

Evaluatie van de 1000 kVA elektrische installatie van het Telesur-complex aan de Heiligenweg14



**Afstudeerverslag ter verkrijging van de graad van
Bachelor Applied Technology (BTech.) in de studierichting
Elektrotechniek**

P.J. Hill 10724

Paramaribo, april 2013

Evaluatie van de 1000 kVA elektrische installatie van het Telesurcomplex aan de Heiligenweg14



Naam + studentreg.nr: Paulus Hill 10724
Docent-begeleider: G. Kromoredjo MSc
Bedrijf: Telesur
Bedrijfsbegeleider: M. Gemerts MSc

Paramaribo, april 2013

Samenvatting

Het onderwerp voor dit verslag is het evalueren van de energievoorziening en het energieverbruik van de 1000 kVA elektrische installatie op het Telesurcomplex aan de Heiligenweg 14.

Dit onderwerp is gekozen ter analysering en voor onderzoek, vanwege de snel veranderende ontwikkeling op het gebied van de telecommunicatie en de datacommunicatie, waarbij er steeds nieuwere apparaten worden ontworpen die afhankelijk van hun toepassing een bepaald energieverbruik hebben. Daarom zullen er bepaalde maatregelen getroffen moeten worden bij de energievoorziening van deze elektrische installaties. Technisch en logistiek bekeken is het voor een optimaal functionerend telecommunicatiebedrijf als Telesur belangrijk dat de kwaliteit van de energievoorziening ten opzichte van het energieverbruik van de elektrische belasting op de elektrische installaties in balans is. Aangezien het bedrijf geen recent overzicht heeft van de huidige situatie is besloten na te gaan hoe het energieverbruik is en of er nog ruimte bestaat voor aansluitingen op de 1000 kVA elektrische installatie. Deze situatie heeft geleid tot de volgende probleemstelling:

“Hoe kan de huidige energievoorziening evenals het energieverbruik van de 1000 kVA elektrische installatie op het Telesurcomplex aan de Heiligenweg worden geoptimaliseerd”?

De situatie waarnaar er gestreefd wordt is het verbeteren van de huidige energievoorziening alsook van het energieverbruik van de 1000 kVA elektrische installatie op het Telesurcomplex aan de Heiligenweg ”.

Er is een literatuurstudie uitgevoerd. De elektrische installaties van het Telesurcomplex aan de Heiligenweg zijn in kaart gebracht en geanalyseerd. Ook is er een analyse gemaakt van de energievoorziening en het energieverbruik. Er zijn diverse berekeningen gemaakt met betrekking tot de kwaliteit van de elektrische installaties; tevens is het energieverbruikspatroon onderzocht op efficiëntie en effectiviteit. Daartoe zijn er verschillende metingen verricht voor onder andere: spanning, stroom, vermogen, energieverbruik, harmonischen, power factor, crest factor en aarding. Uit de onderzoeksresultaten en analyses zijn er conclusies getrokken. Daaruit zijn er gunstige oplossingen voortgevloeid die het bedrijf kosten zullen besparen en tegelijkertijd zullen zorgen voor optimalisering van het energieverbruik (effectief en efficiënt energieverbruik). Aanvullend hierop geven deze oplossingen tevens invulling aan het maatschappelijk verantwoord ondernemen in het algemeen. Dit levert een wezenlijke bijdrage aan het toekomstige beleid van “groene” economie.

Summary

The subject of this report is to evaluate the energy supply and consumption of the 1000 kVA electrical installation on the Telesurcomplex at the Heiligenweg 14.

This topic has been chosen to analyze and research, due to the rapidly changing developments in the field of telecommunications and data communications, while keeping newer devices are designed depending on their application a given power consumption. Therefore, certain measures must be taken in the energy supply of electrical installations. Technical and logistical viewed for an optimally functioning telecommunications company as Telesur its important that the quality of the energy in relation to the energy consumption of the electrical load connected to the electrical installations is in balance. Since the company has no recent overview of the current situation is to examine how the energy consumption is and whether there is scope for connections to the 1000 kVA electrical installation. This situation has led to the following problem statement:

"How can the current energy supply and the energy consumption of the 1000 kVA electrical installation on the Telesur complex at the Heiligenweg be optimized "?

The situation to which there is an intention is to improve the current energy supply as well as the energy consumption of the 1000 kVA electrical installation on the Telesur complex at the Heiligenweg ".

There is a literature study conducted. The electrical installations of the Telesur -complex at the Heiligenweg have been mapped and analyzed. There is also an analysis made of the energy supply and energy consumption. There are various calculations made with regard to the quality of the electrical installations; the energy consumption pattern is also examined for efficiency and effectiveness. For this purpose different measurements have been done: voltage, current, power, energy, harmonics, power factor, crest factor and grounding. Finally several recommendations and conclusions are made in accordance with the obtained results. Effective solutions are pointed out for the company, which can lead to cost savings and at the same time will ensure optimization of energy consumption (effectively and efficiently). The solutions must meet corporate social responsibility and deliver herewith a contribution to the future policy of "green" economy.

Voorwoord

Het onderwerp van dit afstudeerverslag is het evalueren van de energievoorziening en het energieverbruik van de 1000 kVA elektrische installatie op het Telesurcomplex aan de Heiligenweg 14.

Ik heb voor dit onderwerp gekozen, omdat door de jaren heen het aantal afdelingen en de diensten welke Telesur aan zijn klanten biedt vanuit het Telesurcomplex aan de Heiligenweg zijn toegenomen. Hierdoor zijn de elektrische installaties met de jaren ook uitgebreid.

Technisch en logistiek bekeken is het voor een optimaal functionerend telecommunicatiebedrijf als Telesur belangrijk dat de kwaliteit van de energievoorziening ten opzichte van het energieverbruik van de elektrische belasting op de elektrische installaties in balans is.

Ik bedank het PTC en het bedrijf Telesur voor de gelegenheid aan mij geboden om dit onderzoek uit te voeren. Een bijzonder woord van dank gaat daarbij uit naar dhr. T. Linscheer. Ik bedank de heren G. Malone, M. Joekoe (initiator van het onderzoek) en R. Ramautar van de afdeling SV voor hun medewerking en ondersteuning. Een speciaal woord van dank gaat uit naar de heren H. Cederboom, leidinggevende op de afdeling SV-DC, dhr. H. Bottse, waarnemend hoofd van de afdeling SV en dhr. N. Ronde eveneens van de afdeling SV- KLK. Een speciaal woord van dank gaat uit naar dhr. H. Holtuin van de N.V E.B.S voor zijn medewerking bij het onderzoek. Ook bedank ik dhr. Donk van de afdeling SV-KLK voor zijn assistentie bij de uitvoering van het onderzoek. Verder bedank ik mijn collegae van de afdelingen KB, MD en IMD voor hun medewerking tijdens mijn onderzoek.

Een speciaal woord van dank gaat uit naar de bedrijfsbegeleider dhr. M. Gemerts voor de algehele begeleiding, de PTC-begeleider, mw. G. Kromoredjo, en mw. G. Long Him Nam, docent Verslaglegging en taal voor hun goede begeleiding bij de totstandkoming van dit verslag. Dhr. R. Oldenstam, docent van het PTC, dank ik ook voor zijn uitleg en geduldige begeleiding.

Paramaribo, april 2013

Paulus Hill

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

Voorwoord

Inhoudsopgave

Lijst van symbolen

Lijst van afkortingen

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1 Inleiding	13
2 De diensten en producten van Telesur bekeken vanuit energieverbruiksperspectief.....	15
2.1 De verschillende producten en diensten van Telesur	15
2.2 De diensten van Telesur belicht vanuit het energieverbruik	16
2.3 Organisatie van Telesur	16
2.4 De energievoorziening en de kwaliteit van de elektrische installaties	17
2.4.1 De elektrische installaties	17
2.4.2 De verdeelinrichtingen.....	19
2.4.3 De geleiderdoorsnede van elektrische leidingen	19
3 Omschrijving van de huidige energievoorziening energieverbruik en elektrische installatie	24
3.1 Het in kaart brengen van de elektrische installatie	24
3.2 De belasting van de elektrische installatie.....	27
3.3 Vastlegging verbruiksgedrag van de belasting voor het actieve, schijnbaar en blind vermogen.....	30
3.3.1 Analyse van het energieverbruik.....	34
3.3.2 Analyse energieverbruik transformator 2 (Hoofdverdeelkast HK-2)	42
3.3.3 Analyse energieverbruik transformator 1 (Hoofdverdeelkast HK-1)	62
3.4 Het noodaggregaat, de batterijen en de kritische belasting	64
3.5 De controle van de voedingskabels van de hoofdverdeelkasten op kortsluitvastheid en spanningsverlies.....	70
4 Harmonischen, EMC, Power Factor en Crest Factor	73
4.1 Oorzaken, invloed en effecten van harmonischen.....	73
4.1.1 Oorzaken van harmonischen stromen en spanningen in elektrische systemen.....	74
4.1.2 Invloed van harmonischen.....	76
4.1.3 Effecten van harmonischen	77
4.1.4 Oplossingsmethoden voor problematiek harmonischen	83
4.2 THD en TDD van de belasting op hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2.....	84
4.2.1 Meetresultaten van hoofdverdeelkast HK-1	84
4.2.2 Meetresultaten van hoofdverdeelkast HK-2	86

4.2.3	<i>THD gemeten op de kritische belasting transformator 1</i>	89
4.2.4	<i>THD gemeten op de belasting van transformator 2</i>	97
4.3	Elektromagnetische compatibiliteit	101
4.3.1	<i>Beschrijving van EMC- verschijnselen</i>	101
4.3.2	<i>De elektromagnetische invloed van installatieonderdelen.....</i> <i>en apparaten onderling</i>	102
4.3.3	<i>Bereiken van EMC in de installatie</i>	103
4.4	Power Factor en Crest Factor	109
4.4.1	<i>Power Factor</i>	109
4.4.2	<i>Crest Factor (CF)</i>	115
5.	Conclusies en aanbevelingen	117
	Literatuurlijst	123
	Bijlagenlijst	125

Lijst van symbolen

I	Elektrische stroom in A
I_b	De ontwerpstroom van een stroomketen in A
I_z	De toelaatbare stroom van de leiding in A
I_n	De nominale stroom van het smeltpatroon in A
I_{SC}	Maximale kortsluitstroom bij de PCC
I_L	Maximale demand stroom
R	Weerstand in ohm (Ω)
R_a	Aardweerstand in ohm (Ω)
U	Spanning in V
U_{gem}	Gemiddelde spanning in V
I_{gem}	Gemiddelde stroom in A
k	Kilo
A	Ampère
V	Volt
VA	Voltampère
m	Meter
$\cos \varphi$	Cosinus Phi
η	Rendement
U_v	Spanningsverlies
kWh	Kilowattuur
kVA	Kilovoltampère
kVAr	Kilovoltampère reactief

Lijst van afkortingen

T 1	Transformator 1 (Trafo 1)
T 2	Transformator 2 (Trafo 2)
GEN	Generator
ATS	Automatic Transfer Switch
Cu.kabel	Kabel met koperen geleider
VSA	Voorschakelapparaat (Ballast)
SV	Afdeling Stroom Voorziening
ROI	Return On Investment
PCC	Point of Common Coupling
RMS	Root-Mean-Square value = effectieve waarde
L ₁	Fase 1
L ₂	Fase 2
L ₃	Fase 3
THD	Totale Harmonische Distortie
TDD	Totale Demand Distortie
geb.	Gebouw

Lijst van tabellen

Tabel 1: De producten en diensten van Telesur	15
Tabel 2: De kleinste stroom waarbij de beveiliging nog net aanspreekt	20
Tabel 3: Overzicht van de belasting aangesloten op transformator 1 en transformator 2	28
Tabel 4: Locatie van de belasting aangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-1 (T1)	29
Tabel 5: Locatie van de belasting aangesloten op hoofdverdeelkast HK-2 (Transformator 2)	30
Tabel 6: Formules ter berekening van schijnbaar, werkelijk en reactief vermogen voor driefase-installaties	31
Tabel 7: Overzicht van de totale gemeten stromen van hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2	32
Tabel 8: Vergelijking meetresultaten HK-1 volgens meetmethode1 en meetmethode 2	39
Tabel 9: Vergelijking meetresultaten HK-2 volgens meetmethode 1 en meetmethode 2	40
Tabel 10: Analyse schijnbaar energieverbruik transformator 2 (hoofdverdeelkastHK-2)	43
Tabel 11: kWh energieverbruik van de belasting van Hoogbouw aangesloten op HKL-1 en HKL-2	54
Tabel 12: Huidige verlichting voor begane grond, 1 ^{ste} en 2 ^e etage(HKL -1) en 3 ^e en 4 ^e etage (HKL-2).....	54
Tabel 13: Voorstel energiezuinigere verlichting voor Hoogbouw (begane grond t/m 4 ^e etage)	55
Tabel 14: De energiebesparing van voorstel uitgedrukt in kWh alsook in geld	56
Tabel 15: De besparing op vervangingskosten.....	58
Tabel 16: De Return On Investment- periode	59
Tabel 17: Vergelijking van traditionele tl- verlichting ten opzichte van LED-tl- verlichting	59
Tabel 18: Analyse schijnbaar energieverbruik transformator 1 (hoofdverdeelkast HK-1)	62
Tabel 19: Energieverbruik van kritische belastingaangesloten op hoofdverdeelkast HK-1 (transformator 1).....	69
Tabel 20: Controle van de voedingskabels op spanningsverlies en kortsluitvastheid	71
Tabel 21: Internationale harmonische spanningslimieten (THUD limits) gehanteerd door de NV EBS	80
Tabel 22: Harmonische spanningslimieten (THUD limits) specifiek gehanteerd door de NV EBS	81
Tabel 23: Internationale harmonische stroomlimieten (THID limits) gehanteerd door de NV EBS	81
Tabel 24: Stroomharmonischen distortielimieten (%) volgens IEEE 519 standaard(tabel 10.3)	83
Tabel 25: Demand en maximale waarden van de belasting op hoofdverdeelkast HK-1 tegen 12:00 uur	84
Tabel 26: Demand en maximale waarden van de belasting op hoofdverdeelkast HK-2 tegen 12:00 uur	86
Tabel 27: Demand en maximale waarden van de noodbelasting op 24 – 9 – 2012 tegen 12:00 uur	89
Tabel 28: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor noodverdeelkast HNK-1	92
Tabel 29: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor noodverdeelkast HNK-2	93
Tabel 30: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor verdeelkast LS	95
Tabel 31: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor verdeelkast KK-4	96
Tabel 32: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor verdeelkast HKL-1	98
Tabel 33: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor verdeelkast HKL-2	99
Tabel 34: Crest Factor van de spanningen	116

Lijst van figuren

Figuur 1: Organogram Telesur	17
Figuur 2: Samenhang van de begrippen	21
Figuur 3: Faseverschuiving van spanning en stroom	22
Figuur 4: Eenlijnschema van de opbouw van de hoogspanningszijde in het transformatorhuis	26
Figuur 5: Eenlijnschema van de opbouw van de laagspanningszijde in het transformatorhuis	27
Figuur 6: Nieaf-Smitt NI11R stroomtang	31
Figuur 7: Fluke 336-stroomtang 0-600A	31
Figuur 8: Aansluitschema van EMSS energiemeter en modem	33
Figuur 9: Het gedrag van het schijnbaar verbruik van transformator 1 gemeten gedurende een week	34
Figuur 10: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 1 gemeten gedurende een week	35
Figuur 11: Het gedrag van het schijnbaar vermogen van transformator 1 gemeten gedurende een week	35
Figuur 12: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 1 gemeten gedurende 1 week	35
Figuur 13: Het gedrag van het schijnbaar vermogen van transformator 2 gemeten gedurende een week	36
Figuur 14: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 2 gemeten gedurende een week	36
Figuur 15: Het gedrag van het schijnbaar vermogen van transformator 2 gemeten gedurende een week	36
Figuur 16: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 2 gemeten gedurende een week	37
Figuur 17: Het gedrag van het schijnbaar verbruik van transformator 1 gemeten op maandag 23 april 2012	38
Figuur 18: Stroomsterkte L1, L2 en L3 van transformator 1 gemeten op woensdag 23 april 2012	38
Figuur 19: Het gedrag van het schijnbaar verbruik van transformator 2 gemeten op dinsdag 19 juni 2012	39
Figuur 20: Stroomsterkte L1, L2 en L3 van transformator 2 gemeten op dinsdag 19 juni 2012	40
Figuur 21a: Het gedrag van het totaal schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2	41
Figuur 21b: Het gedrag van het totaal schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2	41
Figuur 22a: Analyse van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 van woensdag 2 mei 2012	42
Figuur 22b: Analyse van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 van dinsdag 1 mei 2012	42
Figuur 22c: Analyse van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 van zaterdag 5 mei 2012	42
Figuur 23a: Schijnbaar energieverbruik kast HKL 1 van maandag 25 juni 2012	44
Figuur 23b: Schijnbaar en werkelijk energieverbruik van verdeelkast HKL-1 groep 1	45
Figuur 23c: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL-1 groep 2 (begane grond Laagbouw)	45
Figuur 23d: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL-1 groep 7 (centrale airco-1 Hoogbouw)	46
Figuur 24a: Schijnbaar energieverbruik kast HKL-2 van donderdag 6 december 2012	46
Figuur 24b: Schijnbaar en werkelijk energieverbruik van verdeelkast HKL 2 groep 3 (3 ^e en 4 ^e verdieping)	47
Figuur 24c: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL 2 groep 6 (centrale airco-2 Hoogbouw)	47
Figuur 24d: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL 2 groep 7 (verdieping Laagbouw)	48
Figuur 25: kVA pieken op dagbasis voor totaal energie verbruik over de periode 1 t/m 10 mei 2012	50
Figuur 26a: kVA benchmarkmetingen op de zaterdagen voor energieverbruik transformator 2	51
Figuur 26b: kVA benchmarkmetingen op de zondagen voor energieverbruik transformator 2	51
Figuur 26c: kVA benchmarkmetingen reguliere werkdagen voor energie verbruik transformator 2	51
Figuur 27: Efficiëntie vs effectiviteit	52
Figuur 28: Werkelijk energieverbruik van verdeelkasten HKL 1 en HKL 2 per dag gedurende een week	53
Figuur 29: kWh verbruikskosten voor grootverbruikers met hoogspanningsmeting (Tarief 39)	56
Figuur 30: Nieaf-Smitt NI L204 verlichtingssterkte meter	60
Figuur 31: Raytek Raynger ST20 infrarood temperatuurmeter	61
Figuur 32: Het schijnbaar energieverbruik van de kritische belasting gemeten gedurende één (1) week	67
Figuur 33: De stroomsterkte van de kritische belasting gemeten gedurende één (1) week	67
Figuur 34: Het gedrag van het energieverbruik van de kritische belasting gemeten gedurende 1x 24uur	68
Figuur 35: Het gedrag van de stroomsterkte van de kritische belasting gemeten gedurende 1x 24uur	68
Figuur 36: Voorstelling van 60 Hz stroom en 3 ^e harmonische stroom(180 Hz) in de tijd	74
Figuur 37: Demand waarden van hoofdverdeelkast HK-1 gedurende normale werkdagen en het weekend	85
Figuur 38: Demandwaarden van hoofdverdeelkast HK-2 gedurende normale werkdagen en het weekend	87
Figuur 39: Demand waarden van de noodbelasting gedurende normale werkdagen en het weekend	90
Figuur 40: Demand waarden verdeelkast op HK 1 groep 6 gedurende normale werkdagen en het weekend	97

Figuur 41: EMC- storingsniveaus	101
Figuur 42: Ground Window	104
Figuur 43: Verbindingen tussen massadelen (scharnieren en kabelbanen)	104
Figuur 44: Nieaf-Smitt ERT-S Aardingsweerstandsmeter	104
Figuur 45: Driepuntsaardingsweerstandsmeting	105
Figuur 46: Kabels met gevoelige en storende signalen aan dezelfde kabelbaan zij aan zij bevestigd	106
Figuur 47: Niet -overlapte onderlinge overgang van kabelgoten met kabels	108
Figuur 48: De arbeidsfactor van de totale belasting vanaf maandag 23 tot en met zondag 29 april 2012	110
Figuur 49: Het werkelijk energieverbruik van de totale belasting	111
Figuur 50: Het blind energieverbruik van de totale belasting	112
Figuur 51: Het werkelijk energieverbruik van de belasting op transformator 1	113
Figuur 52: Het werkelijk energieverbruik van de belasting op transformator 2	114

1 Inleiding

Telesur is een dynamisch telecommunicatiebedrijf dat verschillende diensten biedt aan zijn klanten. Door de jaren heen is het aantal afdelingen en de diensten die Telesur aan zijn klanten biedt toegenomen. Hierdoor zijn ook de elektrische installaties met de jaren uitgebreid. Nu is het zo dat vanwege de snel veranderende ontwikkeling op het gebied van de telecommunicatie en de datacommunicatie, er steeds nieuwere apparaten worden ontworpen die afhankelijk van hun toepassing een bepaald energieverbruik hebben. Daarom zullen er bepaalde maatregelen getroffen moeten worden bij de energievoorziening van deze elektrische installaties. Technisch en logistiek bekeken is het voor een optimaal functionerend telecommunicatiebedrijf als Telesur belangrijk dat de kwaliteit van de energievoorziening ten opzichte van het energieverbruik van de elektrische belasting op de elektrische installaties in balans is.

Aangezien het bedrijf geen overzicht heeft van de huidige situatie is besloten na te gaan hoe het energieverbruik is en of er nog ruimte bestaat voor aansluitingen op de 1000 kVA elektrische installatie. Deze situatie heeft geleid tot de volgende probleemstelling:

“Hoe kan de huidige energievoorziening evenals het energieverbruik van de 1000 kVA elektrische installatie op het Telesurcomplex aan de Heiligenweg worden geoptimaliseerd?”

De situatie waarnaar er gestreefd wordt, brengt de volgende doelstelling met zich mee: *“Het verbeteren van de huidige energievoorziening alsook het energieverbruik van de 1000 kVA elektrische installatie op het Telesurcomplex aan de Heiligenweg ”.*

Dit kan alleen gerealiseerd worden door een compleet onderzoek, dat kan leiden tot kostenbesparing en gunstige oplossingen voor het bedrijf.

Er is een literatuurstudie uitgevoerd. Hierbij is er nagegaan wat de voorwaarden zijn met betrekking tot de kwaliteit van de elektrische installaties. De elektrische installaties van het Telesurcomplex aan de Heiligenweg zijn in kaart gebracht en geanalyseerd. Er is een aantal interviews afgenomen van verantwoordelijke personen van betreffende afdelingen. Ook is er een analyse gemaakt van de energievoorziening en het energieverbruik. Er zijn diverse berekeningen gemaakt met betrekking tot de kwaliteit van de elektrische installaties. Tevens is het energieverbruikspatroon onderzocht op efficiëntie en effectiviteit. Voorafgaand aan het maken van de berekeningen zijn eerst metingen verricht van:

- stroomsterkte
- spanning
- actievevermogen en actief energieverbruik

- schijnbaarvermogen en schijnbaar energieverbruik
- blindvermogen en blind energieverbruik
- power factor
- crest factor

Er is een schematische voorstelling gemaakt van de totale elektrische installatie. Middels berekeningen zijn de kortsluitvastheid en spanningsverliezen van de hoofdvoedingskabels gecontroleerd. Verder is er onderzoek gedaan naar de harmonische invloed van niet-lineaire belastingen. Ook is er een onderzoek gepleegd naar de elektromagnetische beïnvloeding van de apparaten onderling. Als onderdeel van de EMC is het aardingssysteem globaal gecontroleerd. Daarnaast zijn de Power Factor en Crest Factor geanalyseerd. Er is een volledig overzicht van en inzicht in de energievoorziening, de elektrische installaties en het energieverbruik verkregen. Afhankelijk van het verkregen overzicht zijn conclusies en aanbevelingen gedaan ten aanzien van het optimaliseren van de energievoorziening en het energieverbruik van de belasting. De conclusies en aanbevelingen kunnen van pas komen bij de andere filialen en centrales van Telesur.

De kern van dit verslag bestaat uit vier hoofdstukken. In hoofdstuk 2 zijn in het kort de producten en de diensten van het bedrijf Telesur beschreven vanuit het energieverbruikersperspectief. In dit hoofdstuk zijn ook de theorie over de energievoorziening en de elektrische installatie belicht. In hoofdstuk 3 zijn de huidige energievoorziening en het energieverbruik van het Telesurcomplex in kaart gebracht en geanalyseerd. Dit, zodat het duidelijk werd waar de eindgroepen van de elektrische installatie zijn aangesloten op het complex. De diverse berekeningen met betrekking tot hoe efficiënt en effectief het energieverbruik plaatsvindt zijn ook in dit hoofdstuk behandeld. Voorafgaand aan het maken van de berekeningen zijn er eerst metingen verricht ter vastlegging van het actieve, schijnbaar en blindvermogen van de verschillende typen belasting. Ook zijn in dit hoofdstuk de alternatieve voedingsbronnen ten behoeve van de kritische belasting behandeld. Verder zijn er voorstellen voortgekomen uit de diverse metingen en berekeningen met betrekking tot efficiënt en effectief energieverbruik en optimalisatie van de energievoorziening. Er is een schematische voorstelling gemaakt van de totale elektrische installatie, waarbij middels berekeningen (controle van de kabels op kortsluitvastheid en spanningsverlies) aangetoond is of de doorsnede van de voedingskabels goed is. In het vierde hoofdstuk staat het onderzoek dat gepleegd is naar de harmonische invloed van niet-lineaire belasting. De power factor en de crest factor zijn ook in dit hoofdstuk behandeld. Ook is een onderzoek beschreven, dat gedaan is naar de elektromagnetische beïnvloeding van de apparaten onderling. De belangrijkste bron bij het schrijven van dit verslag is: *Installatievoorschriften, lage spanning (NEC 64)* van ir. R. Haak.

2 De diensten en producten van Telesur bekeken vanuit energieverbruiksperspectief

Het bedrijf Telesur heeft door de jaren heen het aantal afdelingen en de diensten aan zijn klanten uitgebreid. Een belangrijk aspect dat daarbij altijd een rol heeft gespeeld is de beschikbaarheid en het verbruik van elektrische energie. Een telecommunicatiebedrijf kan niet functioneren zonder gebruik te maken van elektrische energie. In paragraaf 2.1 zijn kort de verschillende diensten beschreven die Telesur aan zijn klanten biedt. Daarna zijn in paragraaf 2.2 de verschillende diensten belicht vanuit het energieverbruik. In paragraaf 2.3 is het organogram van Telesur opgenomen. In de laatste paragraaf zijn de energievoorziening en de kwaliteit van de elektrische installaties beschreven.

De belangrijkste bronnen voor dit hoofdstuk zijn: <http://www.telesur.sr>, <http://www.teleg.sr> en *Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties NEN1010:2007*.

2.1 De verschillende producten en diensten van Telesur

Vaste telefonie is de oudste communicatiedienst die sinds 1880 wordt geleverd. Deze dienst is onderverdeeld in de volgende subdiensten:

- Nationale telefonie
- Internationale telefonie
- Bedrijfscentrales
- Integrated Services Digital Network
- Hotlines
- Verkort nummer
- Prepaid vaste telefonie/Prepaid belkaarten
- Publieke telefooncellen.

In tabel 1 zijn de producten en diensten aangegeven welke Telesur aan zijn klanten biedt.

Tabel 1: De producten en diensten van Telesur

Diensten	Producten
Vaste telefonie	Zegge'MSje
Mobiele telefonie	MMS
Internet	WAP
Data solutions	E-mail on TeleG Postpaid
Opleidingen en trainingen	E-mail to SMS, SMS to E-mail
	Met spoed 4007
	Set' mi kon
	Set' mi kon' if a kan?
	Prepaid Internet

2.2 De diensten van Telesur belicht vanuit het energieverbruik

Voor een optimale dienstverlening van Telesur is een basisvoorwaarde dat de energievoorziening altijd beschikbaar is. De plaats die de energievoorziening inneemt bij de dienstverlening is niet direct zichtbaar. Bijvoorbeeld: als een klant bij de ‘front office’ (kassa) betaalt voor een dienst, dan is de energievoorziening voor de apparatuur nodig om de betaling te verwerken. Daarnaast worden in de ‘back office’ personal computers gebruikt om de klantgegevens te administreren.

Indien er een landelijke of lokale black-out zou ontstaan vanuit de N.V. Energiebedrijven Suriname (N.V. E.B.S.) is het van belang dat de energievoorziening naar de dienstverlening gegarandeerd blijft voor alle diensten waaronder vaste telefonie. Als dat niet het geval zou zijn, rijst de vraag: Wat zullen de consequenties zijn bij een eventuele black-out? Indien de energievoorziening uitvalt in plaats A, hoe zal men communiceren met plaats B? Indien de energievoorziening niet beschikbaar is kan er ook geen elektrische energie verbruikt worden om de dienstverlening ononderbroken te leveren.

Met betrekking tot de vaste huistelefoon blijkt dat bij een eventuele black-out vanuit de E.B.S. de huistelefoon normaal blijft functioneren. Er kunnen dus normaal telefonische gesprekken gevoerd worden. Dit geeft aan dat naast de dienstverlening ook de energievoorziening voor de telefoon rechtstreeks vanuit de centrales van Telesur plaatsvindt. Het is daarom van essentieel belang dat de energievoorziening altijd beschikbaar is, maar ook dat het energieverbruik efficiënt plaatsvindt.

De energievoorzieningen die ervoor zorg dragen dat de dienstverlening van Telesur aan zijn klanten gegarandeerd blijft - ongeacht een stroomonderbreking vanuit de N.V. Energiebedrijven Suriname - zijn in paragraaf 3.4 belicht alsook het energieverbruik.

2.3 Organisatie van Telesur

Het telecommunicatiebedrijf is vanaf zijn ontstaan tot op heden door de volgende directeuren geleid, te weten:

- Sietse Mobach (1945)
- Ir. Hadewines de Geus (1945 - 1958)
- Ir. Leo Guda (1958 - 1966)
- Ir. Frank Latour (1966 - 1979)
- Ir. John Neede (1979 - 1994)
- Ir. Leonard Johanns (1994 - 2000)
- Mr. Iris M. Struiken-Wijdenbosch (april 2000 - juni 2005)

- Drs. Dirk M. R. Currie (mei 2006 - heden)

In figuur 1 is het organogram van het bedrijf weergegeven. Hierbij zijn de verschillende afdelingen en de subafdelingen aangegeven.



Figuur 1: Organogram Telesur

2.4 De energievoorziening en de kwaliteit van de elektrische installaties

De elektrische installatie van Telesur is aangesloten op het openbare elektriciteitsnet van de E.B.S. In paragraaf 2.4.1 is de elektrische installaties in het algemeen beschreven. Paragraaf 2.4.2 bevat de informatie over verdeelinrichtingen. In paragraaf 2.4.3 worden de geleiderdoorsneden van de elektrische leidingen beschreven.

De geraadpleegde bron is: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Elektriciteitsleiding>

2.4.1 De elektrische installaties

Vanwege de snelveranderende ontwikkeling op het gebied van de telecommunicatie en de data-communicatie wereldwijd, worden er steeds nieuwere apparaten ontworpen die afhankelijk van hun toepassing een specifiek energieverbruik hebben. Deze apparaten worden ook wel kritische belasting genoemd. Er moesten speciale voorzieningen getroffen worden met betrekking tot de energievoorziening voor deze belasting.

Als speciale energievoorzieningsbron werden de generator en batterijen toegepast. De energievoorziening afkomstig van de generator en batterijen is ten behoeve van de kritische belasting die is aangesloten op de elektrische installaties. In paragraaf 3.4 is dit beschreven. Daarbij is aangegeven waarom de belasting ‘kritisch’ is en er speciale voorzieningen voor getroffen zijn. Een elektrische installatie is het pad waarlangs de elektrische energie de elektrische belasting bereikt, zodat deze kan functioneren. De elektrische installatie moet (afhankelijk van het type belasting) stromen transporteren vanuit de voedingsbron naar de belasting en omgekeerd. Hiervoor is het noodzakelijk dat de elektrische installatie zodanig is ingericht dat de veiligheid van de mens, de elektrische belasting alsook van de elektrische installatie zelf gewaarborgd zijn. Een elektrische installatie is opgebouwd uit verschillende delen. De maatregelen die getroffen moeten worden ter waarborging van de veiligheid en voorkoming van stroomonderbrekingen ten gevolge van een defect aan de elektrische installatie zijn vervat in normen. De normen zijn onderverdeeld in mondiale en Europese normen. De mondiale normen voor de elektrotechniek worden bepaald door

1. het IEC (Internationale Elektrische Commissie)
2. de Europese normen voor de elektrotechniek worden bepaald door het CENELEC.

ad 1 De Internationale Elektrotechnische Commissie (IEC)

De IEC is de toonaangevende wereldwijde organisatie die op consensusbasis internationale standaarden publiceert. Ook beheert het IEC de overeenstemming voor beoordeling van systemen voor elektrische en elektronische producten, systemen en diensten, gezamenlijk bekend onder de naam elektrotechniek. Bron: <http://www.iec.ch/about/activities/>

ad 2 De European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)

De CENELEC is de organisatie die verantwoordelijkheid is voor de Europese normen en harmonisatiedocumenten die worden opgesteld. Europese normen (EN) zijn gebaseerd op een consensus, die de economische en sociale belangen van 33 CENELEC-lidstaten via de bevoegde nationale elektrotechnische comités (NCs) weerspiegelt. De nationale comités van het CENELEC hebben zich verplicht hun normen in overeenstemming met de Europese normen en harmonisatiedocumenten te brengen.

Het Nederlands Elektrotechnisch Comité (NEC) kwam deze verplichting na door de publicatie van de nieuwe editie van NEN1010. Het NEC heeft tot taak het verzorgen van de Nederlandse inbreng in de IEC en het CENELEC. De basis van NEN1010 wordt gevormd door:

- a) de door het CENELEC gepubliceerde harmonisatiedocumenten,

- b) de IEC 60364-reeks,
- c) een beperkt aantal aanvullende Nederlandse bepalingen.

In Suriname worden de normen van de CENELEC toegepast. De N.V. E.B.S. hanteert daarbij de Nederlandse norm NEN1010 voor wat betreft veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties. Ook worden er door de N.V. E.B.S. standaarden toegepast afkomstig van de Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Op basis van de eerder aangehaalde normen worden de verschillende onderdelen van een elektrische installatie behandeld in dit verslag. De elektrische installatie wordt opgesplitst in verdeelinrichtingen en geleiderdoorsnede van elektrische leidingen.

2.4.2 De verdeelinrichtingen

De verdeelinrichtingen bestaan uit veiligheidskasten. De veiligheidskasten kunnen opgebouwd zijn uit smeltveiligheden, schroefveiligheden en/of installatieautomaten. De waarden van de veiligheden moeten selectief worden gekozen. Selectiviteit van beveiligingstoestellen tegen overstroom is nog niet geregeld in de NEN 1010. Bepaling 535.1 wordt nog bewerkt. Om aan de eis van selectiviteit tussen beveiligingstoestellen tegen overstroom te voldoen, moeten de uitschakelkarakteristieken van de gG-smeltpatronen van de diverse nominale waarden met elkaar vergeleken worden. De uitschakelkarakteristieken van de toestellen mogen elkaar niet overlappen. Uit de vergelijking volgt een factor van 1,6 of 2 die als vuistregel wordt aangehouden om selectiviteit te verkrijgen tussen beveiligingstoestellen onderling op verschillende niveaus. In bijlage 11 is er een nadere toelichting van de bovengenoemde van de gG-smeltpatronen.

2.4.3 De geleiderdoorsnede van elektrische leidingen

In een elektrische installatie zorgen de elektrische kabels voor het transporteren van de verschillende stromen van energiebron naar belasting en omgekeerd. Daarbij is het belangrijk dat de elektrische kabels voldoen aan de juiste diameter ten opzichte van de maximale stromen die getransporteerd moeten worden. Voor het bepalen van de juiste diameter van een kabel, moet er aan verschillende voorwaarden voldaan worden, te weten:

1. doorsnede in verband met overbelastingsbeveiliging,
2. controle op spanningsverlies,
3. controle op kortsluitvastheid.

Er zijn bij dit project twee van deze voorwaarden uitgevoerd. Dat zijn: de controle op spanningsverlies en de controle op kortsluitvastheid. Het bepalen van de kabeldoorsnede is buiten beschouwing gelaten.

ad1. Doorsnede in verband met overbelastingsbeveiliging

Bij de bepaling van de kabeldoorsnede waarbij er rekening wordt gehouden met de beveiliging tegen overbelasting spelen de volgende onderdelen een belangrijke rol, te weten:

- bekabeling,
- soort isolatie,
- soort metaal van de kern,
- correctiefactoren zoals omgevingstemperatuur, aantal kabels naast elkaar, de wijze van aanleg en grondsoort.

Overbelasting heeft te maken met de opwarming van de ader aan de binnenkant en niet van de mantel eromheen. Correctiefactoren zijn bepalend als de kabeldoorsnede groter of kleiner wordt. Er moet in beveiliging voorzien worden die een eventuele overbelastingstroom in de geleiders van het circuit kan onderbreken voordat het tot verhitting kan leiden met nadelige gevolgen voor de isolatie, de verbindingen, de uiteinden en de omgeving van de leidingen (volgens IEC60364). Het bepalen van de doorsnede in verband met overbelasting wordt uitgevoerd middels toepassing van de volgende stromen:

De **ontwerpstroom** “ I_B ”: dat is de stroom naar een installatie of apparaat bij 100% belasting.

De **nominale stroom** “ I_N ”: dat is de nominale stroom van een beveiliging.

De “ I_Z ” **waarde** van de kabel: dat is de stroom die de kabel continu kan voeren zonder dat de adertemperatuur boven een maximale waarde komt.

De **aanspreekstroom** “ I_2 ”: dat is de kleinste stroom waarbij de beveiliging nog net aanspreekt.

In figuur 2 wordt de samenhang weergegeven van de begrippen I_b , I_n , I_z en I_2 ,

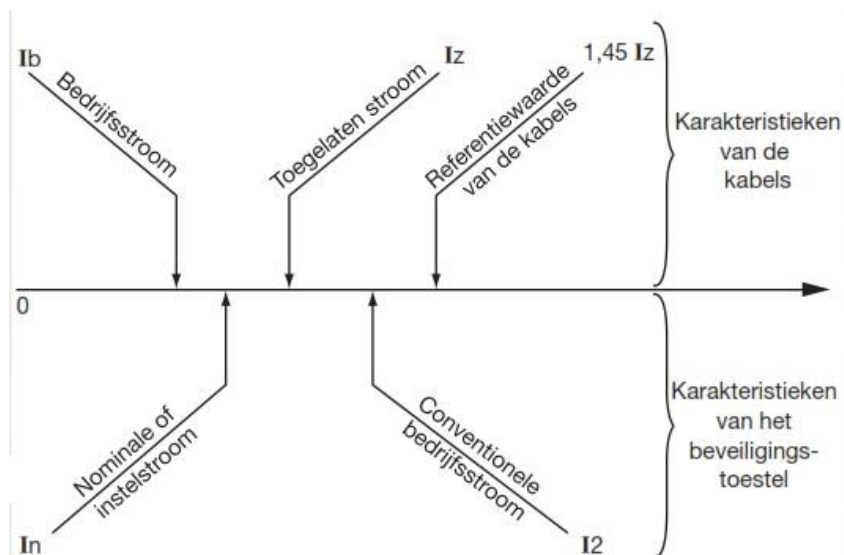
$$I_b \leq I_n \leq I_z,$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z$$

Het bepalen van de stroom I_2 vindt plaats volgens de methode van tabel 2.

Tabel 2: De kleinste stroom waarbij de beveiliging nog net aanspreekt

Zekeringen gG (IEC 60269-2-1)	Stroom I_2
<u>Kaliber $\leq 4A$</u>	<u>$2,1 I_n$</u>
<u>$4A < \text{Kaliber} < 16A$</u>	<u>$1,9 I_n$</u>
<u>Kaliber $\geq 16A$</u>	<u>$1,6 I_n$</u>
<u>Industriële stroomonderbreker</u>	<u>$1,45 I_n$</u>



Figuur 2: Samenhang van de begrippen

ad2. Controle op spanningsverlies

Als de stroom (I) naar een belasting door een leiding vloeit, dan blijkt de spanning (U_2) aan het eind van de leiding lager te zijn dan de voedende spanning (U_1). Dit komt doordat de stroom weerstand ondervindt van de leiding. Daardoor ontstaat dan tevens een spanningsverlies. Om dit verschil - het spanningsverlies (U_v) - vast te stellen, moeten de spanningsverliezen over de elementen R en X worden bepaald.

Indien de belasting voornamelijk is opgebouwd uit airconditioners (motoren), gasontladingslampen of andere inductieve apparaten, dan is er een faseverschuiving φ tussen spanning en stroom aanwezig, waarbij de stroom (I) ten opzichte van de spanning is verschoven.

Hierbij is het spanningsverlies (U_{vR}) over de leidingsweerstand (R) gelijk aan $I \times R$, en het spanningsverlies (U_{vX}) over de leidingsinductiviteit (X) gelijk aan $I \times X$. In een vectordiagram (zie figuur 3) loopt $I \times R$ evenwijdig met (I), en staat $I \times X$ loodrecht daarop. Tussen de spanningen U_1 en U_2 is de hoek θ aanwezig, die $\pm 6^\circ$ is en daardoor verwaarloosd mag worden aangezien $\cos \theta = 0,9945 \approx 1$.

Uit figuur 3 valt verder af te leiden dat het spanningsverlies $U_{vR} = I \times R \times \cos\varphi$ over de weerstand (R) is en het spanningsverlies $U_{vX} = I \times X \times \sin\varphi$ over de reactantie (X) is. Het spanningsverlies over de leiding bij een *inductieve* belasting wordt hierdoor:

$$U_v = I(R\cos\varphi + X\sin\varphi) \text{ (V)}$$

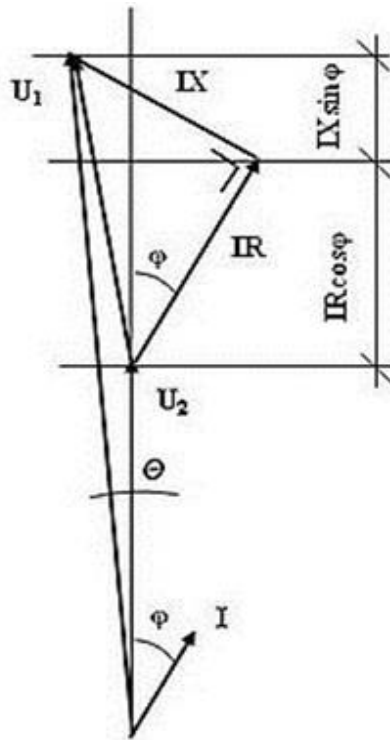
Als de belasting *capacitief* is, wordt het spanningsverlies $U_v = I(R\cos\varphi - X\sin\varphi) \text{ (V)}$, zodat de formule voor het spanningsverlies kan worden geschreven als:

voor een éénfase- en tweefase-installatie:

- $U_v = I(R \cos \varphi \pm X \sin \varphi) (V)$.

Voor een driefase-installatie (symmetrisch belast) wordt de formule:

- $U_v = I(R \cos \varphi \pm X \sin \varphi) \sqrt{3} (V)$



Figuur 3: Faseverschuiving van spanning en stroom

Bij het berekenen van spanningsverliezen voor leidingen van laagspanningsinstallaties (60Hz) zonder loodmantel of ijzermantel is X ten opzichte van R verwaarloosbaar. In hoofdstuk 4.3 wordt hierop ingegaan.

Dit houdt in dat voor het spanningsverlies in laagspanningsnetten:

Voor eenfase en tweefase is: $U_v = I \times R \times \cos \varphi$ **(1)**

Voordriefasespanning(220V/380V): $U_v = I_L \times R \times \cos \varphi \times \sqrt{3}$ **(2)**

In de praktijk wordt de factor X bij een hoge $\cos \varphi$, ook weggelaten.

De formules worden respectievelijk:

- $U_v = I \times R$ (éénfase en tweefase) **(3)**

- $U_v = I \times R \times \sqrt{3}$ (driefasespanning) **(4)**

Gezien het bovenstaande, kan de formule van het spanningsverlies ook op een andere wijze worden geschreven. Ieder materiaal bezit een eigen weerstand, de zogenaamde soortelijke weerstand. Dit is een constante waarde die voor bijvoorbeeld koper, (dat het meest gebruikte materiaal voor elektriciteitskabels is) 0,0175 bedraagt. Het berekenen van de exacte weerstand van een kabel van een bepaalde lengte en dikte geschiedt als volgt: de waarde van de soortelijke weer-

stand (ρ in $\Omega.m$) wordt vermenigvuldigd met de lengte van een kabel (L in meters) en gedeeld door de doorsnede (S in mm^2). R_l is de weerstand van de kabel en dat is evenredig met de lengte van de kabel L .

Bij een éénfase - en tweefase-installatie ziet de formule voor spanningsverlies er als volgt uit:

$$U_V = I \times \frac{L \times \rho}{S} \Leftrightarrow R_l = \frac{L \times \rho}{S} \quad (5)$$

Bij driefaseninstallaties ziet de formule voor spanningsverlies er als volgt uit:

$$U_V = I \times \frac{L \times \rho}{S} \times \sqrt{3} \quad (6)$$

Het procentuele spanningsverlies bij driefaseninstallaties ziet er als volgt uit:

$$U_V \% = 100 \times \frac{U_V}{U} \quad (7)$$

Volgens de algemene- en aansluitvoorwaarden van de N.V. E.B.S. geldt voor het maximale toegestane spanningsverlies:

- $U_V \leq 2\%$ bij een zuivere/specifieke lichtinstallatie (bijvoorbeeld terreinverlichting).
- $U_V \leq 5\%$ bij een algemene installatie (licht- en krachtinstallaties).

ad3. Controle op kortsluitvastheid

Het principe dat geldt bij de bepaling van de lengte van leidingen in verband met kortsluitbeveiliging kan als volgt omschreven worden. Bij kortsluiting op het eind van de leiding moet de voedingsspanning door de weerstand (R) van de leiding een zodanig grote kortsluitstroom laten vloeien, dat de beveiliging in voldoende tijd deze stroom afschakelt. R_l (weerstand van de leiding) is evenredig met de lengte van de leiding.

$$I_k = \frac{U_{net}}{R_l} \quad (8)$$

(R_l is evenredig met de lengte van de kabel I_k .)

Bij het berekenen van de lengten van de leidingen is er in verband met kortsluitbeveiliging gewerkt met tabellen uit het boek; *NEN1010 Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties*. Alvorens te beginnen met de berekeningen, moesten de gebruikte lengtewaarden uit de tabellen A.53-1 op bladzijden 504 “versurinamiseerd” worden (zie bijlage 6). Dat wil zeggen, omdat de spanning in Suriname $\sqrt{3}$ kleiner is tussen de fase en de beschermingsleiding dan in Europa, moet (om eenzelfde afschakeltijd te verkrijgen), de weerstand R_l (dus de lengte van de leiding) $\sqrt{3}$ kleiner worden genomen.

$$L_{max} = \frac{L_{tabel} \text{ (tabel A.53-1)}}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

3 Omschrijving van de huidige energievoorziening energieverbruik en elektrische installatie

Alvorens de energievoorziening van de elektrische installaties alsook de elektrische installaties op het Telesurcomplex welke binnen Telesur bekend staat als Centrum 1 (C1), geanalyseerd konden worden zijn de elektrische installaties en de energievoorziening in kaart gebracht. De aansluiting van de elektrische installatie op het openbare elektriciteitsnet is in dit hoofdstuk behandeld. In paragraaf 3.1 komt het in kaart brengen van de elektrische installaties en de energievoorziening aan de orde. De bedoeling hiervan was een volledig overzicht te krijgen van de totale elek-trische installatie over het complex. De verschillende typen belasting die zijn aangesloten op de elektrische installatie worden in paragraaf 3.2 behandeld. Verder wordt het vermogensverbruik van de verschillende typen belasting, aangesloten op transformator 1 en transformator 2 in paragraaf 3.3 behandeld. In paragraaf 3.3 zijn ook de meetinstrumenten waarmee de installatie is gemeten toegelicht. In paragraaf 3.4 worden de alternatieve voedingsbronnen ten behoeve van de ‘kritische belasting’ behandeld. In de laatste paragraaf staan de berekeningen, gemaakt met betrekking tot de controle van de voedingskabels van de hoofdverdeelkasten op kortsluitvastheid en spanningsverlies.

De belangrijkste bron van dit hoofdstuk is:<http://www.powerknot.com/how-efficient-is-your-air-conditioning-system.html>

3.1 Het in kaart brengen van de elektrische installatie

Het in kaart brengen van de elektrische installatie alsook de energievoorziening van deze elektrische installatie had ten doel de huidige ongemakken/problemen vast te leggen en te analyseren. Door middel van het uittraceren van de elektrische installatie zijn de verschillende onderdelen van de energievoorziening in de vorm van een installatieschema in kaart gebracht. Een installatieschema is een schema, waarin vaak een eenlijnvoorstelling wordt gebruikt, die een overzicht van de installatie of van een deel daarvan weergeeft.

Door het verrichten van spannings- en stroommetingen op alle veiligheidskasten is de elektrische installatie in kaart gebracht. Tijdens het verrichten van de metingen is ontdekt welke veiligheidskasten vanaf de voedingsbron (hoofdveiligheidskasten in transformatorhuis en de generatorruimte) met elkaar verbonden zijn. Daarbij is ontdekt dat er op een van de hoofdverdeelkasten geen overspanningsbeveiliging aanwezig is. Het is aanbevolen om een overspanningsbeveiliging te plaatsen op hoofdverdeelkast HK-2. Dit, omdat een overspanningsbeveiliging tot doel heeft overspanningen tussen verschillende delen (geleiders) van een elektrische installatie te beperken.

Daarnaast is gebleken dat bij de driefasenvoedingskabels tussen de verdeelkasten onderling of verdeelkast en belasting twee van de driefasenkabels van plaats zijn verwisseld ten opzichte van elkaar. Desbetreffende fasedraaiingen van voedingskabels tussen verdeelkasten onderling, als ook tussen verdeelkasten en belasting zijn in bijlage 8 aangegeven. Er is eerst een schets gemaakt op papier die vervolgens digitaal is vastgelegd via het tekenprogramma AutoCAD. Dit, vanwege het ontbreken van recente elektrische installatietekeningen voor het Telesurcomplex op het Vaillantsplein. De laatste versie tekeningen waarin een compleet overzicht van de totale elektrische installatie is gegeven, dateert van het jaar 1980. Daarna zijn er met de jaren een aantal uitbreidingen / wijzigingen gepleegd aan de installatie, waardoor die tekeningen anno 2013 niet meer van toepassing zijn.

Het schakelschema is uitgewerkt in bijlage 8. De elektrische installatie is onderverdeeld in 83 stuks verdeelkasten.

Het elektriciteitsnetwerk van Telesur bestaat uit een hoogspanningsdeel en een laagspanningsdeel.

De N.V. Energiebedrijven Suriname (N.V. E.B.S.) is het nationaal energieleveringsbedrijf van Suriname. De koppeling van de energievoorziening van Telesur bevindt zich in het transformatorhuis (H-3) op het Telesurcomplex aan het Vaillantsplein. In het transformatorhuis, nader te noemen trafohuis, is er een verdeling. Het hoogspanningsdeel van de energievoorziening is in een andere ruimte dan het laagspanningsgedeelte.

De elektrische voorziening vanuit de N.V. E.B.S is primair opgebouwd uit verschillende onderdelen waaronder beveiligingen, railsystemen, spanningstransformatoren en installatiekabels. Via twee step-down transformatoren, elk met een vermogen van 500kVA, wordt de 6kV midden-spanning, afkomstig van de E.B.S., omgezet in een spanning van 127/220V/3~. Hierna volgt een kort overzicht van de opbouw van de energievoorziening, die voorkomt in zowel het hoogspannings- als het laagspanningsdeel van het transformatorhuis.

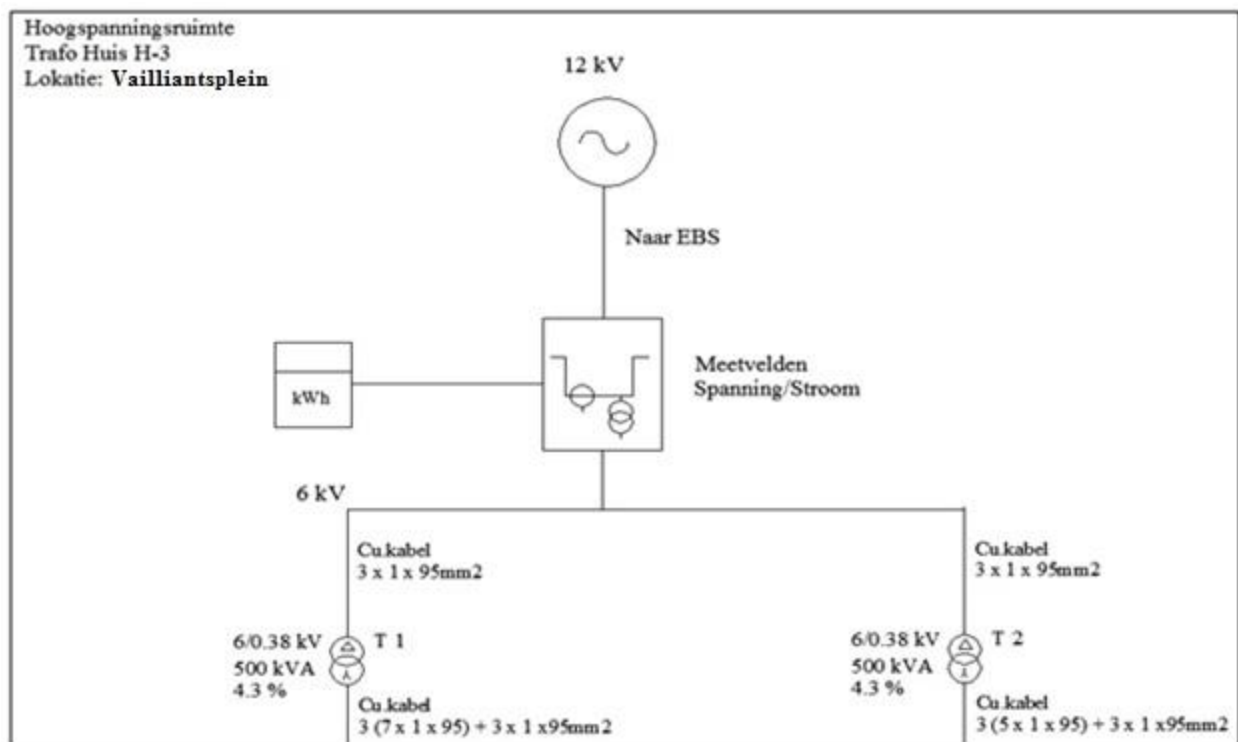
Het hoogspanningsgedeelte van het transformatorhuis

Voor het weergeven van een algemeen beeld van de opbouw van de energievoorziening en de elektrische installatie van Telesur Vaillantsplein is het hoogspanningsgedeelte van de energievoorziening (vrij beknopt omschreven) opgenomen in het verslag, omdat verdere behandeling van dit deel buiten het bestek van het afstudeerproject valt. Ook gezien het feit dat de EBS voornamelijk het hoogspanningsgedeelte van het elektriciteitsnetwerk in het transformatorhuis zelf onderhoudt.

In het hoogspanningsdeel bevinden zich onder andere de volgende onderdelen van de energievoorziening:

- Een 6kV railsysteem van het energieleveringsbedrijf, waarvan twee afgaande groepen voor twee transformatoren (elk 500kVA) ten behoeve van Telesur Vaillantsplein zijn bestemd;
- Beveiliging ten behoeve van de afgaande groepen;
- Meetvelden die de hoge spanningen en de hoge stromen omlaag transformeren naar meetbare waarden ten behoeve van kW/ kVA / kVAR meting (via stroomtransformatoren en spanningstransformatoren);
- Een energiemeter voor het registreren van het kWh, kVAh en kVARh energieverbruik van de elektrische belasting van de elektrische installatie van Telesur;
- Laagspanningskabels, die zijn aangesloten vanaf het hoogspanningsringsysteem van de N.V E.B.S tot op de primaire zijde van de transformatoren.

Figuur 4 geeft een eenlijnschema weer van de opbouw van het hoogspanningsgedeelte van de energievoorziening.



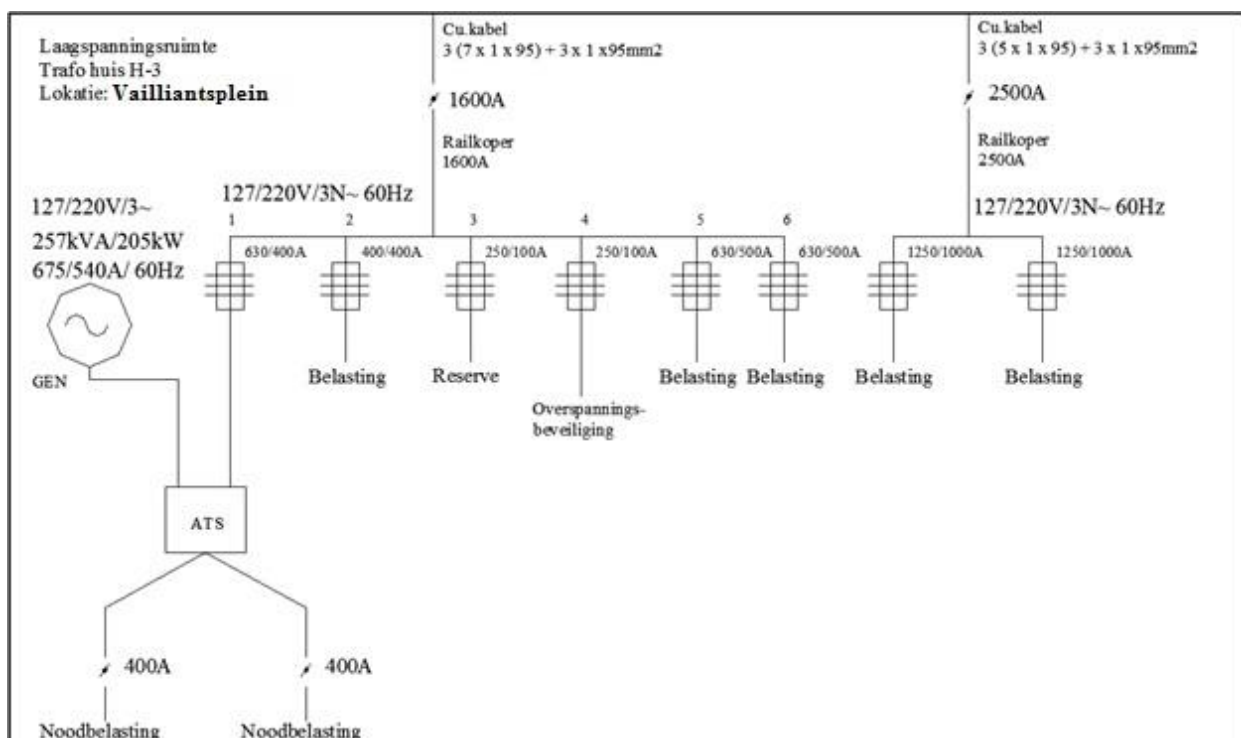
Figuur 4: Eenlijnschema van de opbouw van de hoogspanningszijde in het transformatorhuis

Het laagspanningsgedeelte van het transformatorhuis

Het laagspanningsdeel van de energievoorziening begint bij de secundaire zijde van de 500kVA transformatoren. In het laagspanningsdeel bevinden zich de volgende onderdelen van de energievoorziening:

- Op de secundaire zijde van de twee transformatoren zijn er YMvK-kabels aangesloten, die rechtstreeks op de tweehoofdschakelaars (2500A en de 1600A) van de twee hoofdverdeelkasten van de elektrische installatie zijn aangesloten;
- Twee railsystemen van respectievelijk 1600 A en 2500 A waarop er afgaande eindgroepen van de elektrische installatie zijn aangesloten;
- Beveiligingen van de eindgroepen met mespatronen;
- Overspanningsbeveiliging;
- Automatic Transfer Switch (ATS);
- Generator.

Figuur 5 geeft een eenlijnschema weer van de opbouw van het laagspanningsgedeelte van de energievoorziening.



Figuur 5: Eenlijnschema van de opbouw van de laagspanningszijde in het transformatorhuis

3.2 De belasting van de elektrische installatie

De belasting van de elektrische installatie bestaat uit de apparaten die op de installatie aangesloten zijn. Alle elektrische apparaten werken op elektrische energie. Het begrip energie wordt ge-

definieerd als 'het vermogen om arbeid te verrichten'. Een apparaat zet elektrische energie om in een andere vorm van energie. Het is meestal zo dat de belasting van de elektrische installatie een ohms-inductief karakter heeft. Dit type belasting verbruikt zowel actief vermogen als reactief vermogen. Hierna worden de volgende 2 punten beschreven, te weten;

1. Het vermogens- en energieverbruik van ohmse en inductieve belasting
2. Het vermogen van de hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2

Op hoofdverdeelkast HK-1 zijn er 62 stuks onderverdeelkasten aangesloten. Op hoofdverdeelkast HK-2 zijn er 21 stuks onderverdeelkasten aangesloten. De meeste namen op deze verdeelkasten corresponderen niet meer met de aangegeven bestemming van de verdeelkasten.

ad1. Het vermogens- en energieverbruik van ohmse en inductieve belasting

In een zuiver resistieve wisselstroomkring wordt alle energie van de voedingsbron door de weerstanden vrijgegeven in de vorm van warmte. In een zuiver inductieve wisselstroomkring wordt alle energie van de voedingsbron tijdens één gedeelte van de spanningscyclus opgeslagen in het magnetisch veld van de spoel, om daarna, tijdens het andere deel van de cyclus dezelfde energie terug te sturen naar de bron. Er vindt dus een continue uitwisseling van energie plaats tussen spoel en bron. Er vindt bovendien geen enkele omzetting plaats van energie naar warmte.

Indien de wisselstroomkring uit zowel weerstanden als spoelen bestaat, dan wordt een gedeelte van de energie afwisselend opgeslagen in en vrijgegeven door de spoel, terwijl een ander gedeelte van de energie vrijgegeven wordt in de weerstanden. De hoeveelheid energie die wordt omgezet in warmte hangt af van de relatieve waarden van de weerstand en de inductieve reactantie.

Het gedrag van het energieverbruik van de elektrische belasting is geheel afhankelijk van de volgende twee feiten:

1. Het vermogen van de belasting
2. De tijd waarop deze belasting aanstaat.

Op de elektrische installatie zijn er verschillende soorten belasting aangesloten. In tabel 3 volgt een overzicht van de belasting van de twee transformatoren, welke bepalend zijn voor het gedrag van het actieve, schijnbaar en blindvermogenverbruik.

Tabel 3: Overzicht van de belasting aangesloten op transformator 1 en transformator 2

	Transformator 1 (Hoofdverdeelkast HK-1 met 1600A hoofdschakelaar)	Transformator 2 (Hoofdverdeelkast HK-2 met 2500A hoofdschakelaar)
Belasting	Airco's	Airco's
	Verlichting	Verlichting
	Computers/Apparatuur	Computers
	Gelijkrichters/Inverters	
	UPS	

Een deel van de belasting van transformator 1 is aangesloten op een noodaggregaat. In paragraaf 3.4 is het noodaggregaat toegelicht, en wel het deel van de elektrische installatie dat erop aangesloten is en het vermogen van de noodbelasting.

ad2. Het vermogen van de hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2

Op het Telesur-complex aan het Vaillantsplein staan er vier gebouwen. Om de gebouwen aan te duiden zijn de straatnamen gebruikt waaraan ze grenzen.

De vier namen zijn:

1. Hoogbouw aan de Heiligenweg: dit gebouw heeft zes werkvloeren of bouwlagen.
2. Gebouw aan de Knuffelsgracht: dit gebouw heeft twee werkvloeren of bouwlagen.
3. Gebouw aan de Keizerstraat: dit gebouw heeft drie werkvloeren of bouwlagen.
4. Laagbouw aan de Heiligenweg: dit gebouw heeft twee werkvloeren of bouwlagen.

In de hierboven genoemde gebouwen zit er personeel en bevindt zich apparatuur.

De elektrische belasting in deze gebouwen wordt gevoed door de twee transformatoren van elk 500kVA. De hoofdverdeelkast HK-1 is aangesloten op transformator 1 en hoofdverdeelkast HK-2 is aangesloten op transformator 2.

HK-1 is opgebouwd uit zes eindgroepen, waarbij op één groep een overspanningsbeveiliging is aangesloten en één groep reserve is. Op de overige eindgroepen zit een deel van de belasting van elk van de vier gebouwen. In tabel 4 is aangegeven welk deel van de belasting van de gebouwen op welke eindgroep is aangesloten. In paragraaf 3.3 wordt het vermogen van de belasting aangesloten op hoofdverdeelkast HK-1 behandeld.

Tabel 4: Locatie van de belasting aangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-1 (T1)

Kast	Groep	Bestemming	Voedingsbron
HK-1	1	Naar ATS. Op ATS zijn twee eindgroepen aangesloten, die gaan naar: 1. begane grond en verdieping van de gebouwen aan de Knuffelsgracht en Keizerstraat. 2. kelder t/m 4^{de} etage van Hoogbouw aan de Heiligenweg, Laagbouw (verdieping) en de gebouwen aan de Knuffelsgracht en Keizerstraat	N.V. E.B.S. of Generator
	2	Naar de begane grond van gebouw aan de Keizerstraat (t.b.v. alledrie bouwlagen)	N.V. E.B.S.
	3	Reserve	
	4	Naar overspanningsbeveiliging in dezelfde ruimte van hoofdverdeelkast HK-1	
	5	Naar airco condensering unit t.b.v. een ruimte op de bega-	N.V. E.B.S.

		ne grond van gebouw aan de Knuffelsgracht	
	6	Naar begane grond en verdieping van gebouw aan de Knuffelsgracht	N.V. E.B.S.

HK-2 is opgebouwd uit vier eindgroepen, waaronder twee reservegroepen. Op de twee belaste eindgroepen zit een deel van de belasting van Hoogbouw. In tabel 5 is aangegeven welk deel van de belasting van Hoogbouw op welke eindgroep is aangesloten. In paragraaf 3.3 wordt het vermogen van deze belasting, aangesloten op hoofdverdeelkast HK-2 behandeld.

Tabel 5: Locatie van de belasting aangesloten op hoofdverdeelkast HK-2 (Transformator 2)

Kast	Groep	Gebouw	Voedingsbron
HK-2	1	a) Naar de kelder van Hoogbouw (t.b.v. de kelder, begane grond, 1 ^{ste} , 2 ^e etage, lift- machinekamer en airco-installatie op dakkap van Hoogbouw) b) Laagbouw (begane grond)	N.V. E.B.S.
	2	Reserve	
	3	Reserve	
	4	a) Naar de kelder van Hoogbouw (t.b.v. de begane grond, 3 ^e , 4 ^e etage en airco-installatie op dakkap van Hoogbouw) b) Laagbouw (verdieping)	N.V. E.B.S.

3.3 Vastlegging verbruiksgedrag van de belasting voor het actieve, schijnbaar en blind vermogen

In deze paragraaf wordt het vermogen van de belasting aangesloten op de hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2, behandeld. Er zijn twee meetmethoden toegepast om het vermogensverbruik van de belasting vast te leggen. Hierna volgt de uitleg van de twee toegepaste meetmethoden en het waarom hiervan.

Meetmethode 1

Het vaststellen van het vermogen per eindgroep is geschied door het verrichten van spannings- en stroommetingen met twee multimeters van de merken Nieaf-Smitten Fluke.



**Figuur 6: Nieaf-Smitt
NI11R stroomtang**



**Figuur 7: Fluke 336-stroomtang
0-600A**

De bedoeling van meetmethode 1 was primair het uittraceren en in kaart brengen van de elektrische installatie. Secundair is het de bedoeling geweest om na te gaan of de meetresultaten volgens meetmethode 1 en meetmethode 2 nagenoeg overeenkwamen.

Tijdens het in kaart brengen van de elektrische installatie is de stroom die per eindgroep vloeit, gemeten en vastgelegd. Bij het vastleggen zijn de dag en de tijd waarop de metingen verricht zijn ook genoteerd. Vervolgens zijn de waarden van de schijnbare vermogens berekend. In tabel 6 zijn de formules voor berekening van schijnbaar, actief en blind of reactief vermogen van een driefase-installatie vastgelegd.

Tabel 6: Formules ter berekening van schijnbaar, werkelijk en reactief vermogen voor driefase-installaties

Nr.	Soort vermogen	Formule	Eenheid
1	Schijnbaar	$P_s = U_l \times I_l \times \sqrt{3}$	VA
2	Actief	$P_w = U_l \times I_l \times \cos\varphi \times \sqrt{3}$	W
3	Blind of reactief	$P_b = U_l \times I_l \times \sin\varphi \times \sqrt{3}$	VAr

Bijlage 1 geeft de berekende waarden weer voor het schijnbaar vermogen van de eindgroepen van hoofdverdeelkasten HK-1. Hierbij is van de gemeten stromen voor de drie fasen R, S en T, de grootste stroomwaarde gebruikt in de formule. De stroom door de nulleider is ook gemeten en in de tabel aangegeven met de letter N. De gemeten stroomwaarden weerspiegelen slechts het ge-middelde van een momentopname gedurende 5 werkdagen in het tijdsinterval tussen 12:37u en 13:41u vanaf dinsdag 19 juni tot en met maandag 25 juni 2012.

Bijlage 2 geeft de berekende waarden weer voor het schijnbaar vermogen van de eindgroepen aangesloten op hoofdverdeelkast HK-2.

Tabel 7 geeft een overzicht van de totale gemeten stromen van transformator 1 en 2, respectievelijk de twee hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2. In deze tabel staan ook de totaal berekende schijnbare vermogens voor bovengenoemde hoofdverdeelkasten.

Tabel 7: Overzicht van de totale gemeten stromen van hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2

Kastnaam/Hoofdschakelaar (A)	Aangesloten op	Stroom (A)	P_s (kVA)
HK-1 1600A	Transformator 1	R= 803, S= 864 T= 780	331,88
HK-2 2500A	Transformator 2	R= 686, S= 620 T= 670	275,93
Totaal		R= 1489, S= 1484 T= 1450	607,81

In het schakelschema (bijlage 7) zijn ook de datum en de tijden aangegeven waarop de metingen verricht zijn. De tijdstippen waarop de metingen verricht zijn volgens methode 1, zijn vastgelegd ter vergelijking met de meetresultaten van meetmethode 2.

Meetmethode 2

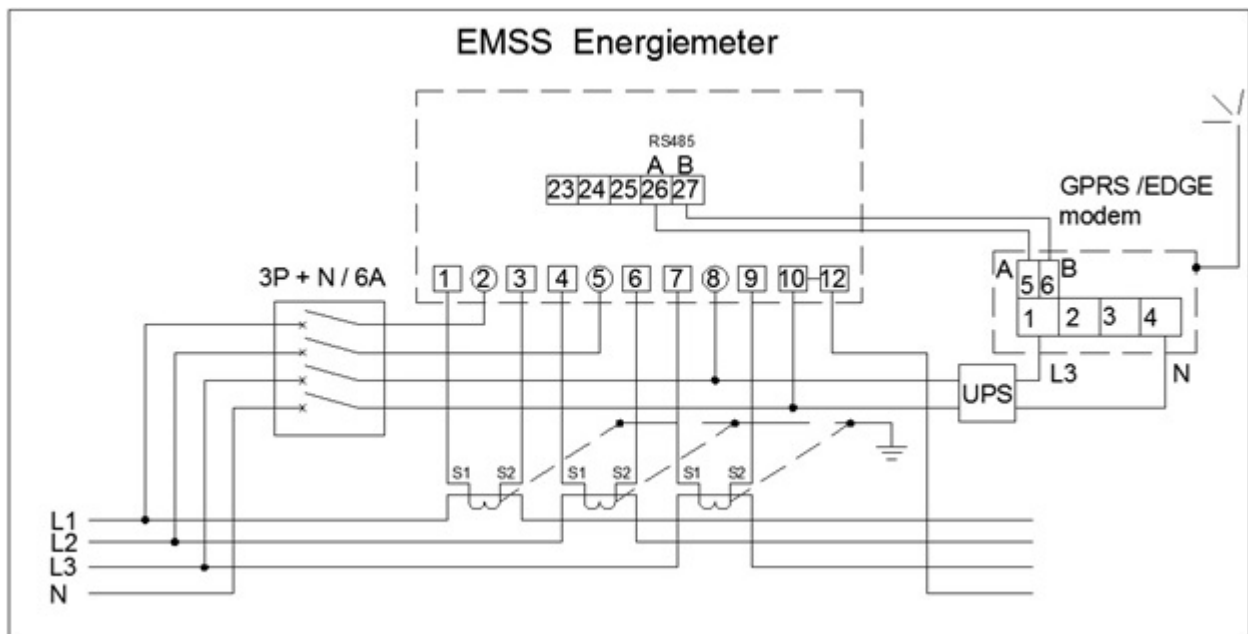
Bij meetmethode 2 zijn de metingen op een andere wijze en met andere meetinstrumenten geschied. Met meetmethode 2 is het de bedoeling geweest het energieverbruik van de totale belasting aangesloten op de hoofdverdeelkasten HK-1, HK-2 alsook de belasting aangesloten op de noodvoeding te meten. Er is gebruikgemaakt van energiemeters van het merk EMSS. Deze energiemeters hebben de mogelijkheid om 1 x 24 uur grootheden te meten, zoals actieve energie, schijnbare energie, reactieve energie, power factor, spanningen en stromen. Daarnaast zijn er ook energiemeters toegepast van het merk EMSS die de intelligentie hebben om ook THD (Totale harmonische distortie) stromen en spanningen te meten. Ook zijn er metingen verricht met een energiemeter Acuvim II. Verder zijn er ook harmonische metingen verricht met een Power Quality Analyser van het merk Nieaf-Smitt, model PQA 6600. Een specificatie van de energiemeters is in bijlage 3 gegeven. Tijdens het analyseren van de vermogensmetingen was het noodzakelijk om meerdere metingen uit te voeren. Daartoe zijn er nog op verschillende niveaus metingen verricht. De plaats en de tijdsduur waar er metingen verricht zijn, zijn in bijlage 5 aangegeven. In hoofdstuk 4 zijn de meetresultaten van de THD- meters vastgelegd. Het energieverbruik van de meter die was aangesloten op de belastingzijde van de ATS is verderop in deze paragraaf behandeld.

De meetopstellingen en gebruikte meetapparatuur

Bij het meten van de stromen zijn er stroomtransformatoren toegepast. De stroomtransformatoren hadden tot doel het stroomsignaal te transformeren naar een lagere waarde ten behoeve van de energiemeters en de PQA meter.

EMSS

De gemeten data werden allereerst opgeslagen in een GPRS/EDGE modemmodule die verbonden is met de energiemeters. Vervolgens zijn de gemeten data via internet beschikbaar gesteld via de volgende website: <http://www.emss-view.com/>. Het aansluitschema van de EMSS- energiemeters is in figuur 8 weergegeven. De stappen voor het installeren van de EMSS- energiemeters op de (hoofd)verdeelkasten zijn in bijlage 4 aangegeven.



Figuur 8: Aansluitschema van EMSS energiemeter en modem

Acuvim II energiemeter

Het meetinstrument werd geconfigureerd om middels een vaste IP de data op elke willekeurige locatie via een pc of laptop te bekijken (realtime) en in te loggen. Vervolgens werden de data geanalyseerd via de software Acuvim. Het toegepaste aansluitschema is in bijlage 4 weergegeven.

PQA 6600 power quality analyser

De gemeten data werden op de gemeten locatie gedownload van de meter op een laptop. Vervolgens werden de data geanalyseerd via de software Powerlink, versie 5.5. De aansluitschema's zijn in bijlage 4 weergegeven

3.3.1 Analyse van het energieverbruik

Van elke transformator zijn afzonderlijk het schijnbaar vermogen, de stromen, het actief vermogen en het blind vermogen gemeten. Ook de power factor ($\cos\phi$ / arbeidsfactor waarde) is vastgelegd. Om de tien minuten werden er monsters vastgelegd van voornoemde parameters. Hierna volgt een overzicht van het schijnbaar verbruik en de stroomsterkte over een periode van twee weken (vanaf 23 april tot 6 mei 2012) voor transformator 1 en transformator 2. De analyse hiervan had als doel te ontdekken of het energieverbruikspatroon een weergave is van efficiënt en effectief energieverbruik. Het was daarom van belang te onderzoeken hoe het vastgelegde schijnbaar energieverbruikspatroon ontstaat, dus van welke belasting het afhankelijk is.

Schijnbaar vermogen en stroomsterkte van transformator 1

Figuur 9 geeft het energieverbruik weer van het schijnbaar vermogen gemeten over de periode van maandag 23 april 2012 tot zondag 29 april 2012 voor transformator 1.

Figuur 10 geeft de stroomsterkte weer van transformator 1 gemeten over de periode van maandag 23 april 2012 tot zondag 29 april 2012.

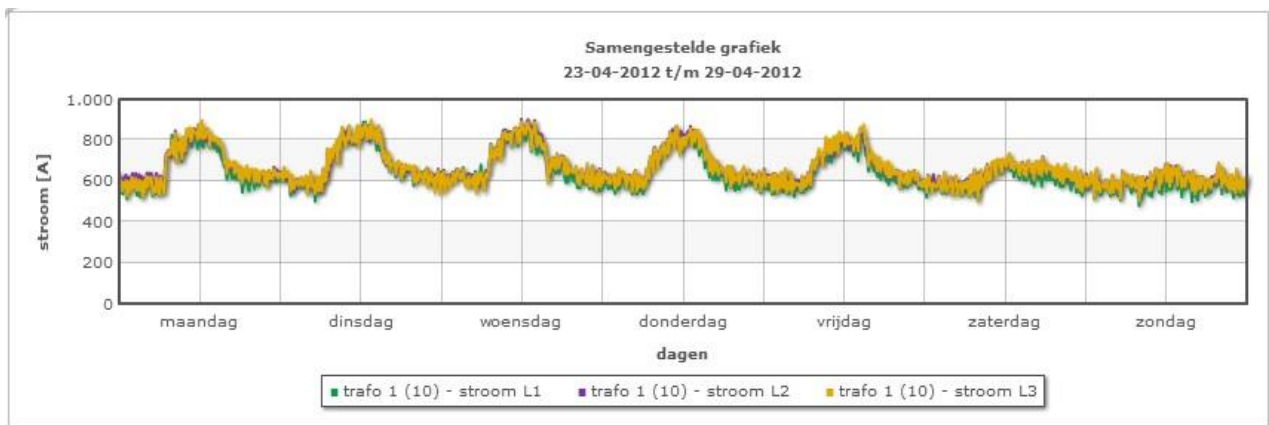
Figuur 11 geeft het energieverbruik weer van het schijnbaar vermogen gemeten over de periode van maandag 30 april 2012 tot zondag 6 mei 2012 voor transformator 1.

Figuur 12 geeft de stroomsterkte weer van transformator 1 gemeten over de periode van maandag 30 april 2012 tot zondag 6 mei 2012.



Figuur 9: Het gedrag van het schijnbaar verbruik van transformator 1 gemeten gedurende een week

Op de verticale as van de lijn karakteristiek (figuren 9 en 11) is de schaal voor het schijnbaar vermogen uitgezet in kVA. Op de horizontale as zijn de uren uitgezet vanaf 00:00 uur tot en met 24:00 uur uitgedrukt in de dagen van de week.

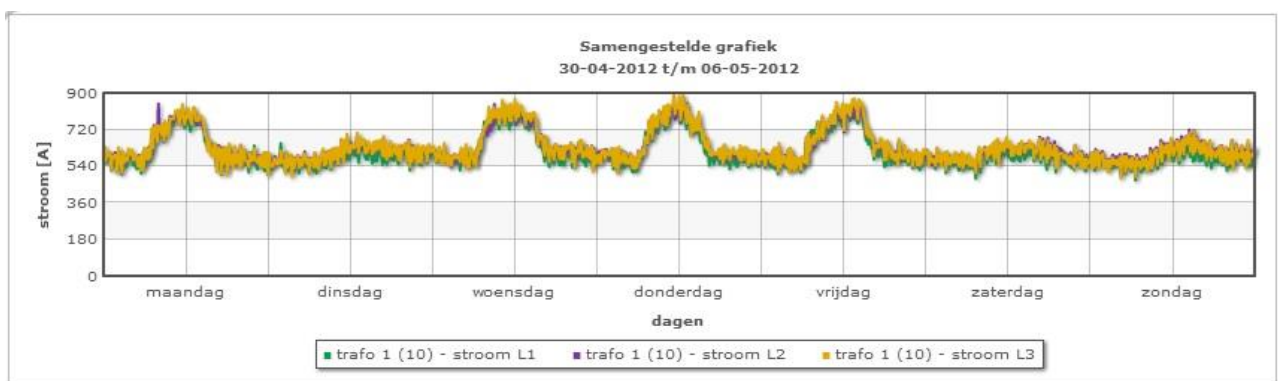


Figuur 10: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 1 gemeten gedurende een week

Op de verticale as van de lijnkaracteristiek (in de figuren 10 en 12) is de schaal voor de stroomsterkte uitgezet in ampere (A). Figuren 10 en 12 geven de driefasestroomsterkte weer van transformator 1 voor de fasen L1, L2 en L3. Op de horizontale as zijn de uren uitgezet vanaf 00:00 uur tot en met 24:00 uur uitgedrukt in de dagen van de week.



Figuur 11: Het gedrag van het schijnbaar vermogen van transformator 1 gemeten gedurende een week



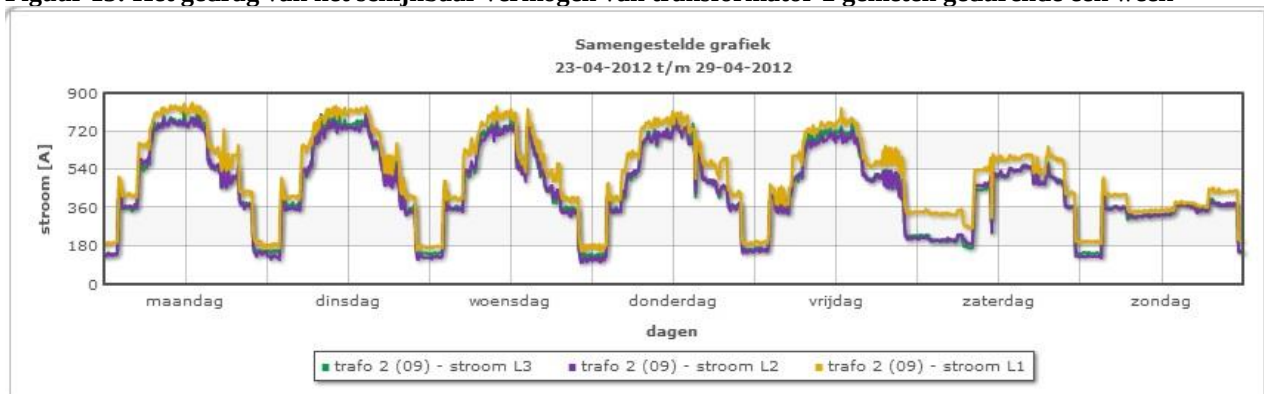
Figuur 12: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 1 gemeten gedurende 1 week

Schijnbaar vermogen en stroomsterkte van transformator 2

Figuur 13 geeft het schijnbaar vermogen weer gemeten over de periode van maandag 23 april 2012 tot zondag 29 april 2012 voor transformator 2. Figuur 14 geeft de stroomsterkte weer van transformator 2 gemeten over de periode van maandag 23 april 2012 tot zondag 29 april 2012. Figuur 15 geeft het schijnbaar vermogen weer gemeten over de periode van maandag 30 april 2012 tot zondag 6 mei 2012 voor transformator 2. Figuur 16 geeft de stroomsterkte weer van transformator 2 gemeten over de periode van maandag 30 april 2012 tot zondag 6 mei 2012.



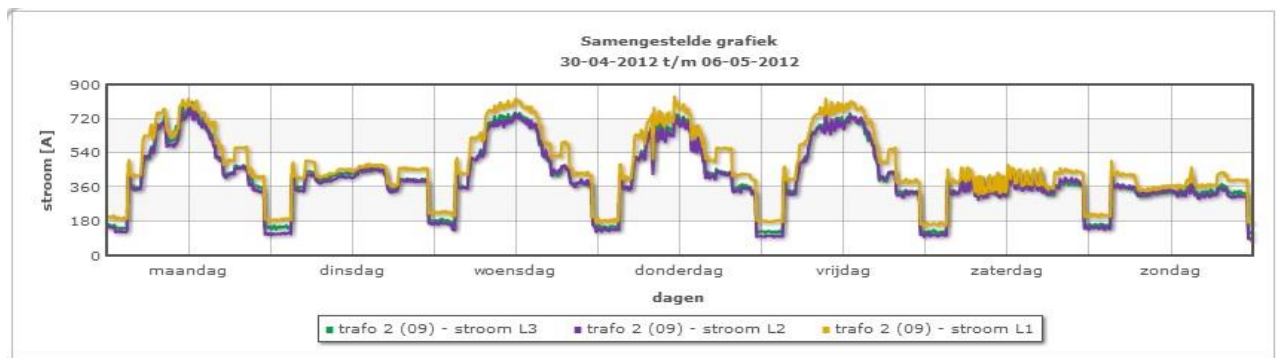
Figuur 13: Het gedrag van het schijnbaar vermogen van transformator 2 gemeten gedurende een week



Figuur 14: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 2 gemeten gedurende een week



Figuur 15: Het gedrag van het schijnbaar vermogen van transformator 2 gemeten gedurende een week



Figuur 16: Het gedrag van de stroomsterkte van transformator 2 gemeten gedurende een week

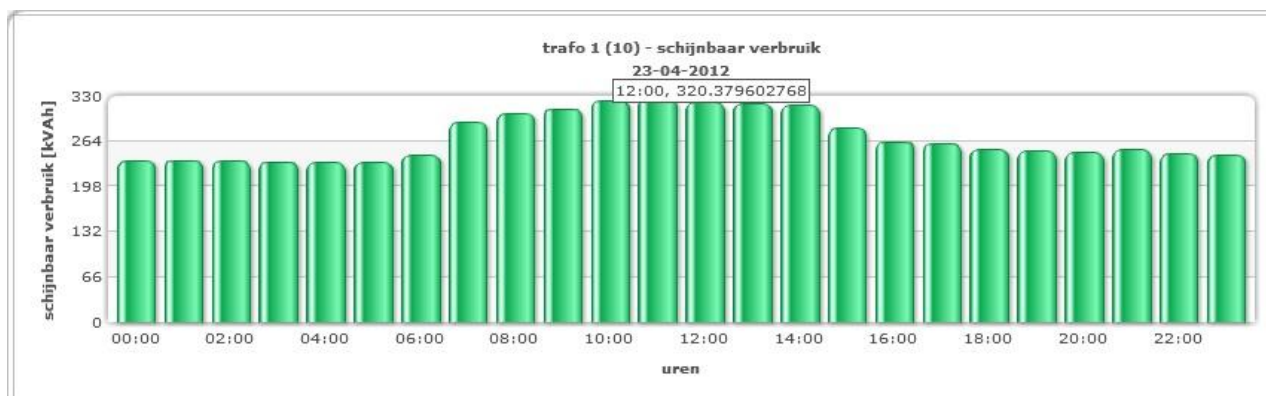
Gelet op het verloop van het schijnbaar energieverbruik (schijnbaar vermogen $\times$ tijd) en de stroomsterkte van transformator 1 en transformator 2 is op te merken dat er tijdens de normale werkdagen van maandag tot vrijdag een bepaald vast patroon van energieverbruik en stroomsterkte bestaat. Des weekends vertonen het energieverbruik en de stroomsterkte een ander patroon. Het schijnbaar energieverbruik is gelijk aan de hoeveelheid energie die wordt verbruikt wanneer een vermogen van 1 kVA gedurende een volledig uur wordt benut.

Volgens de formule voor het schijnbaar vermogen ($P_w = U_l \times I_l \times \cos\varphi \times \sqrt{3}$) uit tabel 6 blijkt dat de spanning zowel $\sqrt{3}$ als twee constanten beschouwd kunnen worden. Het schijnbaar energieverbruik is afhankelijk van de ontwerpstroom, vandaar dat de grafieken van schijnbaar energieverbruik en stroomsterkte nagenoeg dezelfde vorm hebben op weekbasis. Om het verbruikspatroon te verklaren is er een nadere analyse gepleegd. Het energieverbruik en de stroomsterkte van transformator 1 en 2 zijn daarbij op dagbasis geanalyseerd.

Alvorens de analyse uitgevoerd werd is eerst een vergelijking gemaakt tussen de meetresultaten volgens meetmethode 1 en meetmethode 2 voor transformator 1 en 2.

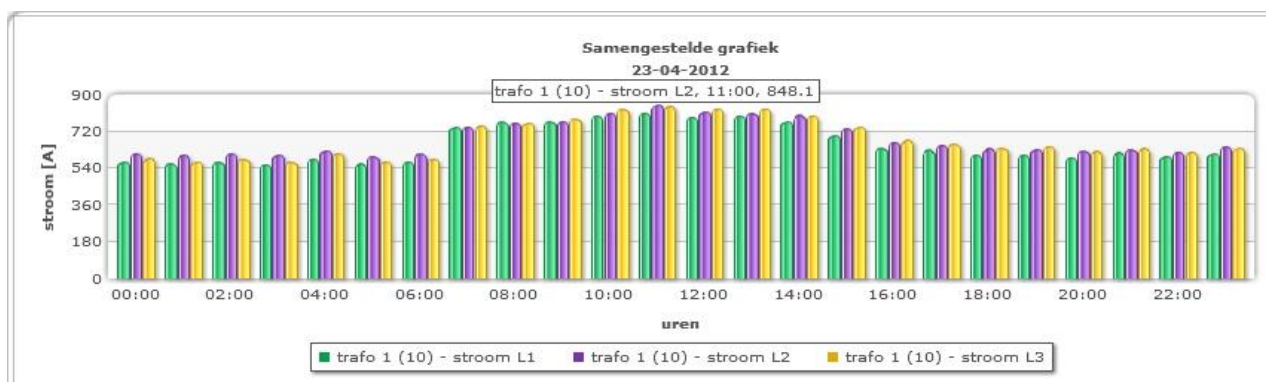
Transformator 1

In de figuren 17 en 18 zijn het schijnbare gemeten energieverbruik en de stroomsterkte van transformator 1 (hoofdverdeelkast HK-1) weergegeven op dagbasis. Figuur 17 geeft het energieverbruik weer van het schijnbaar vermogen gemeten op maandag 23 april 2012.



Figuur 17: Het gedrag van het schijnbaar verbruik van transformator 1 gemeten op maandag 23 april 2012

Op de verticale as van de kolomkarakteristiek is de schaal voor het schijnbaar energieverbruik uitgezet in kVAh. Op de horizontale as zijn de uren uitgezet vanaf 00:00 uur tot en met 23:00 uur. Uit de grafiek blijkt dat het totale schijnbare verbruik een maximale waarde van 320,38 kVAh had tegen 12:00 uur. Vanaf dinsdag 19 juni 2012 in het tijdsinterval tussen 12:37uur en 13:41uur is er een momentopnamemeting gedaan. Dit gebeurde gedurende vijf werkdagen. Daarbij bedroeg het berekende schijnbaar verbruik van HK-1 (transformator 1) volgens meetmethode 1 331,88 kVAh. Bij meetmethode 1 is ook de gemeten stroomsterkte van HK-1 (transformator 1) vermeld. In figuur 18 is de gemeten stroomsterkte volgens meetmethode 2 weergegeven.



Figuur 18: Stroomsterkte L1, L2 en L3 van transformator 1 gemeten op woensdag 23 april 2012

Op de verticale as van de kolomkarakteristiek is de schaal voor de stroomsterkte uitgezet in ampère. Op de horizontale as zijn de uren uitgezet vanaf 00:00 uur tot en met 23:00 uur. Uit de grafiek blijkt dat de totale stroomsterkte van hoofdverdeelkast HK-1 (transformator 1) een maximale waarde van 848,1A op fase S had tegen 11:00 uur. Vanaf dinsdag 19 juni 2012 in het tijdsinterval tussen 12:37uur en 13:41uur is er een momentopnamemeting gedaan. Dit gebeurde gedurende vijf werkdagen. Daarbij bedroeg de totaal berekende stroomsterkte van HK-1 (transformator 1) volgens meetmethode 1 een waarde van 864 A op fase S.

Vergelijking van de meetresultaten voor HK-1 volgens meetmethode 1 en meetmethode 2 is in tabel 8 aangegeven. Vanwege de sterk veranderende belasting elke minuut van de dag (bijvoorbeeld aan- en uitgaan van aircocompressoren, hydrofoors) is het niet mogelijk geweest om dezelfde belastingen te meten. Verder ook vanwege het feit dat het meetbereik van de ampèretang verschilt met dat van de stroomtransformatoren, wat ook invloed heeft op de meetuitslag. Hoe dichter het meetbereik van het meetinstrument (stroomtransformator of ampèretang) de te meten stroom nadert, hoe efficiënter de meetresultaten zijn (kleinere meetfouten).

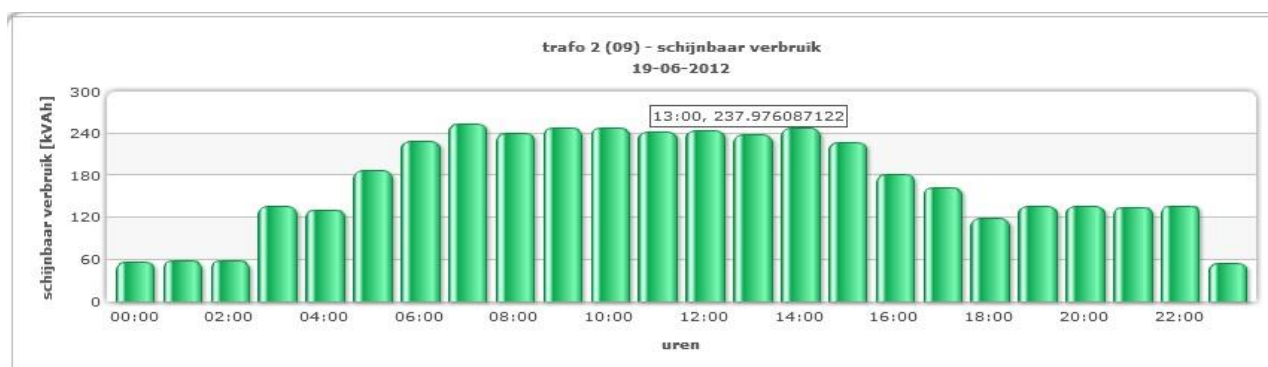
Tabel 8: Vergelijking meetresultaten HK-1 volgens meetmethode 1 en meetmethode 2

Hoofdverdeelkast HK-1	Meetmethode 1 (momentopname tussen 12:37 uur en 13:41 uur gedurende vijf werkdagen)	Meetmethode 2 (1x24 uur meting, 12:00 uur)
Schijnbaar verbruik (kVAh)	331,88	320,38
Stroomsterkte (A)	R= 803 S= 864 T= 780	R= 811 S= 848,1 T= 841,7

Uit de vergelijking is gebleken dat de gemeten data van de twee toegepaste meetmethoden nagenoeg overeenkomen.

Transformator 2

In de figuren 19 en 20 zijn het schijnbaar gemeten energieverbruik en de stroomsterkte van transformator 2 (hoofdverdeelkast HK-2) weergegeven. Figuur 20 geeft het energieverbruik weer van het schijnbaar vermogen gemeten op dinsdag 19 juni 2012.

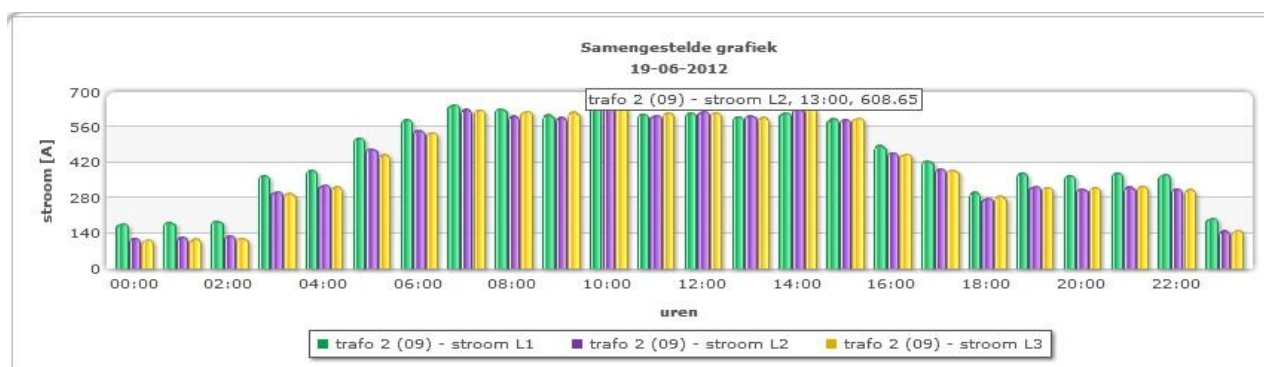


Figuur 19: Het gedrag van het schijnbaar verbruik van transformator 2 gemeten op dinsdag 19 juni 2012

Op de verticale as van de kolomkarakteristiek is de schaal voor het schijnbaar energieverbruik uitgezet in kVAh. Op de horizontale as zijn de uren uitgezet vanaf 00:00 uur tot en met 23:00 uur. Uit de grafiek blijkt dat het totale schijnbare energieverbruik een maximale waarde van 237,98 kVAh had tegen 13:00 uur. Op dinsdag 19 juni 2012 in het tijdsinterval tussen 12:45 uur en 12:55

uur bedroeg het berekende schijnbaar verbruik van HK-2 (transformator 2) volgens meetmethode 1 een waarde van 275,93kVAh.

Bij meetmethode 1 is ook de gemeten stroomsterkte vermeld. In figuur 20 is de door meetmethode 2 gemeten stroomsterkte weergegeven.



Figuur 20: Stroomsterkte L1, L2 en L3 van transformator 2 gemeten op dinsdag 19 juni 2012

Op de verticale as van de kolomkarakteristiek is de schaal voor de stroomsterkte uitgezet in ampère. Op de horizontale as zijn de uren uitgezet vanaf 00:00uur tot en met 23:00uur.

Uit de grafiek blijkt dat de totale stroomsterkte van HK-2 (transformator 2) een maximale waarde van 608,65A had voor fase S tegen 13:00uur. In het tijdsinterval tussen 12:45 uur en 12:55 uur had de totaal berekende stroomsterkte van HK-2 (transformator 2) volgens meetmethode 1 een waarde van 620A op fase S.

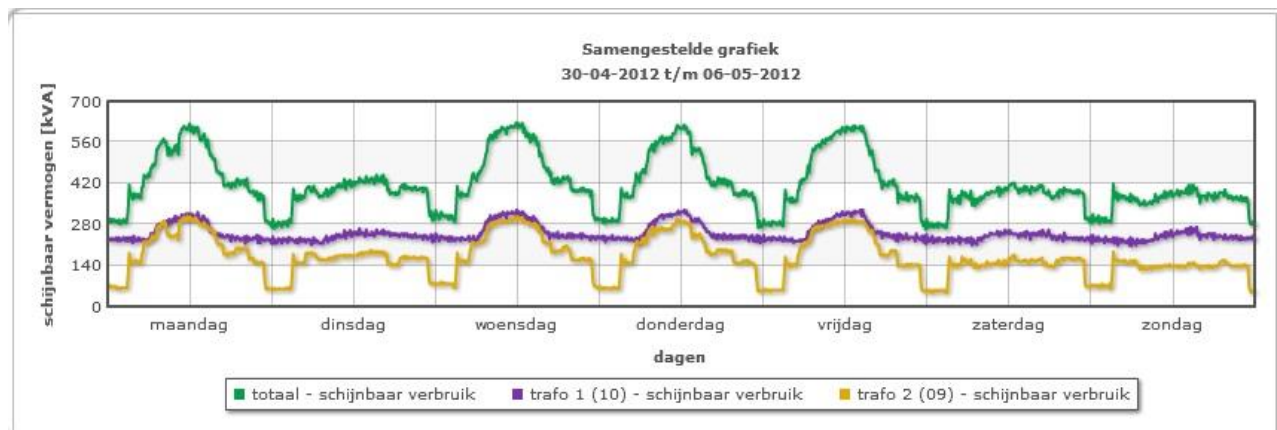
Vergelijking van de meetresultaten volgens meetmethode 1 en meetmethode 2 is in tabel 9 aangegeven.

Tabel 9: Vergelijking meetresultaten HK-2 volgens meetmethode 1 en meetmethode 2

Hoofdverdeelkast HK-2	Meetmethode 1 (momentopname tussen 12:45uur en 12:55 uur gedurende vijf werkdagen)	Meetmethode 2 (1x24uur meting, 12:00uur)
Schijnbaar verbruik (kVAh)	331,88	320,38
Stroomsterkte(A)	R= 686 S= 620 T= 670	R= 603 S= 608 T= 600

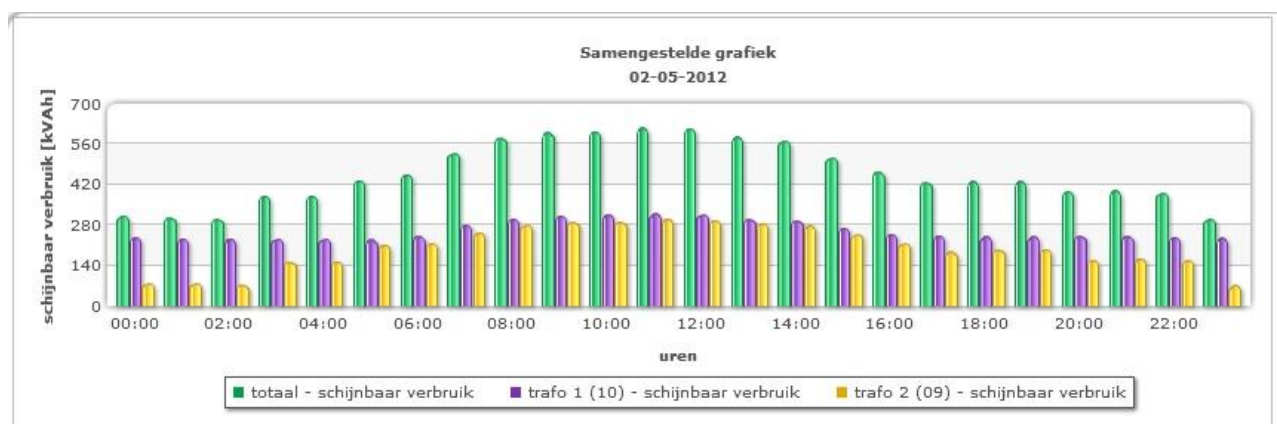
Uit de vergelijking is gebleken dat de gemeten data van de twee toegepaste meetmethoden nagenoeg overeenkomen.

In figuur 21a is het totale schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 weergegeven voor de periode van maandag 30 april tot 6 mei 2012.



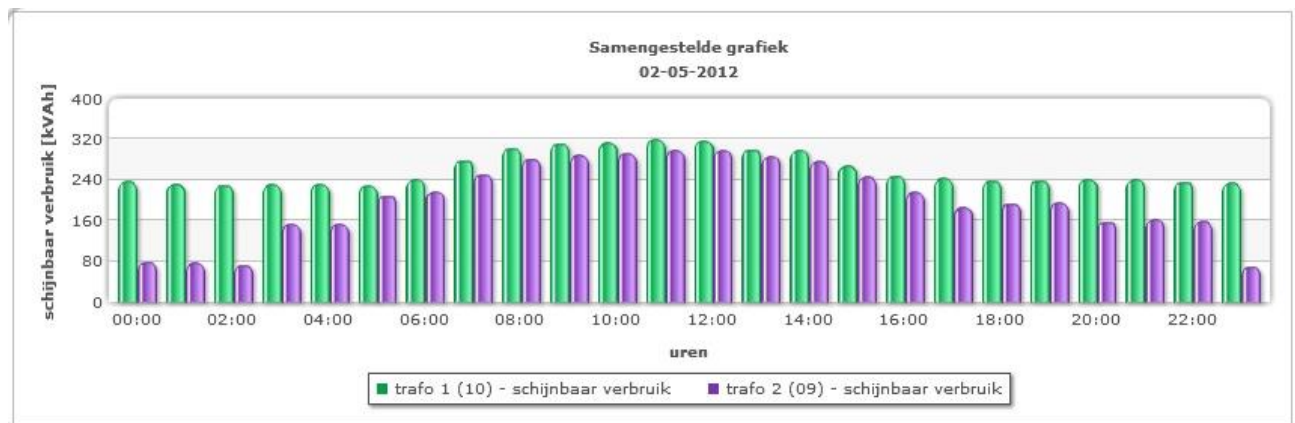
Figuur 21a: Het gedrag van het totaal schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2

Het groene meetsignaal geeft het totale schijnbaar energieverbruik van de elektrische installatie van Telesur C1weer. Uit de data (figuur 21a) gemeten over de periode van maandag 30 april tot zondag 6 mei 2012 bleek het totale energieverbruik op woensdag 2 mei 2012 het grootste te zijn. Het totaal schijnbaar vermogen (transformator 1 en transformator 2) bereikte tegen 11:00uur een waarde van $P_s = 616,7\text{kVA}$. Deze waarde is een optelling van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en transformator 2 (zie figuur 21b).

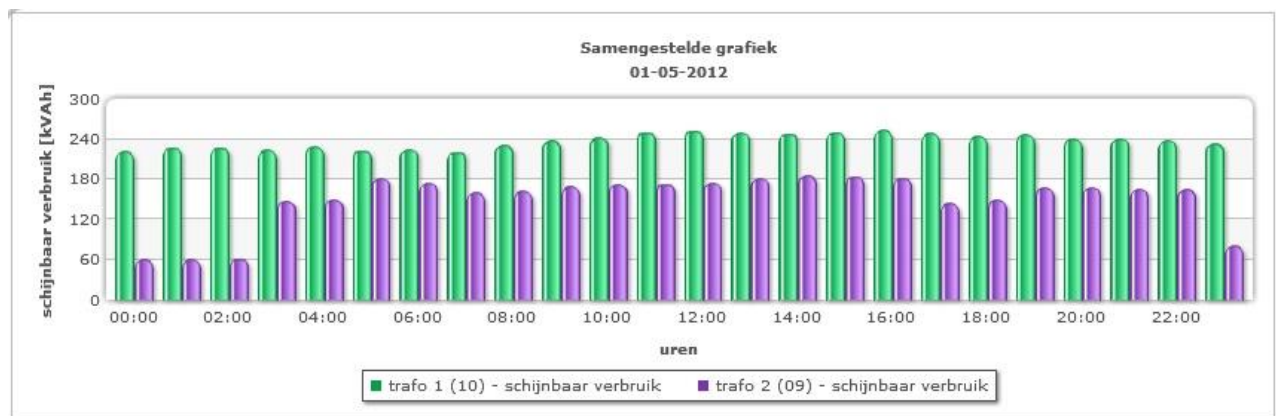


Figuur 21b: Het gedrag van het totaal schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2

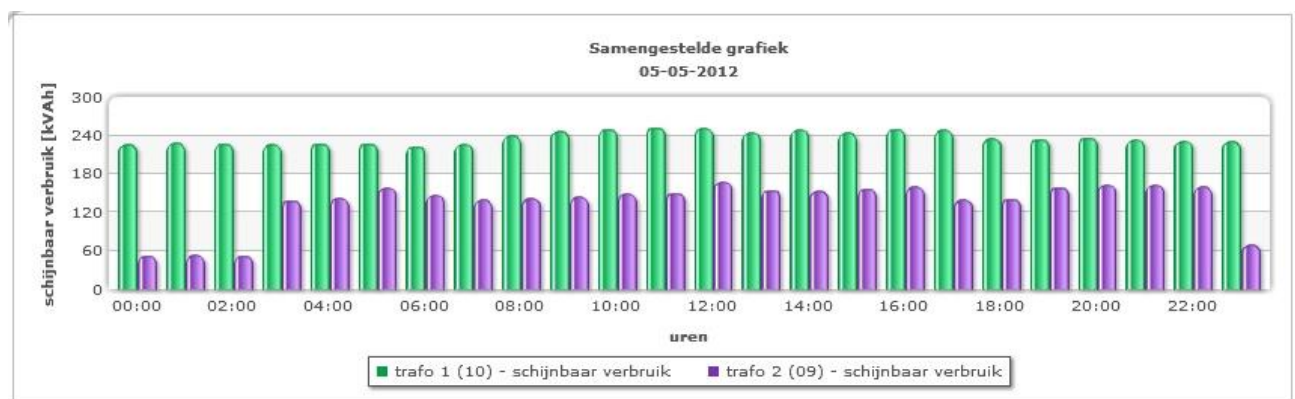
Het totaal schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 is opgeteld en wordt door de groene curve van figuur 21a en 21b weergegeven. Gelet op het verloop van het totaal schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en transformator 2 blijkt dat er piekuren en daluren zijn van het energieverbruik. Volgens de figuren 22a, 22b en 22c volgt een analyse van het verloop van het schijnbaar energieverbruik voor transformator 1 en voor transformator 2.



Figuur 22a: Analyse van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 van woensdag 2 mei 2012



Figuur 22b: Analyse van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 van dinsdag 1 mei 2012



Figuur 22c: Analyse van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 en 2 van zaterdag 5 mei 2012

3.3.2 Analyse energieverbruik transformator 2 (Hoofdverdeelkast HK-2)

Volgens tabel 5 (Overzicht van de locatie van de belastingaangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-2) in paragraaf 3.2 is hoofdverdeelkast HK-2 aangesloten op transformator 2. Op hoofdverdeelkast HK-2 is de volgende belasting aangesloten, t.w.: Hoogbouw en Laagbouw aan de Heiligenweg.

In tabel 10 is het verloop van het schijnbaar energieverbruik van transformator 2 (paarse kolom/ staafdiagram van de figuren 22a, 22b en 22c) geanalyseerd en beschreven. Hierbij is er een vergelijking gemaakt van een normale werkdag (figuur 22a), een nationale feestdag (figuur 22b) en een dag in het weekend (figuur 22c).

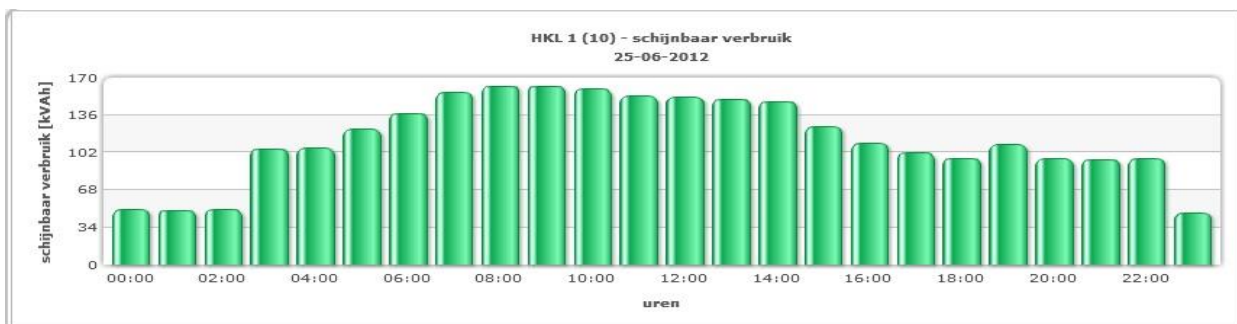
Tabel 10: Analyse schijnbaar energieverbruik transformator 2 (hoofdverdeelkastHK-2)

Tijdsduur	Toename/Afname energieverbruik	Verklaring
00:00-02:00uur Daluren	60kVA naar 138kVA	Tussen 00:00uur - 02:00uur varieert het verbruik tussen de waarden $\pm 60\text{kVA}$ en $\pm 80\text{kVA}$. Vanaf 02:00uur stijgt het verbruik naar $\pm 138\text{kVA}$.
02:00 -05:00uur Piekuren	138kVA naar 207kVA	Tussen 02:00uur -05:00uur varieert het verbruik nagenoeg tussen de waarden 138kVA en 207kVA
5:00 - 12:00 uur Piekuren	222kVA naar 308kVA	Het energieverbruik stijgt van 5:00 uur 's morgens tot 12:00uur 's middags met een bepaalde regelmaat.
12:00 - 16:00uur Daluren	308kVA naar 257kVA	Na 12:00uur neemt het verbruik af met een bepaalde regelmaat tot 16:00 uur 's middags.
16:00 -19:00uur Daluren	257kVA naar 195kVA	Gelijk na 16:00uur neemt het verbruik af van 257kVA naar 213kVA en daalt daarna tot een niveau van $\pm 195\text{kVA}$ tot 19:00uur.
19:00 -21:00uur Daluren	195kVA naar 145kVA	Gelijk na 19:00uur neemt het verbruik af van 195kVA naar 153kVA en daalt daarna tot een niveau van $\pm 145\text{kVA}$ tot 21:00uur
21:00 -02:00uur Daluren	145kVA naar 60kVA	Na 21:00uur neemt het verbruik af van 145kVA naar 60kVA en blijft nagenoeg op dat niveau tot 00:00uur

Uit de verklaring (tabel 10) van het verloop van het paarse meetsignaal(transformator 2 / hoofdverdeelkast HK-2) uit de figuren 21a, 21b en 21c blijkt dat het energieverbruik de vorm heeft van een zogenaamde 'berg' tussen 03:00uur 's morgens en 19:00uur 's avonds op een normale werkdag. De zogenaamde "berg" manifesteert zich alleen van maandag tot en met vrijdag wanneer het personeel aanwezig is. Uit figuur 21b en 21c blijkt dat het energieverbruikspatroon van transformator 2 (paarse curve) op een nationale feestdag en een dag in het weekend nagenoeg

hetzelfde is. Een eventuele energieonderbreking vanuit de N.V. E.B.S. (eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-2) zal een minimale impact hebben op de dienstverlening. De energieverbruiksgrafieken uit de figuren 22a, 22b en 22c geven een reëel beeld van het schijnbaar energieverbruik op dagbasis, maar verklaren echter niet of het energieverbruik efficiënt en effectief plaatsvindt. Om doelmatig en effectief energieverbruik na te gaan zijn de eindgroepen van de hoofdverdeelkast HK-2 met hun desbetreffende subgroepen geanalyseerd.

Op de belaste groepen (1 en 4) van hoofdverdeelkast HK-2 zijn de verdeelkasten HKL-1 en HKL-2 aangesloten. De figuren 23a en 24a geven het energieverbruikspatroon weer van de verdeelkasten HKL-1 en HKL-2.



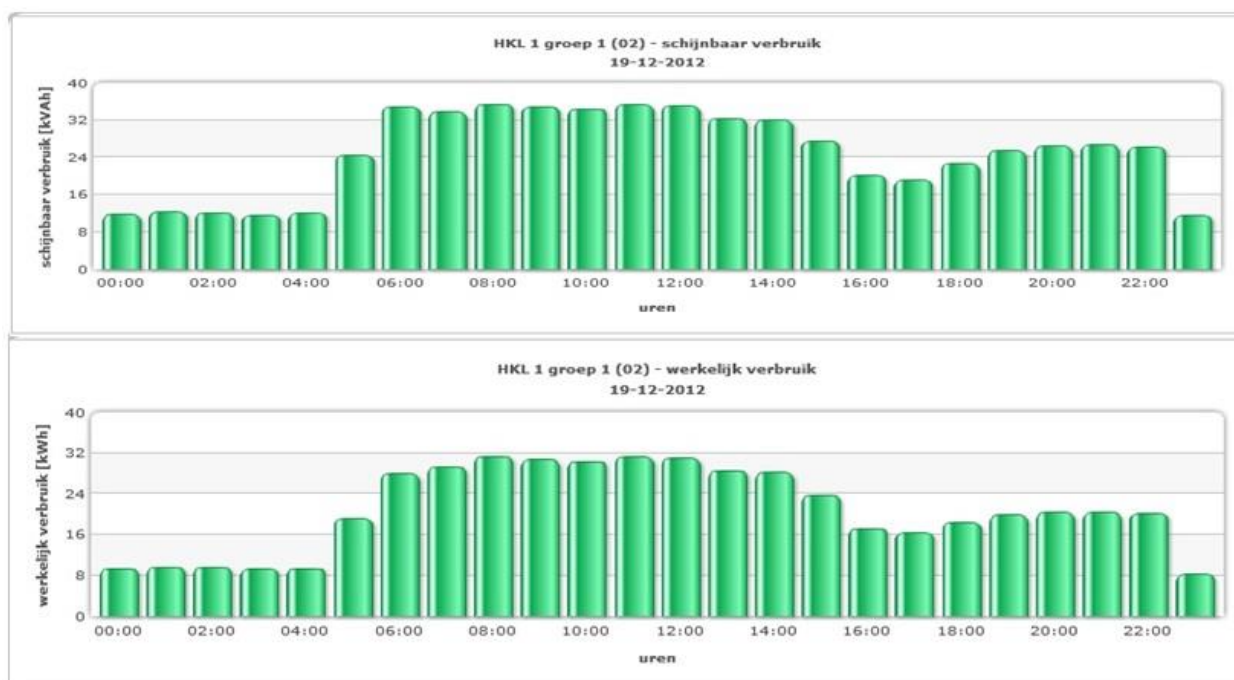
Figuur 23a: Schijnbaar energieverbruik kast HKL 1 van maandag 25 juni 2012

Verdeelkast HKL 1 bestaat uit acht eindgroepen. Hierop is de volgende belasting aangesloten:

1. **Verdeelkasten begane grond, 1^{ste} en 2^e verdieping Hoogbouw**
2. **Verdeelkasten begane grond Laagbouw**
3. Liftkasten Hoogbouw
4. Aircobesturingskast (centrale airco units Hoogbouw)
5. Verdeelkast LBO in kelder Hoogbouw
6. Verdeelkast LC in kelder Hoogbouw
7. **Condensing unit van centrale airco ten behoeve van Hoogbouw**
8. Verdeelkast voor archief in kelder Hoogbouw

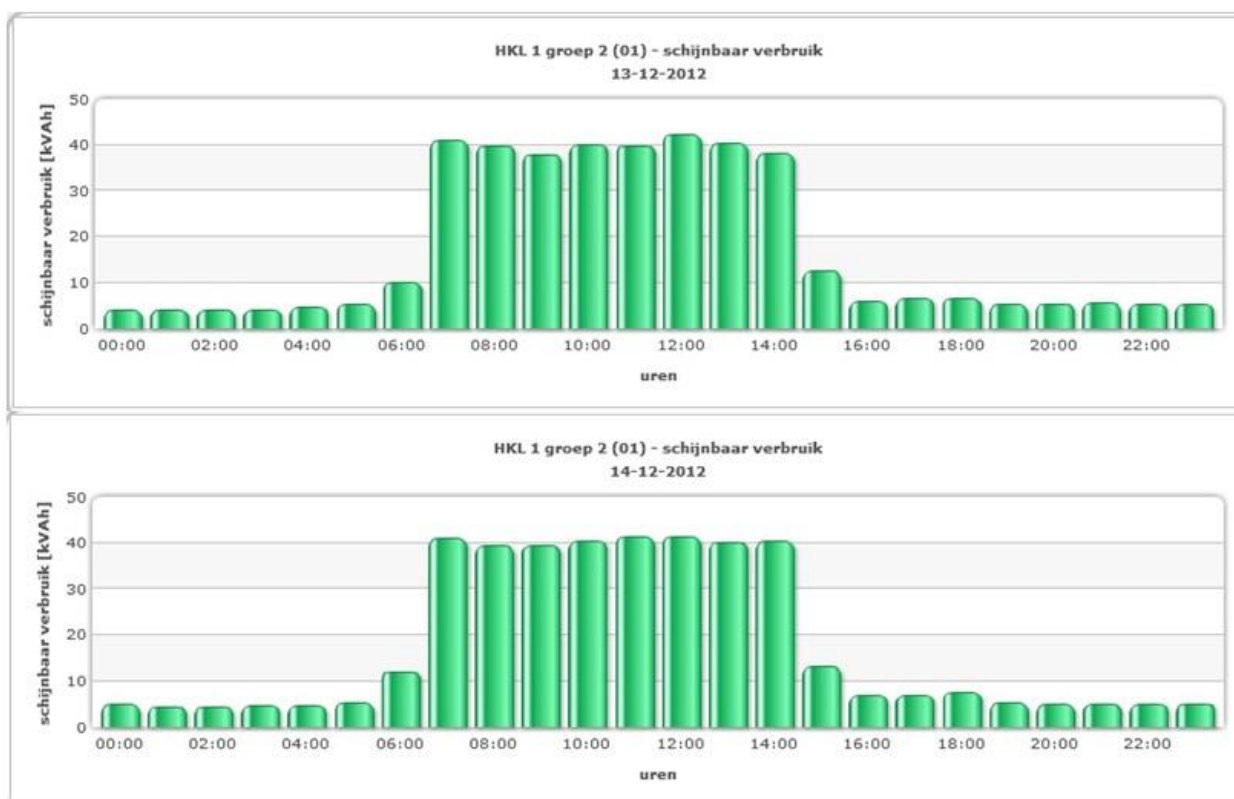
Er zijn energiemetingen verricht op de eindgroepen van verdeelkast HKL 1. Daaruit bleek dat op dagbasis het energieverbruikspatroon (figuur 22a) voor 80% door drie (1, 2 en 7) van de acht groepen wordt gevormd.

De meetresultaten zijn in de figuren 23b, 23c en 23d weergegeven.



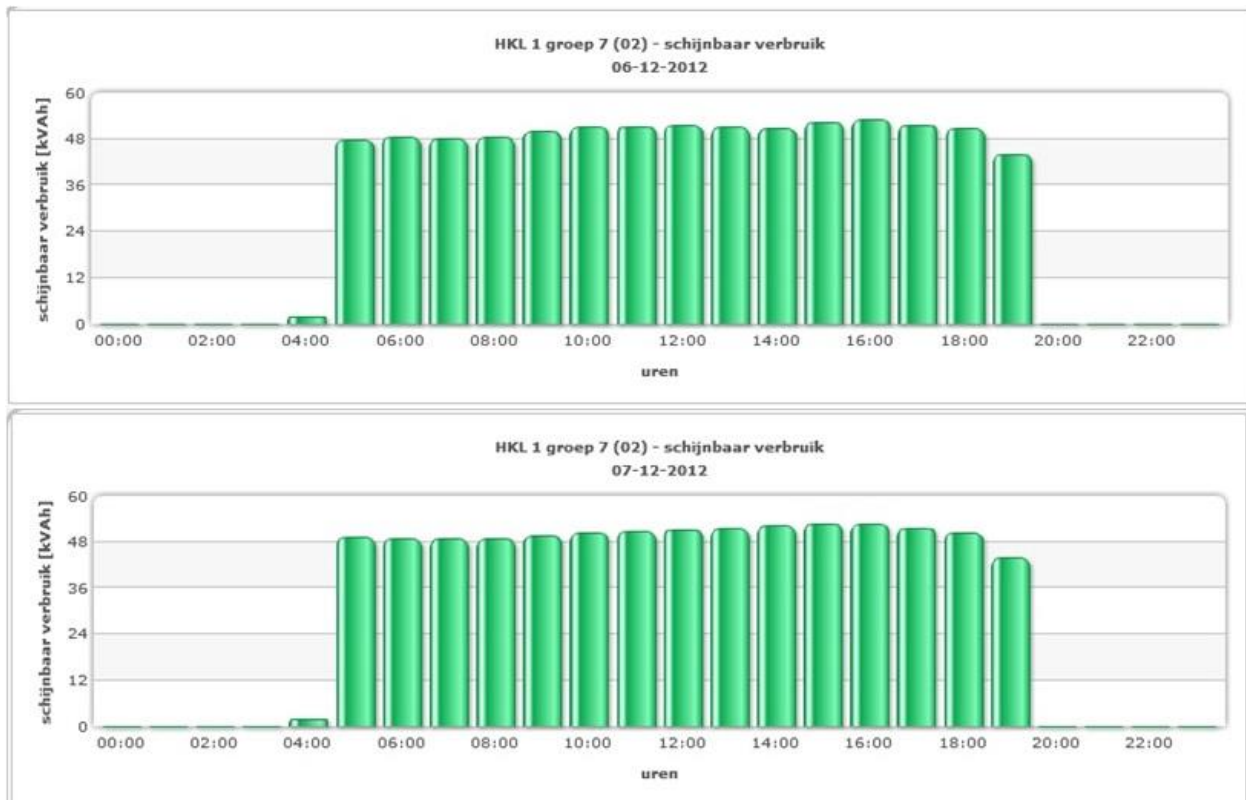
Figuur 23b: Schijnbaar en werkelijk energieverbruik vanverdeelkast HKL-1 groep 1

De belasting van verdeelkast HKL-1 groep 1 bestaat uit verlichting, stopcontacten en raam / split unit airco's (evenals de fancoil unit van de centrale airco-2 Hoogbouw) van de begane grond, 1^{ste} en 2^e verdieping van Hoogbouw Heiligenweg.



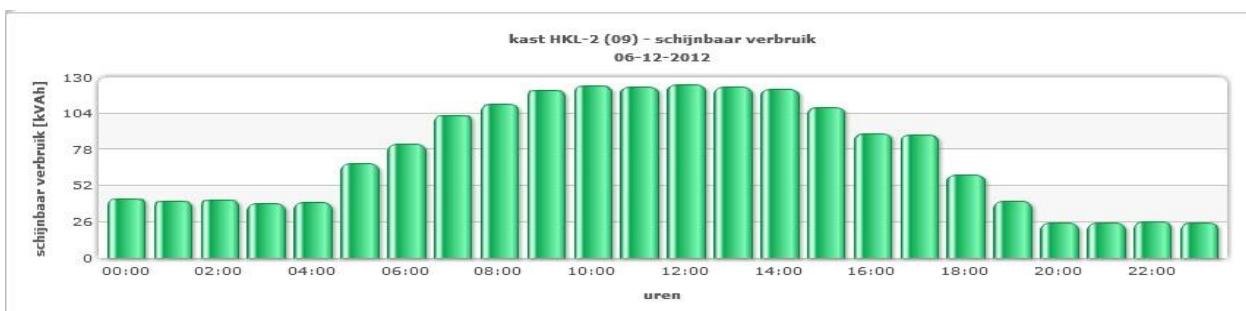
Figuur 23c: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL-1 groep 2 (begane grond Laagbouw)

De belasting van verdeelkast HKL-1 groep 2 bestaat uit de verlichting, stopcontacten en airco units van de begane grond Laagbouw Heiligenweg.



Figuur 23d: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL-1 groep 7 (centrale airco-1 Hoogbouw)

De belasting van verdeelkast HKL-1 groep 7 bestaat uit een airco condensing unit ten behoeve van de begane grond, 1^{ste} en 2^e etage van Hoogbouw Heiligenweg.



Figuur 24a: Schijnbaar energieverbruik kast HKL-2 van donderdag 6 december 2012

Verdeelkast HKL 2 bestaat uit zeven eindgroepen. Hierop is de volgende belasting aangesloten:

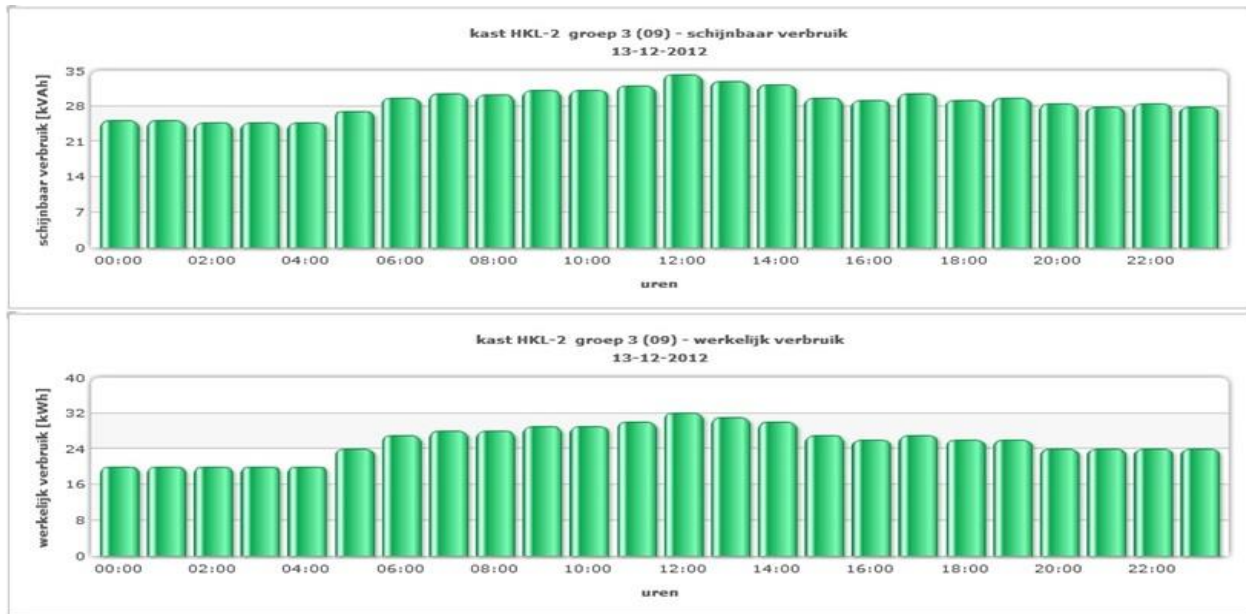
1. Verdeelkast ten behoeve van split unit airco Hoogbouw (begane grond)
2. Verdeelkast behoeve van verlichting en apparatuur (bij evenementen)
3. **Verdeelkasten 3^e en 4^e verdieping Hoogbouw**
4. Reserve

5. Reserve

6. Condensing unit van centrale airco ten behoeve van Hoogbouw

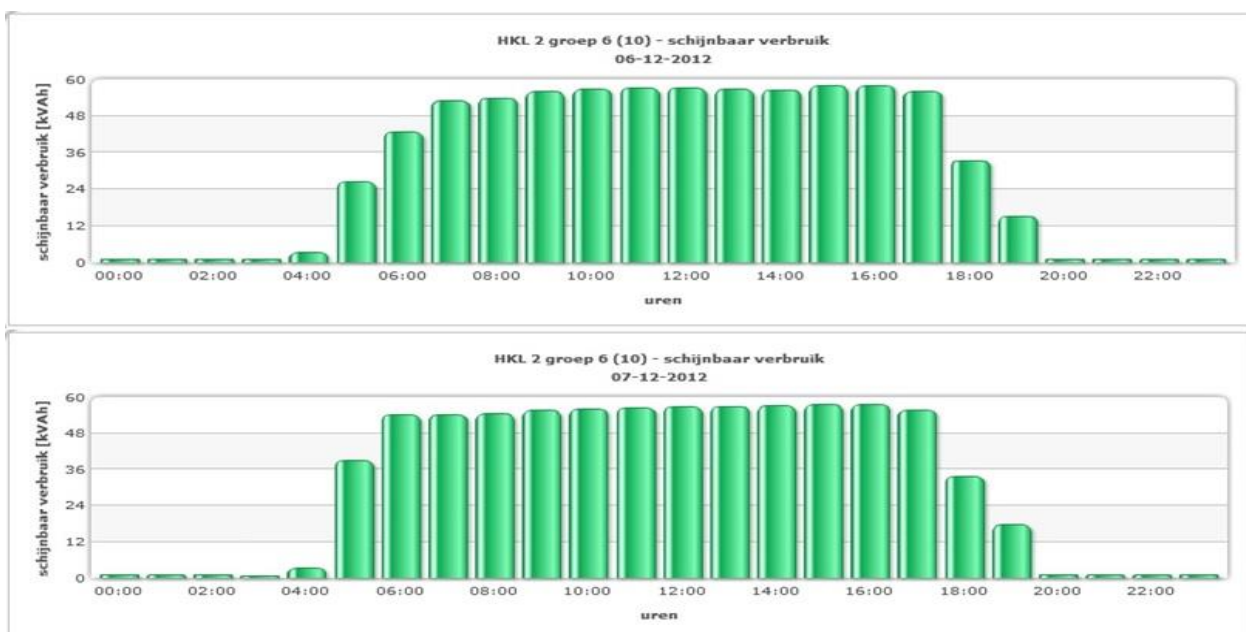
7. Verdeelkast verdieping Laagbouw

Er zijn energiemetingen verricht op de eindgroepen van verdeelkast HKL 2. Daaruit bleek dat op dagbasis het energieverbruikspatroon (figuur 24a) voor 80% door drie (3, 6 en 7) van de zeven groepen wordt gevormd. De meetresultaten zijn in de figuren 24b, 24c en 24d weergegeven.



Figuur 24b: Schijnbaar en werkelijk energieverbruik van verdeelkast HKL 2 groep 3 (3^e en 4^e verdieping)

De belasting van verdeelkast HKL 2 groep 3 bestaat uit de verlichting, stopcontacten en raam / split unit airco's (evenals de fancoil unit van de centrale airco-2 Hoogbouw) van de 3^e en 4^e etage van Hoogbouw Heiligenweg.



Figuur 24c: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL 2 groep 6 (centrale airco-2 Hoogbouw)

De belasting van verdeelkast HKL 2 groep 6 bestaat uit één condensensing unit ten behoeve van de begane grond, 3^e en 4^e etage van Hoogbouw Heiligenweg.



Figuur 24d: Schijnbaar energieverbruik van verdeelkast HKL 2 groep 7 (verdieping Laagbouw)

De belasting van verdeelkast HKL 2 groep 7 bestaat uit de verlichting, stopcontacten en airco units van de verdieping Laagbouw Heiligenweg.

Het ontstaan van de zogenaamde “paarse berg” uit de verbruiksgrafiek van figuur 21a is te verklaren met de volgende punten:

1. Tegen 03:00 uur gaan vijf stuks fancoil units aan van de centrale airco's van 240.000 btu/u (ten behoeve van begane grond, 1^{ste}, 2^e, 3^e en 4^e etage Hoogbouw) middels een tijd-klok. Tegen 23:00 uur 's avonds worden deze units wederom middels een tijd klok uitgeschakeld.
2. Tegen 05:00 uur gaan de twee stuks condensensing units ten behoeve van Hoogbouw aan en worden tegen 19:00 uur weer uitgeschakeld (figuren 22d en 23c).
3. De twee (2) stuks centrale airco's van 120.000 btu/u van Laagbouw worden aangezet tegen 06:30 uur (door personeel) en worden tegen 17:00 uur automatisch uitgeschakeld middels thermostaatinstellingen (tenzij tegen 15:00uur deze airco's niet door het personeel zijn uitgeschakeld).
4. Verder worden twee stuks packet units van elk 60.000 btu/u tegen 7:00 uur aangezet (door het personeel), alsook een stuk split unit van 60.000 btu/u. Tegen 19:00 uur 's

avonds worden deze drie airco, alsook een deel van de verlichting en apparatuur units uitgezet (door het personeel van begane grond Laagbouw).

5. Van de overige airco's (zie bijlage 3) wordt een deel tegen 7:00 uur aangeschakeld (door het personeel) en tegen 15:00 uur uitgeschakeld. De rest dient als back up koeling, in geval van eventuele onderbreking van de energievoorziening vanuit de N.V. E.B.S of een storing/onderbreking aan de centrale airconditioning.

Na 15:00 uur worden de lichten en de airco's uitgemaakt (personeel gaat naar huis, betekent: verlichting wordt uitgedaan en ook de split- en raam unit airco's). Het energieverbruik neemt met een bepaalde regelmaat af. Dit komt door het afschakelen van de airco's door personeel, alsook middels tijdklokken. De tijdklokken worden afhankelijk van het jaargetij ingesteld om eerder of later in/uit te schakelen.

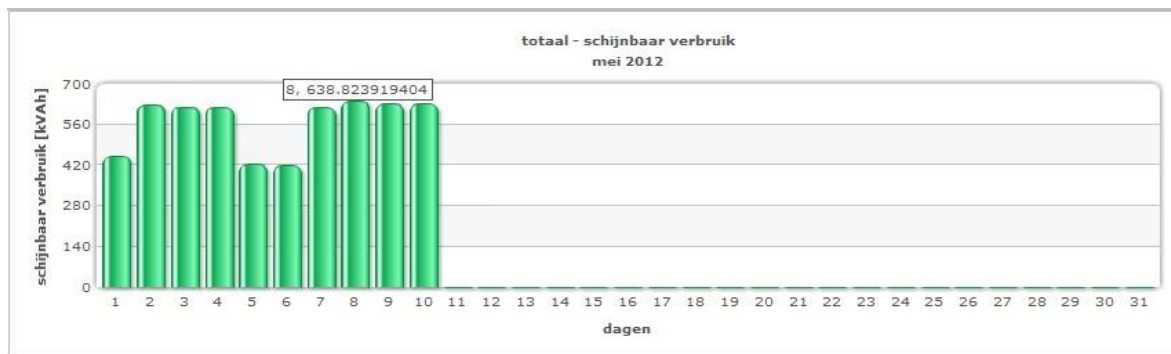
6. De belasting (verlichting van de begane grond, 1^{ste} en 2^e etage) aangesloten op groep 1 (verdeelkast HKL-1) en de belasting (3^e en 4^e etage) aangesloten op groep 3 (verdeelkast HKL-2) verbruikt de meeste elektrische energie uit deze verdeelkasten (zie figuren 23b en 24b). De verlichting van de 4^e etage blijft 1 x 24 uur aan (zie figuur 24b).

Er is een vast energieverbruikspatroon voor zowel verlichting, apparatuur alsook voor airconditioning van de gebouwen. Het energieverbruik van de verlichting en airconditioning vindt niet effectief genoeg plaats. Gelet op bovengenoemde punten (vooral punt 6) blijkt dat de mogelijkheid om energieverbruik te besparen wel aanwezig is voor transformator 2. Deze zes punten uitgedrukt in figuur 27 geven als uitkomst dat de effectiviteit redelijk tot goed te noemen is, maar de efficiëntie van het energieverbruik laag is.

Om te geraken tot besparing van de elektrische energie moeten de volgende vragen beantwoord worden:

1. *Wat is de hoogste piek in de maand? (daarmee wordt de kVA toeslag van Telesur per maand in rekening gebracht door de N.V E.B.S.)*

De hoogste kVA aanwijzing (voor totaal energieverbruik) bij hoogtarief is volgens elektriciteitsnota's van de NV. E.B.S (januari tot oktober 2012) gemiddeld 670 kVA. De hoogste kVA aanwijzing bij laagtarief is gemiddeld 650 kVA. De hoogste kVA aanwijzing (per 10 minuut gemiddeld) over de periode 1 t/m 10 mei 2012 had op 8 mei 2012 een waarde van 630kVA. Figuur 25 geeft de kVA pieken weer van het totaal kVAh energieverbruik van Telesur C1 op dagbasis.



Figuur 25: kVA pieken op dagbasis voor totaal energie verbruik over de periode 1 t/m 10 mei 2012

2. Hoe vaak komt deze piek voor per maand? Biedt peak shaving een oplossing?

Hoe vaker de piek voorkomt, hoe kleiner de mogelijkheid om middels peak shaving te besparen, want er ontstaat dan een zogenaamde horizontale lijn.

Uit de analyse van de grafieken (figuren 21b en 22a) is er nagenoeg geen sprake van een piek dagbasis. Een demand management system (DMS systeem) zou gelet op de aanwezigheid van de energiepieken, geen voordelige optie zijn. De zogenaamde piek verschijnt drie tot vier opeenvolgende uren op dagbasis. Door toepassing van een DSM- systeem zou bijvoorbeeld de koeling te lang uitgeschakeld moeten worden om een noemenswaardige besparing te bereiken.

3. Hoe wordt de piek veroorzaakt en wat kan er daaraan gedaan worden?

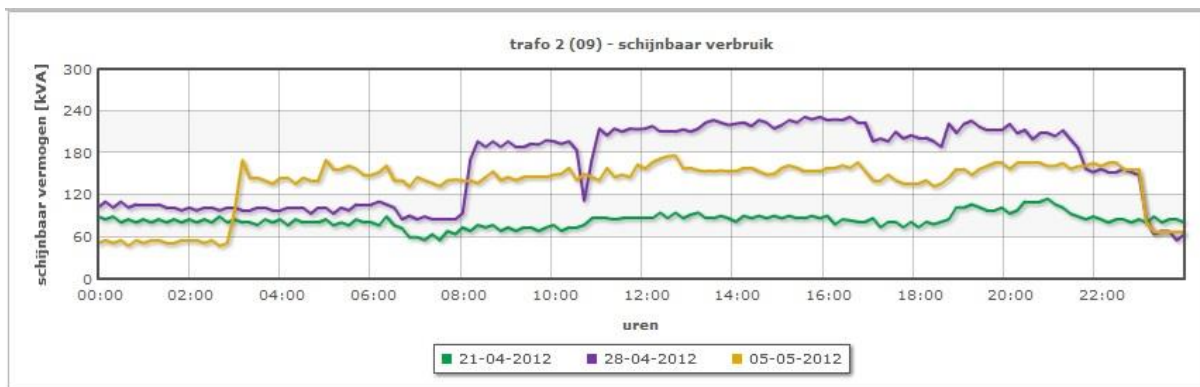
Het temperatuurniveau van alle airco's in Hoogbouw en laagbouw is ingesteld op 21°C. Met betrekking tot het energieverbruik van de airco's kan worden geconcludeerd dat ongeacht of de buitentemperatuur stijgt of daalt, de koeltemperatuur in de ruimten hetzelfde moet blijven. Hierdoor kan voorkomen worden dat bij stijging van de buitentemperatuur de airco compressor afslaat. Echter, is het geen effectief energieverbruik. Dit, omdat het energieverbruik van de airco enorm toeneemt, maar de daarbij geleverde koeling nagenoeg geen bevordering van het comfort biedt, doordat de geleverde koeling voor een deel wederom naar buiten gaat door transmissieverliezen (door muren, daken en ramen) en infiltratie (door kieren en door ventilatie/ afzuig). De airco kan dan liever een of twee graden hoger ingesteld worden (gunstigere setpoint kiezen), waardoor de verandering in comfort nauwelijks gemerkt wordt, maar wel in energieverbruik (besparing).

Uit de drie boven gestelde en beantwoorde vragen zijn er tenminste drie typen energiebesparingsvoorstellen voortgekomen. Deze zijn onderstaand toegelicht:

1^{ste} energiebesparingsvoorstel: nullastbeheersing (energiebesparing buiten bedrijfsuren)

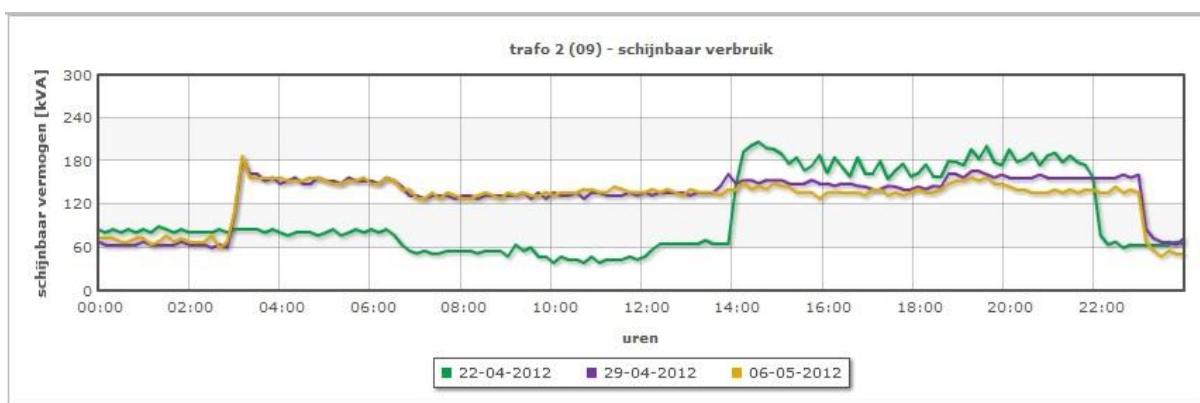
Des weekends ligt de bedrijfsvoering stil voor de belasting aangesloten op transformator 2. Er zijn benchmarkmetingen verricht voor het energieverbruik van transformator 2. Daarbij is het

energieverbruik van drie zaterdagen vergeleken; ook is het energieverbruik van drie zon-dagen vergeleken (figuur 26).



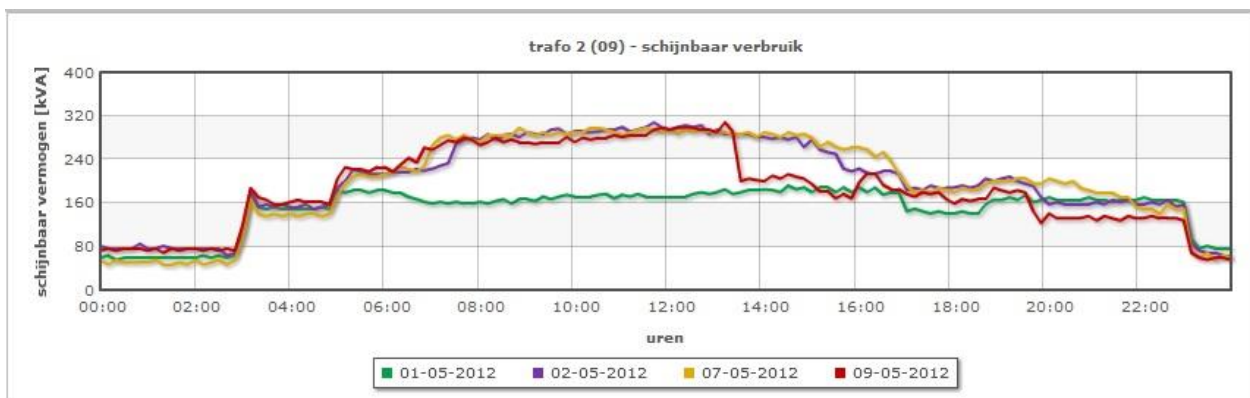
Figuur 26a: kVA benchmarkmetingen op de zaterdagen voor energieverbruik transformator 2

Op 5 mei was het energieverbruik ± 55 kVA, terwijl op 28 april dit ± 100 kVA was tussen 00:00 uur en 03:00 uur. Op 28 april tegen 16:00 uur was het energieverbruik ± 230 kVA, terwijl dit op 21 april maximaal ± 90 kVA bedroeg.



Figuur 26b: kVA benchmarkmetingen op de zondagen voor energieverbruik transformator 2

Des nachts was op 22 april (groene curve) het energieverbruik (van 00:00 uur tot 03:00 uur) ± 25 kVA hoger dan op de zondagen van 29 april en 6 mei 2012. Verder ging er tegen 14:00 uur belasting aan en was ongeveer 60 kVA hoger in energieverbruik dan in de weekenden van 29 april en 6 mei 2012. Waarom was de belasting op 22 april aan en op de overige twee zondagen niet?



Figuur 26c: kVA benchmarkmetingen reguliere werkdagen voor energie verbruik transformator 2

Des nachts was op 2 en 9 mei (paarse en rode curve) het energieverbruik (van 00:00 uur tot 03:00 uur) ± 80 kVA, terwijl op 1 en 7 mei (groene en gele curve) dit ± 60 kVA was. Verder gaan tegen 03:00 uur de vijf fancoil units van de centrale airco's aan en tillen ze de verbruiksgrafiek van 80kVA naar 160kVA (Hoogbouw). Tegen 23:00 uur worden de vijf fancoil units uitgeschakeld. Hierdoor daalt het energieverbruik van ± 160 kVA weer naar ± 80 kVA.

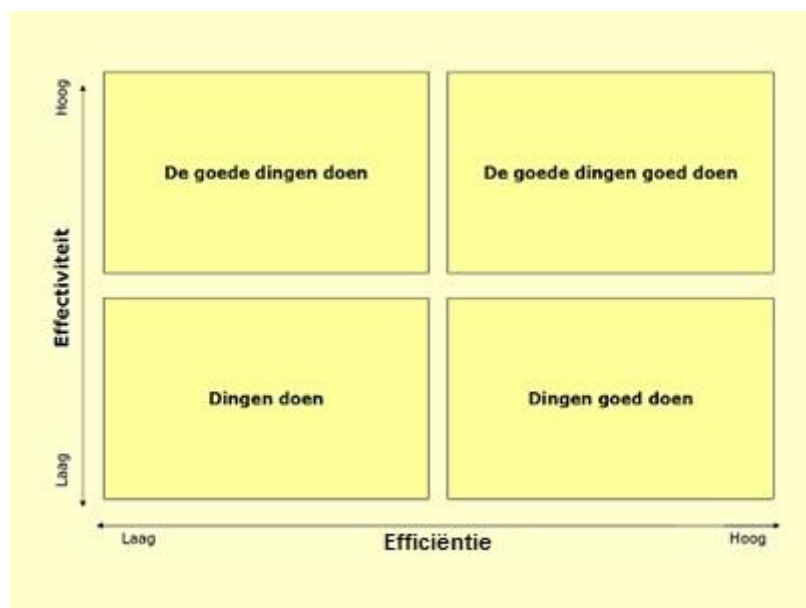
Gelet op de energieverbruiksgrafieken uit figuur 26a, b en c kan het volgende geconcludeerd worden:

- Er is buiten de reguliere werktijd (maandag t/m vrijdag) iedere keer een verschil in de basisbelasting.
- Vergelijken van het energieverbruik in het weekend van 21 en 22 april (groene curve) met de twee overige weekenden geeft aan dat in het weekend belasting in bedrijf is. Het kVA verbruikspatroon varieert tussen een maximale piek van ± 45 kVA tot ± 140 kVA.

Is het zo dat de verlichting aan blijft staan op bepaalde dagen na bedrijfstijd? Er dient gecontroleerd te worden of dat het geval is.

Waarom worden de airco fancoil units tegen 03:00 uur aangeschakeld? Er dient nader onderzocht te worden waarom de airco fancoil units niet later worden opgestart.

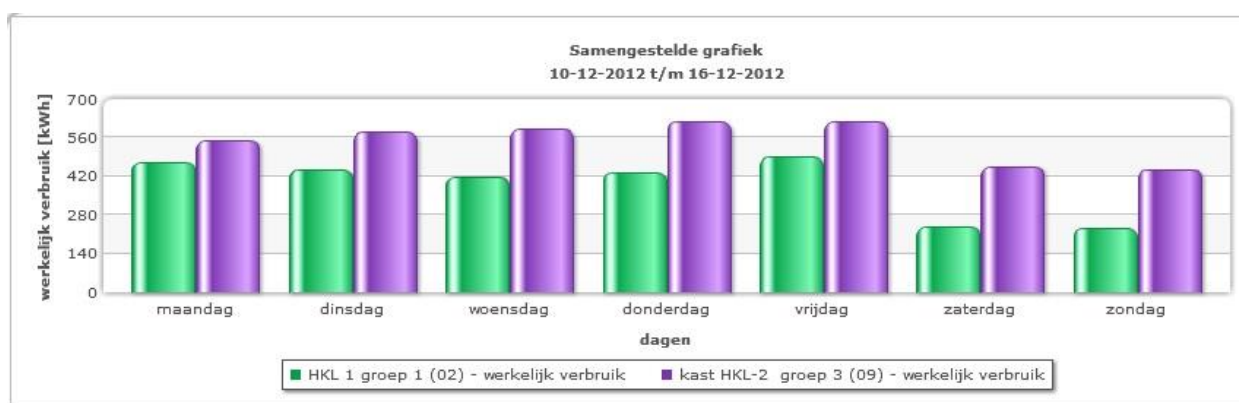
Kunnen de airco fancoil units in plaats van 23:00 uur eerder uitgeschakeld worden? Er dient nader onderzocht te worden waarom de airco fancoil units niet eerder worden uitgeschakeld ter besparing van elektrische energie.



Figuur 27: Efficiëntie vs effectiviteit

2^e Energiebesparingsvoorstel: energiezuiniger en kwalitatief beter verlichtingssysteem

Het zoeken naar mogelijkheden om de basisbelasting te verminderen zal ook oplossingen bieden. Uit interviews met medewerkers van het C1- complex (werkzaam in Hoogbouw) bleek dat er haast elke dag tl-buizen vervangen moeten worden door de elektrotechnici van de afdeling SV. Uit de meetresultaten voor kast HKL 1 en HKL 2 bleek dat de spanning (voor fasen L1, L2 en L3) minimaal 128V en maximaal 133,8V bedroeg (hetgeen binnen de tolerantie van de N.V. E.B.S ligt). Om efficiëntie en effectiviteit van het energieverbruik te bevorderen is er volgens de matrix in figuur 27 een voorstel gedaan voor een energiebesparingssysteem. Er is daarbij een berekening gemaakt voor een kwalitatief beter en energiezuiniger verlichtingssysteem. De berekening is gemaakt voor Hoogbouw Heiligenweg, omdat ongeveer 75% van het energieverbruik van HK-2 (transformator 2) door Hoogbouw wordt verbruikt. Verder ook gezien het feit dat de bestaande verlichting de gewenste verlichtingssterkte (voor kantoorruimten) nagenoeg niet levert. Door minder energieverbruik kan ook de airconditioning geoptimaliseerd worden. Het energieverbruik van de totale belasting aangesloten op transformator 2 varieert op normale werkdagen gemiddeld tussen 3714 tot 4057 kWh (zie figuur 52). Het energieverbruik van transformator 2 is opgedeeld in belasting aangesloten op verdeelkast HKL-1 en belasting aangesloten op verdeelkast HKL-2. Uitgaande van 3915 kWh energieverbruik op een normale werkdag, is gebleken dat HKL-1 een energieverbruik had van 2338,038 kWh of 59,72% en HKL-2 een energieverbruik van 1576,962 kWh of 40,28% van de totale belasting aangesloten op transformator 2. De verlichtingsgroepen van Hoogbouw zijn aangesloten op HKL-1 (groep 1) en HKL-2 (groep 3). Een indicatie van het energieverbruik op dagbasis voor groep 1 van verdeelkast HKL-1 en voor groep 3 van verdeelkast HKL-2 is in figuur 28 aangegeven.



Figuur 28: Werkelijk energieverbruik van verdeelkasten HKL 1 en HKL 2 per dag gedurende een week

HKL-1 (groep 1) heeft dagelijks een gemiddeld energieverbruik van 534,789 kWh of 13,66% van de totale belasting van transformator 2. HKL-2 (groep 3) heeft dagelijks een gemiddeld energieverbruik van 658,8945 kWh of 16,83% van de totale belasting van transformator 2. De

verlichtingsgroepen van Hoogbouw verbruiken dagelijks samen gemiddeld 30,49% van de totale belasting van transformator 2 op een normale werkdag (figuren 23b en 24b). Hieruit is ongeveer 17,51% zuiver verlichting en 12,98 % overige belasting. In tabel 11 is een overzicht gegeven van het energieverbruik dat op normale werkdagen geconsumeerd wordt door de belasting van Hoogbouw.

Tabel 11: kWh energieverbruik van de belasting van Hoogbouw aangesloten op HKL-1 en HKL-2

		Energieverbruik op dagbasis		In % van totaal	
Verdeelkast/ groep	Ten behoeve van Hoogbouw	Totaal gemiddeld (kWh)	Verlichting (kWh)	Verlichting (%)	Overige belasting (%)
HKL-1 groep 1	Begane grond, 1 ^{ste} en 2 ^e etage	534,789	320	(±8,74%)	(±4,92%)
HKL-2 groep 3	3 ^e en 4 ^e etage	658,8945	321	(±8,77%)	(±8,06%)
HKL-1 groep 7	Airco	651,456			(±16,64%)
HKL-2 groep 6	Airco	637,362			(±16,28%)
Overige groepen van HKL-1 en HKL-2		453,7485		(±11,59)	
	Totaal	2936,25		75%	

De belasting aangesloten op zowel de begane grond als de verdieping van Laagbouw verbruikt ongeveer 25% van de totale energie van transformator 2 (figuren 23c en 24d). Tabel 12 is een overzicht van de verlichting en het energieverbruik van Hoogbouw Heiligenweg op dagbasis als ook op jaarbasis. De verlichting van Hoogbouw bestaat voor 95% uit tl-lichtbakken van 4 x 20W. Gelet op het minimale/maximale energieverbruik van de belasting aangesloten op transformator 2 (figuur 52) kan voor het energieverbruik van de verlichting van Hoogbouw geconcludeerd worden, dat het energieverbruik van de verlichting van Hoogbouw maximaal ongeveer 20% van de totale belasting kan bedragen (gelet op percentage verlichtings- en energieverbruik voor Hoogbouw uit tabel 11). Het energieverbruik van de verlichting van Hoogbouw is op dagbasis gemiddeld 641 kWh.

Tabel 12: Huidige verlichting voor begane grond, 1^{ste} en 2^e etage(HKL -1) en 3^e en 4^e etage (HKL-2)

Huidige situatie							
Bouwlaag	Type	Aantal lampen	P _w (Watt inclusief VSA)	Bedrijfstijd (uur per lamp)		Energieverbruik (kWh)	
				Per dag	Per jaar	Per dag	Per jaar
Begane grond	TLD 20W	376	24	12	3,744 (6 dgn/wk)	108	33,786
1ste	TLD 20W	374	24	13	3,380 (5 dgn/wk)	117	30,339
2e	TLD 20W	330	24	12	3,120 (5 dgn/wk)	95	24,710

3e	TLD 20W	372	24	12	3,120 (5 dgn/wk)		107	27,855
4e	TLD 20W	372	24	24	8,736 (7 dgn/wk)		214	77,995
HKL 1 groep 1						320		
HKL 2 groep 2							321	
Totaal		1,824			22,100	641		194,686

De berekeningen in tabel 12 zijn gemaakt op basis van de werkelijke stroomsterkte van de huidige lichtbronnen. Per tl-buis is er gerekend met een vermogen van 24W in plaats van 20W. Dit, omdat tl-lampen gebruikmaken van VSA's (VoorSchakelApparaten) die zelf ook stroom verbruiken. Een 20W tl-lamp heeft per dag (uitgaande van 24 uur) een energieverbruik van 0,576 kWh. Tabel 13 geeft het voorstel weer ter vervanging van de huidige verlichting door energiezuinigere en kwalitatief betere verlichting.

Tabel 13: Voorstel energiezuinigere verlichting voor Hoogbouw (begane grond t/m 4^e etage)

Voorstel								
Bouwlaag	Type	Aantal lampen	P _w (W)	Bedrijfstijd (uur per lamp)		Energieverbruik (kWh)		
				Per dag	Per jaar	Per dag		Per jaar
Begane grond	LED Tube 8W	376	8	12	3,744	36		11,262
1ste	LED Tube 8W	374	8	13	3,380	39		10,113
2e	LED Tube 8W	330	8	12	3,120	32		8,237
3e	LED Tube 8W	372	8	12	3,120		32	9,285
4e	LED Tube 8W	372	8	24	8,736		72	25,998
HKL 1 groep 1						107		
HKL 2 groep 2							104	
Totaal		1824			22,100	211		64,895

Bij toepassing van LED- verlichting wordt geen gebruik (meer) gemaakt van VSA's. Uit tabel 13 blijkt dat het berekende energieverbruik op jaarbasis veel lager zal zijn dan het huidige energieverbruik op jaarbasis. (Zie tabel 12). Een 8 W LED Tube heeft per dag (uitgaande van 24 uur) een energieverbruik van 0,192 kWh. Dat is 0,384 kWh minder dan een 20W tl-lamp. In tabel 15 is de energiebesparing uitgedrukt in kWh alsook in geld. De prijs per kWh bestaat uit twee bedragen, een hoog tarief en laag tarief. Hoogtarief is van 11:00AM - 10:00PM en laagtarief van 10:00PM - 11:00AM. De bedragen zijn SRD 0.1583 voor hoogtarief en SRD 0.1382 voor laagtarief (zie figuur 28).

Groot Verbruik met een Hoogspanningsmeting (Tarief 39)		
	FAST RECHT p/mnd (in SRD)	p/kWh of kVA
	140,00	
HOOG TARIEF	(11:00AM – 10:00PM)	
Verbruik (in kWh)		0,1583
Vermogen (in kVA)		10,50
LAAG TARIEF	(10:00PM – 11:00AM)	
Verbruik (in kWh)		0,1382
Vermogen (in kVA)		3,64
Arbeidsfactor Toeslag per kWh	Indien Cos phi < 0.79	0.0383

Figuur 29: kWh verbruikskosten voor grootverbruikers met hoogspanningsmeting (Tarief 39)

Bij het maken van de berekening is er rekening gehouden met eventuele stijging van de kWh prijs met SRD0.020 binnen een tijdsbestek van elf jaren. Dit is de minimale levensduur van de LED tubes (zie tabel 15). Daarbij is er met een bedrag van SRD 0,1783 of \$0.548 / kWh berekend.

Tabel 14: De energiebesparing van voorstel uitgedrukt in kWh alsook in geld

Resultaat						
kWh per jaar				kWh besparing per jaar		
Bouwlaag	Huidig (TLD)	Voorstel (LED)	Besparing	In (%)	In geld	
					USD	SRD
Begane grond	33,786	11,262	22,524	67%	\$1,234	SRD4,012
1ste	30,339	10,113	20,226	67%	\$1,108	SRD 3,602
2e	24,710	8,237	16,474	67%	\$903	SRD 2,934
3e	27,855	9,285	18,570	67%	\$1,018	SRD 3,307
4e	77,995	25,998	51,997	67%	\$2,849	SRD 9,261
Totaal	194,686	64,895	129,790		\$7,113	SRD 23,116

De 1^{ste} besparing op energieverbruik alsook op energiekosten op jaarbasis bedraagt \$7,113 (zie tabel 14). De aanschaf van de LED-tl per stuk bedraagt \$31. Het aantal tl-lampen is 1824 stuks. De aanschafkosten voor deze lampen zullen \$56,544 bedragen. Door installatie van de LED-tl verlichting zal er 129,790 kWh minder elektrische energie verbruikt worden per jaar. Deze elektrische energie zou normaal omgezet in licht (dus warmte), ook gekoeld moeten worden door de airconditioning. Dit zal niet meer nodig zijn, dus is er ook een besparing van energieverbruik op de airconditioning. Deze kWh besparing is middels toepassing van de COP-waarde voor airconditioning uitgedrukt in geld.

De COP- waarde

Bij airco compressoren worden de prestaties van het apparaat ook wel uitgedrukt in een COP-waarde (Coëfficiënt Of Performance). De COP is een maat voor de hoeveelheid energie toegevoerd aan een systeem, vergeleken met de hoeveelheid vermogen geleverd door dat systeem. Dit is het maximale rendement, in de meest gunstige situatie van het apparaat. De formule voor de COP is: $COP = \frac{\text{Output vermogen}}{\text{Input vermogen}}$. (10)

Een airconditioningssysteem maakt gebruik van vermogen om warmte te verplaatsen van de ene plaats naar een andere plaats. Bij het koelen verplaatst de airconditioning warmte vanuit de te koelen ruimte (meestal eenkamer), meestal naar buiten. De maximale theoretische COP van een airconditioningssysteem uitgedrukt volgens de stelling van Carnot, wordt beperkt tot de volgende vergelijking: $COP_{maximum} = \frac{T_k}{T_h - T_k}$. (11)

Hierin is T_k de koude temperatuur en T_h de hete temperatuur. De COP is afhankelijk van de buitentemperatuur. Uit vergelijking 11 valt op dat als het verschil tussen de warme temperatuur en de koude temperatuur stijgt, de COP lager wordt, en omgekeerd. Dit betekent dat een airconditioningssysteem efficiënter is wanneer de kamertemperatuur dichterbij de buitentemperatuur is. Een airconditioningssysteem verbruikt meer energie wanneer er een groter verschil is in deze temperaturen. De COP-waarde geeft de verhouding aan tussen de uiteindelijk verkregen beschikbare koeling en de aandrijfenergie. Anders gezegd: de verhouding tussen de uiteindelijk verkregen koeling en wat erin wordt gestopt aan elektriciteit. Als voorbeeld: Een COP van 4 betekent 1 kilowattuur aan energie erin stoppen (bijvoorbeeld de koelmachine moet draaien) levert daarvoor 4 kilowattuur aan koeling (NEN EN-14511). Doorgaans heeft een traditionele koelinstallatie een COP-waarde van rond de 2,5. Gelet op de huidige levensduur van de airconditioning units van Hoogbouw is gekozen voor een COP-waarde van 2.

Dat wil zeggen 1 kilowattuur aan elektrisch vermogen levert daarvoor 2 kilowattuur aan koeling (1:2). De vraag is dan: indien er 129,790 kWh minder energie (warmte) nodig is hoeveel minder koeling is er nodig? Dus hoeveel elektriciteit heeft de koelmachine nodig om 129,790 kWh minder te koelen? Volgens de verhouding (1:2) is er dan 2x minder elektriciteit nodig om 1 kilowatt koeling te produceren, dus de helft van 129,790 kWh. De energiebesparing met betrekking tot het koelen per jaar wordt dan met terugrekening:

$$(\text{kWh besparing} \times \text{COP-waarde}) \Leftrightarrow 129,790 \text{ kWh} \times \frac{1}{2} = 64,895 \text{ kWh}$$

$$\text{De 2}^{\text{e}} \text{ besparing in geld uitgedrukt is: } 64,895 \times \frac{\text{prijs}}{\text{kWh}} = 64,895 \times 0.548 = \$ 3,556.$$

De 3^e besparing op energieverbruik alsook op energiekosten op jaarbasis (is in tabel 15 weergegeven) bedraagt: \$3698. De totale energiekostenbesparing is in tabel 15 weergegeven.

Tabel 15: De besparing op vervangingskosten

3 ^e besparing: op vervangingskosten door langere levensduur LED per jaar			Aantal	Eenheid
a	LED- lampen		1824	stuks
b	Prijs per TLD- lamp inclusief levering en installatiekosten		5,5	USD
c	Levensduur LED		50.000	uur
d	Levensduur TLD		12.000	uur
e	Vervanging van LED	$= \frac{c}{\text{gem.branduren per jaar}} = \frac{50000}{4420}$	11,31	jaren
f	Vervanging TLD in levensduur LED	$= \frac{e}{\frac{d}{\text{gem.branduren per jaar}}} = \frac{11,31}{\frac{12,000}{4420}}$	4,17	keren
g	Meer kosten TLD door vakere vervanging	$= a \times b \times f = 1824 \times 5,5 \times 4,17$	41.833	USD
Besparing per jaar zal zijn		$= \frac{g}{e} = \frac{41833}{11,31}$	3.698	USD
Totale energiekostenbesparing per jaar			USD	SRD
1	Toepassing LED tube		7,113	23.115,66
2	Besparing koeling door lager wattage LED en optimalisatie regeling koeling		3,556	11,557.83
3	Besparing op vervangingskosten door langere levensduur LED		3,698	12.018,5
Totale besparing per jaar			14.367	46.692,75
Totale eenmalige investering			USD	SRD
LED tubes		= aantal LED lampen×prijs per stuk	56,544	183,768.00
Installatiekosten		$= \frac{A}{B} \times C \times \frac{1}{3.25} = D$	224	729.60
Totale eenmalige investering			56,768	184,498

A: aantal LED- lampen

B: aantal aansluitingen per kroonstrip

C: SRD 2 per kroonstrip

D: kosten van totaal aantal kroonstrips in USD

Gelet op het aantal branduren van de LED-tl verlichting en de bedrijfstijd per jaar (zie tabel 15) is er berekend dat deze na elf jaren vervangen zal moeten worden. Behalve de totale energiekostenbesparing per jaar zal er ook een eenmalige investering gepleegd moeten worden voor het aanschaffen en installeren van de LED tubes. Het is belangrijk te weten of deze initiële kosten (eenmalige investering) voordelig /winstgevend zullen zijn voor het bedrijf. Daartoe is er een

ROI (Return On Investment) calculatie gemaakt om na te gaan binnen hoeveel tijd deze investering terugverdiend zal zijn (tabel 24).

$$\text{ROI (jaren)} = \frac{\text{Totale eenmalige investering}}{\text{Totale besparing per jaar}} = \frac{56,768}{14,367} = 3,9$$

Tabel 16: De Return On Investment- periode

Terugverdiëntijd	Besparingen (USD)	Investerings (USD)	ROI (USD)
Jaar 1	14,367.00	56,768.49231	42,401.49-
Jaar 2	28,734.00	0	28,034.49-
Jaar 3	43,101.00	0	13,667.49-
Jaar 4	57,468.00	0	699.51
Jaar 5	71,835.00	0	15,066.51
Jaar 6	86,202.00	0	29,433.51
Jaar 7	100,569.00	0	43,800.51
Jaar 8	114,936.00	0	58,167.51
Jaar 9	129,303.00	0	72,534.51
Jaar 10	143,670.00	0	86,901.51
Jaar 11	158,037.00	0	101,268.51

Besparing gedurende levensduur LED- lamp (na 11 jaren) bedraagt \$101.268,51. Naast de bovengenoemde voordelen is ook de kwaliteit van de LED-tl- verlichting ten opzichte van de huidige tl- verlichting onder de loep genomen. In tabel 17 zijn enkele enkele eigenschappen van de huidige tl-verlichting ten opzichte van LED-tl- verlichting aangegeven.

Tabel 17: Vergelijking van traditionele tl- verlichting ten opzichte van LED-tl- verlichting

Traditionele TL-verlichting	LED TL- verlichting
Branduren 12000	Branduren >50000
Voorschakelapparaat (ballast met lage Cos φ 0,8 – 0,46)	Geen ballast (Cos φ wordt aanzienlijk hoger)
Starter	Geen starter
72 Lumen/Watt	75-110 Lumen/Watt

Opslag van reserve tl- buizen, vanwege frequent doorbranden	Geen opslag van reserve LED tl- buizen door langere levensduur
Licht flakkert (stroboscopisch effect)	Licht is constant (moderne, innovatieve en duurzame uitstraling)
Lage aanschafwaarde per tl- buis	Hoge aanschafwaarde per LED tl- buis
Vaker vervangen van tl- buizen.	Toename van harmonische vervuiling, indien kwaliteit van driver (elektronica die wisselstroom omzet in gelijkstroom t.b.v de LED's) slecht is
Wel bestand om te werken onder hoge temperaturen	Niet geschikt voor hoge temperaturen (> 45 °C), anders gaat kwaliteit / rendement achteruit

Verlichtingssterktemeting

De verlichtingssterkte is de op een oppervlak invallende lichtstroom per oppervlakte-eenheid. De verlichtingssterkte op de afdelingen vanaf de begane grond tot en met de 4^e verdieping van Hoogbouw is gemeten. In figuur 30 is de verlichtingssterktemeter aangegeven (Nieaf-Smitt NI L204). De verlichtingssterkte wordt uitgedrukt in: lux of lm/m^2 . Voor kantoorruimten is de vereiste verlichtingssterkte 500 Lux (volgens de norm voor werkplek verlichting NEN-EN 12464-1:2011). Er is er op verschillende locaties op elke etage van Hoogbouw aan de Heiligenweg gemeten. Daarbij zijn er verschillende waarden gemeten. In bijlage 7 zijn de minimale en maximale gemeten lux-waarden per verdieping vastgelegd.



Figuur 30: Nieaf-Smitt NI L204 verlichtingssterkte meter

Temperatuuruitstralingsmeting

De temperatuur van de voedingskabels en smeltveiligheden is gemeten in het tijdsbestek waarbij de volledige belasting in bedrijf was. Daarnaast is ook de warmte gemeten die de verlichting uitstraalt. In figuur 31 is de temperatuurmeter aangegeven waarmee de metingen verricht zijn (Ray-

tek Raynger ST20 infrarood temperatuurmeter). De temperatuurmeting is geschied in de eenheidsgraad Celcius als (°C).



Figuur 31: Raytek Raynger ST20 infrarood temperatuurmeter

Temperatuuruitstralingsmeting verlichting

Elke lamp straalt behalve licht ook warmte uit. Om die te meten is er op elke verdieping een temperatuurmeting verricht. Er is op verschillende punten van elke etage gemeten. Daarbij zijn er verschillende waarden gemeten. In bijlage 7 zijn de gemiddelde gemeten temperatuurwaarden per verdieping vastgelegd.

Uit de gemeten verlichtingssterkte (bijlage 7) wordt geconcludeerd dat de verlichtingssterkte op de begane grond, de 1^{ste} en 4^e etage de normwaarde (500lx) niet bereikt. Daarnaast valt op dat de warmte- uitstraling afkomstig per lichtbak (4 x 20W) gemiddeld 48.2 °C bedraagt. Dit bevestigt eveneens de noodzaak voor energiezuinigere verlichting (en het voordeel van de 2^e besparing) aangegeven in tabel 16. Tegelijkertijd wordt tevens de kwaliteit van het licht sterk verbeterd.

Bekabelingstemperatuur

De temperatuur van de voedingskabels is gemeten. Deze waarden zijn vergeleken met temperaturen conform de norm (NEN 1010: 2007). De aansluitingen in de verdeelkasten, alsook de zekeringen en breakers zijn gemeten om na te gaan of er eventuele “hotjoints” aanwezig waren. In bijlage 7 zijn de gemeten waarden aangegeven van de verschillende hiervoor genoemde componenten voor de hoofdverdeelkasten HK-1, HK-2 en verdeelkast HNK-2 (waarbij de harmonischen buiten de toegestane limiet zijn, zie paragraaf 3.3.3). Daarbij is er een tabel opgenomen (tabel 52A NEN 1010: 2007) met de hoogst toelaatbare bedrijfstemperatuur van de isolatie. De bekabeling in de installatie van C1 behoort volgens tabel 52A (bijlage 7) tot het XLPE- type.

Hierbij is opgevallen dat de voedingskabels van de ATS naar verdeelkast HNK-2 een temperatuur hebben van gemiddeld 39 °C. De temperatuur mag maximaal 90°C bedragen (tenzij de kabels zijn aangelegd waarbij de kabeldoorsnede is gekozen rekeninghoudend met overbelastingsbeveiliging, hoofdstuk 2.4.2 , ad1). Daarnaast viel op dat groep 23 van verdeelkast LA-1 een temperatuur heeft van 102 °C (zie bijlage 7). De schroefzekering van groep 23 nader bekeken, wees uit dat deze niet conform de correcte methode is bevestigd.

Het 3^e energiebesparingsvoorstel heeft betrekking op de airconditioning en is als volgt: koelmachines met een hogere COP- waarde (efficiëntere koelmachines) aanschaffen en juiste set-point kiezen voor de airconditioning.

Doordat de koelinstallatie een van de grootste energieverbruikers is, is het belangrijk dat deze installatie bestaat uit koelmachines die efficiënt zijn en goed af te regelen zijn op de vraag naar koeling. Daarnaast is het belangrijk dat de gebouwen goed geïsoleerd zijn ter vermindering van infiltratie. Bij Hoogbouw is het opgevallen dat de kozijnen van bepaalde ramen aan vervanging

toe zijn. Er kunnen bijvoorbeeld (elektrische) lamellen geplaatst worden aan de buitenzijde van de gebouwen, die afhankelijk van de temperatuur open-/dichtgemaakt worden. Dit, ter vermindering van transmissieverliezen. Middels een (buiten)temperatuurmeter is het mogelijk om de koelgraad en de efficiëntie van de koeling te berekenen. Dus, indien de warmtelast op dagbasis constant is, dan is de enige parameter die enigszins variabel is, de buitentemperatuur. Indien die gemeten wordt kan de relatie gelegd worden tussen het dagelijks energieverbruik en de gemiddelde temperatuur per dag. Hierdoor wordt het mogelijk om na te gaan over een aantal maanden of een jaar, wat de efficiëntie van de koeling geweest is.

3.3.3 Analyse energieverbruik transformator 1 (Hoofdverdeelkast HK-1)

De energieverbruiksgrafieken uit figuur 21a en 21b geven een reëel beeld weer van het schijnbaar energieverbruik op dagbasis, maar verklaren nog niet of het energieverbruik efficiënt en effectief plaatsvindt. Om doelmatig en effectief energieverbruik na te gaan op transformator 1, zijn ook de eindgroepen van de hoofdverdeelkast HK-1 geanalyseerd

Volgens tabel 4 (*Overzicht van de locatie van de belasting aangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-1*) in paragraaf 3.2 is hoofdverdeelkast HK-1 aangesloten op transformator-1. Op hoofdverdeelkast HK-1 is de volgende belasting aangesloten: Hoogbouw en Laagbouw aan de Heiligenweg, gebouw aan de Knuffelsgracht en gebouw aan de Keizerstraat. In tabel 18 is het verloop van het schijnbaar energieverbruik van transformator 1 (groene kolom/ staafdiagram) geanalyseerd en beschreven. Hierbij is er een vergelijking gemaakt van een normale werkdag (figuur 22a), een nationale feestdag (figuur 22b) en een dag in het weekend (figuur 22c).

Tabel 18: Analyse schijnbaar energieverbruik transformator 1 (hoofdverdeelkast HK-1)

Tijdsduur	Toename/Afname energieverbruik	Verklaring
00:00-06:00uur	±240 kVA	Tussen 00:00uur - 06:00uur vertoont het energieverbruik nagenoeg een constant patroon rond de 240 kVA.
06:00 - 12:00 uur	240 kVA naar 321 kVA	Het energieverbruik stijgt na 06:00 uur

Piekuren		's morgens tot 12:00 uur 's middags met een bepaalde regelmaat.
12:00 - 15:00 uur Daluren	321 kVA naar 266 kVA	Na 12:00 uur neemt het energieverbruik af met een bepaalde regelmaat tot 15:00 uur 's middags.
15:00 - 00:00 uur Daluren	266 kVA naar 243 kVA	Na 15:00 uur 's middags daalt het energieverbruik naar ± 243 kVA en vertoont het energieverbruik tot en met 00:00 uur nagenoeg een constante waarde.

Gelet op het verloop van het groene meetsignaal (transformator 1) uit de figuren 22a, 22b en 22c blijkt dat het energieverbruik vanaf 6:00 uur 's morgens met een bepaalde regelmaat stijgt tot een piekverbruik tegen 12:00 uur in de middag en daarna regelmatig afneemt tot 15:00 uur. Het verbruik heeft het vertoon van een zogenaamde 'berg' tussen 06:00 uur 's morgens en 15:00 uur 's middags op een normale werkdag (figuur 22a). Het ontstaan van de "berg" en verder verloop van de karakteristiek is te verklaren met de volgende punten:

1. Het personeel komt aan op het werk vanaf 7:00 uur, daarbij worden verlichting, apparatuur en koeling aangezet.
2. Van 47 stuks geïnstalleerde airco's aangesloten op transformator 1 worden 31 stuks (zie bijlage 9), verlichting en andere belasting tegen 7:00 uur aangezet en tegen 15:00 uur uitgezet. Deze 31 stuks, de verlichting en de overige belasting vertegenwoordigen een vermogen van ± 80 kVA. Naarmate de zon zijn hoogste stand bereikt tegen 12:00 uur, neemt de koellast toe. Tussen 12:00 uur en 13:00 uur wordt de koellast het grootst in de verschillende ruimten. De airco compressoren slaan sneller af na 13:00 uur (afhankelijk van de weersomstandigheden) in vergelijking met voor 12:00 uur. Het duurt langer voordat ze weer aanslaan (omdat er vrijwel alleen warme lucht afkomstig van de mensen en de apparatuur afgevoerd moet worden uit de ruimten), wat zich mede vertaalt in een afname van het energieverbruik tot 15:00 uur.
3. De overige 16 stuks airco's blijven 1 x 24 uur aan (zie bijlage 9). Daarnaast is er ook andere belasting 1 x 24 uur aan, zoals servers en andere apparatuur. Het vermogensverbruik van de belasting die 1 x 24 uur in bedrijf is, is zichtbaar in de figuren 22b en 22c. Deze 16 stuks airco's, de servers en de overige apparatuur vertegenwoordigen een vermogen van ± 243 kVA.

Dit komt doordat ± 73 % van het equipment, aangesloten op transformator 1 gedurende 1x24 uur in bedrijf is, waardoor het energieverbruik voor 7:00 uur en na 15:00 uur (respectievelijk voordat het personeel aan het werk komt tegen 7:00 uur en nadat het personeel naar huis gaat tegen 15:00 uur) een nagenoeg constant verbruik weergeeft.

Tussen 7:00 uur en 15:00 uur ontstaat er dan een zogenaamde berg in het energieverbruik, omdat tegen die tijd het personeel aanwezig is. Dit vertegenwoordigt slechts 27% van het totale energieverbruik van transformator 1. Uit de analyse is gebleken dat voor hoofdverdeelkast HK-1 op de groepen 1, 2 en 6 een heel belangrijk deel van de belasting is aangesloten. Op deze groepen zit een groot deel van de belasting met betrekking tot de 1 x 24 uur garantie van een continue dienstverlening van het bedrijf aan zijn klanten. In paragraaf 3.4 worden de voornoemde groepen 1, 2 en 6 van hoofdverdeelkast HK-1 getoetst op doelmatig en effectief energieverbruik.

Nadat de energieverbruikspatronen van transformator 1 en transformator 2 zijn geanalyseerd, is in de tabellen 13 en 21 een reëel beeld verkregen van het schijnbaar energieverbruik van de totale elektrische installatie op dagbasis. Hieruit wordt geconcludeerd dat de twee transformatoren van elk 500kVA niet volledig belast zijn. Transformator 1 is voor $\pm 64\%$ belast en transformator 2 is voor $\pm 62\%$ belast. Van het totaal geïnstalleerde vermogen van 1000 kVA wordt $\pm 62\%$ belast.

3.4 Het noodaggregaat, de batterijen en de kritische belasting

Alvorens in te gaan op de kritische belasting en de noodzaak van de daarbij behorende noodvoedingsbronnen zal eerst aangegeven worden waaruit de datacenter en centrale van C1 globaal bestaan. In de datacenter is er bedrijfskritische ICT-apparatuur (bijvoorbeeld servers) ondergebracht. De telecommunicatiecentrale en de datacenter zijn uitgerust met diverse voorzieningen, waaronder klimaatbeheersing door middel van airconditioning, een automatisch brandblussysteem en back-up stroomvoorzieningen. De datacenter bevat ook verbindingen met het internet en is voorzien van fysieke veiligheidsmaatregelen. In verband met het bedrijfskritische karakter van de apparatuur op deze twee locaties, zijn bepaalde voorzieningen redundant uitgevoerd. Het noodaggregaat is een van de elektrische voorzieningen geplaatst om in te komen bij eventuele energieonderbreking vanuit de N.V. E.B.S. Op het noodaggregaat is een deel van de elektrische installatie aangesloten. Het deel van de elektrische installatie dat hierop is aangesloten, wordt ook wel de “kritische belasting/apparatuur” genoemd. Deze belasting wordt kritisch genoemd, omdat het de belasting is die onder andere bestaat uit apparaten die niet mogen uitvallen bij het onderbreken van de netspanning vanuit de N.V. Energiebedrijven Suriname. Dit omdat het bedrijf zijn klanten 1x24 uur moet kunnen voorzien van telecommunicatie. Deze apparaten zorgen voornamelijk ervoor dat de diensten welke het bedrijf aan zijn klanten biedt, gegarandeerd blijven.

De belasting bestaat namelijk uit equipment voor de volgende diensten, te weten:

- GSM
- DATA

- ADSL
- CDMA
- 3G

De back- opvoedingsbron bestaat uit een combinatie van een generatorinstallatie en batterijen.

De generator heeft een vermogen van 257kVA/205 kW met $\cos\phi = 0,8$ en is via een ATS (Automatic Transfer Switch) aangesloten op de elektrische installatie. De primaire energievoorziening van de elektrische installatie in de centrale is afkomstig van de netspanning. Deze is een wisselspanning en wordt middels gelijkrichters omgezet in een gelijkspanning.

Hierna is globaal uitgelegd welk systeem wordt toegepast om te voorkomen dat er een energieonderbreking plaatsvindt ten behoeve van de kritische belasting. Er zou gemakkelijk volstaan kunnen worden met alleen een back- opdieselgenerator, welke de energievoorziening voor de centrale opvangt bij uitvallen van de EBS- netspanning. Echter is het zo dat bij het opstarten van de generator een moment bestaat, waarbij er voor enkele seconden geen energievoorziening aanwezig is voor de belasting in de centrale. Op dat moment zou de energievoorziening van het equipment in de centrale compleet uitvallen.

Het niveau der kritische belasting

De belasting in de centrale en de datacenter bestaat uit **twee niveaus, namelijk:**

1. Belasting die geen stroomonderbreking tolereert, zoals personal computers waarop continu gemeten data worden opgeslagen. Apparatuur ten behoeve van het registreren en creëren van geconsumeerd 'voice'- en 'data'-verkeer.
2. Belasting die wel onderbrekingen tolereert, bijvoorbeeld: verlichting en airco's.

Hieruit blijkt dat het toepassen van een generator als enige back up niet volledig zou voldoen. Er is een back up nodig welke permanent aanwezig is en gelijk kan inkomen bij uitvallen van de netspanning. Dus de reden dat de centrale wordt voorzien van gelijkspanning is vanwege het voordeel dat men elektrische energie afkomstig van gelijkspanning en gelijkstroom kan opslaan (in batterijen), maar wisselspanning en wisselstroom niet. Batterijen worden dus toegepast als primaire back up. De batterijenbank in de centrale heeft een capaciteit van 10000AH en kan voor acht uren energie leveren. De batterijen slaan energie afkomstig van het elektriciteitsnet op via de gelijkrichters. De gelijkrichters zetten de 127/220V wisselspanning om in 48V gelijkspanning. De gelijkrichters zorgen voor energietoevoer aan het gelijkstroomequipment alsook aan de batterijen, zodat deze opladen. De belasting kan ook bestaan uit equipment dat op een ander spanningsniveau dan 48V werkt. Daarvoor worden er DC-DC converters toegepast.

De belasting van deze elektrische installatie bestaat ook uit equipment dat wisselstroom “consumeert”. De energievoorziening voor de wisselstroombelasting (geschiedt deels via generator back- up (met of zonder UPS als voedingsbron op het moment dat de generator opstart) en deels via omvormers. Er bestaan offline en online omvormers.

Offline omvormers worden toegepast, wanneer deze als back up functioneren om in te komen (en de opgeslagen energie in de batterijen om te vormen), indien de netspanning komt weg te vallen. Het nadeel van deze omvormers is dat er tussen het moment van overgang van stand-by status naar operationele status een korte spanningsdip plaatsvindt, wat juist voorkomen dient te worden.

In de centrale worden daarom online omvormers toegepast, omdat een online omvormer een omvormer is die wordt toegepast wanneer het netwerk in operationele toestand is (dus terwijl de energievoorziening van het energiebedrijf aanwezig is). Hierbij wordt de 48V gelijkspanning afkomstig van de batterijen omgevormd in 127V/220V wisselspanning ten behoeve van een deel van de netwerkcomponenten genoemd onder punt 1 van het type belasting.

Een online omvormerinstallatie heeft de mogelijkheid om een back up energiebron op aan te sluiten. Bijvoorbeeld een generator of energievoorziening van de N.V E.B.S kan als back- up-energiebron aangesloten worden. Bij het uitvallen van de netspanning wordt de energielevering in de centrale deels opgevangen door de batterijeninstallatie om te voorkomen dat het equipment in de centrale uitvalt. De generator wordt gebruikt als 2^e back up voor energietoevoer aan de belasting van niveau 2 van de centrale.

Kwaliteit van de datacenter

Er is een classificatiesysteem opgesteld, zodat op eenduidige wijze de kwaliteit van een datacenter kan worden beoordeeld. Hiervoor zijn vier ‘klassen’ opgezet van Tier 1 tot en met Tier 4, waarbij deze laatste de hoogste vorm van bescherming en het kleinste risico van uitval heeft. De standaard die gebruikt wordt om de indeling te bepalen heet TIA-942 (Telecommunication Industry Association).

Korte uitleg:

Tier I: Enkelvoudige verdeling van stroom en koeling, zonder redundante componenten; dit geeft 99.671 % beschikbaarheid.

Tier II: Enkelvoudige verdeling van stroom en koeling, met redundante componenten; dit geeft 99.741 % beschikbaarheid.

Tier III: Meervoudige verdeling van stroom en koeling, echter een enkele verdeling is actief,

heeft redundante componenten. Bij storing schakelt het systeem over naar het redundatiesysteem; dit geeft 99.982 % beschikbaarheid.

Tier IV: Meervoudige en actieve verdeling van stroom en koeling, heeft redundante componenten en is fout tolerant, geeft 99.995 % beschikbaarheid.

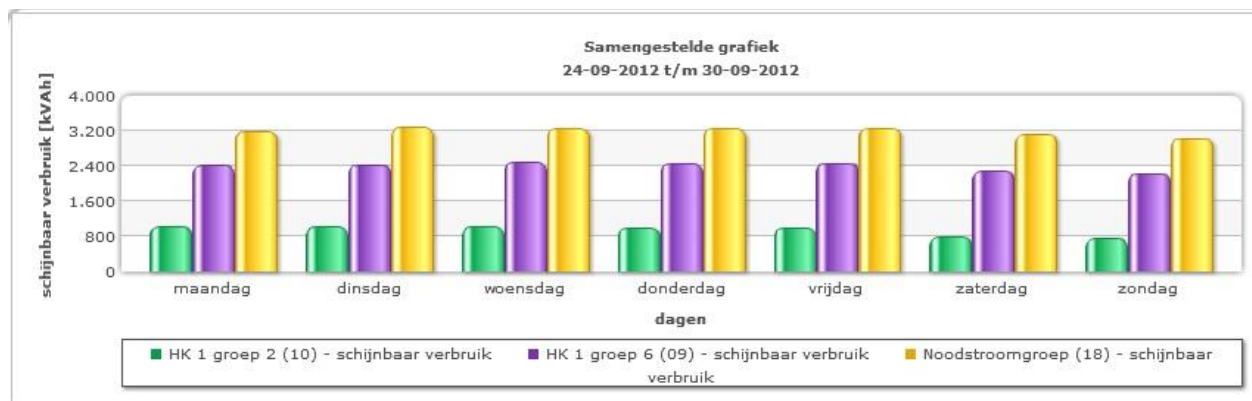
De datacenter van Telesurcomplex Heiligenweg kan worden gerekend tot de categorie Tier III.

Totaal energieverbruik kritische belasting

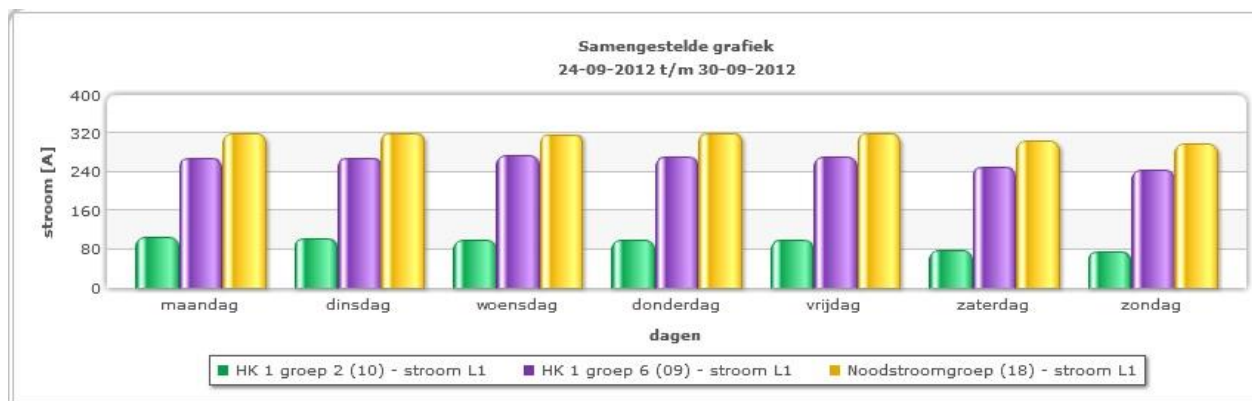
De groepen 1, 2 en 6 van hoofdverdeelkast HK-1 voorzien de kritische belasting van elektrische energie. Groep 2 en 6 zijn niet op de noodvoeding aangesloten, doch via hoofdverdeelkast HK-1 rechtstreeks op het openbaar verdeelnet van de N.V. E.B.S. Slechts groep 1 is op de noodvoeding aangesloten. De bestemmingen van deze groepen zijn als volgt;

- 1. Kelder t/m 4^e etage van Hoogbouw en verdieping van Laagbouw. Begane grond en verdieping van de gebouwen aan de Knuffelsgracht en Keizerstraat.**
- 2. Gebouw aan de Keizerstraat**
- 6. Gebouw aan de Knuffelsgracht**

In figuur 31 wordt het energieverbruik van de groepen 1, 2 en 6 grafisch weergegeven over de periode van één (1) week.



Figuur 32: Het schijnbaar energieverbruik van de kritische belasting gemeten gedurende één (1) week

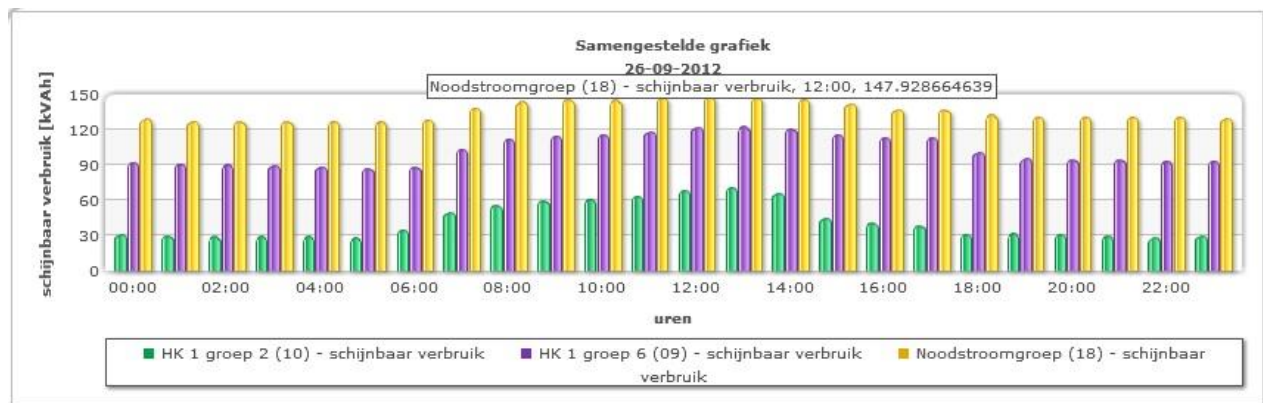


Figuur 33: De stroomsterkte van de kritische belasting gemeten gedurende één (1) week

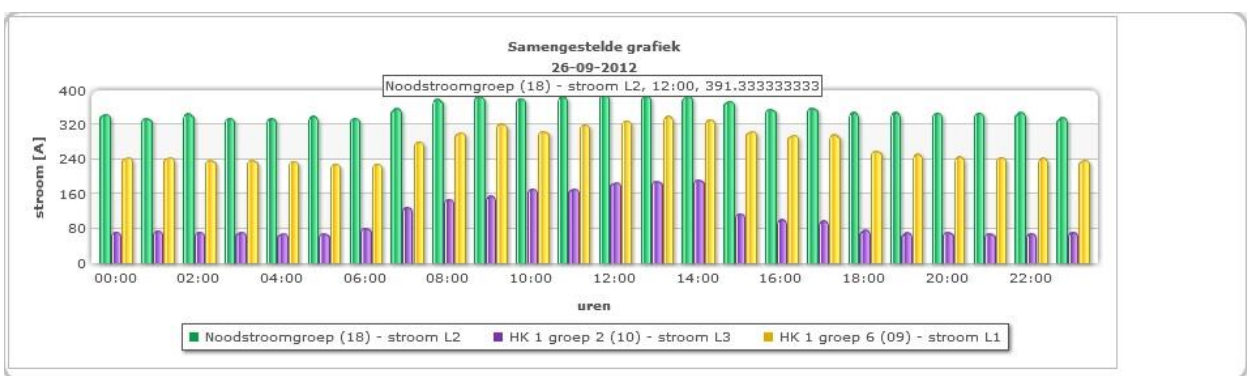
Gelet op het verloop van het schijnbaar energieverbruik en de stroomsterkte is op te merken dat er tijdens de normale werkdagen van maandag tot vrijdag alsook in het weekend nagenoeg een vast patroon van energieverbruik en stroomsterkte bestaat.

De kritische belasting aangesloten op groep 1 van hoofdverdeelkast HK-1 behoort tot niveau 1. Deze belasting heeft twee back up voedingsbronnen t.w.: generator en batterijen / UPS back up. De kritische belasting aangesloten op groep 2 en 6 van hoofdverdeelkast HK-1 behoort tot niveau 2. Deze belasting heeft geen back-up voedingsbron.

Deze eindgroepen moeten ervoor zorgen dat de energievoorziening van vooral de airconditioning (ten behoeve van apparatuur in de centrale en datacenter) gegarandeerd blijft ongeacht energieonderbreking vanuit de N.V. E.B.S. Ter vaststelling wat de werkelijke totale back-up capaciteit minimaal moet bedragen zijn de stroomsterkte en het energieverbruik op dagbasis geanalyseerd, zie figuur 33 en figuur 34.



Figuur 34: Het gedrag van het energieverbruik van de kritische belasting gemeten gedurende 1x 24uur



Figuur 35: Het gedrag van de stroomsterkte van de kritische belasting gemeten gedurende 1x 24uur

Uit de karakteristieken van het gemeten energieverbruik (figuur 33) en de gemeten stroomsterkte (figuur 34) kan het volgende worden geconcludeerd: de stroomsterkte en het energieverbruik ten behoeve van de kritische belasting is gelijk aan de stroomsterkte en het energieverbruik vanaf 18:00 uur 's avonds tot 06:00 uur 's morgens. Het totale energieverbruik van de kritische belas-

ting dat door de back-up generator voorzien zou moeten worden, is gelijk aan de optelling van het energieverbruik van de groepen 1, 2 en 6 van HK-1 (vanaf 18:00 uur 's avonds tot 06:00 uur 's morgens). Dit belastingsniveau (vermogen) is 1 x 24 uur in bedrijf. In het tijdsbestek van 06:00 uur t/m 18:00 uur zijn de medewerkers aan het werk. Daardoor ontstaat het zogenaamd bergje in de grafieken van figuur 34. In tabel 19 zijn de stroomsterkte, het energieverbruik en het type back-up van de groepen (1, 2 en 6) aangegeven van 18:00 uur tot 06:00 uur en van 06:00 uur tot 18:00 uur.

Tabel 19: Energieverbruik van kritische belastingaangesloten op hoofdverdeelkast HK-1 (transformator 1)

Kast-naam	Groep #	Stroom (A) 06:00 - 18:00u	Stroom (A) 18:00 -06:00 u	P _s (kVA) 06:00 - 18:00u		P _s (kVA) 18:00 -06:00 u		Type back up
HK-1	1	391	345	148	113%	131	100%	Generator, batterijen (via Rectifiers) en UPS
	2	193	81	73	238%	31	100%	Geen back up
	6	340	250	129	137%	94	100%	Geen back up
	Totaal	924	676	351		256		

In tabel 19 valt op dat het energieverbruik van de groepen 1, 2 en 6 met een bepaald percentage toeneemt van **06:00 -18:00uur** ten opzichte van **18:00 -06:00 uur**. In het tijdsbestek van **18:00 -06:00 uur** zijn de verlichting, de apparaten en de koeling op groep 2 aan ter garantie van de dienstverlening vanuit de datacenter. Dit verbruik kan de basislast van 100% genoemd worden. Het energieverbruik van groep 2 neemt tussen **06:00 -18:00uur** toe met een percentage van 138%. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het energieverbruik van groep 2 enorm toeneemt en bijdraagt aan een hoog energieverbruik op maandbasis. Het energieleveringsbedrijf N.V. E.B.S. stelt de kVA- toeslag vast op basis van de hoogst geregistreerde kVA piek per maand. Verder is opgevallen dat de belasting (vermogen) welke de generator minimaal van energie zal moeten voorzien 256kVA/205 kW bedraagt bij $\cos \varphi = 0.8$ gelet op het energieverbruik van **18:00-06:00 uur** (tabel 19). Hierdoor zal de capaciteit van de bestaande generator (265kVA/ 205 kW bij $\cos \varphi = 0.8$) maximaal benut moeten worden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de bestaande generator vervangen moet worden met een van een grotere capaciteit, omdat het raadzaam is de generator nominaal tot 80% te belasten (rekeninghoudend met mogelijke stroompieken bij het aanslaan van airco compressoren). Er moet een generator met een capaciteit van minimaal 320kVA worden geplaatst. De generator wordt aanzet indien de energievoorziening

vanuit de N.V. E.B.S. uitvalt. Bij de reguliere controle van de generator wordt deze onbelast aangezet. De controle vindt één keer per week plaats. Er is nader onderzoek vereist ten behoeve van effectief en efficiënt verbruik van de elektrische energie van groep 1, 2 en 6 tussen 06:00 -18:00 uur. Daarbij kan er nagegaan worden of er middels de energiebesparingsvoorstellen gedaan voor transformator 2 ook energie bespaard kan worden op transformator 1. Ook kan nagegaan worden of er energie bespaard kan worden op de apparatuur (onder andere servers) in de datacenter. Dit, omdat in nachtelijke uren het voice-/dataverkeer minder is dan overdag. Hierdoor kan nagegaan worden hoeveel % van de servers aan-/uitgeschakeld kan worden. Of, als er andere typen apparatuur aangeschaft dienen te worden met de intelligentie om afhankelijk van de vraag (voice-/databelasting) ingeschakeld/ uitgeschakeld te worden.

3.5 De controle van de voedingskabels van de hoofdverdeelkasten op kortsluitvastheid en spanningsverlies

Er is ten behoeve van de voedingskabels aangesloten op de hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2 controle uitgevoerd op kortsluitvastheid en spanningsverlies. Ook is er voor de voedingskabels vanaf de hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2 tot en met de verste eindgroepen in de totale installatie controle uitgevoerd op kortsluitvastheid en spanningsverlies. De voedingskabels tussen de verschillende verdeelkasten onderling, bestaan alleen uit de fasekabels en de aders. Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor de berekeningen met betrekking tot de controle op kortsluitvastheid van de voedingskabels tabel A.53-1 geraadpleegd is. Tabel A.53-1 is gehaald uit het boek: “*NEN1010 Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties*”, bladzijde 504 (zie bijlage 6). In tabel 20 is het spanningsverlies vastgelegd, alsook de berekende waarden met betrekking tot de controle op kortsluitvastheid van de voedingskabels. Bij driefaseninstallaties ziet de formule voor spanningsverlies er als volgt uit: $U_V = I \times \frac{L \times \rho}{S} \times \sqrt{3}$

Voor de voedingskabels vanaf transformator 1 naar de hoofdverdeelkast HK-1 is het spanningsverlies volgens de stroomsterkte uit tabel 8 als volgt:

$$U_V = 848,10 \times \frac{10 \times 0,0175}{7 \times 1 \times 95} \times \sqrt{3} = 0,386 \text{ V}$$

Voor de voedingskabels vanaf transformator - 2 naar de hoofdverdeelkast HK-2 is het spanningsverlies volgens de stroomsterkte uit tabel 9 als volgt:

$$U_V = 608,65 \times \frac{10 \times 0,0175}{5 \times 1 \times 95} \times \sqrt{3} = 0,387 \text{ V}$$

De overige spanningsverliezen van de verschillende voedingskabels zijn in tabel 20 ingevuld.

De formule voor het bepalen van de maximale lengte van een voedingskabel in verband met kortsluitvastheid ziet er als volgt uit:

$L_{\max} = \frac{L_{\text{tabel}}}{\sqrt{3}}$ (volgens het boek “NEN1010 Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties”, de tabel A.53-1 op bladzijde 504).

Voor de voedingskabels vanaf hoofdverdeelkast HK-1 naar de belasting van groep 1 (noodbe-
lasting) bedraagt de nominale waarde van het beveiligingstoestel 400A (zie tabel 20). De door-
snede van de voedingskabel is 3(3 x 1 x 95) + 2 x 1 x 95 (met een lengte L = 10 meter). Volgens
de tabel A.53-1 uit bijlage 6 geldt bij een kabeldoorsnede van 300 mm² een maximale kabellengte
($L_{\max}$) van 324 m bij een spanning van 230 V. De gecorrigeerde waarde voor ($L_{\max}$) is dan:

$$L_{\max} = \frac{324}{\sqrt{3}} = 187 \text{ meter.}$$

Volgens opmerking 5 uit bijlage 6 geldt het volgende: Voor de maximale lengte van tegen kort-
sluiting beveiligde leidingen van driefasenstroomketens met nul met een spanning van 230/400
V en een kleinere doorsnede van de nul overeenkomstig tabel 8.52Z (bijlage 6) geldt een ver-
menigvuldigingsfactor 0,67. Hierdoor wordt ($L_{\max}$):

$$L_{\max} = \frac{324}{\sqrt{3}} \times 0,67 = 125 \text{ meter}$$

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de kabel kortsluitvast is.

Voor de voedingskabels vanaf HK-1 groep 2 naar de verdeelkast LS bedraagt de nominale waar-
de van het beveiligingstoestel 400A (zie tabel 20). De doorsnede van de voedingskabel is 3(3 x
1 x 70) + 1 x 95 mm² (met een lengte L = 100 meter). Volgens tabel A.53-1 in bijlage 6 geldt bij
een kabeldoorsnede van 240 mm² een maximale kabellengte ($L_{\max}$) van 268 bij een spanning van
230 V. De gecorrigeerde waarde voor ($L_{\max}$) is dan: $L_{\max} = \frac{268}{\sqrt{3}} = 154$ meter. De maximale
waarde wordt dan: $L_{\max} = \frac{268}{\sqrt{3}} \times 0,67 = 103$ meter. Hieruit kan worden geconcludeerd worden
dat de kabel kortsluitvast is. De overige waarden voor controle op kortsluitvastheid van de ver-
schillende voedingskabels zijn in tabel 20 ingevuld.

Tabel 20: Controle van de voedingskabels op spanningsverlies en kortsluitvastheid

Verdeelkast, van groep# en bestemming			I_N (A)	I_B (A) gemeten	S (mm ²) Koperaders		Lengte (m)	U_V (V)	$L_{\max}$ (m)
					L1, L2, L3	N			
Hk-1 (A.53-1)	1	ATS	630/400A	391A	3(3 x 1 x 95)	2 x 1 x 95	± 10	4,15	125
Hk-1 (A.53-1)	2	LS	400/400A	193A	3(3 x 1 x 70)	1 x 95	±100	2,92	103
Hk-1	3	reserve							
Hk-1 (A.53-1)	4	OSB	250/100A		3 x 1 x 50	1 x 50	± 7		
Hk-1 (A.53-4)	5	Airco	250/100A	18A	4x6		± 20	1,82	11

Hk-1 (A.53-1)	6	KK-4	630/500A	340A	3(3 x 1x 95)	2 x 1 x 95	± 50	1,81	93
Hk-2 (A.53-1)	1	HKL-1 lasver- binding	1250/ 1000 A	387A	3(3 x 1x 95) voor las	2 x 1 x 95 voor las	± 10	4,15	125
					2 (4 x 120) na las		± 35	1,71	93
Hk-2 (A.53-1)	2	reserve							
Hk-2	3	reserve							
Hk-2 (A.53-1)	4	HKL-2	1250/ 1000 A	288A	3(3 x 1x 95)	2 x 1 x 95	± 45	1,38	35
Verste eindgroepen in de installatie aangesloten op de voedingsbronnen HK-1 en HK-2									
Hk-1 (A.53-1)	1	ATS	630/400A	391A	3(3 x 1x 95)	2 x 1 x 95	a ± 10	4,15	125
ATS (A.53-1)	2	HNK-2	Hoofdscha- kelaar 400A	112A	3(2 x 1x 70)	1 x 70	b ± 4	0,10	67
HNK-2 (A.53-1)	1	NK2-1	250/250	99A	3(2 x 1x 70)	1 x 70	c ± 70	1,50	118
NK2-1 (A.53-1)	1	NK2-1.1	125/80	13A	4 x 10		± 14	0,55	49
NK2-1 (A.53-1)	2	NK2-1.2	Hoofdscha- kelaar 400A	99A	4 x 1x 70		d ± 4	0,17	50
NK2-1.2 (A.53-1)	1	NK2-1.2-1	250/200	24 A	3 x 1x 50		± 21	0,31	83
NK2-1.2 (A.53-1)		NK2-1.2-2	250/225	80 A	2(4 x 35)		e ± 53	1,73	42
Totaal (a+b+c+d+e)							± 138	7,65	
HK-1	2	LS	400/400A	192A	3(3 x 1x 70)	1 x 95	± 110	2,91	103
LS	4	2 ^e etage	160/160	80 A	3 x 1 x 50	1 x 35	± 25	1,21	74
Totaal (a+b+c+d+e)							± 130	4,12	

Uit tabel 20 is geconcludeerd dat de spanningsverliezen een acceptabele waarde hebben voor de verschillende voedingskabels. Verder is geconcludeerd dat bij controle op kortsluitvastheid van de voedingskabels, enkele voedingskabels de maximale toelaatbare lengte hebben overschreden. Deze waarden zijn in **rood** aangegeven in de kolom van $L_{\max}$ (tabel 20). De oorzaak van de kabellengtes (niet- conform de norm) is als volgt te verklaren: doordat de nominale stroom van de beveiliging van de voedingskabels 2-3x groter is gekozen dan de ontwerpstroom (I_B), wordt de maximale lengte korter. De kabels zijn reeds aangelegd dus kunnen deze niet verkort worden. Ter aanbeveling moeten de beveiligingen aangepast worden, zodat de maximale lengte van de voedingskabels groter wordt. Anders moeten er kabels van grotere diameter geplaatst worden.

4 Harmonischen, EMC, Power Factor en Crest Factor

In 4.1 is aangegeven wat de oorzaken, de invloed en de effecten zijn van harmonischen. In 4.2 staat het onderzoek dat gepleegd is naar de harmonische invloed van de belasting aangesloten op de hoofdverdeelkasten 1 en 2. Daarnaast is in 4.3 een onderzoek beschreven naar de elektromagnetische beïnvloeding van de apparaten onderling. In de laatste paragraaf is nagegaan wat de power factorwaarde is en of deze moet worden verbeterd. Ook is de Crest Factor gecontroleerd. De belangrijkste bron voor dit hoofdstuk is: *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (1992)*

4.1 Oorzaken, invloed en effecten van harmonischen

Harmonischen worden beschouwd als een type netvervuiling. Ter ondersteuning van de verklaringen voor de oorzaken (4.1.1), de invloed (4.1.2) en de effecten van harmonischen (4.1.3) zijn hierna het elektrische distributiesysteem van Telesur (centrum 1), enkele bronnen van harmonischen en de definitie van harmonischen kort belicht.

Belangrijkste bron van deze paragraaf is: *Power quality proceedings of the fourteenth international Power Quality 2001 conference*

Elektrisch distributiesysteem

Het elektrisch distributiesysteem van Telesur (Centrum1) bestaat uit een driefase + nulstelsel. De spanning van dit systeem is 220/380V. De meerfasige apparaten werken op een spanning van 220V of 380V en voeren geen stroom terug naar de bron via de nulleider. Eenfasebelasting wordt via fase – naar – nul aangesloten, werkt op een spanning van 230V en voert stroom terug naar de bron via de nulleider.

Enkele bronnen van harmonischen

Afhankelijk van het type belasting (lineair of niet – lineair) ontstaan er harmonischen.

Lineaire belasting: is belasting die stroom trekt met dezelfde golfvorm (sinusvormig) als de spanning van het systeem. Enkele voorbeelden van lineaire belasting zijn onder andere, motoren, verwarmingselementen en gloeilampen.

Niet-lineaire belasting: is belasting die stroom trekt die niet dezelfde golfvorm (sinusvormig) als de spanning van het systeem heeft. Enkele voorbeelden van niet - lineaire belasting die doorgaans fase-fase verbonden zijn:

- statische omvormers; gelijkrichterbruggen, en in het algemeen statische omvormers genoemd (bestaande uit diodes en thyristoren) genereren harmonischen.

- frequentieregelaars
- UPS- systemen
- schakelende voedingen (onder andere computervoedingsbron, elektronische voorschakel-apparatuur)

Voorbeelden van niet-lineaire eenfase + nul belasting zijn:

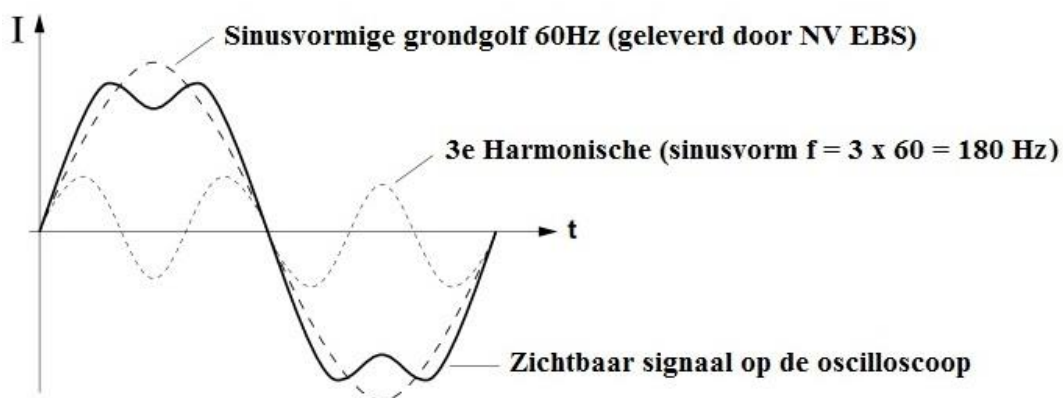
- computers
- servers
- kopieermachines
- elektronische voorschakelapparatuur (lichtsystemen die bestaan uit gasontladingslampen veroorzaken ook harmonische stromen. Dit kan oververhitting van de nulgeleider veroorzaken indien deze niet van een voldoende diameter is.)

Definitie van harmonischen

Harmonischen worden gedefinieerd als continue veelvouden van de basisfrequentie. Als de basis (of 1^{ste} harmonische) frequentie 60Hz is, dan zal de 2^e harmonische 120 Hz zijn (2x60), de 3^e zal gelijk zijn aan 180 Hz, enz.

4.1.1 Oorzaken van harmonischen stromen en spanningen in elektrische systemen

Harmonische stromen: Harmonischen worden ingebracht in elektrische systemen door de manier waarop er door niet-lineaire elektrische belasting stroom wordt getrokken uit het systeem. Door het trekken van stromen die niet- sinusvormig zijn, veroorzaken niet-lineaire belastingen dat er ook harmonische stromen in het systeem vloeien. Deze harmonische stromen worden toegevoegd aan de 60Hz stroom die de belasting voorziet van elektrische energie (zie figuur 36).



Figuur 36: Voorstelling van 60 Hz stroom en 3^e harmonische stroom(180 Hz) in de tijd

(Het komt ook voor dat harmonische stromen getrokken worden door lineaire belasting, indien de voedingsbron energie levert met grote hoeveelheden vervormde spanningen). De grootste

oorzaak van harmonische stromen is het aansluiten van niet – lineaire belasting op een voedingsbron die deze belasting van elektrische energie moet voorzien.

Bij de harmonische stromen die niet-lineaire belasting trekt hangt het ervan af hoe de belasting is aangesloten op het elektriciteitssysteem en wat de bedrijfsomstandigheden van de belasting zijn. De meeste harmonischen op een wisselspannings voedingsbron zijn van de oneven orde (3^e, 5^e, 7^e enz). Dit ontstaat wanneer een niet - lineaire belasting gelijktijdig stroom trekt van beide helften van de aangesloten golfvorm van de spanning. Niet -lineaire belastingen die fase -fase zijn aangesloten op een driefase- installatie trekken 5^e en 7^e, 11^e en 13^e, 17^e en 19^e, en hogere harmonische stromenparen. Algemeen blijkt dat hoe hoger de orde van de harmonischen, hoe lager de amplitude wordt. Symmetrische stromen op elke halve periode van de golfvorm produceren harmonischen van oneven orde. De harmonischen van even orde ontstaan wanneer de stroom niet symmetrisch is op elke halve periode. Aangezien het een vereiste is (internationaal zowel van de NV. E.B.S) dat de fasen symmetrisch belast moeten worden, zijn er in de praktijk overwegend oneven harmonischen aanwezig. Eenfasige niet -lineaire belastingen aangesloten op fase en nulleider trekken 3^e, 5^e, 7^e, 11^e, 13^e en hogere harmonische stromen.

Bedrijfsomstandigheden bepalen de relatieve hoeveelheid van elke harmonische die getrokken wordt door de belasting, maar veranderen numeriek niet welke harmonische getrokken wordt. De hoeveelheid harmonische stromen die door de belasting getrokken worden kunnen variëren van 10 – 50% van de oorspronkelijke 60 hz stroom voor driefasebelasting (zoals aandrijvingen met variabele toerentallen) tot over de 100% van de oorspronkelijke 60 hz stroom voor eenfasebelasting zoals computers en fluorescentielampen. Harmonische stromen zijn geneigd om te vloeien van de niet -lineaire belasting (harmonische bronnen) naar de laagste impedantie. De impedantie van de voedingsbron (energieleveringsbedrijf) is gewoonlijk lager dan van de parallelle paden.

Harmonische spanningen: Over het algemeen levert een wisselspanningsvoedingsbron elektrische energie die weinig harmonischen heeft. Dit, in tegenstelling tot wanneer er niet -lineaire belasting op wordt aangesloten. Harmonische spanningen verschijnen in elektrische installaties, omdat de niet -lineaire belasting stroom trekt door de impedantie van dat systeem. Volgens de wet van Ohm geldt dat wanneer een stroom vloeit door een impedantie er een spanning over die impedantie gecreëerd wordt. Dit gebeurt bij de doorgang van harmonische stroom door de impedantie van de bedrading. Elke stroom die vloeit door de bedrading, veroorzaakt een spanningsverlaging ($U = I \times Z$) vanwege de impedantie van de kabel. Dus de aanwezigheid van harmonische spanning in een systeem wordt vrijwel geheel veroorzaakt door de niet-lineaire belasting aangesloten op dat systeem. De grootte van de toegestane harmonische spanning moet gevonden worden op het punt van gemeenschappelijke koppeling tussen de voedingsbron en gebruiker

(ook wel de PCC genoemd). Bij dit project is de Point of Common Coupling de twee hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2.

(Een opmerkelijke uitzondering treedt op wanneer een verdeelkast met daarop niet-lineaire belastingen is aangesloten die genoeg spanningsvervorming veroorzaakt dat deze via de voedings-transformator op het distributienet terecht komt. In dit geval, kan een verdeelkast waarop er geen niet-lineaire belasting is aangesloten harmonische spanningsvervorming toegevoerd krijgen vanuit het energieleveringsbedrijf.)

4.1.2 Invloed van harmonischen

Het elektrische systeem voorziet de belasting van energie door het leveren van stroom met de basisfrequentie van 60 Hz. Alleen stroom met de basisfrequentie kan echt vermogen leveren. Stroom geleverd met harmonische frequenties leveren geen enkel echt vermogen aan de belasting. Wanneer er stroom met één frequentie aanwezig is in een systeem, kunnen de gemeten waarden worden gebruikt in de wet van Ohm en bij het maken van vermogensberekeningen. Maar wanneer er meer dan één frequentie van stroom aanwezig is, leidt directe toevoeging van deze stroomwaarden bij de basiswaarde tot een opgetelde waarde die niet correct het totale effect van de verschillende stromen vertegenwoordigt. In plaats daarvan moeten de stromen mathematisch opgeteld worden middels de bekende “effectieve waarden” optelling. De formule voor de effectieve waarde van stromen is: $I_{eff} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}$. Dus indien een systeem 90 ampères van fundamentele stroom, 60 ampères van 5^e harmonische stroom en 30 ampères van 7^e harmonische stroom droeg, zou de effectieve stroom niet 180 ampères zijn, maar 112 A rms. Deze 112A effectief zou de correcte waarde zijn om in alle vermogensberekeningen te gebruiken. Hetzelfde geldt voor harmonische spanningen. Om de effectieve spanning voor een systeem te verkrijgen waarin enkele frequenties aanwezig zijn, moet de spanning in een rms- model toegevoegd worden.

Harmonischen meten

Het verrichten van metingen op elektrische installaties die niet-lineaire belastingen voeden vertoont meestal de aanwezigheid van zowel stroom als spanning harmonischen.

Stroommetingen met harmonischen

Bij het verrichten van stroommetingen (bijvoorbeeld bij de voedingkabels van een verdeelkast tot bij de kabels van de elektrische installatie) waarop er niet-lineaire belasting is aangesloten, bezit de stroom in dat geval de basis en de harmonische. De vervormde effectieve waarde van de stroom is gelijk aan de effectieve waarde van de harmonische stromen waarbij de basisstroom uit

de mathematische optelling wordt gelaten. De totale harmonische distortie (THD) wordt berekend door gebruik van de waarde van de vervormde effectieve stroom.

De formule is: $THD_{\%} = \left(\frac{I_{rms} (distortie)}{I_{fundamentele}} \right) \times 100\%$

Spanningsmetingen met harmonischen

Bij het verrichten van spanningsmetingen (bijvoorbeeld bij de voedingkabels van een verdeelkast tot bij de kabels van de elektrische installatie) waarop er niet-lineaire belasting is aangesloten, blijkt dat hoe verder er gemeten wordt vanaf de voedingsbron, hoe hoger de harmonische spanningen. De verhoogde impedantie waardoor de harmonische stromen moeten vloeien resulteren in verhoogde harmonische spanningen. Het effect van impedantie (weerstand) op de basisspanning is hierbij juist omgekeerd. Terwijl algemeen geldt dat de basisspanning een stroom induceert, worden harmonische spanningen door het vloeien van de stroom veroorzaakt. De vervormde effectieve waarde van de spanning is gelijk aan de effectieve waarde van de harmonische spanningen waarbij de basisspanning uit de mathematische optelling wordt gelaten. De totale harmonische distortie (THD) wordt berekend met dezelfde formule welke gebruikt is voor de stroomvervorming.

4.1.3 Effecten van harmonischen

Harmonische stromen en spanningen bovenop de basis hebben gecombineerde gevolgen voor apparatuur en toestellen aangesloten op de elektrische installatie. De nadelige effecten van deze harmonischen zijn afhankelijk van het type belasting en omvatten:

- momentane effecten
- effecten op lange termijn als gevolg van verwarming

Effecten van stroomvervorming

De resultaten van stroomvervorming op de belasting van een elektrische installatie zijn minimaal. Dit komt, doordat de vervormde stroom veroorzaakt wordt door het in bedrijf zijn van niet-lineaire belasting. Stroomvervorming is afhankelijk van het pad waarlangs die ontstaat. Hierdoor kunnen harmonische stromen niet vloeien in andere apparatuur dan die waardoor ze veroorzaakt zijn. Echter, kunnen de effecten van stroomvervorming in distributiesystemen erg zijn, hoofdzakelijk door het toenemen van de stroom die door het systeem vloeit. Alle distributiesystemen zijn afhankelijk van de effectieve waarde. Gelet op de driefase elektrische voorziening van Telesur Vaillantsplein voor de toevoer van belasting, is uitgaande van een 500kVA / 220V transformator (transformator 1 of 2), de stroom 1218A effectief (volgens naamplaatje van de transformator). Hoe meer harmonische stroom de transformator moet voorzien des te minder basis-

stroom die kan leveren voor de stroomtoevoer van belasting. Doordat harmonische stroom geen functioneel vermogen levert, gebruikt de aanwezigheid hiervan simpelweg systeemcapaciteit en vermindert daardoor de hoeveelheid belasting die voorzien kan worden van elektrische energie. Harmonische stromen verhogen ook ($I^2.R$) warmteverliezen in transformatoren en bekabeling. Doordat de impedantie van een transformatorfrequentie afhankelijk is ($X_L = 2\pi fL$), zal bij verhogen van het harmonische getal, de 5^e harmonische 5x dat van de basisfrequentie zijn. Elke ampère van de 5^e harmonische stroom veroorzaakt een verhoging van 5x groter dan de ampère van de basisstroom. In een fase -nulsysteem dat belasting van energie voorziet, zijn ook daar de nadelige effecten te wijten aan de harmonische stromen die de systeemcapaciteit gebruiken. Daardoor vindt er beperking plaats van de hoeveelheid belasting die van energie voorzien zou kunnen worden. Een andere schade wordt veroorzaakt door 3^e harmonische stroom die wordt bijgeteld in de neutrale leider. Wanneer grote aantallen computers (die niet-lineaire belasting zijn) worden aangesloten, kan de stroom door de nulleider, hoofdzakelijk vanwege de 3^e harmonische, groter zijn dan elk van de fasestromen. Een methode voor het beschermen van een transformator tegen harmonischen is het verminderen van de hoeveelheid belasting aangesloten op de transformator. Dit wordt de zogenaamde "derating" van de transformator genoemd. De volledige derating methode wordt beschreven in norm ANSI / IEEE C57.1101986. Volgens de Computer & Business Equipment Manufacturers Association(CBEMA), is er een tweede methode die middels een aantal eenvoudige metingen (met de juiste testapparatuur) bereikt kan worden. De testapparatuur moet in staat zijn zowel de true-rms fasestroom, alsook de momentane piekfasestroom voor elke fase aan de secundaire zijde van de transformator te meten. De PQA 6600 meter heeft die intelligentie om zowel de true-rms fasestroom, alsook de momentane piekfasestroom voor elke fase te meten. Echter, konden de 1000A stroomtangen van de PQA 6600 meter de voedingskabels per fase niet omsluiten voor het uitvoeren van de metingen (er waren geen flexibele stroomtransformatoren beschikbaar). Er zou dan middels een eenvoudige berekening nagegaan worden of er harmonischen aanwezig zijn in het circuit. Met de formule kan berekend worden, hoeveel de belasting van de transformator mag zijn als er harmonischen aanwezig zijn. Om de derating factor voor een transformator te bepalen, moeten de piekwaarde en de effectieve waarde voor de driefasegeleiders toegepast worden. Indien de fasen niet in evenwicht zijn, moet de gemiddelde waarde van deze drie metingen gekozen worden en toegepast worden in de volgende formule:

HDF = Harmonic Derating Factor

$$HDF = \frac{(1.414) \times (\text{true} - \text{rms Phase Current})}{(\text{Instantaneous Peak Phase Current})}$$

Deze formule levert een waarde tussen 0 en 1,0, praktisch tussen 0,5 en 0,9. Als de fasestromen zuiver sinusvormig zijn (onvervormde) zijn de momentane pieken 1,414 maal de effectieve waarde en is de derating-factor gelijk aan 1,0. In dat geval is er geen reductie nodig.

Echter, met de aanwezigheid van harmonischen is de transformatorreductie het product van het kVA naamplaatje x de HDF.

$kVA_{derated} = HDF \times kVA$ (naamplaat van de transformator)

Een HDF van 1 betekent dat er geen harmonischen aanwezig zijn, zodat er geen derating van de transformator is vereist. Een ander belangrijk effect van stroomvervorming op een elektrisch systeem is het veroorzaken van spanningsvervorming.

Effecten van spanningsvervorming

Het nadelige effect van spanningsvervorming van een distributiesysteem is minimaal. (Echter dient wel te worden opgemerkt dat in tegenstelling tot stroomvervorming, spanningsdistortie niet afhankelijk is van het pad waarlangs het ontstaat. Dus harmonische spanningen gegenereerd in een deel van een voorziening zullen op gemeenschappelijke bussen binnen deze faciliteit verschijnen. Hoge spanningsvervorming op niet-lineaire belasting betekent nog niet dat het systeem zwaar vervuild is. De spanningsdistortie wordt lager naarmate de verdeelkast dichterbij de toevoerende transformator is. Indien buitensporige spanningsvervorming voorkomt bij de transformator, kan de vervorming via de transformator overgebracht worden in installaties ver van de bron.)

Het effect op belasting aangesloten op het systeem kan schadelijk zijn in bepaalde gevallen. Bijvoorbeeld, extreme spanningsvervorming kan meervoudige nuldoorgang van de spanningsgolf veroorzaken. Spanningsvervorming schijnt een klein effect te hebben op de werking van niet-lineaire belasting zowel fase – fase alsook fase – nul aangesloten. De 5^e harmonische spanningsvervorming kan serieuze problemen veroorzaken voor driefasemotoren.

IEEE 519 harmonische stroom- en spanningslimieten

IEEE 519 is een standaard ten behoeve van een systeem, en niet voor een individueel apparaat of uitrusting. Harmonische spannings- en stroomvervormingsmetingen op een systeem worden gedaan op het punt van gemeenschappelijke koppeling (PCC). Dit punt wordt meestal gedefinieerd als de plaats waar de klant is verbonden met de leverancier van energie. Het verminderen van de harmonische effecten op elk punt in het gehele systeem kan door middel van beperkingen van bepaalde harmonische indicatoren (stroom en spanning) op het punt van de gemeenschappelijke koppeling (PCC), een plaats van meetinrichtingen, of een willekeurig punt. Zolang zowel

het energieleveringsbedrijf (N.V. E.B.S.) als de consument toegang kan krijgen tot betreffend punt voor directe meting van de harmonische indicatoren, waarbij de gemeten indicatoren voor beide zinvol zijn. Of, door de harmonische indicatoren in te schatten op het punt van interferentie (POI) door middel van wederzijds aanvaardbare methoden. De reden voor het beperken van stroomvervorming op het punt van gemeenschappelijke koppeling is om ervoor te zorgen dat een klant niet zodanig veel harmonische stroom uit het elektriciteitsnetzal trekt, via de impedantie van het elektriciteitsnet (energiebedrijf), dat de spanningsvervorming van het elektriciteitsnet buitensporig zal zijn. Beperken van de spanningsvervorming vanuit het energieleveringsbedrijf voorkomt de verspreiding van deze vervorming naar andere voorzieningen. De N.V. E.B.S. hanteert voor harmonische limieten de internationale standaard (Institute for Electrical and Electronic Engineers) IEEE 519-1992. Uit deze standaard worden de tabellen 10.1, 10.2 en 11.1 toegepast. Tabel 21 (volgens IEEE 519 tabel 11.1) geeft maximaal toelaatbare procentuele THD-spanningslimieten weer die toegepast dienen te worden als systeemontwerpwaarden uitgaande van de “worst case” bij normale gebruiksomstandigheden (langer dan een uur). Voor kortere perioden, bijvoorbeeld start-ups of ongewone omstandigheden, kunnen de limieten worden overschreden tot 50%.

Tabel 21: Internationale harmonische spanningslimieten (THUD limits) gehanteerd door de NV EBS

MAX THD (voltage): IEEE 519-1992, Table 11-1: Voltage Distortion Limits			
Railspanning bij PCC	Laagspanning < 69 kV	69 < 161 kV	≥ 161 kV
Individuele Harmonische Distortie (%)	3.0	1.5	1.0
Totale Harmonische Distortie (%)	5.0	2.5	1.5

Eenvoudig gezegd is IEEE 519 ontworpen om de spanningsintegriteit van het elektriciteitsnet te beschermen. De installatie van Telesur behoort tot het spanningsniveau van < 69 kV. Tabel 22 (volgens IEEE 519 tabel 10.2) geeft maximaal toelaatbaar procentuele THD-spanningslimieten weer voor commutatie inkepingen van de spanning, gecategoriseerd naar drie globale typen klanten. Aangezien de meeste elektronische apparatuur op het laagspanningsniveau van het energieverdelingssysteem werkt, wordt deze vaak blootgesteld aan de effecten van spanningsinkeping. Spanningsinkepingen voeren vaak frequenties (zowel harmonische als niet - harmonische), die veel hoger zijn dan normaal vertoond in 6 kV en hogere spanningsdistributiesystemen. Deze frequenties kunnen voorkomen in het radiofrequentie (RF) bereik, en kunnen als zodanig schadelijke gevolgen veroorzaken. Dit type effecten zijn signaalinterferenties en worden ingebracht in logische of communicatiecircuits.

Tabel 22: Harmonische spanningslimieten (THUD limits) specifiek gehanteerd door de NV EBS

MAX THD (voltage): IEEE 519-1992, Table 10-2: Low-Voltage System Classification and Distortion Limits	
Dedicated: Geïsoleerd/ opzichzelf staand	10%
General: Algemeen/normale Distributie systemen	5%
Special applications: Air-ports, hospitalen etc.	3%

De installatie van Telesur te C1 behoort tot de categorie van 5% volgens tabel 22. De harmonische spanningsdistortie op een systeem is een functie van de totaal geïnjecteerde harmonische stromen en de impedantie van het systeem op elk punt van de harmonische frequenties. Vanwege deze relatie zijn er limieten ontwikkeld voor stroomdistortie om daarmee spanningsdistortie veroorzaakt door de klanten, te beperken. De doelstellingen van de ontwikkeling van stroomvervormingslimieten zijn:

1. beperken van harmonische injectie afkomstig van individuele klanten zodanig dat zij geen onacceptabele spanningsdistortieniveaus veroorzaken voor normale systeemkarakteristieken.
2. beperken van de totale harmonische vervorming van de systeemspanning geleverd door het energieleveringsbedrijf.

Bij de ontwikkelde stroomdistortielimieten is er vanuit gegaan (er rekening mee gehouden) dat er een aantal verschillen zullen zijn tussen de harmonische stromen geïnjecteerd door de verschillende klanten. Deze diversiteit kan zijn in de vorm van verschillende harmonische componenten die geïnjecteerd zijn, verschillen in de fasehoeken van de afzonderlijke harmonische stromen, of verschillen in de harmonische injectie ten opzichte van de tijdprofielen. Als erkenning van deze diversiteit, zijn de stroomlimieten ontwikkeld. Dit, zodat de maximale individuele frequentie harmonische spanningen veroorzaakt door een individuele klant niet hoger zijn dan de grenswaarden in tabel 23. Tabel 23 (volgens IEEE 519 tabel 10.1) geeft maximaal toelaatbare procentuele THD- stroomlimieten weer voor systemen die worden gekenmerkt door kortsluitimpedantie.

Tabel 23: Internationale harmonische stroomlimieten (THID limits) gehanteerd door de NV EBS

MAX THD (current): IEEE 519-1992, Table 10-1: Basic for Harmonic current Limits		
SCR at PCC	Maximum Individual Frequency Voltage Harmonic: maximumlimiet voor individueel gegenereerde harmonische spanningsfrequenties, m.a.w. vervorming/vervuiling	Related assumption: Aanname

10	2.5 – 3 %	Dedicated: Geïsoleerd/ op zichzelf staand
20	2 – 2.5 %	1 – 2 large customers: Grootverbruikers
50	1 – 1.5 %	Enkele relatief grote/ middelgrote verbruikers
100	0.5 – 1 %	5 – 20 middelgrote/ commerciële verbruikers
1000	0.05 – 0.1 %	Groot aantal kleine verbruikers/ huishoudens

De totale geïnjecteerde harmonische stroom is afhankelijk van het aantal individuele klanten die harmonische stromen injecteren en de “grootte” van elke klant. De “grootte” van de klant wordt bepaald door de Short – Circuit Ratio (SCR) van betreffende klant op het punt van gemeenschappelijke koppeling (PCC). Bij het berekenen van de stroomharmonische van Telesur C1 is de SCR toegepast. De SCR van een klant wordt als volgt gedefinieerd:

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I_L} \text{ waarbij:}$$

I_{sc} = maximale kortsluitstroom op PCC.

I_L = maximale door de klant gevraagde belastingsstroom (onderdeel van de basisfrequentie) bij PCC. Dus, klanten die een relatief groot deel van de totale systeembelasting van het energiebedrijf representeren, hebben een strengere stroomvervormingsbeperking dan “kleine” klanten. De basis voor stroomvervormingsbeperkingen ontstaat door het beperken van de individuele spanningsharmonische naar tolereerbare niveaus. Uitgaande van de maximaal toelaatbare vervorming/ vervuiling, per individueel gegenereerde spanningsharmonische, als gevolg van de daarmee geassocieerde stroomharmonische (dus bekeken op basis van individueel effect op de grondgolf), zijn de harmonische stroomlimieten vastgesteld. Tabel 24 geeft de harmonische stroomlimieten aan op basis van de grootte van de belasting ten opzichte van de grootte van het voedingssysteem waarop de belasting is aangesloten. De verhouding $\frac{I_{SC}}{I_L}$ is de verhouding van de kortsluitstroom beschikbaar op het punt van gemeenschappelijke koppeling (PCC), ten opzichte van de maximale fundamentele belastingsstroom. Het is daarbij aanbevolen dat de belastingsstroom een gemiddelde waarde is van de afgelopen twaalf maanden. Gelet op het energieverbruik van Telesur (over het jaar 2012) welke is vastgelegd in de EBS- nota's blijkt dat het verbruik een vast patroon heeft (zoals eerder aangegeven in hoofdstuk 3). Dus als de grootte van de gebruikersbelasting afneemt ten opzichte van de grootte van het energieleveringssysteem, neemt het percentage harmonische stroom die de gebruiker kan injecteren in het energieleveringssys-

teem toe. Dit beschermt andere gebruikers op dezelfde voedingslijn alsook het energieleveringsbedrijf, want voor het energieleveringsbedrijf is het belangrijk om een bepaalde kwaliteit van spanning te leveren aan zijn klanten. De maximaal toelaatbare vervorming / vervuiling, per individueel gegenereerde spanningsharmonische is met andere woorden een maat voor de harmonische stroomlimieten. Tabel 24 (volgens IEEE 519 tabel 10.3) geeft maximaal toelaatbaar procentuele individuele en THD- stroomlimieten weer voor klanten die zijn aangesloten op algemene distributiesystemen met een spanning van 120V tot en met 69kV.

Tabel 24: Stroomharmonischen distortielimieten (%) volgens IEEE 519 standaard(tabel 10.3)

Table 10.3 Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69 000 V)						
Maximale stroomharmonische vervorming in procenten van I_L						
Individuele harmonische volgorde (oneven harmonischen)						
I_{sc} / I_L	< 11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD %
< 20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Even harmonischen zijn beperkt tot 25% van de oneven harmonische beperkingen hierboven.						
Stroomverstoringen die resulteren in een DC offset, bijvoorbeeld, half-wave converters, zijn niet toegestaan.						
*Alle elektriciteitsproducerende apparatuur is beperkt tot deze waarden van stroomvervorming, ongeacht de werkelijke I_{sc}/I_L						
I_{sc} = maximale kortsluitstroom op PCC. I_L = maximale door de klant gevraagde belastingsstroom bij PCC.						

4.1.4 Oplossingsmethoden voor problematiek harmonischen

De volgende toepassingen kunnen onder andere ter vermindering / oplossing van harmonische problematiek uitgevoerd worden, met name:

- het toepassen van Actief Dynamisch Filter (ADF).
- het installeren van condensatorbatterijen.
- het verwijderen van de harmonische bronnen.
- opnieuw bekabelen van de elektrische installatie met kabels van voldoende diameter.

De functie van een filter is om het bruikbare signaal door te laten en het onbruikbare deel van een uitgezonden signaal te onderdrukken. Er zijn actieve en passieve filters.

Het principe van passieve filtering is voor aanpassen van de impedantie door:

- blokkeren van storingen: serie inductantie ($Z = L \times \omega$)
- afleiden van storingen: parallelcondensator ($Z = \frac{1}{C \times \omega}$)
- verbruik van de energie van de storing

De ADF is er hoofdzakelijk om harmonischen te verminderen, maar heeft ook een positieve correctie van de arbeidsfactor tot gevolg. Het verbetert daardoor de kwaliteit van de elektriciteit, verhoogt de bedrijfszekerheid en helpt storingen te voorkomen. Verder kan ook een arbeidsfactor verbeteringsinstallatie middels condensatorbatterijen geplaatst worden. Ter verwijdering van de harmonische bronnen zullen er in de toekomst misschien hogere eisen gesteld moeten worden aan ontwerpers van apparatuur, hetgeen niet een eenvoudige klus lijkt te zijn. Dit, gezien het feit dat tegenwoordig bepaalde apparatuur meer elektronica bezit ter besparing van energie (zoals energiezuinigere airco's met invertertechnologie oftewel economische airco's).

4.2 THD en TDD van de belasting op hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2

Voor het bepalen van de THD- en TDD- spanningen en -stromen zijn er metingen uitgevoerd op de PCC. Telesur Vaillantsplein heeft twee PCC's, namelijk hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2 (transformator 1 en transformator 2). Om zeker te zijn dat de harmonische metingen valide zijn, moet er gemeten worden wanneer alle lineaire en niet -lineaire belastingen in normaal bedrijf zijn (volgens IEEE 519).

4.2.1 Meetresultaten van hoofdverdeelkast HK-1

De THD- en TDD- spanningen en -stromen zijn op 12 - 2 – 2013 uitgevoerd op de PCC van hoofdverdeelkast HK-1. Er is voor gekozen om de harmonische op het tijdstip van de maximale demand te analyseren ter bepaling van de THD- en TDD- limieten voor HK-1 op het punt van gemeenschappelijke koppeling (PCC). Uit de meetresultaten (figuur 35) blijkt dat de maximale demand op dagbasis zich tussen 10:00 uur en 13:00 uur 's middags manifesteert. De demand waarden omstreeks 12:00 uur zijn in tabel 25 aangegeven.

Tabel 25: Demand en maximale waarden van de belasting op hoofdverdeelkast HK-1 tegen 12:00 uur

Demand						
Tijd	P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
12:00	284	130	313	770	810	786
Maximaal						
Tijd	P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
12:00	299	138	330	816	849	848

Time	THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)	THD I ₃ (%)	THD I _{gem} (%)
12.00	2,17	2,14	2,07	2,12	2,97	3,18	3,37	3,17

Vergelijking van het kW verbruikspatroon uit figuur 35 gedurende een week (23 – 4 - 2012 t/m 29 – 4 – 2012) met het kW verbruik van 12 – 2 – 2013 bevestigt wederom een nagenoeg vast demand aan energie tegen 12:00 uur op normale werkdagen.



Figuur 37: Demand waarden van hoofdverdeelkast HK-1 gedurende normale werkdagen en het weekend

De gemiddelde maximale kW demand tegen 12:00 uur op een normale werkdag is 294,2 kW (figuur 35). Uit tabel 25 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U₃ tegen 12:00 uur 2,07% bedroeg. Deze waarde valt binnen de toegestane waarde van 3% voor individuele spanningsharmonischen volgens de IEEE 519. De totale stroomharmonische van U₃ bedroeg tegen 12:00 uur 3,37% van de basiswaarde. Volgens tabel 24 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 3,37% acceptabel is. Dat is op de volgende wijze getoetst:

$$P_s = 500 \text{ kVA}$$

$$U_L = 237 \text{ V (aangegeven op de naamplaat van transformator – 1)}$$

$$Z = 4,33\% \text{ (procentuele kortsluitimpedantie van transformator 1)}$$

$$I_N = \frac{P_s}{U_L \times \sqrt{3}} = \frac{500 \text{ kVA}}{237 \times \sqrt{3}} = 1218 \text{ A}$$

I_{SC} = de maximale kortsluitstroom op het punt van gemeenschappelijke koppeling (PCC).

$$I_{SC} = \frac{I_N}{Z} = \frac{1218}{0,0433} = 28129 \text{ A}$$

Voor het berekenen van I_L moet het gemiddelde maximum werkelijk vermogen gevraagd over een periode van minimaal 15 tot 30 minuten of langer toegepast worden (*kW_{demand}* volgens

$$\text{IEEE 519}). \text{ Met de volgende formule wordt } I_L \text{ berekend : } I_L = \frac{kW_{demand}}{U_L \times \sqrt{3}} \quad (12)$$

De kW_{demand} waarde voor hoofdverdeelkast HK1 is 294 kW.

$$I_L = \frac{kW_{demand}}{U_L \times \sqrt{3}} = \frac{294kW}{237 \times \sqrt{3}} = 716A$$

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{28129}{716} = 39,28$$

De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 24 tussen 20 en 50. Voor de individuele harmonische mag de waarde maximaal 7% bedragen en voor de TDD 8%. Voor het bepalen van de TDD wordt het vermogen op dat tijdstip van bepaling gebruikt. Het vermogen op 12 februari 2013 omstreeks 12:00 uur is toegepast (tabel 25). Tegen 12:00 uur was het vermogen 313kVA. Dat was de maximale operationele belasting haalbaar op het moment. Deze waarde bedroeg 94 % van het maximaal gemeten vermogen van 330 kVA. De stroomharmonischen bedroegen daarbij 3.37% voor $THDI_3$ (Stroom THD fase L_3). De TDD- waarde bedroeg 94% van de THD- waarde voor het tijdstip 12:00 uur. Voor hoofdverdeelkast HK1 bedroeg de TDD- waarde dan: $0,0337 \times 94\% = 3,16\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 8% voor TDD. Hieruit wordt geconcludeerd dat de waarden voor TDD acceptabel zijn.

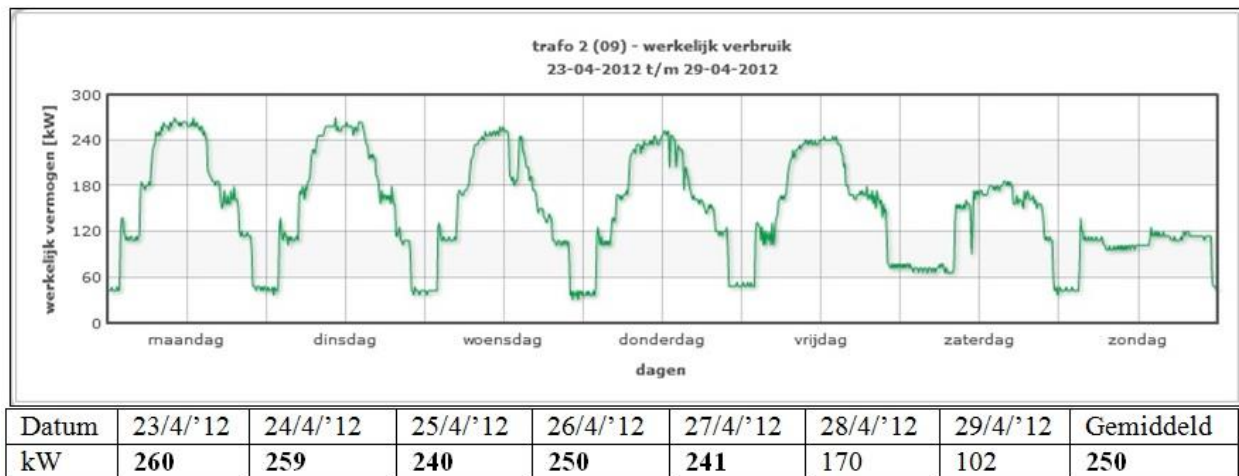
4.2.2 Meetresultaten van hoofdverdeelkast HK-2

De THD- en TDD- spanningen en -stromenmetingen zijn op 14 - 2 – 2013 uitgevoerd op de PCC van hoofdverdeelkast HK-1 (volgens norm IEEE 519). Er is voor gekozen om de harmonische op het tijdstip van de maximale demand te analyseren ter bepaling van de THD- en TDD- limieten voor HK-2 op het punt van gemeenschappelijke koppeling (PCC). Uit de meetresultaten (figuur 38) blijkt dat de maximale demand op dagbasis zich tussen 10:00 uur en 13:00 uur 's middags manifesteert. De demand waarden omstreeks 12:00 uur zijn in tabel 26 aangegeven.

Tabel 26: Demand en maximale waarden van de belasting op hoofdverdeelkast HK-2 tegen 12:00 uur

Demand								
Tijd		P(kW)		Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
12:00		247		147	287	748	713	720
Maximaal								
Tijd		P(kW)		Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
12:00		253		153	296	778	740	735
Time	THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)	THD I ₃ (%)	THD I _{gem} (%)
12:00	1,41	1,3	1,52	1,41	4,43	5,1	4,58	4,7

Vergelijking van het kW verbruikspatroon uit figuur 36 gedurende een week (23 – 4 - 2012 tot 29 – 4 – 2012) met het kW verbruik van 14 – 2 – 2013 bevestigde wederom een nagenoeg vast demand aan energie tegen 12:00 uur op normale werkdagen .



Figuur 38: Demandwaarden van hoofdverdeelkast HK-2 gedurende normale werkdagen en het weekend

De gemiddelde maximale kW demand tegen 12:00 uur op een normale werkdag is 250 kW (figuur 38). Uit tabel 26 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U_2 tegen 12:00uur 1,3% bedraagt. Deze waarde valt binnen de toegestane waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens de IEEE 519-1992, tabel 11-1 (zie tabel 21). De totale stroomharmonische van I_2 bedroeg tegen 12:00uur 5,1% van de basiswaarde. Volgens tabel 24 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 5,1% acceptabel is. Dat is op dezelfde wijze getoetst als bij HK-1:

$$P_S = 500\text{kVA}$$

$$U_L = 237 \text{ V (aangegeven op de naamplaat van transformator 1)}$$

$$Z = 4,33\% \text{ (procentuele kortsluitimpedantie van transformator 1)}$$

$$I_N = \frac{P_S}{U_L \times \sqrt{3}} = \frac{500\text{kVA}}{237 \times \sqrt{3}} = 1218\text{A}$$

I_{SC} = de maximale kortsluitstroom op het punt van gemeenschappelijke koppeling (PCC).

$$I_{SC} = \frac{I_N}{Z} = \frac{1218}{0,0433} = 28129\text{A}$$

Voor het berekenen van I_L moet het gemiddelde maximum werkelijk vermogen gevraagd over een periode van minimaal 15 tot 30 minuten of langer toegepast worden (kW_{demand} volgens IEEE 519). De kW_{demand} waarde voor hoofdverdeelkast HK-2 is 250 kW (tabel 24).

$$I_L = \frac{kW_{demand}}{U_L \times \sqrt{3}} = \frac{250\text{kW}}{237 \times \sqrt{3}} = 609\text{A}$$

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{28129}{609} = 46,18$$

De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 21 tussen 20 en 50. Voor de individuele harmonische mag de waarde maximaal 7% bedragen en voor de TDD 8%. Voor het bepalen van de TDD wordt het vermogen op dat tijdstip gebruikt. Het vermogen op 13 februari 2013 was omstreeks 12:00 uur 287kVA. Dat was de maximaal operationele belasting haalbaar op het moment. Deze waarde bedroeg 94 % van het maximaal gemeten vermogen van 296 kVA. De stroomharmonischen bedroegen daarbij 5.1% maximaal voor $THDI_3$ (Stroom THD fase L_3). De TDD- waarde bedroeg 97% van de THD- waarde voor het tijdstip 12:00 uur. Voor hoofdverdeelkast HK2 bedroeg de TDD- waarde op dat tijdstip: $0.051 \times 97\% = 4,94\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 8% voor TDD. De berekende waarden voor hoofdverdeelkast HK1 en HK2 zijn bepaald voor 12:00 uur 's middags (nagenoeg maximale belasting van transformator 1 en 2). Uit bovenstaande berekeningen blijkt dat overdag (tussen 7:00 uur en 15:00 uur) THD nagenoeg gelijk is aan TDD.

- De THD- berekening vergelijkt de gemeten stroomharmonische met de gemeten basisstroom I_1 (formule 12).

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1} \quad (13)$$

- De TDD- berekening vergelijkt de gemeten stroomharmonische met de maximale demand stroom (I_L).

$$TDD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_L} \quad (14)$$

Echter, wanneer de transformatoren minimaal belast zijn (voor en na de reguliere werktijd 7:00 uur t/m 15:00 uur) worden er hogere procentuele harmonische stromen gemeten (THD). Dit komt als volgt tot stand:

Buiten de reguliere werktijd is er grotendeels niet-lineaire belasting in bedrijf is (zoals nullast-draaiende airco fancoils en condensing units, rectifiers, servers, en verlichting) ten opzichte van lineaire belasting. Er vloeien dan overigens alleen niet -lineaire / reactieve stromen. *(Bijvoorbeeld ter opwekking van het magnetisch veld in de compressoren van airco 's. Dit is een constante reactieve stroom ongeacht of de aircocompressor in nullast, halflast of vollast werkt. De grootte van de constante reactieve stroomwaarde is afhankelijk van hoe sterk het magnetisch veld van de airco compressor is. Hoe groter de compressorcapaciteit hoe meer reactieve stroom nodig is).* De actieve / wattstromen zijn klein t.o.v de reactieve / wattloze stromen. Het reactieve energieverbruik is groter dan het werkelijke verbruik. De uitkomst van de wortel uit de som van individuele harmonische stromen in het kwadraat gedeeld door de basisstroomsterkte(I_1) is daar-

door groter (formule 13). De procentuele waarde van de THDI is dan groter ten opzichte van overdag (7:00 uur t/m 15:00 uur).

Tijdens normale werktijden is de THD- waarde nagenoeg gelijk aan de TDD- waarde van de stroom, omdat dan de maximale demand stroom I_L veel groter is dan de gemeten basisstroomsterkte in de avond (formule 13 en 14). Hieruit wordt geconcludeerd dat er in werkelijkheid buiten werkuren niet meer harmonische stromen geproduceerd worden door de belasting in vergelijking met de geproduceerde harmonische stromen bij TDD- berekening tijdens maximale demand tijdens werkuren .

4.2.3 THD gemeten op de kritische belasting transformator 1

Op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-1 zijn er ook harmonische metingen uitgevoerd waarbij de standaardlimieten volgens IEEE 519 zijn toegepast. Echter, mag de norm niet gehanteerd worden voor het meten van harmonische in delen van een elektrische installatie. Deze metingen zijn slechts uitgevoerd om een indicatie te krijgen welke eindgroepen de meeste spannings- en stroomharmonischen produceren.

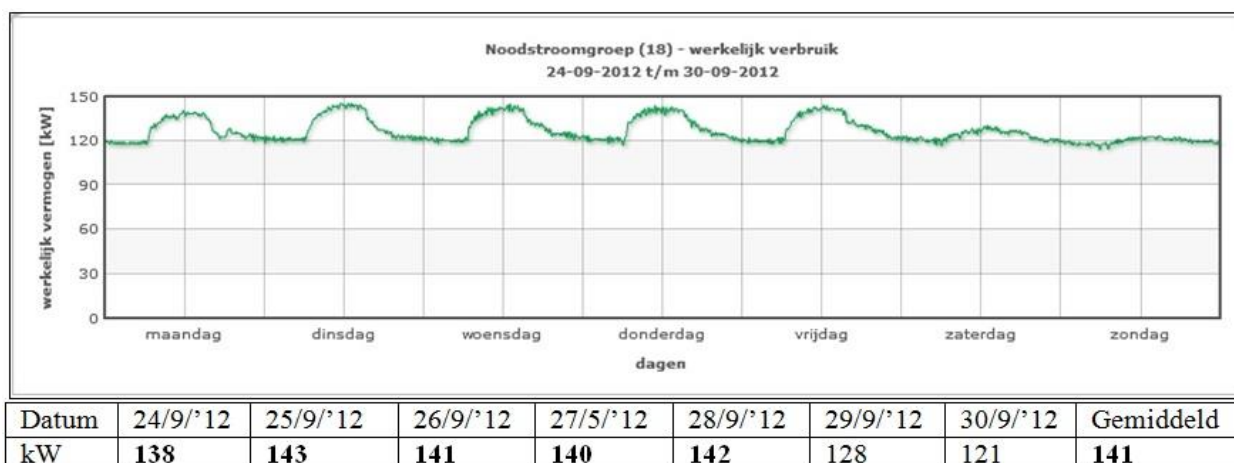
Noodbelasting (hoofdverdeelkast HK-1 groep1)

De noodbelasting aangesloten op de ATS bestaat uit twee hoofdnoodkasten, tw: HNK1 en HNK2.

De THD- en TDD- spanningen en -stromen zijn gemeten van 24 – 9 – 2012 t/m 30 – 9 – 2012, uitgevoerd op de noodbelasting. Er is voor gekozen om de harmonische op het tijdstip van de maximale demand te analyseren ter bepaling van de THD- en TDD- limieten voor de noodbelasting. Uit de meetresultaten (figuur 39) blijkt dat de maximale demand op dagbasis zich tussen 10:00 uur en 13:00 uur 's middags manifesteert. De demand waarden van 24 – 9 2012 omstreeks 12:00 uur zijn in tabel 27 aangegeven.

Tabel 27: Demand en maximale waarden van de noodbelasting op 24 – 9 – 2012 tegen 12:00 uur

Demand								
Tijd		P(kW)		Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
12:00		133		34	138	290	328	322
Maximaal								
Tijd		P(kW)		Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
12:00		138		36	143	300	340	334
Time	THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)	THD I ₃ (%)	THD I _{gem} (%)
12:00	3,41	3,2	3,38	3,33	9,18	8,36	9,51	9,01



Figuur 39: Demand waarden van de noodbelasting gedurende normale werkdagen en het weekend

De gemiddelde maximale kW demand tegen 12:00 uur op een normale werkdag is 141 kW (figuur 37). Uit tabel 27 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U_3 tegen 12:00 uur 3,38% bedraagt. Deze waarde valt buiten de toegestane waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens tabel 24. De totale stroomharmonische van I_2 bedroeg tegen 12:00uur 9,51% van de basiswaarde. Volgens tabel 24 is de I_{SC} / I_L waarde berekend ter toetsing als de THDI-waarde van 9,51% acceptabel zou zijn indien HK-1 groep 1 de PCC was. Dat is op de volgende wijze getoetst:

$$P_S = 500\text{kVA}$$

$$U_L = 237 \text{ V (aangegeven op de naamplaat van transformator 1)}$$

$$Z = 4,33\% \text{ (procentuele kortsluitimpedantie van transformator 1)}$$

$$I_N = \frac{P_S}{U_L \times \sqrt{3}} = \frac{500\text{kVA}}{237 \times \sqrt{3}} = 1218\text{A}$$

I_{SC} = de maximale kortsluitstroom op het punt van gemeenschappelijk koppeling (PCC).

$$I_{SC} = \frac{I_N}{Z} = \frac{1218}{0,0433} = 28129\text{A}$$

Voor het berekenen van I_L moet het gemiddelde maximum werkelijk vermogen gevraagd over een periode van minimaal 15 tot 30 minuten of langer toegepast worden (kW_{demand} volgens IEEE 519). De kW_{demand} waarde voor de totale noodbelasting is 141 kW (tabel 27).

$$I_L = \frac{kW_{demand}}{U_L \times \sqrt{3}} = \frac{141\text{kW}}{237 \times \sqrt{3}} = 343\text{A}$$

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{28129}{343} = 82$$

De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 24 tussen 50 en 100. Individuele harmonischen mogen voor deze waarde maximaal 10% bedragen en voor de TDD 12%. Voor het bepalen van de TDD

wordt het schijnbaar vermogen op dat tijdstip gebruikt. Het vermogen op 24 september 2012 omstreeks 12:00 uur was 138 kVA. Dat was de maximale operationele belasting haalbaar op dat moment. Deze waarde bedroeg 96 % van het maximale gemeten vermogen van 143 kVA. De stroomharmonischen bedroegen daarbij 9,51% maximaal voor THDI₃ (Stroom THD fase L₃). De TDD- waarde bedroeg 96% van de THD- waarde voor het tijdstip 12:00 uur. Voor hoofdverdeelkast HK2 bedroeg de TDD- waarde op dat tijdstip: $0,0951 \times 96\% = 9,13\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 12% voor TDD. De THD- en TDD- waarden van de twee subgroepen van de noodbelasting zijn in tabel 28 en tabel 29 aangegeven.

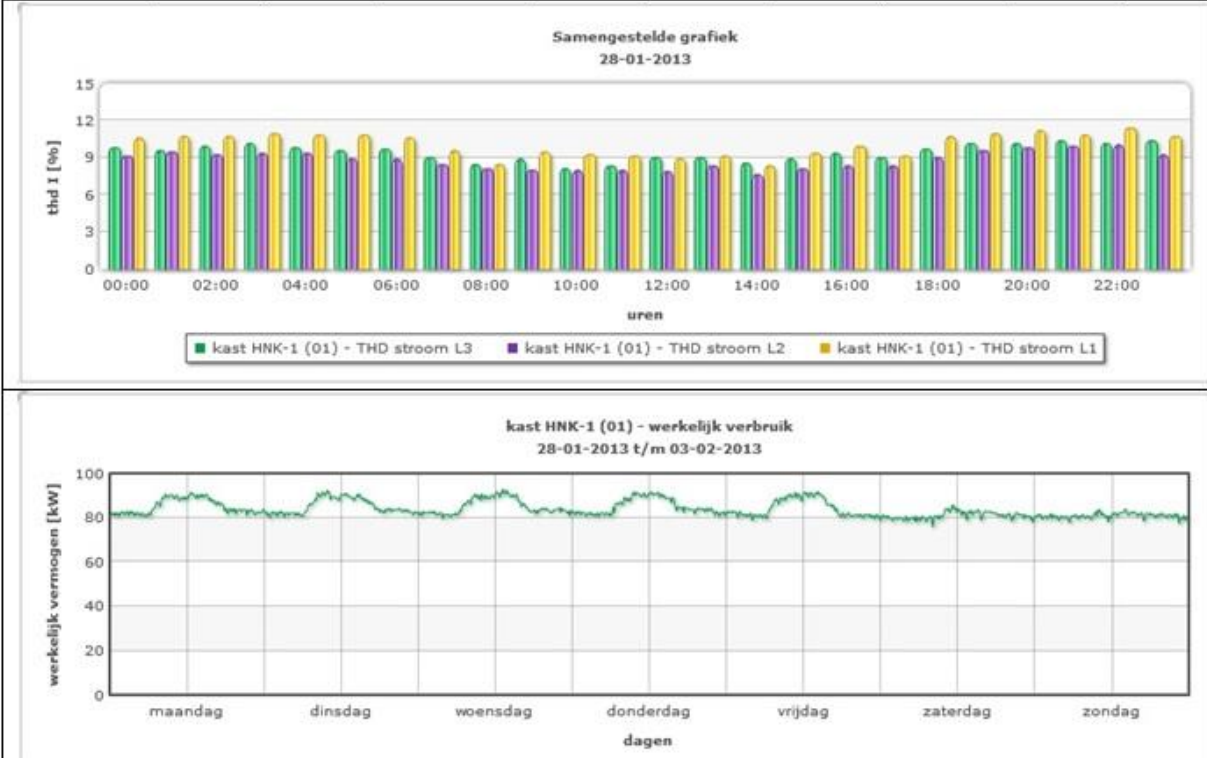
Noodbelasting (verdeelkast HNK-1)

In tabel 28 zijn de gemeten data aangegeven die noodzakelijk zijn voor het vaststellen van de harmonische limieten voor spanning en stroom op verdeelkast HNK-1. De gemiddelde maximale kW demand tegen 12:00 uur op een normale werkdag is 90,55 kW (tabel 28). Uit tabel 28 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U₁ tegen 12:00uur 3,55% was. Deze waarde is groter dan de maximale waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens de IEEE 519-1992, tabel 11-1(zie tabel 21). De totale stroomharmonische van I₁ bedroeg tegen 12:00uur 9,05% van de basiswaarde. Volgens tabel 24 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 9,05% acceptabel is. De maximale kortsluitstroom (I_{SC}) op het punt van gemeenschappelijk koppeling is:

I_{SC} = 28129A (dit, aangezien transformator 1 ook kast HNK-1 van elektrische energie voorziet.) Toepassing van formule 12 geeft voor I_L : 220,58 A. De waarde van I_{SC} / I_L is: 127. De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 24 tussen 100 en 1000. Individuele harmonischen mogen voor deze waarde maximaal 12% bedragen en voor de TDD 15%. Voor het bepalen van de TDD wordt het schijnbaar vermogen op dat tijdstip gebruikt. Voor verdeelkast HNK-1 bedroeg de TDD- waarde op dat tijdstip: $0,0905 \times 96\% = 8,68\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 15% voor TDD.

1

28/1/13	12:00	90,12	24,24	93,34	226,8	252	244,6		
		Maximaal							
		P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
		95,01	25,55	97,34	244,8	262,8	256,8		
		THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)	THD I ₃ (%)	THD I _{gem} (%)
		3.55	3.68	3.55	3.59	9.05	7.9	8.98	8.64



Noodbelasting (verdeelkast HNK-2)

In tabel 29 zijn de gemeten data aangegeven die noodzakelijk zijn voor het vaststellen van de harmonische limieten voor de spanning en stroom op verdeelkast HNK-2. De gemiddelde maximale kW demand tegen 12:00 uur op een normale werkdag is 43,42 kW (tabel 26). Uit tabel 26 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U_2 tegen 12:00 uur 3,35% was. Deze waarde is groter dan de maximale waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens de IEEE 519-1992, tabel 11-1 (zie tabel 21). De totale stroomharmonische van I_1 bedroeg tegen 12:00 uur 17,88% van de basiswaarde. Volgens tabel 24 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 17,88% acceptabel is.

Tabel 29: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor noodverdeelkast HNK-2

Demand verdeelkast HNK-2									
Datum	Tijd	P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
11/2/'13	12:00	42	6,47	42,50	115,6	103,4	109,8		
		Maximaal							
		P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
		45,36	7,92	45,92	126	120	123		
		THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)	THD I ₃ (%)	THD I _{gem} (%)
		3,55	3,35	3,37	3,42	16,41	17,88	16,77	17,02

Samengestelde grafiek
11-02-2013

uren

■ HNK-2 - THD stroom L1 ■ HNK-2 - THD stroom L2 ■ HNK-2 - THD stroom L3

HNK-2 - werkelijk verbruik
11-02-2013 t/m 17-02-2013

maandag dinsdag woensdag donderdag vrijdag zaterdag zondag

dagen

Datum	11/2/'13	12/2/'13	13/2/'13	14/2/'13	15/2/'13	16/2/'13	17/2/'13	Gemiddeld
kW	42	43,8	43,56	44,4	43,32	40,44	35,64	43,42

De maximale kortsluitstroom (I_{SC}) op het punt van gemeenschappelijke koppeling is:

$I_{SC} = 28129\text{A}$ (dit, aangezien transformator 1 ook kast HNK-2 van elektrische energie voorziet.)

Toepassing van formule 12 geeft voor I_L : 105,77 A. De waarde van I_{SC} / I_L is: 267,89. De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 21 tussen 100 en 1000. Individuele harmonischen mogen voor deze waarde maximaal 12% bedragen en voor de TDD 15%. Voor het bepalen van de TDD wordt het schijnbaar vermogen op dat tijdstip gebruikt. Voor verdeelkast HNK-2 bedroeg de TDD- waarde op dat tijdstip ten opzichte van de maximale waarde: $0.0178 \times 93\% = 16.55\%$.

Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde boven de toegestane maximale limiet van 15% voor TDD. De belasting van HNK-2 is kleiner dan van HNK-1, maar

de niet-lineaire be-lastingen van HNK-2 zijn veel meer ten opzichte van HNK-1. De UPS-installaties, de servers van de datacenter en een deel van de rectifiers zijn op HNK-2 aangesloten. Ter vermindering van de harmonische kunnen er filters geplaatst worden nabij kast HNK-2. Een andere optie is het herbekabelen vanaf de ATS naar verdeelkast HNK-2 met kabels van grotere diameter dan de be-staande kabels van: $Y_{mvK} \quad 3(2 \times 1 \times 70) + 1 \times 70 \text{ mm}^2$ ongeveer 10 meter lang en $Y_{mvK} \quad 3(2 \times 1 \times 50) + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ van ongeveer 60 meter lang (zie bijlage 8). Daarnaast kan ook de bekabeling naar de datacenter vervangen worden met kabels van grotere diameter. Dit, mede doordat de voedingskabels niet kortsluitvast zijn volgens tabel 20. (namelijk de kabel van Kast NK2-1.2 naar kast NK2-1.2-2).

Kritische belasting HK-1 groep 2(verdeelkast LS)

In paragraaf 3.4 is aangegeven dat op groep 2 het gebouw aan de Keizerstraat is aangesloten. Verdeelkast LS voorziet de belasting welke 1 x 24 uur in bedrijf moet zijn van energie (zoals apparatuur en de koeling) ter garantie van de dienstverlening.

In tabel 30 zijn de gemeten data aangegeven die noodzakelijk zijn voor het vaststellen van de harmonische limieten voor de spanning en stroom op verdeelkast LS. Uit de meetresultaten (tabel 36) blijkt dat de maximale demand op dagbasis zich tussen 10:00 uur en 13:00 uur 's middags manifesteert. De demand waarden omstreeks 12:00 uur zijn in tabel 30 aangegeven.

Tabel 30: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor verdeelkast LS

Demand verdeelkast LS							
Datum	Tijd	P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
5/12/'12	12:00	66,84	31,68	73,97	187	197	185
		Maximaal					
		P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
		76,32	34,56	83,20	223,2	228	223,2
		THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)
3,17	3,41	3,11	3,23	4,5	4,17	3,47	4,05

Samengestelde grafiek
05-12-2012

Legend: HK 1 groep 2 (01) - THD stroom L3, HK 1 groep 2 (01) - THD stroom L2, HK 1 groep 2 (01) - THD stroom L1

HK 1 groep 2 (10) - werkelijk verbruik
23-07-2012 t/m 29-07-2012

Datum	23/7/'13	24/7/'13	25/7/'13	26/7/'13	27/7/'13	28/7/'13	29/7/'13	Gemiddeld
kW	61.2	60.4	66.4	64.4	66.4	27.6	29.2	63.76

Vergelijking van het kW verbruikspatroon uit tabel 27 gedurende een week (23 – 7 - 2012 t/m 29 – 7 – 2012) met het kW verbruik van 5 – 12 – 2012 bevestigt wederom een nagenoeg vast demand aan energie tegen 12:00 uur op normale werkdagen. De gemiddelde maximale kW demand tegen 12:00 uur op een normale werkdag is 63.76kW (tabel 30). Uit tabel 30 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U₁ tegen 12:00uur 3,17% was. Deze waarde is nog net groter dan de maximale waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens de IEEE 519-1992, tabel 11-1 (zie tabel 21). De totale stroomharmonischen van I₁ bedroegen tegen 12:00 uur 4,5% van de basiswaarde. Volgens tabel 24 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 4,5% acceptabel is. De maximale kortsluitstroom (I_{SC}) op het punt van gemeenschappelijk koppeling is: I_{SC}28129A (dit, aangezien transformator 1 ook kast

LS van elektrische energie voorziet.) Toepassing van formule 12 geeft voor I_L : 155,32 A. De waarde van I_{SC} / I_L is: 181,10. De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 21 tussen 100 en 1000. Individuele harmonischen mogen voor deze waarde maximaal 12% bedragen en voor de TDD 15%. Voor het bepalen van de TDD wordt het schijnbaar vermogen op dat tijdstip gebruikt. Voor verdeelkast LS bedroeg de TDD- waarde op dat tijdstip ten opzichte van de maximale waarde: $0,045 \times 88,9\% = 4\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 15% voor TDD.

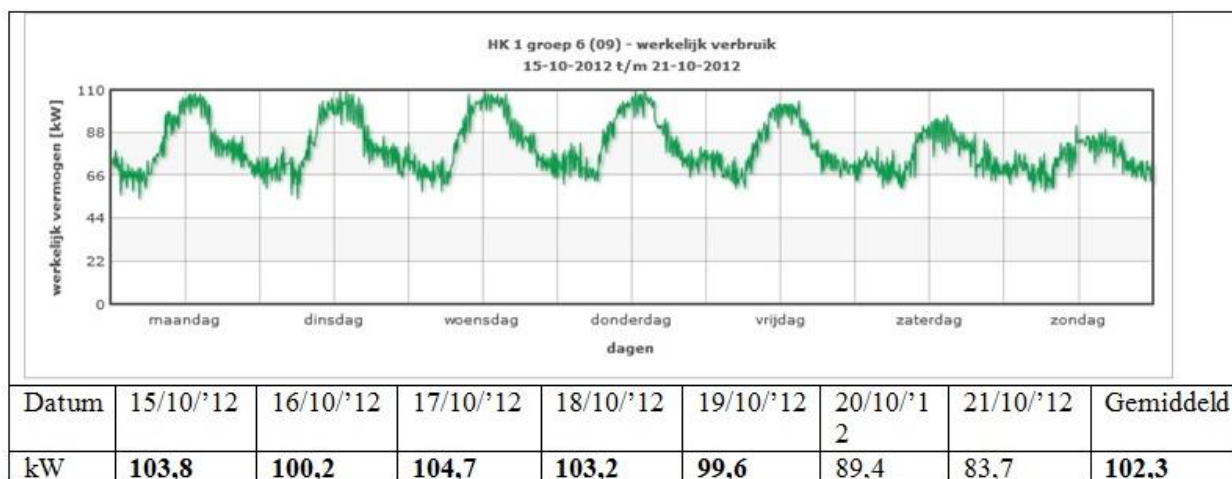
Kritische belasting HK-1 groep 6 (verdeelkast KK-4)

In paragraaf 3.4 is aangegeven dat op groep 6 het gebouw aan de Knuffelsgracht is aangesloten. Deze eindgroep zorgt onder andere ervoor dat de energievoorziening van vooral de airconditioning (ten behoeve van apparatuur in de centrale) gegarandeerd blijft ongeacht energieonderbreking vanuit de N.V. E.B.S. Dit, ter garantie van de dienstverlening. In tabel 31 zijn de gemeten data aangegeven die noodzakelijk zijn voor het vaststellen van de harmonische limieten voor de spanning en stroom op verdeelkast KK-4.

Tabel 31: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor verdeelkast KK-4

Demand verdeelkast KK-4									
Datum	Tijd	P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
18/2/'13	12:00	100,20	88,07	131,72	384,29	352,72	394,42		
		Maximaal							
		P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
		157,55	138,47	207,1	543,56	498,90	557,88		
		THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)	THD I ₃ (%)	THD I _{gem} (%)
		2,61	2,63	2,52	2,59	9,88	7,08	9,53	8,83

Vergelijking van het kW verbruikspatroon uit figuur 40 gedurende een week (15– 10 - 2012 tot 21 – 10 – 2012) met het kW verbruik van 18 – 2 – 2013 bevestigt wederom een nagenoeg vaste demand aan energie tegen 12:00 uur op normale werkdagen.



Figuur 40: Demand waarden verdeelkast op HK 1 groep 6 gedurende normale werkdagen en het weekend

De gemiddelde maximale kW demand tegen 12:00 uur op een normale werkdag is 102,3 kW (figuur 38). Uit tabel 31 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U_1 tegen 12:00 uur 2,61% was. Deze waarde is kleiner dan de maximale waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens de IEEE 519-1992, tabellen 10-3 en 11-1 (zie tabellen 26 en 29). De totale stroomharmonischen van I_1 bedroegen tegen 12:00 uur 9,88% van de basiswaarde. Volgens tabel 21 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 9,88% acceptabel is. De maximale kortsluitstroom (I_{SC}) op het punt van gemeenschappelijk koppeling is: $I_{SC} 28129A$ (dit, aangezien transformator 1 ook groep 6 van elektrische energie voorziet.) Toepassing van formule 12 geeft voor I_L : 249,21 A. De waarde van I_{SC} / I_L is: 112,87. De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 24 tussen 100 en 1000. Individuele harmonischen mogen voor deze waarde maximaal 12% bedragen en voor de TDD 15%. Voor het bepalen van de TDD wordt het schijnbaar vermogen op dat tijdstip gebruikt. Voor verdeelkast KK4 bedroeg de TDD-waarde op dat tijdstip ten opzichte van de maximale waarde: $0,0988 \times 63,6\% = 6.28\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 15% voor TDD.

4.2.4 THD gemeten op de belasting van transformator 2

Op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-2 zijn er ook harmonische metingen uitgevoerd waarbij de standaardlimieten volgens IEEE 519 zijn toegepast. Echter, mag de norm niet gehanteerd worden voor het meten van harmonische in delen van een elektrische installatie. Deze metingen zijn slechts uitgevoerd om een indicatie te krijgen welke eindgroepen de meeste spannings- en stroomharmonischen produceren.

Verdeelkast HKL-1

Deze groep is gemeten om na te gaan wat de harmonische invloed is van de verlichting (met onder andere elektronische ballasten op 3^e etage kast Lk-3) en computers aangesloten op de elektrische installatie. In tabel 32 zijn de gemeten data aangegeven die noodzakelijk zijn voor het vaststellen van de harmonische limieten voor de spanning en stroom op verdeelkast HKL-1. Uit de meetresultaten (tabel 32) blijkt dat de maximale demand op dagbasis zich tussen 10:00 uur en 13:00 uur 's middags manifesteert. De demand waarden omstreeks 11:00 uur zijn in tabel 32 aangegeven.

Tabel 32: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en spanningsharmonischen voor verdeelkast HKL-1

Demand verdeelkast HKL-1									
Datum	Tijd	P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
19/2/'13	11:00	139	80	160	405	385	422		
		Maximaal							
		P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)		
		147	100	177	510	479	511		
		THD U ₁ (%)	THD U ₂ (%)	THD U ₃ (%)	THD U _{gem} (%)	THD I ₁ (%)	THD I ₂ (%)	THD I ₃ (%)	THD I _{gem} (%)
		3,13	3,25	3,35	3,24	6,1	7,5	6,1	6,5

Samengestelde grafiek
19-02-2013

uren

■ Kast HKL-1 (2e meting) - THD stroom L1 ■ Kast HKL-1 (2e meting) - THD stroom L2 ■ Kast HKL-1 (2e meting) - THD stroom L3

Kast HKL-1 (2e meting) - werkelijk verbruik
18-02-2013 t/m 24-02-2013

dagen

Datum	18/2/'13	19/2/'13	20/2/'13	21/2/'13	22/2/'13	23/2/'13	24/2/'13	Gemiddeld
kW	132	139	132	113	130	81	73	129,2

Vergelijking van het kW verbruikspatroon uit tabel 27 gedurende een week (18 – 2 – 2013 t/m 24 – 2 – 2013) met het kW verbruik van 5 – 12 – 2012 bevestigen wederom een nagenoeg vast demand aan energie tegen 12:00 uur op normale werkdagen .

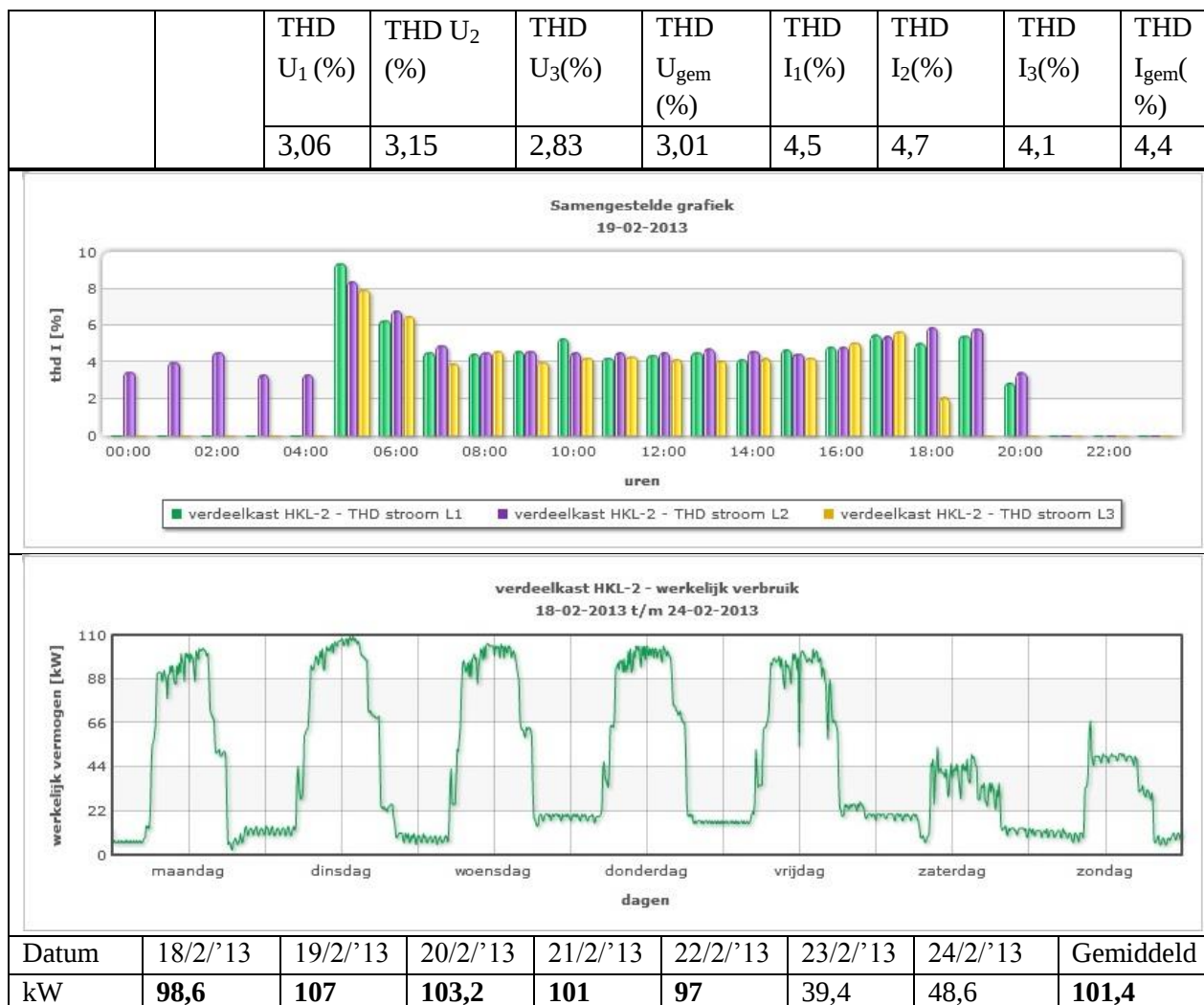
De gemiddelde maximale kW demand tegen 11:00 uur op een normale werkdag is 129,2 kW (tabel 32). Uit tabel 32 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U_2 tegen 12:00uur 3,25% was. Deze waarde is groter dan de maximale waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens de IEEE 519-1992, tabel 11-1 (tabel 21). De totale stroomharmonischen van I_2 bedroegen tegen 11:00uur 7,5% van de basiswaarde. Volgens tabel 24 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 7,5% acceptabel is. Transformator 2 heeft dezelfde (kVA) capaciteit als transformator 1. De maximale kortsluitstroom (I_{SC}) op het punt van gemeenschappelijk koppeling is: $I_{SC} 28129A$ (dit, aangezien transformator 2 kast HKL-1 van elektrische energie voorziet.) Toepassing van formule 12 geeft voor I_L : 314,74A. De waarde van I_{SC} / I_L is: 89. De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens tabel 24 tussen 50 en 100. Individuele harmonische mogen voor deze waarde maximaal 10% bedragen en voor de TDD 12%. Voor het bepalen van de TDD werd het schijnbaar vermogen op dat tijdstip gebruikt. Voor verdeelkast HKL-1 bedroeg de TDD- waarde op dat tijdstip ten opzichte van de maximale waarde: $0,075 \times 90,4\% = 6,78\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 15% voor TDD.

Verdeelkast HKL-2

Deze groep is gemeten om na te gaan wat de harmonische invloed is van de verlichting (met onder andere elektronische ballasten) en computers aangesloten op de elektrische installatie (2^e etage kast Lk-2. In tabel 33 zijn de gemeten data aangegeven die noodzakelijk zijn voor het vaststellen van de harmonische limieten voor de spanning en stroom op verdeelkast HKL- 2. Uit de meetresultaten (tabel 33) blijkt dat de maximale demand op dagbasis zich tussen 10:00 uur en 13:00 uur 's middags manifesteert. De demand waarden omstreeks 11:00 uur zijn in tabel 33 aangegeven.

Tabel 33: Gemeten data ter bepaling van de stroom- en en spanningsharmonischen voor verdeelkast HKL-2

Demand verdeelkast HKL-2							
Datum	Tijd	P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)
19/2/'13	13:00	107	66	126	336	334	306
		Maximaal					
		P(kW)	Q(kVAr)	S(kVA)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)
		109	68	129	342	350	314



De gemiddelde maximale kW demand tegen 13:00 uur op een normale werkdag is 101,4 kW (tabel 39). Uit tabel 33 blijkt dat de totale spanningsharmonische voor U₂ tegen 13:00uur 3,15% was. Deze waarde is groter dan de maximale waarde van 3% voor individuele spanningsharmonische volgens de IEEE 519-1992, tabel 11-1 (zie tabel 21). De totale stroomharmonischen van I₂ bedroegen tegen 12:00uur 4,7% van de basiswaarde. Volgens tabel 21 moet de I_{SC} / I_L waarde berekend worden ter toetsing of de THDI- waarde van 4,7% acceptabel is. De maximale kortsluitstroom (I_{SC}) op het punt van gemeenschappelijke koppeling is: I_{SC} = 28129A (dit, aangezien transformator 2 ook kast HKL-2 van elektrische energie voorziet.) Toepassing van formule 12 geeft voor I_L : 247,01 A. De waarde van I_{SC} / I_L is: 113,88. De waarde van I_{SC} / I_L ligt volgens table 26 tussen 100 en 1000. Individuele harmonischen mogen voor deze waarde maximaal 12% bedragen en voor de TDD 15%. Voor het bepalen van de TDD werd het schijnbaar vermogen op

dat tijdstip gebruikt. Voor verdeelkast HKL-2 bedroeg de TDD- waarde op dat tijdstip ten opzichte van de maximale waarde: $97\% \times 0,047 = 4,58\%$. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt deze waarde binnen de toegestane maximale limiet van 15% voor TDD.

4.3 Elektromagnetische compatibiliteit

(EMC) Elektromagnetische Compatibiliteit(EMC) wordt gedefinieerd als het vermogen van een installatieonderdeel, apparaat of systeem om in de directe werkomgeving naar behoren te kunnen functioneren, zonder zelf ontoelaatbare elektromagnetische stoorsignalen uit te zenden die de werking van andere onderdelen, apparaten of systemen in de directe omgeving negatief beïnvloeden volgens norm (IEC 61000). In 4.3.1 worden de verschijnselen van EMC beschreven. De elektromagnetische invloed die de apparaten onderling kunnen uitoefenen is in 4.3.2 beschreven. 4.3.3 geeft aan op welke wijze EMC bereikt kan worden in een installatie.

De belangrijkste bron is: *Electromagnetische Compatibiliteit (Schneider)*

http://www.induteq.nl/induteq/bestanden/48_1_1.pdf.

4.3.1 Beschrijving van EMC- verschijnselen

Elk systeem bestaat uit onderdelen die samengevoegd zijn om een specifieke functie te vervullen. Bekeken vanuit elektromagnetisch opzicht, bestaat elk systeem uit elementen die met elkaar in contact staan en een voedingsdeel. De elektrische voeding, de verbindingen tussen de verschillende onderdelen en het toegepaste materiaal maken deel uit van het systeem.



Figuur 41: EMC- storingsniveaus

In figuur 41 wordt aangegeven dat elk apparaat een bepaalde immuniteit dient te bezitten, zodat het niet gestoord wordt door de elektromagnetische omgeving. Het apparaat mag maar een bepaalde mate van storing afgeven aan de omgeving, zodat andere apparaten in de omgeving niet gestoord worden.

Typen van elektromagnetische storing

Een elektromagnetische storing wordt gedefinieerd als alle elektromagnetische verschijnselen, die de prestaties van een apparaat, installatie of systeem verminderen. Een elektromagnetische storing kan een elektrische ruis, een ongewenst signaal of een wijziging van overdracht zijn.

Elektromagnetische storing is anders gezegd een ongewenst elektrisch signaal bovenop een gewenst elektrisch signaal. Dit ongewenste signaal verspreidt zich door geleiding in kabels en straling door de lucht. Hierna volgen typen van elektromagnetische storingen:

1. Bronnen van elektromagnetische emissie
2. Laagfrequentie (LF) storingen
3. Hoogfrequentie (HF) storingen
4. Harmonischen
5. Transiënten
6. Elektrostatische ontladingen
7. Storingen in laagspanningsvoeding

In bijlage 11 is er een nadere toelichting van de bovengenoemde zeven typen elektromagnetische storingen.

4.3.2 De elektromagnetische invloed van installatie onderdelen en apparaten onderling

Apparaten kunnen elkaar onderling beïnvloeden in de installatie van Telesur, indien gevoelige apparatuur (lage immuniteit) aangesloten is op een voeding, waarbij naast deze apparatuur tevens een ander type apparatuur is aangesloten. Hierdoor kan een opgewekte storing van verschillende vermogensapparaten (airco compressoren, microwave etc.) over de voedingslijnen naar de gevoelige apparatuur worden geleid. Een ander type geleidingskoppeling kan ook plaatsvinden via massa- en aardcircuits. Bij massa-aansluitingen is er een koppeling van de massa met de constructie van de installatie en wordt die uiteindelijk verbonden met de aarde middels geleiders. De geleiders hebben een impedantie die ongelijk is aan nul. Dit veroorzaakt een potentiaalverschil tussen massa- en aardaansluitingen en tussen massa-aansluitingen onderling. Deze potentiaalverschillen veroorzaken parasitaire stromen door de verschillende circuits. Koppeling door stralingsstoring kan tevens storingen in naburige apparatuur veroorzaken.

Geleidingskoppeling

Bij geleidingskoppeling wordt de geleidingsstoring geleid door een elektrische geleider. Hierbij kan een (gewenst of ongewenst) signaal via differential mode of via common mode over een tweegeleiderssysteem worden verplaatst. Differential mode oftewel seriële stromen vloeien door

een van de geleiders, vervolgens door de apparatuur (waar eventueel een storing kan ontstaan) en vloeien vervolgens door de andere geleider terug. Common mode stromen vloeien door al de geleiders in dezelfde richting en keren via parasitaire capaciteiten en de massa- aansluitingen terug. Common mode storingen zijn over het algemeen het grootste probleem in EMC, omdat de route van dergelijke storingen moeilijk te ontdekken is.

Stralingskoppeling

Uitgestraalde storing legt een stralingsspad af door de omgeving (lucht etc.). Afhankelijk van de aard van de uitgestraalde storing is er sprake van inductieve koppeling of capacitieve koppeling. Tussen elektrische circuits (kabels, componenten) en andere naburige circuits (geleiders, massa, etc.) bestaat altijd een bepaalde parasitaire capaciteit. Hoewel de parasitaire capaciteit tussen de circuits verwaarloosbaar is bij 60 Hz, wordt deze capaciteit belangrijker bij hoge frequentie (HF) en verstoort deze correct functioneren van de installatie.

4.3.3 Bereiken van EMC in de installatie

Voor het onderzoeken van de EMC van de elektrische installatie zijn er een aantal belangrijke aspecten gecontroleerd in de installatie van Telesur C1. Hierna zijn de aspecten belicht die in acht genomen dienen te worden voor het bereiken van EMC in een elektrische installatie.

Aardingssysteem

Voor het bereiken van LF- en HF- potentiaalvereffening voor een gebouw, moeten alle metalen delen van de gebouwen verbonden zijn aan het aardingssysteem (stalen frames, betonijzer, metalen deuren, etc.). Bij Telesur te C1 is bij de gebouwen deze methode toegepast voor het bereiken van LF- en HF- potentiaalvereffening.

Voor het bereiken van LF- en HF- potentiaalvereffening voor apparatuur of machines in een gebouw, moeten alle geleidende metalen delen van apparaten en andere massa's aan elkaar verbonden worden en aangesloten worden op de potentiaalvereffeningsring. Elke vendor van apparatuur heeft een bepaalde methode van aarden van het apparaat (volgens Amerikaanse of Europese standaarden). De verbindingen moeten schoon zijn en zoveel mogelijk bestaan uit metaal - op - metaal - verbinding door middel van moerbevestiging. De verbindingen van de massa's moeten bestaan uit korte brede massieve strips of gevlochten strips. Deze massa's moeten verbonden zijn aan het aardingssysteem. In het gebouw aan de Knuffelsgracht zijn de meeste metalen frames van kasten, metalen kabelgoten, kabelbanen en kabelladders, metalen constructies verbonden met elkaar via de ground window (zie figuur 42). De machineconstructies zoals indoor unit van airconditioning in Hoogbouw Heiligenweg en de aarding van de elektrische belasting zijn

verbonden aan de potentiaalvereffeningsring. In de gebouwen op C1 zijn de meeste verbindingen tussen kast en kastdeur (ten behoeve van GSM etc.) middels aarddraden (zie figuur 43). De verbindingen tussen kabelbanen bestaan uit metalen strips en aarddraden (zie figuur 43). De meeste kabelladders en kabelgoten in het gebouw aan de Knuffelsgracht hebben (van de fabriek uit) een laagje coating (geschilderd laagje). Hierdoor is de verbinding niet overal volledig massa - op - massa.



Figuur 42: Ground Window



Figuur 43: Verbindingen tussen massadelen (scharnieren en kabelbanen)

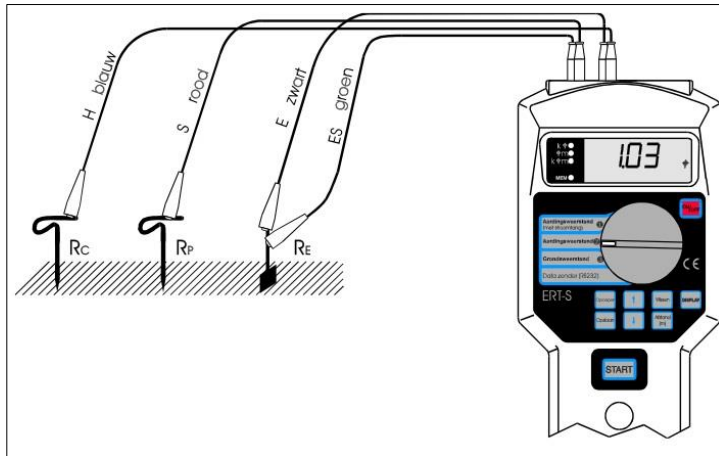
De algehele analyse van de aardingsinstallatie, potentiaalvereffening en bliksemafleidingsinstallatie valt buiten de scope van dit project. Het Telesurcomplex is middels de meerpuntsaardingsmethode geaard. Er zijn wel aardweerstandsmetingen uitgevoerd. De metingen zijn verricht met een aardweerstandstester van het merk Nieaf- Smitt (zie figuur 44).



Figuur 44: Nieaf-Smitt ERT-S Aardingsweerstandsmeter

De aardweerstand is gemeten en vergeleken met de maximale toegestane veilige aardweerstand (volgens de norm). De driepuntsaardingsweerstandsmeting is uitgevoerd. De instelling en uitvoering van deze meting geschiedt als volgt:

1. Sluit het meetsysteem conform het aansluitschema in figuur 45 aan op het testobject.



Figuur 45: Driepuntsaardingsweerstandsmeting

2. Draai de keuzeschakelaar in de stand [aardingsweerstand].
3. Druk op de [START] toets en laat het weer los.
4. Het meetresultaat verschijnt op het display. Lees het resultaat af, sla het, indien gewenst, op en noteer eventueel de geheugencodes.
5. Maak het testobject los of voer opnieuw een test uit.

De maximale toegestane aardweerstandswaarde wordt met de volgende formule bepaald:

$R_a = \frac{25}{I_N} = \frac{25}{1000} = 0,025\Omega$. De gemeten aardingsweerstandswaarde (in de aardput nabij het bromfietsenhok op het terrein) bedroeg $0,05\Omega$. Hieruit wordt geconcludeerd dat de aardingsweerstandswaarde verbeterd dient te worden tot een waarde van maximaal $0,025\Omega$.

Voeding

Het is belangrijk dat de voeding kwalitatief goed is en in voldoende mate beschikbaar is. Hiermee wordt mede het correct functioneren van de installatie bereikt. In gevallem waarbij apparatuur wordt toegepast die zeer gevoelig is of welke veel storing opwekt, moeten de voedingen gescheiden worden. In de installatie van C1 is de meeste belasting niet-lineair.

Verdeelkast

Voor aansluitingen in de verdeelkast is het belangrijk de potentiële stoorbronnen te identificeren en het type storing te bepalen. Het is ook belangrijk de ingangskabels (signalen die de kast binnenkomen) en de uitgangskabels te identificeren. Daarbij kan het type van het signaal in deze kabels verdeeld worden in klassen, t.w; gevoelig, licht-gevoelig, storend en licht-storend.

Voorbeelden voor gevoelig kunnen zijn: regulatoren, Programmeerbare Logische Controllers (PLC)

Voorbeelden voor storend kunnen zijn: geschakelde voedingen en voedingskabels. Kabels die storende signalen voeren moeten bij het betreden van de kast via de kabelingen gefilterd worden. Bij kleine kasten is het handig om de gevoelige en storende signalen te scheiden. Dit kan geschieden door het plaatsen van een metalen paneel welke op verscheidene punten geaard is, ter reducering van de storingen. Bij grote kasten is het handig de verschillende klassen kabels in aparte kasten te plaatsen. Hierdoor worden storende en gevoelige kasten van elkaar gescheiden. Nadat de verschillende kabels zijn ingedeeld in klassen, moeten deze in aparte kabelgoten geplaatst worden, waarbij er voldoende afstand tussen de kabelgoten wordt gelaten. Bij Telesur te C1 is er sprake van grote kasten. Daarbij zijn gevoelige en storende signaalkabels alsook gevoelige en storende systemen apart aangelegd. Echter, lopen de voedingskabels (storende signaalkabels) van een systeem die gevoelige signalen produceert / ontvangt op bepaalde plaatsen in dezelfde kabelgoot of kabelbaan (zie figuur 46).



Figuur 46:Kabels met gevoelige en storende signalen aan dezelfde kabelbaan zij aan zij bevestigd

Kabels

Bij lage frequentie (60Hz) speelt de doorsnede van de geleider een belangrijke rol voor de prestaties van de kabel (zie ook subparagraaf 2.4.2) . De stroom wordt gevoerd door de gehele geleiderdoorsnede bij lage frequentie. Bij hoge frequentie wordt het zogenaamde “skin effect” doorslaggevend. Het “skin effect” geeft aan dat de hoogfrequentiestromen alleen gevoerd worden door het buitenste oppervlak van de geleiderdoorsnede.

De verschillende kabels van de installatie en de belasting kunnen opgedeeld worden in vier klassen, t.w:

1. Gevoelig (laagsignaalcircuits met analoge uitgangen, meetcircuits (sensoren)),
2. Licht-gevoelig (digitale laagsignaalcircuits, laagsignaalcircuits met TOR-uitgangen (internet gateway, etc),
3. Licht-storend (wisselspanningsvoedingen, voedingen van vermogensapparatuur, circuits met inductieve belasting en bijbehorende beveiliging (relais, magneetschakelaars)

4. Storend (schakelende voedingen).

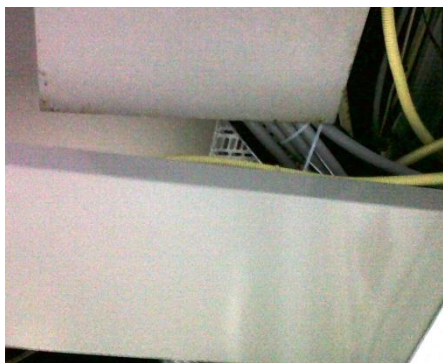
Ter bevordering van EMC in een installatie zijn er tien regels die toegepast kunnen worden met betrekking tot bekabeling.

1. Zorgen voor hoogfrequente en laagfrequente potentiaalvereffening van geleidende delen (massa's).
2. Er mogen nooit gevoelige signaalklassen (1 en 2) en storende klassen (3 en 4) tezamen in dezelfde bundel van geleiders. De rode en witte signaalkabels zijn in dezelfde bundel geleiders met de voedingskabels (zie figuur 46).
3. Minimaliseer de afstand van parallel lopen van kabels van verschillende signaalklassen. Gevoelig (klassen 1 en 2) en storend (klassen 3 en 4).
4. Maximaliseer de afstand tussen kabels, die verschillende signaalklassen geleiden (in het bijzonder gevoelige en storende signalen). Dit is een effectieve en relatief goedkope oplossing. Hoe langer de parallelle afstand tussen de kabels, hoe groter de afstand tussen de kabels. Echter is vanwege ruimtegebrek deze oplossing niet altijd praktisch uitvoerbaar.
5. Minimaliseer het oppervlak van massalussen. Zorg voor een continuïteit van de massa tussen kasten, machines, apparaten. Voer alle geleiders zo dicht mogelijk langs de massa van het ene naar het andere eind (aardvlak in kast, geleidende delen van metalen, potentiaalvereffeningsstructuur voor machine of gebouw, kabelgoten, etc.).
6. De uitgaande geleider moet altijd zo dicht mogelijk bij de teruggaande geleider worden geplaatst. Het toepassen van meeraderige kabels zorgt reeds ervoor dat uitgaande en retour geleiders over de gehele lengte naast elkaar liggen.
7. Toepassen van afgeschermd kabels maakt het mogelijk kabels van verschillende klassen in één kabelgoot te plaatsen. Bij Telesur zijn de verschillende kabels niet allemaal afgeschermd kabels, doch op enkele plaatsen in één kabelgoot geplaatst in het gebouw aan de Knuffelsgracht.
8. Aansluiten van de kabelafscherming aan beide uiteinden op massa. Dit maakt het mogelijk om kabels met verschillende signaalklassen (uitgaande van een goede 360 gradenverbinding en goede potentiaalvereffening dichtbij elkaar te plaatsen. Hierdoor is er geen potentiaalverschil tussen kabel en massa. Het is hierbij belangrijk om zoveel mogelijk verbindingen te maken tussen kabelafscherming en massa. Er kan een groot potentiaalverschil ontstaan aan het eind van een niet - geaarde afscherming. Het is gevaarlijk en volgens IEC 364 niet toegestaan om slechts een zijde te verbinden met massa.

9. In een kabel behoort elke ader (bijvoorbeeld voedingskabel van hoofdverdeelkast naar sub-verdeelkast) die niet gebruikt zal worden, altijd aan beide zijden verbonden te worden met de massa.
10. Zorg ervoor dat geleiders of kabels met signalen van verschillende klassen elkaar onder rechte hoeken kruisen, in het bijzonder voor gevoelige signalen (1-2) en storende signalen (3-4).

Kabelgoten

Er is aangeraden om metalen kabelgoten te gebruiken in plaats van pvc-kabelgoten. Het correct aansluiten van metalen kabelgoten en buizen biedt een effectieve afscherming van kabels. Zelfs de beste metalen kabelgoot is inefficiënt als de eindverbindingen van slechte kwaliteit zijn. De uiteinden van metalen kabelgoten, buizen etc. op kasten moeten met bouten op de kast (massa) worden vastgezet (in plaats van aardingskabels) ter verkrijging van een doeltreffende aansluiting. Op enkele plaatsen zijn er aardingskabels toegepast naast de fysieke massa–massa verbindingen. Verder is opgevallen dat gevoelige en storende kabels in dezelfde kabelgoot liggen (hoewel dit af te raden is). In zulke gevallen is het raadzaam de kabelgoot open te laten, (alle metalen kabelgoten zijn open bij Telesur. De uiteinden van een metalen kabelgoot of buis moeten elkaar overlappen en met bouten aan elkaar worden vastgezet. Indien het niet mogelijk is om de kabelgoten te laten overlappen en de uiteinden met bouten vast te zetten, dient er een korte brede metalen band onder elke geleider of kabel te worden geplaatst. Dit laatste is helaas niet overal het geval bij Telesur C1 (zie figuur 47).



Figuur 47: Niet -overlapt onderlinge overgang van kabelgoten met kabels

Verbindingen

De kwaliteit van de verbindingen is even belangrijk als de juiste kabels, afscherming en een goede aarding. Massaverbindingen moeten zo kort en breed mogelijk zijn. Het niveau van EMC in een installatie is mede afhankelijk van de (kwaliteit van de) koppeling tussen de verschillende circuits van de installatie. De koppeling tussen de verschillende circuits hangt direct af van de im-

pedantie tussen de circuits. De gebruikte geleiders en hun ruimtelijke positie hebben een doorslaggevende invloed op het elektromagnetische gedrag van de installatie. Een massalus is het oppervlak ingesloten door functionele kabels (voedings-, stuur- en communicatiekabels) en de massa in de directe omgeving. Het is van zeer groot belang om een groot aantal verbindingen tussen de massa's te hebben om hiermee het oppervlak van de lus zoveel mogelijk te verkleinen.

Filters

De inkomende en uitgaande kabels mogen niet langs elkaar worden geplaatst (ter voorkoming van interferentie). Filters moeten worden gemonteerd waar de kabels de verdeelkast binnengaan. Daarbij moeten de filters worden bevestigd aan de massa of het aard- of referentievlak van de verdeelkast (mits deze van metaal is).

4.4 Power Factor en Crest Factor

In deze paragraaf komen de 'Power Factor' en 'Crest Factor' aan de orde. In subparagraaf 4.4.1 wordt de 'Power Factor' behandeld. Daarbij zijn de oorzaken van een lage 'Power Factor' en de toegestane minimale 'Power Factor' (volgens de N.V. E.B.S.) behandeld. Verder wordt in deze subparagraaf de huidige 'Power factor' behandeld alsook verbetermethoden voor de huidige 'Power Factor'. In subparagraaf 4.4.2 wordt de 'Crest Factor' behandeld welke gemeten is op transformator 1 en transformator 2

4.4.1 Power Factor

De 'Power Factor' oftewel arbeidsfactor (of $\cos \varphi$) is een waarde die aangeeft hoe efficiënt een belasting stroom trekt uit een voedingsbron. Een hoge 'Power Factor' geeft aan dat het werkelijke energieverbruik in een hoge mate van efficiëntie plaatsvindt. Daarentegen geeft een lage 'Power Factor' een slechte mate van energieverbruik weer. Een lage power factor kan veroorzaakt worden door apparatuurontwerp of voorwaarden voor de bedrijfsvoering van een bepaalde belasting.

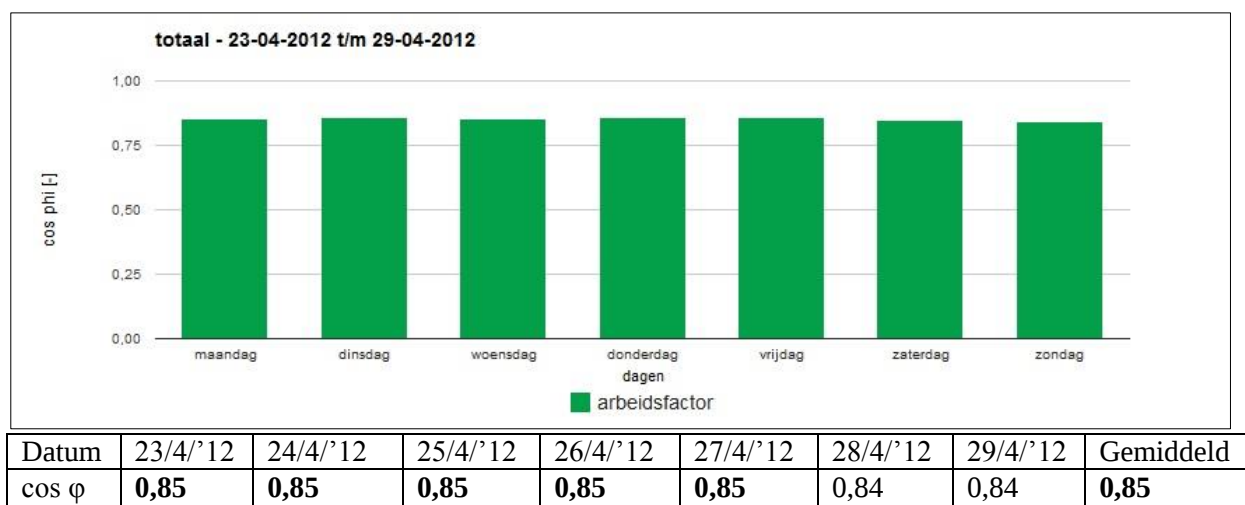
Oorzaken lage arbeidsfactor

In de meeste elektrische installaties veroorzaakt de niet-lineaire belasting een lage power factor zoals inductiemotoren (compressormotoren, pompmotoren, fanmotoren) en voorschakelapparaten van verlichting. Licht belaste (nagenoeg nullast werkende) inductiemotoren zijn een lage power factor en de grootste veroorzakers van slechte power factor. De factoren die de arbeidsfactor van een inductiemotor beïnvloeden zijn de grootte, het toerental en de belasting. Hoe hoger

het percentage van de nominale belasting van een inductiemotor hoe hoger de arbeidsfactor. Daarnaast kunnen harmonische stromen ook een negatieve impact hebben op de power factor.

Toegestane 'Power Factor' door N.V. E.B.S. en huidige 'Power Factor' waarde van Telesur

De minimale en maximale toegestane waarden, welke de N.V. E.B.S. hanteren voor $\cos \phi$ van grootverbruikers met hoogspanningsmeting (tarief 39) zijn: minimaal 0,79 en maximaal 1,10. De arbeidsfactor van de installatie van C1, welke door de energiemeter van de N.V. E.B.S. wordt gemeten, bedraagt $\pm 0,85$ en is in figuur 48 weergegeven. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de arbeidsfactor van Telesur binnen de toegestane grens zit.



Figuur 48: De arbeidsfactor van de totale belasting vanaf maandag 23 tot en met zondag 29 april 2012

Verbetermethoden voor arbeidsfactor

Het is opgevallen dat de arbeidsfactor ($\pm 0,85$) niet ver van de door de N.V. E.B.S. toegestane ondergrens is. Het verbeteren van de arbeidsfactor kan onder meer volgens de volgende methoden:

- ad1.** Het plaatsen van condensatorbatterijen. Daarbij zijn er drie (3) locaties waar de condensatorbatterijen kunnen worden geplaatst, namelijk:
 1. **Bij de hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2.** Dit is de zogenaamde globale compensatie, waarbij alles in één keer wordt gecompenseerd en de transformatoren geen last meer ondervinden van blindvermogen. Echter zullen bij deze methode de blindstromen nog steeds lopen van de hoofdverdeelkasten naar de installaties, waardoor de warmteverliezen van de blindstromen blijven. Afhankelijk van het aantal ingeschakelde niet-lineaire belastingen zal de arbeidsfactor moeten worden veranderd.
 2. **Bij de subverdeelkasten van HK-1 en HK-2.** Hierdoor raakt een deel van het elektriciteitsnet tussen de voedingsbron en betreffende verdeelkasten vrij van blindstroom. Bij

deze methode zullen de blindstromen nog steeds lopen van de subverdeelkasten naar de belasting. De warmteverliezen ten gevolge van de blindstromen zullen afnemen. Afhankelijk van het aantal ingeschakelde niet-lineaire belastingen zal de arbeidsfactor moeten worden veranderd.

3. Bij de bron van de slechte arbeidsfactor. Op deze locatie wordt de blindstroom bij het ontstaan aangepakt. De transformator waarop betreffende belasting is aangesloten heeft geen last meer van blindvermogen. Ten gevolge hiervan zal de blindstroom niet meer aanwezig zijn in de installatie en geen warmteverliezen meer aanwezig zijn ten gevolge van blindstroom, maar wel meer condensatorbatterijen nodig hebben. Deze methode is een duurdere oplossing, maar op termijn de voordeligste.

ad2. Voorkomen dat aircocompressoren in deellast werken (na bedrijfsuren airco uitdoen (zie ook paragraaf 3.3.3 figuur 26), indien de bedrijfsvoering dat toestaat).

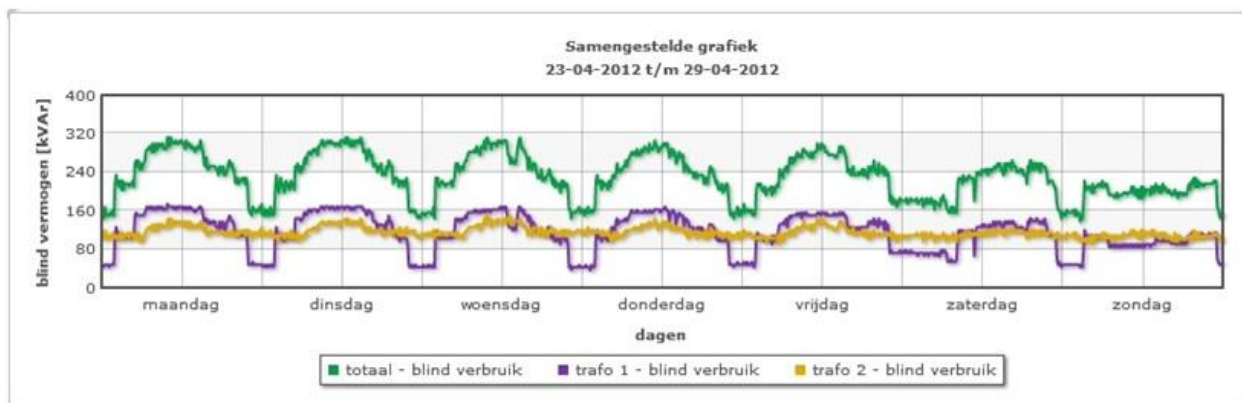
ad3. Nagaan of de bestaande airco's zodanig kunnen worden ingesteld dat het energieverbruik vermindert. Een andere mogelijkheid is om te onderzoeken of de bestaande airco's vervangen kunnen worden door energie- efficiëntere airco's (de zogenaamde economische airco's met met invertertechnologie).

ad4. Het toepassen van verlichtingsballasten met een hoge arbeidsfactor.

Bij dit project is de totale belasting een optelling van de belasting aangesloten op de transformatoren 1 en 2 , respectievelijk hoofdverdeelkasten HK-1 en HK-2. Het totale werkelijke energieverbruik op dagbasis bedraagt gemiddeld **9731,6 kWh**(zie figuur 49). Het totale blindenergieverbruik op dagbasis bedraagt gemiddeld **5778.8 kVArh**(zie figuur 50).



Figuur 49: Het werkelijk energieverbruik van de totale belasting



Datum	23/4/'12	24/4/'12	25/4/'12	26/4/'12	27/4/'12	28/4/'12	29/4/'12	Gemiddeld
kVAr	5869	5882	5761	5674	5708	5142	4699	5778.8

Figuur 50: Het blind energieverbruik van de totale belasting

Voor het toepassen van een arbeidsfactorverbeteringsinstallatie middels condensatorbatterijen, wordt de capaciteit van de condensatoren op een bepaalde methode berekend. Hierna volgt een arbeidsfactorverbeteringsinstallatie, zoals aangegeven bij het eerste punt van ad1 (plaatsen van condensatorbatterijen: **Bij de hoofdverdelkasten HK-1 en HK-2**).

Als eerst worden het werkelijk en blindvermogen van de totale belasting berekend/gemeten. Daarna kan het totaal schijnbaar vermogen worden berekend middels de volgende formule: $P_s = \sqrt{(P_w)^2 + (P_b)^2}$. Het schijnbaar vermogen kan ook worden gemeten.

Bij dit project is het schijnbaar vermogen gemeten. Vooraf wordt er vastgesteld wat de nieuwe/ gewenste of verbeterde arbeidsfactorwaarde moet zijn. Met deze vooraf vastgestelde waarde wordt er verder berekend wat de capaciteit van de condensatoren moet bedragen. Hierbij wordt ervanuitgegaan dat de belasting hetzelfde blijft, dus bij de verbeterde arbeidsfactor blijft P_w ongewijzigd ($P_w = P_w'$). In deze formule is P_w' de "nieuwe" waarde voor het werkelijk vermogen, welke gelijk is aan de oude waarde van het werkelijk vermogen op dagbasis. Er zijn dan twee (2) bekende waarden, te weten; $arbeidsfactor_{nieuw}$ en P_w' . De nieuwe waarde voor P_s , dus P_s' kan worden berekend. Met P_s' kan P_b' worden berekend. Uit P_b' kan X_c worden berekend. Met X_c kan de capaciteit C van de benodigde condensatoren worden berekend.

Arbeidsfactorcompensatie transformator 1 (hoofdverdelkast HK-1)

Het gemeten werkelijk vermogen op een normale werkdag bedraagt gemiddeld 5816,6 kW .

$$P_w = P_w' = \pm 5816,6 \text{ kW (zie figuur 51).}$$



Datum	23/4/'12	24/4/'12	25/4/'12	26/4/'12	27/4/'12	28/4/'12	29/4/'12	Gemiddeld
kWh	5805	5899	5885	5768	5726	5331	5040	5816,6

Figuur 51: Het werkelijk energieverbruik van de belasting op transformator 1

Het gemeten schijnbaar vermogen bedraagt op normale werkdagen gemiddeld: $P_s = 6474,6$ kVA (volgens de grafiek in figuur 9, subparagraaf 3.3.1). De verbeterde arbeidsfactor wordt verondersteld te zijn 0,95. Nu zijn er twee waarden bekend, t.w.; P_w' en $arbeidsfactor_{nieuw}$. Het is nu mogelijk om de nieuwe waarde voor het schijnbaar vermogen te berekenen met de volgende formule: $arbeidsfactor_{nw} = \frac{P_w'}{P_s'} \Leftrightarrow P_s' = \frac{P_w'}{arbeidsfactor_{nw}} = \frac{5816,6}{0,95}$
 $P_s' = 6122,73$ kVA.

Met P_s' is het nu mogelijk om P_b' te berekenen.

$$P_b' = \sqrt{(P_s')^2 - (P_w')^2} = \sqrt{(6122,73)^2 - (5816,6)^2} = 1911,80 \text{ kVAr}$$

Het blindvermogen welke door de condensatoren zal moeten worden gecompenseerd (P_c) is het verschil tussen P_b en P_b' . Het gemeten blindverbruik bedraagt op normale werkdagen gemiddeld: $P_b = 2839,6$ kVAr.

Het verschil is dan $P_c = P_b - P_b' = 2839,6 - 1911,80 = 927,8$ kVAr. Aangezien het gaat om een 3-fase+nul installatie, zal P_c per fase zijn: $\frac{P_c}{3} = \frac{927,8}{3} = 309,27$ kVAr.

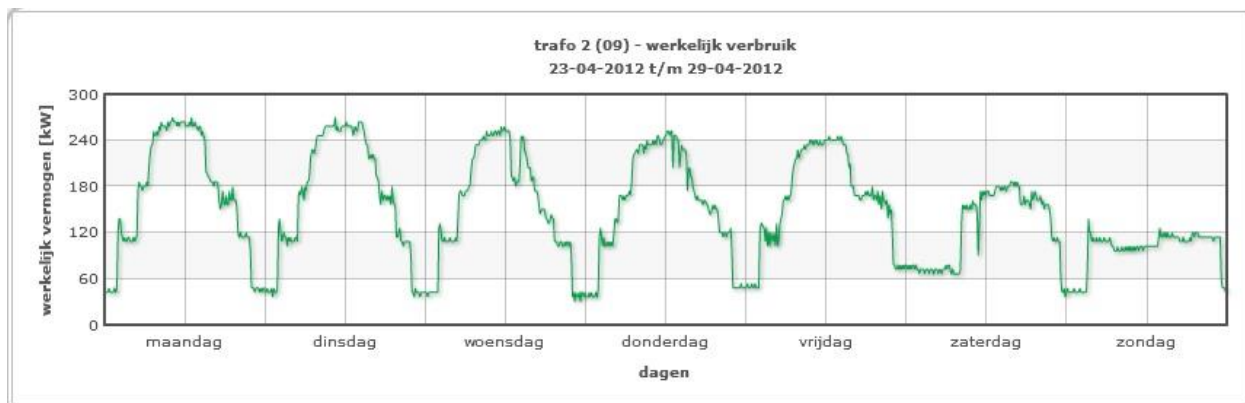
$$P_c = \frac{U_L^2}{X_C} = \frac{U_L^2}{\frac{1}{2\pi fC}} = U_L^2 \times 2 \times \pi \times f \times C \Leftrightarrow C = \frac{P_c}{U_L^2 \times 2 \times \pi \times f} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{309,27}{220^2 \times 2 \times \pi \times 60} = 1,694 \times 10^{-5} = 16,94 \mu\text{F}$$

De capaciteit per condensator ten behoeve van de condensatorbatterij (die dan parallel aan de belasting van transformator 1 geplaatst dient te zijn) zal bedragen: 16,94 μF .

Arbeidsfactorcompensatie transformator 2 (hoofdverdeelkast HK-2)

Het gemeten werkelijk vermogen op een normale werkdag bedraagt gemiddeld 3915 kW.



Datum	23/4/'12	24/4/'12	25/4/'12	26/4/'12	27/4/'12	28/4/'12	29/4/'12	Gemiddeld
kWh	4057	4029	3714	3797	3978	2995	2346	3915

Figuur 52: Het werkelijk energieverbruik van de belasting op transformator 2

$P_w = P_w' = \pm 3915 \text{ kW}$ (zie figuur 52). Het gemeten schijnbaar vermogen bedraagt op normale werkdagen gemiddeld: $P_s = 4909.6 \text{ kVA}$ (volgens de grafiek in figuur 13, subparagraaf 3.3.1). De verbeterde arbeidsfactor wordt gesteld te zijn 0,95. Nu zijn er twee waarden bekend, t.w.; P_w' en $arbeidsfactor_{nieuw}$. Het is nu mogelijk om de nieuwe waarde voor het schijnbaar vermogen te berekenen met de volgende formule: $arbeidsfactor_{nw} = \frac{P_w'}{P_s'} \Leftrightarrow P_s' = \frac{P_w'}{arbeidsfactor_{nw}} =$

$$\frac{3915}{0,95}$$

$$P_s' = 4121,05 \text{ kVA.}$$

Met P_s' is het nu mogelijk om P_b' te berekenen.

$$P_b' = \sqrt{(P_s')^2 - (P_w')^2} = \sqrt{(4121,05)^2 - (3915)^2} = 1286,79 \text{ kVAr}$$

Het blindvermogen welke door de condensatoren gecompenseerd zal moeten worden (P_c) is het verschil tussen P_b en P_b' . Het gemeten blindverbruik bedraagt op normale werkdagen gemiddeld:

$$P_b = 2939,2 \text{ kVAr.}$$

Het verschil is dan $P_c = P_b - P_b' = 2939,2 - 1286,79 = 1652,41 \text{ kVAr}$. Aangezien transformator 2 aan de secundaire zijde in ster is (vanwege 3-fase+nul installie), zal P_c per fase zijn:

$$\frac{P_c}{3} = \frac{1654,41}{3} = 550,80 \text{ kVAr.}$$

$$P_c = \frac{U_L^2}{X_C} = \frac{U_L^2}{\frac{1}{2\pi f C}} = U_L^2 \times 2 \times \pi \times f \times C \Leftrightarrow C = \frac{P_c}{U_L^2 \times 2 \times \pi \times f} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{550,80}{220^2 \times 2 \times \pi \times 60} = 1,018 \times 10^{-5} = 30,18 \mu\text{F}$$

De capaciteit per condensator ten behoeve van de condensatorbatterij (die dan parallel aan de belasting van transformator 1 geplaatst dient te zijn) zal bedragen: 30,18 μF .

Verschillen en overeenkomsten tussen harmonischen, EMC en $\cos \varphi$.

Uit een vergelijking van harmonischen, EMC en arbeidsfactor kan worden geconcludeerd, dat alle drie begrippen te maken hebben met het bijdragen aan/verhogen van de betrouwbaarheid van de elektrische installatie en belasting (onder andere verhogen van arbeidsfactor, verminderen van harmonische stromen en spanningen en overige storingen). Al de drie begrippen hebben min of meer te maken met het beperken/naar controleerbare proporties brengen van de gevolgen welke elektrische geleidende onderdelen en belasting veroorzaken/ondervinden in de elektrische installatie van Telesur C1. Bijvoorbeeld is opgevallen dat nullast of licht belaste aircomotoren (compressor) een slechte arbeidsfactor veroorzaken, maar daarnaast ook hogere harmonischen veroorzaken. Verder ter voorkoming van spanning en stroom onbalans van de elektrische installaties. De verschillen daarbij zijn de manier waarop de beperking/naar controleerbare proporties brengen van de gevolgen plaatsvindt. Bij harmonischen kan dat onder meer geschieden door het opnieuw aanleggen van de elektrische bekabeling (waarbij, rekeninghoudend met eenfasebelasting, een nulgeleider van voldoende diameter gekozen wordt) en toepassen van filters. Bij EMC kunnen ongewenste situaties/storingen worden geïdentificeerd. Vervolgens kunnen EMC-storingen correctief worden aangepakt door het op de correcte wijze verbinden van installatieonderdelen(kabelgoten, kabelbanen) onderling en vervolgens verbinden met aarde. Hetzelfde geldt voor de behuizing van de verschillende soorten belasting (onder andere volgens de norm IEC 61000). Hiermede kan preventief worden ingespeeld op mogelijk toekomstige ongewenste situaties. Bij de arbeidsfactor ($\cos \varphi$) gebeurt de beperking van de gevolgen door arbeidsfactorverbeteringsinstallaties, efficiëntere niet-lineaire belasting (verlichtingsarmaturen met hoge arbeidsfactor), voorkomen dat niet-lineaire belasting in nullastbedrijf werken.

4.4.2 Crest Factor (CF)

Een factor die kan worden gebruikt om een idee van de kwaliteit van een signaal (voor een belasting) te krijgen, is de 'Crest Factor' (ook wel topfactor genoemd, f_t). De 'Crest Factor' is de verhouding van de topwaarde van een golfvorm tot de effectieve waarde (ook wel RMS-waarde genoemd) van die golfvorm. Voor spanning is dat: $CF = \frac{U_{top}}{U_{RMS}}$. Voor stroom is dat: $CF = \frac{I_{top}}{I_{RMS}}$

Voor een zuiver sinusvormige spanning of stroom is de topwaarde gelijk aan 1 en de effectieve waarde is $\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$. Dus, de 'Crest Factor' voor een zuiver sinusvormige golf is

$CF = \sqrt{2} \approx 1.414$. Deze waarde komt voor bij lineaire belasting. Deze 'Crest Factor' waarde van 1,414 (waarde voor een zuivere sinus) zal variëren als de golfvorm is vervormd. Dit, omdat de vervorming resulteert in een piekwaarde die anders is dan die van een zuivere, onvervuilde

sinusgolf. Indien bijvoorbeeld een belasting een topfactor van meer dan 1,414 vertoont, dan zal de voedingsbron (welke een online UPS kan zijn, zie paragraaf 3.4) de gewenste piekstroom voor de belasting moeten leveren. Elke eventuele overtollige piekstroom zal die voedingsspanning vervormen, indien de voedingsbron niet de gewenste stroom kan leveren. Het is daarom belangrijk om bij het bepalen van de capaciteit van een UPS ook te letten op de topfactor welke is gewenst door de belasting. Anders zal de uitgangsspanningsgolf van de UPS worden vervormd. Dus het uiteindelijke karakter van de topfactor is het gevolg van een interactie tussen de belasting zelf en de voedingsbron.

De topfactor van de belasting aangesloten op transformator 1 en 2 is gemeten voor twee (2) dagen (van 25-2-2013 en 27-2-2013) met de Acuvim IIPower meter. De gemiddelde CF- waarden zijn in tabel 34 gegeven.

Tabel 34: Crest Factor van de spanningen

	Crest Factor		
	U ₁	U ₂	U ₃
Transformator 1	1,4743	1,4755	1,4781
Transformator 2	1,4483	1,4409	1,4487

Uit tabel 34 blijkt dat de CF van transformator 1 en transformator 2 hoger zijn dan 1,414. De CF van transformator 1 is hoger dan van transformator 2. Hiermede is (volgens tabel 3 in paragraaf 3.2) wederom aangetoond dat er meer niet-lineaire belasting aangesloten is op transformator 1 dan op transformator 2. Het energieverbruiksgedrag van de belasting op transformator 1 is van dien aard dat er hogere piekstromen moeten worden geleverd door transformator 1 (ook de spanningsharmonische van transformator 1 is hoger dan van transformator 2 (zie tabellen 31 en 32 in subparagrafen 4.2.1 en 4.2.2)

5. Conclusies en aanbevelingen

- Algemeen kan geconcludeerd worden dat uit het gepleegde onderzoek, gunstige oplossingen voortgevloeid zijn die het bedrijf kosten zullen besparen en tegelijkertijd zullen zorgen voor optimalisering van het energieverbruik (effectief en efficiënt energieverbruik).
- Aanvullend hierop geven deze oplossingen tevens invulling aan het maatschappelijk verantwoord ondernemen in het algemeen. Dit levert een wezenlijke bijdrage aan het toekomstige beleid van “groene” economie.
- Daarnaast is duidelijk gebleken dat het dimensioneren van een elektrische installatie heel wat rekenwerk met zich meebrengt.
- Naast de basisberekeningen voor het bepalen van de kabeldoorsnede en de keuze van de beveiliging, moet rekening worden gehouden met een aantal zaken die te maken hebben met de veranderingen in de huidige samenleving die invloed hebben op de installatie. Voorbeelden van dergelijke veranderingen zijn het steeds meer integreren van vermogenslektronica in apparatuur.

De overige geconcludeerde zaken na de uitvoering van het onderzoek zijn hierna puntsgewijs per onderzocht onderdeel aangegeven:

Overzicht van de energievoorziening, de elektrische installatie en inzicht in het energieverbruik

1. Tijdens het vervaardigen van het installatieschema (ter verkrijging van een volledig overzicht van en inzicht in de energievoorziening, de elektrische installaties en het energieverbruik) van de 1000 kVA installatie ten behoeve van het Telesurcomplex aan de Heiligenweg is opgevallen dat er geen overspanningsbeveiliging is geplaatst bij hoofdverdeelkast HK-2. Daarnaast is gebleken dat bij de driefasen voedingskabels tussen verdeelkasten onderling of verdeelkast en belasting, aan één zijde van de voedingskabels, twee van de driefasenkabels van plaats verwisseld zijn ten opzichte van elkaar. Ook viel op dat de meeste namen op de verdeelkasten niet meer corresponderen met de aangegeven bestemming van de verdeelkasten.
2. De twee transformatoren van elk 500 kVA zijn niet volledig belast. Transformator 1 is voor $\pm 64 \%$ belast en transformator 2 is voor $\pm 62 \%$ belast. Van het totaal geïnstalleerde vermogen van 1000 kVA wordt $\pm 62 \%$ belast.
3. Er is buiten de reguliere werktijd (maandag t/m vrijdag) iedere keer een verschil in de basisbelasting aangesloten op transformator 2. De verlichting blijft aanstaan op bepaalde

dagen na bedrijfstijd. De centrale airco fancoil units van Hoogbouw (hoofdverdeelkast HK-2) worden dagelijks tegen 03:00 uur aangeschakeld. De centrale airco fancoil units worden om 23:00 uur uitgeschakeld. Vergelijken van het energieverbruik in het weekend van verschillende zaterdagen/zonda-gen onderling geeft aan dat er in het weekend belasting in bedrijf is. Het kVA verbruikspatroon varieert tussen een maximale piek van 45kVA en 140kVA. Het energieverbruik vindt niet effectief en efficiënt plaats.

4. Het energieverbruik van groep 2 (van hoofdverdeelkast HK-1) neemt 2,5 maal toe tussen **06:00 -18:00uur** ten opzichte van het tijdsbestek tussen **18:00-06:00 uur**. Daaruit blijkt dat het energieverbruik van groep 2 enorm toeneemt en bijdraagt aan een hoog energieverbruik op maandbasis.
5. De maandelijkse kVA pieken worden veelal veroorzaakt door het ongeordend / tegelijk in bedrijf komen van de verschillende airco compressoren naarmate de vraag naar koeling toeneemt door de dag heen.

Controle van de voedingskabels op spanningsverlies en kortsluitvastheid

- 1a. Na controle van de voedingskabels op spanningsverlies en kortsluitvastheid is geconcludeerd dat de spanningsverliezen een acceptabele waarde hebben voor de verschillende lengten van de voedingskabels.
- 1b. Verder is geconcludeerd dat bij controle op kortsluitvastheid van de voedingskabels, enkele voedingskabels de maximale toelaatbare lengte hebben overschreden.

Invloed van harmonische op de totale belasting

Harmonischen kunnen leiden tot verkorte levensduur van apparatuur.

- De totale zowel individuele procentuele harmonische spannings- en stroomwaarden gemeten op en berekend voor de belasting van transformator 1 en transformator 2 bij de PCC zijn binnen de limieten (welke zijn vastgesteld in de standaard IEEE 519, tabel 10.3).
- De spanningsharmonischen van transformator 1 zijn hoger dan die gemeten bij transformator 2. Het gaat met name om de noodstroomgroep HK-1 groep-1. Deze bestaat uit twee (2) subverdeelkasten HNK-1 en HNK-2. Op HNK-2 zijn onder andere de UPS-installaties, de servers van de datacenter en een deel van de rectifiers aangesloten.
- De belasting aangesloten op deze verdeelkast veroorzaakt $\pm$ tweemaal meer harmonischen dan die van verdeelkast HNK-1.

- De kW belasting van HNK-1 is $\pm$ tweemaal meer dan van HNK-2, maar de niet-lineaire belasting van HNK-1 is veel minder ten opzichte van HNK-2. Volgens de IEEE 519-1992, tabel 10.3 (zie tabel 24) ligt de berekende waarde van TDD voor HNK-2 boven de toegestane maximale limiet van 15%.

De Power Factor en Crest Factor

1. De 'Power Factor' van de installatie, welke door de energiemeter van de N.V. E.B.S. wordt gemeten, bedraagt $\pm 0,85$. De minimale en maximale toegestane waarden, welke de N.V. E.B.S. hanteert voor $\cos \varphi$ van grootverbruikers met hoogspanningsmeting (tarief 39) zijn: minimaal 0,79 en maximaal 1,10. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de arbeidsfactor van Telesur binnen de toegestane waarden is.
2. Het uiteindelijk karakter van de topfactor is het gevolg van een interactie tussen de belasting zelf en de voedingsbron. De gemeten topfactor van de belasting aangesloten op transformator 1 en 2 (volgens tabel 34) verklaart ook de aanwezigheid van een bepaald percentage harmonischen in de belasting. Hiermede is (volgens tabel 3 in paragraaf 3.2) wederom aangetoond dat er meer niet-lineaire belasting aangesloten is op transformator 1 dan op transformator 2. Het energieverbruiksgedrag van de belasting op transformator 1 is van dien aard dat er hogere piekstromen moeten worden geleverd door transformator 1 (ook de spanningsharmonische van transformator 1 is hoger dan van transformator 2, zie tabellen 31 en 32 in subparagraaf 4.2.1 en 4.2.2).

De EMC en het aardingssysteem

1. Op bepaalde plaatsen in de installatie lopen de voedingskabels (storende signaalkabels) van een systeem die gevoelige signalen produceert/ontvangt in dezelfde kabelgoot of kabelbaan. Op enkele plaatsen zijn er geen overlappingsen geplaatst tussen kabelgoten waarin kabels zijn aangelegd. Uit de fysiek uitgevoerde EMC- controle op de installaties en de gebouwen kan worden geconcludeerd dat beide nagenoeg in orde zijn.
2. De maximale toegestane aardverspreidingsweerstandswaarde wordt met de volgende formule bepaald: $R_a = \frac{25}{I_N} = \frac{25}{1000} = 0,025\Omega$. De gemeten aardverspreidingsweerstandswaarde in een aardput op het terrein bedroeg $0,05 \Omega$. Hieruit wordt geconcludeerd dat de aardingsweerstandswaarde verbeterd dient te worden tot een waarde van maximaal $0,025\Omega$.

Invloed van de verlichting op de totale belasting

1. Uit de gemeten verlichtingssterkte is geconcludeerd dat de verlichtingssterkte op de begane grond, de 1^{ste} en 4^e etage van Hoogbouw de normwaarde (500lux) niet bereikt. Uit interviews met de medewerkers van Hoogbouw en de elektrotechnici van de afdeling SV bleek dat er haast elke dag tl-buizen moeten worden vervangen door de elektrotechnici van de afdeling SV. Dit, ondanks een stabiele spanning. De gemeten warmte per lichtbak (4 x 20W) bedraagt gemiddeld 48,2 °C. Een 20W tl-lamp heeft per dag (uitgaande van 24 uur) een energieverbruik van 0,576 kWh. Een 8 W LED Tube heeft per dag (uitgaande van 24 uur) een energieverbruik van 0,192 kWh. Dat is 0,384 kWh minder dan een 20W tl-lamp. Ongeveer 20% van de totale belasting van transformator 2 is verlichting voor Hoogbouw.

Aanbevelingen

Als algemene aanbeveling is het belangrijk mee te geven dat alle verdeelkasten in de elektrische installatie van C1 bestaande uit schroefzekeringen, vervangen worden door installatieautomaten. Daarbij dient er nagegaan te worden of er overbelaste eindgroepen voorkomen, alsook overbelaste verlichtingsschakelaars. Dit, mede ter voorkoming van storingen (zie foto groep 23, verdeelkast LA-1 in bijlage 7). Het is ook van belang om de kabeldoorsneden te controleren op overbelastingsbeveiliging. Indien nodig, zal vervanging van de bekabeling gefaseerd volgens een vast gesteld plan uitgevoerd moeten worden. Een analyse van de aardingsinstallatie, potentiaalvereffening en bliksemafleidingsinstallatie is aanbevolen voor C1.

De volgende punten zijn aanbevelingen die per onderzocht onderdeel zijn voortgevloeid uit de conclusies:

Overzicht van de energievoorziening, de elektrische installatie en inzicht in het energieverbruik

1. Een overspanningsbeveiliging heeft tot doel overspanningen tussen verschillende delen (geleiders) van een elektrische installatie te beperken. Er wordt aanbevolen om een overspanningsbeveiliging te plaatsen op hoofdverdeelkast HK-2. Daarnaast dienen de fasedraaingen van de voedingskabels (tussen verdeelkasten onderling, alsook tussen verdeelkasten en belasting, zoals aangegeven in bijlage 8) te worden gecorrigeerd. De namen van de 83 stuks verdeelkasten dienen aangepast te worden met een logische codering, waarbij de codering correspondeert met de bestemming. Elke uitbreiding / wijziging in de elektrische installatie dient zo spoedig mogelijk na afronding van de installatiewerkzaamheden, bijgewerkt te worden (in een tekenprogramma) en opgeslagen te worden in het tekeningenbestand van afdeling SV met een revisiedatum en volgnummer.

2. Er moet worden nagegaan met hoeveel % de transformatoren nog belast kunnen worden rekeninghoudend met de aanwezigheid van harmonischen. Dat kan middels toepassing van de CBEMA- formule. Daarbij is een meetinstrument vereist dat de plotselinge ontstane piekstromen in de belasting van de transformatoren 1 en 2 kan meten en loggen.
3. Ter besparing van het kWh energieverbruik (vermindering van de basisbelasting van transformator 2) is het noodzakelijk om nullastbeheersing toe te passen (energiebesparing buiten bedrijfsuren). Daarbij is er nader onderzoek vereist om te ontdekken waarom deze belasting (buiten de reguliere werktijd) op verschillende uren in bedrijf is door de week en in het weekend.
4. Er is nader onderzoek vereist ten behoeve van effectief en efficiënt verbruik van de elektrische energie van de groepen 1, 2 en 6 tussen 06:00 -18:00 uur aangesloten op hoofdverdeelkast HK-1. Er kan daarbij nagegaan worden of er middels de energiebesparingsvoorstellen gedaan voor transformator 2 ook energie bespaard kan worden op transformator 1. Ook kan nagegaan worden of er energie bespaard kan worden op de apparatuur (onder andere servers) in de datacenter. Dit, omdat in nachtelijke uren het voice-/dataverkeer minder is dan overdag. Hierdoor kan nagegaan worden hoeveel % van de servers aan-/uitgeschakeld kan worden. Of, als er andere typen apparatuur aangeschaft dienen te worden met de intelligentie om afhankelijk van de vraag (voice-/databelasting) ingeschakeld/ uitgeschakeld te worden.
5. Een aanbeveling met betrekking tot het besparen op maandelijkse kVA kosten is het verlagen van de kVA pieken. Dit kan als volgt worden bereikt. Doordat de koelinstallatie een van de grootste energieverbruikers is, is het belangrijk dat deze installatie bestaat uit koelmachines die efficiënt(er) zijn en goed af te regelen zijn op de vraag naar koeling door het juiste set-point te kiezen (de zogenaamde economische airco's met invertertechnologie). Daarnaast is het belangrijk dat ter vermindering van infiltratie de isolatie van de gebouwen goed is. Bij Hoogbouw is het opgevallen dat de kozijnen van bepaalde ramen aan vervanging toe zijn. Er kunnen bijvoorbeeld (elektrische) lamellen worden geplaatst aan de buitenzijde van de gebouwen, die afhankelijk van de buitentemperatuur open/dicht kunnen worden gemaakt. Dit, ter vermindering van transmissieverliezen.

Controle van de voedingskabels op spanningsverlies en kortsluitvastheid

Als aanbeveling wordt meegegeven dat de beveiligingen moeten worden aangepast, zodat de maximale lengte van de voedingskabels groter wordt.

Invloed van harmonischen op de totale belasting

Ter vermindering van de harmonischen van verdeelkast HNK-2 kunnen filters (ADF) worden toegepast nabij deze verdeelkast.

De Power Factor en Crest Factor

1. Het toepassen van ADF filters voor verdeelkast HNK-2 zal eveneens resulteren in een correctie van de arbeidsfactor. Een arbeidsfactorverbeteringsinstallatie (middels condensatorbatterijen) zal bij nader onderzoek (indien in de toekomst noodzakelijk) kunnen worden geplaatst nabij de bron van slechte arbeidsfactor.
2. Door toepassing van voornoemde filters ter vermindering van harmonischen kan eveneens de topfactor van transformator 1 worden verbeterd.

De EMC en het aardingssysteem

1. Ter bevordering van de EMC van de installatie kan een nadere analyse worden gemaakt. Dit, ter vermindering van EM-beïnvloeding tussen apparaten onderling en installatieonderdelen op de enkele plaatsen waarbij er nog sprake is van slechte EMC. Het gaat onder andere om scheiden van kabels met gevoelige en storende signalen door deze in aparte kabelgoten te plaatsen (figuur 46). De verbindingen tussen de kabelgoten onderling of tussen kabelgoten en massa's moeten ook worden verbeterd op enkele plaatsen.
2. Er is een complete analyse vereist van de aardingsinstallatie en de bliksemafleidingsinstallatie. Dit, mede gelet op het feit dat er geen overspanningsbeveiliging aanwezig is op hoofdverdeelkast HK-2, alsook omdat de gemeten waarde van 0,05 Ω hoger is dan de theoretisch toegestane waarde van 0,025 Ω .

Invloed van de verlichting op de totale belasting

1. Een ander voorstel ter besparing van het kWh energieverbruik (vermindering van de basisbelasting) is de toepassing van het energiebesparingssysteem voor de verlichting, namelijk LED verlichting. Hierbij kan er worden bespaard op elektrische energie en kosten. Een ander voordeel is dat daarmee ook de kwaliteit van het licht sterk wordt verbeterd. Totale energiekostenbesparing per jaar bedraagt USD 14,367.00. De terugverdientijd daarbij is 3,9 jaren of korter.

$$\text{ROI (jaren)} = \frac{\text{Totale eenmalige investering}}{\text{Totale besparing per jaar}} = \frac{56,768}{14,367} = 3,9$$

Literatuurlijst

Documenten:

- Netwerken 1 en 2 (Dictaten PTC)
- Elektrische machines 1 en 2 (Dictaat PTC)
- Energievoorzieningen 1 (Dictaat PTC)
- Haak, R. *Installatievoorschriften, lage spanning* (NEC 64)

Internetwebpagina's:

- <http://www.nvebs.com/zakelijk-home>
- <http://www.milieucentraal.nl/>
- <http://www.aircogroothandel.nl/2011/02/03/airco-invertertechnologie-hoger-rendement-lagere-kosten/>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Schema_%28elektriciteit%29
- <http://www.wvoi.nl/default.asp?CID=129>
- http://www.layrton.com/certificados/certificados_en.htm
- <http://www.cyberciti.biz/faq/data-center-standard-overview/>
- <http://www.middenbrabantnet.nl/jsp/document.jsp?uniqueid=1250649900218>
- <http://www.iec.ch/about/activities/>
- <http://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whatwedo/index.html>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Elektriciteitsleiding>
- <http://www.e-veiligheid.nu/vraag-antwoord/view/3-badkamers.html?id=137&view=answers>
- <http://www.tiaonline.org/>
- http://www.fontysmediatheek.nl/w/images/5/57/NEN_norm.pdf
- <http://www.joostdevree.nl/shtmls/cop-waarde.shtml>
- <http://www.powerknot.com/how-efficient-is-your-air-conditioning-system.html>
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtsterkte_%28fotometrie%29
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtgrootheden_en_-eenheden
- <http://www.airquality.be/glossary/warmteverliesberekening.html>

- <http://www.schneider-electric.com/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/electrical-environmental-constraints/general-knowledge/ect152.pdf>
- <http://www.slideshare.net/sandeepkamath2010/application-of-microprocessor>
- <http://www.controlledpwr.com/whitepapers/ukimpea2.pdf>
- http://www.newark.com/pdfs/techarticles/eaton/Eaton_Technical_Articles/Power_Quality_White_Papers/IEEE_Std_519-1992_Harmonic.pdf
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_compatibiliteit
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Magnetische_susceptibiliteit
- http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_IEC_standards
- <https://www.swe.siemens.com/belux/portal/nl/aanbod/industrie/installatiemateriaal/beta/zekeringen/Pages/bedrijfsklassen.aspx>

Bijlagenlijst

Bijlage 1:	Het vermogen van de belasting aangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-1	126
Bijlage 2:	Het vermogen van de belasting aangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-2	127
Bijlage 3:	Specificatie van de energiemeters en de power quality analyser Energiemeter van het merk EMSS en type A EMI3PA-G.....	128
Bijlage 4:	Meetopstellingen	131
Bijlage 5:	Locaties en tijdsduur van verrichte metingen.....	133
Bijlage 6:	Tabel A.53-1: Maximale lengte, in m, van tegen kortsluiting beveiligde leidingen	134
Bijlage 7:	Verlichtingssterkte en temperatuur van de huidige tl- verlichting voor Hoogbouw Heiligenweg	136
Bijlage 8:	Installatieschema en overzicht van de verdeelkasten in de verschillende gebouwen	138
Bijlage 9:	Het type en aantal airco's aangesloten op transformator 1.....	139
Bijlage 10:	Het type en aantal airco's aangesloten op transformator 2.....	140
Bijlage 11:	Nadere toelichting van gG-smeltpatronen en de typen van elektromagnetische storing	141

Bijlage 1. Het vermogen van de belasting aangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-1

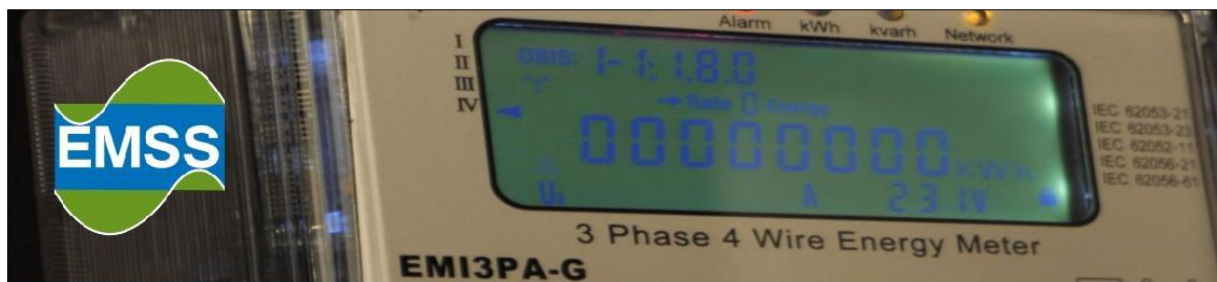
Kast-naam	Groep #	Gebouw	Datum/T ijd- meting	Stroom (A)	P _s (kVA)
HK-1	1	Naar ATS. Van ATS, twee eindgroepen die gaan naar: 1. begane grond en verdieping van de gebouwen aan de Knuffelsgracht en Keizerstraat 2. kelder t/m 4 ^e etage van Hoogbouw en verdieping van Laagbouw	19-25 juni 2012 12:37 h	(bij ATS) R= 354, S= 365 T= 373 en N= 20	141,96
	2	Naar gebouw aan de Keizerstraat kast LS	19-25 juni 2012 13:30 h	R= 184; S= 219 T= 186; N= 16	83,35
	3	Reserve			
	4	Naar overspanningsbeveiliging in dezelfde ruimte van kast HK-1			
	5	Naar airco op dak transformatorhuis t.b.v. de centrale	19-25 juni 2012 12:40 h	R = 15 S= 17 T= 13	6,470
	6	Naar begane grond van centrale kast KK4	19-25 juni 2012 13:41 h	R= 250; S= 263 T= 208; N= 43	100,10
	Totaal			R= 803 S= 864 T= 780	331,88

Bijlage 2. Het vermogen van de belasting aangesloten op de eindgroepen van hoofdverdeelkast HK-2

Kast-naam	Groep #	Gebouw	Datum/Tijd meting	Stroom (A)	P _s (kVA)
HK-2	1	Naar de kelder van Hoogbouw kast HKL-1 (gele metalen kast)	19-25juni2012 12:50 h	R= 480; S= 385 T=490; N= 57	186,49
	2	Reserve			
	3	Reserve			
	4	Naar de kelder van Hoogbouw kast HKL-2 (grijze metalen kast)	19-25juni2012 12:45 h	R= 206; S= 235 T= 180; N= 29	89,44
	Totaal			R= 686 S= 620 T= 670	275,93

Bijlage 3. Specificatie van de energiemeters en de power quality analyser

Energieremeter van het merk EMSS en type A EMI3PA-G



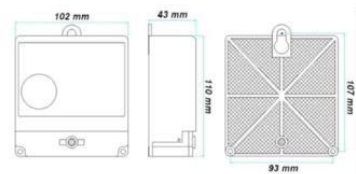
Serie A EMI3PA-G 3 Phase Meter with GSM/GPRS modem

- Measurement of Active Reactive and Apparent electricity energy
- Maximum Demand Registration
- Load monitoring with Instantaneous Voltage, Current and power Factor
- Load profile recording
- TOU Control with flexible programming
- Internal real/time



Product Description

- | | |
|--|---|
| • Standard | IEC 62053-21, Single-Phase 2-wire
IEC 62053-23, kvarh (optional) |
| • Accuracy class | Class 1 |
| • Rated voltage | 110V, 220V |
| • Reference (max) current $I_b(I_{max})$ | 5(30)A, 5(60)A, 10(100)A, 10(120)A |
| • Start Current | 0.4% I_b |
| • Reference Frequency | 50/60 Hz |
| • Power consumption | |
| • In voltage circuit | < 0,8 W: <1 VA |
| • In current circuit | < 2 VA |
| • Temperature reanges | |
| • Meter operating | -30°C to + 70 °C |
| • In current circuit | -45°C to + 85 °C |
| • Scrolling display automatically with large 8 digit | |
| • LCD data display during mains power off | |
| • Electric pulse output (SO) | Test output |
| • Led output (meter constant) | 500-4000 imp/kWh |
| • Terminal cover open monitor | Optional |
| • Case Materials | Clear Polycarbonate |
| • Dimensions (mm) | 102 x 110 x 43 mm |
| • Weight | 0,4 Kg |
| • Water-proof | IP 54 |
| • Extended Terminal Cover | Optional upon order |



Power Quality Analyser van het merk: Nieaf Smitt en type: PQA 6600



PQA 6600 Power Quality Analyser

Overview

Specifications

Downloads

Specifications

EN50160 analyse mode

Voltage dips, swells, sags and breaks	Resolution 10 ms, no gaps
Voltage unsymmetry, voltage RMS value frequency	-
Harmonics	Up to 43th component
Flicker plf Pst	No gap
Flicker measurement	The instrument computes flickers according to IEC 61000-4-15

Waveforms

Sampling rate	128 scans / periods
Trigger	Level, manual, timer
Buffer	Min 10 periods of pre/post size. Up to 7812 periods can be recorded
Channels	2x U, 3x I, U lines, min/max RMS values, avg
Pf, Cos phi crest factor, THS U, IFrequency, Harmonics / magnitudes / direction positive / negative	-

Fast logging

Sampling rate	128 scans / periods
Trigger	Level, manual, timer each half period
Buffer	Pre / post size, up to 166 minutes of recording
Channels	3x U, 3x I, single or multichannel mode

Transients

Capturing	> 20 ms transient detect ability
Trigger	Level, slope, manual
Buffer	Min 10 periods of pre/post size. Up to 1000 periods can be recorded
Channels	3x U, 3x I single or multichannel mode



PQA 6600 Power Quality Analyser

General specifications

Overvoltage category	CAT III 600 V
Pollution category	2
Max. voltage between terminals	900 V
Max. voltage against ground	550 V
Protection degree	IP54
Dimensions	265 x 110 x 185 mm
Weight	1.76 kg (excl. batteries)

Acuvim II Series

Acuvim II Series



More Products

- Acuvim II Series
- Acuvim-L Series
- Acuvim 300 Series
- Acuvim 72 Series
- AcuRev 2000 Series
- Acuvim 369
- Acuvim 392 Series
- AcuDC 210/220 Series
- AcuDC 240 Series
- Acuvim 100 Series
- AcuView

Description

Modules & Accessories

Acuvim-II Synopsis:

The Acuvim-II series are high-end multifunction power and energy meters manufactured by Accuenergy. These meters provide some of the best solutions on the market for monitoring and controlling of power distribution systems. The Acuvim II series may be used as data gathering devices for intelligent power distribution or plant automation systems. All monitored data is available via a standard digital RS485 communication port running the Modbus RTU protocol. Ethernet and Profibus DP communication options are also available at an extremely affordable price point. With a selection of configurable I/O and communication modules, the Acuvim II series offer the most versatile and cost effective metering solutions on the market.

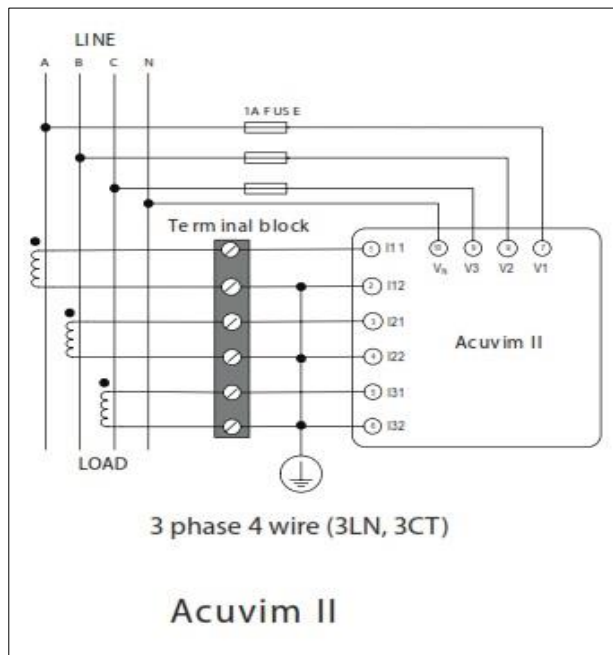
Features:

- True-RMS measuring Parameters.
- ANSI C12.20 (0.2 Class) and IEC 62053-22 (0.2S class).
- Power Quality Analysis.
- Over/Under Limit Alarm.
- Multi communication Ports (E.g.: Ethernet, RS485).
- Web Server and Email Sending.
- Switch Status Monitoring.
- Waveform Capture.
- Measure Individual Harmonics from 2nd to 63rd (Acuvim IIR/IIIE/IIW).
- Module Design.
- Data-Logging feature.
- TOU, 4 Tariffs, 12 Seasons, 14 Schedules.
- Class leading Warranty.

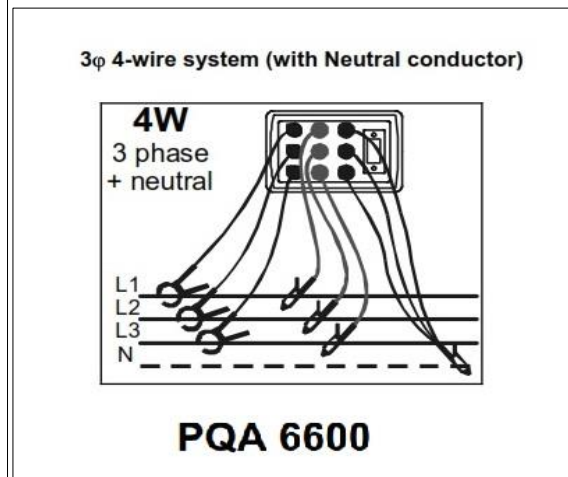
Applications:

- Metering of distribution feeders, transformers, generators, capacitor banks and motors.
- Medium and low voltage systems.
- Commercial, industrial, utility.
- Power quality analysis.
- Data Logging.

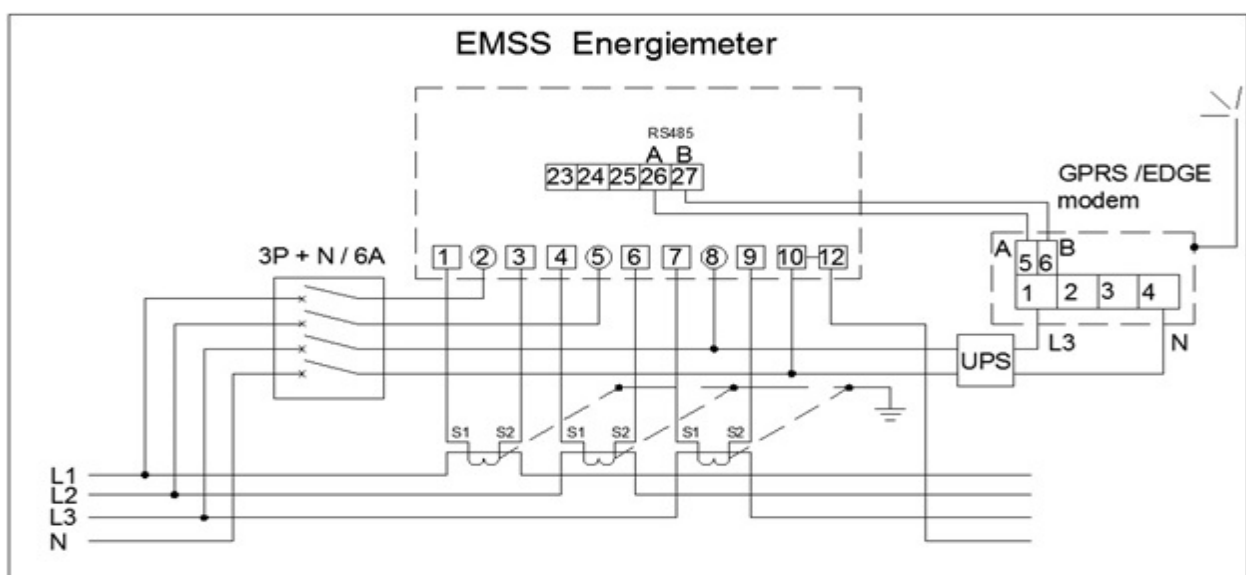
Bijlage 4. Meetopstellingen



Aansluitschema Acuvim 2 energiemeter



Aansluitschema PQA 6600 power quality analyser



Aansluitschema EMSS - energiemeter en modem

De stappen voor het installeren van de EMSS- energiemeters op de (hoofd)verdeelkasten:

Stroomtransformatorinstallatie

1. kWh-Meter aan de muur plaatsen.
2. Eén kabelader aansluiten op S1 en één kabelader op S2 (op de S1 en S2 aansluitpunten 1 – 3,

4 – 6 en 7 – 9) van de fasen L1, L2, en L3 op de energiemeter.

3. De aders S1 en S2 aansluiten op de aansluitpunten S1 en S2 van de stroomtransformator.
4. Daardoor is de stroomtransformator kortgesloten en kunnen de stroomtransformatoren om de fase L1, L2 en L3 geplaatst worden en wel met de stroomrichting van P1 → P2.

Dus stroom loopt vanuit de rails aan de bovenzijde van de hoofdschakelaar via P1 door naar P2. De stroomtransformator moet op de bovenzijde van P2 en aan de onderzijde van P1 worden aangesloten.

Spanning aansluiten op kWh-meter

1. Aansluiten van de ene zijde van de aders voor L1, L2 en L3 met klemmen (krokodillenklem) op de faserails van de hoofdverdeelkast (hoofdverdeelkast waarbij de stroomtransformatoren om de voedingsrails vanuit de hoofdschakelaar geplaatst zullen worden)
2. Aansluiten van de andere zijde van de aders op de kWh-meter op de volgende cijfers voor respectievelijk L1, L2 en L3: 2, 5 en 8.

Noot: Tussen de energiemeter en de faserails is er een installatieautomaat geplaatst (3P + N / 6A) ter beveiliging van de energiemeter.

Spanning aansluiten op het modem

Fase en Nul (Len N) worden (via een UPS) op nummer 1 en 4 van de GPRS/EDGE modemmodule aangesloten.

Aansluiten van de communicatiekabels op de GPRS/EDGE modemmodule

1. Aansluiten van één kabelader op nummer 5 of letter A (bij RS485) van de GPRS/EDGE modemmodule en de andere zijde van deze ader op letter A van de energiemeter.
2. Aansluiten van één kabelader op nummer 6 of letter B (bij RS485) van de GPRS/EDGE modemmodule en de andere zijde van deze ader op letter B van de energiemeter.
3. Na uitvoering van punt 2 en 3 zijn de communicatiekabels van één energiemeter aangesloten. Voor het aansluiten van de communicatiekabels voor de tweede energiemeter, moeten er twee aders (een kabelader voor nummer 5 en een kabelader voor nummer 6) parallel op de GPRS/EDGE modemmodule aangesloten worden en vervolgens de andere zijden op de letters A en B van de energiemeter.
4. Aansluiten van de antenne op de GPRS/EDGE modemmodule.

De EMSS- energiemeters met THD- meetopties worden op dezelfde wijze als hiervoor omschreven aangesloten. Echter, is het modem geen aparte module, maar ingebouwd in de energiemeter.

Bijlage 5. Locaties en tijdsduur van verrichte metingen

Locatie van energiemeter/ PQA meter		Begindatum en tijdsduur van gemeten energieverbruik	
1	Hoofdverdeelkast HK-1 (Transformator 1)	21/4/2012	Gedurende 19 dagen van 00:00u tot 24:00u
2	Hoofdverdeelkast HK-2 (Transformator 2)	21/4/2012	Gedurende 65 dagen van 00:00u tot 24:00u
3	Belastingzijde van de ATS (Transformator 1) 18	5/5/2012	Gedurende 70 dagen van 00:00u tot 24:00u
4	Kast HKL-1 (Transformator 2)	23/6/2012	Gedurende 4 dagen van 00:00u tot 24:00u
5	Kast HK-1 groep 2 (Transformator 1)	28/6/2012	Gedurende 15 dagen van 00:00u tot 24:00u
6	Kast HK-1 groep 6 (Transformator 1)	28/6/2012	Gedurende 15 dagen van 00:00u tot 24:00u
7	Kast HKL-2 (Transformator 2)	4/12/2012	Gedurende 5dagen van 00:00u tot 24:00u
8	Kast HKL-2 groep 6 (Transformator 2)	4/12/2012	Gedurende 5dagen van 00:00u tot 24:00u
9	Kast HKL-2 groep 7 (Transformator 2)	10/12/2012	Gedurende 5dagen van 00:00u tot 24:00u
10	Kast HKL-2 groep 3 (Transformator 2)	10/12/2012	Gedurende 7 dagen van 00:00u tot 24:00u
11	Kast LS groep 4 (Transformator 1)	10/12/2012	Gedurende 3 dagen van 00:00u tot 24:00u
12	Kast HKL-1 groep 1 (Transformator 2)	10/12/2012	Gedurende 14 dagen van 00:00u tot 24:00u
13	Kast HKL-1 groep 2 (Transformator)	17/12/2012	Gedurende 14 dagen van 00:00u tot 24:00u
14	Kast HKL-1 groep 7 (Transformator 2)	3/12/2012	Gedurende 7 dagen van 00:00u tot 24:00u
15	Totaal (Transformator 1 en 2)	1/5/2012	Gedurende 10 dagen van 00:00u tot 24:00u
16	Kasten HKL-1 en HKL-2 (Transformator 2)	10/12/2012	Gedurende 7 dagen van 00:00u tot 24:00u
17	Kasten HK1 groep 1, groep 2 en 6	24/9/2012	Gedurende 7 dagen van 00:00u tot 24:00u

Bijlage 6. Tabel A.53-1; Maximale lengte in m van tegen kortsluiting beveiligde leidingen

Isolatiemateriaal:				XLPE, EPR of PVC ³⁾								
Kernmateriaal:				koper								
Sluiting:				tussen een fase en de nul								
Spanning tussen fase en nul (U_0):				230 V								
S	Nominale stroom van gG-smeltpatronen A											
mm ²	2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	647	320	209	122	76	59x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
2,5	x ¹⁾	525	345	206	134	108	80	54x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
4	x ¹⁾	845	557	334	220	180	137	97	73	51x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾
6	x ¹⁾	x ¹⁾	835	502	332	273	209	151	117	86	63x ³⁾	x ²⁾
10	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	847	562	462	356	260	204	153	117	85
16	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	895	737	569	416	328	248	192	142
25	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	901	660	521	395	308	230
35	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	917	723	549	428	322
50	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	980	745	581	437
70	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	840	632
95	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	878
S	Nominale stroom van gG-smeltpatronen A											
mm ²	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
10	57x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
16	101	79	55x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
25	167	133	97	70	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
35	234	189	140	103	74	51x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
50	319	258	193	145	107	77	55x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
70	462	374	281	212	159	116	87	61x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
95	643	521	391	296	223	165	126	91	63x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾	x ²⁾
120	812	658	495	375	283	211	161	118	84	56x ³⁾	x ²⁾	x ²⁾
150	871	707	531	403	305	227	175	129	94	65	43x ³⁾	x ²⁾
185	x ¹⁾	848	638	484	366	274	211	156	114	81	56	x ²⁾
240	x ¹⁾	x ¹⁾	805	611	463	346	268	199	147	105	74	50x ³⁾
300	x ¹⁾	x ¹⁾	971	738	559	418	324	241	178	128	92	65
400	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	876	664	497	385	287	213	154	112	80
500	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	823	617	478	357	265	192	141	101
630	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	965	724	560	418	311	226	166	120
800	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	847	656	490	365	265	195	142
1000	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	780	583	434	316	232	169

Tabel 8.52Z: Minimumwaarde voor de nominale kerndoorsnede S_N van de nul

Fase of pool	Kernmateriaal XLPE, EPR of PVC ³⁾		
Kernmateriaal:	Cu		
Nul	Cu		
Fase of pool	Nul		
$S \text{ mm}^2$	$S_N \text{ mm}^2$	$S_N \text{ mm}^2$	$S_N \text{ mm}^2$
≤ 16	S	S	S
25	16	25	16
35	25	25	16
50	25	25	25
70	35	35	25
95	50	50	35
120	70	70	50
150	95	95	50
185	95	95	70
240	120	120	95
300	150	150	120
400	185	185	150

Toelichting tabel A.53-1 : De tabellen gelden niet voor éénaderige kabels.

- 1) De lengte is groter dan 1000 m, maar de waarde is niet opgenomen in deze tabel. Dit geldt ook voor grotere doorsneden die niet zijn opgenomen in de tabel.
- 2) De leiding wordt overbelast omdat $i_2 t > k_2 S_2$
- 3) De waarden in de tabel die zijn voorzien van 3) zijn niet toepasbaar voor leidingen met isolatie van PVC omdat de leidingen worden overbelast.

Bijlage 7. Verlichtingssterkte en temperatuur van de huidige tl-verlichting voor Hoogbouw Heiligenweg

Verlichtingssterkte en armaturentemperatuur per etage			
Begane grond		1 ^{ste} verdieping	
			
213-387 lx	49.6 °C	325-384 lx	52.0 °C
2 ^e verdieping		3 ^e verdieping	
			
529 – 810 lx	42.2 °C	500 – 744 lx	40.0 °C
4 ^e verdieping		Metingen verricht op 16 januari 2013	
			
284 – 448lx	56.8 °C		

Tabel 52A: Hoogst toelaatbare bedrijfstemperatuur van de isolatie (volgens NEN 1010:2007)

Isolatiemateriaal	Temperatuur ¹⁾ °C
ge vulkaniseerd rubber	kern: 60
polyvinylchloride (PVC)	kern: 70
vernet polyetheen (XLPE) en etheenpropeen rubber (EPR)	kern: 90
mineraal (met of zonder PVC-mantel; aanraakbaar)	metalen mantel: 70
mineraal (zonder mantel; niet aanraakbaar en niet in contact met brandbaar materiaal)	metalen mantel: 105 ²⁾
1) De temperaturen in deze tabel, waarop de waarden volgens de tabellen 52-C1 tot en met 52-C12 zijn gebaseerd op, zijn ontleend aan NPR 3627, NEN 3620 en HD 586. 2) Voor mineraal-geïsoleerde kabels zijn hogere temperaturen toegelaten afhankelijk van de temperatuurklasse van de kabel, de verbindingen, de omgevingscondities en andere externe factoren.	

Temperatuurmeting bij hoofdverdeelkast HK-1 (°C)			
Groep	Kabeltemperatuur	Mespatronen	Verbindingen in railkast
1	39 - 42	74 - 88	46 - 63
2	34 - 37	39 - 42	37 - 38
3	reserve		
4	34 - 35	39 - 40	34
5	34 - 36	38 - 38	35 - 36
6	38 - 41	46 - 54	42 - 46
Temperatuurmeting bij hoofdverdeelkast HK-2 (°C)			
Groep	Kabeltemperatuur	Mespatronen	Verbindingen in railkast
1	38 - 50	48 - 52	42 - 46
2	reserve		
3	reserve		
4	38 - 43	39 - 42	38 - 40
Temperatuurmeting bij verdeelkast HNK-2 (°C)			
Groep	Kabeltemperatuur	Mespatronen	Verbindingen in railkast
1	37 - 41	40 - 47	39 - 41



Temperatuur schroefzekering verdeelkast LA-1, groep 23.

Bijlage 8. Installatieschema en overzicht van de verdeelkasten in de verschillende gebouwen

Bijlage 9. Het type en aantal airco's aangesloten op transformator 1

De airco's die worden aangemaakt tegen 7:00 uur 's morgens en tegen 15:00 uur 's middags worden uitgemaakt

Type	Chiller systeem 240.000	Chiller systeem 120.000	Split units 60.000	Split units 48.000	Split units 36.000	Split units 24.000	Split units 12.000	Bard units 36.000	Window units 24.000	Window units 18.000	Window units 15.000	Window units 12.000	Totaal
Aantal	1	3	3	2	2	5	2	1	7	1	2	2	31
BTU/u	240.000	360.000	180.000	96.000	72.000	120. 000	24.000	36.000	168.000	18.000	30.000	24.000	

De airco's die 1 x 24 uur aan blijven

Type	Chiller systeem 240.000	Chiller systeem 120.000	Split units 60.000	Split units 36.000	Bard units 60.000	Bard units 36.000	Window units 24.000	Totaal
Aantal	1	2	2	3	5	1	2	16
BTU/u	240.000	240.000	120.000	108. 000	300. 000	36.000	48.000	

Bijlage 10. Het type en aantal airco's aangesloten op transformator 2

De airco's die worden aangemaakt tegen 7:00 uur 's morgens en tegen 15:00 uur 's middags worden uitgemaakt

Type	*Chiller systeem 240.000	*Chiller systeem 120.000	*Packet units 60.000	*Split units 60.000	Split units 36.000	Split units 24.000	Split units 12.000	Bard units 36.000	Window units 24.000	Window units 18.000	Window units 15.000	Window units 12.000	Totaal
Aantal	3	2	2	1	4	7	2	1	7	2	3	1	35
BTU/u	720.000	240.000	120.000	60.000	144. 000	168. 000	24.000	36.000	168.000	36.000	45.000	12.000	

De airco's (vermogen) die 1 x 24 uur aan blijven

Type	Chiller systeem 240.000
Aantal	2
BTU/u	480.000

*Airco's gaan automatisch aan en weer uit d.m.v. programmering op het controlepaneel van de airco's en/of door middel van tijd klokken.

Bijlage 11. Nadere toelichting van gG-smeltpatronen en de typen van elektromagnetische storing

Typen van elektromagnetische storing

De volgende typen van elektromagnetische storing kunnen voorkomen:

1. *Bronnen van elektromagnetische emissie (EME)*
2. *Laagfrequente (LF) storingen*
3. *Hoogfrequente (HF) storingen*
4. *Harmonischen*
5. *Transiënten*
6. *Elektrostatische ontladingen*
7. *Storingen in laagspanningsvoeding*

Hierna volgt de toelichting op bovenstaande zeven punten.

ad1. Bronnen van elektromagnetische emissie (EME)

EM- emissie bestaat uit industriële en natuurlijke vorm. De industriële en natuurlijke EM- emissie kan zijn van opzettelijk karakter (draagbare telefoons, telecommunicatieantennes) en / of van onopzettelijk karakter (kortsluiting / aansluiting of EM- storing veroorzaakt door normale werking van de apparatuur zoals fluorescentieverlichting, schakelende elementen).

ad2. Laagfrequente (LF) storingen

Laagfrequente storingen in een installatie treden meestal op als een geleidergebonden storing. Bij laagfrequente storingen is de impedantie van de geleider van ondergeschikt belang. De doorsnede van de geleider is bepalend. Het frequentiebereik van de signalen is: $0 \leq \text{Frequentie} \leq 1\text{-}5 \text{ MHz}$. (Volgens IEC 1000-3-2(1995) - limietwaarden voor emissie van harmonische stromen (ingangsstroom van de toestellen kleiner dan of gelijk aan 16 A))

ad3. Hoogfrequente (HF) storingen

Hoogfrequente storingen in een installatie treden meestal op als stralingsstoring. Bij hoogfrequente storingen zijn de impedantie en de lengte van de geleider bepalend. De doorsnede van de geleider is van ondergeschikt belang. Het frequentiebereik van de signalen is:

Frequentie $\geq 30 \text{ MHz}$.

ad4. Harmonischen

Hogere harmonische storingen zijn storingen in het laagfrequent gebied (LF) en zijn hierdoor over het algemeen geleidergebonden storingen. (IEC 1000-4-7 (1991-07))

ad5. Transiënten

Transiënte storingen zijn impulsen, die opgepakt kunnen worden door elektrische circuits. Ze kunnen aangetroffen worden op voedingskabels alsook op signaalgangen van elektrische en elektronische apparatuur. Enkele belangrijke eigenschappen van transiënten volgens de IEC-normen zijn:

- Zeer korte stijgtijd van ongeveer 5 ms
- Pulsduur van ongeveer 50 ms
- Herhalingsverschijning: puls-trein gedurende ongeveer 15 ms
- Herhalingsfrequentie: opeenvolgende puls-treinen elke 300 ms
- Lage energie-inhoud van ongeveer 1.10Joule
- Hoge amplitude van de overspanning ≤ 4 kV

Transiënten worden veroorzaakt door frequent schakelen van mechanische en vooral elektronische schakelaars. Als de schakelaar geschakeld wordt verandert de spanning over de aansluitingen zeer snel van de nominale waarde naar nul en omgekeerd. Dit veroorzaakt plotselinge hoge variaties in spanning ($\frac{dV}{dt}$), die verder geleid worden door kabels. Enkele andere bronnen zijn blikseminslag, aardfouten en inductieve circuits (relaisspoelen etc). Transiënten zijn hoogfrequente storingen. Via geleiders worden transiënten geleid, maar ze worden eveneens verspreid door straling.

ad6. Elektrostatische ontladingen

Elektrostatische ontlading staat voor pulsvormige stromen die vloeien door een object, dat met de aarde verbonden is. Dus de stromen vloeien indien het object direct of indirect in contact treedt met een ander object, dat een hoog potentiaal ten opzichte van aarde bezit. Enkele belangrijke eigenschappen van elektrostatische ontladingen volgens de IEC 1000-4-2 norm zijn:

- Zeer korte pulsstijgtijd van ongeveer 1 ns
- Pulsduur van ongeveer 60 ns
- Zeldzame aard van het verschijnsel: 1 ontlading
- Zeer hoge spanning bij het begin van de ontlading 2 tot 15 kV of meer

Elektrostatische ontladingen zijn een gevolg van uitwisseling van elektronen tussen materialen of tussen het menselijke lichaam en deze materialen. Het effect van elektrostatische ontladingen van gebruiker naar apparatuur kan variëren van eenvoudige storing tot vernietiging van het apparaat. Elektromagnetische ontladingen zijn hoogfrequent (HF) type storingen, die zich vooral verspreiden via geleiding. Deze kunnen ook wel overgedragen worden naar andere geleiders via straling.

ad7. Storingen in laagspanningsvoeding

In de laagspanningsvoeding kunnen met betrekking tot de spanning, frequentie, golfvorm, fasen en het vermogen de volgende storingen optreden:

- Spanning: fluctuaties, onderbreking, spanningsdalen, spanningspieken
- Frequentie: variaties
- Golfvorm: harmonischen, transiënten
- Fasen: onbalans
- Vermogen: kortsluitingen, overbelastingen (effecten op de spanning)

Enkele bronnen van elektromagnetische storing

- Schakelen van inductieve belastingen met contacten
- Elektrische motoren
- Fluorescentieverlichting
- Gelijkrichters
- Voedingsspanning schakelen
- Computers
- Elektronische snelheidsregelaars

De gG-smeltpatronen

De gG-smeltpatronen kunnen als volgt gedefinieerd worden: gG-smeltpatronen zijn zekeringen die overeenkomstig hun functie ingedeeld zijn in klassen. Hierbij geeft de eerste letter de functieklasse aan en de tweede letter staat voor het te beveiligen object.

De eerste letter g betreft bescherming voor het gehele gebied (zekeringen voor algemeen gebruik): zekeringen die minstens de stromen tot hun aangegeven nominaalstroom voortdurend doorvoeren en stromen van de laagste smeltstroom tot de uitschakelstroom kunnen schakelen (overlast en kortsluitbeveiliging). De tweede letter van de gG-smeltpatronen (de G) betreft kabel- en leidingsbeveiliging (voor algemene toepassingen)