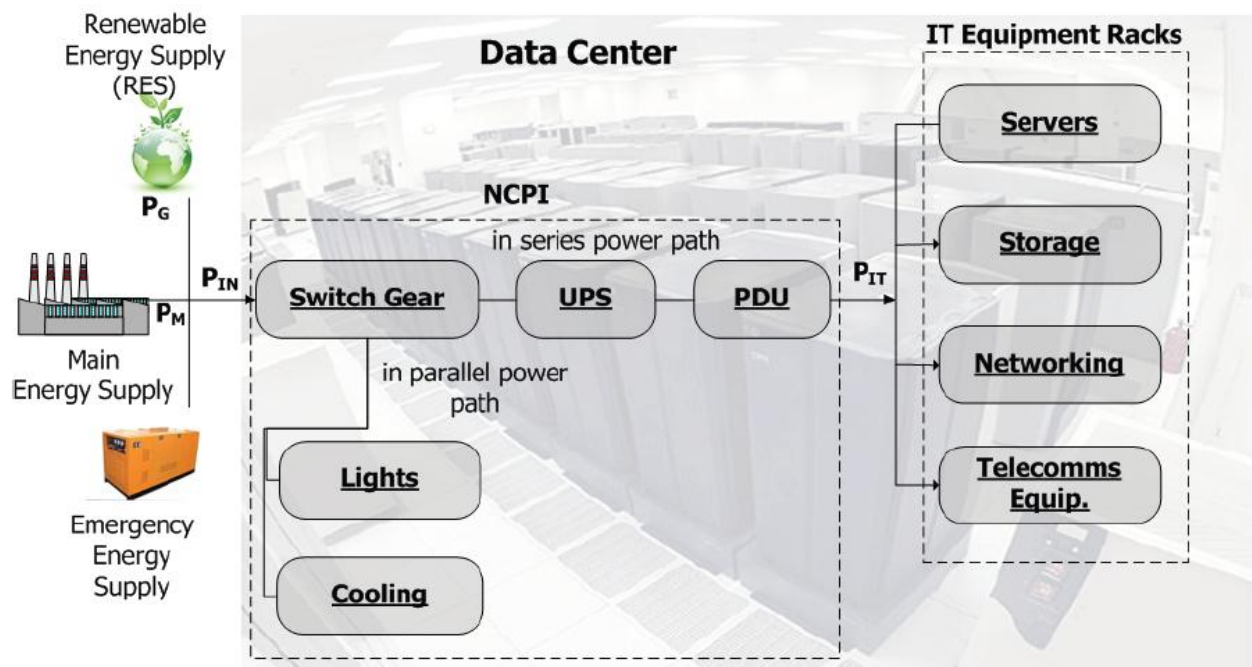


Het verhogen van de betrouwbaarheid en de efficiëntie van de energievoorziening voor telecom en datacom bij Telesur

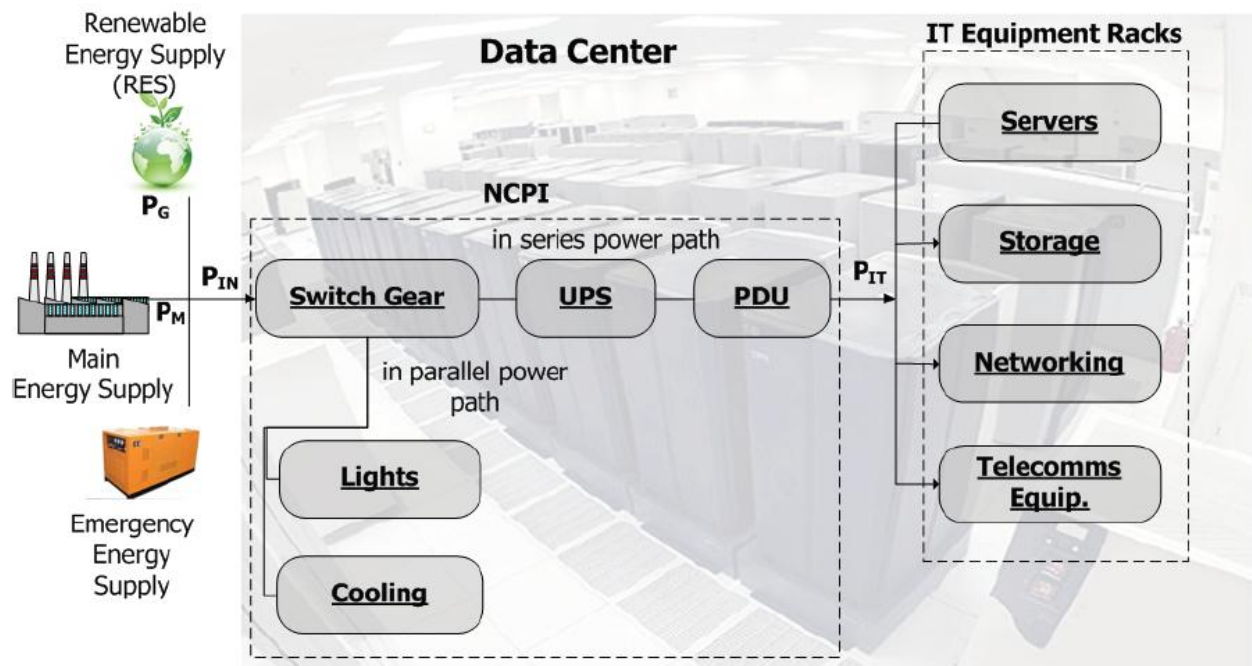


Afstudeerverslag ter verkrijging van de graad van
Bachelor of Applied Technology (B.Tech.)
in de studierichting Elektrotechniek

J.Philibert

Paramaribo, 17 juli 2013

Het verhogen van de betrouwbaarheid en de efficiëntie van de energievoorziening voor telecom en datacom bij Telesur



Naam student + studentenreg.nr.:
Docentbegeleider:
Bedrijf:
Bedrijfsbegeleider:

Johnny Philibert 10736
G. Kromoredjo MSc
Telecommunicatiebedrijf Suriname (Telesur)
R. Pansa BTech.

Paramaribo, 17 juli 2013

Samenvatting

Het Telecommunicatiebedrijf Suriname (Telesur) is een dienstverlenend bedrijf dat telecommunicatiediensten produceert en levert aan klanten. Het komt wel eens voor dat de levering van de verschillende diensten naar de klanten toe onderbroken wordt. De duur daarvan varieert tussen enkele minuten tot enkele uren. Het bedrijf lijdt daardoor aan inkomstenderving en aan imago-verlies. De onderbreking van de dienstverlening is veelal te wijten aan een onderbreking van de energietoevoer naar de verschillende belangrijke apparaten ten behoeve van de diensten.

Vanwege de toenemende vraag naar energie en de invloed die het winnen en gebruik daarvan heeft op ons milieu roepen vele instanties en organisaties iedereen op zuinig om te gaan met energie. Vanuit het oogpunt van de commercie heeft het zuinig omgaan met energie ook als reden het drukken van de operationele kosten.

Het onderbreken van de dienstverlening en het eventueel inefficiënt omgaan met energie zijn onacceptabele situaties. Op grond daarvan is er een onderzoek verricht die als doel had het aandragen van aanbevelingen die moeten leiden tot het ontstaan van een energievoorziening die betrouwbaar en efficiënt is. De probleemstelling die hierbij gesteld was luidt het volgende: “Wat zijn de tekortkomingen in de energiesystemen en telecom en datacom apparaten bij Telesur en wat zijn de veranderingen die Telesur moet doorvoeren om deze weg te werken? ”

Bij het uitvoeren van dit project is veel literatuurstudie gedaan waaronder de voorschriften, richtlijnen en standaarden die duidelijk aangeven hoe men zowel telecommunicatie energiesystemen als IT-energiesystemen dient op te zetten om te kunnen praten over een betrouwbaar energiesysteem. Verder is ook bestudeerd hoe energiesystemen maar ook andere apparatuur te exploiteren zodanig dat er op een verantwoordelijke manier om wordt gegaan met energie.

Tijdens de evaluatie van de systemen bij Telesur zijn enkele zaken aan het licht gekomen waarvan de meest belangrijke punten zullen worden opgenoemd.

- Power plants en UPS-en met grote capaciteiten maar met een kleine belasting.
- Systemen met single point of failure.
- Back-up batterijen in warme ruimtes en laders die op constant spanning werken.
- Gebouwen waarbij de buiten temperatuur de koelinstallatie binnen beïnvloeden.
- Gebrekkige luchtdistributiesystemen, grote haast lege ruimtes en thermostaten op verkeerde plaatsen.

Hieruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Inefficiënte koelinstallaties in de stations.
- Vele single points of failure.
- Batterijen raken defect door hoge temperaturen en verkeerd laadproces.
- De transmissie in het binnenland valt soms uit door gebrek aan back-up energie.

Om deze situatie te veranderen zijn de volgende aanbevelingen aangedragen.

- Het in beeld brengen van alle single points of failure in de systemen, en veranderingen aanbrengen zodanig dat die weggewerkt zijn.
- Het gebruiken van rack mounted Static Transfer Switch (STS) voor apparaten met één voedingssnoer.
- Gebruik van smart chargers om batterijen te laden. Door toepassing van deze laders kunnen de batterijen een langere levensduur halen.
- Bij het opzetten van toekomstige gebouwen gebruikmaken van energie- efficiënte bouwstijlen.
- Gebruik maken van de ECO-modus die in de SCU+ en de ACU controllers voorkomt.

Summary

The Telecommunicatiebedrijf Suriname (Telesur) is a service provider who produces and provides telecommunication services to customers. It sometimes happens that services to the customers are not available. The duration of such an interruption can vary between a few minutes to a few hours. The company suffers then from loss of revenue and loss of image. The interruption of the services are mostly caused by an interruption in the power supply to the various telecom and IT equipment.

Because of the increasing demand for energy and the impact production and usage of energy have on our environment, international organizations encourage everybody to use energy more efficiently. From the point of view of commerce using energy efficiently can lead to lowering the operational costs.

The interruption of the service and the possibly inefficient use of energy are unacceptable. Thereunder a research has been conducted which purpose was to provide recommendation which must lead to an energy supply that is reliable and efficient. The formulation of the problem was as follows: “What are the shortcomings in the energy systems and telecom and datacom equipment at Telesur and what are the changes that Telesur has to implement to eliminate these”.

To execute this project much study has been done among which requirements, guidelines and standards which clearly state how telecommunication and IT power systems should be setup to create a reliable energy system. Also a study has been done on how to exploit energy systems and other equipment such that energy is being used responsibly.

During the investigation of the power systems at the various Telesur sites the following issues has been revealed:

- Powerplants and UPS's with large capacities and low utilization.
- Systems with single points of failure.
- Batteries in hot environments and chargers that supply a constant voltage.
- Buildings where the outside air temperature influences the inside temperature.
- Imperfect air distribution systems, large almost empty spaces and wrongly placed thermostat.

The following conclusion can be drawn:

- Inefficient cooling in the stations.
- A lot of single points of failure which endanger the reliability.
- Batteries are getting damage due to high temperature and incorrect charging.
- The backhaul in the interior sometimes experiences problems because of inadequate backup power.

To change this situation the following set of recommendations can be made:

- Make all single points of failure visible and implement changes to eliminate these single points.
- Use rack mounted static transfer switches (STS) to connect single corded equipment.
- Use smart chargers to charge batteries. These chargers have the ability to prolong the battery life cycles.
- Future buildings should be built with energy efficient material.
- Enable the ECO-mode which is present in the SCU+ and the ACU controller.

Voorwoord

Het onderwerp dat in dit verslag wordt behandeld vind ik een heel interessant onderwerp. Het is een bijzondere uitdaging om telecom- en datacomapparatuur te exploiteren zonder dat er een moment ontstaat waarop een deel of het gehele systeem zonder energie komt te staan. Het komt toch wel eens voor dat grote telecombedrijven worden geplaagd door momenten als dit. Verder is het terugdringen van de uitstoot van CO₂ een van de grootste wensen van de internationale gemeenschap. Ik vind het dus prachtig dat ik mag gaan onderzoeken wat Telesur anders moet gaan doen om efficiënter om te gaan met energie.

Telesur zit al tientallen jaren in de telecomsector en is dus begonnen in de tijd waarin men zich eerder concentreerde op het functioneren van telefoonsystemen dan op hoe efficiënt ze draaiden. Ook lette men niet zozeer op uitvallen die optraden omdat men allang blij was dat men thuis kon zitten en met iemand ver buiten het gezichtsveld informatie kon uitwisselen. Toen dat niet meer een nieuwigheid was kon men zich wel groen ergeren als de telefoon “dood” was.

Langs deze weg wil ik eenieder dankzeggen die op welke wijze dan ook een bijdrage heeft geleverd die heeft geresulteerd in de totstandkoming van dit verslag maar wil toch in het bijzonder de PTC-docenten, mevr. Kromoredjo, dhr. Pansa, dhr. Cederboom en mevrouw Long Him Nam een speciaal woord van dank doen toekomen voor hun geduld en de begeleiding.

Paramaribo, 17 juli 2013

Johnny Philibert

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

Lijst van afkortingen

Lijst van figuren

1	Inleiding	- 12 -
2	Het bedrijfsprofiel van Telesur	- 13 -
	2.1 De groei van de telecom in Suriname.....	- 13 -
	2.2 De afdeling Stroomvoorziening.....	- 14 -
3	Energiesystemen ten behoeve van telecom en datacom	- 16 -
	3.1 De power plant.....	- 16 -
	3.2 De AC- power plant.....	- 18 -
	3.3 De DC- power plant.....	- 21 -
	3.4 De gelijkrichters	- 23 -
	3.5 De DC/DC Converters.....	- 25 -
	3.6 De inverter	- 27 -
	3.7 Batterijen	- 29 -
4	Koelsystemen bestemd voor telco's en IT-ruimtes	- 33 -
	4.1 De aard van de warmte in de IT- en telecomomgeving.....	- 33 -
	4.2 De koelcyclus	- 34 -
	4.3 Energie die wordt verbruikt door de koelcyclus.....	- 37 -
	4.4 Toepassing van de koelmiddelencyclus in het koelsysteem voor IT.....	- 38 -
	4.5 Variaties in de koelcyclus.....	- 40 -
	4.6 Luchtdistributiesystemen.....	- 41 -
	4.7 Het belang van vochtigheidsbeheersing	- 44 -
5	Methodieken voor betrouwbaarheid	- 46 -
	5.1 Algemeen.....	- 46 -
	5.2 Betrouwbaarheid.....	- 47 -
	5.3 Beschikbaarheid en mean time to repair (MTTR).....	- 51 -

5.4	Het veerkrachtige systeem.....	- 53 -
5.5	Redundantie	- 54 -
5.6	Onderhoud van een veerkrachtig systeem	- 56 -
6	Het verbeteren van de energie-efficiëntie in telecomnetwerken.....	- 57 -
6.1	Energieconsumptie in telecomnetwerken	- 57 -
6.2	Draadloze netwerken	- 58 -
6.3	Energy Logic bij de RBS	- 60 -
6.4	Het kabelnetwerk.....	- 62 -
6.5	De Energy Logic methode in de telco	- 63 -
6.6	De integratie van de Energy Management Software	- 66 -
7	De onderzoeksresultaten	- 67 -
7.1	Het type telecommunicatiegebouw van Telesur.....	- 67 -
7.2	De koelsystemen in de stations van Telesur	- 68 -
7.3	De power plants	- 70 -
7.4	IT-apparatuur bij Telesur	- 74 -
8	Conclusies en aanbevelingen.....	- 77 -
	Literatuurlijst	- 79 -
	Bijlage I: Blokschema van een UPS.....	- 80 -
	Bijlage II: Voorbeeld van een veerkrachtig systeem	- 81 -
	Bijlage III: Voorbeelden van actieve redundantie	- 82 -
	Bijlage IV: De cascadebesparing bij een draadloze RBS	- 83 -
	Bijlage V: De radio base station met en zonder feeder	- 84 -

Lijst van afkortingen

A	=	Ampère
AC	=	Alternating Current
ADSL	=	Asymmetric Digital Subscriber Line
ASHRAE	=	American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineer
BTC	=	Battery Temperatur Compensation
BTU	=	British Thermal Unit
CBN	=	Common Bonding Network
CFM	=	Cubic Feet per Meter
COGB	=	Central Office Ground Bus
CRAC	=	Computer Room Air Conditioner
CRAH	=	Computer Room Air Handler
DC	=	Direct Current
FLA	=	Flooded Lead Acid
GPON	=	Gigabite Passive Optical Network
IBN	=	Isolated Bounding Network
IP	=	Internet Protocol
KHz	=	Kilohertz
KPa	=	Kilopascal
Kw	=	kilowatt
LNS	=	Local Network Services
MSC	=	Mobile Switching Center
MTBF	=	Mean Time Between Failures
MTTF	=	Mean Time To Failure
MTTR	=	Mean Time To Repair
NCPI	=	Network Critical Physical Infrastructure
NEBS	=	Network Equipment Building Structure
OPGP	=	Office Principal Ground Point
PA	=	Power Amplifier
PDU	=	Power Distribution Unit
PSI	=	Pounds per Square Inch
PSTN	=	Public Switched Telephone Network
RBS	=	Radio Base Station
RF	=	Radio Frequency
ROI	=	Return On Investment
SCR	=	Silicone Controlled rectifier
STS	=	Static Transfer Switch
Telco	=	Telecommunication Central Office
UPS	=	Uninterruptable Power Supply
V	=	Volt
VDSL	=	Very high bit Digital Subscriber Line
VFD	=	Variable Frequency Drives
VoIP	=	Voice over IP
VRLA	=	Valve Regulated Lead Acid

Lijst van figuren

<i>Figuur 1: De locatie van de verschillende beveiligingen in een AC- power plant.</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Figuur 2: Een Netsure 802 DC power plant.....</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Figuur 3: Een convertersysteem bestaande uit vier converters.....</i>	<i>- 26 -</i>
<i>Figuur 4: Een lood-antimoon batterij bestaande uit vier cellen.....</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Figuur 5: Een lood-calcium batterij</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Figuur 6: Een VRLA- back-upbatterij opgebouwd uit 24 cellen</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Figuur 7: De stroomrichting van de koude en de warme lucht bij IT-apparatuur</i>	<i>- 34 -</i>
<i>Figuur 8: Een compleet koelsysteem.....</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Figuur 9: Een weergave van de binnen- en buitenonderdelen van een CRAC.....</i>	<i>- 38 -</i>
<i>Figuur 10: Een overzicht van de verschillende koelsystemen.....</i>	<i>- 41 -</i>
<i>Figuur 11: Een concept van de flooded, locally ducted, fully ducted.....</i>	<i>- 42 -</i>
<i>Figuur 12: De flooded, locally ducted, fully ducted volgens het ondervloerprincipe.....</i>	<i>- 43 -</i>
<i>Figuur 13: De badkuipcurve</i>	<i>- 49 -</i>
<i>Figuur 14: Behuizingen van apparatuur en systemen bij Telesur</i>	<i>- 67 -</i>
<i>Figuur 15: Het luchtdistributiesysteem (links) en het rooster voor retour (rechts).....</i>	<i>- 69 -</i>
<i>Figuur 16: Grote vrije ruimtes in een station van Telesur</i>	<i>- 69 -</i>
<i>Figuur 17: De meetresultaten van een meeting in een IT- room bij Telesur</i>	<i>- 70 -</i>
<i>Figuur 18: Een 600 watt DC power plant (links) en de efficiëntie curve (rechts).....</i>	<i>- 71 -</i>
<i>Figuur 19: Een monolithische UPS van 60kVA die op Centrum 2 staat</i>	<i>- 72 -</i>
<i>Figuur 20: Een gebarsten back-upbatterij.....</i>	<i>- 73 -</i>
<i>Figuur 21: Rekken met IT-apparatuur in een station bij Telesur</i>	<i>- 74 -</i>
<i>Figuur 22: IT-apparaten met één power supply en één met twee power supplies bij Telesur..</i>	<i>- 75 -</i>
<i>Figuur 23: Een APC basic rack PDU.....</i>	<i>- 76 -</i>

1 Inleiding

De telecommunicatie heeft een belangrijke plaats ingenomen in het leven van de mens om zowel zakelijke als sociale redenen waardoor de belangrijkheid van deze sector hoog is opgelopen. Dit heeft ertoe geleid dat de kwaliteit van deze sector van dien aard moet zijn dat er sprake is van een hoge mate van beschikbaarheid en betrouwbaarheid. Elke stakeholder heeft zich tot nu toe enorm ingezet om de kwaliteit te behalen die men nastreeft, dus zo ook Telesur.

In deze sector gaan jaarlijks miljoenen kWh aan energie verloren door inefficiënte systemen wat vanuit het economische oogpunt bekeken zeer nadelig uitvalt. Een ander aspect is dat voor het opwekken van elektrische energie er vaak schade wordt berokkend aan het milieu. Ook het terugdringen van de uitstoot van CO₂ is een van de redenen voor energiebesparing.

Echter is gebleken dat ondanks alle voorzieningen die getroffen worden om de ideale situatie te creëren er toch situaties zich voordoen waarbij telecommunicatiediensten niet beschikbaar en inefficiënt zijn voor de klanten vanwege storingen in het energiesysteem. In dat kader is er een onderzoek verricht om na te gaan wat Telesur kan veranderen in het energienetwerk om toch de gewenste resultaten te behalen. De probleemstelling voor dit onderzoek luidt dus al volgt: “Wat zijn de tekortkomingen in de energiesystemen bij Telesur en wat zijn de veranderingen die Telesur moet doorvoeren om deze weg te werken?”

In dit verslag zijn de resultaten van het onderzoek verwerkt. Uit deze resultaten zijn er aanbevelingen gedaan worden aan Telesur welke de actiepunten zijn die men moet uitwerken die zullen leiden tot de doelen die men nastreeft. Eerst is er een theoretische beschouwing gegeven die betrekking heeft op de verschillende aspecten die deel uitmaken van de verschillende energiesystemen die bij Telesur zijn opgenomen in het netwerk.

Hoofdstuk 2 beschrijft het profiel van Telesur. In hoofdstuk 3 worden de verschillende energiesystemen belicht en in hoofdstuk 4 de koelinstallaties die in de verschillende telefooncentrales voorkomen. De aspecten met betrekking tot de verschillende manieren van het verkrijgen van een hoge mate van betrouwbaarheid komen in hoofdstuk 5 aan de orde en in hoofdstuk 6 worden de concepten voor het verhogen van de efficiëntie behandeld. Hoofdstuk 7 geeft de resultaten van het onderzoek weer.

De literatuur die het meest geraadpleegd is bij het uitvoeren van dit project is: Roy S., (2008). *Energy Logic for Telecommunications* en Marshall G. en Chapman D., (2012). *Resilience, Reliability and Redundancy*.

2 Het bedrijfsprofiel van Telesur

Het afstudeerproject werd gedaan bij het Telecommunicatiebedrijf Suriname (Telesur) en wel op de afdeling Stroomvoorziening (SV). Dit telecommunicatiebedrijf heeft niet altijd Telesur geheten en heeft ook niet altijd de status van Sui Generis gehad maar was voorheen een 's landsbedrijf dat toen 's Lands Telegraaf en Telefoondienst (LTT) heette. In dit verslag zal er meer achtergrondinformatie over Telesur en SV verschaft worden zodat men een beter beeld heeft van wat Telesur is en doet en wat de taken en verantwoordelijkheden zijn van SV. Paragraaf 2.1 handelt over de groei van de telecomsector in Suriname terwijl in paragraaf 2.2 de afdeling Stroomvoorziening wordt belicht.

De geraadpleegde bronnen zijn: www.telesur.sr en www.teleg.sr.

2.1 De groei van de telecom in Suriname

De eerste telecommunicatievoorzieningen in Suriname werden omstreeks 1880 opgezet door de Nederlandse Landmacht.

Op 14 juni 1887 kwam de eerste telefonische verbinding in Suriname tot stand tussen Paramaribo en Fort Nieuw Amsterdam. Enige jaren daarvoor installeerden de gebroeders Barnett aan de Waterkant een privétostel dat hun woning verbond met het pakhuis aan de Kromme Elleboogstraat, een afstand van ongeveer 33 meter. In 1911 waren er in het 'Centrale Postkantoor' 72 gouvernementsaansluitingen terwijl 180 particulieren over een telefoon beschikten. Het personeel bestond uit een opzichter voor het telefoonwezen, vier militairen en veertien burgers.

In 1930 bedroeg het aantal abonnees 360. In die tijd was het telefoonverkeer in ons land handverkeer. Dat wil zeggen dat de verbindingen tot stand kwamen door tussenkomst van telefonistes. Het telefonische handverkeer veranderde in 1952, toen de eerste automatische centrales in Paramaribo en Zanderij in gebruik werden gesteld. Op 31 mei 1952 nam directeur Ir. Hadewines de Geus het kantoor aan het Vaillantsplein in gebruik. Het abonneebestand was toen 700. Met de gestarte 1600 nummers dacht men voldoende reserve te hebben om pas over 5 jaar aan uitbreiding te denken. Omdat telefoneren zo gemakkelijk was geworden, groeide de vraag enorm.

Reeds het jaar daarop, in 1953, kwam de eerste uitbreiding tot stand met 1000 nummers.

Na 1954 voorzag de verbinding met Zanderij niet meer in de behoefte. Het aantal gesprekken dat tegelijk afgewikkeld moest worden, groeide met de dag. Op de kabel die Zanderij met Paramaribo verbond, werd toen in 1957 draaggolfapparatuur geïnstalleerd. Hiermee konden er acht ge-

sprekken tegelijk verwerkt worden. Door regelmatige uitbreiding van het net trachtte LTT te voorzien in de behoefte.

Desondanks bleef de vraag naar telefoonaansluitingen sterker groeien dan de realisatiecapaciteit. Een constant gebrek aan voldoende middelen was daaraan mede debet.

Het dieptepunt kwam rond de jaren zeventig, toen de totale uitbreiding en modernisering van het telecommunicatienet ter hand werd genomen door de ITT (Virgin Islands), een telecom-multinational. Bij het aanbieden van het ITT-telefoonsysteem (Pentaconta), heeft deze maatschappij geen rekening gehouden met het feit dat in onderontwikkelde landen met relatief weinig telefoonaansluitingen per inwoner, de telefoon vaker en intensiever gebruikt wordt.

Na de omzetting van LTT in een landsbedrijf in 1973 leek het tij ten goede te keren. Er werden investeringen gepleegd om de lokale en interlokale telefoonverbindingen te verbeteren en door de installatie van nieuwe straalverbindingsapparatuur werd het transport van televisiesignalen naar de districten gerealiseerd. Door de bouw van twee nieuwe wijkcentrales in 1976 werd de aansluitcapaciteit van Paramaribo vergroot.

2.2 De afdeling Stroomvoorziening

Deze afdeling maakt deel uit van het onderdirectoraat Operationele Zaken (OZ) en heeft als taak het voorzien van energie aan alle systemen en gebouwen in zowel gelijk- als wisselspanning. Ook zorgt deze afdeling voor luchtbehandeling (koeling) in alle ruimtes waarin zowel mensen als telecom- en datacom- apparatuur voorkomen. Deze afdeling bestaat uit twee onderdelen namelijk KLK (Koel, Licht en Kracht) en DCI (Direct Current Installaties).

Voor elke ruimte waarin er gewerkt wordt of apparatuur voorkomt is er behoefte aan elektrische energie welke door EBS (Energie Bedrijven Suriname) wordt geleverd. Vanwege verschillende redenen kan het voorkomen dat de energie vanuit EBS niet aanwezig is. Op de plaatsen waar het van belang is dat de elektrische energie gehandhaafd blijft wordt er een alternatieve energiebron in bedrijf gesteld, namelijk een diesgenerator die een NSA (noodstroom aggregaat) wordt genoemd. In de stations van Telesur kunnen belastingen voorkomen waarvoor noch de energie vanuit EBS noch het NSA geschikt is. In dat soort gevallen worden UPS-en toegepast die in staat zijn een schone en betrouwbare wisselspanning te leveren. Het beheer van de totale wisselstroomvoorziening valt onder verantwoordelijkheid van de afdeling KLK.

Net zoals energie nodig is voor elke ruimte is dat ook het geval met luchtbehandeling. In

afgesloten ruimten, waar mensen zich bevinden om te werken en vooral ruimten waarin er apparatuur is opgeslagen, dienen de temperatuur en vochtigheidsgraad van dien aard te zijn dat er sprake is van een geschikte ruimte. Hiervoor worden koelinstallaties gebruikt die kunnen voorkomen in verschillende uitvoeringen. Ook deze dienst valt onder beheer van KLK.

In de stations van Telesur komt telecommunicatieapparatuur voor die op gelijkstroom werkt. Deze gelijkstroom is afkomstig van gelijkrichters die gevoed worden vanuit het net van EBS of het NSA. Om de gelijkstroom beschikbaar te hebben op momenten waarop er helemaal geen wisselstroom aanwezig is worden batterijen gebruikt. Deze batterijen worden geladen gehouden door de wisselstroom op een door de fabrikant aangegeven niveau en treden in werking bij onderbreking van de netstroom. De afdeling DCI is de verantwoordelijke voor deze gelijkstroomvoorziening. Deze afdeling is namelijk belast met het ontwerpen, installeren, instandhouding van het gelijkspanningsnet en het maken van aansluitingen daarop.

3 Energiesystemen ten behoeve van telecom en datacom

Internet, vaste en mobiele telefonie, VoIP, satellietcommunicatie, internet radio en televisie, sms, pingen enzovoort zijn telecommunicatiediensten die ontwikkeld worden door toepassing van elektronische apparatuur. Om deze apparatuur op een gepaste manier te laten functioneren zijn er energiesystemen, power plants genaamd, ontwikkeld die aan het elektrische net energie onttrekken en deze omzetten in de meest betrouwbare en efficiënte vorm. In dit hoofdstuk zal er aandacht worden geschonken aan deze power plants waarbij de opbouw en de werking aan de orde zullen worden gesteld. In paragraaf 3.1 worden power plants in het algemeen behandeld en in paragraaf 3.2 AC- power plants. DC- power plants komt in 3.3 aan de orde, gelijkrichters in 3.4 terwijl de DC-/DC- converter in paragraaf 3.5 onder de loep wordt genomen. Paragraaf 3.6 handelt over inverters en paragraaf 3.7 over batterijen.

De bronnen die bij dit hoofdstuk zijn geraadpleegd zijn: Qwest, (2009). *Power Equipment and Engineering Standards*, Verizon, (2011). *DC Distribution Engineering Standard*.

3.1 De power plant

Met een power plant wordt bedoeld elke installatie die opgezet is met de bedoeling om energie te leveren aan één of meerdere belastingen. Een installatie die gelijkstroom levert wordt een DC- power plant genoemd en een installatie die wisselstroom levert wordt een AC- power plant genoemd. Een AC- power plant levert energie aan zowel de DC- power plant als andere belastingen zoals verlichting en koeling. Later in het verslag zal er dieper worden ingegaan op de twee power plants. Om op een professionele en gepaste manier een power plant te ontwerpen die moet voldoen aan de gestelde eisen moeten drie criteria in acht worden genomen. Deze zijn:

- het totale benodigde vermogen,
- de opgenomen redundantie in de DC- power plant,
- voorzieningen om mogelijke groei in de toekomst mogelijk te maken.

Elke power plant die goed in elkaar gezet is beschikt over de volgende vijf elementen:

- één of meerdere wisselstroom (AC) bronnen,
- één of meerdere gelijkstroom (DC) bronnen,
- een DC- distributiesysteem,

- aarding
- alarm, monitoring en bedieningssystemen.

Elk van de eerste vier genoemde elementen worden in relatie tot elkaar gedimensioneerd in een goed ontworpen power plant. Alarm, monitoring en bedieningssystemen moeten in de gehele power plant worden geïncorporeerd om de integriteit van alle onderdelen te waarborgen.

Bij het ontwerpen van een power plant wordt gebruikgemaakt van wat bekend staat als reverse engineering waarbij er begonnen wordt met wat gewenst is om te komen tot wat er nodig is. Daarmee wordt bedoeld dat aan de belastingszijde wordt gestart en men werkt naar voren toe tot de invoerkabel van het gehele systeem. De eerste stap om een power plant te ontwerpen is om het vermogen van alle individuele DC- belastingen op te tellen inclusief de redundantie. Dit vermogen wordt omgezet in AC waarna het wordt opgeteld met alle andere AC- belastingen zoals de koeling en verlichting. Nu is de basis gelegd om een beeld te hebben hoeveel vermogen de AC- power plant moet leveren aan de totale belasting. Als men in de ontwerpfase niet alle relevante zaken meeneemt die moeten leiden tot een goede AC- power plant kan het veel geld gaan kosten in de toekomst als men modificaties moet plegen aan het systeem.

Belangrijke belastingen

Onder belangrijke belastingen wordt verstaan alle belastingen die bij een AC - uitval geen onderbrekingen mogen ervaren. Deze belastingen kunnen onderverdeeld worden in vier groepen:

- Telefoonapparatuur: centrales, transmissieapparatuur, klokken en timers, inverter plants, stopcontacten voor testapparatuur, enz.
- Apparatuur behorende bij het gebouw: koelinstallaties, liften, elektronische beveiligings-systemen, dag- en nachtverlichting, enz.
- Kantoorapparatuur: back-upsystemen, bepaalde administratiesystemen, enz.
- Noodverlichting: elektrakamer, toiletten, generatorhuis, beheerderskamer, enz.

Niet-belangrijke belastingen

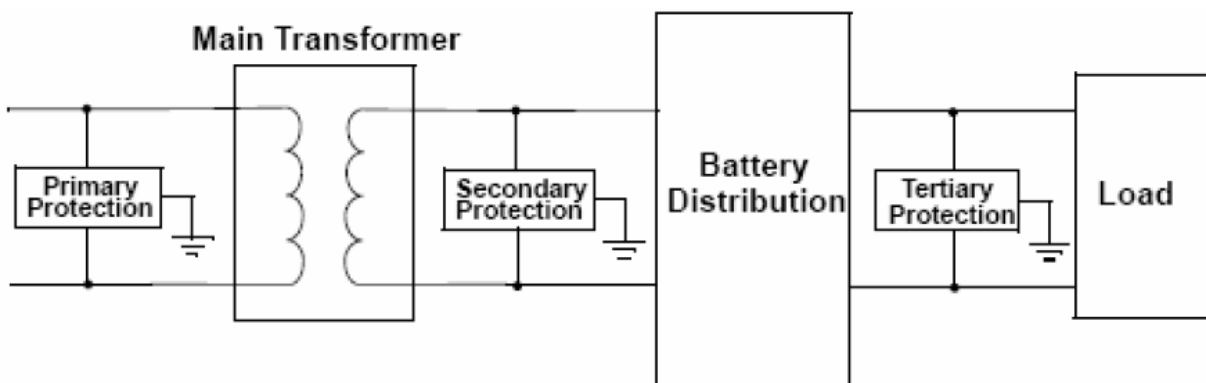
Dit zijn de belastingen die bij een AC- uitval niet gevoed hoeven te worden. Het zijn belastingen die geen invloed hebben op de werking van het telecommunicatienetwerk en worden over het algemeen rechtstreeks uit het commercieel voedingsnet gevoed.

3.2 De AC- power plant

De AC- power plant wordt zodanig ontworpen dat die in staat moet zijn zowel de belangrijke als de niet-belangrijke belastingen te voeden maar ook toekomstige uitbreidingen op het telecom-netwerk. Het commerciële AC- net is kwetsbaar voor verschillende externe invloeden zoals blikseminslagen, omvergereden palen, storingen aan het kabelnet, pieken en harmonischen waartegen er voorzieningen getroffen dienen te worden. Overspanningsbeveiligingen en surge protectors zijn de meest toegepaste. Overspanningsbeveiligingen worden onderverdeeld in drie categorieën namelijk:

- De primaire beveiliging aan de ingang van de totale power plant,
- De secundaire beveiliging aan de onmiddellijke secundaire zijde van de transformator
- De tertiaire beveiliging aan of dicht bij de belasting.

Figuur 1 geeft de locatie weer van de verschillende beveiligingen.



Figuur 1: De locatie van de verschillende beveiligingen in een AC- power plant

Om te voorkomen dat bij de overname van de back-up AC- voorziening of bij herstel van de AC commerciële voeding er te hoge aanloopstromen zullen lopen, die desastreuze gevolgen kunnen hebben, worden de belastingen bij kavels in bedrijf gesteld. Dit staat bekend als sequential start. Sequential start kan zowel handmatig als automatisch geschieden. Sommige DC- power plants hebben deze optie reeds in het systeem ingebouwd wat goed uitkomt omdat bij het opstarten van gelijkrichters meestal 100% stroom uit het net wordt getrokken.

AC- bron

De AC- power plant wordt gevoed vanuit het lokale elektriciteitsbedrijf. Dit wordt normaal gedaan door een step-downtransformator te gebruiken om de spanning omlaag te transformeren tot het spanningsniveau dat gewenst is voor het voeden van de AC- power plant. De transformator moet zodanig zijn gedimensioneerd dat hij 125% van het maximale piekvermogen kan leveren plus daar bovenop vermogen om eventuele groei te kunnen accommoderen.

De stand-by AC- bron

Bij het uitkiezen van een stand-by AC- bron, ook wel een noodvoeding genoemd, worden de volgende punten in acht genomen:

- Stationair of verplaatsbaar,
- Brandstofsoort: gas, propaan, butaan, gasoline, diesel of liquefied petroleum gas (LPG),
- Automatische of handmatige bediening,
- Enkele of meerdere eenheden,
- Nominale spanning en aantal fasen.

De stand-by bron moet in staat zijn om alle belangrijke belastingen te kunnen voeden en moet ook voldoen aan alle voorschriften die gelden voor het opzetten van een stand-by noodvoorziening. Onbemande of gedeeltelijk onbemande stations worden voorzien van een systeem waarbij bij uitval van de commerciële voeding de stand-by AC- bron automatisch opstart en de belasting overneemt. De betrouwbaarheid van de stand-by bron is van belang om de belasting te voorzien van energie die voldoet aan de specificaties van de belasting.

De AC- transfer switch

Om te schakelen tussen de commerciële spanning en de stand-by spanning wordt gebruikgemaakt van een transfer switch. Deze omschakeling kan zowel handmatig als automatisch geschieden. De transfer switch met de daarbij behorende bedrading moet in staat zijn het piekvermogen, Dat kan ontstaan door het aanlopen van apparaten en systemen, aan te kunnen. Andere zaken die men in acht moet nemen bij het dimensioneren van een transfer switch zijn:

- in staat zijn te kunnen sluiten tegen grote aanloopstromen in,
- grote foutstromen kunnen verdragen
- kunnen uitschakelen bij een stroom zes keren de nominale stroom.

De transfer switch komt in de installatie voor tussen de hoofddistributie, de stand-by AC- bron en de AC- commerciële voeding. Vanwege de plaats van de transfer switch in de installatie is het belangrijk bijzondere aandacht te schenken aan deze component bij het ontwerpen van een power plant. Als door onderdimensionering de transfer switch niet juist functioneert of defect raakt zal de gehele power plant spanningsloos komen te staan ondanks de aanwezigheid van zowel de commerciële als de stand-by spanning.

AC- back-up systemen voor beschermde en niet-onderbreekbare belastingen

Onder beschermde belastingen wordt bedoeld DC/AC inverters die schone en storingsvrije AC vermogen produceren voor gevoelige telecommunicatieapparatuur. Een DC- bron samen met de bijbehorende batterijen voedt de inverters die AC- vermogen produceren en die galvanisch gescheiden zijn van het commerciële net. Normaal zijn de inverters via een transfer switch aangesloten op de belasting waardoor bij een eventuele storing aan de inverter de belasting overgeschakeld kan worden op het commerciële net. Van de transfer switch zijn er twee typen bekend, namelijk:

- een fast-switching halfgeleidercomponent die in staat om te schakelen in microsecondes,
- een slow-switching elektromechanisch relais dat een schakeltijd heeft van milliseconden.

Over het algemeen zijn inverters minder efficiënt dan wanneer de netspanning gebruikt zou worden maar de inverter biedt schoon AC- vermogen aan bestemd voor gevoelige apparatuur. Een configuratie die men kan toepassen is de gevoelige apparatuur laten draaien op de commerciële spanning en dan de inverter gebruiken als een stand-by AC- bron. Zo verkrijgt men een hogere efficiëntie maar de belasting is daardoor dan niet beschermd tegen eventuele storingen op het elektrisch net.

Met niet-onderbreekbare belastingen wordt normaal bedoeld belastingen die vanuit het commerciële net worden gevoed via een Uninterruptable Power Supply (UPS). Zie bijlage I. De UPS bezit alle redundantie inclusief batterijback-up om de belasting te voeden totdat de commerciële AC hersteld is. Deze belastingen worden niet door DC gevoed en zijn essentieel voor de bedrijfsvoering.

3.3 De DC- power plant

De energie die nodig is om alle telecommunicatieapparatuur in een telco te voeden in zowel normale als in redundante situaties wordt geleverd door een DC- power plant. Dit systeem bevat enkele belangrijke elementen die zorg dragen voor het voeden van de belasting. In figuur 2 is een 22 kW gelijkspanningssysteem weergegeven.



Figuur 2: Een Netsure 802 DC power plant

De belasting bestaat uit apparatuur en systemen die de verschillende telecommunicatiediensten voor de klanten genereren (bv. bellen en internetten) en uit apparatuur en systemen die ondersteunend werken zoals testapparatuur, monitoringsystemen en testlampen. Deze apparatuur en systemen hebben geen gevolgen op de dienstverlening als die zouden uitvallen in tegenstelling tot de eerder genoemde apparatuur en systemen. Het totale benodigde DC- vermogen wordt bepaald aan de hand van type, aantal en variëteit van telecommunicatieapparatuur en systemen die in de telco zijn opgenomen. Wanneer dit vermogen bekend is waarbij redundantie, distributieverliezen en toekomstgroei zijn inbegrepen, kan men overgaan tot het ontwerpen van de AC- power plant en het daarbij behorende distributiesysteem.

Om een goede DC- power plant op te zetten ten behoeve van de telecommunicatieapparaten en -systemen zijn er een aantal factoren die men in acht moet nemen, zoals de aard van de

belasting, de wisselspanning voor de gelijkrichters, de gelijkrichters, de batterijen, de A/B distributie en redundantie en nog veel meer. Verder wordt het systeem zodanig gebouwd dat bij eventuele groei van de telecommunicatiebelasting het systeem makkelijk uitgebreid kan worden door meer modules op te nemen in het systeem. Vandaar dat het een aanbeveling is deze DC- power plants te bouwen uit modulaire blokken waardoor uitbreidingen makkelijk uitgevoerd kunnen worden.

De gelijkstroombelastingen

Bij telecommunicatieapparatuur worden DC/DC converters gebruikt om de verschillende interne onderdelen te voeden. De functie van de DC/DC converters is om een spanning anders dan de power plantspanning te ontwikkelen zoals $\pm 5V$ en $\pm 12V$. Deze DC/DC converters die een constant vermogen leveren zullen bij het afnemen van de ingangsspanning meer stroom trekken uit de DC- power plant. Deze toename in stroom kan een enorme invloed hebben op de back-up- tijd van batterijen wanneer het systeem op batterijen draait waarbij de spanning steeds daalt. In de telecom wordt de benodigde stroom in twee typen verdeeld, namelijk List1 Current Drain en List2 Current Drain. List1 Current Drain is de stroom die de belasting trekt bij een spanning die gelijk is aan de gelijkrichterspanning en List2 Current Drain is de maximale stroom die de belasting trekt bij de minimale batterijspanning, namelijk $-42V$. Bij het bepalen van de kabeldiameter en de beveiliging wordt hiermee rekening gehouden.

Telecommunicatieapparatuur komt voor in twee typen voor wat betreft de aansluitingen op de DC- power plant, namelijk een enkele voeding (single feed) waarbij er geen redundantie aanwezig is en een dubbele voeding (dual feed, ook bekend als A/B redundancy) waarbij er gebruik wordt gemaakt van twee DC/DC converters met een aan elkaar aangesloten uitgangsspanning om het apparaat te voeden.

De spanning van de DC power plant

Bij het bepalen van de spanning waarop de DC power plant afgesteld moet worden wordt gewerkt met de celspanning van de batterij die opgegeven is door de fabrikant. Om een telecom DC power plant af te stellen wordt de celspanning vermenigvuldigd met het aantal batterijen. In de telecom wordt over het algemeen gewerkt met 24 cellen waardoor de spanning neerkomt tussen de 52 en 54V. De celspanning wordt mede bepaald door de omgevingstemperatuur. De nominale

temperatuur voor batterijen is 25°C waarbij bij een hogere temperatuur de celspanning lager gekozen moet worden en bij lagere temperaturen hoger. De nieuwere typen gelijkrichters die tevens de lader zijn voor de batterijen hebben een optie waarbij door middel van een temperatuurvoeler de spanning over de cel automatisch wordt bijgesteld. Dit wordt battery temperature compensation (BTC) genoemd. Hierdoor wordt de levensduur van de batterij gewaarborgd in vooral ruimtes met grote temperatuursvariaties. In ruimtes waar de temperatuur stabiel is, al is het hoger of lager dan 25°C, is de BTC niet nodig.

De polariteit van een DC power plant wordt bepaald aan de hand van de geleider die beveiligd is. In een conventioneel telecommunicatie - energiesysteem is de voeding - 48V. Het minteken wil zeggen dat de polariteit van de batterijspanning die onderbroken wordt, die battery (BATT) wordt genoemd, negatief is en dat de gemeenschappelijke polariteit, die return (RTN) wordt genoemd, positief is. De return wordt op het aardingssysteem van het gebouw aangesloten volgens de Common Bonding Network (CBN) of de Isolated Bonding Network (IBN). Door de return te verbinden via de CBN of de IBN wordt een pad gecreëerd voor foutstromen zodat de beveiliging kan worden aangesproken in geval van contact tussen de BATT en een blank metalen deel zoals de behuizing van systemen, rekken waarop apparaten worden geplaatst en andere. De BATT en RTN zijn de twee energievoerende geleiders in een driedradig systeem waarbij de derde draad de aarddraad (GND) is die bestemd is voor elektrische beveiliging en het verminderen van storingen op het gelijkspanningsnet. De coderingen voor de telecommunicatievoedingskabel zijn de volgende:

- Rood voor BATT A, in een A/B redundantie systeem, en blauw voor BATT B,
- Zwart voor RTN A en RTN B
- Groen of groen/geel (groen met een gele streep) wordt gebruikt voor de aarddraad.

3.4 De gelijkrichters

Een heel belangrijke component in de gelijkstroominstallatie is de gelijkrichter. De functie van de gelijkrichter is om de wisselspanning om te zetten in gelijkspanning voor het voeden van telecommunicatiebelastingen en om de back-upbatterijen geladen te houden. De ingangsspanning van de gelijkrichter is afkomstig van het commerciële wisselspanningsnet en varieert tussen verschillende niveaus en fasen. In geval van een uitval van het commerciële net wordt een stand-by

wisselspanningsbron in bedrijf gebracht om de gelijkrichters verder te voeden. Over het algemeen zijn gelijkrichters voorzien van tal van mogelijkheden en functies. Enkele hiervan zijn: output statusalarm, stroombegrenzing, walk-in, loadsharing, selective shutdowns en equalizing. Bij het gebruik van de gelijkrichter hoeft men niet alle functies en mogelijkheden te gebruiken. De bedrijfsrichtlijnen en de locatie waar de gelijkrichter wordt gebruikt zijn de belangrijkste criteria die bepalen welke worden toegepast.

Net zoals vele componenten en systemen heeft de gelijkrichter ook de technologische veranderingen moeten doorstaan. De ontwikkeling heeft geleid tot twee hoofdgroepen, namelijk de grotere, robuustere ferro resonant en de kleinere en efficiëntere switched-mode rectifier. Bij de ferro-resonant technologie resonanceert de transformator samen met de bijbehorende condensator op de netfrequentie. Het is belangrijk dat de resonantiefrequentie van de transformator en de condensator zo dicht mogelijk zijn van de netfrequentie omdat de mate van de overdracht van het vermogen van het primaire circuit naar de secundaire daarvan afhangt en hoe minder de storing op het elektrische net wordt (95% power factor bij vollast). Om de uitgangsspanning van de ferro-resonant gelijkrichter regelbaar te maken is de transformator voorzien van een winding die samen met een halfgeleider het magnetisch veld tussen de primaire en de secundaire windingen beïnvloedt. De ferro-resonant gelijkrichter heeft als voordelen: hoge betrouwbaarheid, convectiekoeling, stroombegrenzing op 110% en een levensduur van 20 jaar.

De tegenvallers die bekend zijn bij deze gelijkrichters zijn de overgevoelige terugkoppeling die kan leiden tot oscillatie, groot in omvang is en hogere kosten vergt bij de installatie dan de switched-mode gelijkrichters. De switched-mode gelijkrichter werkt op basis van het schakelen op hoge frequenties (20kHz- 200kHz) wat heeft geleid tot een enorme verkleining van de hoofdtransformator. Deze technologie zet de wisselspanning om in gelijkspanning door middel van een driestadiaproces. In het eerste stadium wordt de wisselspanning gelijkgericht naar een hoge gelijkspanning door middel van een power factor corrector die ook als functie heeft het verhogen van de power factor naar ongeveer 0.99. In het tweede stadium wordt de hoogspanning omgezet in een hoogfrequente blokspanning die wordt gevoed aan een hoogfrequente transformator die uit ferriet vervaardigd is. De transformator zet de spanning om in een veel lagere blokspanning die galvanisch gescheiden is van het primaire circuit. Bij het laatste stadium wordt de spanning gelijkgericht en gefilterd tot een bijna zuivere gelijkspanning.

De switched-mode technologie wordt opgebouwd uit nogal ingewikkelde besturingscircuits maar door deze technologie is de grootte van deze gelijkrichter aanzienlijk verkleind, ongeveer een derde van een ferro-resonant gelijkrichter van hetzelfde vermogen. Deze technologie heeft een voordeel boven zijn voorganger, namelijk de hoge efficiëntie die in de orde van 90% ligt bij vollast en zorgt voor kostenbesparing op lange termijn. Ook is de kwaliteit van de componenten die bij deze technologie worden gebruikt verbeterd wat de betrouwbaarheid van de switched-mode gelijkrichter heeft verhoogd.

Switched-mode gelijkrichters worden op twee manieren gekoeld, namelijk door convectie en geforceerde koeling. Bij compacte gelijkrichters wordt de geforceerde koeling gebruikt en zijn voorzien van een overtemperatuurdetectie. Bij switched-mode systemen kunnen de gelijkrichters verwijderd worden zonder het systeem uit te schakelen. Dit wordt hot-swap genoemd. Dit maakt het repareren van het systeem makkelijk en snel. Dit systeem wordt gebouwd met een stroombeperking van 100% en heeft een automatisch stroomverdeelsysteem dat load-sharing wordt genoemd. Het heeft een levensduur van 10 tot 15 jaar en is modulair opgebouwd waardoor weinig ruimte nodig is en de installatie weinig tijd vereist. Een lastig nadeel van dit systeem is dat het heel gevoelig is voor de storingen op het commerciële net.

Gelijkrichterredundantie wordt meestal aangeduid met $N+1$ waarbij N gelijk is aan 125% van de nominale stroom van de belasting en 1 één extra gelijkrichter is. De redundantie heeft twee functies, namelijk het handhaven van de benodigde stroom in geval van defect van een gelijkrichter en het voorzien van de laadstroom nadat er een energie-uitval is geweest waarbij de back-upbatterijen ontladen zijn.

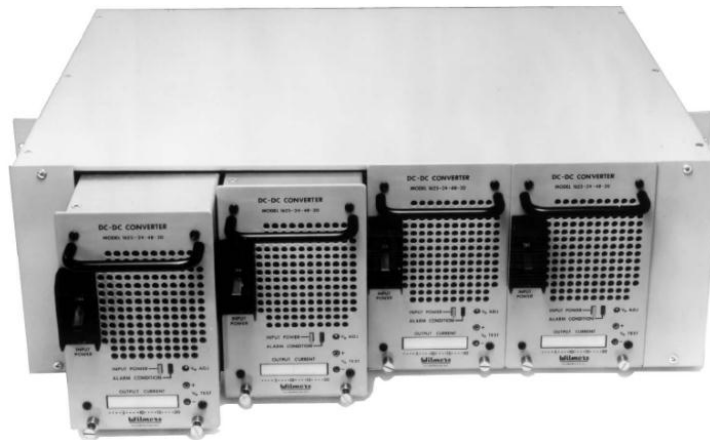
3.5 De DC/DC Converters

Een DC/DC converter zet gelijkspanning om in een gelijkspanning die lager, hoger of een andere potentiaal is dan in ingangsspanning. In bijzondere gevallen waarbij de aarding, ruis of storingen gescheiden dienen te worden wordt een converter gebruikt waarbij de uitgangsspanning en de polariteit gelijk is aan de ingangsspanning.

Converters kunnen op twee manieren in een energiesysteem voorkomen, namelijk als een systeem bestaande uit een aantal converters of als een ingebouwde converter in een apparaat. In figuur 3 is een convertersysteem te zien dat opgebouwd is uit vier converters.

De eigenschappen van de ingebouwde converter voldoen aan dezelfde specificaties als de converters die voorkomen in het convertersysteem. Als vanwege welke reden dan ook de belastingsstroom groter wordt dan de stroom die het convertersysteem kan leveren dient de uitgangsspanning dicht te knijpen in plaats van uit te vallen.

Ter voorkoming dat een convertersysteem geconfronteerd wordt met een overbelasting wordt het vermogen van het convertersysteem bepaald door de piekstroom van de belasting die gevoed wordt. Bij een modulair opgebouwd convertersysteem is het aantal modules dat opgenomen wordt in het systeem altijd één meer dan wat nodig is, zodat bij eventueel defect het systeem voldoende capaciteit over heeft om de belasting te kunnen voeden.



Figuur 3: Een convertersysteem bestaande uit vier converters

Bij het optreden van een defect aan het convertersysteem is het van belang dat de technicus hiervan in kennis wordt gesteld om de nodige herstelwerkzaamheden te kunnen uitvoeren ten einde erger te voorkomen. Het systeem is daarom voorzien van een signaleringssysteem dat een signaal verstuurt naar de technicus door middel van een akoestisch en/of visueel alarm. Het alarm kan onderverdeeld worden in twee hoofdgroepen, namelijk klein-alarm (minor) en groot-alarm (major). Bij klein-alarm hoeft men niet in paniek te raken, het gaat om een situatie die aandacht behoeft maar die de goede werking van het systeem niet in gevaar brengt. Bij groot-alarm daarentegen dient men onmiddellijk in actie te komen omdat een bedreigende situatie zich voordoet.

De beveiligingen (fuse, breaker) die in de leidingen worden opgenomen zijn nooit groter dan de capaciteit van het convertersysteem minus de extra converter. In gevallen waarbij elke converter individueel gevoed wordt vanuit het gelijkspanningssysteem wordt in elke voedingskabel apart een beveiliging opgenomen.

In de converter is een systeem opgenomen dat het totale convertersysteem uitschakelt als de uitgangsspanning een vooraf afgestelde waarde overschrijdt. Dit staat bekend als high voltage shutdown. Het systeem zal minstens het alarm produceren dat aangeeft dat de uitgangsspanning laag is zodat de technicus weet dat er wat er aan de hand is. De uitgangsstroom van de converter is begrensd op 110% van de nominale stroom en de spanning wordt afgesteld op een niveau gelijk aan $\pm 10\%$ van de nominale spanning. Elk convertersysteem is voorzien van analoge of digitale meters die de gebruiker de mogelijkheid bieden de spanning en de stroom te kunnen zien.

Het invertersysteem wordt over het algemeen zodanig opgebouwd dat het mogelijk is te groeien met de belasting. In de telecom, maar ook in de datacom, kan vanwege de technologische ontwikkeling de belasting toenemen die ook gevoed moet worden. Bij een modulair opgebouwd systeem worden modules toegevoegd naarmate de belasting groeit. Dit voorkomt de situatie waarbij men verrast wordt met een enorme toename.

Voor een belasting die gevoed dient te worden met een spanning anders dan de batterijspanning of een andere polariteit kan een convertersysteem gebruikt worden of kan een nieuwe batterijspanning opgezet worden voor de belasting. Voor belastingen tot 100A wordt de bouw van een invertersysteem het meest geprefereerd terwijl voor belastingen groter dan 100A het economisch gezien raadzamer is een nieuwe batterijspanning op te zetten die voldoet aan de specificaties van die belastingen.

Convertersystemen worden gezien als een apart energiesysteem en dienen vanwege die reden opgezet te worden volgens de richtlijnen die horen bij volledige op zichzelf staande energiesystemen. Dat wil dus zeggen dat, behalve het aarden van het chassis, één potentiaal van de uitgang aangesloten dient te worden op de Central Office Ground Bus (COGB) of de Office Principal Ground Point (OPGP).

3.6 De inverter

Een inverter zet gelijkstroom om in wisselstroom die voldoet aan de specificaties van de belasting. Ondanks dat de inverter geen onderbreking kent (uninterruptible) valt deze niet in de categorie van de Uninterruptable Power Supply (UPS). Inverters zijn betrouwbaarder dan een standaard UPS en kunnen voorkomen in het halfgeleidertype of het roterende type. De twee meest voorkomende configuraties zijn:

- Stand-by. In de stand-by configuratie wordt de belasting rechtstreeks gevoed door het elektrische net en de inverter dient dan als een soort back-upstelsel. Deze manier van voeden verlengt de levensduur van de inverter en bespaart energie. Echter is het elektrische net niet gefilterd en zit vol storingen waardoor de belasting zodanig moet zijn uitgevoerd dat deze niet of minder gevoelig daarvoor is. Deze configuratie is ook bekend als de AC-Preferred Mode.
- Online. Bij deze configuratie wordt de belasting continu gevoed door de inverter vanuit de gelijkspanningsbron, en de netspanning, indien aanwezig, wordt gebruikt als back-upvoorziening. Deze toepassing van de inverter is aanbevolen en is bekend als de DC Preferred Mode.

Zoals eerder aangehaald is de online configuratie de aanbevolen toepassing van de inverter. Hierbij wordt een STS (Static Transfer Switch) toegepast die zorgt voor de omschakeling naar het elektrische net in geval van een storing aan de inverter. De onderhoudsschakelaar en de STS zijn niet nodig in een LNS (Local Network Services) wanneer de inverter redundant is uitgevoerd door middel van modules die in staat zijn de belasting 100% te dragen in geval van defect van één module of bij onderhoud. Het invertersysteem wordt zodanig gebouwd dat alle modules en componenten makkelijk van de voorkant te verwijderen zijn. Dat maakt het repareren van het systeem vrij simpel. De modulaire opbouw van het systeem maakt het flexibel om te groeien met de telecomapparatuur.

De volgende apparaten dienen op de inverterspanning te worden opgenomen indien ze zich in de telco bevinden en AC verbruiken:

- Telefooncentrales of netwerkapparaten die niet mogen uitvallen en die op AC moeten worden aangesloten,
- Computers die toegang moeten hebben tot de telecomapparatuur,
- Apparaten die horen tot de emergency diensten, (110 en 115),
- Brandalarm en toegangscontrolesystemen
- Stopcontacten bestemd voor modems behorende bij het netwerk

3.7 Batterijen

Batterijen zijn elektrochemische energiebronnen waarvan elk type zijn eigen karakteristieken heeft. Bij het selecteren van een batterijback-up ten behoeve van een gelijkstroominstallatie dient speciale aandacht te worden geschonken aan de eigenschappen van de verschillende soorten batterijen. Ook is het belangrijk om voldoende na te gaan hoe het gesteld is met de omgeving bij het transporteren, opslaan, installeren en verwijderen van batterijen. De drie voornaamste doelen van batterijen zijn:

1. het bieden van back-up energie bij eventuele uitval van de netspanning,
2. het functioneren als een filter op de gelijkspanning tegen rimpel en andere storingen en
3. het voorzien van grote stromen bij kortsluitingen zodat de beveiliging tijdig aangesproken kan worden.

Voor toepassing in de telecommunicatiesector zijn de twee meest toegepaste typen batterijen de Flooded Lead-Acid (FLA) en de Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batterijen. In telecomcentrales, bekend als telco's, worden 2Volt Flooded Lead-Acid cellen gebruikt die geventileerd dienen te worden zowel aan de bovenkant als rondom, om de waterstof die ontstaat tijdens het laden af te voeren. Valve Regulated Lead Acid, soms ook wel sealed lead-acid batteries genoemd, hebben niet te kampen met ontsnapping van waterstof waardoor deze batterijen niet in een aparte ruimte hoeven te worden geplaatst.

De meeste batterijen hebben een soortelijk gewicht van ongeveer 1.2 en een celspanning van 2.15V. In koude gebieden wordt het soortelijk gewicht hoger gemaakt omdat daarmee het vriespunt lager wordt. Een cel met een hoger soortelijk gewicht wordt geladen met een hogere spanning dan een cel met een lager soortelijk gewicht. Flooded Lead-Acid batterijen zijn verkrijgbaar in twee types, namelijk lood-antimoon (zoals de batterijen in auto's) en lood-calcium batterijen.

In lood-antimoon batterijen wordt antimoon aan de loden plaat toegevoegd om de plaat te verstevigen tegen mechanische krachten. Deze batterijen hebben een hoger zelfontladingsniveau en dienen dus met een hogere druppelstroom geladen gehouden te worden. Hierdoor neemt de ontsnapping van de waterstof toe wat als gevolg heeft het vaker bijvullen van de batterij. Hoewel deze batterijen heel lang in telco's worden gebruikt zal het niet meer lang duren voordat men op een ander type batterij overstapt. Bekend is dat bij een temperatuur van 25°C de lood-antimoon batterij in staat is 14 jaar te halen. Figuur 4 geeft een lood-antimoon weer.



Figuur 4: Een lood-antimoon batterij bestaande uit vier cellen

Tegenwoordig wordt in telco's lood-calcium het meest toegepast. Eén voordeel van deze batterij boven de lood-antimoon is namelijk het feit dat deze batterij een lager zelfontladingsniveau heeft met als gevolg een lagere druppelstroom en lagere verdamping van het elektrolyt. Figuur 5 is een afbeelding van een lood-calcium batterij. Het is soms moeilijk de conditie van de batterij te bepalen aan de hand van het soortelijk gewicht en de klemspanning vanwege het geringe verschil in soortelijk gewicht. De verwachte levensduur van deze batterij bij een temperatuur van 25°C is 15 jaar.



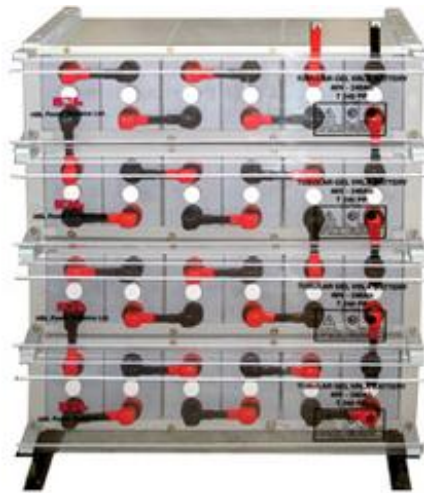
Figuur 5: Een lood-calcium batterij

Van de Valve Regulated Lead Acid batterij zijn twee typen bekend, namelijk het type waarbij het elektrolyt geabsorbeerd zit in een materiaal bekend als glass-mat en die tussen de platen zit als een isolator en het type waarbij het elektrolyt verwerkt zit in silica-gel die om de platen heen is gewikkeld. Onder normale spannings- en temperatuurcondities zijn deze batterijen

gevoerd met kleppen die de overtollige interne druk laten ontsnappen die ontstaat bij hoge temperaturen en hoge laadstromen. Het bijvullen van water bij deze batterijen is niet nodig omdat bij de negatieve platen er een recombinatie plaatsvindt tussen waterstof en zuurstof.

VRLA- batterijen zijn verkrijgbaar in een ruime variëteit van 25Ah tot meer dan 4150Ah of meer en zijn ook verkrijgbaar in verschillende modellen voor verschillende toepassingen. De voordelen van de VRLA- batterij boven de FLA- batterij zijn: laag onderhoud, hoge toepasbaarheid, flexibiliteit bij de installatie en ruimtebesparing. Deze batterij kan afhankelijk van de omgeving een levensduur halen variërende tussen 5 en 15 jaar. Figuur 6 geeft een opstelling weer van een telecomback-upbatterij.

De zweefspanning (float voltage), dat is de spanning die wordt aangelegd op de batterij wanneer de batterij al volgeladen is, wordt door de fabrikant vastgesteld. Een ander type laadspanning dat ook door de fabrikant wordt vastgesteld is de vereffeningsspanning (equalize vol-



Figuur 6: Een VRLA- back-upbatterij opgebouwd uit 24 cellen

tage). Deze spanning ligt hoger dan de zweefspanning en heeft als doel het balanceren van de interne weerstand van de individuele cellen. De interne weerstand van de cel wordt gemeten aan de hand van de celspanning die verschillend is vanwege het verschil in de laad- en ontladkarakteristiek van elke cel. Bij de toepassing van de vereffeningsspanning dienen de richtlijnen, de juiste spanning en tijd, van de fabrikant strikt gevolgd te worden. De FLA- cellen worden periodiek onderworpen aan een vereffeningproces terwijl bij de VRLA- batterijen dit proces slechts bij de

installatie voor een heel korte tijd wordt toegepast en gedurende het leven van de batterij nooit meer.

De batterijback-uptijd is heel belangrijk voor de optimale werking van de gelijkstroominstallatie. Bij een uitval van de commerciële spanning dient de batterijen in staat te zijn de belastingen te kunnen voeden totdat een alternatieve energiebron in werking is getreden of totdat de commerciële spanning hersteld is. De batterijback-up wordt uitgedrukt in ampère-uur, dat is de stroom beschikbaar per uur, terwijl de celspanning lager wordt volgens de richtlijnen van de fabrikant. De laagste spanning die een cel mag bereiken is gelijk aan 1.75V wat gelijk is aan 42V per keten. Dit komt overeen met de laagste werkspanning van de belastingen in de telco. Behalve de belastingen in de telco die gedurende de uitval van de commerciële spanning gevoed dienen te worden zijn er andere factoren die de grootte van de capaciteit van de batterijback-up bepalen, zoals:

- de alternatieve wisselspanningsbron wordt automatisch of handmatig gestart,
- de locatie is bemand of niet,
- de kwaliteit van de commerciële spanning
- de reistijd naar de locatie
- de plaatselijk wetten, regels, standaarden of overeenkomsten.

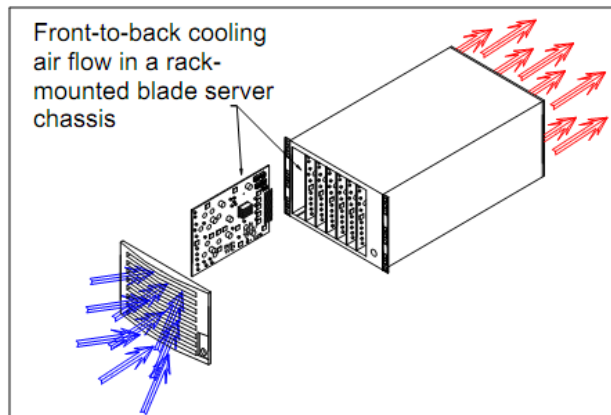
4 Koelsystemen bestemd voor telco's en IT-ruimtes

Wanneer elektrische energie wordt verbruikt in een IT-ruimte of telco (telecommunication central office) wordt warmte gegenereerd die verwijderd moet worden uit de ruimtes. Het verwijderen van warmte uit de IT-ruimte en de telco is het meest essentiële doch het minst begrepen van alle essentiële processen betreffende de IT en telecomomgeving. Onjuiste koeling doet afbreuk aan de levensduur en beschikbaarheid van IT- en telecomapparatuur. Een goed inzicht hebben in de fundamentele beginselen van de koeltechniek en de basisregeling van precisiekoelsystemen vergemakkelijkt de communicatie tussen de IT-, telecom- en koelingspecialisten bij het bepalen, exploiteren of onderhouden van het koelsysteem. In dit hoofdstuk worden de fundamentele werking en de belangrijkste bestanddelen van precisiekoelsystemen behandeld. In paragraaf 4.1 wordt de aard van de warmte in de IT- en telecomomgeving behandeld terwijl in paragraaf 4.2 de koelcyclus wordt bekeken. Paragraaf 4.3 gaat over de energie die verbruikt wordt door de koelcyclus, paragraaf 4.4 gaat over de toepassing van de koelmiddelcyclus in koelsystemen voor IT en paragraaf 4.5 over variaties in de koelcyclus in de IT-koeling. Paragraaf 4.6 handelt over luchtdistributiesystemen, terwijl paragraaf 4.7 over het belang van vochtigheidsbeheersing gaat.

De literatuur die het meest is geraadpleegd is: Rasmussen, N., (2010). *Air distribution architecture options for mission critical facilities*. Events, T., (2011). *Fundamental principles of air conditioners for information technology*

4.1 De aard van de warmte in de IT- en telecomomgeving

Hitte is gewoon een vorm van energie. In de IT- en telecomruimtes wordt warmte geproduceerd wanneer elektriciteit wordt verbruikt door IT- en telecomapparatuur. Op enkele uitzonderingen na, wordt meer dan 99% van de elektriciteit die wordt gebruikt om de apparatuur te voeden omgezet in warmte. Tenzij de overtollige warmte wordt verwijderd, zal de kamertemperatuur stijgen totdat de IT- en/of telecomapparatuur defect raakt. Ongeveer 50% van de warmte die door servers wordt ontwikkeld komt van de microprocessor. De standaard en blade server die microprocessoren bevatten trekken meestal koele lucht van de voorkant van het chassis en blazen de warme lucht aan de achterkant zoals aangegeven wordt in figuur 7. De hoeveelheid warmte die wordt gegenereerd door servers vertoont een stijgende trend. Een blade server chassis kan vier kilowatt (kW) aan warmte vrijgeven in de IT- of telecomruimte.



Figuur 7: De stroomrichting van de koude en de warme lucht bij IT-apparatuur

De warmte-uitstoot kan gelijk zijn aan de hitte die door veertig 100-Watt gloeilampen worden geproduceerd en is meer energie dan wordt verbruikt door het verwarmingselement dat voorkomt in vele huishoudelijk kookovens.

Een unieke eigenschap van warmte is dat die alleen in één richting kan stromen, van warm naar koud. Bijvoorbeeld: een koud object dat geplaatst wordt in een hete kamer kan niet dalen in temperatuur. Het kan alleen stijgen in temperatuur omdat de warmte die in de hete kamer voorkomt alleen naar het object toe kan vloeien. Op basis daarvan heeft men de airco (air conditioner) en koelkast ontwikkeld. Door gebruik te maken van elektrische of mechanische energie zijn ze in staat warmte te pompen van de ene plaats naar de andere en zijn ze ook in staat warmte te pompen uit een koele ruimte naar een warme ruimte. Door de mogelijkheid om warmte af te voeren naar de buitenlucht, al is het zelfs heter buiten dan in de ruimte, wordt het mogelijk voor IT-apparatuur om op een hoog niveau te kunnen functioneren in een afgesloten ruimte. Begrijpen hoe dit mogelijk is vormt de basis om het ontwerp en het functioneren van koelsystemen te begrijpen.

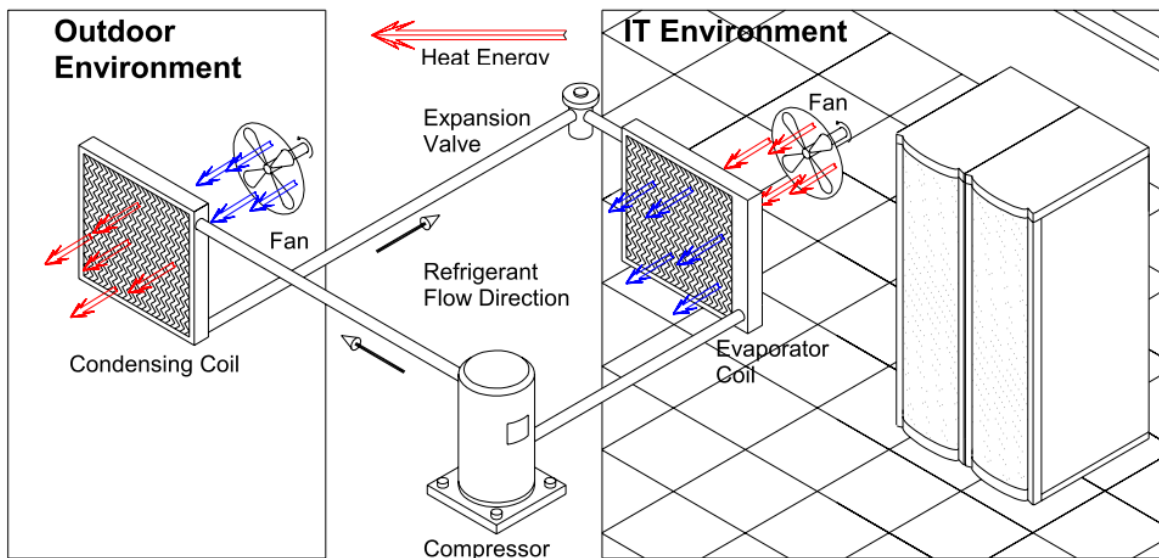
4.2 De koelcyclus

Het transport van warmte uit de IT-ruimte naar de buitenlucht wordt mogelijk gemaakt door de circulatie van een koelmiddel, een proces dat reeds 100 jaar wordt gebruikt. De koelcyclus is een gesloten cyclus, bestaande uit verdamping, drukverandering, condensatie en stroomregeling van het koelmiddel. Figuur 2 toont de koelcyclus en de belangrijkste onderdelen zoals die worden

toegepast in een typische IT-ruimte. De specifieke processen en onderdelen worden hieronder beschreven.

Verdamping

Verdamping is de eerste stap bij het verwijderen van warmte uit een IT-ruimte. De verdampingsspiraal gedraagt zich als een autoradiateur die in omgekeerde richting werkt. Warme lucht uit de IT-ruimte wordt door middel van ventilatoren geblazen door de verdampingsspiraal terwijl de buizen waaruit de spoel bestaat worden gevuld met het koelmiddel. Wanneer de warme lucht door de koude verdampingsspiraal gaat wordt die gekoeld en de koele lucht wordt teruggeleverd aan de IT-ruimte.



Figuur 8: Een compleet koelsysteem

Ondanks dat de verdampingsspiraal koud is, op ongeveer 46°F (7,8 °C), verdampt of kookt het koelmiddel aan de binnenkant, waardoor het vloeistof in een gasvorm verandert. Het is de hitte uit de IT-ruimte die het koelmiddel doet koken, doordat de warmte aan het koelmiddel wordt overgedragen tijdens het proces. Het koelmiddel is op dit moment een koelgas in een dunne buis die de warmte uit de IT-ruimte wegdraagt.

De compressie

Het verdampte koelmiddel dat de warmte uit de IT-ruimte transporteert wordt in een compressor gezogen, zoals weergegeven is in figuur 8. Deze compressor heeft twee belangrijke functies:

- Hij perst het koelmiddel welke de warmte transporteert door de koellus.
- Hij perst het gasvormige koelmiddel van de verdampingsspiraal naar meer dan 200 psi of 1379 kPa.

Het is een fundamentele eigenschap van gassen dat bij een verhoogde compressie van dat gas de temperatuur stijgt. Daardoor wordt het bewegende gasvormige koelmiddel dat de compressor verlaat heet (meer dan 52°C) en eveneens gecomprimeerd. Deze temperatuurstijging vanwege de compressie is de sleutel tot het vermogen van de koellus om warmte te kunnen overdragen aan de buitenlucht.

De condensatie

Het hete gecomprimeerde koelmiddel transporteert de warmte uit de IT-ruimte van de compressor naar de condenser. Zoals de verdampingsspiraal draagt de condenser de hitte over aan een ander medium, bijvoorbeeld lucht. In tegenstelling tot de verdampingsspiraal, die lager in temperatuur is dan de lucht die door de spoel vloeit, functioneert de condenser bij een temperatuur hoger dan de buitenlucht. Dit betekent dat de lucht die door de spoel stroomt verwarmd wordt en dat omgekeerd het hete gasvormige koelmiddel, dat door de spoel stroomt, wordt afgekoeld. Warmte vloeit uit het koelmiddel naar de buitenlucht. De lucht door de hete spoel wordt meestal door een ventilator geblazen naar buiten. Op deze manier heeft de warmte de IT-ruimte verlaten en IS buiten beland.

Expanderen

Het koelmiddel verlaat de condenser als een hete, hogedrukvloeistof. Het koelmiddel wordt vervolgens doorgestuurd naar een apparaat genaamd expansieklep die geplaatst is bij de ingang van de verdampingsspiraal. Deze klep heeft twee belangrijke functies die essentieel zijn voor de koelcyclus:

1. Hij regelt de juiste stroom van het hogedrukkoelmiddel naar de lagedrukverdampingsspiraal met een tempo dat een optimaal verschil in druk handhaaft om ervoor te zorgen dat alle koelmiddel is verdampt voordat die de spoel verlaat.

2. Het koelmiddel is weer in staat te expanderen tot een gas vanwege de warmte uit de IT-ruimte terwijl die de expansieklep passeert en opnieuw in de verdampingsspiraal belandt. Op deze manier wordt de koelcyclus herhaald en het resultaat van het proces is dat warmte continu in de verdampingsspiraal stroomt en voortdurend uit de condenser stroomt. Een koelsysteem dat op deze manier werkt zal voortdurend warmte pompen uit de IT-ruimte.

Koelmiddelen

Elk koelsysteem bevat een vloeistof bekend als koelmiddel. De functie van het koelmiddel is om de warmte uit de IT-ruimte te transporteren naar de buitenomgeving. Veelvoorkomende stoffen zijn gebruikt als koelmiddel zoals ammoniak, koolstofdioxide, lucht en water. Moderne systemen gebruiken meestal gefluoreerde koolwaterstoffen die onbrandbaar en niet- giftig zijn. Deze koelmiddelen worden gewoonlijk aangeduid met hun ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers) numerieke aanwijzing. Oudere systemen gebruiken een koelmiddel met het nummer R-12 dat verboden is voor gebruik vanwege milieuaspecten zoals het verdunnen van de ozonlaag. Tegenwoordig is het meest gebruikte koelmiddel in de IT-ruimte R-22. Er bestaan wetten die de productie van koelsystemen die op R-22 werken in 2010 verbieden. Het is waarschijnlijk dat de fabrikanten van koelsystemen in de nabije toekomst zullen uitkijken naar een alternatieve mogelijkheid die milieuvriendelijker is, zoals R-134a. IT- en koelingspecialisten dienen samen te werken om ervoor te zorgen dat de keuze van koelinstallatie en koelmiddel consistent is met het milieubeleid en de verwachte levensduur van het koelsysteem.

4.3 Energie die wordt verbruikt door de koelcyclus

Het verwijderen van warmte uit de IT-ruimte eist elektrische energie. Om te weten hoeveel elektrische energie nodig is dient men eerst te weten hoeveel warmte-energie wordt geproduceerd in de IT-ruimte. In een IT-ruimte is de hoeveelheid elektrische energie die verbruikt wordt ongeveer dezelfde hoeveelheid warmte die geproduceerd wordt en wat ongeveer gelijk is aan de vereiste koelcapaciteit. Dit heeft geleid tot de classificatie van precisiekoelsystemen die uitgedrukt wordt in kWh vs, de traditionele Btu/uur.

De elektrische energie die nodig is om een IT-ruimte af te koelen kan gemakkelijk geschat worden. De ventilatoren die de lucht door de verdampings- en condenserspoelen circuleren eisen

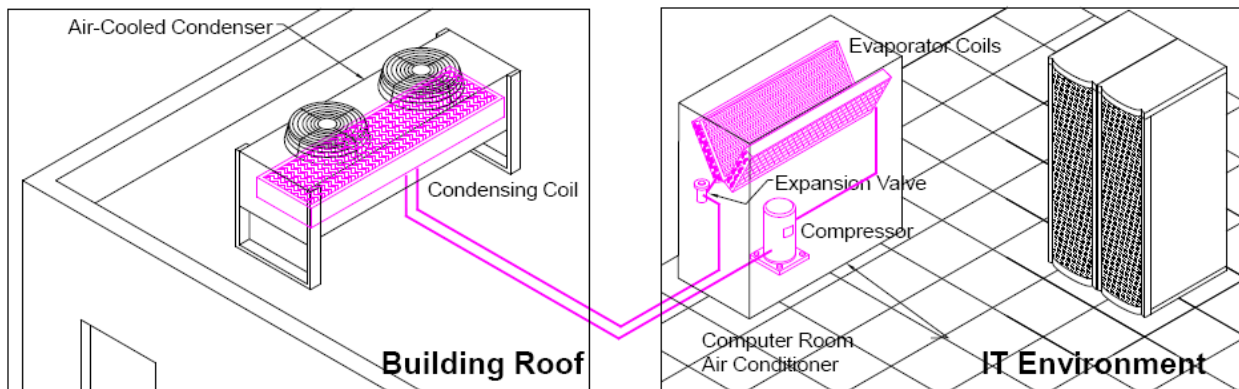
elektrische energie die gelijk is aan ongeveer 5-10% van de nominale koelcapaciteit in kW van het koelsysteem. De compressor eist een elektrische energie die ongeveer gelijk is aan 20-30% van de nominale koelcapaciteit in kW. Dit betekent dat voor elke 1000 watt aan warmte die verwijderd wordt uit de IT-ruimte, ongeveer 350 watt aan vermogen nodig is om het koelsysteem te voeden. Helaas werken typische koelsystemen voor IT-ruimtes minder efficiënt dan wordt aangegeven. De werkelijke elektrische energie die nodig is om een typisch, slecht ontworpen koelsysteem te voeden is ongeveer gelijk aan de koelcapaciteit die nodig is.

4.4 Toepassing van de koelmiddelencyclus in het koelsysteem voor IT

IT-ruimtes worden meestal gekoeld met speciale koelsystemen die bekend staan als "precision cooling systems". Deze systemen verschillen van de typische residentiële koelsystemen omdat ze een nauwkeurigere en stabielere omgeving bieden aan IT-apparatuur door nauwkeurig temperatuur en vocht van de lucht te reguleren.

Koelapparatuur die zich in de IT-ruimte bevindt

Gangbare configuraties van precisiekoelsystemen in de IT-ruimtes zijn CRAC's (computer room air conditioners), CRAH's (computer room air handlers), plafondkoelsystemen en draagbare koelsystemen bekend als "spot coolers". Van een typische CRAC wordt verwacht dat die koude lucht levert aan de IT-ruimte, maar er zijn bepaalde ingangen, uitgangen en verbindingen waarvan de IT-specialist bewust moet zijn omdat eventuele storing daarvan kan leiden tot uitval van IT-apparatuur in de IT-ruimte. Een vloer-CRAC, zie figuur 9, is in staat om hitte tussen 35 en 150 kW af te voeren uit de IT-ruimte.



Figuur 9: Een weergave van de binnen- en buitenonderdelen van een CRAC

Hieronder is een systeem beschreven dat bestemd is voor het verwijderen van een hitte van 50 kW.

- Meer dan 8000 kubieke voet (800CFM) lucht (226,5 kubieke meter) met een bepaalde temperatuur en vochtigheidsgraad gaat elke minuut door het koelsysteem vanuit de IT-ruimte. Dezelfde hoeveelheid lucht verlaat het koelsysteem elke minuut met een door de gebruiker ingestelde temperatuur en vochtigheidsgraad.
- Het koelsysteem verbruikt ongeveer 30 kW energie uit een driefasen elektrisch net.
- Twee één duim diameter buizen voeren het koelmiddel door de IT-ruimte terug naar het deel van het koelsysteem dat de warmte onttrekt aan het koelmiddel.
- Een $\frac{7}{8}$ duimdiameter buis voert water dat het koelsysteem heeft verwijderd uit de lucht af naar het afvoersysteem van het gebouw.
- Een buis met een diameter van $\frac{1}{4}$ duim levert water uit de drinkwatervoorziening van het gebouw om waterdamp toe te voegen aan de lucht die het koelsysteem verlaat om zo de vochtigheidsgraad van de lucht te reguleren.
- Het koelsysteem heeft een dimensie van 1.78m lang, 0.89m diep en 1.93m hoog en weegt 612 kilogram.

Het deel van het koelsysteem dat zich buiten de IT-ruimte bevindt

IT-specialisten zijn meestal bekend met de aanwezigheid van CRAC's of CRAH's in de IT-ruimte. Echter zijn ze over het algemeen minder bekend met de andere helft van het koelsysteem, namelijk het deel dat de hitte overdraagt aan de buitenlucht. Met uitzondering van sommige plafond en draagbare koelsystemen zijn er altijd een of meerdere belangrijke componenten die essentieel zijn voor het koelsysteem buiten de IT-ruimte. De functie van deze delen van het systeem is om de hitte uit de IT-ruimte over te dragen aan de buitenlucht zodat het koelmiddel in temperatuur daalt. Het deel van het koelsysteem dat daarvoor zorgt wordt de luchtgekoelde condenser genoemd. De kenmerken van een luchtgekoelde condenser die compatibel is met de CRAC, die weergegeven is in figuur 9, zijn hieronder beschreven:

- De condenser is 10 meter lang, 4 meter hoog, 4 meter breed (304 cm x 122 cm x 122 cm) en weegt 408kg.
- Er lopen twee buizen met koelmiddel van de CRAC in de IT-ruimte naar de condenser.

- Meer dan 20.000 kubieke voet buitenlucht passeert de luchtgekoelde condenser elke minuut om de hitte uit de IT-ruimte te kunnen opnemen.
- Deze dient goed bevestigd te worden op een daarvoor ontworpen deel van het dak of op een betonnen platform op de grond.
- De luchtgekoelde condenser verbruikt ongeveer 5 kW uit het driefasen elektrische net.

4.5 Variaties in de koelcyclus

De vorige paragrafen geven gedetailleerd de eigenschappen van een CRAC weer met de bijbehorende warmtewisselende componenten. Er zijn verschillende andere koelmethode die regelmatig in IT-ruimtes worden geïnstalleerd waarvan IT-specialisten bewust moeten zijn. Al deze koelmethode die uiteindelijk de warmte aan de buitenlucht overdragen maken gebruik van de koelcyclus

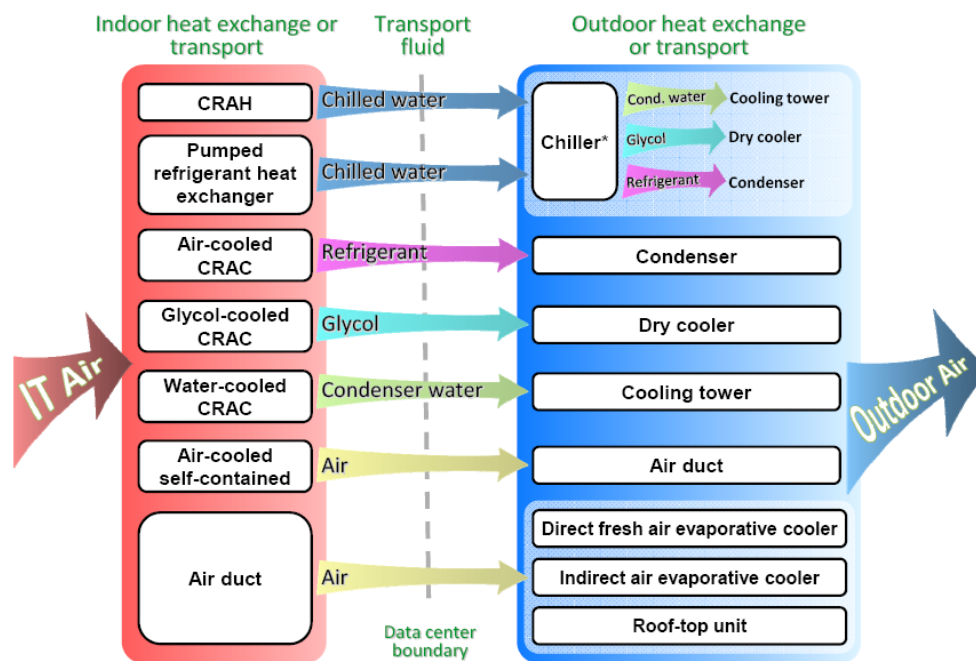
Er zijn dertien fundamentele koelmethode om IT-ruimtes te koelen waarbij de ongewenste warmte van IT-ruimte wordt afgevoerd naar de openlucht. Eén of meer van deze methode worden gebruikt om alle kritische IT-ruimtes en datacenters te koelen. Sommige koelmethode verplaatsen de componenten van de koelcyclus uit de IT-omgeving en sommige voegen extra buizen toe voor water en andere vloeistoffen om te helpen in het proces.

Men kan het koelen van een IT-ruimte zien als een proces waarbij de ontwikkelde hitte in de ruimte wordt getransporteerd naar de buitenlucht. Het transport van de hitte kan zo eenvoudig zijn als een kanaal dat de hete lucht transporteert naar het koelingssysteem buiten het gebouw. Deze "beweging" wordt echter over het algemeen bereikt met behulp van een warmtewisselaar die de hitte overdraagt van de ene vloeistof op de andere.

Figuur 10 illustreert de toepassing van de dertien koelmethode in de grootste twee warmtebewegingen namelijk het binnen- en het buitencircuit. Het vloeistoftransport tussen het binnen- en buitencircuit is de vloeistof die de hitte tussen de twee punten draagt. Merk op dat er mogelijk meer dan één warmtewisselaar kan voorkomen in de IT-ruimte in het geval van de Glycol-gekoelde CRAC of buiten de IT-ruimte in het geval van de chiller.

4.6 Luchtdistributiesystemen

De koeling van datacenters en telco's is een enorme uitdaging geworden vanwege de verhoogde dichtheid van IT- en telecomapparatuur. Deze verhoogde dichtheid in IT- en telecomapparatuur heeft geresulteerd in een vrij hoge vermogens- en koelingsdichtheid. Hoewel het typische energieverbruik in een IT-ruimte en telco in de orde ligt van 1kW per rek, kan apparatuur geconfigureerd worden die meer dan 15kW per rek verbruikt. Dit vormt een overbelasting van de gemiddelde datacenter en telco die volgens het ontwerp alleen geschikt zijn voor 2-3kW per rek. Bovendien verhoogt de invoering van de verhoogde dichtheid in de datacenter en telco de kans op het ontstaan van hitteplekken (hotspots) in de IT- en telecomruimte.



Figuur 10: Een overzicht van de verschillende koelsystemen

Het koelsysteem kan deze hotspots niet aanpakken omdat bij de traditionele ontwerpen men uitging van relatief uniforme koel patronen binnen de datacenter en telco.

Het koelsysteem voor een IT-ruimte of telco bestaat uit een CRAC en het bijbehorende luchtdistributiesysteem. Een CRAH kan in plaats van een CRAC gebruikt worden in grotere IT-ruimtes of telco's. Alle koelsystemen gebruiken een CRAC en/of een CRAH die in verschillende capaciteiten voorkomen en de hitte uit de ruimte verwijderen. In feite ligt het voornaamste verschil in het feit dat er een mogelijkheid bestaat dat de werking van het koelsysteem sterk beïnvloed wordt door de dichtheid van de apparatuur.

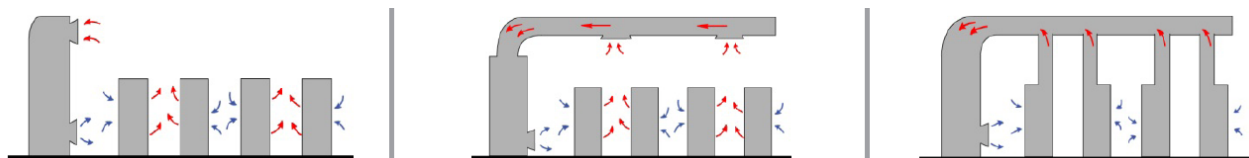
vloed kan worden door het distributiesysteem. Het is namelijk de configuratie van het distributiesysteem die vooral de verschillende soorten van IT-ruimtes en telco's koelsystemen onderscheidt.

De drie distributiesystemen voor koeling

Elk distributiesysteem heeft een systeem dat de koude lucht van de CRAC distribueert naar de belasting en een systeem dat de hete lucht afkomstig van de belastingen terugvoert naar de CRAC. Voor beide systemen zijn er drie basismethoden die gebruikt worden om lucht tussen de CRAC en de belasting te transporteren. Deze zijn:

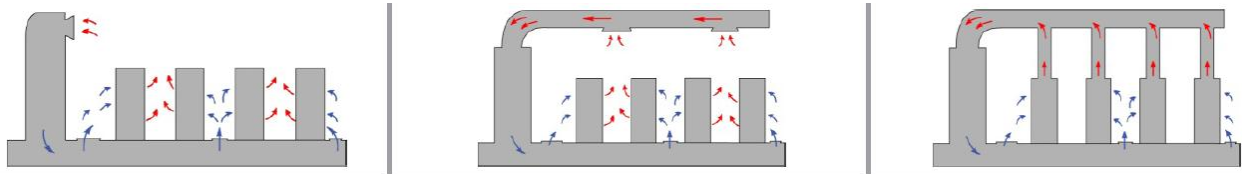
- Flooded
- Locally ducted
- Fully ducted

In een flooded distributiesysteem persen de CRAC en trekken de belastingen lucht in bulk uit de kamer zonder enig speciaal buizenstelsel ertussen. In een locally ducted distributiesysteem wordt koude lucht aangeboden of hete lucht afgezogen via leidingen die ventilatieopeningen hebben in de buurt van de belastingen. In een fully ducted distributiesysteem wordt de koude lucht aangeboden of hete lucht afgezogen rechtstreeks in of uit de belastingen. Figuur 11 is een weergave van alle drie distributiemethoden.



Figuur 11: Een concept van de flooded, locally ducted, fully ducted

Elk van de drie methoden (flooded, locally ducted, fully ducted) kan gebruikt worden in zowel het heen- als het retoursysteem. Dit leidt tot het ontstaan van negen mogelijke combinaties of typen van distributiesystemen. Al deze typen zijn gebruikt in verschillende omstandigheden en af en toe worden verschillende types vermengd in dezelfde IT-ruimte of telco. Sommige van deze methoden vereisen een verhoogde vloer (raised of elevated floor), zie figuur 12, en sommige kunnen worden gebruikt op een harde of een verhoogde vloer.



Figuur 12: De flooded, locally ducted, fully ducted volgens het ondervloerprincipe

Aanbevolen luchtdistributie voor nieuwe IT-ruimtes

Een belangrijk doel van het distributiesysteem in een IT- en telco ruimte is om de koude aanvoerlucht bij de ingang van het apparaat te scheiden van de hete afvoerlucht bij de uitgang van het apparaat om te voorkomen dat het apparaat gaat oververhitten. Deze scheiding verhoogt ook de efficiëntie en de capaciteit van het koelsysteem aanzienlijk. Wanneer de vermogensdichtheid van apparatuur stijgt, stijgt ook de overeenkomstige inlaat- en uitlaatlucht, wat het moeilijker maakt om te voorkomen dat apparatuur de hete uitlaatlucht van zichzelf of naburige apparatuur naar binnen zuigt via de ingang. Vanwege deze reden is het nodig om locally ducted of fully ducted in het heen- of retoursysteem op te nemen naarmate de vermogensdichtheid stijgt.

Er kunnen aanvullende uitspraken gedaan worden over de eerder aangehaalde distributiesystemen. Fully ducted distributiesystemen voor aanvoer van koude lucht worden meestal gebruikt bij een verhoogde vloer waarbij obstakels lage statische druk veroorzaken die de koude lucht verhinderen terecht te komen aan de voorkant van het rek. Fully ducted distributiesystemen worden ook gebruikt met gespecialiseerde apparatuur die voorziet in directe luchtaanvoer zoals bij mainframe computers. Fully ducted retoursystemen worden voornamelijk gebruikt in combinatie met andere systemen en kunnen worden gebruikt op locaties met een gemengde dichtheid. De vier combinaties van flooded en locally ducted distributiesystemen vormen de meerderheid van alle installaties.

Hoewel het standaardconcept van IT-ruimtes een verhoogde vloer omvat kunnen IT-ruimtes van elke grootte gebouwd worden zonder een verhoogde vloer. Het overgrote deel van LAN- en IT-ruimtes, maar ook vele nieuwere multi-megawatt IT-ruimtes gebruiken geen verhoogde vloer. De oorspronkelijke reden voor het gebruik van een verhoogde vloer is niet meer aanwezig in de moderne IT-ruimte en er zijn nadelen verbonden aan het gebruik van een verhoogde vloer zoals toepassing van speciale technieken, kosten, ontwerpen, ruimte- eisen, aardbevinggevoeligheid, gevaar voor de veiligheid, vloerbelasting, opzetten van een toegangshelling en andere problemen.

Op een harde vloer is de implementatie van een locally ducted distributiesysteem afhankelijk van het bovenbuizensysteem (dat is het buizensysteem tussen de bovenkant van het rek en het plafond). Hoewel de combinatie van het locally ducted heen- en retoursysteem complex lijkt is deze eigenlijk de meest voorkomende manier waarop gebouwen gekoeld worden waarbij aan het plafond gemonteerde toevoerbuizen zorgen voor de koude lucht en de retour van de hete lucht via roosters geschiedt die verspreid zijn binnen de gekoelde ruimte.

De kennis over de verschillende soorten koelsystemen biedt een essentiële basis om vast te stellen wanneer het gepast is welk type te gebruiken. Ondanks de verschillen in de individuele omstandigheden is het mogelijk om algemene richtlijnen te verstrekken wanneer elk type gebruikt mag worden. Systemen die groter in omvang zijn of hogere vermogensdichtheid eisen hebben over het algemeen een complexer ontwerp.

De sleutel tot een effectief ontwerp is om een ontwerp te maken van een koelsysteem voor de vereiste vermogensdichtheid maar ook om de koelingscapaciteit ter beschikking te hebben om een plotselinge druk aan te kunnen mocht die zich voordoen. Belastingen met hoge dichtheid vormen meestal slechts een fractie van de totale belasting maar hun gedrag kan moeilijk van te voren voorspeld worden. De vrees om niet in staat te zijn om op een adequate manier hete plekken (hotspots) in de IT-ruimte te kunnen koelen door gebruik te maken van de verhoogde vloer heeft geleid tot extensieve overdimensionering van het koel- en distributiesysteem met als gevolg hoge aanschaf- en onderhoudskosten waarbij het gewenste resultaat toch niet wordt bereikt. Door gebruik te maken van een kanaalwerk voor de aanvoer van koude lucht is het mogelijk de belastingen met hoge vermogensdichtheid te kunnen koelen waarbij men de kosten voor overdimensionering vermijdt.

4.7 Het belang van vochtigheidsbeheersing

Een nauwkeurige controle over de vochtigheidsgraad van de lucht in datacenters, serverruimtes en andere ruimtes waarin gevoelige apparatuur voorkomt is essentieel voor de goede werking. Regeling van de vochtigheidsgraad wordt meestal gedaan door het koelsysteem waarbij het bevochtigingssysteem een centrale rol speelt in het proces. Hoewel een aantal technologieën zijn ontwikkeld om de vochtigheidsgraad in de datacenter te regelen (evaporative, ultrasonic, immersion, infrared, steam canister and steam grid) zijn de steam canister en de infrared de meest toegepaste technieken. Infrarood is de eerste keus voor kritische toepassingen omdat deze sneller en

responsiever is dan het steam canister systeem. Echter kan de toepassing of grootte van de ruimte het gebruik van het infrarood systeem beperken waardoor in deze gevallen het gebruik van de steam canister een effectieve oplossing biedt voor bevochtiging van de lucht in de datacenter.

Met de toenemende eis voor betrouwbaarheid en beschikbaarheid van systemen wordt het beheersen van de omgeving van essentieel belang om de hedendaagse gevoelige IT-apparatuur te beschermen. Een schone omgeving met een nauwkeurige beheersing van temperatuur en vochtigheid is verplicht. Vanwege weinig ruimte worden kleine kantoren, opslagruimtes en zelfs kasten gebruikt voor servers, routers en andere elektronische apparatuur. Voor deze ruimtes is een goede beheersing van temperatuur en vochtigheid ook belangrijk.

Tijdens de ontwerpfase van de ruimte of tijdens de renovatie van een bestaande ruimte wordt de beheersing van luchtvochtigheid vaak als minder belangrijk gezien dan temperatuurregeling, luchtverplaatsing en andere variabelen. Temperatuurschommelingen, stof, tocht, warmtestraling en geuren vallen eerder op dan een verandering in luchtvochtigheid. Echter, het negeren van de gevolgen van vocht kan leiden tot ernstige problemen op lange termijn zoals schade aan apparatuur en aan de datacenterinfrastructuur.

In de meeste gevallen is de optimale relatieve luchtvochtigheid voor een datacenteromgeving 45 à 50 %. Een hogere vochtigheidsgraad in de lucht kan corrosie veroorzaken in schakelinstallaties wat kan leiden tot uitval van apparatuur. In IT-apparatuur kunnen hygroscopische printplaten uitzetten en inkrimpen met de mate van de wisselende luchtvochtigheid. Door de expansie en contractie van deze printplaten kunnen micro-elektronische schakelingen defect raken. Ook kan het vocht in de lucht condenseren vanwege de verhitte lucht door vooral de processor in de server. Aan de andere kant kan een lage vochtigheidsgraad statische elektriciteit veroorzaken die de normale werking van het apparaat kan verstoren en mogelijk elektronische componenten vernietigen mocht een statische ontlading plaatsvinden.

Luchtvochtigheid moet gezien worden in het kader van de totale datacenteromgeving. De “ASHRAE Fundamentals Handbook” stelt dat een goed geplande beheersing de prestaties van de koel- en vochtigheidsapparatuur moet kunnen regelen. Dit suggereert dat vochtigheidsregeling en het type bevochtigingsapparaat gezien worden als belangrijke factoren in het algehele plan voor de beheersing van de omgeving DIE specifiek passen bij de behoeften van een bepaalde ruimte.

5 Methodieken voor betrouwbaarheid

In de telecomsector komt het vaak voor dat de dienstverlening naar de klanten toe onderbroken wordt vanwege verschillende redenen. Een van de meest voorkomende redenen is namelijk een onderbreking van de energie naar de apparaten en systemen die verantwoordelijk zijn voor het genereren van de telecomdiensten. Om dit soort situaties te verminderen of te vermijden dienen de energiesystemen zodanig te zijn gebouwd dat die tegen storingen bestand zijn. In dit hoofdstuk zullen enkele aspecten belicht worden die inzicht geven in het opzetten van dit soort energiesystemen. Paragraaf 5.1 geeft algemene informatie over de beschikbaarheid van systemen, paragraaf 5.2 over de betrouwbaarheid van apparaten en paragraaf 5.3 geeft een beschrijving over beschikbaarheid en Mean Time To Repair (MTTR) van systemen. In paragraaf 5.4 wordt de veerkrachtigheid van systemen behandeld terwijl paragraaf 5.5 uitleg geeft over redundantie. Paragraaf 5.6 neemt het onderhoud van veerkrachtige systemen onder de loep.

De belangrijkste geraadpleegde bronnen zijn: Marshall, G., en Chapman, D., (2012). *Resilience, Reliability and Redundancy*, Arent D., Johnson, L. en Robinson, D., (2006).

5.1 Algemeen

Beschikbaarheid, dat is het aantal keren dat het systeem eigenlijk beschikbaar is om het echte werk te doen, is een van de belangrijkste parameters bij het bepalen van de kwaliteit van een energiesysteem. De absolute waarden van beschikbaarheid die vereist zijn of die verwacht worden zijn zeer hoog; een typisch gebruiker in West-Europa zou met 99.98% tevreden zijn terwijl een commerciële gebruiker wellicht een beschikbaarheid beter dan 99.996% verwacht. Dergelijke hoge waarden van beschikbaarheid gebeuren niet natuurlijk of per toeval, ze zijn het resultaat van een uitstekend ontwerp, onderhoudsprocedures en aandacht voor details.

Tenzij de ontwerper stappen onderneemt om het te vermijden zal de beschikbaarheid in de installatie potentieel verminderen op elk aansluitpunt, veiligheidsapparaat, kabel, enzovoorts. Daardoor is de hoogste beschikbaarheid op het gemeenschappelijke aansluitpunt en de laagste op het aansluitpunt van de apparatuur.

De beschikbaarheid van het gemeenschappelijke aansluitpunt is meestal rond de 99.98% omdat de energievoorziening zeer redundant is. Dat wil zeggen dat er vele beschikbare routes zijn tussen de belasting en de opwekking waarbij elke route voortdurend wordt gemonitord en onder-

houden om de hoogste beschikbaarheid te waarborgen. Als zich een storing voordoet is er een zeer hoge waarschijnlijkheid dat een alternatieve route beschikbaar is zodat er geen onderbreking of, in het ergste geval, een korte onderbreking van de energie naar de belasting plaatsvindt. Installatieontwerpers blijven ver achter in dat opzicht door nog steeds gebruik te maken van eenvoudige aansluitpunten, enkelvoudige transformatoren zonder een stand-by transformator of omschakelverbindingen. Met andere woorden, het netwerk kan het falen van een of meer afzonderlijke onderdelen of verbindingen overleven terwijl de installatie vele afzonderlijke single points heeft waar een storing kan leiden tot een onderbreking van de energievoorziening.

Sinds het midden van de vorige eeuw is de nadruk gelegd op de betrouwbaarheid van onderdelen en systemen. De bedoeling is geweest het verminderen van de mate van uitval, dus het verhogen van de operationele levensduur.

In de afgelopen tien jaar is de focus veranderd, ontwerpers en systeemanalisten zijn nu veel meer bezorgd over de beschikbaarheid van hun systemen. Afhankelijk van de situatie en de belangrijkheid van de apparatuur voor het systeem zijn de volgende punten van belang: korte reparaties, een zekere mate van redundantie, vervanging van kritische systemen, goede diagnostische strategieën en voorraden van reserveonderdelen. Ongeacht de omstandigheden eist het handhaven van hoge beschikbaarheid een goede toekomstplanning en een goed onderhoudsmanagement.

Hoge betrouwbaarheid, hoewel die alleen niet genoeg is, is nog steeds een fundamentele eis omdat het handhaven van hoge beschikbaarheid van onbetrouwbare apparatuur niet realistisch is. Het vereist teveel inspanningen, een grote voorraad van reserveonderdelen en redundante apparatuur.

5.2 Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid wordt gemeten in Mean Time To Failure (MTTF). Betrouwbaarheid is moeilijk en tijdrovend te meten, het is een statistisch getal dat afgeleid is van een combinatie van eerder opgedane ervaring met soortgelijke apparaten en relatief korte testen op grote aantallen van de apparaten in kwestie. Terwijl apparaten ouder worden, worden steeds meer gegevens verzameld en wordt het vertrouwen in de MTTF verhoogd.

Fouten kunnen catastrofaal zijn, dat wil zeggen ze gebeuren plotseling net als hoe een gloeilamp doorbrandt. Het kan ook een degradatie zijn die zich geleidelijk of gedeeltelijk ont-

wikkelt zoals een elektronisch apparaat dat zich buiten de specificaties bevindt. In het geval van een elektrische voeding zou een volledig verlies van de energie een catastrofe zijn, terwijl afwijkingen in de spanning of frequentie als degradatie zouden kunnen worden beschouwd. Een primaire storing is als de storing in het systeem zelf ontstaat en een secundaire storing is een storing die het resultaat is van storingen elders in het systeem. Bijvoorbeeld, het doorbranden van een gloeilamp vanwege ouderdom is een primaire storing maar als de gloeilamp zou doorbranden door een overspanning elders in het netwerk dan is dat een secundaire storing omdat de oorzaak ergens anders ligt. Gegevens over de betrouwbaarheid kunnen alleen informatie geven over primaire storingen.

Sommige storingen kunnen duidelijk zijn, zoals het doorbranden van een gloeilamp, maar in andere gevallen kan het misschien veel moeilijker zijn om te bepalen of er een storing is opgetreden. Een voorbeeld is een complexe elektronische schakeling die moet voldoen aan een bepaalde specificatie en waarvan een van de parameters zich buiten de vastgestelde grenzen bevindt die niet zichtbaar is voor de gebruiker. Stel dat van een bepaald elektronisch interfacecircuit het vereist is dat het een bepaalde immuniteit heeft tegen stoorspanningen. Als men verzuimt deze immuniteit op te nemen in het circuit zal bij een schone spanning de afwezigheid hiervan niet blijken, maar bij andere omstandigheden waarbij er sprake is van een vervuilde spanning zou dat wel aan het licht komen. In dergelijke gevallen lijken storingen en fouten willekeurig te zijn en het is waarschijnlijk moeilijk de oorzaak te lokaliseren.

De early life

De early life, soms ook wel burn-in of infant mortality genoemd, is de periode waarin de mate van uitval afneemt naarmate de tijd verstrijkt. Deze daling duurt ongeveer vier tijdseenheden, zie figuur 13. Burn-in is een proces dat soms wordt gebruikt in de laatste fase van de fabricage van componenten om de zwakke componenten uit te filteren. Hier worden de componenten onder normale omstandigheden, of onder beheersbare omstandigheden die wat ongunstig uitvallen om het proces te versnellen, lang genoeg in bedrijf gesteld om de early life te overleven.



Figuur 13: De badkuipcurve

De useful life

De useful life, ook wel de normal operating period genoemd, is de periode waarin de mate van uitval relatief constant en laag is. Deze periode loopt van 5 tot 31 tijdseenheden, zie figuur 13. Gedurende deze tijd is de mate van uitval onafhankelijk van de tijd waarin de component in bedrijf is. Met andere woorden, de kans op een uitval is hetzelfde gedurende de hele periode.

De wear out

De wear out, ook wel de old age genoemd, is de periode waarin het aantal uitvallen per tijdseenheid sterk toeneemt, zie figuur 13. Deze periode loopt van 31 tijdseenheden totdat het systeem uit bedrijf wordt gehaald, zie figuur 13. De badkuipkromme beschrijft het gedrag dat verwacht kan worden voor vele soorten componenten of zelfs voor complexe systemen zoals een UPS. Als de gloeilamp weer als voorbeeld mag dienen: storingen kunnen tijdens de early life te wijten zijn aan filamenten die slecht zijn gekoppeld aan hun bevestigingen, plaatselijk dun getrokken gloeidraad of opgelopen diepe inkervingen. Een andere oorzaak van early life storingen zou kunnen zijn een lekkend glazen omhulsel dat kan leiden tot oxidatie van de gloeidraad. Tijdens de useful life verdampen de gloeidraden geleidelijk aan en worden dunner totdat ze breken, meestal vanwege de thermische druk veroorzaakt door het inschakelen. Als alle gloeilampen identiek waren en werden gebruikt onder identieke omstandigheden, zouden ze allemaal op hetzelfde moment defect raken. Echter, aangezien een productieproces geen identieke componenten kan produceren zullen

sommige ernstige problemen hebben die zullen leiden tot defect tijdens de early life en de mate van uitval zal afnemen vanwege het uitvallen van de zwakke componenten. Ook is het redelijk te verwachten dat een aantal defecten zullen ontstaan gedurende de wear out. In het geval van de gloeilampen zal de samenstelling van de gloeidraad, de dikte, de lengte en de vorm enigszins verschillen van lamp tot lamp waardoor een spreiding in de tijd ontstaat waarin ze eindelijk doorbranden. De kans op een defect neemt toe wanneer de gloeilampen ouder worden wat een sterke stijging geeft aan de rechterkant van de badkuipcurve.

Het is misschien moeilijker te begrijpen waarom er storingen optreden gedurende de useful life periode als tijdens de early life periode de zwakke componenten zijn vervangen en er nog geen slijtage is ontstaan in de componenten. Een gedetailleerde analyse van de talrijke manieren waarop een gloeilamp kan doorbranden zou uiterst complex zijn vanwege de verscheidenheid aan mechanische, thermische en chemische processen die kunnen plaatsvinden.

Het brede scala aan mogelijkheden, met zijn eigen tijdafhankelijkheid, creëert een gemiddelde dat de kans op fouten daadwerkelijk tijdonafhankelijk maakt. Het proces wordt aangeduid als geheugenloos omdat aangenomen wordt dat de kans op storingen onafhankelijk is van eerdere gevallen. Deze fouten worden ook wel catastrofisch genoemd omdat ze onverwachts optreden. In feite, in vele gevallen vindt de slijtage al plaats op een zeer laag niveau waardoor het proces niet echt geheugenloos is.

Bij de fabricage van componenten worden deze vaak onderworpen aan een early life proces zodat de componenten die vatbaar zijn voor defect vroegtijdig ontdekt kunnen worden. In vele gevallen bereiken elektronische componenten niet hun wear out periode gedurende hun useful life omdat ze een veel langere useful life periode hebben dan het systeem waarin zij gebruikt worden. Routineonderhoud zou moeten worden uitgevoerd om ervoor te zorgen dat componenten die onbruikbaar kunnen raken, bijvoorbeeld oplaadbare batterijen, ruim vóór de wear out periode worden vervangen. Hierdoor is het dan mogelijk om te veronderstellen dat de componenten alleen gedurende hun useful life worden gebruikt en dat zij een constante mate van uitval hebben.

De Mean time to failure (MTTF)

De mean time to failure wordt toegepast op niet-repareerbare componenten, zoals gloeilampen. Het is een maat van de gemiddelde tijd waarin een groot aantal vergelijkbare componenten werken totdat die defect raken. De voorwaarden van de test zijn belangrijk, bijvoorbeeld een verho-

ging van de temperatuur of spanning van de meeste componenten zal de MTTF verminderen. In de praktijk wordt de MTTF vaak berekend uit gegevens over een periode waarin niet alle componenten defect raken. De MTTF wordt als volgt bepaald:

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Totale tijd in bedrijf van alle componenten}}{\text{Aantal defecten gedurende die tijd}}$$

Mean time between failures (MTBF)

In het geval van onderdelen of systemen die gerepareerd kunnen worden, wordt de mate van uitval eerder uitgedrukt in mean time between failures (MTBF) dan in mean time to failure (MTTF). Dit is de gemiddelde tijd waarin een apparaat zijn functie uitoefent zonder reparatie. Omdat MTTF en MTBF statistische hoeveelheden zijn moet een groot aantal storingen worden geregistreerd om het vertrouwen in het resultaat te vergroten. Testen van een apparaat voor een zeer lange tijd is niet praktisch. Het is daarom gebruikelijk om een groot aantal apparaten tegelijk te testen voor een kortere periode en om het totale aantal fouten in de totale gebruikstijd te bepalen voor alle apparaten.

5.3 Beschikbaarheid en mean time to repair (MTTR)

Systeemgebruikers maken zich nu meer zorgen over beschikbaarheid dan over betrouwbaarheid. De beschikbaarheid van een systeem of van een component is het deel van de tijd waarin dit correct functioneert en beschikbaar is voor gebruik. Het is de verhouding tussen de tijd waarin het systeem goed functioneert en de totale tijd. De totale tijd is de som van de tijd waarin het systeem goed functioneert en de reparatietijd. De gemiddelde tijd die nodig is voor reparaties, wordt de mean time to repair (MTTR) genoemd. De beschikbaarheid wordt als volgt bepaald:

$$\text{Beschikbaarheid} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

De MTTR wordt opgegeven door fabrikanten voor ideale omstandigheden. Daarbij wordt ervan gegaan dat de locatie van de storing bekend is, het vereiste vaardigheidsniveau om de storing te identificeren beschikbaar is, reserveonderdelen en reparatieprocedures bij de hand zijn en

het systeem uitgetest kan worden zodra het gerepareerd is waarbij gelijk daarna het systeem weer in bedrijf gebracht kan worden. In werkelijkheid doen storingen zich voor op de meest ongunstige momenten. Een opgegeven MTTR van twintig minuten is van weinig betekenis als de technicus moet reizen naar de locatie om het probleem te identificeren en vervolgens onderdelen bij een onderdelenwinkel aan te schaffen, of erger nog, bij een distributeur. Na reparatie moet het systeem worden uitgetest en weer in bedrijf worden gesteld voordat het systeem weer functioneel is. Elk van deze stappen kan veel langer duren dan de reparatie zelf. Sommige vertragingen kunnen worden vermeden door belangrijke reserveonderdelen lokaal op te slaan; lokaal personeel kan opgeleid worden om te zorgen voor de nodige technische ondersteuning maar deze stappen moeten ruim van tevoren worden uitgevoerd. Als de reparatie van het printbord van een televisie 30 minuten duurt, zal de fabrikant een MTTR opgeven van 0.5uur. Maar de gebruiker ziet zaken anders. De televisie valt uit terwijl de reparatiezaak gesloten is. De televisie moet opgehaald worden, de storing moet geïdentificeerd worden en de nieuwe onderdelen moeten gevonden worden. Nadat een offerte is opgesteld en goedgekeurd, wordt het onderdeel aangeschaft en nu gaan de 30 minuten in waarin het onderdeel wordt gemonteerd en getest. De volgende dag wordt de televisie teruggebracht naar de gebruiker die een MTTR van misschien een week heeft ervaren. Als de MTBF lang genoeg is kan de gebruiker heel tevreden zijn maar als de MTBF kort is zou de gebruiker wellicht een reserve televisie beschikbaar willen hebben.

Vaak zal de reparatie verricht worden door het apparaat te vervangen door een nieuw of een eerder hersteld apparaat. Wanneer een hersteld apparaat is aangebracht moet in acht worden genomen dat slechts een paar van de componenten nieuw zijn terwijl de rest van het systeem oud is. De MTTF moet lager zijn dan die van een nieuw apparaat.

De tijd die nodig is voor het verrichten van preventief onderhoud dient inbegrepen te zijn in de MTTR. Onder preventief onderhoud wordt verstaan het onderhoud van een generator, vervanging van batterijen of het schoonmaken van de ventilatiefilters van een UPS. Gelukkig kan de uitvaltijd voor preventief onderhoud worden gepland zodat storingen tot een minimum worden beperkt.

Het maximaliseren van de tijd waarin een systeem beschikbaar is houdt een wisselwerking in tussen de betrouwbaarheid van de component en reparatietijd. Bijvoorbeeld, instopcomponenten zijn meestal veel minder betrouwbaar dan bedrade componenten vanwege de relatief hoge kans op uitval van de verbindingen. Aan de andere kant zullen de reparatietijden van instop-

componenten veel korter zijn dan die voor de bedrade componenten omdat ze eenvoudig kunnen worden vervangen door relatief minder opgeleide technici. Het optimale evenwicht is afhankelijk van de absolute waarden van MTBF en de ware MTTR met volledig inachtneming van de faciliteiten en de lokale expertise.

Kale cijfers over de beschikbaarheid zien er vaak zeer indrukwekkend uit maar moeten met voorzichtigheid worden gebruikt. Een uitstekende beschikbaarheid van 0.9999 betekent een niet-beschikbaarheid van ongeveer een uur per jaar wat een onaanvaardbare situatie is voor vele operaties. Het bereiken van beter dan dit in de praktijk, door gewoon de betrouwbaarheid te verhogen, is heel moeilijk. Er kan in geen geval gerekend worden op MTBF- cijfers vanwege het feit dat die verkregen zijn uit statistische benaderingen en MTTR- cijfers zijn meestal optimistische benaderingen verkregen uit aannames gemaakt in een gunstige omgeving met een goed werkend systeem. Bovendien, de complexiteit van de moderne systemen zoals commerciële computernetwerken en fabrieksprocesbeheersing betekent dat een groot aantal subsystemen perfect samen moeten werken om de operatie draaiende te houden. De verwezenlijking van een hogere mate van beschikbaarheid vereist een andere aanpak van het ontwerp, een die zich richt op het tolereren en het overleven van de onvermijdelijke storingen in plaats van te proberen die te beperken, met andere woorden een robuust ontwerp.

5.4 Het veerkrachtige systeem

Een systeem dat veerkrachtig is (resilience in het Engels) blijft normaal functioneren ondanks dat een aantal componenten defect zijn geraakt. In bijlage II is een voorbeeld van een veerkrachtig systeem opgenomen. Dit wordt bereikt door het installeren van extra apparatuur (bekend als redundantie) en door een zorgvuldig ontwerp waarbij single points of failure, dat zijn punten waar een storing het totale systeem onbruikbaar kunnen maken, worden geëlimineerd en een goed onderhoudsplan wordt ontwikkeld.

Een evenwichtige aanpak is essentieel. Het toevoegen van redundante apparatuur is eenvoudig maar het is duur en moet gebeuren na inachtneming van de kosten en baten. De toepassing van correcte onderhoudsprocedures is relatief goedkoop maar ervoor zorgen dat ze correct worden nageleefd is nooit gemakkelijk. Een zorgvuldige afweging van technische en leidinggevende of procedurele oplossingen zal de beste kosten-batenverhouding geven. De essentiële elementen van een veerkrachtig systeem zijn:

- redundantie
- elimineren van single point of failure
- goede onderhoudsprocedures

5.5 Redundantie

Redundantie is een handige methode voor het verhogen van de beschikbaarheid en het optimaliseren van het evenwicht tussen doeltreffendheid en uitgaven. Alternatieve schakelingen, apparatuur of onderdelen worden geïnstalleerd zodat in het geval van een of enkele storingen de functionaliteit gehandhaafd blijft. Het niveau en type van de redundantie die aangeboden wordt, bepaalt het niveau van de functionaliteit die behouden wordt en het aantal en soorten van fouten die zijn toegestaan.

De stand-by redundantie

Stand-by redundantie betekent dat een alternatief apparaat is toegevoegd aan het systeem maar niet functioneert totdat het nodig is. Het wordt ingeschakeld wanneer het primaire apparaat vanwege een storing uitgevallen is. Een IT-afdeling kan verschillende reserve monitoren opslaan en ze gebruiken om defecte monitoren te vervangen. Dat is een voorbeeld van stand-by redundantie.

Het nadeel van de stand-by redundantie is dat er een onvermijdelijke periode van verstoring zich voordoet tussen het moment waarop de storing optreedt en de redundante eenheid in bedrijf wordt gebracht. Dergelijke regelingen zijn zelden bevredigend voor kritische systemen in moderne commerciële en industriële situaties.

Actieve redundantie

In actieve redundantie, ook wel parallel redundantie genoemd, zijn alle redundante eenheden gelijktijdig actief in tegenstelling tot de stand-by redundantie. In bijlage III is een voorbeeld van redundante systeem opgenomen. De meest voor de hand liggende aanpak is het gebruik van twee componenten waarvan elk in staat is de volle belasting te dragen zodat mocht een uitvallen de andere zal overnemen. Dit staat bekend als 1+1 redundantie. Een andere benadering is het splitsen van de belasting in een aantal eenheden waarvan elke slechts een fractie van de belasting op zich neemt en er een extra redundante eenheid wordt opgenomen. Dit wordt aangeduid als N+1

redundantie. Voor zeer kritische belastingen kan meer dan één volledige redundante eenheid worden bijgevoegd. Bijvoorbeeld, een 1+2 redundantie heeft drie volledige eenheden waarbij alle drie eenheden defect zouden moeten raken alvorens het systeem zou uitvallen. Omdat er geen onderbreking voorkomt in een actieve redundantie is deze geschikt voor computerinstallaties.

N +1 redundantie

Een goedkoper alternatief is het gebruik van een groter aantal kleinere eenheden om de belasting te dragen en een extra redundante eenheid op te nemen in het systeem. Een belasting van 800 kVA bijvoorbeeld kan worden aangesloten op vijf UPS-eenheden van 200 kVA waarvan elke combinatie van vier voldoende is om de belasting te dragen. Dit wordt aangeduid met een 4+1 redundantie omdat vier eenheden vereist zijn en een redundant is. De N+1 redundantie kan goedkoper zijn om te implementeren dan 1+1 en is flexibeler. Als de belasting groeit, is het eenvoudig een extra eenheid toe te voegen zodat een 2+1 systeem een 3+1 systeem wordt. Aan de andere kant moet voorzichtigheid in acht worden genomen omdat elke extra eenheid een mogelijke kans op een defect is. Er moet dus een evenwicht gevonden worden tussen de extra veerkracht van het systeem ten opzichte van de extra kosten en de verhoogde potentiële kans dat een eenheid defect kan raken.

Het elimineren van single points of failure

Het implementeren van redundantie is duur, dus hoeveel en wat op te nemen in het systeem moet zorgvuldig worden overwogen. Een risicoanalyse moet worden uitgevoerd die het risico dat een bepaalde storing optreedt en het effect op het systeem beoordeelt. Prioriteit moet worden gegeven aan storingen waar de combinatie van de waarschijnlijkheid en het effect op het systeem het hoogst is. Deze analyse dient alle single points of failure te identificeren. De analyse moet grondig worden uitgevoerd waarbij niet alleen gekeken wordt naar de grote en belangrijke delen van het systeem maar ook naar kleinere delen zoals de controlepanelen en de bedradingen. Als het bedieningssysteem of de onderlinge verbindingen de oorzaak van de storing zijn zal het duurste stand-by systeem niet helpen.

5.6 Onderhoud van een veerkrachtig systeem

Onderhoudsprocedures zijn de sleutel tot het behoud van de veerkracht van een systeem en er dient rekening gehouden te worden met deze procedures tijdens de analyse van het risico. Als bijvoorbeeld, een van de vier UPS- eenheden defect is geraakt en de overige drie de belasting dragen, hoe wordt deze situatie herkend zodat een reparatie kan plaatsvinden? Wat is het risico van een tweede storing? Kan de belasting zijn gegroeid na inbedrijfstelling voorbij de capaciteit van drie eenheden zonder dat het onderhoudspersoneel zich daarvan bewust is? Gedetailleerde procedures moeten worden ontwikkeld om deze en vele andere situaties tijdens de risico analyse te evalueren zodat ze nauwkeurig kunnen worden uitgetest. Het feit dat een installatie veerkrachtig is ontworpen kan laksheid aanmoedigen bij onderhoud. Immers, het maakt niet uit of een bepaalde eenheid defect raakt, het systeem overleeft het toch. Deze houding is een recept voor een ramp. Ten eerste, er zijn meer dan genoeg redenen waarom een storing kan plaatsvinden en er is geen reden om de kans te vergroten. Ten tweede, als een eenheid ten gevolg van gebrek aan onderhoud defect raakt is het waarschijnlijk dat de rest zich in een soortgelijke situatie bevindt en ook defect zou kunnen raken, vooral wanneer zij geconfronteerd worden met extra belasting.

Het onderhoudspersoneel moet erop kunnen vertrouwen dat het systeem op een correcte manier zal omgaan met opgetreden storingen en het dient regelmatig getest te worden door een storing te simuleren. Wanneer vastgesteld is dat de installatie veerkrachtig is kunnen er regelmatig testen worden uitgevoerd met een hoge mate van vertrouwen. Testen moeten altijd worden uitgevoerd wanneer de gevolgen van een storing minimaal zijn, maar onder reële omstandigheden.

6 Het verbeteren van de energie-efficiëntie in telecomnetwerken

Zoals eerder aangehaald is het van enorm belang dat men efficiënter omgaat met energie. De roep vanuit de internationale gemeenschap wordt steeds duidelijker. Het verlagen van de operationele kosten is voor bedrijven een heel belangrijke reden om de efficiëntie van systemen te verlagen maar het milieu- aspect laat duidelijk zien dat daaraan meer gedacht moeten worden. In dit verslag zal er gekeken worden naar telecomsystemen, hun consumptie en welke stappen er ondernomen kunnen worden om het energieverbruik terug te dringen. Paragraaf 6.1 gaat over energieconsumptie in telecomnetwerken, paragraaf 6.2 over de energieconsumptie in draadloze netwerken terwijl paragraaf 6.3 over de Energy Logic methode bij RBS gaat. Paragraaf 6.4 handelt over de invloed op energieverbruik van diensten over het kabelnetwerk en paragraaf 6.5 over de toepassing van Energy Logic in de telco. Paragraaf 6.6 belicht de integratie van het Energy Management Software.

De geraadpleegde bronnen zijn: Roy, S., (2008). *Energy Logic for telecommunications* en Avelar, V., (2011). *Guidance for Calculation of efficiency in Data Centers*.

6.1 Energieconsumptie in telecomnetwerken

De potentiële toename van de efficiëntie door toepassing van Energy Logic is significant. De Energy Logic is een methode waarbij gezocht wordt naar uitvoeringsmethoden om de efficiëntie te verhogen in de telecom- en datacomsector. Het energieverbruik bij base stations is verminderd met bijna 60% en bij de telco's met 40%. Om enig idee te hebben wat deze cijfers betekenen zou men eerst moeten weten hoeveel energie verbruikt wordt in de telecomsector.

Tabel 1: Overzicht van de grootste vijf telecombedrijven in de wereld.

Land	Netwerk	Energie Consumptie	% Land
USA	Verizon 2006	8.9TWh	0.24%
Japan	NTT 2001	6.6TWh	0.7%
Italië	Telecom Italia 2005	2.0TWh	1.0%
France	Orange 2006	2.0TWh	0.4%
Spain	Telefonica 2006	1.42TWh	0.6%

In tabel 1 komt het energieverbruik voor van de grootste vijf telecombedrijven in wereld. Ze verbruiken samen bijna 21 Terawatt uur (TWh) per jaar. Eén TWh is gelijk aan 1 miljoen megawatt-

uur (1 megawatt is 1 miljoen watt). De “Three Mile Island” kerncentrale produceert 7 TWh per jaar, dus drie van deze kerncentrales zouden nodig zijn om deze vijf telecombedrijven te voeden. Vorig jaar heeft de telecomindustrie door middel van extrapolatie naar schatting 164 TWh verbruikt, dat is wereldwijd ongeveer 1% het energieverbruik. Dat komt neer op verbruik IN 15 miljoen Amerikaanse huishoudens en de CO₂ uitstoot van 29 miljoen auto's. Volgens schatting van de EPA (Environment Protection Agency) zal een daling van 10% in het energieverbruik door telco's leiden tot een besparing van US\$ 200 miljoen per jaar en een terugdringing van 2 miljoen ton aan CO₂ uitstoot.

Maar het verminderen van het energieverbruik is een uitdaging als de vraag naar telecommunicatiediensten de pan uit rijst. Breedbandabbonementen groeien met een stijging van 14% per jaar en eisen 4 tot 8 keer meer energie dan basistelecomdiensten. Fiber-to-the-home heeft recentelijk in Noord Amerika een recordhoogte bereikt van 3 miljoen, dat is een stijging van meer dan 100 % sinds vorig jaar. Internetverkeer stijgt met 60% per jaar vanwege de groeiende vraag naar VoIP, video streaming, film- en videodownloads. Bij de draadloze telecom is de sector op weg naar 3 miljard aangesloten toestellen met hoge datasnelheden als het ultieme doel. Al deze diensten drijven het energieverbruik omhoog. Geconfronteerd met deze realiteit en trends is het waarschijnlijk slechts een kwestie van tijd totdat de regeringen met reductiemaatregelen zullen komen mits men op eigen initiatief de eerste stap neemt.

De sleutel voor deze industrie is het aanpakken van het probleem met een duidelijke en gedefinieerde benadering die de resultaten optimaliseert. In een telecomnetwerk heeft elke verandering in een component van het systeem een effect op de andere componenten. Bij de toepassing van energiebesparende maatregelen is het belangrijk om de gevolgen voor de andere componenten van het systeem te overwegen. Dat is de basis van de Energy Logic methode welke toegepast kan worden in zowel het mobiele als het PSTN- netwerk en die een holistische benadering presenteert ten opzichte van energiebesparing.

6.2 Draadloze netwerken

Het draadloze netwerk kan worden onderverdeeld in twee secties: het telecombedrijf waar de Mobile Switching Center (MSC) en Radio Base Station (RBS) zich bevinden en de abonnees die het mobiele toestel bezitten. Naar schattingen komt meer dan 90% van het energieverbruik van een draadloos netwerk van het telecombedrijf. Met ongeveer 4 miljoen geïnstalleerde Base

Transceiver Station (BTS) systemen in de wereld en een verwachte explosieve groei is een eventuele energiebesparing van enorm belang.

Meer dan 60% van het energieverbruik door de RBS wordt verbruikt door radioapparatuur en versterkers, 11% wordt verbruikt door het DC- power systeem en 25% door de koelinstallatie. Onder deze omstandigheden is 10.3 kW aan elektriciteit nodig om slechts 120 watt radiosignalen te produceren en voor het verwerken van de binnengekomen signalen van de abonnee. Dit komt neer op een efficiëntie van 1.2%. Er is duidelijk een behoefte aan verbetering en dat zal duidelijker worden wanneer gekeken zal worden naar het verloop van energieverbruik in de RBS.

- Aan de antenne wordt 120 watt RF-sigitaal aangeboden. Om dit te leveren moet een extra 120 watt aan de voet van de antennekabel (feeder) aangeboden worden. Dit komt neer op een efficiëntie van 50%. Zie bijlage V.
- Om dit RF-sigitaal te produceren verbruikt de radioapparatuur 2.1 kW voor signaalverwerking en een extra 4 kW voor de RF- versterking met slechts 6% gecombineerde efficiëntie voor de modulatie en versterking.
- De power plant die deze belasting voedt heeft een efficiëntie van 85 %, ruim onder het peak niveau. Dit is het resultaat van het lage gebruik van de gelijkrichters en van sommige systeemverliezen.
- De airconditioner, die vaak wordt overgedimensioneerd, trekt 2,5 kW. 0.34 watt voor elke watt aan warmte die wordt geproduceerd door de elektronica.

Vanwege deze inefficiënties zal elke watt die bespaard wordt bij de antennecascade voordelen opleveren door het verminderen van de verliezen opwaarts. Het cascade- effect maximaliseert de energiebesparingen bij de bron. Eén watt besparing bij de antenne wordt vermenigvuldigd met de inverse van de efficiëntie van elk blok zodat de geaccumuleerde besparing veel hoger is dan de oorspronkelijke één watt besparing.

De één watt die bespaard wordt bij de antenne veroorzaakt een besparing van 17.3 watts in de modulator en versterker, 3.3 watts in de gelijkrichter en 7.1 watts in bijbehorende koeling. In totaal komt dat neer op besparing van 28 maal. Om deze redenen moet men bij de antenne beginnen waar er grotere voordelen opgeleverd kunnen worden en de behoefte aan koeling en energie wordt verminderd. Dit wordt in de bijlage IV weergegeven.

6.3 Energy Logic bij de RBS

Er is een zestal strategieën ontwikkeld die kunnen leiden tot energiebesparing bij toepassing. Twee strategieën zijn van toepassing op de radioapparatuur en de andere vier zijn van toepassing op de koeling en energie. Wanneer alle zes stappen juist uitgevoerd worden is de totale besparing maximaal 58,4%.

Het optimaliseren van de radio's uit een RBS

Bij typische RBS is er een additionele 120 watt aan vermogen nodig om 120 watt aan RF-signalen aan de antenne aan te bieden. Zie bijlage V. Het verplaatsen van de RF-converter en vermogenversterkers (PA) naar de top van de mast (dicht bij de antenne) en ze verbinden met glasvezelkabels, verkleint het verlies van vermogen in de antennekabel aanzienlijk. Energie wordt via een aparte kabel uit het elektrisch net geleverd of, bij voorkeur, via 48V kabels uit het station. Het volledige 120 watt verlies in de antennekabel wordt geëlimineerd. Deze stap brengt de energiebehoefte van de PA met de helft terug terwijl de koeling nu 33% minder energie verbruikt. De DC-voeding valt terug met 30%. De meeste radiofabrikanten bieden nu deze topologie aan.

Radio stand-by modus

Radiozenders en ontvangers kunnen worden geschakeld in ECO-modus die de energiebehoefte aanpast wanneer het belverkeer laag is, meestal 's nachts. Als een bepaalde locatie niet al is uitgerust hiermee is deze mogelijkheid beschikbaar via eenvoudige upgrades voor software en hardware. Het energieverbruik is tamelijk stabiel gedurende de dag en de nacht en is onafhankelijk van het belverkeer. In ECO-modus kan het energieverbruik worden verminderd met 40% wanneer het belverkeer laag is. Over het algemeen zal deze strategie het energieverbruik tussen 10 en 20% verlagen.

De passieve koeling

De airconditioner (airco) is de meest geprefereerde keus om RBS-locaties te koelen maar deze wisselspanningsapparaten consumeren 34% van de geproduceerde warmte binnen de RBS aan energie. Als bijvoorbeeld de RBS 1000 watt aan warmte produceert zal het energieverbruik van de airco gelijk zijn aan 340 watt. Ze zijn ook lawaaierig en onderhoudsintensief. Afhankelijk van

de geografische ligging van de locatie en de bereidheid om batterijlevensduur in te ruilen voor energiebesparing zullen andere koeltechnieken zoals vrije koeling, geforceerde koeling met hydrofobische filters of warmtewisselaars het energieverbruik aanzienlijk veranderen. Hoewel geschat is dat passieve koeling een energiebesparing van 10% of meer kan bieden, is vrije koeling niet in alle scenario's toepasbaar. Elke RBS moet afzonderlijk geëvalueerd worden om de kans tot succes te bekijken.

Geavanceerde klimaatregeling

Als een airco noodzakelijk is kan energieverbruik worden geminimaliseerd door de airco te laten functioneren op een hogere temperatuur. De hogere instelling zorgt niet alleen ervoor dat de airco minder vaak zal inkomen maar dat de airco ook efficiënter zal werken. Een test gedaan op 10 locaties tussen mei en september 2007 in de Verenigde Staten waarbij temperaturen tussen 26 en 31°C werden toegepast heeft geleid tot een besparing van 14%. Het verhogen van de interne temperatuur van de ruimte moet goed overgewogen worden om geen andere problemen daarmee te creëren. Een besparing van 3-4% kan zonder grote effecten verkregen worden.

Het DC- systeem in ECO- modus

Gelijkrichters hebben een hoge efficiëntie die kan dalen wanneer de belasting minder dan 40% van de capaciteit van de gelijkrichter bedraagt. Omdat systemen redundant zijn uitgevoerd, vaak worden overgedimensioneerd voor groei in de toekomst en voorbereid voor eventuele calamiteiten, werken de gelijkrichters onder een capaciteit van 40%. Een geavanceerde controller kan ervoor zorgen dat de gelijkrichters in vrijwel alle omstandigheden op maximale efficiëntie werken. Deze Energy Management Controller meet de belastingstroom voortdurend en stelt alleen de gelijkrichters in bedrijf die de belasting kunnen voeden met de hoogst mogelijke efficiëntie. De controller rouleert de gelijkrichters zodat zij beurtelings in bedrijf worden gesteld. In feite werkt het als een ECO-modus voor het DC- systeem. Plotselinge veranderingen in de belasting worden afgehandeld zonder enig effect op de belasting vanwege de aanwezigheid van de batterijbank en de snelle reacties van de gelijkrichters. Het systeem zal reageren op grote veranderingen op de belasting door snel reserve gelijkrichters in bedrijf te stellen.

De energiebesparing is klein in vergelijking met de eerder beschreven stappen. Wanneer deze techniek wordt toegepast op een systeem met elf gelijkrichters á 30 ADC en een belasting

van 110 ADC, zal zonder de ECO-modus elke gelijkrichter voor 33% van zijn capaciteit belast worden bij een geschat rendement van 89%. In ECO-modus worden van de elf gelijkrichters slechts vijf in bedrijf gesteld die de belastbaarheid verhoogd naar 66% en een efficiëntie van 92%. De modus bespaart dus 146 watts aan energie hetgeen overeenkomt met 20% besparing.

Gelijkrichter met hogere efficiëntie

Tot voor kort werden gelijkrichters beschouwd als componenten met weinig voordeel voor de totale efficiëntie en klanten kozen voor lagere initiële kosten in plaats van marginale efficiëntie. Deze voorkeur kan veranderen met de komst van gelijkrichters met hogere efficiëntie. Hoge efficiënte gelijkrichters zijn aantrekkelijk maar het is belangrijk een holistische en systematische visie te hebben bij het evalueren van hun doeltreffendheid. In de RBS heeft de cascadebesparing van een gelijkrichter met 4% efficiëntie een totale efficiëntie van 1.8%. Om te bepalen of al dan niet de volledige besparingen worden gerealiseerd is het noodzakelijk om te bepalen of de beloofde efficiëntie wordt geleverd. Bij het testen van enkele van deze producten werd vastgesteld dat zij voldoen aan de voorgehouden efficiëntie maar alleen op hogere spanningen.

De belasting wordt vaak groter aangegeven dan deze in werkelijkheid is waardoor gelijkrichters op slechts een fractie van hun capaciteit werken, op ongeveer 40%. Met de AC-consumptie lager dan men verwacht had en hoge efficiënte gelijkrichters die premium zijn geprijsd, dient er een analyse gemaakt te worden om de financiële haalbaarheid van deze optie te bekijken. Men zal de Return on Investment (ROI) moeten overwegen bij het vervangen van een standaard gelijkrichter met een efficiëntie van 91.5% door een hoge efficiënte gelijkrichter van 96.5%. Bij de toepassing van de ECO-modus, die het energieverbruik vermindert wanneer het verkeer laag is, is de impact op de besparingen en de ROI 5%. Wanneer de gelijkrichter met de efficiëntie van 91.5% wordt vervangen door één van 94%, die in ECO-modus werkt, zijn de besparingen beneden het acceptabel niveau. Dit is een van de redenen waarom telecombedrijfseigenaren niet graag hierin investeren.

6.4 Het kabelnetwerk

Kabelnetwerken zijn in het midden van de veranderingen die invloed hebben op hoe en wanneer de verschillende strategieën ter vermindering van energieverbruik toegepast kunnen worden. Overgang van circuit switching naar packet switching houdt in een overlapping met nieuwe appa-

ratuur om de continuïteit van de dienst te waarborgen. Met uitzondering van GPON (Gigabit Passive Optical Network) is het energieverbruik bij de verschillende breedbandtechnologieën hoger naarmate de bandbreedte toeneemt. Het energieverbruik van het kabelnetwerk zal toenemen vanwege de volgende drie redenen:

- extra energieverbruik vanwege access technology,
- verhoogde penetratiegraad,
- hogere bandbreedte, nieuwe diensten, nieuwe apparatuur.

Op hetzelfde moment wordt het energieverbruik langzaam gedecentraliseerd en wordt meer en meer naar de gebruiker verplaatst. Volgens Nokia Siemens Network is minder dan 30 percent van de breedbandenergieconsumptie onder verantwoordelijkheid van de exploitant wat betekent dat meer dan 70% de verantwoordelijkheid is van de gebruiker. Uiteraard, het deel van de gebruiker is dus het dominante gedeelte maar het energieverbruik per gebruiker is zo klein dat energiebesparende maatregelen beperkt worden. Gerichte acties van de exploitant hebben daardoor wel een verhoogd rendement. Met dat in gedachten worden zes Energy Logic strategieën gericht op telco's voorgesteld.

6.5 De Energy Logic methode in de telco

Er worden zes energiebesparende strategieën aanbevolen die moeten leiden tot energiebesparing in de telecomcentrales. Bij de juiste implementatie van deze strategieën kan men een energiebesparing verkrijgen van ruim 40%.

Energiebesparing in telco- en IT-apparatuur

Leveranciers van apparatuur staan voor een uitdaging om energieverbruik te verminderen. Er is een stijgende vraag te constateren bij teleumbedrijven naar systemen met een optie, Energy Saving Mode, om voor energiebesparing in zowel telecom- als datacomapparatuur. Net als bij Eco modus verlaagt de Energy Saving Mode het energieverbruik van apparaten op momenten wanneer het systeem minder in gebruik is. De Europese Commissie heeft regels vastgelegd voor de consumptie van breedbandapparatuur om standaarden te laten ontwikkelen in deze techniek. Alle voorstellen die nu in behandeling zijn zullen nieuwe operationele technieken introduceren zoals

de Full Power Mode, Low Power State en Stand-by State. Al zou alleen de Full Power Mode in overweging worden genomen zou dat een energiebesparing van 20% bij ADSL2 en 40% bij VDSL2 zijn. In het Energy Logic model, dat eerder beschreven is in dit verslag, heeft bij een besparing van 15% in een telefooncentrale een 9.9 kW besparing die een cascadebesparing heeft van 24.3 kW. Het is duidelijk waar de grootste voordelen gehaald kunnen worden.

IT- apparatuur gevoed met DC

Elke inverter heeft een zekere mate van inefficiëntie die warmteontwikkeling veroorzaakt die door koelinstallaties moet worden afgevoerd. Minimaliseren van het aantal spanningsomzettingen moet topprioriteit genieten wanneer men het energieverbruik in een telco wil verlagen. In de telco neemt men tegenwoordig nieuwe apparatuur op in het netwerk die normaal in datacentra worden gebruikt. Inverters zijn de eenvoudigste optie die DC omzet in AC om vervolgens de IT-apparatuur te voeden. Inverters zijn verantwoordelijk voor 10 % van het energieverlies in een telco en meer dan 20 % in een mobiele MSC. Door het elimineren van de omzetting en gebruik te maken van de -48VDC is de totale besparing dan 25%. Deze verbetering is niet alleen gerelateerd aan de efficiëntie van de inverter maar ook aan de interne voedingsbron van de IT-apparatuur. In het gehele systeem heeft de besparing een impact van slechts 1.9%. Echter, in toepassingen waar de inverter of UPS het belangrijkste is zal deze strategie in overweging genomen moeten worden.

Implementatie van de “best practices” bij koeling

Nieuwe technologieën verhogen de vermogensdichtheid in telco's op niveaus die nooit eerder zijn gezien. Daardoor is er bezorgdheid ontstaan over het beschikken van de juiste omstandigheden voor apparatuur om betrouwbaar te kunnen functioneren. Een Amerikaans instituut heeft een onderzoek gedaan op het gebied van vermogensdichtheid en kwam tot de ontdekking dat de vermogensdichtheid nu een waarde heeft veel hoger dan 181.2 watt per kubieke voet. Als de apparatuur voldoet aan de standaard van ASHRAE dienen de parameters van de omgeving stringenter te zijn dan de voorschriften van NEBS. Dit zal de uitdaging op het gebied van de koeling verhogen om hete plekken (hotspots) of overkoeling te voorkomen. Met toepassing van deze voorschriften kan de efficiëntie verbeterd worden met 30%. Deze voorschriften zijn:

- wees er zeker van dat de hete lucht wordt geretourneerd naar de koelinstallatie door middel van de hot-aisle/cold-aisle configuratie,

- verhoog de druk in de cold-aisle of gebruik een afgesloten buizenstelsel om de hete lucht te retourneren,
- verhoog koelwatertemperatuur boven 7°C (tot 10°C)
- isoleer de ruimte met dampabsorberend materiaal om onnodige beïnvloeding van de vochtigheidsgraad te voorkomen,
- handhaaf de juiste cold-aisle temperatuur (stel temperatuur af tussen 68 °F tot 70°F),
- gebruik toerenregelaars (Variable Frequency Drives, VFD) voor de evaporator- en de condenserventilatoren (bij het verlagen van het fanoerental met 20% wordt het energieverbruik met 50% verlaagd).
- kies een koelinstallatie die voorzien is van een digitale scroll compressoroptie zodat de capaciteit van de koelinstallatie aangepast kan worden aan de condities van de ruimte zonder de compressor steeds in en uit te schakelen. Dit kan de energie in sommige gevallen verlagen met 47%.

Aanvullende koeling voor systemen met een hoge dichtheid

Soms is de toepassing van alleen de “best practice” niet genoeg. In de telefooncentrale zijn warmte gerelateerde problemen opgelost op basis van geval tot geval door het spreiden van de apparatuur over verschillende rekken of het vergroten van de koelcapaciteit van de koelinstallaties. Koeling bestemd voor de datacenter heeft zich ontwikkeld ver boven deze benaderingen naar een agressievere en effectievere aanpak van problemen die een gevolg zijn van de hoge dichtheid. Deze aanvullende koeling is jarenlang met enorm succes geïmplementeerd in datacenters. Dat vindt plaats door het plaatsen van de evaporators boven op de rekken, hangend aan het plafond of staande tussen de rekken en ze leveren de koele lucht direct aan de warmtebron hetgeen een efficiëntie van 30% meer dan de koudwatersystemen (chilled water systems) geeft.

Vervang de oude gelijkrichters

De levensduur van sommige telecommunicatiegebouwen heeft geleid tot het voortbestaan van de oudere -48VDC gelijkrichters (ferroresonant, controlled ferro, SCR, etc.) in het netwerk. De meeste van deze apparaten zijn aan het einde van hun gebruiksduur. Men maakt zich ernstig zorgen over de betrouwbaarheid van deze gelijkrichters en reserveonderdelen zijn steeds moeilijker

te vinden. Daarnaast is verbetering in de energie- efficiëntie van 3 tot en met 7% mogelijk, vooral bij een gebruik van 20 tot 50%.

DC ECO Modus

De effectieve belasting dreigt meer en meer onvoorspelbaar te worden. Grote variaties in de belasting worden verwacht en de DC ECO-modus zorgt voor optimaal energieverbruik van de DC power plant. Hoewel deze strategie een lager rendement biedt dan andere is de Return of Investment onmiddellijk en aanhoudend. ECO-modus is een software die voorkomt in de meeste moderne controllers en dreigt verplicht te worden.

6.6 De integratie van de Energy Management Software

Al de hierboven genoemde strategieën voor RBS en telco's worden toegepast voor een specifieke functionaliteit van het netwerk. Energie management software op systeemniveau is ook een essentieel onderdeel in het maximaliseren van het conserveren van energie. Dit soort managementsoftware is flexibel en kan aangepast worden om een specifiek energiemangementprobleem aan te pakken. Als voorbeeld kan genoemd worden een toepassing, waarbij het gebruik van alternatieve energiebronnen om de belasting te voeden tijdens de piekuren, wordt geïmplementeerd die het mogelijk maakt de energiebehoefte tijdens daluren aan te vullen. Een andere toepassing van dit soort software is de koeling die verhoogd wordt met 1 tot 2 °C wanneer het ingangsvermogen lager is dan een bepaalde vooraf afgestelde waarde. Dit heeft als gevolg een reductie van 4% in het energieverbruik. Door onvoldoende integratie tussen systemen behorende bij het telecomgebouw en apparatuur in het gebouw worden vele kansen die kunnen leiden tot energiebesparingen gemist.

7 De onderzoeksresultaten

Gedurende enkele maanden zijn er onderzoeken gepleegd en metingen verricht in verschillende stations van Telesur. Ook zijn er interviews afgenomen van technici die deel uitmaken van de verschillende disciplines om zowel de knelpunten te vinden als achtergrondinformatie in te winnen. In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de gepleegde onderzoeken en verrichte metingen worden weergegeven. In paragraaf 7.1 wordt het resultaat over de telecomgebouwen van Telesur weergegeven en in paragraaf 7.2 zijn de bevindingen met betrekking tot de koelinstallaties opgenomen. De manier hoe Telesur de verschillende power plants heeft opgezet en de wijze waarop die worden geëxploiteerd wordt in paragraaf 7.3 aan de orde gesteld terwijl paragraaf 7.4 over de aanwezigheid van IT-apparatuur in de telecomstations van Telesur handelt.

7.1 Het type telecommunicatiegebouw van Telesur

Alle apparatuur en systemen bij Telesur zijn ondergebracht in gebouwen en cabines (shelters). Er zijn ook situaties waarbij er geen gebouw aan te pas komt omdat het type apparatuur dat gebruikt wordt bestand is tegen weer en wind. Dit soort apparaten staat bekend als outdoor equipment. In dit verslag wordt niet gerefereerd naar die soort apparaten. Figuur 14 is een weergave van een met betonnen panelen opgezette gebouw (links) en een uit polyurethaan sandwich platen gefabriceerde cabine (rechts). De gebouwen zijn standaard telecomgebouwen en zijn gebouwd in de tijd toen er sprake was van mechanische of analoge telefonie. De interne infrastructuur is niet veranderd met de ontwikkeling van de telecomsector en het gebouw is ook hetzelfde gebleven.



Figuur 14: Behuizingen van apparatuur en systemen bij Telesur

In de warmste periodes van het jaar is duidelijk voelbaar hoe overdag de extreme hitte aan de buitenkant van het gebouw door de stenen muren het gebouw binnendringt. Ook is aan de hand van metingen te constateren dat de temperatuur in de stations dan hoger ligt dan de gewenste temperatuur met als gevolg dat de koelinstallaties onafgebroken doordraaien totdat de muren zijn afgekoeld, laat in de avond of vroeg in de ochtend.

De cabines worden op locaties opgezet waar Telesur terreinen gehuurd heeft en waar het ontruimen van het terrein gemakkelijk moet geschieden. De cabines zijn gebouwd uit verticale 4mm panelen die bekend staan als sandwich panels. Deze panelen zijn opgebouwd uit een laag PUR (polyurethaan), die een warmte isolerende laag is, en een ½ mm metalen plaat aan weerskanten. Deze cabines zijn al voorzien van alle voorzieningen om in weer en wind te staan maar Telesur heeft gemeend om toch een dak te plaatsen op de cabine om de directe zon te weren.

7.2 De koelsystemen in de stations van Telesur

Zoals eerder aangehaald worden in de stations van Telesur apparaten en systemen opgenomen ten behoeve van de verschillende diensten die Telesur aan de man brengt. Deze apparaten en systemen verbruiken elektrische energie waarvan een heel groot deel omgezet wordt in warmte. Om de goede werking van de apparatuur en systemen te garanderen is het van belang dat deze warmte uit het gebouw wordt gehaald en dat er koude lucht wordt aangevoerd. In deze paragraaf zullen de resultaten van de verschillende onderzoeken met betrekking tot de koeling worden opgenomen.

De opbouw van het luchtdistributiesysteem in de stations van Telesur

De koude lucht die door het koelapparaat wordt ontwikkeld wordt in de stations van Telesur door middel van een distributiesysteem in de ruimte gebracht. In de meeste stations bestaat het distributiesysteem uit een hoofdleiding met eventuele zijtakken en roosters waaruit de koude lucht in de ruimte wordt geblazen. In de meeste gevallen bestaat het afvoersysteem uit een groot rooster in de muur dat vlakbij het koelapparaat staat. In figuur 15 is dat weergegeven.



Figuur 15: Het luchtdistributiesysteem (links) en het rooster voor retour (rechts)

Bij Telesur zijn er grote haast leegstaande ruimtes aangetroffen. Vanwege de snel veranderde technologische ontwikkeling zijn de apparaten en systemen veel kleiner geworden terwijl hun verwerkingscapaciteiten fors zijn toegenomen. Het is trouwens een internationale eis om systemen te ontwerpen volgens het high density concept. Hierdoor zijn enkele bestaande gebouwen voor meer dan 60% leeg komen te staan. Figuur 16 laat een voorbeeld hiervan zien.



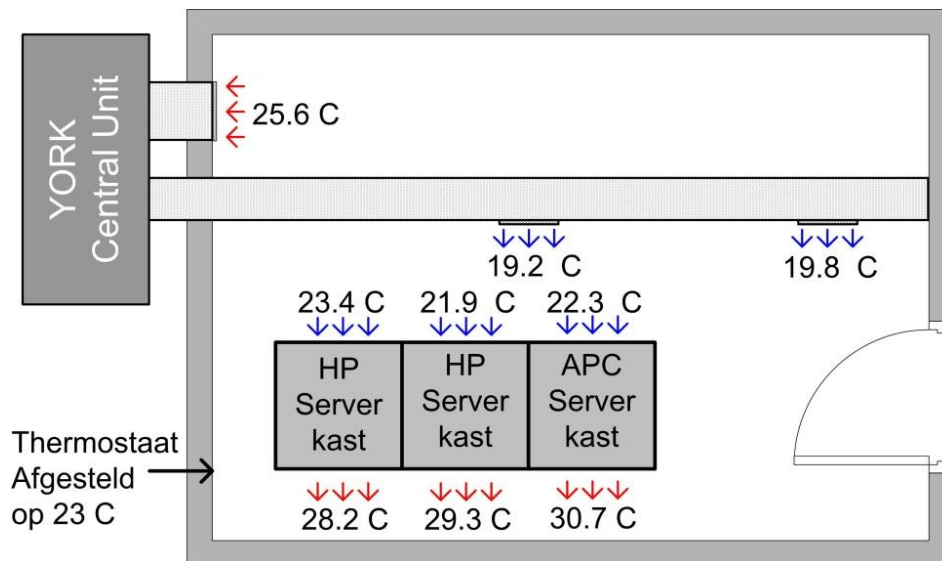
Figuur 16: Grote vrije ruimtes in een station van Telesur

Ondanks dat een heel groot deel van het station leeg is wordt het totale station gekoeld. Hiervoor worden heel grote energievervlindende koelapparaten gebruikt.

De locatie van de thermostaten

Eerder is aangehaald dat elk station van Telesur voorzien is van koelinstallaties die zorgen voor de luchtbehandeling. Deze koelinstallaties zijn zodanig gebouwd dat aan de hand van een regelenheid, bekend als een thermostaat, de gewenste temperatuur afgesteld kan worden. De thermostaat leest de temperatuur in zijn omgeving, vergelijkt die met de ingestelde waarde en bepaalt op grond van het resultaat of het koelsysteem in bedrijf komt, blijft draaien of uitgeschakeld wordt.

Om na te gaan of de koeling in de verschillende ruimtes goed functioneert is een ruimte gekozen om metingen te verrichten. Op verschillende locaties in de ruimte zijn er probes aangebracht om de temperaturen op te nemen. Figuur 17 geeft een overzicht van de gemeten plekken en de waarden van de gemeten temperaturen.



Figuur 17: De meetresultaten van een meeting in een IT- room bij Telesur

7.3 De power plants

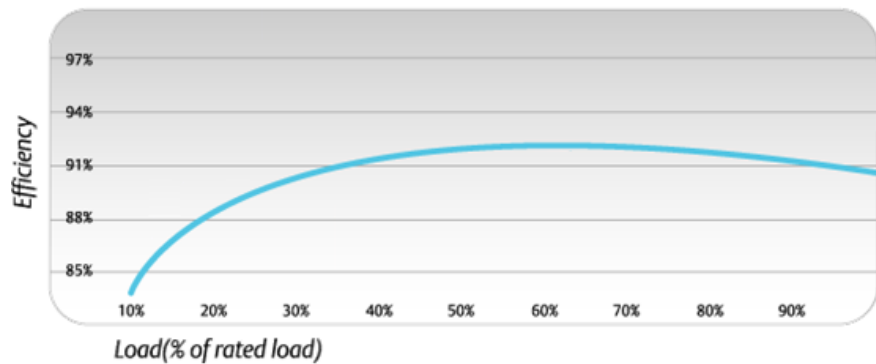
De power plants dienen voor het leveren van energie aan de verschillende belastingen die energie nodig hebben om te functioneren. Bij deze power plants zijn er verschillende onderzoeken verricht waarvan de resultaten in deze paragraaf worden opgenomen. De verschillende onderdelen van de power plants zijn onderzocht op betrouwbaarheid en efficiëntie.

De DC power plants t.b.v. telecom- en IT-apparatuur

Bij het ontwerpen van een DC power plant worden enkele criteria in overweging genomen bij het bepalen van de capaciteit van de power plant. Deze criteria zijn namelijk het vermogen dat nodig is om de belasting nu te voeden, het vermogen dat nodig is om de batterijen op te laden na een stroomonderbreking en vermogen voor mogelijke uitbreiding in de toekomst.

De power plants bij Telesur zijn modulair opgebouwd. In figuur 18 wordt een modulaire DC power plant met standaard gelijkrichters weergegeven die in een station van Telesur voorkomt. Deze power plant is opgebouwd uit elf gelijkrichters met een capaciteit van 3.2kW elk.

Deze power plant is ontworpen volgens het redundantiemodel N+1 wat betekent dat het maximale vermogen van deze plant gelijk is aan 32kW. De belasting die aangesloten is op deze power plant consumeert een vermogen van 5.1kW. Aangezien alle elf gelijkrichters parallel aangesloten zijn op de DC bus betekent dit dat elke gelijkrichter een vermogen van ongeveer 0.46kW levert wat neerkomt op ongeveer 14.4%. Uit de efficiëntiecurve, figuur 18, blijkt dat dit overeenkomt met een efficiëntie van ongeveer 86%.



Figuur 18: Een 600 watt DC power plant (links) en de efficiëntie curve (rechts).

Verder is geconstateerd dat alle gelijkrichters zijn aangesloten op twee fasen van de elektrische installatie. De gelijkrichters zijn namelijk vervaardigd om op twee fasen te functioneren. Uit metingen is gebleken dat na een stroomuitval, wanneer de batterijen geladen worden en alle gelijkrichters maximale stroom trekken, er ongeveer 37kW aan het net wordt onttrokken waardoor het net asymmetrisch wordt belast. Nadat de batterijen volgeladen zijn blijkt dan dat die twee fasen weinig belast worden en wel met slechts 6.0 kW.

Stations die op alternatieve energie draaien

Om de binnenlandbewoners ook te voorzien van telecommunicatiediensten heeft Telesur ook in het verre binnenland stations opgezet die primair mobiele diensten aan de man brengen. Deze stations zijn door middel van een transmissieverbinding aan elkaar verbonden volgens de kettingconfiguratie. Deze configuratie heeft als nadeel dat als één station uitvalt alle stations neerwaarts niet beschikbaar zijn. De transmissie is niet de enige belasting in deze stations, er zijn een BTS- en een ventilatorinstallatie opgenomen. De transmissieapparatuur verbruikt een vermogen van 110 watt terwijl de rest van de belastingen totaal 840 watt verbruikt. Gebleken is dat bij Telesur op momenten wanneer er een probleem is ontstaan met het systeem waarbij de back-up- batterij

onvoldoende of niet geladen wordt deze leegloopt voordat de technici de plaats bereikt hebben voor herstelwerkzaamheden met als gevolg uitval van meerdere stations.

De aanwezigheid van legacy UPS-en

In een aantal stations van Telesur komen apparaten voor, zoals servers, routers, storage units en andere IT-apparatuur, die bekend staan als mission critical equipment. Dit zijn apparaten die bij een eventuele stroomuitval niet mogen uitvallen omdat dat een onderbreking in de levering van diensten naar de klanten kan veroorzaken. Om te voorkomen dat deze apparaten uitvallen worden UPS-en geïnstalleerd die in staat zijn te zorgen voor de benodigde energie door gebruik te maken van energie die in back-upbatterijen zijn opgeslagen. Hierbij gaat het om UPS-en van 10kVA en hoger speciaal bestemd voor apparaten in de stations. In figuur 19 is een 60kVA UPS afgebeeld in een van de stations van Telesur. Deze UPS-en zijn monolithisch en zijn opgebouwd uit een gelijkrichter, back-upbatterijen, een inverter en een interne ATS.



Figuur 19: Een monolithische UPS van 60kVA die op Centrum 2 staat

Zowel de telecom- als de datacomsector is onderhevig aan enorme groei waarvan de mate vaak onvoorspelbaar is. Vaak werden telecombedrijven daardoor verrast en hun infrastructuur was daarop niet berekend. In de stations had men te weinig koelingscapaciteit aangebracht en de energievoorziening was niet meer toereikend. Men verloor potentiële kansen om te groeien. Tijdens het onderzoek bij Telesur is opgevallen dat systemen die mogelijk tekort kunnen schieten bij een plotselinge explosieve groei zwaar worden overgedimensioneerd om dit soort situaties te vermijden. Bij de UPS-en is gebleken dat men bijvoorbeeld een 60kVA UPS aanschaft als men

het vermoeden heeft dat binnen de live cycle van een product de vraag naar energie enorm kan oplopen terwijl de vraag nu 5kVA is.

Back-upbatterijen

In hoofdstuk 3 is de opbouw van een DC power plant uiteengezet. De batterij dient als back-up op momenten waarop er geen wisselspanning aanwezig is. Dit kan variëren tussen enkele minuten tot enkele uren. Op belangrijke locaties zijn er generatoren geïnstalleerd om de belasting over te nemen zodra de energielevering van EBS onderbroken wordt. In zulke gevallen werken de batterijen slechts enkele minuten totdat de generator overneemt. Als er een naadloze transfer heeft plaatsgevonden wanneer de belasting van generator naar EBS gaat komen de batterijen niet in. De aangetroffen batterijen bij Telesur werken precies zoals hierboven is beschreven. Hieruit kan afgeleid worden dat de batterijen op de zweefspanning zitten aangesloten net zo lang als de wisselspanning aanwezig is.

Verder is ook opgevallen dat in vele stations de gemeten temperatuur hoger ligt dan de temperatuur die door de fabrikant is opgegeven voor een bepaalde spanning. De opgegeven specificaties gelden voor een omgevingstemperatuur van 25 °C. Voor afwijkende temperaturen heeft de fabrikant opgegeven met welke factor de zweefspanning meer of minder gemaakt dient te worden.

In enkele stations zijn batterijen gevonden die gebarsten waren. Deze batterijen zijn dus dan absoluut niet in staat de taak te vervullen waarvoor ze geplaatst zijn. Figuur 20 toont gebarsten batterijen.



Figuur 20: Een gebarsten back-upbatterij

7.4 IT-apparatuur bij Telesur

Door de toename van de verschillende IT gerelateerde diensten die door de telecombedrijven worden aangeboden aan de klanten, en met de komst van het mobiele systeem hebben veel IT-apparaten hun weg gevonden in de telecomstations. Ook voor operationele doeleinden wordt IT-apparatuur gebruikt. Deze IT-apparaten hebben een andere achtergrond waardoor niet dezelfde omgevingscondities gelden voor deze apparaten als voor telecomapparaten. In deze paragraaf zullen verschillende aspecten opgenomen worden betreffende IT-apparatuur die bij Telesur voorkomt.

IT-apparatuur in de telecom

Bij Telesur komt IT-apparatuur voor in de stations en wel in dezelfde ruimte van de telecom-apparatuur. In figuur 21 zijn twee rekken te zien met IT-apparatuur. Gebleken is dat de luchttemperatuur van de omgeving waarin deze apparaten functioneren wel geschikt is voor telecomapparatuur maar buiten het werkgebied valt voor IT-apparatuur. Vooral aan de achterkant van de rekken waarin de apparaten voorkomen is de temperatuur alarmerend.

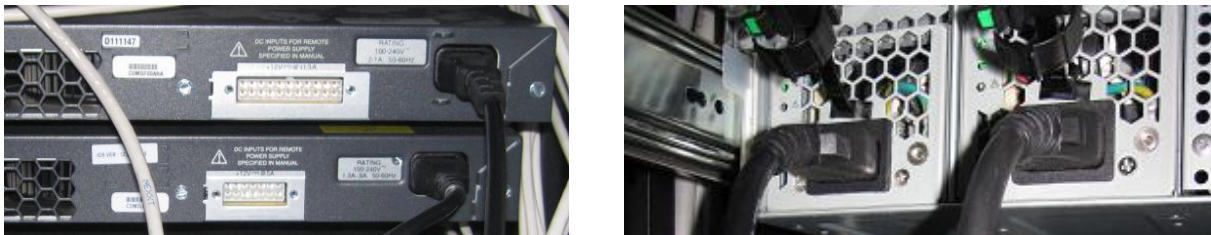


Figuur 21: Rekken met IT-apparatuur in een station bij Telesur

Een onderdeel van de IT-apparatuur is de server. Een server is een computer bestemd voor verschillende IT- doeleinden. Zo kunnen servers gebruikt worden voor verschillende applicaties. Servers hebben over het algemeen een hoog energieverbruik (60 tot 80% van het nominale vermogen) bij een laag gebruik. Bij Telesur komt ongetwijfeld ook een groot aantal servers voor. Een groot deel van deze servers wordt voor slechts 5 tot 20% en in een uitzonderlijk geval tot 50% belast. Uit onderzoek is gebleken dat elke applicatie aangeschaft wordt met een eigen server, al wordt die periodiek gebruikt en zijn er reeds servers aanwezig die deze applicatie zouden kunnen draaien.

Single-corded en dual-corded IT-apparatuur bij Telesur

IT-apparaten zijn in de handel verkrijgbaar met een of twee power supplies. Een apparaat met twee power supplies heeft een als back-up en blijft dus normaal werken in geval een uitvalt, zie in figuur 22 een versie hiervan. De keuze die men maakt is op basis van de belangrijkheid van de



Figuur 22: IT-apparaten met één power supply en één met twee power supplies bij Telesur

taak die het apparaat moet uitvoeren. Bij Telesur zijn beide versies aangetroffen. Het is meestal zo dat voor de totstandkoming van een bepaalde dienst een flink aantal apparaten nodig is waarbij de uitval van één apparaat kan betekenen dat de totale dienst niet beschikbaar is. Gebleken is dat in dat soort gevallen Telesur inconsistentie vertoont omdat beide soorten voorkomen binnen één groep van belangrijke apparatuur. Tijdens een test van een pas geïnstalleerd digitaal televisiesysteem dat ettelijke honderdduizenden US dollars heeft gekost is gebleken dat bij het verlies van één tak van de energievoorziening het gehele systeem onbruikbaar was geworden.

Telesur heeft in bepaalde situaties ter verhoging van de betrouwbaarheid van de dienstverlening bewust IT-apparatuur aangeschaft met twee power supplies. Tijdens het onderzoek naar de wijze van aansluiting van de IT-apparatuur op de energievoorziening is gebleken dat men beide power supplies heeft aangesloten op één PDU (Power Distribution Unit) wat betekent dat bij

uitval van deze PDU het gehele apparaat uitvalt en men toch niet de mate van betrouwbaarheid heeft behaald die men beoogde. In figuur 23 is duidelijk een APC Basic PDU (de zwarte verticale power strip) te zien met de aansluitingen van apparaten eraan.



Figuur 23: Een APC basic rack PDU

AC en DC ITE's in de telecomstations

Zoals eerder aangehaald zijn er ITE's (Information Technology Equipment) zoals servers, routers en storage units opgenomen in de telecomstations van Telesur om een aantal diensten te genereren voor de klanten maar ook voor intern gebruik zoals monitoring, billing en control. Bij Telesur is het opgevallen dat men zowel AC als DC ITE's heeft geïnstalleerd. Omdat volgens standaarden telecomvoeding 48VDC is, betekent dit dat er een inverter wordt gebruikt om de DC om te zetten in AC. Aan de hand van een analyse is nagegaan wat het verschil is in efficiëntie tussen een AC en een DC ITE. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de resultaten.

Tabel 2: Een overzicht van de efficiëntie tussen een AC en een DC server

Soort ITE	Efficiëntie			
	DC Power plant	Inverter	ITE	Totaal
AC	92	87	72	58
DC	92	x	90	83

8 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Onderzoekingen naar de betrouwbaarheid en de efficiëntie van de verschillende energiesystemen en ook van andere apparatuur hebben geleid tot de volgende conclusies:

- De gebouwen, cabines, luchtdistributiesystemen en de locaties van de thermostaten beïnvloeden de efficiëntie van de koelinstallaties negatief. De gelijkrichters en de UPS-en werken eveneens inefficiënt vanwege hun hoge capaciteit en lage belasting.
- In enkele gevallen wanneer de transmissie in het binnenland uitvalt, is dat te wijten aan een gebrek aan back-upenergie. De back-upbatterijen lopen leeg voordat er maatregelen getroffen kunnen worden.
- Vele storingen in de energievoorziening die leiden tot uitval van diensten worden ook veroorzaakt door de vele single points of failure die voorkomen in verschillende systemen.
- Het type laadinstallatie in de stations en de hoge temperaturen verkorten de levensduur van de back-upbatterijen.
- Voor vele applicaties worden aparte servers gebruikt die veel energie verbruiken ten opzichte van het weinig werk dat gedaan wordt.

Aanbevelingen

Om bij Telesur de betrouwbaarheid en de efficiëntie in de energievoorziening te verbeteren verdient het aanbeveling de volgende punten terstond of op termijn uit te voeren.

- Bij het opzetten van toekomstige gebouwen gebruikmaken van energie- efficiënte bouwstijlen. De buitenmuren moeten zodanig zijn opgetrokken dat er een thermische isolatie is tussen binnen en buiten.
- Bij de aanschaf van nieuwe UPS-en overgaan tot modulaire UPS-en. Deze UPS-en zijn in staat mee te groeien met de belasting en hebben geen single points of failure zoals de vroegere.
- Het in beeld brengen van alle single points of failure in de systemen, en veranderingen aanbrengen zodanig dat die weggewerkt zijn.

- Gebruik maken van de ECO-modus die in de SCU+ en de ACU controllers voorkomt. In deze modus zijn deze controllers in staat niet meer gelijkrichters in bedrijf te stellen dan nodig zijn.
- Het plaatsen van de transmissie in het binnenland op een eigen back-upbatterij. Deze back-upbatterijen laden mee met de andere batterijen maar leveren alleen energie aan de transmissieapparatuur.
- Gebruik van smart chargers om batterijen te laden. Door toepassing van deze laders kunnen de batterijen een langere levensduur halen.
- De toepassing van lithium ion batterijen op locaties waar VRLA- batterij kwetsbaar zijn. De lithium ion batterijen hebben een paar interessante eigenschappen die ze helemaal geschikt maken voor gebruik onder bepaalde omstandigheden.
- Het gebruiken van rack mounted Static Transfer Switch (STS) voor apparaten met één voedingssnoer. Hierdoor is het mogelijk om te schakelen naar een andere groep of voedingsbron bij een eventuele storing.
- Het plegen van aanpassingen aan het luchtdistributiesysteem en het verplaatsen van de thermostaten. Het afzuigen van de warme lucht direct uit de bron vermindert de kans op menging van warme en koude lucht.
- Om het aantal servers terug te brengen is het raadzaam virtualisatie toe te passen. Hierbij wordt één server gebruikt voor meerdere applicaties op verschillende operating systems.
- Het maken van een fault tree analysis (FTA). Een fault tree geeft gelijk een overzicht van alle mogelijke storingen in een systeem.
- De aanschaf en installatie van software voor systemen met de mogelijkheid om aan energy management te doen. Hiermee kunnen systemen, zoals de BTS, veel minder energie verbruiken op momenten wanneer de bezetting laag is.

Literatuurlijst

Arent D., Johnson, L. en Robinson, D., (2006). *Impact of Distributed Energy Resources on the Reliability of Critical Telecommunications Facilities*. Geraadpleegd via www.nrel.gov/docs/fy06osti/40220.pdf in December 2012.

Avelar, V., (2011). *Guidance for Calculation of efficiency in Data Centers*. Geraadpleegd via http://www.computerworld.com.au/whitepaper/370762/guidance-for-calculation-of-efficiency-in-data-centers/download/type=other&arg=0&location=featured_list in December 2012.

Avelar, V., en Torell W.,(2011). *Performing effective MTBF comparisons for data center infrastructure*. Geraadpleegd via <http://criticalpowerandcooling.com/white-papers/Architecture/WP-112-Performing-Effective-MTBF-Comparisons-for-Data-Center-Infrastructure.pdf> in maart 2013.

Events, T., (2011). *Fundamental principles of air conditioners for information technology*. Geraadpleegd via http://www.apcmedia.com/salestools/TEVS-5TFNU8/TEVS-5TFNU8_R4_EN.pdf in februari 2013.

Gandhi A., Balter M., en Raghunathan R., (2012). *AutoScale: Dynamic, Robust Capacity Management for Multi-Tier Data Centers*. Geraadpleegd via http://www.cs.cmu.edu/~anshulg/autoscale_2012_tech.pdf in februari 2013.

Marshall, G., en Chapman, D., (2012). *Resilience, Reliability and Redundancy*. Geraadpleegd via <http://www.copperinfo.co.uk/power-quality/downloads/pqug/41-resilience-reliability-and-redundancy.pdf> in februari 2013.

Qwest, (2009). *Power Equipment and Engineering Standards*. <http://www.qwest.centurylink.com/techpub/77385/77385.pdf> in December 2012.

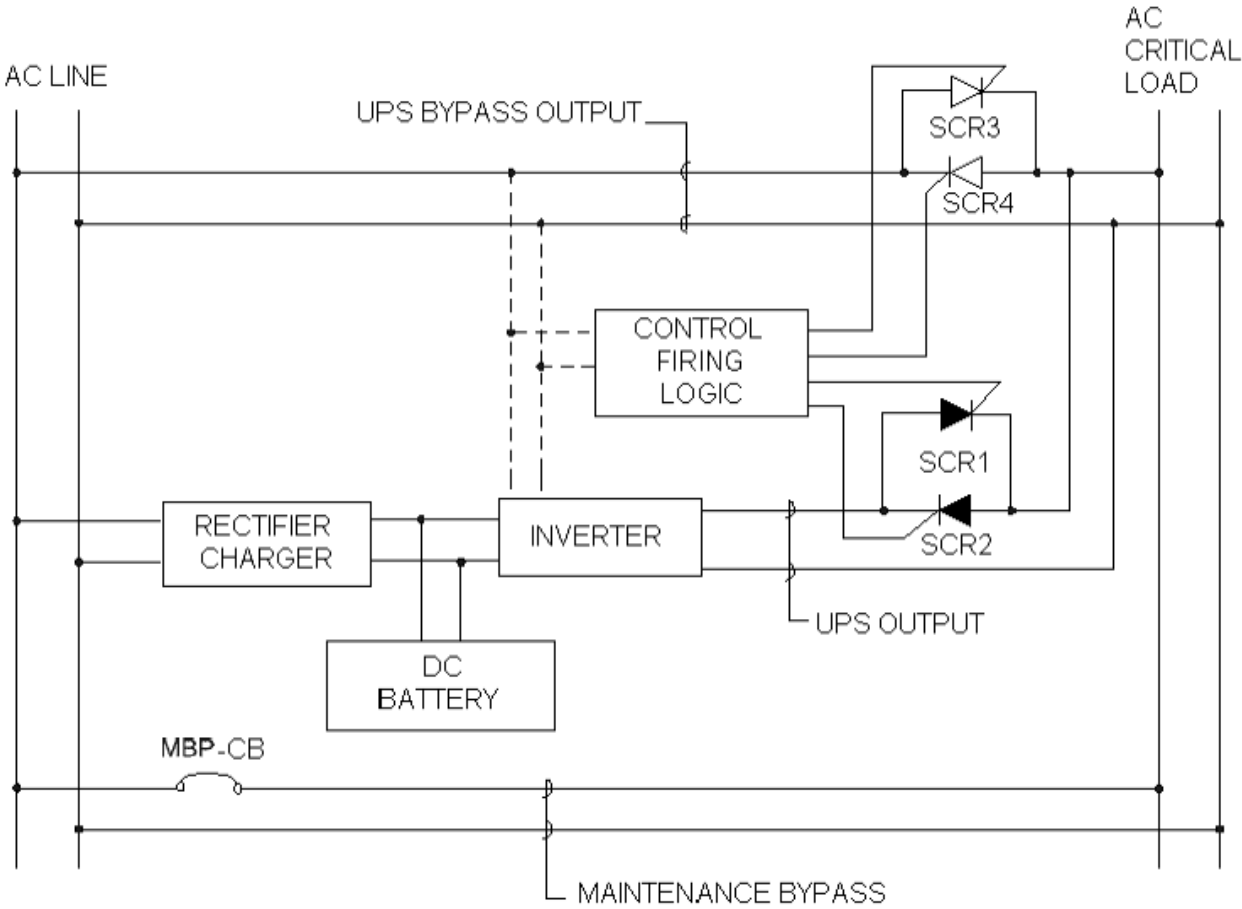
Rasmussen, N., (2010). *Air distribution architecture options for mission critical facilities*. Geraadpleegd via <http://criticalpowerandcooling.com/white-papers/Cooling/WP-55-Air-Distribution-Architecture-Options-for-Mission-Critical-Facilities.pdf> in april 2013.

Robert R. Burditt, (2008). *Design considerations for distributed dc power applications in traditional telecommunication facilities*. Geraadpleegd via <http://www.battcon.com/Papers/Final2007/BurdittPaper2007.pdf> in april 2013

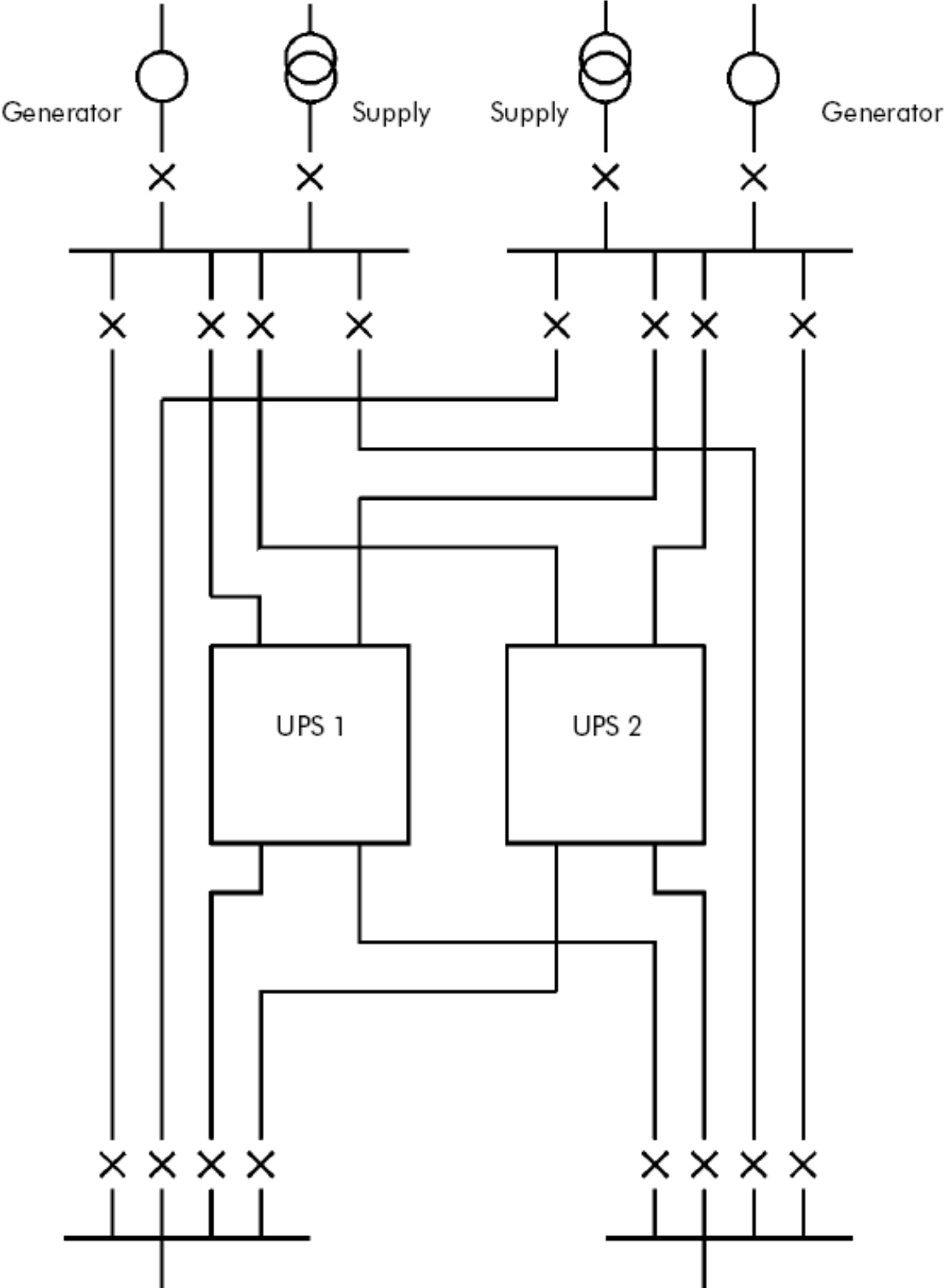
Roy, S., (2008). *Energy Logic for telecommunications*. Geraadpleegd via http://www.emerson-networkpower.com/en-US/Brands/EnergySystems/Documents/Telecoms_Energy_Logic_Energy_Logic_for_Telecom_Presentation.pdf in januari 2013.

Verizon, (2011). *DC Distribution Engineering Standard*. Geraadpleegd via http://www22.verizon.com/onccms/coe/viewdocument.htm?dDocName=coe_document_east_1012.pdf in april 2013.

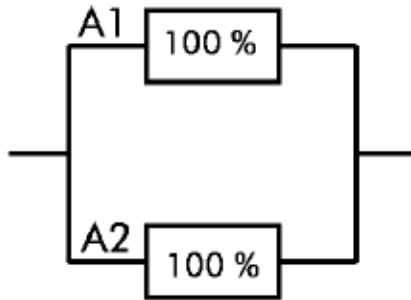
Bijlage I: Blokschema van een UPS



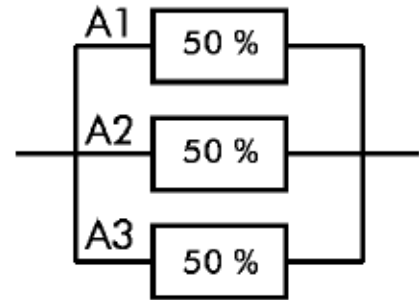
Bijlage II: Voorbeeld van een veerkrachtigd systeem



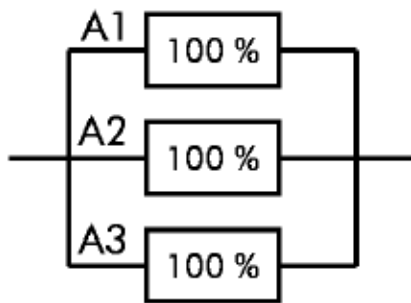
Bijlage III: Voorbeelden van actieve redundantie



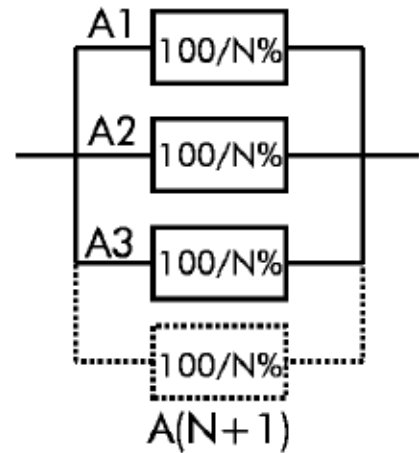
1 + 1 Redundancy



2 + 1 Redundancy

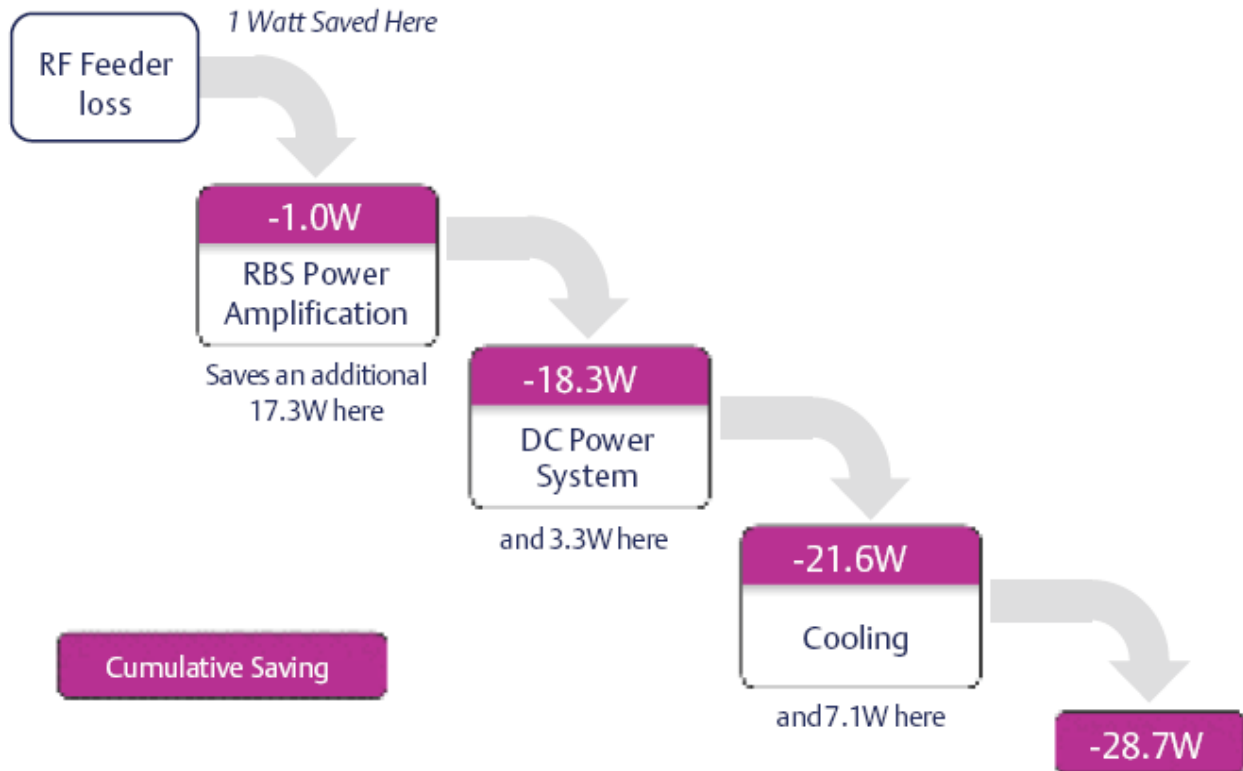


1 + 2 Redundancy



$N + 1$ Redundancy

Bijlage IV: De cascadebesparing bij een draadloze RBS



Bijlage V: De radio base station met en zonder feeder

