

**NAVODILO ZA PRESOJO VPLIVOV
NAPRAV NA OMREŽJE**

I. Seznam veljavnih SIST standardov za presojo vplivov naprav na omrežje

I.1. SEZNAM TRENUTNO VELJAVNIH SIST STANDARDOV, KI OBRAVNAVAJO PRESOJO VPLIVA NAPRAV NA OMREŽJE (MAJ 2009)

SIST EN 61000-3-2; Elektromagnetna združljivost (EMC) – 3-2. del: Mejne vrednosti – Mejne vrednosti za oddajanje harmonskih tokov (vhodni tok opreme do vključno 16 A na fazo), EN 61000-3-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 2: Limits for harmonic current emission equipment input current <16 A per phase.*

Standard SIST EN 61000-3-2 podaja meje za harmonike, ki jih lahko generira električna in elektronska oprema, z nazivnim tokom do 16 A na fazo, ki jo nameravamo priključiti na javno nizkonapetostno distribucijsko omrežje. Ima status produktnega standarda.

SIST EN 61000-3-3; Elektromagnetna združljivost (EMC) - 3-3. del: Mejne vrednosti - Omejitve vrednosti kolebanja napetosti in flikerja v nizkonapetostnih napajalnih sistemih za opremo z naznačenim tokom do 16 A in ni priključena pod posebnimi pogoji, EN 61000-3-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low - voltage supply systems for equipment with rated current 16 A.*

Standard SIST EN 61000-3-3 določa meje napetostnih sprememb, ki jih lahko generira oprema, preskušena pod specifičnimi pogoji. Standard daje tudi smernice glede metod njihovega ugotavljanja. Standard je uporaben za električno in elektronsko opremo, z nazivnim tokom do 16 A na fazo, ki jo nameravamo priključiti na javno nizkonapetostno distribucijsko omrežje, ki ima fazno napetost med 220 in 250 V ter frekvenco 50 Hz. Ima status produktnega standarda.

SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4; *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 4: Limitation of emission of harmonic currents in low - voltage supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.*

Dokument SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4 ima status tehničnega poročila. Obravnava oddajanje harmonikov naprav z nazivnim tokom nad 16 A, ki jih nameravamo priključiti na javno nizkonapetostno distribucijsko omrežje z naslednjimi karakteristikami:

- nazivna napetost do 240 V, enofazno, dvo- ali trivodni sistem;
- nazivna napetost do 600 V, trifazno, tri- ali štirivodni sistem;
- nazivna frekvenca 50 Hz ali 60 Hz.

Priključitev take opreme navadno zahteva poseben dogovor med distribucijskim podjetjem in odjemalcem. Ta je odvisen od številnih dejavnikov, kot so med drugim pričakovane ravni motenj, ki jih povzroča oprema, in dejanska situacija v omrežju na mestu priključka.

Zbrana priporočila navajajo potrebne informacije, ki omogočajo distribucijskemu podjetju, da oceni opremo glede na generiranje harmonikov in se odloči, ali je oprema s stališča harmonikov primerna za priključitev na omrežje. V ta namen dokument SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4 predvideva tristopenjski priključitveni postopek, ki upošteva kratkostično razmerje omrežja in porabnika v točki priključitve. Faze postopka so:

- poenostavljena priključitev,
- priključitev na osnovi presoje podatkov o opremi in omrežju,
- priključitev na osnovi priključne delovne moči odjemalca.

SIST-TS IEC/TS 61000-3-5; Elektromagnetna združljivost (EMC) - 3-5. del: Mejne vrednosti - Mejne vrednosti kolebanja napetosti in flikerja v nizkonapetostnih napajalnih sistemih za opremo z naznačenim tokom, večjim od 16 A, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits -*

Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low - voltage supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.

Dokument SIST-TS IEC/TS 61000-3-5 ima status tehnične specifikacije. Obravnava emisije motenj zaradi kolebanja napetosti in flikerja. Priporočilo je uporabno za električno in elektronsko opremo, ki jo nameravamo priključiti na javno nizkonapetostno distribucijsko omrežje. Pri tem velja, da je nazivni tok opreme večji od 16 A. Tehnična specifikacija se lahko uporablja tudi za nižje toke, če priklop opreme zahteva posebno soglasje distribucijskega podjetja.

Zbrana priporočila navajajo potrebne informacije, ki omogočajo distribucijskemu podjetju, proizvajalcu ali kupcu, da oceni opremo s stališča kolebanja napetosti in flikerja. Distribucijsko podjetje da soglasje za priključitev v odvisnosti od ravni motenj, ki jih povzroča oprema, in pogojev pretokov moči v omrežju.

SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6; *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication.*

Dokument SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6 ima status tehničnega poročila. Dokument navaja načela, ki se uporabljajo kot osnova za postavljanje pogojev za priključitev velikih motečih porabnikov, ki so izvor harmonikov in medharmonikov v javnem srednjenapetostnem omrežju. Glavni cilj dokumenta je oblikovanje smernic za inženirsko prakso, ki bo omogočala ustrezno kakovost storitev za vse priključene odjemalce. Dokument podaja kriterije za presojo priključitve odjemalca glede na omrežje. V postopku je kot kriterij predlagano razmerje med priključno močjo odjemalca in kratkostično močjo v točki priključitve.

SIST-TP IEC/TR3 61000-3-7; *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication.*

Dokument SIST-TP IEC/TR3 61000-3-7 ima status tehničnega poročila. Navaja načela, ki se uporabljajo kot osnova za postavljanje pogojev za priključitev velikih motečih porabnikov (ki generirajo fliker) v javna srednjenapetostna omrežja. Glavni cilj dokumenta je oblikovanje smernic za inženirsko prakso, ki bo omogočala ustrezno kakovost storitve dobave električne energije za vse priključene odjemalce. Dokument podaja ocenitveni postopek za presojo priključitve odjemalca glede na omrežje, ki kot osnovni kriterij uporablja razmerje med variacijo moči odjemalca in kratkostično močjo v točki njegove priključitve.

SIST IEC 61000-3-8; *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 8: Signalling on low-voltage electrical installations - Emission levels, frequency bands and electromagnetic disturbances levels.*

Dokument SIST IEC 61000-3-8 obravnava električne naprave, ki za prenos informacij po nizkonapetostnih instalacijah (po javnih omrežjih ali znotraj odjemalčevih postrojev) uporabljajo frekvence v obsegu od 3 kHz do 525 kHz. Standard določa frekvenčne pasove, namenjene posamezni vrsti uporabe, meje za izhodno napetost na sponkah v pasu delovanja in meje za sevanje motnje in motnje po vodniku. Poleg tega podaja tudi merilne metode in navaja meje motenj v frekvenčnem obsegu od 3 kHz do 400 GHz.

SIST EN 61000-3-11; *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 11: Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems - Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection.*

Standard SIST EN 61000-3-11 določa meje napetostnih sprememb, ki jih lahko generira oprema, preskušena pod specifičnimi pogoji. Standard daje tudi smernice glede metod njihovega ugotavljanja. Standard je uporaben za električno in elektronsko opremo z nazivnim tokom 75 A ali manj, ki jo nameravamo priključiti na javno nizkonapetostno distribucijsko omrežje. Ta produktni standard delno nadomešča tehnično specifikacijo SIST-TS IEC/TS 61000-3-5 za opremo z nazivnim tokom med 16 in 75 A fazno.

SIST EN 61000-3-12; Elektromagnetna združljivost (EMC) – 3-12. del: Mejne vrednosti – Mejne vrednosti za harmonske tokove, ki jih povzročata oprema, priključena na nizkonapetostne napajalne sisteme z označenim tokom, večjim od 16 A in ≤ 75 A po liniji, EN 61000-3-12
Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 11: Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems - Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection.

Standard SIST EN 61000-3-12 določa meje za harmonske toke, ki jih lahko generira oprema, preskušena pod specifičnimi pogoji. Standard daje tudi smernice glede metod njihovega ugotavljanja. Standard je uporaben za električno in elektronsko opremo z nazivnim tokom 75 A ali manj, ki jo nameravamo priključiti na javno nizkonapetostno distribucijsko omrežje. Ta produktni standard delno nadomešča tehnično poročilo SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4 za opremo z nazivnim tokom med 16 in 75 A fazno.

I.2. OSTALI TRENUTNO VELJAVNI SIST STANDARDI, KI SO V POMOČ PRI PRESOJI VPLIVA NAPRAV NA OMREŽJE

Vsi standardi družine SIST IEC/EN 61000-X-X po skupinah:

- IEC/EN 61000-1-X : Splošno;
- IEC/EN 61000-2-X : Okolja, ravni združljivosti;
- IEC/EN 61000-3-X : Oddajne meje;
- IEC/EN 61000-4-X : Merilne in preskusne tehnike;
- IEC/EN 61000-5-X : Vodila za namestitvev opreme.

Prav posebej pa še:

SIST IEC 60038; Standardne napetosti IEC, IEC 60038 IEC standard voltages.

SIST-TP IEC/TR 60725; Ugotovitve o referenčnih impedancah in impedancah javnega napajalnega omrežja za določanje značilnosti motenj električne opreme z nazivnim faznim tokom do vključno 75 A, IEC/TR 60725 Considerations on reference impedances for use in determining the disturbance characteristics of household appliances and similar equipment.

SIST HD 472 S1; Nazivne napetosti za javna nizkonapetostna električna omrežja, HD 472 S1:2002, Nominal Voltages for Low Voltage Public Electricity Supply Systems.

SIST EN 50160; Značilnosti napetosti v javnih razdelilnih omrežjih; EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.

SIST EN 61000-4-7; Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurements techniques - Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation for power supply systems and equipment connected thereto.

SIST EN 61000-4-11; Elektromagnetna združljivost (EMC) – 4-11. del: Preskusne in merilne tehnike – Preskusi odpornosti proti upadom napetosti, kratkotrajnim prekinitvam in napetostnim kolebanjem, EN 61000-4-11 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurements techniques - Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.

SIST EN 61000-4-15; Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurements techniques - Section 15: Flickermeter - Functional and design specifications.

SIST EN 61000-4-30; Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurements techniques – Power quality measurement methods.

SIST IEC 60050(161); Mednarodni elektrotehniški slovar – Poglavje 161: Elektromagnetna združljivost.

II. Princip zagotovitve elektromagnetne združljivosti v omrežju

Evropska *Direktiva o EMC*¹, ki je ena od najkompleksnejših direktiv, je med prvimi zasnovana v smislu "novega pristopa" (angl. *new approach*). Pred uveljavitvijo Direktive so posamezne države EU na svojih tleh predpisovale EMC v skladu s svojimi strategijami in zahtevami. Vzpostavitev skupnega trga, ki temelji na prostem pretoku blaga in storitev, je pokazala na neskladnost med tehnično regulativo posameznih članic. V praksi je to pomenilo, da je obstajala verjetnost, da električni aparat, ki je deloval v omrežju ene članice, ni deloval v omrežju druge članice. Raven elektromagnetnih motenj, ki jih je lahko povzročala naprava, je bila dopustna v omrežju ene članice, v omrežju druge članice pa ne. Poleg tega pa je bila tudi raven preobčutljivosti naprav na elektromagnetne motnje v državah različno obravnavana in definirana.

Zaradi tega je (bil) glavni namen Direktive o EMC postopoma uvajati članice v enotne zahteve tako, da prilagodijo svoje tehnične regulative zahtevam Direktive o EMC. Prilagoditev zakonodaj in tehničnih kriterijev članic temelji tudi na *novem pristopu*, ki vpeljuje novo filozofijo uporabe tehnične regulative, ki je že uporabljena v Direktivi o EMC. V skladu z novim pristopom morajo uporabniki oziroma zavezanci uporabe Direktive o EMC upoštevati zadnje stanje tehnike (angl. *state of the art*) na področju EMC za svoje izdelke in izdelke, ki se pojavljajo na trgu.

Uradni list EU oz. posamezne države je tisti, ki opredeljuje obstoj dokumenta, predvsem harmoniziranih standardov in amandmajev, ki jih je treba upoštevati pri reševanju problema EMC. Za posamezni aparat na trgu torej ni več vnaprej enoumno določeno, s katerim standardom je opredeljen, ampak je treba za vsak aparat, ki se pojavi na trgu, v skladu s stanjem tehnike posebej ugotoviti njegovo vpetost v zahteve standardov s področja EMC.

V skladu s političnimi željami Slovenije po pridružitvi k Evropski uniji je tudi Slovenija postavila kriterije za EMC, ki so pogoj za prilagajanje enotnemu trgu. Na temelju tega je v skladu z Direktivo o EMC izšel *Pravilnik o elektromagnetni združljivosti*, ki je tako kot v drugih državah članicah EU v skladu z Direktivo o EMC. Po principu novega pristopa slovenski pravilnik za področje EMC določa:

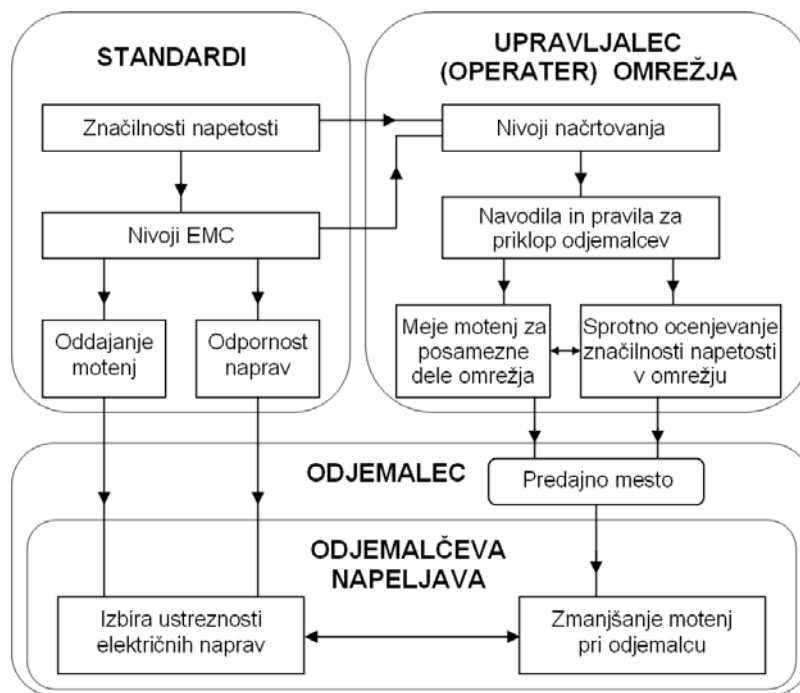
- električne naprave, za katere pravilnik velja,
- zahteve za elektromagnetno združljivost električnih naprav,
- postopke in pogoje za ocenjevanje skladnosti,
- podajanje izjave o skladnosti in
- označevanje električnih naprav.

Pogoji za EMC so na relaciji operater omrežja – odjemalec izpolnjeni takrat, ko ima odjemalec priključeno električno napravo, ki je pozitivno prestala preskus v skladu z zahtevami Pravilnika o EMC (o tem priča označevanje blaga) in ustrezne napetostne razmere v omrežju oziroma v točki priklopa. Pravilnik o EMC predpostavlja, da je odjemalec priključil napravo na inštalacijo, ki je v skladu z zahtevami standardov s področja inštalacij, in da je napetost v točki priklopa v skladu s stanjem tehnike oziroma standardov. Pravilnik o EMC torej predvideva, da distribucijsko podjetje, ki dobavlja napetost, skrbi zanjo po konceptu, ki je v skladu s stanjem tehnike.

Zaradi zadostitve EMC v skladu s Pravilnikom o EMC je torej predpostavljeno (slika 2.1):

- da distribucijska podjetja opredeljujejo vse potrebne značilnosti napetosti v skladu s stanjem tehnike in
- da so pri načrtovanju, gradnji in obratovanju NN napeljave - instalacije uporabljeni tudi kriteriji EMC.

¹ **EMC** – Electromagnetic Compatibility (slov. *Elektromagnetna združljivost*)



Slika 2.1. Zagotavljanje EMC v omrežju [1].

V skladu z vsemi razsežnostmi EMC sledi, da so pod pogojem izpolnitve zahtev EMC v odjemalčevih NN napeljavah in inštalacijah ter v urejenih razmerah na tržišču z električnimi napravami distribucijska podjetja tista, ki morajo zagotoviti oziroma izpolniti pogoje za delovanje električnih naprav v skladu z zahtevami EMC.

Operater omrežja je za zagotovitev tega segmenta EMC "pravno" odgovoren. V praksi to pomeni:

»Če odjemalec kupi električno napravo, ki je v skladu s Pravilnikom o EMC, jo priključi v električno napeljavo, ki je izvedena v skladu s standardi, in če naprava ne deluje nazivno, je za to (pravno) odgovorno podjetje, ki električno energijo dobavlja.«

Ta princip morata izpolniti operater omrežja in odjemalec. Operater omrežja mora izdelati svojo doktrino za posamezne elektromagnetne motnje, ki zajema:

- ocenjevanje stanja motenj v omrežju z občasnimi in trajnimi meritvami in na temelju zajete statistike dogodkov,
- določanje meje motenj za posamezne dele omrežja ter
- izvajanje navodil in pravil s kriteriji za priklop odjemalcev in razpršenih virov električne energije.

Odjemalec pa mora:

- prilagoditi svojo inštalacijo zahtevam stanja tehnike in
- vanjo priključevati le naprave, ki izpolnjujejo zahteve standardov za izdelke ter obratujejo v skladu zahtevam priklopa. V nekaterih primerih mora zato odjemalec uporabiti ukrepe za zmanjšanje motenj.

O kakovosti na predajnem mestu se je mogoče tudi pogajati. V primeru, ko upravljalec oziroma operater omrežja ne more zagotoviti napetosti, ki je v skladu s stanjem tehnike, je treba o tem obvestiti odjemalca. Posebno skrb je ob tem treba posvetiti funkcionalni varnosti. Zaradi neizpolnjevanja nekaterih zahtev je lahko ogroženo delovanje električnih naprav (zagoni motorjev, motnje regulacijskih in krmilnih krogov itn.). V primeru, ko so izpolnjene vse značilnosti napetosti oziroma celo presežene, pa lahko upravljalec omrežja (operater) to uporabi sebi v prid, saj zagotovi potrebe odjemalcev z visokimi zahtevami.

II.1. STANDARDIZIRANA KAKOVOST NAPETOSTI V OMREŽJU

Kakovost napetosti v javnih razdelilnih omrežjih določa standard SIST EN 50160. Ta standard je produktni standard. Standard določa najslabšo kakovost napetosti, ki mora biti zagotovljena na predajnih mestih javnih razdelilnih omrežij na srednjenapetostnem (SN) in nizkonapetostnem (NN) nivoju.

SIST EN 50160 je nastal kot posledica definiranih ravni združljivosti za posamezna okolja, ki so obravnavane v standardih in tehničnih poročilih družine SIST EN/IEC 61000-2-X. Ravni združljivosti so postavljene tako, da so (z določeno verjetnostjo) motnje, ki jih je pričakovati v elektroenergetskem omrežju, manjše od postavljenih ravni; obenem pa je spodnja meja odpornosti velike večine električnih naprav nad temi ravni.

To pomeni, da v kolikor so naprave, ki se priključujejo v elektroenergetsko omrežje, grajene tako, da lahko normalno obratujejo z napetostjo takšne kakovosti, kot jo definira SIST EN 50160, potem lahko v takšnem omrežju nazivno in nemoteno obratujejo.

Velikost motenj, ki se pojavljajo v izbrani točki v omrežju, pa je poleg kratkostične moči omrežja v tej točki odvisna v veliki meri tudi od samih naprav, ki so vključeni v omrežje v bližini opazovane točke. V kolikor je v bližini točke opazovanja veliko naprav, ki v omrežje oddajajo motnje, potem se lahko zgodi, da so definirane ravni združljivosti presežene. To pa pomeni nevarnost za porabnike, ker je ogroženo njihovo nazivno in nemoteno obratovanje.

II.2. RAVEN NAČRTOVANIH MOTENJ V OMREŽJU

S spremljanjem mej oddajnih motenj določamo raven motenj v sistemu. Z analizo nadzorujemo motnje v omrežju glede doseganja ravni načrtovanja in ravni združljivosti.

Raven načrtovanja je raven posamezne motnje v določenem delu omrežja, ki je privzeta kot referenčna vrednost za meje oddanih motenj, predvsem velikih bremen in instalacij. Raven načrtovanja je določena tudi tako, da upošteva meje oddajnih motenj še neobstoječih, vendar načrtovanih bremen.

Ravni načrtovanja je mogoče uporabljati za namene načrtovanja distribucijskih omrežij. Z njimi ocenjujemo, kakšen vpliv ima na distribucijsko omrežje celota vseh (obstoječih in načrtovanih) bremen odjemalcev. Ravni načrtovanja določajo distribucijska podjetja za posamezne napetostne nivoje ali dele omrežij, zato jih je mogoče pojmovati tudi kot interne cilje glede kakovosti.

Raven načrtovanja privzame organ (operater omrežja v sodelovanju z distribucijskim podjetjem), ki je odgovoren za razvoj omrežja in njegovo obratovanje. Za določitev ravni načrtovanja je nujno poznavanje tako obstoječega stanja omrežja, vanj vključenih obstoječih porabnikov in njihovih motenj kot tudi načrtovanih (pričakovanih) porabnikov in njihovih motenj, ki bodo priključena v omrežje v obravnavanem obdobju v prihodnosti.

Obstoječo raven motenj dobi operater omrežja na osnovi monitoringa, podatke o predvidenem razvoju omrežja pa mu posreduje distribucijsko podjetje. Dolžnost operaterja omrežja pa je tudi, da z meritvami spremlja trend naraščanja vrednosti posamezne motnje in jo primerja s postavljeno ravnjo načrtovanja.

Ravni načrtovanja morajo biti nižje ali (v izjemnih primerih) največ enake ravnem združljivosti ter nižje od tistih, ki jih postavlja SIST EN 50160 kot merilo kakovosti napetosti. Standardi in tehnična poročila podajajo le okvirne vrednosti za ravni načrtovanja, saj se ravni načrtovanja razlikujejo od primera do primera, odvisno od strukture omrežja in drugih okoliščin, zato jih mora upravljalec omrežja določiti sam.

II.2.1. Harmonska napetost

Okvirne ravni načrtovanja za harmonske napetosti v SN in VN omrežjih podaja tehnično poročilo SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6. Povzete so v **razpredelnici 2.1**.

LIHI harmoniki						SODI harmoniki		
Niso večkratniki števila 3			Večkratniki števila 3					
Red harmo- nika <i>h</i>	Harmonska napetost u_h (%)		Red harmo- nika <i>h</i>	Harmonska napetost u_h (%)		Red harmo- nika <i>h</i>	Harmonska napetost u_h (%)	
	SN	VN		SN	VN		SN	VN
5	5	2	3	4	2	2	1,8	1,4
7	4	2	9	1,2	1	4	1	0,8
11	3	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,4
13	2,5	1,5	21	0,2	0,2	8	0,5	0,4
17 .. 49	$1,9 \cdot 17/h - 0,2$	$1,2 \cdot 17/h$	21 .. 45	0,2	0,2	10 .. 50	$0,25 \cdot 10/h + 0,22$	$0,19 \cdot 10/h + 0,16$
THD je 6,5 % v SN omrežju in 3 % v VN omrežju.								

Dejanske ravni harmonskih napetosti primerjamo z ravnmi načrtovanja na temelju meritev. Pri tem velja:

- največja 95-odstotna verjetnostna dnevna vrednost $U_{h,VS}$ (efektivna vrednost individualnega harmonika v "zelo kratkih" trisekundnih obdobjih) ne sme preseči ravni načrtovanja;
- maksimalna tedenska vrednost $U_{h,SH}$ (efektivna vrednost individualnega harmonika v "kratkih" desetminutnih obdobjih) ne sme preseči ravni načrtovanja;
- maksimalna tedenska vrednost $U_{h,VS}$ (efektivna vrednost individualnega harmonika v "zelo kratkih" trisekundnih obdobjih) ne sme preseči 1,5- do 2-kratnika ravni načrtovanja.

II.2.2. Kolebanje napetosti in jakost flikerja

Okvirne ravni načrtovanja za kratkotrajno (P_{st}) in dolgotrajno jakost flikerja (P_t) v SN in VN omrežjih podaja tehnično poročilo SIST-TP IEC/TR3 61000-3-7. Prikazane so v razpredelnici 2.2.

Razpredelnica 2.2: Okvirne ravni načrtovanja za kratkotrajno jakost flikerja (P_{st}) in dolgotrajno jakost flikerja (P_{lt}) v SN in VN omrežjih

	Raven načrtovanja	
	SN	VN
P_{st}	0,9	0,8
P_{lt}	0,7	0,6

Pri tem velja, da percentila $P_{st99\%}$ in $P_{lt99\%}$ (oba se nanašata na 99 % časa meritev) ne smeta preseči ravni načrtovanja. Primerjava percentilov za 95-odstotno in 99-odstotno verjetnost nastopa jakosti flikerja je zelo smiselna. Če je razmerje med njima večje od 1,3, je smiselno poiskati vzrok za takšno odstopanje.

II.3. MEJE ZA ODDAJNE MOTNJE NAPRAV V OMREŽJE

Oddajna raven je raven dane elektromagnetne motnje po vodniku, ki jo oddaja določena naprava, oprema ali sistem. Oddajna meja motnje po vodniku pa je določena najvišja oddajna raven določenega vira elektromagnetnih motenj.

In kakšne so dovoljene ravni motenj, ki jih lahko posamezne naprave oddajajo v omrežje? Te ravni so določene v standardih, tehničnih poročilih in tehničnih specifikacijah družine SIST EN/IEC 61000-3-X. Določene ravni se opirajo na nivoje načrtovanih motenj v omrežju, ki si jih lahko za posamezna okolja določajo distribucijska podjetja sama. Kot pomoč postavitvi ravni načrtovanih motenj, so okvirne vrednosti le-teh tudi navedene v standardih, tehničnih poročilih in tehničnih specifikacijah družine SIST EN/IEC 61000-3-X.

Ravni oddajnih motenj so definirane za naprave, ki se vključujejo v javno elektroenergetsko omrežje. Po standardih te družine so klasificirane glede na **vrsto motnje** (harmonska napetost, kolebanje napetosti in fliker, signalna napetost,...), glede na **napetostni nivo** (NN, SN, VN) ter za NN glede na **maksimalen fazni tok naprave** (do 16 A fazno, med 16 in 75 A fazno ali samo nad 16 A fazno) in za SN glede na razmerje **priključne moči naprave** ter **kratkostične moči omrežja** v točki priklopa. Poudariti velja, da oddajne motnje, ki so navedene v teh standardih, veljajo za priklop posamezne naprave v omrežje. Pri kopičenju naprav z enakimi obratovalnimi karakteristikami ali pri priklopu naprav, ki ne ustrezajo emisijskim mejam, ki so postavljene v standardih, je pred priklopom teh naprav nujen posvet pri upravljalcu distribucijskega omrežja, v katerega bo naprava vključena!

II.3.1. Harmonska napetost in tok

Za posamezno (med) **harmonska frekvenca** je oddajna meja tista (med)harmonska napetost ali tok, ki bi ga v distribucijsko omrežje injiciral porabnik kot najvišjo oddajno raven, če ne bi bilo nobenega drugega motečega porabnika.

Če želimo primerjati harmonski tok (oddajno raven), ki je posledica vseh porabnikov določenega odjemalca, z oddajnimi mejami, moramo meritve izvajati vsaj en teden. Pri tej primerjavi veljajo ta napotila:

- največja dnevna vrednost pri 95 % verjetnosti $I_{h,VS}$ (efektivna vrednost individualnega harmonika v "zelo kratkih" trisekundnih obdobjih) ne sme preseči oddajne meje;
- maksimalna tedenska vrednost $I_{h,SH}$ (efektivna vrednost individualnega harmonika v "kratkih" desetminutnih obdobjih) ne sme preseči oddajne meje;
- maksimalna tedenska vrednost $U_{h,VS}$ (efektivna vrednost individualnega harmonika v "zelo kratkih" trisekundnih obdobjih) ne sme preseči 1,5- do 2-kratnika oddajne meje;

- tudi kratkotrajni plaz (angl. burst) harmonikov (v trajanju, ki je krajše od 3 s) mora biti omejen, vendar meje trenutno še niso določene.

V praksi oddajne meje v splošnem določimo na osnovi podatkov o porabniku in omrežju. Njihova neposredna meritev je zelo težavna zaradi prisotnosti številnih drugih motečih bremen.

II.3.2. Kolebanje napetosti in jakost flikerja

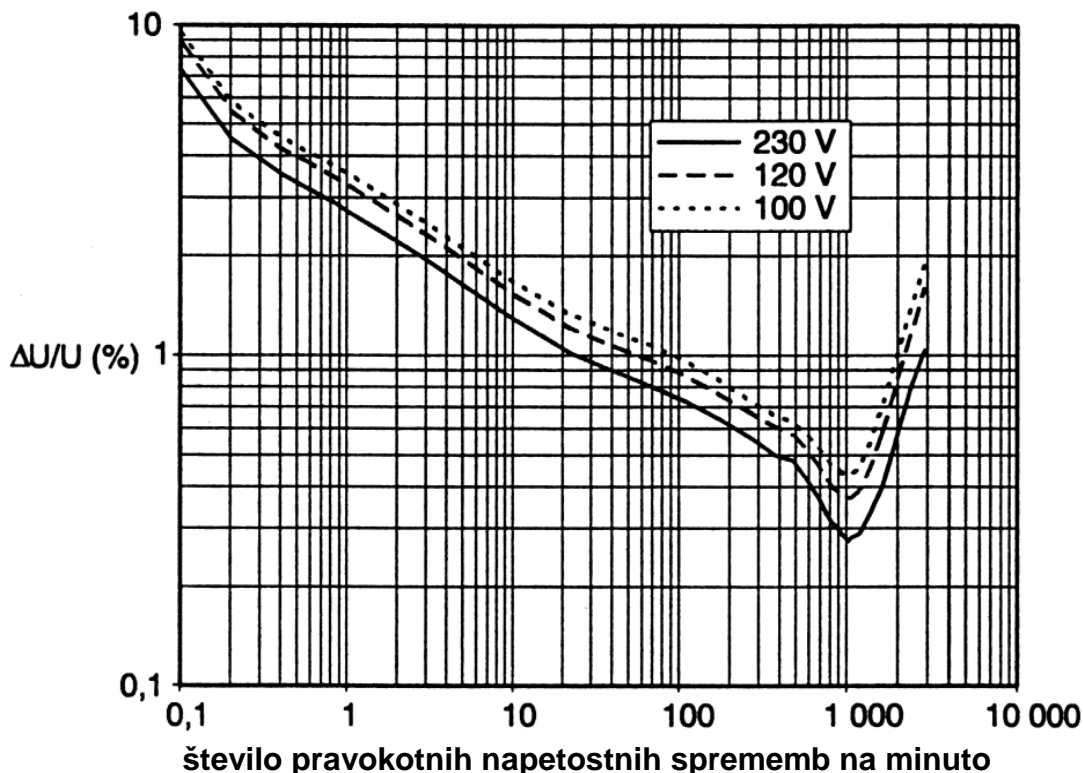
Oddajna meja kolebajočega porabnika je tista raven **flikerja**, ki bi bila prisotna v elektroenergetskem omrežju, če ne bi bilo drugih kolebajočih porabnikov.

Če želimo primerjati oddajanje flikerja za skupek vseh bremen pri enem odjemalcu z oddajnimi mejami, moramo opraviti vsaj enotedenske meritve.

Iz vrednosti kratkotrajne jakosti flikerja v opazovanem obdobju izračunamo kumulativni verjetnostni funkciji za kratkotrajno P_{st} in dolgotrajno jakost flikerja P_{lt} za i-tega odjemalca ter vrednosti percentilov $P_{st99\%i}$ in $P_{lt99\%i}$ za 99-odstotno verjetnost nastopa teh dveh jakosti. Ti slednji morata biti manjši od oddajne meje $E_{P_{st}}$ oz. $E_{P_{lt}}$.

Ocena oddajnih meja flikerja mora biti narejena za najslabši možni primer v okviru normalnih obratovalnih pogojev ob upoštevanju dnevnih in sezonskih sprememb proizvodnje in porabe v obravnavanem omrežju, bodočih dopolnitev ali načrtovanih sprememb v sistemu ter načrtovanih izklopov, ki bodo trajali dlje časa.

Za napoved jakosti flikerja obstajajo poenostavljene napovedne metode, ki temeljijo na krivulji " $P_{st} = 1$ " na **sliki 2.2**. Prikazana krivulja je veljavna za pravokotne napetostne spremembe.



Slika 2.1. Krivulja " $P_{st}=1$ " za pravokotne napetostne spremembe.

II.4. SKUPNI UČINEK MOTENJ

O skupnem učinku govorimo v primeru, ko je v eno točko omrežja priključenih več virov motenj po vodniku.

II.4.1. Harmoniska napetost in tok

V primeru harmonikov je dejanska harmoniska napetost (ali tok) v kateri koli točki distribucijskega sistema vektorska vsota posameznih komponent vsakega vira. V praksi za določitev skupnega učinka uporabljamo dva sumirna zakona. Prvi je preprostejši, drugi bolj zapleten, a bolj splošno uporaben.

Prvi sumirni zakon

Prvi sumirni zakon sešteva linearne učinke harmonikov:

$$U_h = U_{h0} + \sum_j k_{hj} \cdot U_{hj} \quad (2.1)$$

Pri tem uporablja faktorje fazne istočasnosti k_{hj} . Ti vrednotijo učinek posameznega harmonika glede na kratkostično moč omrežja oz. razmerje med močjo naprave in kratkostično močjo omrežja.

Geometrična vsota tokov različnih naprav za določen harmonik je namreč zaradi različnih položajev kazalcev (faz) manjša od aritmetične vsote. V zgornji enačbi pomeni:

U_{h0} harmoniska napetost distribucijskega omrežja, kadar je porabnik j odklopljen. Velikost faktorjev fazne istočasnosti k_{hj} je odvisna od vrste obravnavane naprave, reda harmonika h in razmerja med nazivno močjo obravnavane naprave S_{nj} in kratkostično močjo omrežja v točki priključitve S_{KV} . Okvirne vrednosti za faktorje fazne istočasnosti za splošni primer podajamo v spodnji razpredelnici.

Razpredelnica 2.3: Okvirne vrednosti faktorjev fazne istočasnosti k_{hj} za splošni primer

S_{nj}/S_{KV}	h						
	3	5	7	11	13	17	19
$\leq 0,001$	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
0,002	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	-
0,005	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
0,010	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,1
0,020	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
$\geq 0,050$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Za električne naprave, katerih usmerniki niso krmiljeni in ki uporabljajo kapacitivno glajenje, je k_{hj} enak 1.

Drugi sumirni zakon

Na osnovi izkušenj je izveden bolj splošen sumirni zakon tako za harmonske napetosti kot za harmonske toke. Rezultirajoča harmonska napetost U reda h je v skladu s tem zakonom naslednja:

$$U_h = \sqrt[\alpha]{\sum_j U_{hj}^\alpha} \quad (2.2)$$

kjer je

U_h velikost rezultirajoče harmonske napetosti (reda h), ki je posledica obravnavanih virov motenj (verjetnostna vrednost);

U_{hj} velikost oddajnih ravni (reda h) posameznih virov in

α eksponent, ki je odvisen od dveh faktorjev: izbrane vrednosti verjetnosti, da dejanska vrednost ne preseže izračunane vrednosti, in stopnje, do katere se posamezna harmonska napetost naključno spreminja po velikosti in fazi.

Ob tem moramo upoštevati še, da:

- se koordinacija harmonskih oddajanj v glavnem nanaša na 95-odstotno verjetnost neprekoračitve verjetnostne vrednosti;
- so viri motenj, ki prispevajo k oddajanju:
 - * največja bremena v SN in NN omrežjih,
 - * prispevki zaradi prenosa motenj med napetostnimi nivoji in
 - * generatorji z nelinearnimi karakteristikami v NN omrežju;
- so velikosti lihih harmonikov nižjih redov znatne skoraj povsod v omrežju in da ostajajo konstantne dolga obdobja;
- da imajo fazni koti lihih harmonikov nižjih redov razmeroma ozek obseg spreminjanja in
- da so velikosti in fazni koti harmonikov višjih redov zelo različni.

Trenutna strokovna literatura podaja naslednji nabor velikosti za eksponent α :

Razpredelnica 2.4: Velikosti sumirnega eksponenta α za harmonike

α	red harmonika h
1	$h < 5$
1,4	$5 \leq h \leq 10$
2	$h > 10$

Če je opredeljeno, da so harmoniki verjetno v fazi (razlike med faznimi koti znašajo manj kot 90°), se tudi za harmonike reda 5 in več za vrednost eksponenta α vzame 1. V tem primeru se vektorji preprosto seštevajo.

II.4.2. Kolebanje napetosti in jakost flikerja

Če je v eno točko omrežja priključenih več virov flikerja (npr. več obločnih peči), lahko sumarno kratkotrajno jakost flikerja ocenimo iz kratkotrajnih jakosti flikerja posameznih virov P_{stj} na osnovi enačbe:

$$P_{sti} = \sqrt[m]{\sum_j P_{stj}^m} \quad (2.3)$$

Vrednost koeficienta m je odvisna od karakteristik glavnega vira kolebanja, in sicer:

- ($m = 4$) za primer obločne peči, ki tehnološko obratujejo tako, da je preprečeno istočasno taljenje;
- ($m = 3$) za večino napetostnih sprememb, kjer je možnost istočasne spremembe zelo majhna. V to skupino spada večina primerov, kjer imamo opraviti z več neodvisnimi, nepovezanimi viri flikerja.
- ($m = 3,2$) za napetostne spremembe, ki ustrezajo nagibu ravnega dela krivulje " $P_{st}=1$ ";
- ($m = 2$) za primere, kjer je verjeten pojav istočasnega stohastičnega šuma (angl. coincident stochastic noise), kot npr. istočasno taljenje pri obločnih pečeh;
- ($m = 1$) za primere, kjer je zelo velika verjetnost istočasnih napetostnih sprememb.

Strokovne študije so pokazale, da je izbira najbolj ustrezne vrednosti za koeficient m odvisna od percentila P_{st} , ki ga uporabljamo za oceno. Tako so študije pokazale, da je za primer dveh obločnih peči za percentil $P_{st50\%}$ najboljša izbira $m = 1$, za percentil $P_{st75\%}$ vrednost $m = 2$, za percentil $P_{st90\%}$ vrednost $m = 3$ in za percentil $P_{st99\%}$ vrednost $m = 4$. Ista študija je pokazala, da je za $P_{st99\%}$ najboljša vrednost $m = 3$.

V praksi se za koeficient m največkrat uporablja vrednost 3, saj daje rezultate, ki so konzervativni. Tudi tehnično poročilo SIST-TP IEC/TR3 61000-3-7 uporablja $m = 3$ tako za kratkotrajno kot za dolgotrajno jakost flikerja, zato bomo v nadaljevanju o naslednjih dveh formulah govorili kot o kubičnem sumirnem zakonu:

$$P_{st} = \sqrt[3]{\sum_j P_{stj}^3} \text{ in} \quad (2.4)$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_j P_{ltj}^3} . \quad (2.5)$$

II.5. PRESOJANJE DOVOLJENIH MOTENJ V OMREŽJE

Električne naprave uporabnikov omrežja morajo obratovati tako, da ne povzročajo nedopustnih vplivov na omrežje samo, kakor tudi na naprave ostalih uporabnikov omrežja. Presoja o tem, ali so vplivi posamezne naprave na omrežje dopustni ali ne je v pristojnosti upravljalca tega omrežja. Seveda pa mora biti presoja o dopustnosti vplivov naprave na omrežje utemeljena z internimi pravilniki oziroma predpisi upravljalca omrežja, ki se opirajo na stanje tehnike.

III. Postopek presoje vpliva naprav na nizkonapetostno omrežje

III.1. NAPRAVE Z NAZIVNIM TOKOM DO 16 A FAZNO V NN OMREŽJU

Za to področje sta za emisijo **harmonskih tokov** in **kolebanja napetosti** ter **flikerja** osnovna standarda:

- **SIST EN 61000-3-2:** *Mejne vrednosti za oddajanje harmonskih tokov (vhodni tok opreme do vključno 16 A na fazo) in*
- **SIST EN 61000-3-3:** *Omejitev vrednosti kolebanja napetosti in flikerja v nizkonapetostnih napajalnih sistemih za opremo z označenim tokom do 16 A in ni priključena pod določenimi pogoji.*

Proizvajalec naprave z ustreznimi certifikati, označbami na izdelku in izjavo o skladnosti zagotovi, da je izdelek skladen z navedenima standardoma. **Takšen izdelek lahko brez težav vključimo v omrežje, ki ima kakovost napetosti v skladu z veljavnimi standardi.**

V kolikor gre za priključitev več enakih naprav v omrežje, ki bodo obratovala v enakih intervalih in s približno enakimi močmi, se utegne zgoditi, da bodo oddajne meje te skupine naprav presežene, čeprav bo oddajna meja vsake naprave zase v skladu z veljavnimi standardi. Zaradi tega je treba pri vključevanju takšnih porabnikov (na primer večje poslovne ali stanovanjske stavbe) celovito preveriti emisijo motenj v omrežje. Kot pomoč pri presoji lahko uporabimo standarde, ki obravnavajo naprave z nazivnim tokom nad 16 A fazno.

III.2. NAPRAVE Z NAZIVNIM TOKOM MED 16 A IN 75 A FAZNO V NN OMREŽJU – KOLEBANJE NAPETOSTI IN FLIKER

Za naprave z nazivnim tokom nad 16 A fazno v NN omrežju je **včasih** potrebna **pogojena priključitev**. To pomeni, da je včasih mogoče napravo priključiti v omrežje le, če so v omrežju izpolnjeni določeni pogoji. Za naprave med 16 in 75 A fazno se lahko uporabi standard **SIST EN 61000-3-11**, ki je nadomestil tehnično specifikacijo **SIST-TS IEC/TS 61000-3-5** v tistem delu, ki se nanaša na naprave z nazivnim tokom med 16 in 75 A fazno. Tehnična specifikacija SIST-TS IEC/TS 61000-3-5 pa je bila ravno zaradi tega v letu 2009 prenovljena. Primernost opreme za priklop ocenimo na osnovi informacij izdelovalca opreme, upravljalca omrežja in odjemalca. Oglejmo si postopek presoje za kolebanje napetosti in fliker v skladu s standardom SIST EN 61000-3-11.

V kolikor proizvajalec naprave nad 16 A fazno ugotovi, da je naprava uspešno prestala preizkus po standardu SIST EN 61000-3-3, potem to tudi tako deklarira in nadaljnja presoja ni potrebna. Taka naprava se nato glede kolebanja napetosti in flikerja obravnava enako kot vse naprave do 16 A fazno. Če pa naprava nad 16 A fazno ne zadošča mejam v standardu SIST EN 61000-3-3 ima proizvajalec dve možnosti:

- Lahko jo preizkusi še enkrat po tem standardu tako, da ugotovi pri kateri maksimalni impedanci omrežja naprava še zadošča mejam v standardu SIST EN 61000-3-3. V tem primeru mora v navodilih za uporabo jasno navesti, **da je pred priklopom naprave v omrežje nujen posvet pri upravljalcu omrežja, ker je potreben pogojen priklop.**
- Lahko jo testira pod pogoji v standardu SIST EN 61000-3-11 in če ustreza navedenim mejam, mora proizvajalec naprave v navodilih za uporabo naprave jasno navesti, **da je uporaba te naprave dovoljena le na tistih mestih v NN omrežju, ki imajo nazivni tok (sposobnost omrežja) večji od 100 A fazno.**

Če oprema, ki jo namerava namestiti odjemalec, ustreza določilom SIST EN 61000-3-11, upravljalcu za presojo in odobritev priklopa zadostuje ustrezna izjava izdelovalca naprave o skladnosti.

V nekaterih primerih (če sta nazivni tok glavne varovalke ali nastavitev nadtokovne zaščite odklopnika na meji med javnim omrežjem in odjemalčevim postrojem manjša od 100 A fazno oziroma če je dejanska sistemska impedanca večja od maksimalno dovoljene sistemske impedance) pa je ob izjavi o skladnosti dodatno potreben še dogovor med upravljalcem omrežja in odjemalcem.

Takrat je treba opraviti analizo še dopustne impedance omrežja v točki priklopa naprave tako, da so padci napetosti na mestu vključitve naprave znotraj meja, ki so zapisane v standardu SIST EN 61000-3-11.

Upravljalec omrežja mora tako poznati velikost sistemske impedance za priključno točko odjemalca v normalnih obratovalnih pogojih, sistemsko impedanco na mestu priključitve drugih odjemalcev (če se ta znatno razlikuje od impedance na mestu priključitve odjemalca) in druge posebne pogoje (npr. raven obstoječih motenj v omrežju - meritve). Ne nazadnje pa mora upravljalec omrežja imeti na voljo oceno o tem, kolikšni bi bili stroški ojačitve omrežja, ki bi omogočilo priključitev večjega zahtevnejšega porabnika. Vse te podatke mora imeti upravljalec omrežja zbrane, da jih lahko posreduje odjemalcu za podporo pri odločitvi o nabavi in namestitvi opreme.

Podrobnejša študija omrežja z oceno glede na vrednost dejanske sistemske impedance in priporočljive meje za P_{st} ter P_{It} pa je potrebna, kadar nazivni tok opreme presega 75 A. Takrat se lahko uporabi tehnična specifikacija SIST-TS IEC/TS 61000-3-5.

III.3. NAPRAVE Z NAZIVNIM TOKOM MED 16 A IN 75 A FAZNO V NN OMREŽJU – HARMONSKI TOK

Za naprave z nazivnim tokom nad 16 A fazno v NN omrežju je **včasih** potrebna **pogojena priključitev**. To pomeni, da je včasih mogoče napravo priključiti v omrežje le, če so v omrežju izpolnjeni določeni pogoji.

Za naprave med 16 in 75 A fazno se lahko uporabi standard **SIST EN 61000-3-12**, ki je nadomestil tehnično poročilo **SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4** v tistem delu, ki se nanaša na naprave z nazivnim tokom med 16 in 75 A fazno. Primernost opreme za priklop ocenimo na osnovi informacij upravljalca omrežja, odjemalca in izdelovalca opreme.

Oglejmo si postopek presoje za harmonske toke v skladu s standardom SIST EN 61000-3-12. Izdelovalec opreme z izjavo v navodilih za uporabo ali v spremljajoči dokumentaciji poroča o skladnosti opreme z navedenima dokumentoma. Izdelovalec opreme oz. njen pooblaščen dobavitelj tako opozori kupca (odjemalca), da je potrebno, da v določenih primerih distribucijsko podjetje pred izdajo soglasja preveri, če so v omrežju izpolnjeni pogoji (kratkostična moč v točki priklopa) za priključitev opreme na javno distribucijsko omrežje.

Proizvajalec naprave določi, kakšno mora biti **razmerje med kratkostično močjo omrežja v točki priklopa in nazivno močjo naprave** (R_{kse}). V primeru, da je to potrebno razmerje manjše ali enako 33, je **priključitev naprave mogoča brez zadržkov kjerkoli v omrežju**. Takrat proizvajalec v navodilih naprave navede, da je *oprema skladna s standardom EN 61000-3-12*.

V kolikor je potrebno višje razmerje kratkostičnih moči, proizvajalec naprave navede, kakšna mora biti najmanjša kratkostična moč omrežja na mestu priklopa naprave. V navodilih naprave obvezno navede, da je pred priklopom naprave **nujen posvet pri upravljalcu omrežja!**

V kolikor tudi po teh pogojih priključitev naprave ni mogoča, se lahko s pomočjo digitalne simulacije in preciznega modela naprave ugotovi, ali je priključitev naprave vseeno mogoča.

III.4. NAPRAVE Z NAZIVNIM TOKOM NAD 75 A FAZNO V NN OMREŽJU – KOLEBANJE NAPETOSTI IN FLIKER

Za naprave z nazivnim tokom nad 75 A fazno v NN omrežju je vselej potrebna **pogojena priključitev**. To pomeni, da je mogoče napravo priključiti v omrežje le, če so v omrežju izpolnjeni določeni pogoji. **Potrebna je podrobnejša študija omrežja z oceno glede na vrednost dejanske sistemske impedance in priporočljive meje za P_{st} ter P_{It}** . Za kolebanje napetosti in fliker se lahko v tem primeru uporabi tehnično specifikacijo **SIST-TS IEC/TS 61000-3-5**. Tehnično poročilo je trenutno v fazi prenove.

Vsekakor je **pred** priključitvijo takšne naprave v omrežje treba opraviti temeljite meritve kakovosti napetosti na več mestih v omrežju. Prav tako je treba meritve opraviti **po** vključitvi v omrežje. Odjemalec, ki želi priključiti večjega motečega porabnika na javno nizkonapetostno omrežje, mora na zahtevo upravljalca omrežja le-temu posredovati informacije, ki omogočajo oceno motenj, ki jih utegne povzročiti priključena oprema. V nasprotnem primeru lahko upravljalec omrežja zavrne priključitev takšne naprave. V tehnični specifikaciji SIST-TS IEC/TS 61000-3-5 je naveden vprašalnik, ki je lahko v pomoč upravljalcu omrežja.

Vprašalnik vsebuje vprašanja o nazivnih močeh naprave, močeh pri zagonu, minimalni sistemski impedanci navedeni v navodilih za napravo, komutacijskih zarezah in tranzientih v obratovanju, signalnih napetostih ter možnosti naprave za generatorsko obratovanje. Prav tako vsebuje vprašalnik

informacije o frekvenci zagonov naprave, maksimalnih in minimalnih obremenitvah, času v dnevu, ko se zgodijo zagoni, itn. Vprašalnik vsebuje tudi ukrepe, ki so za znižanje motenj že opravljeni na napravi, morebitno skladnost z ostalimi standardi ter informacije o morebitni podobnosti opreme z že vgrajeno opremo. Te slednje informacije lahko poda proizvajalec opreme.

Izpolnjen vprašalnik je odjemalec dolžan posredovati upravljalcu omrežja dovolj časa pred nakupom in montažo naprave.

V kolikor študija razmer z vključeno napravo pokaže, da so **vsi pogoji** navedeni v tehnični specifikaciji SIST-TS IEC/TS 61000-3-5 izpolnjeni, se napravo lahko vključi v omrežje. V nasprotnem primeru se vključitev naprave zavrne.

III.5. NAPRAVE Z NAZIVNIM TOKOM NAD 75 A FAZNO V NN OMREŽJU – HARMONSKI TOK

Za naprave z nazivnim tokom nad 75 A fazno v NN omrežju je vselej potrebna **pogojena priključitev**. Tehnično poročilo **SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4** predvideva tristopenjski postopek za odobritev priključitve naprav nad 75 A, ki oddajajo harmonike. Če naprava ustreza kriteriju katere koli od teh treh stopenj, ni ovir za njeno priključitev na distribucijsko nizkonapetostno omrežje. Tehnično poročilo je trenutno v fazi prenove.

III.5.1. Stopnja 1

Po kriteriju prve stopnje lahko brez zadržkov priključimo v katero koli točko javnega nizkonapetostnega distribucijskega omrežja vse tiste naprave, katerih karakteristike ustrezajo podatkom iz razpredelnice 3.1, za oddajanje harmonskih tokov in katerih kratkostično razmerje R_{kse} je večje ali enako 33. Pri tem je kratkostično razmerje definirano kot razmerje med kratkostično močjo v točki priklopa in nazivno navidezno močjo naprave. Za enofazne, medfazne in trifazne naprave je kratkostično razmerje definirano kot:

$$R_{kse} = S_{kV} / (3 \cdot S_{equ}) \text{ za enofazne naprave,} \quad (3.1)$$

$$R_{kse} = S_{kV} / (2 \cdot S_{equ}) \text{ za medfazne naprave,} \quad (3.2)$$

$$R_{kse} = S_{kV} / (S_{equ}) \text{ za trifazne naprave.} \quad (3.3)$$

Razpredelnica 3.1: Oddajne vrednosti za tok za stopnjo preverjanja 1 pri razmerjih $R_{kse} \geq 33$

Red harmonika h	Dopustni harmonski tok (%)
3	21,6
5	10,7
7	7,2
9	3,8
11	3,1
13	2
15	0,7
17	1,2
19	1,1

Red harmonika h	Dopustni harmonski tok (%)
21	$\leq 0,6$
23	0,9
25	0,8
27	$\leq 0,6$
29	0,7
31	0,7
> 33	$\leq 0,6$

SODI harmoniki: $\leq 8/h$ ali $\leq 0,6$

Naprava, ki ustreza priklopu po stopnji 1 je v navodilih za uporabo označena v smislu: "Ta naprava ustreza standardu SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4 pod pogojem, da je R_{kse} večje kot 33, kar potrди lokalno distribucijsko podjetje".

III.5.2. Stopnja 2

Kriterij druge stopnje upošteva podatke o omrežju in napravi. V skladu s kriterijem druge stopnje lahko priključimo vse tiste naprave, ki sicer ne ustrezajo kriteriju stopnje 1, vendar imajo kratkostično razmerje R_{kse} večje kot 33 in njihovo oddajanje zadošča pogojem iz razpredelnice 3.2. Pri tem se uporabijo utežene vrednosti za posamezne harmonike. Za kratkostična razmerja, ki so po velikosti med vrednostima v razpredelnici, lahko uporabimo linearno interpolacijo. V primeru neuravnotežene trifazne električne naprave vrednosti iz razpredelnice veljajo za posamezno fazo.

Posamezni uteženi faktor harmonika PWHD je razmerje med efektivnimi vrednostmi izbrane skupine harmonikov (višjega reda), uteženimi z redom h in efektivno vrednostjo osnovnega harmonika. V enačbi 3.4 je PWHD izračunan za harmonike od 14 do 40:

$$PWHD = \sqrt{\sum_{h=14}^{40} h \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} . \quad (3.4)$$

Ob tem za sode harmonike velja, da ne smejo preseči vrednosti, dobljene z razmerjem $16/h$ %. Za kratkostična razmerja, ki so po velikosti med vrednostima v razpredelnici, lahko uporabimo linearno interpolacijo. V primeru neuravnotežene trifazne električne naprave vrednosti iz razpredelnice veljajo za posamezno fazo.

Razpredelnica 3.2: Oddajne vrednosti za tok za stopnjo preverjanja 2 ($R_{kse} > 33$) za enofazne, medfazne in neuravnotežene trifazne električne naprave

Mini- malni R_{kse}	Dopustni faktorji popačenja zaradi harmonskih tokov (%)		Dopustni posamezni harmonski toki I_n/I_1 (%)					
	<i>THD celostni</i>	<i>PWHD posamični</i>	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}
66	25	25	23	11	8	6	5	4
120	29	29	25	12	10	7	6	5
175	33	33	29	14	11	8	7	6
250	39	39	34	18	12	10	8	7
350	46	46	40	24	15	12	9	8
450	51	51	40	30	20	14	12	10
600	57	57	40	30	20	14	12	10

Naprava, ki ustreza priklopu po stopnji 2 je v navodilih za uporabo označena v smislu: "Ta naprava ustreza standardu SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4 pod pogojem, da je R_{kse} večje kot xx, kar potrди lokalno distribucijsko podjetje". Pri tem je "xx" minimalna velikost kratkostičnega razmerja, ki je potrebna za priklop naprave.

III.5.3. Stopnja 3

Stopnja tri velja za vse naprave, ki ne izpolnjujejo pogojev iz stopnje 1 ali stopnje 2, oziroma katerih fazni toki presegajo 75 A. Priklučitev naprave na omrežje je mogoča po presoji distribucijskega podjetja glede na razmere v omrežju, na osnovi priključne delovne moči odjemalčevih instalacij in ravni načrtovanja harmonikov.

Ponavadi je za to stopnjo priključitve potrebna digitalna simulacija razmer po vključitvi naprave. Za to potrebujemo natančen model naprave oziroma harmonskih motenj, ki jih naprava oddaja, obstoječ nivo motenj v omrežju ter nivo načrtovanih motenj v omrežju.

Naprava, ki ne ustreza priklopu niti po stopnji 1, niti po stopnji 2 je v navodilih za uporabo označena v smislu: "Ta naprava presega nivoje navedene v standardu SIST-TP IEC/TR2 61000-3-4".

IV. Postopek presoje vpliva naprav na srednjenapetostno omrežje

IV.1. KOLEBANJE NAPETOSTI IN FLIKER

Standarda, ki bi določal oddajne meje za fliker za opremo, vključeno v SN omrežje, ni. Razloga za nedefiniranje sta dva. Srednja napetost je razmeroma širok pojem, saj zajema napetostne nivoje od 1 kV do 35 kV, poleg tega tudi še ni mednarodno definirane referenčne impedance za srednjenapetostna omrežja.

Kriterije za odobritev priključitve odjemalca glede na oddajanje flikerja podaja za SN (in VN omrežje) tehnično poročilo **SIST-TP IEC/TR3 61000-3-7**. V njem opisan pristop temelji na podatkih o priključni moči odjemalca, moči naprav, ki povzročajo fliker in karakteristikah distribucijskega omrežja (kratkostični moči). Cilj tega pristopa je omejiti vnos flikerja s strani posameznih odjemalcev na takšno raven, da raven flikerja v sistemu ne preseže ravni načrtovanja.

Pristop predvideva ocenjevalni postopek porabnika v treh stopnjah:

- poenostavljeno vrednotenje – stopnja 1,
- kontrola oddajne meje, sorazmerne priključni moči odjemalca - stopnja 2 in
- sprejetje višjih oddajnih mej na osnovi posebnih pogojev - stopnja 3.

Stopnje postopka je mogoče uporabiti eno za drugo, mogoča pa je tudi uporaba posamezne stopnje. Glede oddajanja flikerja imajo svoje obveznosti tako odjemalci kot distribucijska podjetja. Odjemalci so odgovorni za vzdrževanje svojega oddajanja v priključni točki pod mejami, ki jih predpiše distribucijsko podjetje. Podjetje pa je odgovorno za celostni nadzor ravni motenj v normalnih obratovalnih pogojih v skladu z zahtevami veljavne tehniške zakonodaje. Podjetje in odjemalec morata sodelovati pri določanju optimalne metode za zmanjšanje motenj. Projekt in izbira metode za odpravo ali kompenzacijo motnje sta obveznost odjemalca.

IV.1.1. Stopnja 1

Če je razmerje med spremembo moči motečega porabnika ΔS in kratkostično močjo v točki priključitve S_{kV} manjše ali enako vrednostim, ki jih podaja razpredelnica 4.1, lahko distribucijsko podjetje odjemalca, ki povzroča kolebanje napetosti, brez nadaljnjih analiz priključi na SN omrežje.

Razpredelnica 4.1: Stopnja 1 – meje za relativne spremembe moči v odvisnosti od števila sprememb na minuto

r (1/min)	$K = (\Delta S / S_{kV})_{\max}$ (%)
$r > 200$	0,1
$10 \leq r \leq 200$	0,2
$r < 10$	0,4

Dopustne vrednosti so odvisne od števila sprememb napetosti, ki jih povzroči breme v eni minuti (r). Pri tem predstavljata upad napetosti in njena vrnitev na vrednost pred upadom dve spremembi napetosti. ΔS je lahko manjša, enaka ali večja od nazivne moči porabnika S_n . Za motor ob zagonu znaša npr. ΔS od trikrat do osemkrat S_n .

IV.1.2. Stopnja 2

Če ni mogoče dovoliti priključitve bremena po kriteriju iz stopnje 1, je treba oceniti specifične karakteristike naprave, ki generira fliker, ob upoštevanju "absorbcijske" zmožnosti omrežja. To pove, koliko je omrežje zmožno "pokriti" vpliv motečih porabnikov v omrežju. Ocenimo jo iz postavljenih ravni načrtovanja in jo razporedimo na posamezne odjemalce v skladu z njihovo porabo glede na absorbcijsko zmožnost celotnega omrežja. Pri SN omrežju moramo pri porazdeljevanju ravni

načrtovanja po posameznih odjemalcih upoštevati tudi raven motnje, prenesene iz VN omrežja. Če je torej sistem maksimalno obremenjen in vsi odjemalci oddajajo fliker, ki dosega njihovo dopustno mejo, potem v skladu s tem pristopom velja, da so ravni skupnih motenj že enake ravni načrtovanja.

Fliker se v radialnih omrežjih med nivoji različnih napetosti širi v skladu z razmeroma preprostima zakonoma:

- jakosti flikerja, ki so prisotne na določenem napetostnem nivoju, se z rahlim zmanjšanjem popolnoma prenesejo na nižje napetostne nivoje (koeficient prenosa je med nad 0,8 in 1),
- prenašanje flikerja iz nižje napetostnih nivojev na višje pa je praktično zanemarljivo.

Za določitev celostne emisije vseh porabnikov, priključenih na SN omrežje, moramo najprej izračunati rezultirajočo kratkotrajno jakost flikerja P_{st} in dolgotrajno jakost flikerja P_{lt} , ki ju določimo po kubičnih sumirnih zakonih (poglavje 2).

Dejanska raven flikerja v SN omrežju je rezultat ravni flikerja iz nadrejenega VN omrežja in ravni flikerja, ki ga povzročajo porabniki, priključena na SN omrežje. Dejanska raven flikerja ne sme prekoračiti nivoja načrtovanja za fliker v SN omrežju.

Maksimalni celostni prispevek porabnikov v SN omrežju k ravni flikerja v SN omrežju (izraženega s kratkotrajno jakostjo flikerja) lahko torej izračunamo na naslednji način:

$$G_{P_{st}SN} = \sqrt[3]{L_{P_{st}SN}^3 - T_{P_{st}VS}^3 \cdot L_{P_{st}VN}^3}, \quad (4.1)$$

kjer so:

$G_{P_{st}SN}$ maksimalni celostni prispevek lokalnih bremen k ravni flikerja v SN omrežju (izraženega s kratkotrajno jakostjo flikerja P_{st});

$L_{P_{st}SN}$ raven načrtovanja ravni flikerja v SN omrežju;

$L_{P_{st}VN}$ raven načrtovanja ravni flikerja v nadrejenem VN omrežju;

$T_{P_{st}VS}$ koeficient prenosa iz nadrejenega VN omrežja v SN omrežje.

Na enak način lahko izračunamo tudi maksimalni celostni prispevek porabnikov v SN omrežju k ravni flikerja, izraženega z dolgotrajno jakostjo flikerja:

$$G_{P_{lt}SN} = \sqrt[3]{L_{P_{lt}SN}^3 - T_{P_{lt}VS}^3 \cdot L_{P_{lt}VN}^3}, \quad (4.2)$$

kjer so

$G_{P_{lt}SN}$ maksimalni celostni prispevek lokalnih bremen k ravni flikerja v SN omrežju (izraženega z dolgotrajno jakostjo flikerja P_{lt}),

$L_{P_{lt}SN}$ raven načrtovanja ravni flikerja v SN omrežju,

$L_{P_{lt}VN}$ raven načrtovanja ravni flikerja v nadrejenem VN omrežju in

$T_{P_{lt}VS}$ koeficient prenosa iz nadrejenega VN omrežja v SN omrežje.

Ker je v distribucijskem omrežju več odjemalcev, sme zase vsak posamezen odjemalec vzeti oz. mu pripada le del maksimalnega dopustnega celostnega prispevka. Delež, ki pripada posameznemu odjemalcu, lahko določimo na osnovi njegove priključne moči S_i ($S_i = P_i / \cos \varphi$) in celotne moči bremen, ki so neposredno napajana iz SN omrežja, ob polni obremenitvi sistema S_{SN} . Ta kriterij je bil izbran zato, ker je priključna moč merilo za to, koliko odjemalec uporablja omrežje, s tem pa je povezan tudi ustrezni delež investicijskih stroškov v omrežju.

Če se pomikamo vzdolž voda v distribucijskem omrežju, razmerje med napajalno zmogljivostjo in impedanco omrežnega ekvivalenta, ki ga zlahka izračunamo na zbiralkah napajalnega transformatorja, navadno ni konstantno. Razmerje S_i/S_{SN} pa je nepristranski kriterij za dodelitev dovoljenega deleža oddajanja flikerja za posameznega odjemalca.

S_{SN} – napajalna zmogljivost omrežja (moč transformatorja),

S_i – moč posameznega porabnika.

Ker vsa kolebajoča bremena ne obratujejo istočasno, moramo vpeljati še faktor istočasnosti F_{SN} .

Tipične vrednosti za F_{SN} so od 0,2 do 0,3.

Ob upoštevanju kubičnega sumirnega zakona sta oddajni meji za fliker za posameznega odjemalca naslednji:

$$E_{Psti} = G_{PstSN} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{SN}} \cdot \frac{1}{F_{SN}}} , \quad (4.3)$$

$$E_{Plti} = G_{PltSN} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{SN}} \cdot \frac{1}{F_{SN}}} . \quad (4.4)$$

Za tiste odjemalce, ki imajo razmeroma nizke priključne moči, predstavlja takšen pristop preveč stroge omejitve. Da bi se izognili tej težavi, tehnično poročilo SIST IEC/TR3 61000-3-7 predlaga, da vsakemu odjemalcu pripadajo minimalne – osnovne oddajne ravni za kratkotrajno in dolgotrajno jakost flikerja. Te podaja naslednja razpredelnica.

Razpredelnica 4.2: Osnovne oddajne ravni za fliker

E_{Psti}	E_{Plti}
0,35	0,25

IV.1.3. Stopnja 3

V posebnih okoliščinah je mogoče, da sme odjemalec generirati več flikerja, kot dopušča kriterij stopnje 2. To je mogoče, če se prej odjemalec in distribucijsko podjetje dogovorita o posebnih pogojih priključitve. V ta namen mora upravljalec distribucijskega omrežja analizirati trenutne in bodoče karakteristike distribucijskega omrežja.

IV.2. HARMONSKI TOK

Standarda, ki bi določal oddajne meje za harmonske toke za SN opremo, ni. Razloga sta dva. Srednja napetost je razmeroma širok pojem, saj zajema srednja napetostne nivoje od 1 kV do 35 kV. Poleg tega tudi še ni mednarodno definirana referenčna impedanca za sredjenapetostna omrežja. Kriterije za odobritev priključitve odjemalca glede na oddajanje harmonikov podaja za SN (in VN omrežje) tehnično poročilo **SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6**. V njem opisan pristop temelji na podatkih o priključni moči odjemalca, moči naprav, ki povzročajo harmonike, in karakteristikah distribucijskega omrežja (kratkostični moči). Cilj tega pristopa je omejiti vnos harmonikov s strani posameznih odjemalcev na takšno raven, da njihova raven v sistemu ne preseže ravni načrtovanja. Pristop predvideva ocenjevalni postopek v treh stopnjah:

- poenostavljeno vrednotenje,
- kontrola oddajne meje, sorazmerne priključni moči odjemalca,
- sprejetje višjih oddajnih mej na osnovi posebnih pogojev.

Stopnje postopka je mogoče uporabiti eno za drugo, mogoča pa je tudi uporaba posamezne stopnje.

IV.2.1. Stopnja 1

Distribucijsko podjetje lahko brez dodatnih analiz na SN omrežje priključi porabnika, ki izpolnjuje pogoj:

$$\frac{S_i}{S_{kV}} \leq 0,2\% , \quad (4.5)$$

kjer sta

S_i priključna moč porabnika i in

S_{KV} kratkostična moč v priključni točki V .

Če ta pogoj ni izpolnjen, tehnično poročilo SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6 priporoča dva alternativna pristopa preverjanja porabnika:

- uporabo tehtane moteče moči (angl. weighted distorting power) za referenčno vrednost ali
- uporabo relativnih harmonskih tokov za oddajne meje.

Tehtana moteča moč kot referenčna vrednost za oceno

Pri prvem pristopu moramo izračunati "tehtano motečo moč" S_{Dwi} , ki ponazarja velikost motečega porabnika znotraj odjemalčevih postrojev. Tehtano motečo moč lahko izračunamo na osnovi uteži W_j za tipične vrste porabnikov, ki generirajo harmonike. Tako lahko uporabimo zgornji pogoj ob predpostavki, da vzamemo tehtano moč porabnika po naslednji formuli:

$$S_{Dwi} = \sum_j S_{Dj} \cdot W_j \quad , \quad (4.6)$$

kjer je

S_{Dj} moč posamezne moteče naprave (j) v postroju (i).

Če ne poznamo značilnosti motečega porabnika, lahko privzamemo utež z vrednostjo 2,5. Modificirani kriterij za odobritev priključitve se v okviru pristopa glasi:

$$\frac{S_{Dwi}}{S_{KV}} < 0,2\% \quad . \quad (4.7)$$

Razpredelnica 4.3: Uteži W_j za tipične vrste porabnikov, ki povzročajo harmonike (SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6)

Tipična oprema, priključena na NN ali SN omrežje	Tipični THD	Utež W_j
enofazno napajanje (usmernik in gladilni kondenzator)	80 % (visoki tretji harmonik)	2,5
polpretvornik (angl. <i>semiconverter</i>)	visoki drugi, tretji in četrti harmonik pri delnih bremenih	2,5
6-valni pretvornik, kapacitivno glajenje, brez serijske induktivnosti	80 %	2,0
6-valni pretvornik, kapacitivno glajenje s serijsko induktivnostjo > 3 % ali enosmerni pogon	40 %	1,0
6-valni pretvornik z veliko induktivnostjo za glajenje toka	28 %	0,8
12-valni pretvornik	15 %	0,5
izmenični regulator napetosti	odvisno od kota vžiga (proženja)	0,7

Relativni harmonski toki kot oddajne meje

V fazi preverjanja bremena lahko priključitev preverimo in odobrimo na osnovi podatka o relativnih harmonskih tokovih. Razpredelnica 4.4 podaja okvirne vrednosti oz. razmerja oddajnih mej teh tokov. Te so seveda odvisne od vrste (moči) omrežja, zato so v razpredelnici podana območja vrednosti za dopustne harmonske toke I_h za povprečno močna omrežja, med katera lahko štejemo tudi slovenska distribucijska omrežja. Pri tem je I_h skupni harmonski tok reda h , ki ga povzroča odjemalec, I_i pa je efektivni tok, ki ustreza odjemalčevi priključni moči pri osnovni frekvenci.

Razpredelnica 4.4: Okvirne vrednosti za meje relativnih harmonskih tokov (v sklopu stopnje 1) za odjemalca

red harmonika h	5	7	11	13	> 13
dopustni harmonski tok $I_h = I_{hj} / I_i$ (%)	5	5	3	3	$500 / h^2$

Za odjemalce s priključno močjo večjo od 2 MVA, ali za tiste, pri katerih je razmerje med priključno močjo in kratkostično močjo v priključni točki večje od 2 %, se utegne zgoditi, da so oddajne meje iz razpredelnice v tehničnem poročilu višje od tistih, ki jih dopušča stopnja 2 v nadaljevanju. Če se to zgodi, je treba oddajne meje presojati v skladu s kriterijem iz stopnje 2.

IV.2.2. Stopnja 2

V drugi stopnji preverjanja vsakemu posameznemu odjemalcu dodelimo ustrežni delež ravni načrtovanja v skladu z njegovim deležem glede na celotno moč napajanja distribucijskega omrežja, ki je določena v točki priključitve odjemalčevega postroja. Gre za princip, da je motenje sorazmerno njegovi moči glede na razpoložljivi obseg dopustnih motenj. S tem pristopom zagotovimo, da raven motnje zaradi harmonikov, ki jih generirajo vsi odjemalci, ne preseže ravni načrtovanja.

Tudi v okviru stopnje 2 predlaga tehnično poročilo SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6 dva pristopa:

- poenostavljeni pristop na osnovi prvega sumirnega zakona in
- splošni pristop na osnovi drugega sumirnega zakona.

Poenostavljeni pristop na osnovi prvega sumirnega zakona

V okviru prvega pristopa ocenimo U_{hi} (delež celotne harmonske napetosti v omrežju, ki jo generirajo vse naprave j v postroju odjemalca i) na osnovi harmonskih tokov I_{hj} , ki jih injicirajo posamezne naprave v odjemalčevem postroju, impedance omrežja za posamezen harmonik Z_h v priključni točki V in faktorjev fazne istočasnosti k_{hj} :

$$U_{hi} = Z_h \cdot \sum_j k_{hj} \cdot I_{hj} \quad (4.8)$$

Na osnovi znanih harmonskih tokov I_{hi} , ki jih v distribucijsko omrežje injicira odjemalčev postroj, in celostnega faktorja fazne istočasnosti k_{hi} , lahko na podoben način kot pri zgornji enačbi ocenimo harmonske napetosti omrežja v točki prikljopa z enačbo:

$$U_{hi} = Z_h \cdot k_{hi} \cdot I_{hi} \quad (4.9)$$

Prispevek "harmonikov" posameznega odjemalca U_{hi} je le del dopustnega celostnega prispevka G_{hSN} vseh porabnikov, ki jih napaja obravnavano SN omrežje. Ta celostni prispevek SN omrežja je mogoče oceniti kot zmnožek ravni načrtovanja L_{hNN} za NN omrežje in faktorja omrežnega prispevka k_{hSN} . S slednjim poskušamo torej določiti tisti del ravni načrtovanja, ki se pojavi kot padec harmonske napetosti na delu harmonske impedance opazovanega omrežja. V splošnem je vrednost faktorja k_{hSN} med 0,4 in 0,7. Kot kompromis se pogosto uporablja vrednost 0,5.

Če je S_i priključna moč odjemalca in S_t celotna razpoložljiva moč v SN omrežju, potem je dopustna vrednost harmonske napetosti, ki jo sme v omrežje generirati opazovani odjemalčev postroj, opisana z razmerjem:

$$U_{hi} \leq G_{hSN} \cdot \frac{S_i}{S_t} \quad (4.10)$$

Če torej odjemalčev porabnik za vse rede harmonikov izpolnjuje zgornji pogoj, ni ovir za njegovo priključitev na SN omrežje.

Splošni pristop na osnovi drugega sumirnega zakona

Najprej določimo celostni prispevek vseh virov harmonikov, ki so prisotni v SN omrežju, nato pa še oddajne meje za posameznega odjemalca, to je dopustni delež, ki odjemalcu pripada v okviru celostne oddajne meje.

Celostni prispevek vseh virov harmonikov, ki so prisotni v obravnavanem SN omrežju, ocenimo z uporabo drugega sumirnega zakona. Za vsak red harmonika je dejanska harmonska napetost v SN omrežju rezultat vektorskih kombinacij (vsot) harmonskih napetosti iz nadrejenega VN omrežja in harmonskih napetosti, ki so posledica vseh nelinearnih bremen, priključenih na SN omrežje (vključno z

bremeni, priključenimi na NN omrežje, ki jih lahko obravnavamo kot del bremen SN omrežja). Ta celotna harmonska napetost ne sme preseči ravni načrtovanja v SN omrežju. Celostni prispevek lahko ocenimo na dva načina z uporabo različnih predpostavk o vplivu porabnikov v NN omrežju.

Prva približna ocena

Porabnike v NN omrežju obravnavamo kot del celostnih porabnikov v SN omrežju. To je dovolj dobro v primeru, če je delež gospodinjskih odjemalcev na NN omrežju razmeroma majhen.

Če so torej:

G_{hSN+NN} dopustni celostni prispevki lokalnih SN in NN porabnikov k harmonski napetosti reda h v SN omrežju (izraženi v % osnovne napetosti);

L_{hSN} raven načrtovanja za h -ti harmonik v SN omrežju;

L_{hVN} raven načrtovanja za h -ti harmonik v nadrejenem VN omrežju;

T_{hVS} koeficient prenosa za h -ti harmonik iz nadrejenega VN omrežja v SN omrežje;

α eksponent sumirnega zakona (razpredelnica 2.4),

lahko drugi sumirni zakon zapišemo v naslednji obliki:

$$G_{hSN+NN} = \sqrt[\alpha]{L_{hSN}^\alpha - (T_{hVS} \cdot L_{hVN})^\alpha} . \quad (4.11)$$

Za prvo grobo oceno pogosto izberemo T_{hVS} (koeficient prenosa za h -ti harmonik iz nadrejenega VN omrežja v SN omrežje) v vrednosti 1. V praksi je ta vrednost manjša (npr. 0,7 do ca. 1) zaradi prisotnosti nelinearnih porabnikov in njihovih posledic v 110, 220 in 400 kV omrežjih ali pa večja (navadno med 1 in 3) zaradi verjetnosti, da nastane resonanca. Ti koeficienti so časovno spremenljivi (npr. zaradi vklopov oz. izklopov kondenzatorskih baterij, delovanja nelinearnih porabnikov). Distribucijsko podjetje določi ustrezne vrednosti za svoje omrežje na temelju monitoringa in analiz.

Druga približna ocena

Če je delež gospodinjskih odjemalcev v NN omrežju znoten, je prva približna ocena preveč stroga, saj predpostavlja, da moteči industrijski in gospodinjski porabniki obratujejo istočasno.

Če so:

G_{hSN} dopustni celostni prispevki lokalnih SN porabnikov k harmonski napetosti reda h v SN omrežju (izraženi v % osnovne napetosti);

S_{SN} celotna moč porabnikov, ki so direktno napajana iz SN omrežja (ob nasičenosti omrežja) iz transformatorjev VN/SN;

S_{NN} celotna moč porabnikov, ki so direktno napajana iz NN omrežja (ob nasičenosti omrežja) iz istih transformatorjev VN/SN;

F_{S-N} faktor istočasnosti za moteča bremena v SN in NN omrežju;

α eksponent sumirnega zakona (razpredelnica 2.4),

lahko drugi sumirni zakon zapišemo v naslednji izpopolnjeni obliki, in sicer:

$$G_{hSN} = \sqrt[\alpha]{\frac{S_{SN}}{S_{SN} + S_{NN} \cdot F_{S-N}} [L_{hSN}^\alpha - (T_{hVS} \cdot L_{hVN})^\alpha]} . \quad (4.12)$$

Vrednost faktorja istočasnosti lahko dobimo iz obremenitvenih diagramov. Faktor lahko na grobo izračunamo kot razmerje med močjo NN bremen v trenutku konice SN omrežja in močjo konice NN omrežja. Tako postavljen faktor privzema, da ni prekrivanja med maksimalnim oddajanjem harmonikov v SN in NN omrežju. Ta predpostavka je posledica razlik v obremenitvenih diagramih in značilnosti bremen v SN in NN omrežju. Faktor istočasnosti moramo izbrati čim bolj konzervativno.

Oddajna meja za posameznega odjemalca je le delež (npr. nekaj odstotkov celote) celostnega dopustnega oddajanja G_{hSN+NN} oz. G_{hSN} , saj mora biti to porazdeljeno med vse odjemalce. Ta delež lahko smiselno določimo na osnovi priključne moči odjemalca S_i ($S_i = P_i / \cos\phi$) in celotne napajalne kapacitete omrežja S_t . Pri tem je S_t v splošnem višja ali enaka vsoti priključnih moči vseh odjemalcev,

ki so napajani iz obravnavanega SN omrežja. Ta kriterij je bil izbran zato, ker je priključna moč odjemalca pogosto povezana z njegovim deležem pri investicijskih stroških v omrežju. Tudi individualni prispevek odjemalca lahko ocenimo na dva načina glede na uporabo različnih predpostavk o vplivu porabnikov v NN omrežju, poleg tega pa še na tretji način z upoštevanjem variacij kratkostičnih ravni v omrežju.

Prva približna ocena

Če z E_{Uhi} označimo dopustno oddajanje harmonske napetosti odjemalca i , dobimo ob uporabi drugega sumirnega zakona naslednje:

$$\sqrt[\alpha]{\sum_i E_{Uhi}^\alpha} = G_{hSN+NN} \quad (4.13)$$

ali

$$\sum_i E_{Uhi}^\alpha = G_{hSN+NN}^\alpha \quad (4.14)$$

Če nato privzamemo, da je individualna oddajna meja premosorazmerna s priključno močjo S_i odjemalca i , dobimo v končni obliki naslednjo enačbo:

$$E_{Uhi} = G_{hSN+NN} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_t}} \quad (4.15)$$

kjer so:

- E_{Uhi} dopustna oddajna meja harmonske napetosti za odjemalca i , ki je napajen neposredno iz SN omrežja (%);
- G_{hSN+NN} dopustni celostni prispevek lokalnih SN in NN porabnikov k harmonski napetosti reda h v SN omrežju (izraženi v % osnovne napetosti);
- S_i priključna moč odjemalca i ($P_i/\cos\varphi$);
- S_t celotna razpoložljiva moč v SN omrežju. Navadno je to lahko kar vsota navideznih moči vseh transformatorjev VN/SN. Če pa je v SN omrežju veliko distribuiranih virov, ki generirajo harmonike, izračunamo S_t tako, da k prej omenjeni vsoti prištejemo še dvakratno vsoto navideznih moči teh generatorjev (nelinearnih bremen);
- α eksponent sumirnega zakona (razpredelnica 2.4).

Druga približna ocena

Če želimo upoštevati, da bremena v SN in NN omrežjih ne obratujejo istočasno, dobimo za oddajno mejo naslednji izraz:

$$E_{Uhi} = G_{hSN} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_{SN}} \cdot \frac{1}{F_{SN}}} \quad (4.16)$$

kjer so:

- E_{Uhi} dopustna oddajna meja harmonske napetosti za odjemalca i , ki je napajen neposredno iz SN omrežja (%);
- G_{hSN} dopustni celostni prispevki lokalnih SN porabnikov k harmonski napetosti reda h v SN omrežju (izraženi v % osnovne napetosti);
- S_{SN} celotna moč porabnikov, ki so direktno napajana iz SN omrežja (ob nasičenosti – polni obremenjenosti omrežja) iz transformatorjev VN/SN;
- F_{SN} faktor istočasnosti za obratovanja motečih bremen v SN omrežju;
- α eksponent sumirnega zakona (razpredelnica 10.3).

Tretja približna ocena

Prej predstavljena pravila za določitev individualnih oddajnih mej ne upoštevajo, da kratkostična moč vzdolž voda upada. Če priključimo porabnike na skupno zbiralko oz. zelo blizu nje, se kratkostična raven ne spremeni znatno, tako da so do sedaj predstavljeni pristopi ustrezni. To velja torej za dele distribucijskih omrežij z razmeroma kratkimi kabli (< 10 km) in nadzemnimi vodi (< 5 km). Taka situacija v omrežju je običajna v primeru napajanja večjih (npr. industrijskih) porabnikov.

Za dele distribucijskih omrežij z dolgimi kabli in nadzemnimi vodi, kjer so porabniki porazdeljeni po odcepih, pa bi predhodni pristop dal preveč ostre meje za harmonske toke za skoraj vse rede harmonikov. Za taka omrežja lahko s predhodnim pristopom dobimo vrednosti, ki so enake ali manjše od 50 % do 70 % dejansko dopustnih, kar z drugimi besedami pomeni, da so odjemalci, ki so priključeni na koncu vodov daleč od zbiralk v RTP, močno diskriminirani.

Dokument SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6 v ta namen predlaga (informativno) še tretji pristop, ki pa je primeren tako za specifične primere kot tudi za koordinacijo oddajanja harmonikov v fazi razvoja distribucijskega omrežja. Uporaben je za razvoj splošnih pravil glede oddajanja harmonikov ali za postavitev pravil, ki so ukrojena po meri obravnavanega distribucijskega omrežja. Za uporabo tega pristopa v praksi je potrebno podrobno modeliranje omrežja in porabnikov ter uporaba digitalne simulacije.

Pristop je razdeljen na tri korake:

- Za podano konfiguracijo omrežja ocenimo porazdelitev injekcij harmonskih tokov za SN porabnike vzdolž odcepov.
- Ocenimo harmonske napetosti, ki so posledica injiciranih harmonskih tokov. Na podlagi tega dobimo najvišje harmonske napetosti v obravnavanem omrežju, ki jih vzamemo za postavitev oddajnih mej.
- Ocenimo oddajne meje harmonskih tokov za vsa vozlišča, od koder napajamo obravnavane moteče porabnike. Te meje upoštevajo dejanske harmonske napetosti v omrežju in ustrezajo celostnemu dopustnemu prispevku SN porabnikov.

Tako ima izbira vrste porazdelitve injekcij harmonskih tokov vzdolž voda, daljšega od 10 km, pomemben vpliv na izkoriščanje absorpcijske zmožnosti omrežja v smislu kompenziranja motenj in penalizacijo odjemalcev (ekonomsko "kaznovanje", če je to predvideno s pogodbo), priključenih daleč od napajalnega transformatorja.

Ta metoda ima tri stopnje:

- Najprej ocenimo harmonske toke SN porabnikov v omrežju in vzdolž vodov.
- Nato določimo (ocenimo) harmonske napetosti, ki so odziv sistema na porabnike; največje vrednosti posameznih harmonskih napetosti upoštevamo kot meje oddajanja harmonikov.
- Na koncu določimo ravni (meje) harmonskih tokov za vsa pomembna vozlišča in točke omrežja.

Vpeljemo še faktor, ki opiše razmerje impedanc oz. tokov:

$$K_{Zi} = \frac{Z_{1Vi}}{Z_{1BB}} = \frac{I_{ksBB}}{I_{ksVi}}, \quad (4.17)$$

kjer so

Z_{1BB} impedanca pri osnovni frekvenci na zbiralkah (Ω);

Z_{1Vi} impedanca pri osnovni frekvenci v priključni točki odjemalca i vzdolž voda (Ω);

I_{ksBB} tok trifaznega kratkega stika na zbiralkah;

I_{ksVi} tok trifaznega kratkega stika v priključni točki odjemalca i vzdolž voda.

Razmerja, ki urejajo injekcije harmonskih tokov vzdolž voda, pa so:

- konstantna injekcija harmonskih tokov: $I_h = K$ (konstanta);
- konstantna injekcija harmonskih moči: $I_h = 1/\sqrt{K_{Zi}}$;

- injekcija harmonskih tokov je obratno sorazmerna impedanci v priključni točki: $I_h = 1/K_{zi}$ ali $U_h = K$.

Ovisno od izbrane zgornje porazdelitve (od prve do tretje) pri vodih, daljših od 10 km, narašča absorpcijska zmožnost sistema, hkrati pa se zmanjšuje vrednost za dopustno oddajanje na koncu voda. Druga možnost (konstantna injekcija harmonskih moči) predstavlja najboljši kompromis med izrabo omrežja v smislu absorpcije motenj in postavitvijo ne preveč strogih meja za oddajanje motenj za odjemalce na koncu vodov.

Če želimo ugotoviti vpliv injekcij harmonskih tokov na omrežje, moramo nadalje oceniti profil harmonskih napetosti vzdolž vodov. To lahko naredimo s hkratnim injiciranjem referenčnega niza harmonskih tokov (v točkah, v katerih obravnavano omrežje neposredno napaja porabnike) za vse rede harmonikov, ki nas zanimajo. Najvišje dobljene vrednosti harmonskih napetosti označimo kot D_{Uh} .

V zadnjem koraku ocenimo oddajne meje harmonskih tokov za vsa vozlišča, od koder se napajajo obravnavana moteča bremena. Pri tem upoštevamo ugotovljeni odziv omrežja na harmonike in privzeto porazdelitev injekcij harmonikov vzdolž vodov.

Če smo za porazdelitev izbrali kompromisni kriterij konstantnih harmonskih moči, lahko za posamezen red harmonika h določimo vrednost dopustne oddajne meje za harmonske toke (v A efektivne vrednosti) na naslednji način:

$$E_{I_{hiSN}} = \left(\frac{A_{r.m.s.}}{\sqrt{K_{zi}}} \right) \cdot \left(\frac{G_{hSN}}{D_{Uh}} \right) \cdot \left(\frac{1}{\alpha \sqrt{F_{SN}}} \right) \quad (4.18)$$

Če te meje izrazimo v odstotkih osnovnega toka, ki ustreza priključni moči, dobimo:

$$E_{I_{hiSN}\%} = 100 \cdot \frac{E_{I_{hiSN}}}{S_i / (\sqrt{3} \cdot U_n)} \quad (4.19)$$

kjer so:

$E_{I_{hiSN}}$ dopustna oddajna meja harmonskega toka reda h za porabnik i , ki se neposredno napaja iz SN omrežja ($A_{r.m.s.}$);

$E_{I_{hiSN}\%}$ dopustna oddajna meja harmonskega toka reda h za porabnik i , ki se neposredno napaja iz SN omrežja (v odstotkih priključnega toka);

G_{hSN} celotno oddajanje harmonske napetosti reda h za vse porabnike, ki se neposredno napajajo iz SN omrežja (%);

D_{Uh} največja vrednost harmonske napetosti reda h v obravnavanem omrežju, ki je posledica injekcij referenčnih tokov;

K_{zi} razmerje med impedanco pri osnovni frekvenci v priključni točki odjemalca i vzdolž voda in impedanco pri osnovni frekvenci pri zbiralkah;

S_i priključna moč odjemalca i (kVA); $S_i = P_i / \cos \varphi$, kjer je P_i priključna dogovorjena delovna moč odjemalca i (kW);

S_{SN} celotna moč porabnikov, ki so direktno napajana iz SN omrežja (ob nasičenosti omrežja) iz transformatorjev VN/SN;

U_n nazivna napetost distribucijskega omrežja (kV);

F_{SN} faktor istočasnosti za obratovanja motečih porabnikov v SN omrežju (vrednost je odvisna od karakteristik bremen in sistema, navadno je 0,4);

α eksponent sumirnega zakona (razpredelnica 2.4).

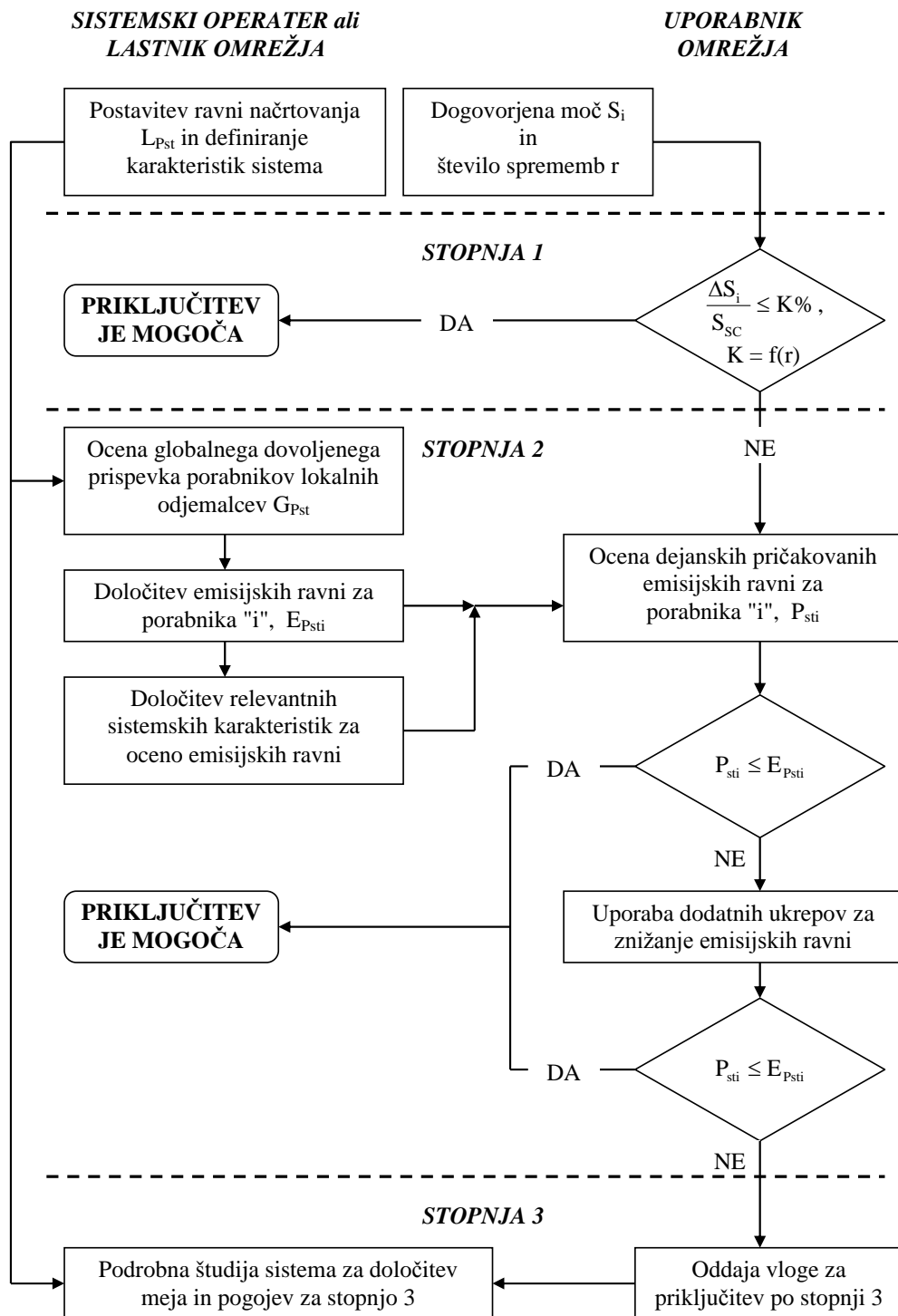
Zgornje meje, ocenjene za normalno obratovalno stanje omrežja, lahko uporabimo kot osnovo za ocenitev meja za vse tiste drugačne konfiguracije omrežja, kjer ni prevelikih sprememb harmonske impedance, celotnega bremena in razporeditve bremen med SN in NN omrežje.

IV.2.3. Stopnja 3

Veliko odjemalcev ne generira znatnih harmonikov, saj nimajo motečih porabnikov pomembne velikosti. Poleg tega drži tudi to, da je določen del razpoložljive kapacitete napajanja v sistemu izkoriščen le kratek čas. Zaradi tega lahko stroga uporaba stopnje 1 in stopnje 2 pripelje do pretiranih omejitev glede harmonskih napetosti na vrednosti, ki so pod ravnmi načrtovanja.

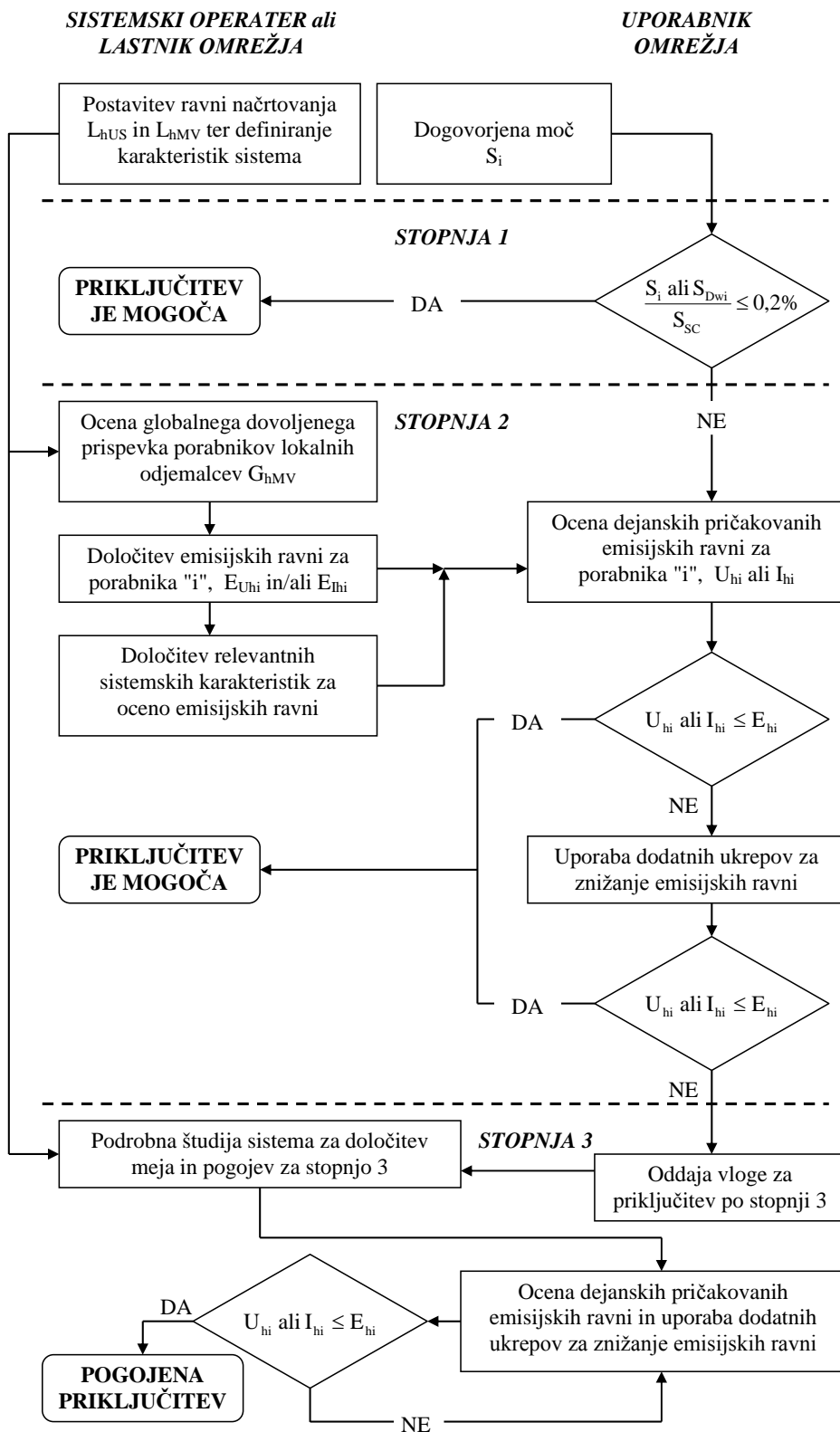
Da bi ohranilo splošna načela in dopustilo prožno tolmačenje poročila SIST-TP IEC/TR3 61000-3-6, sme distribucijsko podjetje po potrebi uporabiti razpoložljiv presežek do meje načrtovanja. Vendar pa sme odjemalcu odobriti višje oddajne meje od sicer normalnih le v izjemnih okoliščinah. Vsekakor je za to odločitev potrebna natančna simulacija razmer v omrežju.

IV.3. POVZETEK



Shema velja analogno tudi za oceno P_{li}

Slika 4.1: Diagram poteka ocenjevanja odjemalca glede primernosti za priključitev v SN omrežje v primeru kolebanja napetosti in flikerja.



Slika 4.2: Diagram poteka ocenjevanja odjemalca glede primernosti za priključitev v primeru harmonikov.

V. Zmanjševanje motenj in motenja

V kolikor priključitev brez ukrepov ni mogoča, se lahko za zmanjšanje motenj v omrežju in pri odjemalcih uporabijo naslednji ukrepi:

- uporaba usmernikov z učinkovitejšim glajenjem in več-pulznim (na primer 12 namesto 6) usmerjanjem;
- uporaba filtrov pri porabnikih, katerim lahko določimo frekvenčni spekter, in kombinacija filtra z napravami za kompenzacijo jalove moči;
- natančna nastavitve ("tuning") kondenzatorskih kompenzacijskih naprav, kar dosežemo v kombinacijah z dušilkami;
- povečanje kratkostične moči, kar dosežemo z ojačitvijo posameznih vodov in transformacij;
- ločitev napajanja motečih in nemotečih porabnikov;
- relociranje kondenzatorskih baterij in statičnih kompenzatorjev;
- uporaba mehanskih pogonov, ki ublažijo tokovne sunke v omrežju;
- uporaba aktivne kompenzacije (STATCOM, DGFACTS) za zmanjšanje flikerja in harmonikov;
- uporaba naprav, ki se izkazujejo z znaki skladnosti v smislu Pravilnika o EMC;
- stalen nadzor nad deležem motenj v omrežju in
- natančna ter preudarna postavitve nivoja načrtovanih motenj.