotuskorkeuden maksimiarvo on rajattu 1,5 metriin käytettyjen tyyppillisten lyöntilaitteiden maksimipudotuskorkeuden mukaan.

4t kiihdytetty järkäle, Junttan HHK

Paalutyyppi	Rk-max [kN]			Rd [kN]			Painuma S ₁₀	Pituus [m]	Pudotuskorkeus [m]		
	PTL1	PTL2	PTL3	PTL1	PTL2	PTL3	[mm]		PTL1	PTL2	PTL3
HT140/8	822	1096	1370	466	621	777	10 / 6*	10	0,20	0,32	0,4 (1300)*
								20	0,31	0,53	0,75 (1360)*
								30	0,36	0,63	0,8 (1280)*
HT140/10	1012	1350	1687	574	765	956	10 / 6*	10	0,24	0,39	0,5 (1635)*
								20	0,36	0,60	0,75 (1590)*
								30	0,43	0,72	0,95 (1610)*
HT170/10	1235	1647	2059	700	934	1167	10 / 6*	10	0,30	0,48	0,6 (1950)*
								20	0,43	0,71	0,85 (1895)*
								30	0,52	0,87	1,1 (1935)*
HT170/12,5	1520	2026	2533	862	1149	1436	10 / 6*	10	0,36	0,58	0,75 (2440)*
								20	0,49	0,83	1,05 (2375)*
								30	0,60	1,02	1,35 (2435)*
HT220/10	1632	2176	2720	925	1233	1542	10 / 6*	10	0,44	0,69	0,85 (2585)*
								20	0,60	0,98	1,15 (2485)*
								30	0,72	1,19	1,4 (2480)*
HT220/12,5	2015	2687	3359	1142	1523	1904	10 / 6*	10	0,50	0,82	1,05 (3155)*
								20	0,70	1,16	1,5 (3210)*
								30	0,82	1,38	1,5 (2980)*
HT270/10	2052	2737	3421	1163	1551	1939	10 / 6*	10	0,59	0,94	1,1 (3180)
								20	0,84	1,35	1,5 (3060)*
								30	1,00	1,5 (2640)	1,5 (2810)*
HT270/12,5	2541	3388	4235	1441	1921	2401	10 / 6*	10	0,70	1,12	1,3 (3900)*
								20	0,99	1,5 (3290)	1,5 (3490)*
								30	1,14	1,5 (3030)	1,5 (3250)*
HT320/10	2450	3266	4083	1389	1852	2314	10 / 6*	10	0,76	1,20	1,3 (3665)*
								20	1,11	1,5 (2950)	1,5 (3150)*
								30	1,28	1,5 (2700)	1,5 (2865)*
HT320/12,5	3038	4050	5063	1722	2296	2870	10 / 6*	10	0,93	1,45	1,5 (4380)*
								20	1,30	1,5 (3330)	1,5 (3560)*
								30	1,42	1,5 (3135)	1,5 (3360)*

4t ei-kiihdytetty järkäle, Junttan HHK

Paalutyyppe	Rk-max [kN]			Rd [kN]			Painuma S ₁₀	Pituus [m]	Pudotuskorkeus [m]		
	PTL1	PTL2	PTL3	PTL1	PTL2	PTL3	[mm]		PTL1	PTL2	PTL3
HT140/8	822	1096	1370	466	621	777	10 / 6*	10	0,24	0,38	0,45 (1260)*
								20	0,37	0,63	0,85 (1330)*
								30	0,43	0,74	0,95 (1280)*
HT140/10	1012	1350	1687	574	765	956	10 / 6*	10	0,28	0,46	0,55 (1570)*
								20	0,42	0,71	0,95 (1640)*
								30	0,51	0,86	1,1 (1590)*
HT170/10	1235	1647	2059	700	934	1167	10 / 6*	10	0,36	0,58	0,75 (2000)*
								20	0,51	0,84	1,05 (1930)*
								30	0,62	1,03	1,35 (1965)*
HT170/12,5	1520	2026	2533	862	1149	1436	10 / 6*	10	0,43	0,69	0,9 (2440)*
								20	0,59	0,99	1,25 (2380)*
								30	0,72	1,22	1,5 (2350)*
HT220/10	1632	2176	2720	925	1233	1542	10 / 6*	10	0,52	0,82	1,05 (2630)*
								20	0,71	1,16	1,4 (2515)*
								30	0,86	1,42	1,5 (2350)*
HT220/12,5	2015	2687	3359	1142	1523	1904	10 / 6*	10	0,60	0,97	1,2 (3170)*
								20	0,84	1,38	1,5 (2940)*
								30	0,98	1,5 (2580)	1,5 (2735)*
HT270/10	2052	2737	3421	1163	1551	1939	10 / 6*	10	0,71	1,11	1,3 (3170)*
								20	1,00	1,5 (2640)	1,5 (2785)*
								30	1,18	1,5 (2380)	1,5 (2540)*
HT270/12,5	2541	3388	4235	1441	1921	2401	10 / 6*	10	0,84	1,33	1,5 (3840)*
								20	1,17	1,5 (2960)	1,5 (3165)*
								30	1,35	1,5 (2720)	1,5 (2935)*
HT320/10	2450	3266	4083	1389	1852	2314	10 / 6*	10	0,91	1,42	1,5 (3595)*
								20	1,32	1,5 (2660)	1,5 (2840)*
								30	1,5 (2435)	1,5 (2435)	1,5 (2570)*
HT320/12,5	3038	4050	5063	1722	2296	2870	10 / 6*	10	1,10	1,5 (3710)*	1,5 (3960)*
								20	1,5 (3000)	1,5 (3000)	1,5 (3195)*
								30	1,5 (2840)	1,5 (2840)	1,5 (3020)*

5t kiihdytetty järkäle, Junttan HHK

Paalutyyppe	Rk-max [kN]			Rd [kN]			Painuma S ₁₀	Pituus [m]	Pudotuskorkeus [m]		
	PTL1	PTL2	PTL3	PTL1	PTL2	PTL3	[mm]		PTL1	PTL2	PTL3
HT170/10	1235	1647	2059	700	934	1167	10 / 6*	10	0,24	0,38	0,45 (1915)*
								20	0,35	0,59	0,7 (1885)*
								30	0,40	0,67	0,8 (1875)*
HT170/12,5	1520	2026	2533	862	1149	1436	10 / 6*	10	0,29	0,47	0,6 (2470)*
								20	0,42	0,71	0,95 (2420)*
								30	0,48	0,82	1,05 (2380)*
HT220/10	1632	2176	2720	925	1233	1542	10 / 6*	10	0,34	0,54	0,65 (2560)*
								20	0,49	0,81	1,05 (2610)*
								30	0,57	0,96	1,2 (2530)*
HT220/12,5	2015	2687	3359	1142	1523	1904	10 / 6*	10	0,40	0,64	0,8 (3245)*
								20	0,56	0,92	1,15 (3170)*
								30	0,68	1,13	1,35 (3100)*
HT270/10	2052	2737	3421	1163	1551	1939	10 / 6*	10	0,48	0,74	0,85 (3185)*
								20	0,65	1,05	1,25 (3175)*
								30	0,79	1,28	1,4 (3010)*
HT270/12,5	2541	3388	4235	1441	1921	2401	10 / 6*	10	0,52	0,87	1,0 (3910)*
								20	0,72	1,23	1,45 (3880)*
								30	0,84	1,48	1,5 (3685)*
HT320/10	2450	3266	4083	1389	1852	2314	10 / 6*	10	0,61	0,95	1,05 (3710)*
								20	0,85	1,35	1,45 (3580)*
								30	1,03	1,5 (3110)	1,5 (3290)*
HT320/12,5	3038	4050	5063	1722	2296	2870	10 / 6*	10	0,72	1,12	1,25 (4560)*
								20	1,01	1,5 (3900)	1,5 (4100)*
								30	1,17	1,5 (3570)	1,5 (3930)*

5t ei-kiihdytetty järkäle, Junttan HHK

Paalutyyppe	Rk-max [kN]			Rd [kN]			Painuma S ₁₀	Pituus [m]	Pudotuskorkeus [m]		
	PTL1	PTL2	PTL3	PTL1	PTL2	PTL3	[mm]		PTL1	PTL2	PTL3
HT170/10	1235	1647	2059	700	934	1167	10 / 6*	10	0,29	0,46	0,55 (1940)*
								20	0,42	0,70	0,85 (1905)*
								30	0,48	0,80	0,95 (1875)*
HT170/12,5	1520	2026	2533	862	1149	1436	10 / 6*	10	0,35	0,56	0,7 (2445)*
								20	0,50	0,85	1,15 (2450)*
								30	0,57	0,98	1,25 (2390)*
HT220/10	1632	2176	2720	925	1233	1542	10 / 6*	10	0,41	0,65	0,8 (2615)*
								20	0,58	0,96	1,25 (2615)*
								30	0,68	1,14	1,4 (2520)*
HT220/12,5	2015	2687	3359	1142	1523	1904	10 / 6*	10	0,48	0,76	0,95 (3245)*
								20	0,66	1,09	1,4 (3210)*
								30	0,81	1,34	1,5 (2995)*
HT270/10	2052	2737	3421	1163	1551	1939	10 / 6*	10	0,57	0,88	1,05 (3270)*
								20	0,78	1,24	1,45 (3140)*
								30	0,94	1,5 (2725)	1,5 (2860)*
HT270/12,5	2541	3388	4235	1441	1921	2401	10 / 6*	10	0,66	1,03	1,2 (3930)*
								20	0,91	1,47	1,5 (3615)*
								30	1,08	1,5 (3110)	1,5 (3345)*
HT320/10	2450	3266	4083	1389	1852	2314	10 / 6*	10	0,73	1,13	1,25 (3710)*
								20	1,01	1,5 (3170)	1,5 (3320)*
								30	1,22	1,5 (2805)	1,5 (2975)*
HT320/12,5	3038	4050	5063	1722	2296	2870	10 / 6*	10	0,85	1,33	1,45 (4505)*
								20	1,20	1,5 (3520)	1,5 (3715)*
								30	1,39	1,5 (3220)	1,5 (3535)*