

NEN 1010

Uitleg en toepassingen

**Elektrische installaties:
veilig, functioneel en efficiënt**

Prof.dr.ir. J.F.G. Cobben

Ing. N.J. Kluwen



Colofon

NEN 1010 Uitleg en toepassingen – Elektrische installaties: veilig, functioneel en efficiënt, is een uitgave van Vakmedianet BV.

Samenstellers en uitgever zijn zich volledig bewust van hun taak een zo betrouwbaar mogelijke uitgave te verzorgen. Niettemin kunnen zij geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor (de gevolgen van) onvolkomenheden die eventueel in deze uitgave voorkomen.

Vakmedianet BV
Postbus 448
2400 AK Alphen aan den Rijn

www.installatiejournaal.nl
www.installatiejournaal.nl/kennisbanken-e-installatie

Kennisbanken E-installatie:
nen1010.cobouw.nl
www.kennisbanken.nl

Uitgever: Johan Schot
Eindredactie: Patty van der Sar

Omslagontwerp: Anita Amptmeijer, www.agraphics.nl, Apeldoorn
Opmaak: AlphaZet prepress, Bodegraven

© 2019 Vakmedianet, Alphen aan den Rijn

1e druk 2007 (Handleiding NEN 1010)
2e druk 2008
3e druk 2011
4e geheel herziene druk 2015 (Uitleg en toepassingen NEN 1010)
5e licht gewijzigde druk 2016
6e geactualiseerde druk 2019 (NEN 1010 Uitleg en toepassingen)

ISBN 978 94 9261 050 8
NUR 959

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van art. 16h t/m 16m Auteurswet 1912 j° Besluit van 27 november 2002, Stb. 575, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoeding te voldoen aan de Stichting Reprorecht, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp.

Hoewel aan de totstandkoming van deze uitgave de uiterste zorg is besteed, kan voor de afwezigheid van eventuele (druk)fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaarden de auteur(s), redacteur(en) en uitgever deswege geen aansprakelijkheid voor de gevolgen van eventueel voorkomende fouten en onvolledigheden.

INHOUD

INLEIDING

xv

Hoofdstuk 1

FUNDAMENTELE UITGANGSPUNTEN

1

1.1 TOEPASSINGSGEBIED

2

1.2 NORMATIEVE VERWIJZING

2

1.2.1 NEN 1010

3

1.2.2 NEN-EN 50110 en NEN 3140

4

1.2.3 NEN-EN-IEC 60204

4

1.2.4 NEN-EN-IEC 61439

4

1.3 UITGANGSPUNTEN

4

1.3.1 Veiligheidsmaatregelen

4

1.3.2 Ontwerp

6

1.3.3 Keuze van elektrisch materieel

7

1.3.4 Installatie en eerste inspectie

8

1.4 DE NETCODE

8

1.4.1 Werkingssfeer en definities

9

1.4.2 Voorwaarden met betrekking tot aansluiting

10

1.4.2.1 Voorwaarden voor alle aangeslotenen

10

1.4.2.2 Aanvullende voorwaarden voor op laagspanningsnet aangeslotenen

14

1.4.2.3 Aanvullende voorwaarden voor op hoogspanningsnet aangeslotenen

19

1.4.2.4 Aanvullende voorwaarden voor op laagspanningsnetten aangesloten productie-eenheden

20

1.5 KWALITEIT VAN GELEVERDE ENERGIE

22

1.5.1 Frequentie

22

1.5.2 Spanningsniveau

22

1.5.3 Spanningsvariaties

23

1.5.4 Transiënte verschijnselen

25

1.5.5 Spanningsvorm

26

1.5.6 Symmetrie

26

1.5.7 Kwaliteit van signaalspanningen

27

1.5.8 Betrouwbaarheid (spanningsonderbrekingen)

27

Hoofdstuk 2

DEFINITIES EN ONTWERPBEREKENINGEN

29

2.1 STROMEN EN SPANNINGEN

30

2.1.1 Eenfase systeem

31

2.1.2 Meerfasesysteem

33

2.1.2.1 Symmetrische belasting in ster geschakeld

33

2.1.2.2 Asymmetrische belasting in ster geschakeld

34

2.1.2.3 Symmetrische belasting in driehoek geschakeld

35

2.1.2.4 Asymmetrische belasting in driehoek geschakeld

36

2.1.2.5 Symmetrische belasting met nulleider

37

2.1.2.6 Asymmetrische belasting met nulleider

37

	2.2 BEREKENEN SPANNINGSVERLIEZEN EN SPANNINGVARIATIES	38
	2.2.1 Spanningsverliezen	38
	2.2.2 Spanningsvariatie	39
	2.3 AARDFOUTEN EN BESCHERMING TEGEN ELEKTRISCHE SCHOK, POTENTIALVEREFFENING	42
	2.4 KORTSLUITSTROMEN EN KORTSLUITVASTHEID	44
	2.5 HARMONISCHEN EN BLINDVERMOGEN	48
	2.5.1 Harmonischen	48
	2.5.2 Ontstaan harmonischen	49
	2.5.3 Eigenschappen van diverse harmonischen	50
	2.5.4 Blindvermogen	51
Hoofdstuk 3	ALGEMENE KENMERKEN	55
	3.1 UITWENDIGE INVLOEDEN	56
	3.1.1 Invloeden van omgeving	57
	3.1.2 Toepassingen	60
	3.1.3 Bouwkundige constructies	63
	3.2 VOEDINGSBRONNEN	63
	3.2.1 Aansluiting op net	63
	3.2.2 Wijze van aarding van het stelsel	67
	3.2.3 Voedingsbronnen voor veiligheids- of reservedoeleinden	69
	3.3 COMPATIBILITEIT	70
	3.3.1 Algemeen	70
	3.3.2 Power Quality (de kwaliteit van spanning en stroom)	72
	3.4 ONDERHOUDBAARHEID	76
Hoofdstuk 4	BESCHERMINGSMAATREGELEN	77
	4.1 BESCHERMING TEGEN ELEKTRISCHE SCHOK	78
	4.1.1 Kenmerken van de mens	78
	4.1.2 Beschermingsmaatregelen	82
	4.1.2.1 Basisbescherming	83
	4.1.2.2 Foutbescherming	85
	4.1.3 Aanvullende bescherming	87
	4.2 UITWERKING IN DE NEN 1010 / BESCHERMING TEGEN SCHOK	88
	4.2.1 Automatische uitschakeling van de voeding	88
	4.2.1.1 Beschermende vereffening	88
	4.2.1.2 Uitschakeling in een TT-stelsel	90
	4.2.1.3 Overstroombeveiliging in TN-stelsel	94
	4.2.2 Aanvullende bescherming	97
	4.3 UITGEWERKTE VOORBEELDEN, BESCHERMING TEGEN SCHOK	98
	4.4 BEVEILIGING TEGEN OVERSPANNING	99
	4.4.1 Middenspanningsnet en mogelijke sluitingen	99
	4.4.2 Overspanningen door bliksemontladingen of schakelhandelingen	103

Hoofdstuk 5

4.5	AARDINGSCONCEPT	104
4.5.1	Potentiaalvereffening	104
4.5.2	Elektromagnetische verstoringen	108
4.6	BEVEILIGING TEGEN ONDERSpanNING	114
	ELEKTRISCH MATERIEEL	117
5.1	KENMERKEN LEIDINGEN	118
5.2	(OVER)BELASTING VAN LEIDINGEN	120
5.2.1	Opwarming van een leiding	120
5.2.2	Kortsluiting in een leiding	123
5.2.3	Leidingsystemen en het voorkomen van brandverspreiding	124
5.3	BEVEILIGING VAN LEIDINGEN	125
5.3.1	Beveiliging tegen overbelasting	125
5.3.2	Beveiliging tegen kortsluiting	127
5.3.3	Parallel geschakelde leidingen	130
5.3.4	Bepaling van de benodigde leidingdoorsnede	134
5.3.5	Voorbeelden leidingberekening	138
5.4	WERKING/KARAKTERISTIEKEN VAN BEVEILIGINGSTOESTELLEN	148
5.4.1	De werking van smeltveiligheden	148
5.4.2	Werking/karakteristieken van automaten	149
5.4.3	Werking/karakteristieken van aardlekbeveiligingen	155
5.4.4	Werking/karakteristieken van vermogensschakelaars	160
5.5	SELECTIVITEIT	167
5.6	SCHAKELAARS EN SCHEIDERS	173
5.6.1	Soorten schakelaars	173
5.6.2	Soorten scheiders	174
5.6.3	Lastschakelaars	174
5.6.4	Scheiders	176
5.6.5	Lastscheiders	177
5.6.6	Bedieningsschakelaars	177
5.6.7	Werkschakelaars	178
5.6.8	Noodschakelaars	178
5.7	SCHAKEL- EN VERDEELINRICHTINGEN	178
5.8	AARDINGSVOORZIENINGEN	179
5.8.1	Aardelektroden	179
5.8.2	Aardnetten	183
5.8.3	Doorsneden van aard- en beschermingsleidingen	184
5.8.4	Aardingssystemen voor gevoelige installaties	186
5.9	LAAGSPANNINGSOPWEKEENHEDEN	186
5.10	STUURSTROOMKETENS	188
5.11	VEILIGHEIDSVORZIENINGEN	189
5.12	VERLICHTINGSARMATUREN EN VERLICHTINGSINSTALLATIES	190

INSPECTIE VAN DE ELEKTRISCHE INSTALLATIE	193
6.1 ALGEMEEN	194
6.1.1 Soort installatie	194
6.1.2 Welke bepalingen uit de NEN 1010 zijn van toepassing	194
6.1.3 Uitvoering en omvang van inspectie	196
6.1.4 Kenmerken van elektrische installatie	196
6.1.5 Gebruikte documentatie	196
6.2 VISUELE CONTROLE	196
6.3 MEETUITRUSTING	200
6.3.1 Meetinstrumenten	200
6.3.2 Herkomst afwijkingspercentage van 30%	202
6.3.3 Meetfouten	202
6.3.4 Meetnauwkeurigheid	203
6.3.5 Veiligheid	203
6.3.6 Meetsnoeren en meetaccessoires	204
6.3.7 Veiligheid en de NEN 3140	205
6.3.8 Praktische wenken	205
6.4 METINGEN EN BEPROEVINGEN VOLGENS DE NEN 1010	207
6.4.1 Ononderbroken zijn van stroomgeleiders	207
6.4.2 Isolati weerstand van de elektrische installatie	207
6.4.3 Bescherming door scheiding van stroomketens bij toepassing van SELV-ketens, PELV-ketens of elektrische scheiding	209
6.4.4 Isolati weerstand van vloeren en wanden	211
6.4.4.1 Wisselstroomsystemen	211
6.4.4.2 Gelijkstroomsystemen	212
6.4.4.3 Impedantie bij vloeren en wanden bij wisselspanning	212
6.4.4.4 Beproevingselektrode	212
6.4.5 Automatische uitschakeling van de voeding	212
6.4.5.1 TN-Stelsels	213
6.4.5.2 TT-Stelsels	213
6.4.5.3 IT-Stelsels	213
6.4.5.4 Meten van fout- en aanrakingsspanningen	214
6.4.5.5 Impedantie van de foutstroom meten	216
6.4.6 Aanvullende bescherming	221
6.4.6.1 Werking aardlekschakelaar	222
6.4.6.2 Testen van aardlekschakelaar	223
6.4.6.3 Beproeven van aardlekschakelaar	223
6.4.7 Bepaling polariteit	223
6.4.8 Controle op fasevolgorde	224
6.4.9 Functionele en operationele beproevingen	224
6.4.10 Spanningsverlies	224
6.4.11 Overige metingen	226
6.5 TEKENINGEN	227
6.6 RAPPORTAGE	228
6.7 VEELVOORKOMENDE FOUTEN	230
6.8 VOORBEELDEN VAN INSPECTIEPUNTEN VAN DE ELEKTRISCHE INSTALLATIE	233

Hoofdstuk 7

6.9	INSPECTIE VAN BESTAANDE INSTALLATIES	237
6.9.1	Visuele controle	238
6.9.2	Metingen en beproevingen	239
6.9.3	Tekeningen	239
6.9.4	Rapportage	239
6.9.5	Veelvoorkomende fouten in bestaande elektrische installaties	239
6.10	INSPECTIEFREQUENTIE VAN DE BESTAANDE ELEKTRISCHE INSTALLATIE	239
	AANVULLENDE EN BIJZONDERE RUBRIEKEN	241
7.1	RUIMTEN MET BAD OF DOUCHE (RUBRIEK 701)	242
7.1.1	Aanvullende bescherming	243
7.1.2	Elektrische materieel	243
7.1.3	Elektrische toestellen	243
7.1.4	Leidingsystemen en installatie	244
7.2	ZWEMBADEN EN FONTEINEN (RUBRIEK 702)	244
7.2.1	Zone-indeling	244
7.2.2	Beschermingsmaatregelen en beveiliging	244
7.2.3	Uitwendige invloeden	245
7.2.4	Elektrisch materieel	246
7.2.5	Leidingsystemen en installatie	246
7.3	RUIMTEN EN CABINES MET SAUNAKACHELS (RUBRIEK 703)	247
7.3.1	Aanvullende bescherming	247
7.3.2	Elektrisch materieel	247
7.3.3	Elektrische toestellen	247
7.3.4	Leidingsystemen en installatie	247
7.4	INSTALLATIES OP BOUW- EN SLOOPSTERREINEN (RUBRIEK 704)	248
7.4.1	Beveiliging	249
7.4.2	Bouwkasten	249
7.4.3	Verlichtingsarmaturen	249
7.4.4	Leidingsystemen en installatie	249
7.5	BEDRIJFSRUIMTEN EN -TERREINEN VOOR LANDBOUW, TUINBOUW EN VEETEELT (RUBRIEK 705)	250
7.5.1	Beveiliging	250
7.5.2	Beschermingsmaatregelen	250
7.5.3	Elektrisch materieel	250
7.5.4	Levensondersteunende voorzieningen voor intensieve veehouderij	251
7.6	NAUW GELEIDENDE RUIMTEN (RUBRIEK 706)	251
7.6.1	Beschermingsmaatregelen	251
7.6.2	Vast aangesloten elektrisch materieel	251
7.6.3	Verplaatsbaar elektrisch materieel	252
7.7	CAMPINGS EN VERGELIJKBARE TERREINEN (RUBRIEK 708)	252
7.7.1	Elektrisch materieel	252
7.7.2	Contactdozen	252
7.7.3	Leidingsystemen en installatie	253

7.8	JACHTHAVENS EN VERGELIJKBARE TERREINEN (RUBRIEK 709)	254
7.8.1	Beschermingsmaatregelen	254
7.8.2	Uitwendige invloeden	254
7.8.3	Elektrisch materieel contactdozen	254
7.8.4	Leidingen en bijbehoren van leidingen	255
7.9	MEDISCH GEBRUIKTE RUIMTEN (RUBRIEK 710)	255
7.9.1	Indeling van de ruimten	255
7.9.2	Beschermingsmaatregelen	255
7.9.3	Medische IT-stelsels	256
7.9.4	Aanvullende potentiaalvereffening	258
7.9.5	Vloeren	260
7.9.6	Voedingsbronnen	261
7.9.7	Isolatiebewaking	262
7.9.8	Beveiliging	262
7.9.9	Elektrisch materieel	262
7.9.10	Noodverlichting en overige apparatuur	263
7.9.11	Schema's, documentatie en bedieningsinstructies	263
7.9.12	Inspectie	264
7.10	TENTOONSTELLINGEN, SHOWS EN STANDS (RUBRIEK 711)	265
7.10.1	Beveiliging	265
7.10.2	Beschermingsmaatregelen	265
7.10.3	Elektrisch materieel	265
7.10.4	Inspectie	266
7.11	FOTOVOLTAÏSCHE (PV) VOEDINGSSYSTEMEN (RUBRIEK 712)	266
7.11.1	Beschermingsmaatregelen	268
7.11.2	Uitwendige invloeden	269
7.11.3	Elektrisch materieel	269
7.11.4	Leidingsystemen en installatie	269
7.11.5	Aardingsvoorzieningen	269
7.12	MEUBILAIR (RUBRIEK 713)	269
7.12.1	Beveiliging	269
7.12.2	Elektrisch materieel	269
7.12.3	Leidingsystemen en installatie	270
7.13	INSTALLATIES VOOR BUITENVERLICHTING (RUBRIEK 714)	270
7.13.1	Beveiliging	270
7.13.2	Elektrisch materieel	270
7.13.3	Uitwendige invloeden	270
7.13.4	Leidingsystemen en installatie	270
7.14	VERLICHTINGSINSTALLATIES MET ZEER LAGE SPANNING (RUBRIEK 715)	271
7.14.1	Extra lage spanning SELV-ketens	271
7.14.2	Beveiliging	271
7.14.3	Leidingsystemen en installatie	271
7.15	VERRIJD BARE OF VERPLAATSBARE EENHEDEN (RUBRIEK 717)	271
7.15.1	Beschermingsmaatregelen	271
7.15.2	Elektrisch materieel	272
7.15.3	Leidingsystemen en installatie	272

7.16	RUIMTEN MET EEN PUBLIEKE FUNCTIE EN BEDRIJFSRUIMTEN (RUBRIEK 718)	272
7.16.1	Schakel- en verdeelinrichting	272
7.16.2	Preferente groepen	273
7.16.3	Verlichting	273
7.16.4	Leidingsystemen en installatie	273
7.17	ELEKTRISCHE INSTALLATIES IN CARAVANS EN CAMPERS (RUBRIEK 721)	273
7.17.1	Beveiliging	273
7.17.2	Elektrisch materieel	274
7.18	LAADINRICHTINGEN VOOR ELEKTRISCHE VOERTUIGEN (RUBRIEK 722)	274
7.18.1	Beschermingsmaatregelen	276
7.18.2	Beveiligingsmaatregelen	276
7.19	RUIMTEN BESTEMD VOOR METING EN BEPROEVING MET VERPLAATSBARE MEETINSTRUMENTEN (RUBRIEK 723)	276
7.19.1	Beveiliging	277
7.19.2	Spanningsloos en stroomloos maken	278
7.20	ELEKTROLYSERRUIMTEN (RUBRIEK 724)	278
7.20.1	Beveiliging	278
7.20.2	Beschermingsmaatregelen	279
7.20.3	Elektrisch materieel	279
7.20.4	Leidingsystemen en installatie	279
7.21	RUIMTEN MET BEPERKTE TOEGANG BESTEMD VOOR BEDIENINGS- HANDELINGEN EN ONDERHOUD (RUBRIEK 729)	279
7.21.1	Ruimten met onbeschermd actieve delen aan één zijde	279
7.21.2	Ruimten met onbeschermd actieve delen aan twee zijden	279
7.21.3	Gangpaden	280
7.21.4	Aanvullende eisen	280
7.22	TIJDELIJKE ELEKTRISCHE INSTALLATIES VOOR CONSTRUCTIES, TOESTELLEN EN KRAMEN OP KERMISSSEN EN IN ATTRACTIEPARKEN (RUBRIEK 740)	280
7.22.1	Beveiliging	280
7.22.2	Aanvullende bescherming door aardlekbeveiliging	281
7.22.3	Beschermingsmaatregelen	281
7.22.4	Elektrisch materieel	281
7.22.5	Leidingen en bijbehoren van leidingen	282
7.23	VERWARMINGSKABELS EN INGEBOUWDE VERWARMINGSSYSTEMEN (RUBRIEK 753)	282
7.23.1	Beschermingsmaatregelen	282
7.23.2	Uitwendige invloeden	282
7.24	VOCHTIGE RUIMTEN EN RUIMTEN MET BIJTENDE GASSEN, DAMPEN OF STOFFEN (RUBRIEK 754)	283
7.24.1	Beschermingsmaatregelen	283

EFFICIËNTE EN SLIMME INSTALLATIES 285

8.1 ENERGIEBESPARING EN ENERGIE EFFICIËNTIE 286

- 8.1.1 Maatregelen voor een lager energieverbruik 286
- 8.1.2 Bewuste keuze van invoedingspunten (verdeelinrichtingen) 287
- 8.1.3 Verbeteren van de arbeidsfactor 287
- 8.1.4 Verminderen van harmonische stromen in de installatie 290
- 8.1.5 Betere (over)-dimensionering van de totale installatie 294

8.2 SLIMME INSTALLATIES 294

- 8.2.1 Bedrijfsvoering van installaties met opwekkers 294
- 8.2.2 Slimme installatienormen 296
 - 8.2.2.1 Aanvullende definities 297
 - 8.2.2.2 Uitgangspunten van slimme installaties 297
 - 8.2.2.3 Uitvoeringsvormen van slimme installaties 297
 - 8.2.2.4 Het EEMS (elektrische energie management systeem) 298
 - 8.2.2.5 Beveiliging bij slimme installaties 299

REGISTER 301

INLEIDING

Bij het schrijven van dit boek hebben de auteurs zich voor een groot deel laten leiden door de gedachte dat theorie en praktijk hand in hand moeten gaan. Daarom zijn de inhoudelijk technische hoofdstukken voorzien van een blok 'theoretische achtergronden' en van specifieke uitleg over 'NEN 1010-bepalingen'. Tevens zijn bij de diverse interessant technische hoofdstukken voorbeelden ter verduidelijking opgenomen. Verder is voor de overzichtelijkheid en de koppeling met de norm dezelfde indeling aangehouden als de NEN 1010. Dit maakt het snel opzoeken van achtergrond en doelstelling van een bepaling eenvoudig. Deze werkwijze heeft de volgende acht hoofdstukken opgeleverd:

Hoofdstuk 1 – Fundamentele uitgangspunten

Dit hoofdstuk behandelt het toepassingsgebied en de uitgangspunten bij het ontwerpen, aanleggen en onderhouden van een elektrotechnische installatie. Ook wordt in dit hoofdstuk aangegeven welke andere normen bij het ontwerpen, aanleggen, aansluiten of bedrijfsvoeren van een laagspanningsinstallatie van belang zijn. Speciale aandacht is er voor de netcode, met toelichtingen op de vele bepalingen voor het aansluiten van een installatie op het net. Tevens gaat dit hoofdstuk in op de kwaliteit van de spanning, een steeds belangrijker onderwerp.

Hoofdstuk 2 – Definities en ontwerpberekeningen

De voornaamste definities zijn in dit hoofdstuk toegelicht. Veel definities spreken voor zich en een toelichting hierop is dus niet noodzakelijk. Toch moet worden gewezen op het belang van een goed begrip van de definities. Nog belangrijker wellicht is een gedegen elektrotechnische achtergrond. Diverse elektrotechnische basisbegrippen worden daarom in dit hoofdstuk toegelicht.

Hoofdstuk 3 – Algemene kenmerken

In dit hoofdstuk worden de algemene kenmerken van een installatie behandeld. Voorafgaand aan het ontwerpproces, moet duidelijk zijn onder welke omstandigheden de installatie later zal worden gebruikt. Als er ongunstige omstandigheden zijn, zoals de aanwezigheid van veel water, stof of dieren, dan dienen aanvullende maatregelen te worden genomen. Veelal wordt dit in deel 7 van de NEN 1010 aangegeven. Gegevens over de benodigde voedingsbronnen (extra veiligheidsvoorzieningen of reserve nodig?) moeten eveneens beschikbaar zijn. Daarnaast is het van belang te weten welk stroomstelsel wordt gebruikt. Deze onderwerpen komen in dit hoofdstuk aan bod en zijn waar mogelijk aangevuld met theoretische achtergrondgegevens.

Hoofdstuk 4 – Beschermingsmaatregelen

De beschermingsmaatregelen vormen een wezenlijk onderdeel van de installatie en zijn daarom in dit hoofdstuk verder uitgewerkt. Dit geldt met name voor de bescherming tegen elektrische schok, beveiliging tegen overstroom en de bescherming tegen overspanning. Bij deze onderwerpen is een theoretische bagage nodig om de bepalingen op waarde te kunnen schatten. Deze theoretische onderbouwing wordt in dit hoofdstuk voor de diverse onderwerpen gegeven. Ook wordt gekeken naar de praktische uitwerking van de bepalingen. Voor alle beveiligingstoestellen (smeltveiligheden, automaten, vermogensschakelaars, aardlekschakelaars) is uitgewerkt wat de gevolgen zijn van de nieuwe bepalingen in de diverse stelsels. Vooral voor de meest toegepaste stelsels, het TT-stelsel en het TN-stelsel, is de aardingsvoorziening in detail uitgewerkt. Een goed aardingsconcept is de basis voor elke installatie. Ten aanzien van de beveiliging tegen overstroom (leidingbeveiliging) is gekozen om toelichtingen hierop te combineren met de bepalingen rond leidingaanleg van hoofdstuk 5. Op die manier is de complete problematiek van leidingen in één hoofdstuk terug te vinden.

Hoofdstuk 5 – Elektrisch materieel

De beveiliging van leidingen is een hoofdonderdeel van hoofdstuk 5. In dit hoofdstuk is daarom een uitgebreid stappenplan opgenomen dat moet worden gevolgd om de juiste leidingdoorsnede te bepalen. Een reeks voorbeelden helpt hier bij de keuze van de juiste leidingdoorsnede. Vanwege de vele uitvoeringsvormen, zoals parallelle leidingen, in serie geschakelde leidingen en leidingen met verschillende doorsneden, is dit namelijk niet de eenvoudigste materie. Om de belangrijke uitgangspunten bij de vele tabellen en correctiefactoren te begrijpen, is er veel achtergrondinformatie opgenomen. Daarnaast wordt uitgebreid ingegaan op de werking van beveiligingstoestellen. Het toepassen van deze componenten in een installatie is niet mogelijk zonder kennis van de componenten zelf. Ook de toepassing van de componenten in het totale systeem (onder ander selectiviteit, kortsluitvastheid en onderlinge beïnvloeding) komt in dit hoofdstuk aan de orde.

Hoofdstuk 6 – Inspectie van de elektrische installatie

De inspectie van installaties wordt toegelicht in dit hoofdstuk. Het gaat om de eerste inspectie en de inspectie van bestaande elektrische installaties. De verschillende meetmethoden worden toegelicht en er zijn praktische checklijsten toegevoegd om de beoordeling van een installatie gemakkelijker te maken. Het meten en beoordelen van een installatie vereist veel inzicht en kennis van de voorschriften. Uitvoerig wordt er stil gestaan bij de meetapparatuur en de diverse metingen die volgens de voorschriften moeten worden uitgevoerd. Er dient altijd een afweging te worden gemaakt of de installatie voldoet aan de voorschriften. Tot slot staan er in dit hoofdstuk diverse inspectievoorbeelden en mogelijke fouten die daarbij kunnen worden ontdekt.

Hoofdstuk 7 – Aanvullende en bijzondere rubrieken

In dit hoofdstuk wordt elke bijzondere ruimte en situatie in een aparte rubriek toegelicht. De indeling van de rubrieken is voor elke ruimte zo veel mogelijk identiek, waardoor een overzichtelijke toelichting is ontstaan. In de bijzondere ruimten moeten vaak aanvullende maatregelen worden genomen om de nadelige invloed van die ruimten of situaties te compenseren. In ruimten met veel vocht (badruimte, zwembad) moet bijvoorbeeld extra aandacht worden besteed aan potentiaalvereffening. In ruimten met vee is onder andere de veilige spanning verlaagd. Dit heeft weer gevolgen voor de maximale verspreidingsweerstand bij de toepassing van aardlekbeveiliging in een TT-stelsel. Deze aandachtspunten worden in hoofdstuk 7 opgesomd. Ook zijn diverse rubrieken aangepast of toegevoegd. Op het gebied van de medische ruimten is in de 2015-versie van de NEN 1010 veel veranderd. In deze uitgave is dit verwerkt. Ook aan fotovoltaïsche systemen (zonne-energie) en de laadinrichtingen voor elektrische voertuigen is de nodige aandacht besteed.

Hoofdstuk 8 Efficiënte en slimme installaties

In hoofdstuk 8 worden diverse aspecten rondom de efficiency van een elektrische installatie behandeld. Hierbij gaat het over de mogelijkheden om energie te besparen (juiste plaats voeding, mogelijk dikkere kabeldoorsnede, hoge arbeidsfactor, e.d.) en het bewust ontwerpen van een installatie. Ook behandelt dit deel van de Europese NEN 1010 – in Nederland wordt die uitgebracht onder de norm NEN 4040 – een mogelijk certificeringssysteem om aan te geven hoe een installatie scoort op het gebied van energie-efficiency. Verder gaat dit hoofdstuk over slimme installaties. Dit zijn steeds meer voorkomende installaties met eigen opwek, eigen opslag en energiemanagementsysteem. Een aantal aspecten ten aanzien van de opbouw en bedrijfsvoering van deze installaties wordt nader toegelicht.

HOOFDSTUK 5

ELEKTRISCH MATERIEEL

LS 108 / TRAFO 1 EN 2

Bij de opbouw van een installatie is de juiste keuze en toepassing van elektrisch materieel van groot belang. Hierbij gaat het niet alleen om algemene eigenschappen van het elektrische materieel, maar vooral ook om specifieke eigenschappen zoals de belastbaarheid van leidingen, de karakteristieken van beveiligingstoestellen of de randvoorwaarden voor aardingsmaterieel. In dit hoofdstuk worden de eigenschappen en de werking van de belangrijkste componenten toegelicht, zoals:

- leidingen;
- beveiligingstoestellen (smeltveiligheden, vermogensschakelaars en aardlekbeveiliging);
- schakelaars en scheiders;
- schakel- en verdeelinrichtingen;
- aardingsvoorzieningen.

In algemene zin is voorgeschreven dat het materieel moet voldoen aan de bepalingen van de betreffende Europese normen (EN-normen), de betreffende harmonisatiedocumenten (HD-normen) of de bepalingen van de betreffende Nederlandse normen. Als deze er niet zijn, kan worden verwezen naar IEC-normen of normen van een ander land. Zijn er geen normen van toepassing (wat zelden het geval is), dan moet het elektrische materieel worden gekozen aan de hand van een speciale overeenkomst tussen degene die de installatie specificeert en de installateur.

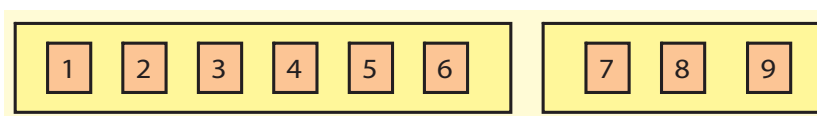
Bij de keuze van het elektrische materieel moet in ieder geval worden gekeken naar de volgende elektrische eigenschappen:

- de nominale spanning waarvoor de installatie wordt aangelegd;
- de ontwerpstroom en de mogelijke kortsluitstromen;
- de frequentie (normaal 50 Hz);
- het vermogen (vaak al bepaald door spanning en stroom);
- de stoothoudspanning.

Daarnaast moet het materieel bestand zijn tegen de verschillende uitwendige invloeden waarbinnen het materieel moet functioneren. Degene die de installatie specificeert, moet aangeven welke uitwendige invloeden van toepassing zijn (normale of bijzondere situaties, zoals veel vocht, aanwezigheid van dieren, hoge omgevingstemperaturen enzovoort).

Een van de belangrijkste componenten van de installatie is de leiding, nodig voor het transport van elektriciteit. In deze paragraaf zal vooral worden gekeken naar de (kleur)codering.

Voor leidingen is er een internationaal coderingssysteem dat bestaat uit negen gegevens. De codering is als volgt:



1 Aanduiding van type

H = geharmoniseerd leidingtype

A = erkend nationaal type

2 Nominale spanning

03 = $U_0/U = 300/300$ V

05 = $U_0/U = 300/500$ V

07 = $U_0/U = 450/750$ V

De gegevens bij de cijfers 3, 4 en 5 zeggen iets over de constructie van de leiding.

3 Isolatiemateriaal

V = PVC (polyvinylchloride)

R = ge vulcaniseerde natuurrubber

S = silicoonrubber

X = XLPE (ge vulcaniseerd polyetheen)

4 Mantelbekleding of materiaalomvlechting

- V = PVC (polyvinylchloride)
- R = ge vulcaniseerd natuurrubber
- N = neopreen (polychloropreen)
- J = omvlechting van glasgaren
- T = omvlechting van textiel

5 Bijzonderheden over constructie

- H = platte leiding; aders zijn verbonden aan elkaar, maar gemakkelijk te scheiden, bijvoorbeeld een tweelingsnoer
- H2 = platte leiding; aders niet verbonden, maar samen omgeven door een mantel

De gegevens bij de cijfers 6, 7 en 8 zeggen iets over de soort geleider, het aantal aders en de kleurcodering.

6 Soort geleider

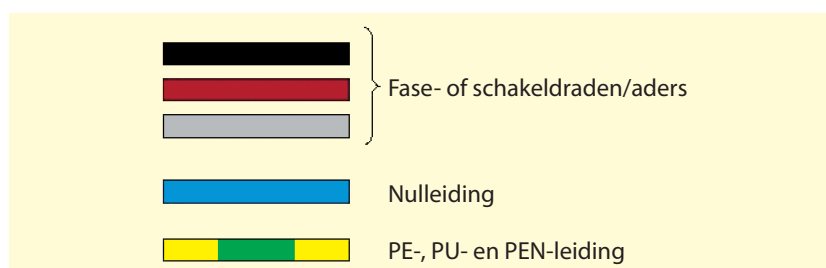
- U = ronde massieve kern
- R = ronde kern, opgebouwd uit meer draden (niet buigzaam)
- K = buigzame kern, leiding bestemd voor vaste installatie
- F = kern van een buigzame leiding (IEC-publicatie 228, klasse 5)
- H = kern van een bijzonder buigzame leiding (IEC-publicatie 228, klasse 6)

7 Aantal aders

8 Beschermingsleiding

Bovenstaande codering geeft informatie over de opbouw van de leiding. Daarnaast is het van belang om de geleiders (dus de draden in de leiding) te kenmerken, zodat hun functie duidelijk zichtbaar is. Normaal gesproken wordt hiervoor de kleurcodering gebruikt. De kleurcodering voor leidingen is weergegeven in afbeelding 5.1.

Afbeelding 5.1: Kleuren en functie van de draden of aders van een leiding.



In deze afbeelding is te zien dat de grijze kleur kan worden gebruikt voor de fasegeleider. Deze kleurencombinatie is tot stand gekomen na jaren van normalisatiewerk waarin vele kleurcombinaties aan de internationale commissie zijn voorgelegd en ook weer zijn afgekeurd. De reden voor afkeuring was, dat er in de diverse landen problemen waren met de voorgestelde combinatie, omdat in het verleden betreffende kleuren al voor een andere functie werden toegepast. In principe geldt dit ook voor Nederland. De grijze draad is in Nederland tot 1970 toegepast als beschermingsleiding. Desondanks is Nederland akkoord gegaan met de huidige combinatie om normalisatie op dit punt toch mogelijk te maken. Bij werkzaamheden aan oude installaties is het dus wel van belang alert te zijn op deze verschillende toepassingen. Bij aanpassingen in een oude installatie is het niet wenselijk om de grijze draad voor fasegeleider te gebruiken als deze ook al als beschermingsleiding is gebruikt. Er moet dan een andere fasekleur worden gebruikt. Bij voorkeur wordt echter de gehele bedrading aangepast. Voor de PEN-leiding geldt een aanvullende eis. Deze leiding heeft namelijk twee functies: als PE- en als nulgeleider. Deze twee functies moeten dus ook duidelijk zichtbaar zijn. De geel-groene isolatie moet aan de uiteinden aanvullend met een blauwe kleur worden gemarkeerd. Voor een grondkabel waarin geen groengele ader aanwezig is, kan de blauwe ader worden voorzien van een groengele markering.

In de tabellen 5.1 en 5.2 is aangegeven hoe de kleuren zijn voorgeschreven in het Europese harmonisatiedocument voor kabels en buigzame leidingen.

Aantal aders	Kleur van aders				
	Beschermingsleiding		Actieve geleider		
3	groengeel	blauw	bruin	–	–
4	groengeel	–	bruin	zwart	grijs
4*	groengeel	blauw	bruin	zwart	–
5	groengeel	blauw	bruin	zwart	grijs

* Alleen voor bepaalde toepassingen

Tabel 5.1: Kabels en buigzame leidingen met groengele ader.

Aantal aders	Kleur van aders				
	Beschermingsleiding		Actieve geleider		
2	blauw	bruin	–	–	–
3	–	bruin	zwart	grijs	–
3*	blauw	bruin	zwart	–	–
4	blauw	bruin	zwart	grijs	–
4	blauw	bruin	zwart	grijs	zwart

* Alleen voor bepaalde toepassingen

Tabel 5.2: Kabels en buigzame leidingen zonder groengele ader.

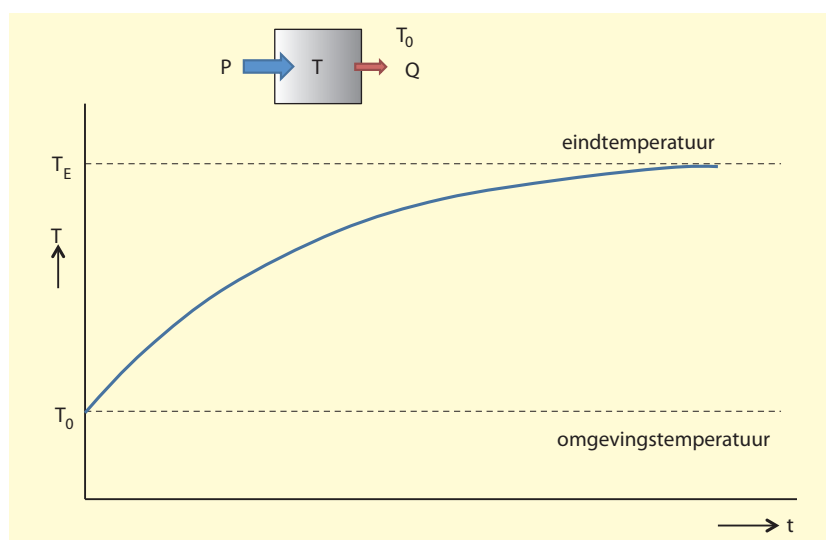
Zoals in de NEN 1010 is aangegeven, kan in uitzonderingsgevallen nog worden gewerkt met het omkleuren van draden of aders. Dit moet echter zoveel mogelijk worden vermeden.

5.2 (OVER)BELASTING VAN LEIDINGEN

In eerste instantie zal worden uitgelegd hoe opwarming van een leiding plaatsvindt bij overbelasting en kortsluiting. Vanuit deze theoretische achtergrond wordt vervolgens in paragraaf 5.3 gekeken naar de bepaling van leidingdoorsneden voor een bepaalde belasting, zoals vastgelegd in de NEN 1010.

5.2.1 OPWARMING VAN EEN LEIDING

De temperatuursverhoging in leidingen (of ander elektrisch materieel zonder temperatuurregeling) verloopt volgens de kromme zoals geschetst in afbeelding 5.2.



Afbeelding 5.2: Verwarmingskromme leiding.

P is het vermogensverlies dat in de leiding optreedt en dat wordt omgezet in warmte. Door toename van de temperatuur van de leiding ontstaat er warmteafgifte aan de omgeving met de temperatuur T_0 . Voor deze warmtestroom Q geldt:

$$Q = \frac{T - T_0}{R_w}$$

waarbij:

Q = de optredende warmtestroom;

T = de temperatuur van de leiding;

T_0 = de omgevingstemperatuur;

R_w = de warmteweerstand tussen kernmateriaal en omgeving.

In statische toestand (als de leiding zijn eindtemperatuur heeft bereikt) geldt:

$$P = Q$$

In de dynamische toestand kan de energiebalans worden geschreven als:

$$P \cdot dt - Q \cdot dt = c \cdot m \cdot dT$$

waarbij

dt = de tijdseenheid;

c = de soortelijke warmte van het kernmateriaal;

m = de massa van het materiaal;

dT = de temperatuurstijging (of daling).

Nu is, bovenstaande vergelijkingen combinerend:

$$P - \frac{T - T_0}{R_w} = c \cdot m \cdot \frac{dT}{dt}$$

Deze differentiaalvergelijking geeft als oplossing:

$$T = T_0 + R_w \cdot P - P \cdot R_w \cdot e^{-\frac{t}{c \cdot m \cdot R_w}}$$

Door het verschil in leidingtemperatuur en omgevingstemperatuur zal er warmte worden afgegeven aan de omgeving. Deze warmteafgifte zal groter zijn naarmate het temperatuurverschil tussen leiding en omgeving groter wordt. Hoe hoger de temperatuur in de leiding, hoe groter de afgifte van warmte en hoe minder warmte er overblijft om de temperatuur van de leiding te verhogen. Dit resulteert in de verwarmingskromme die is te zien in afbeelding 5.2.

Het toegevoerde elektrische vermogen P is gelijk aan:

$$P = I^2 \cdot R_e$$

waarbij:

I = de stroom door de leiding;

R_e = de elektrische weerstand van de leiding.

Het is nu van belang om de stroom te beperken tot een bepaalde waarde waarbij de maximaal toegestane temperatuur van de leiding niet wordt overschreden. Deze maximale temperatuur wordt bepaald door de isolatie van de leiding. Er zijn een aantal factoren van belang bij het bepalen van de maximale stroom door de leiding:

- isolatie;
- kernmateriaal;
- omgevingstemperatuur;
- aantal belaste aders;
- wijze van aanleg;
- aantal kabels bij elkaar.

Ze worden hierna uitgelegd.

Isolatie

De isolatie bepaalt de maximale eindtemperatuur van een leiding. Voor de verschillende isolatiematerialen is in tabel 5.3 de maximale temperatuur weergegeven.

Isolatie	Maximumtemperatuur (normaal)	Maximumtemperatuur (kortsluiting)
PVC (vinyl)	70	160
XLPE (polyetheen)	90	250
Rubber	60	150

Tabel 5.3: Maximale temperaturen van isolatiemateriaal.

Kernmateriaal

De warmteontwikkeling in een leiding is onder andere afhankelijk van de soortelijke weerstand en de soortelijke warmte van het kernmateriaal. Het meest toegepaste kernmateriaal is koper. De belasting tabellen van de NEN 1010 vermelden ook waarden voor aluminium.

Omgevingstemperatuur

Voor leidingen met een bepaalde isolatie ligt de eindtemperatuur vast. Hoe hoger nu de temperatuur in onbelaste toestand is, dus de omgevingstemperatuur, des te lager de stroom door de leiding nog mag zijn. Hiervoor zijn in de NEN 1010 correctiefactoren opgenomen.

Aantal belaste aders

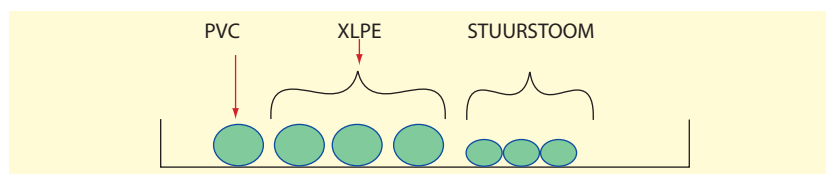
Hoe meer belaste aders er in een leiding zitten, hoe groter de warmteontwikkeling in een leiding zal zijn. In de praktijk zal in de regel een keuze moeten worden gemaakt tussen een, twee, drie of vier belaste aders. De vraag die bij viergeleidergroepen of viergeleidereindgroepen dan optreedt, is in hoeverre de nul of PEN belast is. Bij aanwezigheid van hogere harmonische stromen in de nul- respectievelijk de PEN-geleider van een vieraderige leiding, zoals bij een driefasen viergeleider-verlichtingsinstallatie, moet voor het bepalen van de vereiste kerndoorsnede een correctiefactor worden toegepast.

Wijze van aanleg

De manier waarop een leiding wordt aangelegd, heeft invloed op de mogelijkheden om de warmte die in de leiding wordt ontwikkeld weer kwijt te raken. Een leiding die in een dichte goot is gelegd, kan zijn warmte minder goed kwijt dan een leiding die op een wand is gemonteerd.

Aantal kabels bij elkaar

Het aantal kabels dat bij elkaar is gelegd, heeft invloed op de warmteafvoer: hoe meer kabels (dus warmtebronnen) bij elkaar, hoe slechter de warmteafvoer voor de diverse leidingen. De belastbaarheid van de kabels zal dan verminderen. Hiervoor zijn in de NEN 1010 verscheidene tabellen opgenomen die reductiefactoren geven. Een verzameling van leidingen kan bestaan uit verschillende soorten leidingen, zoals aangegeven in afbeelding 5.3.



Afbeelding 5.3: Verzameling van leidingen.

De stuurstroomkabels zijn normaal gesproken minder dan 30% belast en hoeven daarom niet te worden meegenomen bij de bepaling van de reductiefactoren. In afbeelding 5.3 is wel de ongunstige situatie afgebeeld waarin een leiding met pvc-isolatie is gelegd in een goot met kabels die een XLPE-isolatie hebben. De pvc-isolatie mag minder warm worden en mag daarom niet zo zwaar worden belast. Echter, omdat de XLPE-kabels bij de pvc-kabel liggen, geldt dat voor de XLPE-kabels een zelfde als een vergelijkbare kabel met pvc-isolatie. Het is daarom niet verstandig deze verschillende kabeltypen in eenzelfde goot te leggen.

HOOFDSTUK 8

EFFICIËNTE EN SLIMME INSTALLATIES



8.1 ENERGIEBESPARING EN ENERGIE EFFICIËNTIE

Dit hoofdstuk bestaat uit twee paragrafen. Paragraaf 8.1 gaat in op energiebesparing en energie efficiëntie van de vaste elektrische installatie. En paragraaf 8.2 behandelt zogenaamde 'slimme installaties' die naast verbruik ook opwek- en wellicht opslagsystemen hebben.

In deel 8-1 van de IEC 60364 zijn bepalingen opgenomen met betrekking tot energie efficiëntie. De wereldwijde behoefte om het energieverbruik te verminderen, brengt ontwerpers ertoe om na te denken hoe een elektrische installatie, rekening houdend met de eisen van de NEN 1010 ten aanzien van veiligheid, het laagste elektrische verbruik kan worden gerealiseerd. Naast de vele aspecten waarmee rekening wordt gehouden bij het ontwerp van elektrische installaties, wordt eveneens meer gekeken naar het verminderen van de verliezen in de vaste elektrische installatie en het gebruik van elektriciteit. Bij het ontwerpen van de vaste elektrische installatie moet rekening worden gehouden met de input van gebruikers en leveranciers van systemen. Deze paragraaf beoogt aanbevelingen te geven op het gebied van energiereductie en -efficiency.

Het is van belang om de voeding van een installatie en de bijbehorende hoofdverdeelinrichting te plaatsen in het centrum van de belasting. Om de energieverliezen te beperken moet worden gekeken naar het ideale aantal transformatoren en verdeelinrichtingen. Verder is het bij de keuze van een leidingdoorsnede ook zinvol om de energieverliezen in de kabel mee te nemen als parameter bij het bepalen van de leidingdoorsnede. Een grotere doorsnede levert niet alleen kleinere energieverliezen op, maar heeft ook andere gunstige effecten zoals lager spanningsverlies, minder harmonische vervorming van de spanning, minder last van flikker en dergelijken. De laatste twee voordelen zijn er uiteraard alleen als er sprake is van harmonische stromen of grote variaties in de stroom.

8.1.1 MAATREGELEN VOOR EEN LAGER ENERGIEVERBRUIK

In deze paragraaf gaan we in op de hiervoor genoemde maatregelen en aanbevelingen voor het ontwerp, de installatie en controle van alle soorten elektrische installaties om op een efficiënte wijze het laagste energieverbruik te verkrijgen. De energie efficiëntie heeft veelal een energiereductie tot gevolg.

De energiereductie kan worden bereikt door:

- toepassing van energiemanagementsystemen;
- verbeteringen in de processen;
- bewust ontwerp en opzet (vermazing) van de elektrische installatie;
- bewuste keuze van invoedingspunten (verdeelinrichtingen) en opstelling van transformatoren;
- verbeteren van de arbeidsfactor;
- verminderen van harmonische stromen in de installatie;
- betere (over)dimensionering van de totale installatie.

Deze energiebesparingsmaatregelen zullen effect hebben bij vooral industriële installaties en grote utiliteitsgebouwen. Om een idee te krijgen van de omvang van de energiebesparing kan op de diverse gebieden een inschatting worden gemaakt van de mogelijke besparingen.

Toepassing van energiemanagementsystemen

De (energie)winst die te behalen valt met het monitoren en sturen van de energiestromen is moeilijk in te schatten. Veel zal afhangen van de processen die bemeten en gestuurd worden, de winst die te halen valt met bewustwording rondom dit thema en reeds genomen maatregelen. Een inschatting van de mogelijke energiewinst is daarom niet in algemene termen te maken.

Verbeteringen in de processen

Verbeteringen in de processen kunnen tot forse energiebesparingen leiden. Het vervangen van de oude verlichting door energiezuinige of het aandrijven van ventilatoren met frequentieregelaars zijn voorbeelden van procesverbeteringen. Hier valt de meeste winst te behalen.

Bewust ontwerp en opzet (vermazing) van de elektrische installatie

Een goed doordacht ontwerp en opbouw van de installatie kan ook leiden tot energiebesparing. Als in een ruimte de verlichting bij de ramen apart geschakeld kan worden is het mogelijk om deze met minder branduren te gebruiken vanwege het invallende buitenlicht. Een goed schakelplan is de basis voor een goede vermazing van de installatie.

Bewuste keuze van invoedingspunten (verdeelinrichtingen) en opstelling van transformatoren

Een juiste keuze van het aantal te gebruiken MS/LS-transformatoren en de beste locatie voor de plaatsing hiervan kan samen met de keuze voor de juiste structuur van de installatie een energiebesparing opleveren van 1-2 %.

Verbeteren van de arbeidsfactor

De verbetering van de arbeidsfactor zal het schijnbaar vermogen verlagen en daardoor ook de stroom. Hierdoor worden de verliezen in een installatie verlaagd (kwadratisch met de stroom voor leidingen). De geboekte winst is uiteraard afhankelijk van de bestaande arbeidsfactor. Gemiddeld zal ook bij dit aspect circa 1% energiebesparing te realiseren zijn.

Verminderen van harmonische stromen in de installatie

Harmonische stromen zorgen voor extra energieverliezen in alle componenten van een installatie. Het reduceren van harmonischen kan een energiebesparing opleveren variërend van 1-2 %.

Betere (over)dimensionering van de totale installatie

Het (over)dimensioneren van componenten in de installatie leidt tot minder weerstand en dus ook minder verliezen. Bij grote bedrijfstijden kan dit om economische redenen interessant zijn. Een mogelijke energiebesparing van 1 % van het totale energiegebruik kan hiermee worden bereikt.

Een realistische inschatting van het totaaleffect van alle maatregelen op gebied van energiebesparing zal naar alle waarschijnlijkheid liggen tussen 2-4 % van het totale energiegebruik van een installatie. Dit zal uiteraard niet worden gehaald bij installaties die al veel van de genoemde stappen hebben genomen om tot energiebesparing te komen. Bij bedrijven die wel al procesverbeteringen hebben toegepast, maar aan de genoemde maatregelen nog niet zijn toegekomen kan het een reële inschatting blijken te zijn. Een aantal van de eerder genoemde maatregelen wordt nader toegelicht.

8.1.2 BEWUSTE KEUZE VAN INVOEDINGSPUNTEN (VERDEELINRICHTINGEN)

De inventarisatie van belastingen en locaties waar de belastingen aanwezig zijn is de eerste stap om te komen tot een installatie. Zodra dit bekend is kan worden gekeken of er sprake is van een industrie of gebouw dat kan volstaan met een laagspanningsaansluiting (eventueel een eigen kabel uit een transformatorruimte) of een middenspanningsaansluiting. Bij grote vermogens en grote belastingen op diverse locaties kunnen meerdere transformatoren ook een optie zijn.

Als er meerdere transformatoren worden geplaatst, zullen de verliezen in de kabel (lagere stromen op middenspanning) aanzienlijk kleiner zijn. Wel zullen er meer transformatoren zijn (dus wellicht ook meer nullastverliezen). Ook als er maar één invoedingspunt wordt gekozen, moet kritisch naar de opstellingsplaats gekeken worden. In het algemeen kan natuurlijk worden gesteld dat de invoeding zo dicht mogelijk bij de belasting moet zitten (zie ook paragraaf 3.2 in dit boek).

8.1.3 VERBETEREN VAN DE ARBEIDSFACITOR

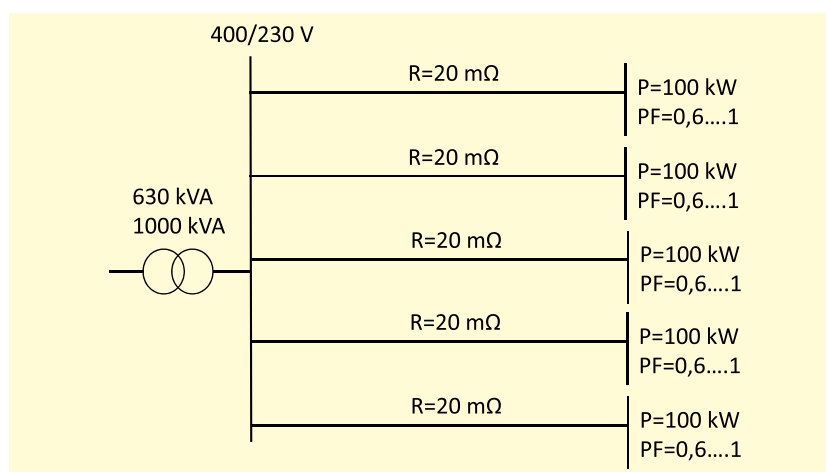
De arbeidsfactor, aangeduid met PF (power factor) is de verhouding tussen P (actief vermogen) en S (schijnbaar vermogen). De arbeidsfactor wordt ook wel $\cos \Phi$ genoemd als er geen harmonische vervorming aanwezig is. De verhouding tussen P en S beschrijft de hoeveelheid blindvermogen. Dit blindvermogen moet samen met het actief vermogen worden getransporteerd. Dit houdt in dat transformatoren en kabels extra worden belast.

In huidige installaties zijn veel belastingen met vermogenselektronica aangesloten. Deze vorm van belasting is in de afgelopen jaren aanzienlijk toegenomen. Omdat vermogenselektronica over het algemeen geen sinusvormige stromen vragen, ontstaan er hogere harmonischen. Deze hogere harmonischen leveren een bijdrage aan het blindvermogen. Om deze reden zijn er twee definities in het leven geroepen:

- De DPF (displacement power factor) beschrijft de fasehoek tussen de spanning en stroom van de fundamentele stroom (grondharmonische). De DPF is dus een maat voor het blindvermogen van de fundamentele harmonische.
- De PF (power factor) beschrijft de verhouding tussen het actief en schijnbaar vermogen inclusief alle bijdragen van de hogere harmonischen.

Een slechte arbeidsfactor houdt in dat er relatief veel blindvermogen moet worden getransporteerd. Zowel in de installatie van de gebruiker als over het elektriciteitsnet. De stroom die eigenlijk niet nuttig wordt gebruikt bij de belasting, zorgt toch voor verliezen (ten gevolge van opwarming) in kabels en transformatoren.

Het schema in afbeelding 8.1 laat het effect zien van een lage arbeidsfactor. Alle belastingen hebben een arbeidsfactor (PF) van 0,6 en op basis hiervan zullen de verliezen worden bepaald. Alle berekeningen worden vervolgens herhaald als iedere belasting een PF van 0,7; 0,8; 0,9; en 1,0 heeft.



Afbeelding 8.1: Voorbeeld installatie (berekening van verliezen en capaciteit installatie).

Bij dit schema moet worden vermeld dat het nominale vermogen van de transformator 630 kVA of 1000 kVA kan zijn, afhankelijk van de arbeidsfactor waarmee wordt gerekend. Voor een arbeidsfactor van ongeveer 0,9 of hoger? zou een 630 kVA transformator volstaan. Voor de berekeningen bij een arbeidsfactor van 0,6, 0,7 en 0,8 wordt uitgegaan van een 1000 kVA transformator. In tabel 8.1 zijn de gegevens van de transformatoren naast elkaar gezet.

Nominaal vermogen	630 kVA	1000 kVA
Nullastverliezen	800 W	1100 W
Koperverliezen bij $S=S_{nom}$	8500 W	13000 W
Nominale stroom	910 A	1445 A

Tabel 8.1: Gegevens transformatoren.

Als er alleen sprake is van een lage (inductieve) arbeidsfactor, zal in de meeste gevallen een condensatorbank volstaan. Omdat het blindvermogen in installaties vaak van inductieve aard is, kan dit vermogen worden gecompenseerd door condensatoren in de buurt van de belasting te plaatsen. Deze condensatoren leveren dan het blindvermogen aan de belasting waardoor dit niet meer over de kabels en de transformator getransporteerd hoeft te worden. Als er echter ook veel harmonische vervorming wordt geproduceerd bij een belasting, is het niet langer mogelijk om het volledige blindvermogen te compenseren met condensatoren. In een dergelijke situatie is het interessant om een actief filter te plaatsen. Een actief filter kan namelijk naast het filteren van de harmonischen (waardoor de arbeidsfactor al zal stijgen) ook het blindvermogen verlagen voor de grondharmonische.