

11.9.2015

110 kV verkon sähkön laaturaportti

Sisällysluettelo

1	Johdanto	2
2	Jännitteen laatu 110 kV verkossa	2
2.1	Verkkojännitteen taajuus	3
2.2	Jännitteen taso.....	3
2.3	Jännitteen vaihtelut	3
2.4	Jännitekuopat.....	4
2.5	Ylijännitteet	4
2.5.1	Käyttötaajuiset ylijännitteet.....	5
2.5.2	Kytkenä- ja ilmastolliset ylijännitteet	5
2.6	Jännite-epäsymmetria.....	5
2.7	Jännitteen ja virran harmoniset yliaallot.....	6
2.8	Epäharmoniset yliaallot	7
3	Käytettävyys ja siirtovarmuus	7
3.1	Liittymispistekohtaiset mittarit.....	7
3.2	Energiapohjaiset mittarit.....	8
3.3	Energiavirastolle toimitettavat tunnusluvut	8
	Viiteluettelo	9
	Liite 1 Psfometrikertoimet	10

11.9.2015

1 Johdanto

Tässä raportissa määritellään Fingrid Oyj:n (jäljempänä Fingrid) 110 kV verkon sähkön laatutekijät. Kantaverkkoon liittyvän asiakkaan (jäljempänä Liittyjä) tulee varautua 110 kV liittymispisteen sähkönlaadun vaihteluihin ja mitoittaa sähkölaitteensa siten, että ne kestävät tässä raportissa kuvatut jännitteen ja taajuuden vaihtelut. Liittyjän tulee huolehtia siitä, ettei poikkeuksellinen jännite tai taajuus, eikä jännitteen häviäminen aiheuta vahinkoa Liittyjän tai muiden osapuolten sähkölaitteistoille. Liittyjä on velvollinen noudattamaan liittymispisteissään tässä raportissa asetettuja rajoja käyttötaajuutta suurempitaajuisten virtojen syöttämiselle verkkoon (emissiovirtarajoja).

Sähkötoimituksessa keskeytykset ovat mahdollisia. Keskeytykset voivat olla odottamattomia, häiriöstä johtuvia tai suunniteltuja, esimerkiksi huoltotoimenpiteiden aiheuttamia. Jos asiakas tarvitsee keskeytyksetöntä sähköä tai tavallista parempaa sähkön laatua, asiakkaan tulee varmistaa tämä omilla järjestelmillään tai mikäli mahdollista, sopimalla Fingridin kanssa tällaiseen sähkön siirtoon liittyvistä erityisjärjestelyistä.

Sähkömarkkinalain (588/2013) 97. § käsittelee sähkön laatua ja virhettä seuraavasti: "Sähkönjakelussa ja muussa verkkopalvelussa sekä sähkötoimituksessa on virhe, jos sähkön laatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä voidaan katsoa sovitun... Jollei toisin ole sovittu, sähkönjakelussa ja muussa verkkopalvelussa sekä sähkötoimituksessa on virhe, jos sähkö ei laadultaan vastaa Suomessa noudatettavia standardeja taikka jos sähkönjakelu tai sähkötoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä."

Sähkömarkkinalaissa viitataan Suomessa noudatettavaan standardeihin. Sovellettavissa olevat standardit eivät määrittele jännitteen laatutasoa suurjännitteisessä sähkönsiirtoverkossa. Standardi SFS-EN 50160:2010 määrittelee suurjänniteverkon jänniteominaisuudet jännitteelle, jonka tehollisarvo on $36 \text{ kV} < U_N \leq 150 \text{ kV}$, standardin soveltamisala koskee vain sähkönjakeluverkkoja [1]. Tässä raportissa esitetyt Fingridin määrittämät sähkön laatutekijät kantaverkossa ovat tiukemmat kuin standardin EN50160:2010 suurjännitteiselle sähkönjakeluverkolle asettamat raja-arvot.

2 Jännitteen laatu 110 kV verkossa

Valtaosa Fingridin asiakkaista liittyy 110 kV jännitteiseen verkkoon. Jäljempänä on esitetty 110 kV jännitteen laatua koskevat laatutekijät, jotka pätevät voimajärjestelmän ollessa normaalitilassa ellei asiasta erikseen muuta mainita. Normaalitila ei tyypillisesti ole voimassa seuraavissa olosuhteissa:

- a. Vakavien, mitoituskriteereitä pahempien, vikojen aikana ja niiden jälkitilanteissa.
- b. Ylivoimaisen esteen olosuhteissa (esim. force majeure, poikkeukselliset luonnonilmiöt tai -katastrofit, viranomaisten toimenpiteet, työtaistelut).
- c. Ulkopuolisten aiheuttamissa häiriöissä tai tilanteissa, joissa verkkoon liittyvät ylittävät huomattavasti sovitut emissiorajat tai eivät muuten täytä verkkoon liitynnän vaatimuksia.

11.9.2015

d. Poikkeukselliset keskeytysolosuhteet huoltojen tai verkon rakentamisen vuoksi, jolloin verkko on olennaisesti heikompi.

CIGRE on julkaissut jännitteen laatua käsittelevän raportin No 261 [13], jossa annetuista suosituksista on poimittu tähän raporttiin Fingridin kannalta keskeisimmät.

Jännitteen laatua kuvaavien suureiden mittausjaksot on yhdenmukaistettu SFS-EN50160 standardin mukaan.

Jännitteen laatuun liittyvien suureiden mittaus on määritelty IEC standardeissa [5] ja [6].

2.1 Verkkojännitteen taajuus

Fingridin verkon ollessa yhteydessä pohjoismaiseen synkronijärjestelmään, perustaajuuden keskiarvon mitattuna 10 s ajanjaksolta normaaleissa käyttöolosuhteissa tulee olla välillä:

50 Hz \pm 1 %, 99,5 % vuodesta.

2.2 Jännitteen taso

Verkon pääjännitteen nimellisarvo U_N on 110 kV ja tyypillinen käyttöjännite 118 kV.

Pääjännitteen tehollisarvon 10 min keskiarvo on vähintään 95 % ajasta alueen 105...122 kV sisällä ja 100 % ajasta alueen 100...123 kV sisällä viikon mittausjakson aikana, keskeytyksiä lukuun ottamatta.

2.3 Jännitteen vaihtelut

Käyttötoimenpiteistä aiheutuu tyypillisesti nopeita jännitteen muutoksia, joissa jännitteen taso muuttuu alle sekunnin aikana tasolta toiselle. Verkon normaalikäyttöolosuhteissa nopeat jännitteenmuutokset eivät ylitä taulukon 1 arvoja. Suurempia yksittäisiä muutoksia voi poikkeuksellisesti esiintyä erityisesti häiriöiden yhteydessä.

Taulukko 1. Nopeat jännitemuutokset verkon normaalikäyttöolosuhteissa.

Jännitemuutosten esiintymistaajuus	Jännitteen muutos %
kerran vuorokaudessa	< 6
alle 24 kertaa vuorokaudessa	< 4
yli 24 kertaa vuorokaudessa	< 3

Huom. Yli 10 % nopeaa jännitteenlaskua sanotaan jännitekuopaksi, vrt. kohta 2.4 .

Jännitteen muutosten ollessa usein toistuvia ja nopeita niitä kutsutaan välkynnäksi (engl. flicker) ja mitataan erityisellä mittarilla [6], joka antaa mittaustuloksena 10 min mittausjaksolle lyhytaikaisen häiritsevyyssindeksin P_{st} arvon. Lyhytaikaisista häiritsevyyssindekseistä lasketaan pitkäaikainen häiritsevyyssindeksi P_{lt} yhtälön (1) mukaisesti. Suunnittelun tavoitteena on pitää lyhytaikainen häiritsevyyssindeksi arvon 1,0 (95 % viikon mittausarvoista alle 1,0) ja pitkäaikainen jännitteenvaihtelun häiritsevyyssindeksi arvon 0,8 alapuolella (95 % viikon mittausarvoista alle 0,8).

11.9.2015

$$P_{lt} = \left[\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st,i}^3}{12} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

2.4 Jännitekuopat

Jännitekuopaksi sanotaan jännitteen alenemaa, joka on kestoltaan 10 ms ... 1 min ja suuruudeltaan yli 10 % kuoppaa edeltävästä jännitetasosta.

Jännitekuoppien määrälle ja suuruuksille ei ole standardivaatimuksia, koska niiden määrä on suuresti riippuvainen verkon rakenteesta, maantieteellisestä sijainnista, sääoloista, suojaustavoista ym. Määrä vaihtelee edellä mainituista syistä vuosittain hyvin laajoissa rajoissa. Jännitekuopista keskimäärin 80 % on maasulkujen aiheuttamia, jolloin ne näkyvät pienjännitepuolella lähinnä viallisessa vaiheessa ja ovat vikapaikan lähellä 110 kV verkon maadoitustavan ansiosta keskimäärin alle 20 % vaihejännitteestä. 220 kV ja 400 kV verkon puolella olevat sekä monivaiheiset 110 kV viat aiheuttavat kuitenkin syvemmän jännitekuopan laajalla alueella.

Suuntaa antavana informaationa on taulukossa 2 esitetty 110 kV verkon liittymispisteen vaihejännitteessä odotettavissa oleva jännitekuoppien vuosittainen keskiarvo. Jännitekuopan keston määrää lähinnä suojauksen toiminta-aika. Jos vika sijaitsee suotuisasti ja suojaus toimii ensimmäisessä vyöhykkeessä, kuopan kesto on yleensä alle 100 ms. Vian sijaitessa toisessa suojausvyöhykkeessä tai varasuojauksen toimiessa, kesto voi olla huomattavasti pidempi. Jännitekuopan syvyyteen vaikuttaa vian resistanssi ja etäisyys havaintopisteestä sekä verkon oikosulkuteho ja alueellinen rakenne. Lisäksi on huomattava kuopan siirtyminen muuntajien lävitse. Pienjännitepuolelle kytketyt kulutuslaitteet näkevät vain osan 110 kV jännitekuopasta, koska jännitteen nollakomponentti ei siirry tavallisimmin käytettyjen muuntajien lävitse.

Taulukko 2. 110 kV vaihejännitteen jännitekuoppien lukumäärän vuosikeskiarvo kuopan syvyyden ja keston mukaan luokiteltuna.

Kuoppa	< 20 ms	20...100 ms	0,1.. 0,5 s	0,5... 1 s	1...5 s
10...< 15 %	30	15	5	5	1
15...< 30 %	20	20	5	5	1
30...< 60%	10	10	5	2	1
60...< 99%	5	5	1	1	0

2.5 Ylijännitteet

Verkon ylijännitteille ei ole määritelty tässä raportissa vaihtelurajoja, koska ylijännitteet ovat luonteeltaan poikkeuksellisia eikä niitä voida avojohtoverkossa täsmällisesti kohtuudella rajoittaa. Niistä voidaan antaa vain informatiivista ja tilastollista tietoa.

11.9.2015

2.5.1 Käyttötaajuiset ylijännitteet

Ylijännitteen merkittävin syy on maasulun aikainen terveiden vaiheiden jännitteen nousu. Verkon maadoitustavasta riippuen jännite voi nousta jopa 1,8-kertaiseksi vikaa edeltävään tilanteeseen verrattuna. 110 kV verkko ei ole tehollisesti maadoitettu ja vain osa 110 kV verkon muuntajien tähtipisteistä on maadoitettu. Syynä tähän on tarve rajoittaa maasulkuvirtojen ja vaarajännitteiden tasoa. Normaalisti jokaisesta 110 kV verkon pisteestä on yhteys johonkin maadoitettuun 110 kV tähtipisteeseen.

Tilapäisesti on mahdollista, että yhteys maadoitukseen on katkennut esimerkiksi verkkovikojen jälkeen ja tällöin maasulun aikana terveissä vaiheissa voi olla pääjännitteen suuruinen jännite. Käytännössä jännitteen nousu rajoittuu yleensä alueelle $1,2...1,5 \cdot U_N$, mutta verkkoon liitettävien laitteiden mitoitusperusteena on syytä käyttää mainittua maksimiarvoa 1,8 p.u. Koska nämä ylijännitteet liittyvät verkossa esiintyviin vikoihin, kuten jännitekuopatkin, niiden esiintymistiheyttä voidaan verrata taulukon 2 esiintymismääriin.

2.5.2 Kytkentä- ja ilmastolliset ylijännitteet

Pääosa 110 kV verkon kytkentäylijännitteistä syntyy kondensaattoreiden verkkoon kytkennässä ja johtojen pikajälleenkytkennöissä. Kantaverkon kondensaattoriparistojen tähtipiste ei yleensä ole maadoitettu. Kun kondensaattori kytketään vaiheiden välille, niin tällöin hetkellinen vaihe-maa jännite voi saavuttaa maksimissaan jopa 1,8-kertaisen arvon kytkentää edeltävän vaihejännitteen huippuarvoon verrattuna. Ylijännite on muodoltaan värähtelevä (300...700 Hz) ja vaimenee tyypillisesti jakson aikana pois. Joissain tapauksissa ylijännitevärähtely voi resonanssien vaikutuksesta vahvistua alajännitepuolelle siirtyessään jopa kymmeniä prosentteja. Tämän suuruiset ylijännitteet verkkoon kytkettävien laitteiden ja järjestelmien tulee sietää vikaantumatta.

Johtojen kytkentöjen yhteydessä, erityisesti pikajälleenkytkennässä voi syntyä suurehkoja ylijännitteitä, jopa yli 3 kertaa vaihejännitteen huippuarvo. Tällaisten ylijännitteiden todennäköisyys on kuitenkin pieni ja kesto vain millisekuntiluokkaa.

Avojohtoverkossa ilmastollisia ylijännitteitä rajoittavat etupäässä verkon jännitelujuus ja asemilla ylijännitesuojat. Tästä syystä voidaan vain karkeasti todeta, että ilmastollisten ylijännitteiden amplitudi on asemilla alle 4 p.u. ja johdon varrella alle 6 p.u.

2.6 Jännite-epäsymmetria

Kolmivaihejärjestelmän jännitteen vastakomponentin 10 min keskiarvo on alle 2 % nimellisjännitteen vaihejännitteestä (95 % arvo viikon mittausjakson arvoista).

Tämän tavoitteen saavuttamiseksi Liittyjän kuormitusvirran vastakomponentti saa olla korkeintaan taulukon 4 määrittämän arvon suuruinen. Jos kuormituksen luonne on tästä poikkeava, asiasta on sovittava erikseen.

11.9.2015

2.7 Jännitteen ja virran harmoniset yliaallot

Harmonisten yliaaltojännitteiden tasojen arvioinnissa käytetään viikon mittausjakson aikana kerättyjä 10 min keskiarvoja, joista 99 % tulee olla taulukon 3 arvoja pienemmät.

Liittyjä saa syöttää Fingridin verkkoon korkeintaan taulukon 4 referenssivirtaan verratut yliaaltovirrat. Referenssivirta lasketaan Liittyjän liittymispisteen siirtotehon keskiarvon perusteella nimellisjännitteellä ja tehokertoimella 1.

Vaihevirran psfometriarvolla tarkoitetaan viitteessä [9] määriteltyä yhtälön (2) mukaista arvoa:

$$I_p = \frac{1}{1000} \cdot \sqrt{\sum_{h=1}^{h=N} (p_h \cdot I_h)^2} \quad (2)$$

missä :

- I_h vaihevirran h:s harmoninen komponentti
 h harmoninen järjestysluku
 N laskentaan mukaan otettavien harmonisten lukumäärä on 100
 p_h taajuuspainotuskerroin harmonisella h , kuva 1 ja liite 1

Taulukko 3. Harmonisten yliaaltojännitteiden maksimitasot 110 kV verkossa, prosentteina perustaajuisesta jännitteestä.

Parittomat ei kolmella jaolliset		Parittomat kolmella jaolliset		Parilliset	
n	%	n	%	n	%
5	3,0	3	3	2	1,0
7	2,5	9	1,3	4	0,7
11	1,7	15	0,5	6	0,5
13	1,7	21	0,5	>6	0,3
17	1,5	>21	0,3		
19	1,5				
23	0,8				
25	0,8				
>25	0,5				
Jännitteen harmoninen kokonaissärö				< 3 %	

Taulukko 4. Liittyjälle sallitut emissiovirtarajat prosentteina Liittyjän referenssivirrasta.

Virran kokonaissärö	6 %
Vaihevirran psfometriarvo	5 A
Virran vastakomponentti	20 %

11.9.2015

2.8 Epäharmoniset yliaallot

Normaalisti epäharmoniset yliaallot ovat harmonisia yliaaltoja huomattavasti pienemmät eikä niille ole toistaiseksi standardeissa määritelty raja-arvoja. Epäharmonisia yliaaltoja synnyttävät mm. valokaariuunit, hitsauskoneet ja nopeasti vaihtelevat suuntaajakäytöt. Toistaiseksi ei ole ollut tarvetta asettaa raja-arvoja.

3 Käytettävyys ja siirtovarmuus

Käytettävyys käsite liittyy laitteeseen tai järjestelmään ja kertoo ajasta, jonka laite tai järjestelmä on ollut käytössä ja pois käytöstä. Tunnuslukuna käytettävyys on moniselitteinen. Jos tarkastellaan samaa verkkoa vuodesta toiseen, luku kuvastaa lähinnä huoltojen vaatimaa suhteellista käytöstä poissaoloaikaa eikä niinkään palvelun laatua. Silmukoidulla verkolla käytettävyys ei suoraan kerro vaikutusta verkon siirtokykyyneen, koska aina on olemassa rinnakkaisia reittejä, vaikka jokin virtapiiri olisi pois käytöstä. Liittymispisteen kokonaiskäytettyä mitataan seuraamalla häiriöiden ja kunnossapitokeskeytysten määrää ja kestoa.

Siirtovarmuutta voidaan arvioida pistekohtaisesti tai käyttäjäkohtaisesti. Käyttäjakohtainen tarkastelu on järkevää loppukäyttäjille tyypillisesti jakeluverkossa, mutta siirtoverkossa on luontevampaa tarkastella siirtovarmuutta liittymispisteiden tunnuslukujen avulla.

3.1 Liittymispistekohtaiset mittarit

Järjestelmän keskimääräinen häiriökeskeytysaika SAIDI (System Average Interruption Duration Index):

$$SAIDI = \frac{\text{Liittymispisteiden häiriökeskeytysaikojen summa vuodessa}}{\text{Liittymispisteiden lukumäärä}}$$

Tavoitearvo keskimääräiselle häiriökeskeytysajalle: < 6 min / liittymispiste, vuosi

Järjestelmän keskimääräinen keskeytystaajuus (vain yli 30 s häiriöt) SAIFI (System Average Interruption Frequency Index):

$$SAIFI = \frac{\text{Liittymispisteiden häiriökeskeytysten kokonaismäärä vuodessa}}{\text{Liittymispisteiden lukumäärä}}$$

Tavoitearvo keskimääräiselle häiriökeskeytystaajuudelle: ≤ 1 kpl / liittymispiste, vuosi

11.9.2015

3.2 Energiapohjaiset mittarit

Järjestelmäminuutti, SM (CIGRE):

$$SM = \frac{\text{Siirtämättä jäänyt energia} \cdot 60}{\text{Järjestelmän maksimikulutus}} \cdot \text{min}$$

Siirtämättä jäänyt energia (MWh), ja järjestelmän maksimikulutus (MW).

Tavoitearvo: SM < 2 minuuttia

3.3 Energiavirastolle toimitettavat tunnusluvut

Energiavirasto on antanut määräyksen sähkömarkkinalain (588/2013) 27 §:n 3 momentin nojalla sähköverkkotoiminnan tunnusluvuista. Fingrid toimittaa tunnusluvut Energiavirastolle vuosittain. Tunnusluvut käsittelevät osaltaan sähkön laatua ja ne ovat julkisesti saatavilla Energiaviraston verkkosivuilta.

11.9.2015

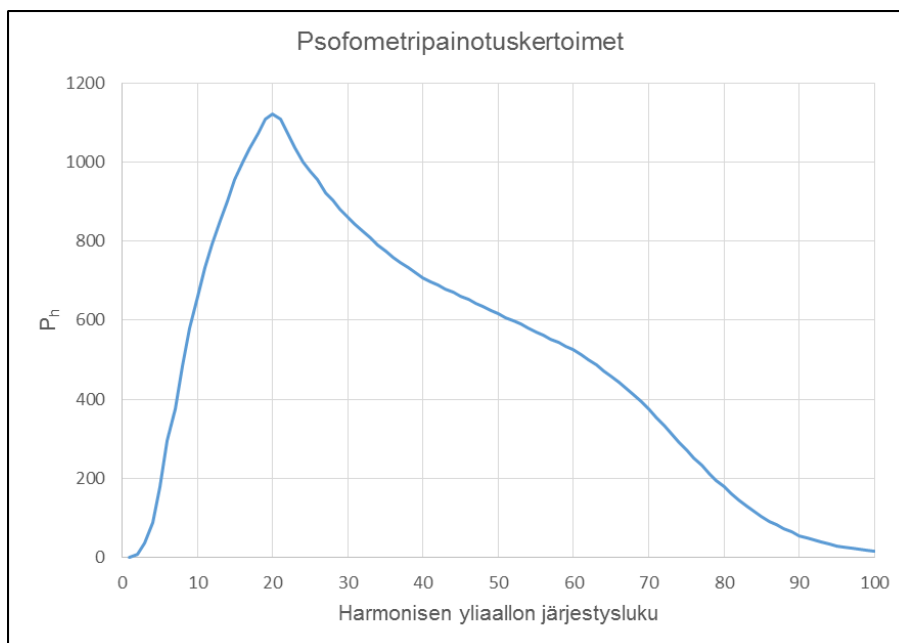
Viiteluettelo

- [1]. CENELEC EN 50160:2010 – Voltage Characteristics of Electricity supplied by public electricity networks. European standard (supersedes EN 50160:2007).
- [2]. IEC 61000-3-6:2008 – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems
- [3]. IEC 61000-3-7:2008 – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems
- [4]. IEC 61000-4-7, 2009, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto
- [5]. IEC 61000-4-30, 2008, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods
- [6]. IEC 61000-4-15, 2010, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications
- [7]. IEC 61000-2-12, 2003-04: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-12: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public medium-voltage power supply systems.
- [8]. IEC 61000-2-8, 2002, Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results, Technical Report.
- [9]. CCITT, "Danger and Disturbance", Directives Volume VI, Geneve 1989.
- [10]. NVE, Dokument nr 13-2004, Forskrift om leveringkvalitet i kraftsystemet, Oslo, December 2004
- [11]. EURELECTRIC Power quality in European Electricity Networks, 1st edition, report 2002-2700-0005. Feb. 2002.
- [12]. Guide to quality of electricity supply for industrial applications, part 2. Voltage dips and short interruptions. Paris, France: UIE, 1996.
- [13]. Power Quality Indices and Objectives, CIGRE Publication No 261, October 2004

11.9.2015

Liite 1 Psfometrikertoimet

h	P _h	h	P _h	h	P _h	h	P _h	h	P _h
1	0.7	21	1109	41	698	61	513	81	161.3
2	8.9	22	1072	42	689	62	501	82	144.5
3	35.5	23	1035	43	679	63	487	83	130.3
4	89.1	24	1000	44	670	64	473	84	116
5	178	25	977	45	661	65	458.5	85	104.2
6	295	26	955	46	652	66	444	86	92.3
7	376	27	923	47	643	67	428	87	82.4
8	484	28	905	48	634	68	412	88	72.4
9	580	29	881	49	625	69	394	89	64.3
10	661	30	861	50	617	70	376	90	56.2
11	733	31	842	51	607	71	355.5	91	50
12	794	32	824	52	598	72	335	92	43.7
13	851	33	807	53	590	73	313.5	93	38.8
14	902	34	791	54	580	74	292	94	33.9
15	955	35	775	55	571	75	271.5	95	30.1
16	1000	36	760	56	562	76	251	96	26.3
17	1035	37	745	57	553	77	232.5	97	23.4
18	1072	38	732	58	543	78	214	98	20.4
19	1109	39	720	59	534	79	196	99	18.2
20	1122	40	708	60	525	80	178	100	15.9



Kuva 1. Psfometripainotuskertoimet eri harmonisilla yliaalloilla. Tarkat arvot taulukossa.