

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

## 110 kV verkon sähkönlaatu

### Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Jännitteen laatu 110 kV verkossa</b> .....	<b>2</b>
2.1	Verkkojännitteen taajuus .....	3
2.2	Jännitteen taso .....	3
2.3	Jännitteen vaihtelut .....	3
2.4	Jännitekuopat .....	4
<b>2.5</b>	<b>Ylijännitteet</b> .....	<b>4</b>
2.5.1	Käyttötaajuiset ylijännitteet .....	4
2.5.2	Kytkeä- ja ilmastolliset ylijännitteet .....	5
<b>2.6</b>	<b>Jännite-epäsymmetria</b> .....	<b>5</b>
<b>2.7</b>	<b>Jännitteen ja virran yliaallot</b> .....	<b>5</b>
<b>2.8</b>	<b>Epäharmoniset yliaallot</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Käytettävyys</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Siirtovarmuus</b> .....	<b>7</b>
4.1	Liittymispistekohtaiset mittarit .....	7
4.2	Energiapohjaiset mittarit .....	8
	<b>Viiteluettelo</b> .....	<b>9</b>
	<b>Liite 1 Psfometrikertoimet</b> .....	<b>10</b>

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

## Käsiteltävät asiat

### 1 Johdanto

Sähkömarkkinalain 27. § käsittelee sähkönlaatuun liittyviä asioita ja määrittelee virheen seuraavasti: " Sähkötoimitus on virheellinen, jos sähkön laatu tai toimitustapa ei vastaa sitä, mitä voidaan katsoa sovitun. Jollei toisin ole sovittu, sähkön toimitus on virheellinen, jos sähkö ei laadultaan vastaa Suomessa noudatettavia standardeja tai jos sähkön toimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä."

Laissa siis todetaan, että sähkötoimituksessa keskeytykset ovat mahdollisia. Keskeytykset voivat olla odottamattomia häiriöstä johtuvia tai suunniteltuja, esimerkiksi huoltotoimenpiteiden aiheuttamia.

Energiateollisuus ry:n verkkopalveluehdot VPE 05 suosittelee tiettyjä tulkintoja virherajoiksi lyhyille ja pitkille keskeytyksille. Sähkömarkkinalain 27 e § määrittelee pitkille keskeytyksille virherajoja, jotka laukaisevat vakiokorvauksen sähkön käyttäjälle. Pykälässä tarkoitettut käyttäjät eivät ole kantaverkkoon liittyviä sähkönkäyttäjiä. Kantaverkon häiriökeskeytykset eivät ole normaalioloissa olleet lähelläkään em. vakiokorvaukseen johtaneita keskeytysaikoja.

Virhe voi lain mukaan aiheutua keskeytyksen lisäksi jännitteen huonosta laadusta. Laissa viitataan Suomessa noudatettaviin standardeihin. Sovellettavissa olevat standardit eivät kuitenkaan määrittele jännitteen laatutasoa suurjänniteverkossa. Sen vuoksi tässä raportissa määritellään Fingridin tavoitetasot sähkönlaadulle 110 kV kantaverkossa.

### 2 Jännitteen laatu 110 kV verkossa

Koska valtaosa Fingridin asiakkaista liittyy 110 kV jännitteeseen verkkoon, on jäljempänä esitetty 110 kV jännitteen laatua koskevat tavoitetasot, 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. Fingridin yleisten liittymisehtojen tarkoittamissa ylivoimaisen esteen olosuhteissa.
- c. Tilanteissa, joissa verkkoon liittyjät ylittävät huomattavasti sovitut emissiorajat
- 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 Fingridin kannalta keskeisimmät.

Jännitteen laatuun liittyvien suureiden mittausta on määritelty IEC standardissa viite [5].

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

**2.1 Verkkojännitteen taajuus**

Ehjälle verkolle Fingridin verkon ollessa yhteydessä Nordel verkkoon.

50 Hz ± 1 %, 99,5 % ajasta viikon mittausjakson aikana.

**2.2 Jännitteen taso**

Verkon pääjännitteen nimellisarvo  $U_N$  on 110 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**

Jännitemuutosten esiintymistaajuus	Jännitteen muutos %
<b>kerran vuorokaudessa</b>	<b>&lt; 6</b>
<b>alle 24 kertaa vuorokaudessa</b>	<b>&lt; 4</b>
<b>yli 24 kertaa vuorokaudessa</b>	<b>&lt; 3</b>

Huom. Yli 10 % nopeaa jännitteenlaskua sanotaan jännitekuopaksi, vrt. kohta 0.

Jännitteen muutosten ollessa usein toistuvia ja nopeita niitä kutsutaan välkynnäksi (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 ).

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

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

## 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, sääoloista, suojaustavoista ym. Määrä vaihtelee edellä mainituista syistä vuosittain hyvin laajoissa rajoissa. Jännitekuopista keskimäärin 82 % 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 ovat 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 vyöhykkeessä tai varasuojauksen toimiessa kesto voi olla huomattavasti pidempi. Kuopan syvyyteen vaikuttaa vian resistanssi ja etäisyys havaintopisteestä sekä verkon 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 tavoitetasoja eikä mittareita, koska ylijännitteet ovat luonteeltaan poikkeuksellisia eikä niitä voida avojohtoverkossa täsmällisesti kohtuudella rajoittaa. Niistä voidaan antaa vain informatiivista ja tilastollista tietoa.

### 2.5.1 Käyttötaajuiset ylijännitteet

Ylijännitteen tärkein 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. Syynä tähän on tarve rajoittaa maasulkuvirtojen ja vaarajännitteiden tasoa. Tästä syystä vain osa 110 kV verkon muuntajien tähtipisteistä on maadoitettu. Normaalisti joka paikasta on yhteys johonkin maadoitettuun 110 kV tähtipisteeseen.

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

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  $1,2...1,5 \cdot UN$ , 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 Fingridin verkkoon liittyjän kuormitusvirran vastakomponentti saa olla korkeintaan taulukon 4 arvon suuruinen. Jos kuormituksen luonne on tästä poikkeava asiasta on sovittava erikseen.

## 2.7 Jännitteen ja virran yliaallot

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

Fingridin verkkoon liittyjän sallitaan syöttää verkkoon korkeintaan taulukon 4 referenssivirtaan verratut yliaaltovirrat. Referenssivirta lasketaan Fingridin verkkoon liittyjän kyseisen liittymispisteen siirtotehon keskiarvon perusteella nimellisjännitteellä ja tehokertoimella 1.

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

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**

<b>HARMONISTEN JÄNNITTEIDEN MAKSIMITASOT 110 kV VERKOSSA</b>					
Prosentteina nimellisjännitteestä					
Parittomat ei kolmella jaolliset		Parittomat kolmella jaolliset		Parilliset	
n	%	n	%	n	%
5	3	3	3	2	1
7	2,5	9	1,5	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 kokonaisharmoninen särö				< 3 %	

**Taulukko 4 Liittyjille sallitut emissiovirtarajat**

<b>SALLITUT EMISSIOVIRRA</b>	
% liittyjän referenssivirrasta	
Virran kokonaissärö	6 %
Vaihevirran psfometriarvo	5 A
Virran vastakomponentti	20 %

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

## 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

Käytettävyys käsite liittyy laitteeseen tai järjestelmään ja kertoo ajasta, jonka laite tai järjestelmä on ollut käytössä ja pois käytöstä. Tunnuksena käytettävyys on moniselitteinen. Jos tarkastellaan samaa verkkoa vuodesta toiseen luku kuvastaa lähinnä huoltojen vaatimaa suhteellista käytöstä poissaoloa eikä niinkään palvelun laatua. Silmukoidulla verkolla käytettävyys ei suoraan kerro vaikutusta verkon siirtokykyyn, koska aina on olemassa rinnakkaisia reittejä, vaikka jokin virtapiiri olisi pois käytöstä.

Käytettyä käytetään sisäisenä mittarina toiminnan kehittämisessä, mutta sille ei ole määritelty tavoitetasoa.

## 4 Siirtovarmuus

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

Seuraavassa on esitelty mittarit, joita vastaavat tiedot toimitetaan Energiamarkkinavirastolle vuosittain.

### 4.1 Liittymispistekohtaiset mittarit

Liittymispisteellä tarkoitetaan kantaverkon ja toisen yhtiön siirtoverkon, jakeluverkon tai suuren kuluttajan tai voimalaitoksen verkkojen rajapistettä.

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 SAIFI, (vain yli 30 s häiriöt): Kaikkien liittymispisteiden keskeytysten summa jaettuna liittymispisteiden lukumäärällä.

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

Tavoitearvo keskimääräiselle häiriökeskeytystaajuudelle: ≤ 1 kpl / liittymispiste, vuosi

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

#### 4.2 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



Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

**Viiteluettelo**

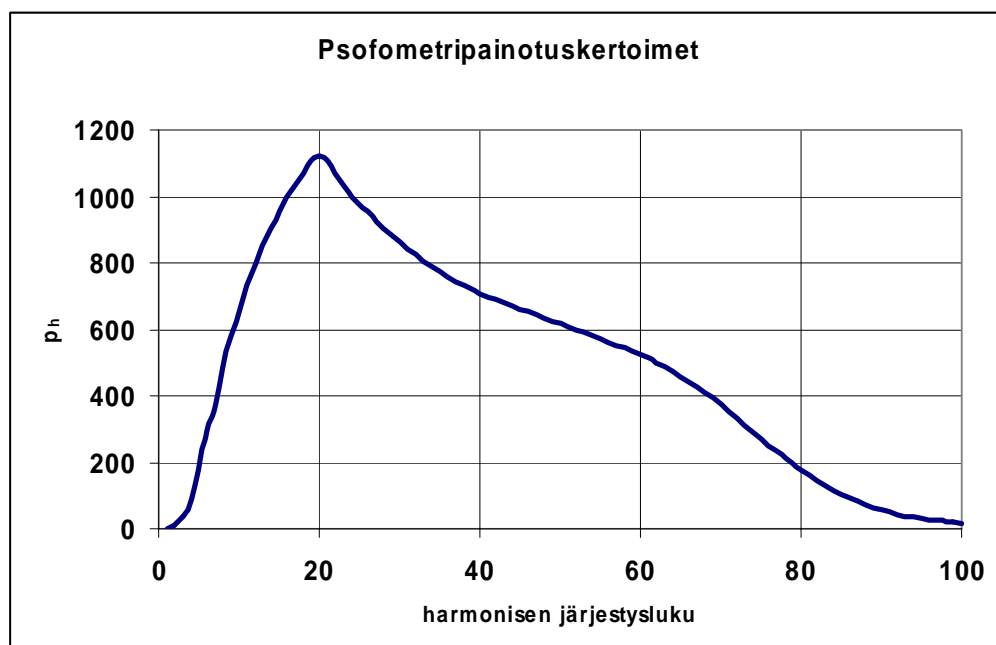
- [1]. CENELEC EN 50160:1999 – Voltage Characteristics of Electricity supplied by public distribution systems. European standard (supersedes 1994 edition).
- [2]. IEC 61000-3-6:1996 – Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems, technical report type 3.
- [3]. IEC 61000-3-7:1996 – Assessment of Emission Limits for Fluctuating Loads in MV and HV Power Systems, technical report type 3.
- [4]. IEC 61000-4-7, 2002, General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation for power supply systems and equipment connected thereto.
- [5]. IEC 61000-4-30, 2003, Power quality measurement methods.
- [6]. IEC 61000-4-15, Ed. 1.1 2003-02. Testing and measurement techniques- Section 15: 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, 1<sup>st</sup> 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

Voimajärjestelmän suunnittelu

3.1.2007

**Liite 1 Psometrikertoimet**

h	p <sub>h</sub>	h	p <sub>h</sub>	h	p <sub>h</sub>	h	p <sub>h</sub>	h	p <sub>h</sub>
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	582	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. Psometripainotuskertoimet eri harmonisilla. Tarkat arvot taulukossa.