



Vlamboogrisico inventarisatie en evaluatie voorbeeldrapport

P000-000 revisie 0.0, 12 Apr 2022

Revisiegeschiedenis		
Revisie	Datum	Opmerkingen
0.0	12 Apr 2022	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Resultaten.....	3
2	Risico-inventarisatie & evaluatie	4
2.1	Vlambooggevaar	4
2.2	Labels	7
2.3	Training	7
2.4	Audits	7
2.5	Persoonlijke beschermingsmiddelen.....	8
2.6	Werkprocedures	9
3	IEEE 1584 Gevarenberekening	10
3.1	Grondschemata.....	10
3.2	Modellering en brongegevens.....	11
3.3	Tijd-stroomdiagrammen	13
3.4	IEC 60909 Berekening.....	17
3.5	Gedetailleerde vlamboogberekening.....	19
4	Gevarenidentificatie en methode	21
4.1	Vlambooggevaar	21
4.2	Methode voor risico-inventarisatie	22
4.3	Risicobeheersing.....	23



1 Inleiding

ArcScan is gespecialiseerd in de beheersing van vlamboogrisico. Onze methoden zijn gericht op volledige en continue risicobeheersing met een vlamboogberekening, risico-inventarisatie en -evaluatie en plan van aanpak als basis. Met jaarlijkse audits, trainingen en evaluaties blijft de risicobeheersing op peil.

1.1 Resultaten

Om vlamboogrisico goed te kunnen beheersen, documenteert dit rapport de volgende activiteiten voor risico-management:

- Gevarenidentificatie, context en inventarisatiemethode
- Een gevarenberekening volgens IEEE 1584 (2018 editie)
- Een risico-inventarisatie en evaluatie voor belangrijke aspecten van werken met elektrische gevaren

Dit rapport is gestructureerd in omgekeerde volgorde en begint met de risico-inventarisatie en evaluatie. Alle bevindingen en aanbevelingen voor de verschillende aspecten van de studie zijn hier te vinden.

De gevarenberekening, -identificatie, context en inventarisatiemethode zijn daarna ter referentie opgenomen. Deze vereisen specialistische kennis om te evalueren en het is niet noodzakelijk deze te lezen om de aanbevelingen in dit rapport op te volgen.



2 Risico-inventarisatie & evaluatie

2.1 Vlambooggevaar

Gevaar	Locaties
< 1.2 cal/cm ²	HVK1.1-1B, HVK-1.2A, HVK-1.2B, HKL-2B
1.2 cal/cm ² - 12 cal/cm ²	HVK1.1-1A, HKL2 (buszijde), HKL-2A
> 12 cal/cm ²	HVK1.1 (bus en lijnzijde), HVK1.2 (bus en lijnzijde), GEN, HVK1.1-1 HKL-2 (lijnzijde)

2.1.1 Vlambooggevaar boven 1.2 cal/cm²

Label #	Locatie	Vlamboogstroom	Tijd	Gevaar
#001	HVK1.1 (BUS)	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²
#001.1	HVK1.1 / HVK1.1-Q0 (LINE)	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²
#002	GEN (BUS)	2.8 kA	2.00 s	12.9 cal/cm ²
#003	HVK1.1-1 (BUS)	2.7 kA	2.00 s	12.8 cal/cm ²
#004	HVK1.1-1A (BUS)	2.5 kA	2.00 s	11.5 cal/cm ²
#006	HVK-1.2 (BUS)	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²
#006.1	HVK-1.2 / HVK1.2-Q0 (LINE)	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²
#009	HKL-2 (BUS)	10.3 kA	0.08 s	2.3 cal/cm ²
#009.1	HKL-2 / HKL-2-Q0 (LINE)	9.0 kA	0.75 s	18.4 cal/cm ²
#010	HKL-2A (BUS)	6.2 kA	0.09 s	1.5 cal/cm ²

Voor alle locaties met een vlambooggevaar boven de 1.2 cal/cm² moeten maatregelen genomen worden. Prioriteit gaat hierbij naar locaties waar het risico het hoogst is. Dit zijn niet altijd de locaties met het hoogste gevaar, maar is een combinatie van de kans en het gevaar. Plekken waar veel gewerkt wordt (bijvoorbeeld afgaande velden van hoofdverdelers) kunnen dus belangrijker zijn voor de risico-inventarisatie en evaluatie dan plekken met een hoger gevaar waar dit minder vaak gebeurt (zoals inkomende velden van hoofdverdelers).

Voor plekken met hoge energie kan gekozen worden voor een procedure waarbij het gevaar zoveel mogelijk vermeden wordt. Dit betekent:

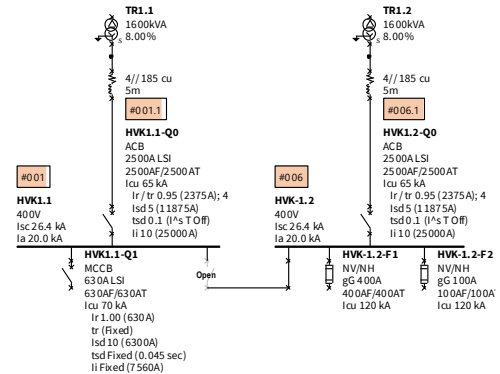
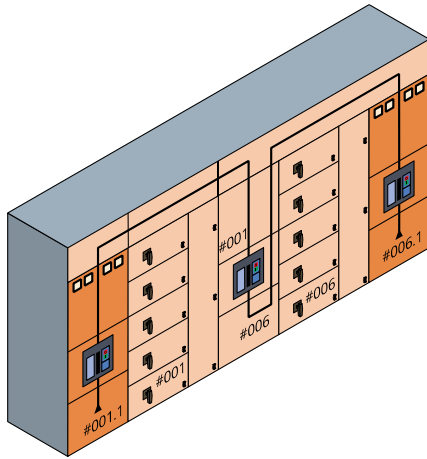
- Altijd eerst afschakelen op een hoger niveau, bijvoorbeeld bij de transformator op hoogspanning
- Een back-up meting uitvoeren waarbij stroomafwaarts spanningsloosheid wordt gemeten op een plek met laag vlambooggevaar
- Pas nadat deze meting spanningsloosheid aangeeft wordt een meting gedaan op de werkplek met hoog vlambooggevaar.
- Een specifieke taak/risico-analyse uitvoeren om andere stappen te identificeren om een spanningsloze situatie te garanderen.

Indien dit niet mogelijk is, of als er restrisico blijft bestaan kunnen PBM's worden ingezet om het gevaar te mitigeren. Voor heel hoog gevaar bestaan soms geen PBM's die volledige bescherming bieden.



2.1.2 Hoofdverdeler HVK1-1 / 1.2

Label #	Locatie	Vlamhoogstroom	Tijd	Gevaar
#001	HVK1.1 (BUS)	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²
#001.1	HVK1.1 / HVK1.1-Q0 (LIJN)	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²
#006	HVK-1.2 (BUS)	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²
#006.1	HVK-1.2 / HVK1.2-Q0 (LIJN)	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²

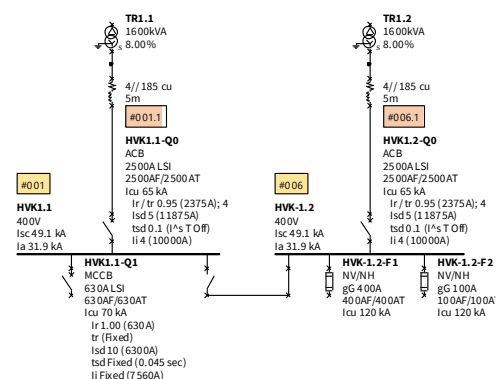
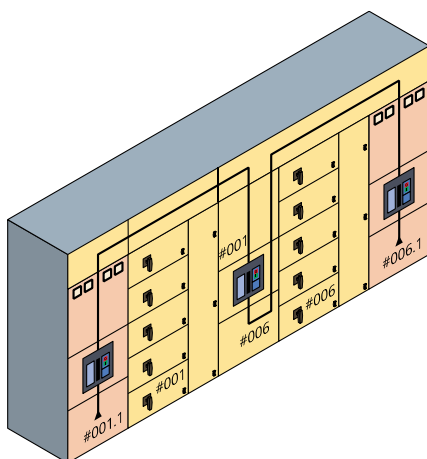


Bovenstaande illustratie geeft aan waar de bus- en lijnzijde berekeningen geldig zijn voor de elektrische verdeler HVK1.1/1.2.

Met aanpassingen van beveiligingsinstellingen kan deze energie omlaag gebracht worden. Dit heeft over het algemeen wel nadelige gevolgen voor de selectiviteit, en voor transformatorbeveiliging op hoogspanning kan het voor ongewenst afschakelen leiden.

Door beveiligingsinstellingen aan te passen kan het vlamhooggevaar als volgt gereduceerd worden:

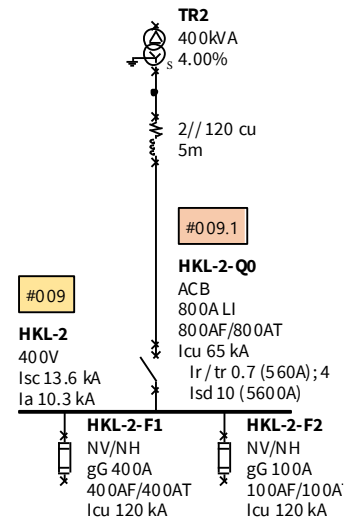
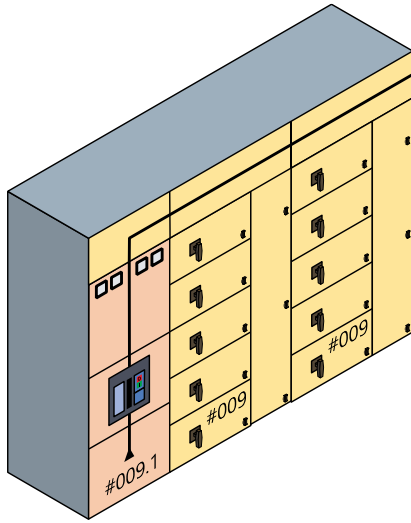
Label #	Locatie	Vlamhoogstroom	Tijd	Gevaar
#001	HVK1.1 (BUS)	31.9 kA	0.05 s	(35%) 5.1 cal/cm ²
#001.1	HVK1.1 / HVK1.1-Q0 (LIJN)	20.0 kA	0.20 s	(16%) 19.3 cal/cm ²
#006	HVK-1.2 (BUS)	31.9 kA	0.05 s	(35%) 5.1 cal/cm ²
#006.1	HVK-1.2 / HVK1.2-Q0 (LIJN)	20.0 kA	0.20 s	(16%) 19.3 cal/cm ²



Hoewel de lijnzijdes nog steeds een vrij hoog vlamhooggevaar hebben, is deze voor het grootste deel van de verdeler nu een stuk omlaag gebracht. Het aanpassen van beveiligingsinstellen is altijd een afweging van vlamhooggevaar, selectiviteit en bedrijfszekerheid.

2.1.3 Hoofdverdeler HKL2

Label #	Locatie	Vlamboogstroom	Tijd	Gevaar
#009	HKL-2 (BUS)	10.3 kA	0.08 s	2.3 cal/cm ²
#009.1	HKL-2 / HKL-2-Q0 (LINE)	9.0 kA	0.75 s	18.4 cal/cm ²



Bovenstaande illustratie geeft aan waar de bus- en lijnzijde berekeningen geldig zijn voor de elektrische verdeler HVK1.1/1.2.

De transformatorbeveiliging op hoogspanning is een smeltzekering en kan niet worden aangepast. De hoofdschakelaar staat al op een directe afschakeling en kan niet verder in tijd omlaag. In deze situatie is er dus geen reductie mogelijk met het aanpassen van beveiligingsinstellingen.

2.1.4 Onderverdelers van 100 en 400 ampère

Label #	Locatie	Vlamboogstroom	Tijd	Gevaar
#004	HVK1.1-1A (BUS) (400 A)	2.5 kA	2.00 s	11.5 cal/cm ²
#005	HVK1.1-1B (BUS) (100 A)	1.3 kA	0.11 s	0.3 cal/cm ²
#007	HVK-1.2A (BUS) (400 A)	9.4 kA	0.01 s	0.3 cal/cm ²
#008	HVK-1.2B (BUS) (100 A)	1.6 kA	0.04 s	0.1 cal/cm ²
#010	HKL-2A (BUS) (400 A)	6.2 kA	0.09 s	1.5 cal/cm ²
#011	HKL-2B (BUS) (100 A)	1.5 kA	0.05 s	0.2 cal/cm ²

In dit rapport zijn voorbeelden van onderverdelers opgenomen onder verschillende omstandigheden: een kleine transformator, twee grotere transformatoren in parallel en één met noodvoeding.

De 100 ampère onderverdelers hebben onder al deze omstandigheden een vlambooggevaar onder 1.2 cal/cm². In de praktijk hebben verdelers met een beveiliging van 100 ampère of kleiner vrijwel altijd een laag vlambooggevaar.

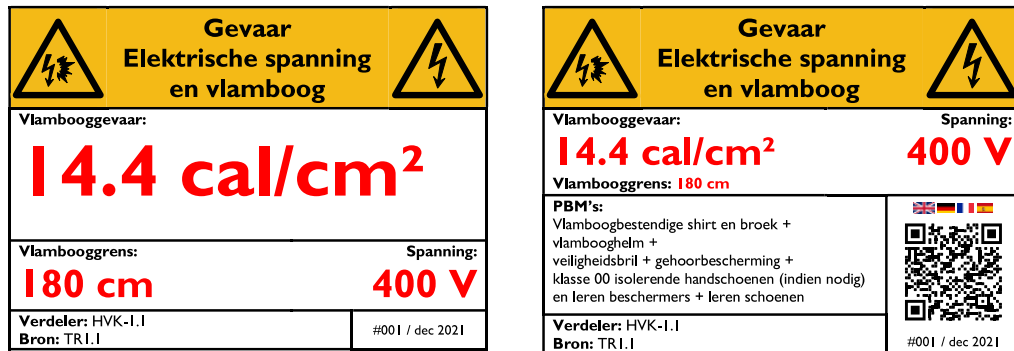
Voor 400 ampère onderverdelers zijn er grote verschillen te zien. Vooral de afschakeltijd varieert en juist bij de laagste vlamboogstroom ontstaat het hoogste vlambooggevaar. Met zekeringen zijn er geen zinvolle aanpassingen te doen om het gevaar te reduceren. Het is dus belangrijk om onderverdelers boven de 100 ampère te berekenen met een studie.

2.2 Labels

Voor elke kast met vlambooggevaar hoger dan 1.2 cal/cm^2 moet een waarschuwingslabel aangebracht worden. Het label moet de volgende elementen bevatten:

- Vlambooggevaar: energie in cal/cm^2
- Vlambooggrens: de afstand waarbinnen maatregelen genomen moeten worden

Daarnaast kunnen ook de vereiste PBM's, spanning en gegevens van de voeding op het label aangebracht worden. Hieronder twee voorbeelden van labels:



2.3 Training

Omdat vlambooggevaar en de benodigde maatregelen om deze te beheersen nog niet algemeen bekend zijn, is het aan te raden om training te geven over de volgende onderwerpen:

- Identificeren van vlambooggevaar
- Een risico inschatten op basis van het gevaar en de werkzaamheden
- De juiste risicobeheersing toepassen, waaronder gebruik van PBM's

Voor het aansturen van aannemers is het verstandig een duidelijke procedure op te zetten over de instructie voor werken met vlamboogrisico. De instructie moet tenminste het volgende bevatten:

- Vlamboogrisico op de werklocatie
- Taak-specifiek risico
- Gebruikte beheersingsmethodes

2.4 Audits

De volgende periodieke audits worden aanbevolen om te controleren of vlamboogrisico wordt beheerst volgens het elektrische veiligheidsprogramma.

2.4.1 *Audit op locatie voor elektrische werkzaamheden (vaker dan één keer per jaar)*

Directe observatie van elektrische werkzaamheden en controleer of aan de eisen van training, instructie, PBM's en andere veiligheidsmaatregelen wordt voldaan. Documenteer de audit.

Het is aanbevolen om *altijd* een audit uit te voeren tijdens elektrische werkzaamheden aan elektrische installaties met een vlamboogenergie van hoger dan $1,2 \text{ cal/cm}^2$ tenzij is vastgesteld dat het risico voldoende wordt beheerst door andere veiligheidsmaatregelen.

2.4.2 *Audit vlambooggevaarenberekening (jaarlijks)*

Controleer of het grondschematische klopt met de huidige situatie. Werk het grondschematische bij als er aanpassingen aan of uitbreidingen van elektrische installaties hebben plaatsgevonden.

Controleer of vlambooglabels correct zijn aangebracht.

2.4.3 *Audit training en instructie (jaarlijks)*

Controleer of de trainingen en instructies voor werknemers en aannemers jaarlijks (of op andere gegeven momenten volgens het elektrisch veiligheidsprogramma) plaatsvinden aan de hand van de documentatie.

2.4.4 *Audit werkprocedures (jaarlijks)*

Evalueer de resultaten van de bovenstaande audits en vergelijk deze met de lokale werkprocedures of risico-inventarisatie en evaluatie.

2.5 **Persoonlijke beschermingsmiddelen**

2.5.1 *EN 61482-1-2 klasse 1 en klasse 2 PPE*

Aannemers zijn wellicht al in het bezit van vlamboogbestendige PBM's. Deze persoonlijke beschermingsmiddelen zijn vaak getest volgens de norm EN 61482-1-2 en onderverdeeld in klasse 1 en klasse 2. Momenteel is er nog geen algemeen geaccepteerde maatstaf om deze klassen om te zetten naar een equivalent voor ATPV of EBT in cal/cm².

Gezien de overeenkomsten tussen de testmethoden van de normen EN 61482-1-1 and EN 61482-1-2 kan er redelijkerwijs aangenomen worden dat PBM's van klasse 1 en klasse 2 goed beschermen tegen vlambogen tot een bepaalde waarde in cal/cm². Uitgaande van beschikbare PBM's die zowel getest zijn volgens de EN 61482-1-2 als de EN 61482-1-1, komen we tot de volgende tabel:

Klasse (EN 61482-1-2)	ATPV / EBT in cal/cm ² (EN 61482-1-1)
Klasse 1	Minstens 6 cal/cm ²
Klasse 2	Minstens 12 cal/cm ²

Aangezien de huidige normen geen duidelijkheid geven over dit onderwerp zal er lokaal een beslissing gemaakt moeten worden over de acceptatie van het gebruik van PBM's van klasse 1 en klasse 2 als veiligheidsmaatregel. Deze beslissing moet gedocumenteerd en gecommuniceerd worden.

2.5.2 *Veiligheidsvesten en gelaatsmaskers*

Vlamboogbestendige PBM's zijn niet vereist op locaties waar de vlamboogenergie lager is dan 1,2 cal/cm². Materialen die brandbaar zijn of kunnen smelten dienen wel vermeden te worden.

Veiligheidsvesten en gelaatsmaskers mogen niet gebruikt worden als blootstelling aan vlambogen mogelijk is hoe klein de vlamboogenergie ook is.

2.5.3 *Werkafstand vergroten met meetpennen*

Het verdubbelen van de werkafstand zorgt ervoor dat de vlamboogenergie vier keer zo klein is. Indien mogelijk is het vergroten van de werkafstand dus een zeer effectieve manier om het vlambooggevaar te beperken. Bij alle locaties waar de vrijkomende energie hoger is dan 1.2 cal/cm² kunnen meetpennen gebruikt worden om de werkafstand te vergroten. Naast het gebruik van meetpennen moet het PBM-advies op het vlambooglabel te allen tijde opgevolgd worden.



Overweeg het gebruik van meetpennen en/of beveel het gebruik van meetpennen aan bij aannemers.

2.6 Werkprocedures

Op het moment dat veiligheidsmaatregelen zijn opgesteld en geïmplementeerd dienen ze gedocumenteerd te worden.

Voer een taakrisico-analyse uit voor alle elektrische werkzaamheden onder spanning bij (hoofd)verdelers waar de maximale vlamboogenergie hoger is dan 12 cal/cm^2 .



3.2 Modelling en brongegevens

Berekeningen in dit rapport zijn gemaakt met een fictief elektrisch verdeelsysteem.

3.2.1 Scenario's

Verskillende scenario's zijn gemodelleerd om een goede representatie te geven van mogelijke schakelconfiguraties van het systeem:

Scenario	Net	Generator	Omschrijving
net	In bedrijf	Uit bedrijf	Koppelschakelaar HVK1.1/1.2 open
par	In bedrijf	Uit bedrijf	Koppelschakelaar HVK1.1/1.2 dicht
nood	Uit bedrijf	In bedrijf	HVK1.1-1 gevoed vanuit generator

3.2.2 Maximale boogtijd

De duur van een vlamboog is bij berekeningen op een maximum van 2 seconden gezet, gebaseerd op IEEE 1584 6.9.1:

"If the time is longer than two seconds, consider how long a person is likely to remain in the location of the arc flash. It is likely that the person exposed to arc flash will move away quickly if it is physically possible and two seconds is a reasonable maximum time for calculations. A person in a bucket truck or a person who has crawled into equipment will need more time to move away."

3.2.3 Tabel: netbedrijf

Net	Scenario	Aansluiting Service	3f Bijdrage 1f Bijdrage	Z+ (pu) Z0 pu
NET	-	Wye-Ground In	250.0 MVA 0.0 MVA	0.0398 + j0.3980 $\infty + j\infty$

3.2.4 Tabel: generatoren

Generator	Grootte	X''d	Voltage	Nom Stroom	Z+ (pu)	Z0 pu
G	400 kVA	0.15	400 V	577 A	2.5 + j37.5	2.5 + j37.5

3.2.5 Tabel: transformatoren

Transformator	Grootte	Vector / Z%	Voltage	Nom Stroom	Z+ (pu)	Z0 pu
TR1.1	1600 kVA	Dyn1 / 8.00	10000/400 V	92.4/2309.4 A	0.74 + j4.95	0.74 + j4.95
TR1.2	1600 kVA	Dyn1 / 8.00	10000/400 V	92.4/2309.4 A	0.74 + j4.95	0.74 + j4.95
TR2	400 kVA	Dyn1 / 4.00	10000/400 V	23.1/577.4 A	2.2 + j9.76	2.2 + j9.76

3.2.6 Tabel: kabels

Kabel	Van	Naar	Grootte	Lengte	Z+ (pu)	Z0 pu
C-HKL-2	BUS-0021	HKL-2	2//120 mm ² cu	5 m	0.3 + j0.13	0.48 + j0.32
C-HKL-2A	HKL-2	HKL-2A	1//185 mm ² cu	60 m	4.74 + j3.06	7.53 + j7.79
C-HKL-2B	HKL-2	HKL-2B	1//16 mm ² cu	60 m	54.99 + j3.51	87.42 + j8.94
C-HVK-1.2	BUS-0022	HVK-1.2	4//185 mm ² cu	5 m	0.1 + j0.06	0.16 + j0.16
C-HVK-1.2A	HVK-1.2	HVK-1.2A	1//185 mm ² cu	60 m	4.74 + j3.06	7.53 + j7.79
C-HVK-1.2B	HVK-1.2	HVK-1.2B	1//16 mm ² cu	60 m	54.99 + j3.51	87.42 + j8.94
C-HVK1.1	BUS-0020	HVK1.1	4//185 mm ² cu	5 m	0.1 + j0.06	0.16 + j0.16
C-HVK1.1-1-E	GEN	BUS-0030	2//95 mm ² cu	5 m	0.38 + j0.13	0.61 + j0.34
C-HVK1.1-1-N	HVK1.1	BUS-0027	2//95 mm ² cu	15 m	1.15 + j0.4	1.83 + j1.01
C-HVK1.1-1A	HVK1.1-1	HVK1.1-1A	1//185 mm ² cu	60 m	4.74 + j3.06	7.53 + j7.79
C-HVK1.1-1B	HVK1.1-1	HVK1.1-1B	1//16 mm ² cu	60 m	54.99 + j3.51	87.42 + j8.94

3.2.7 Tabel: hoogspanning relais

Naam	Model	Type	Stroom	Vastheid	Instellingen
RING-1		I>, I>> 50/51, In=5 A	100 / 5 A		I> 1.5 (150A) t> 10 sec I>> 14 (1400A) t>> 0.1 sec
RING-2		I>, I>> 50/51, In=5 A	100 / 5 A		I> 1.5 (150A) t> 10 sec I>> 14 (1400A) t>> 0.1 sec

3.2.8 Tabel: hoogspanning smeltzekeringen

Naam	Model	Type	Stroom	Vastheid	Instellingen
RING-3	40A Full Range	HV Fuse 6.3-100A Full Range Fuse			50 kA

3.2.9 Tabel: laagspanning vermogensschakelaars

Naam	Model	Type	Stroom	Vastheid	Instellingen
GEN-Q0	630A LSI	MCCB 630-630	630A / 630A	70 kA	Ir 1.00 (630A) tr (Fixed) I _{sd} 6 (3780A) tsd Fixed (0.045 sec) I _i Fixed (7560A)
HKL-2-Q0	800A LI	ACB LS, 800-6300AS, IEC	800A / 800A	65 kA	Ir / tr 0.7 (560A); 4 I _{sd} 10 (5600A)
HVK1.1-Q0	2500A LSI	ACB LS, 400-6000AS, IEC	2500A / 2500A	65 kA	Ir / tr 0.95 (2375A); 4 I _{sd} 5 (11875A) tsd 0.1 (I ^Δ s T Off) I _i 10 (25000A)
HVK1.1-Q1	630A LSI	MCCB 630-630	630A / 630A	70 kA	Ir 1.00 (630A) tr (Fixed) I _{sd} 10 (6300A) tsd (Fixed) (0.045 sec) I _i (Fixed) 12 (7560A)
HVK1.2-Q0	2500A LSI	ACB LS, 400-6000AS, IEC	2500A / 2500A	65 kA	Ir / tr 0.95 (2375A); 4 I _{sd} 5 (11875A) tsd 0.1 (I ^Δ s T Off) I _i 10 (25000A)

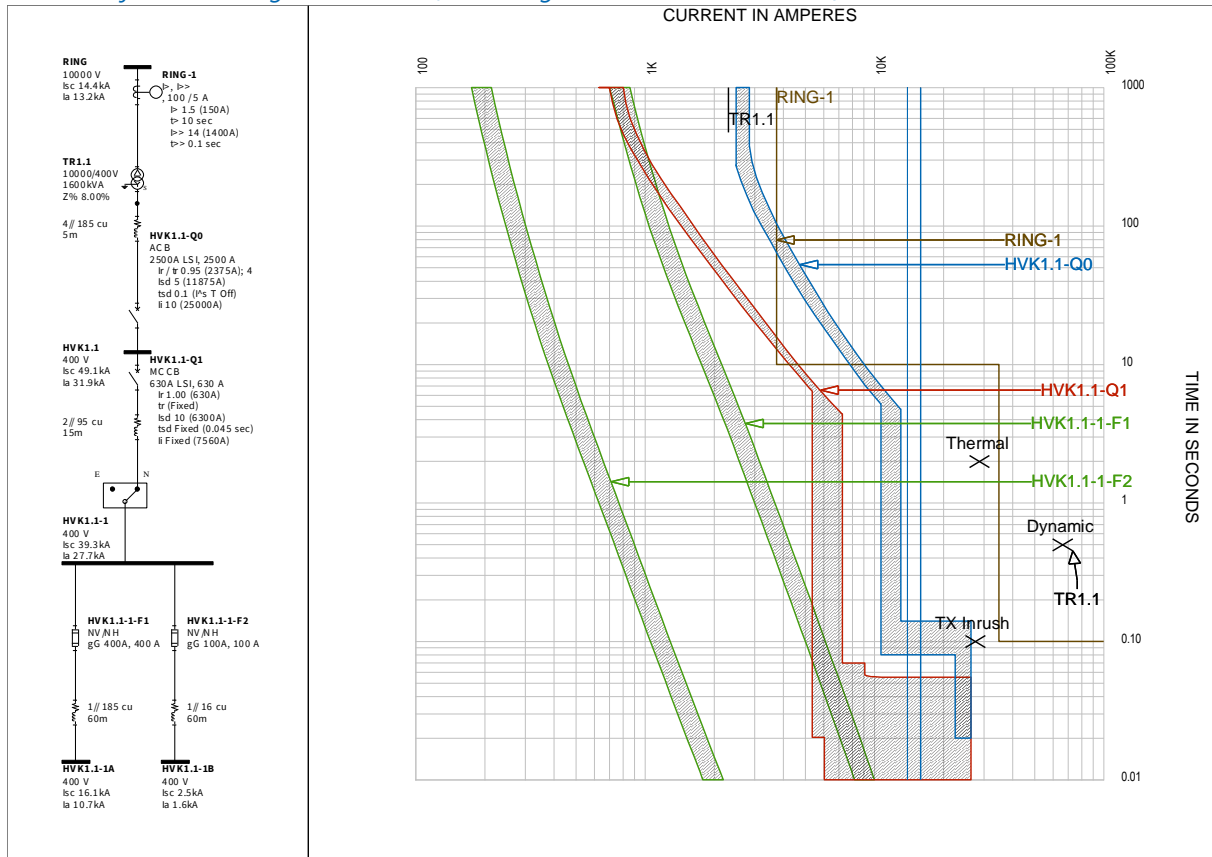
3.2.10 Tabel: laagspanning smeltzekeringen

Naam	Model	Type	Stroom	Vastheid	Instellingen
HKL-2-F1	gG 400A	NV/NH Class gG IEC269			120 kA
HKL-2-F2	gG 100A	NV/NH Class gG IEC269			120 kA
HVK-1.2-F1	gG 400A	NV/NH Class gG IEC269			120 kA
HVK-1.2-F2	gG 100A	NV/NH Class gG IEC269			120 kA
HVK1.1-1-F1	gG 400A	NV/NH Class gG IEC269			120 kA
HVK1.1-1-F2	gG 100A	NV/NH Class gG IEC269			120 kA



3.3 Tijd-stroomdiagrammen

3.3.1 Tijd-stroomdiagram HVK1.1 (vlamboogstroom HVK1.1 in blauw)



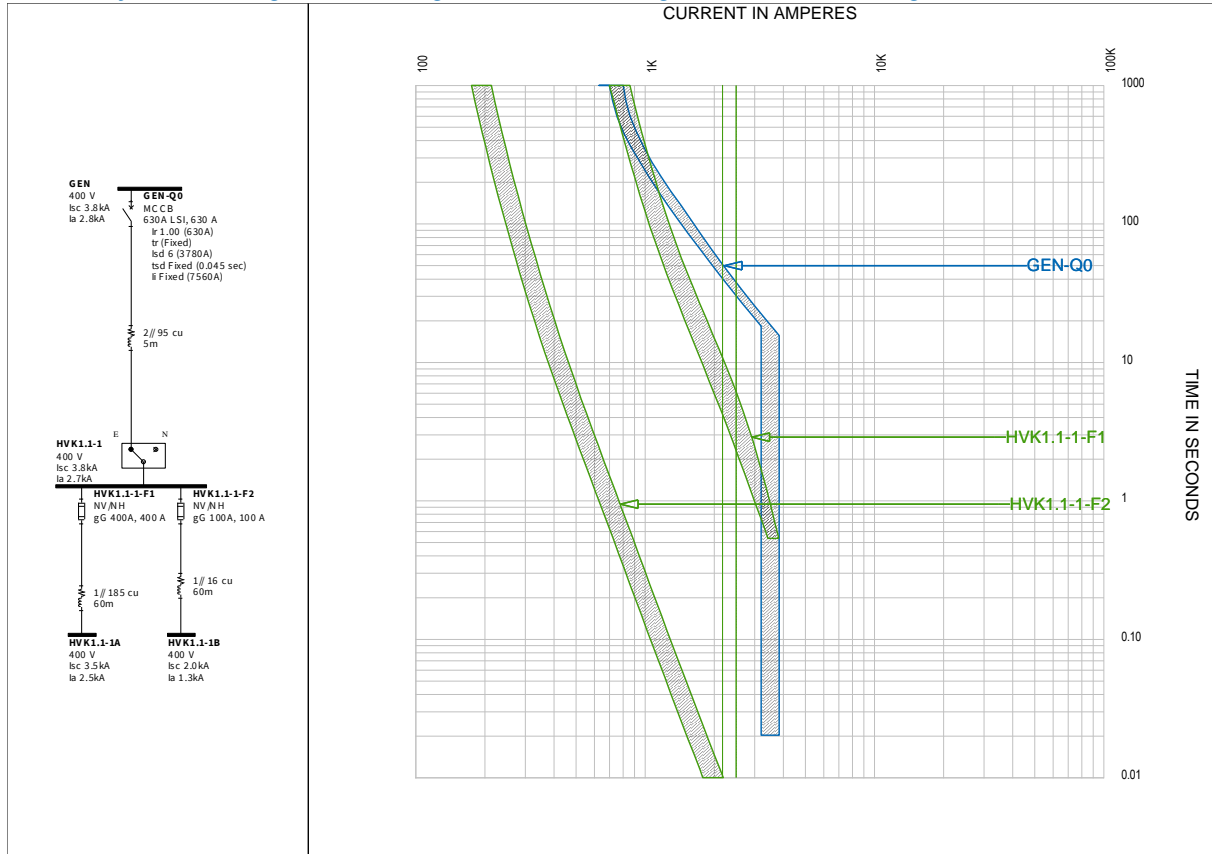
3.3.1.1 Tabel: vlambooggevaar voor tijd-stroomdiagram HVK1.1

Label # Scenario	Naam / beveiliging (zijde) Beveiliging	Volt Isc	Gel.afs Ia	Config t	Afmetingen Energie	Werkafs Grens
#001	HVK1.1 (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK1.2-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
#001.1	HVK1.1 / HVK1.1-Q0 (LINE)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	RING-1	26.4 kA	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²	5.9 m
#003	HVK1.1-1 (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	GEN-Q0	3.8 kA	2.7 kA	2.00 s	12.8 cal/cm ²	1.7 m
#004	HVK1.1-1A (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK1.1-1-F1	3.5 kA	2.5 kA	2.00 s	11.5 cal/cm ²	1.6 m
#005	HVK1.1-1B (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK1.1-1-F2	2.0 kA	1.3 kA	0.11 s	0.3 cal/cm ²	0.2 m

3.3.1.2 Tabel: selectiviteit voor tijd-stroomdiagram HVK1.1

Toestel	Selectiviteit met stroomafwaarts toestel							
	HVK1.1-Q0		HVK1.1-Q1		HVK1.1-1-F1		HVK1.1-1-F2	
	Ia	Isc	Ia	Isc	Ia	Isc	Ia	Isc
RING-1								
HVK1.1-Q0			Ia	Isc	Ia	Isc	Ia	Isc
HVK1.1-Q1					Ia	Isc	Ia	Isc

3.3.2 Tijd-stroomdiagram HVK1.1 generator (vlamboogstroom HVK1.1-1 in groen)



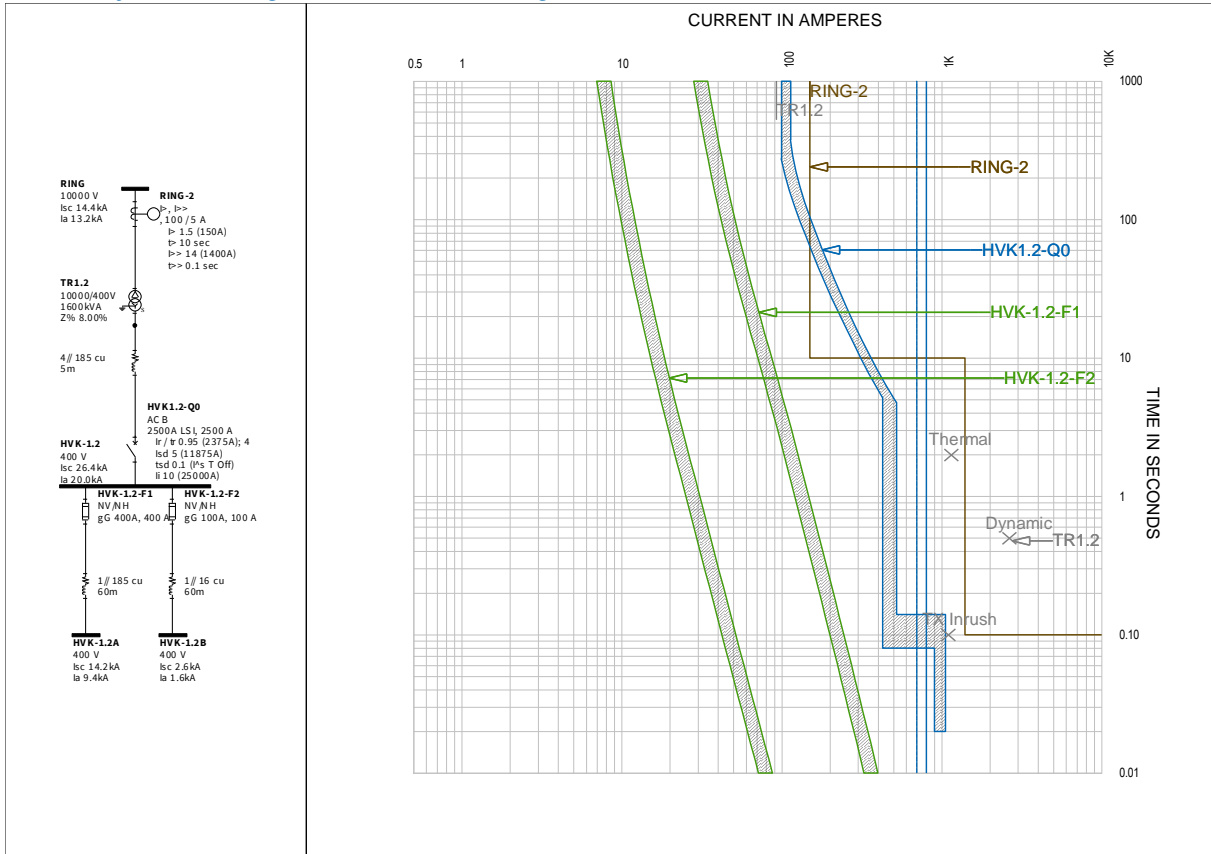
3.3.2.1 Tabel: vlambooggevaar voor tijd-stroomdiagram HVK1.1 generator

Label # Scenario	Naam / beveiliging (zijde) Beveiliging	Volt Isc	Gel. afs Ia	Config t	Afmetingen Energie	Werkafs Grens
#002	GEN (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	MaxTripTime @2.0s	3.8 kA	2.8 kA	2.00 s	12.9 cal/cm ²	1.7 m
#003	HVK1.1-1 (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	GEN-Q0	3.8 kA	2.7 kA	2.00 s	12.8 cal/cm ²	1.7 m
#004	HVK1.1-1A (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK1.1-1-F1	3.5 kA	2.5 kA	2.00 s	11.5 cal/cm ²	1.6 m
#005	HVK1.1-1B (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK1.1-1-F2	2.0 kA	1.3 kA	0.11 s	0.3 cal/cm ²	0.2 m

3.3.2.2 Tabel: selectiviteit voor tijd-stroomdiagram HVK1.1 generator

Toestel	Selectiviteit met stroomafwaarts toestel					
	HVK1.1-Q0		HVK1.1-Q1		HVK1.1-1-F2	
GEN-Q0			la	Isc	la	Isc

3.3.3 Tijd-stroomdiagram HVK1.2 (vlamboogstroom HVK1.2 in blauw)



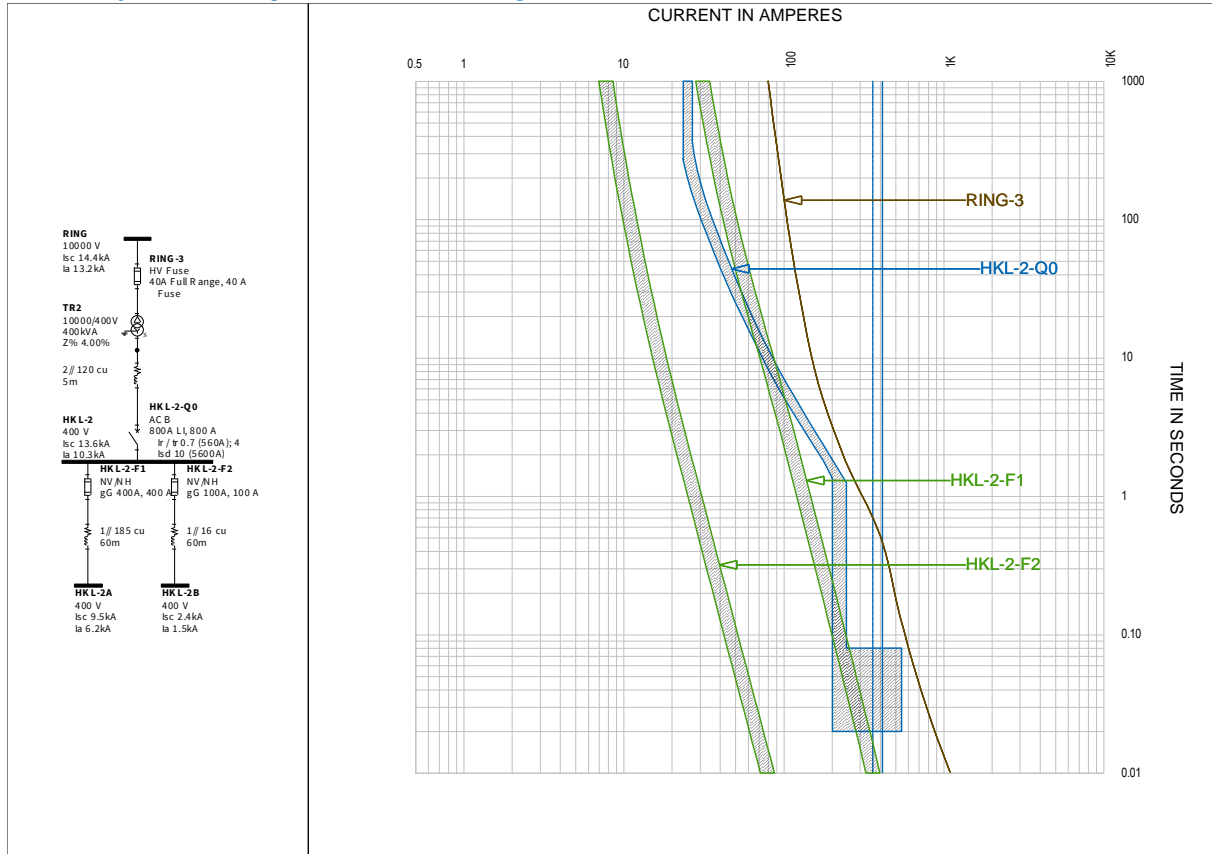
3.3.3.1 Tabel: vlambooggevaar voor tijd-stroomdiagram HVK1.2

Label # Scenario	Naam / beveiliging (zijde) Beveiliging	Volt Isc	Gel. afs Ia	Config t	Afmetingen Energie	Werkafs Grens
#006	HVK-1.2 (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK1.2-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
#006.1	HVK-1.2 / HVK1.2-Q0 (LINE)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	RING-2	26.4 kA	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²	5.9 m
#007	HVK-1.2A (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK-1.2-F1	14.2 kA	9.4 kA	0.01 s	0.3 cal/cm ²	0.2 m
#008	HVK-1.2B (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HVK-1.2-F2	2.6 kA	1.6 kA	0.04 s	0.1 cal/cm ²	0.1 m

3.3.3.2 Tabel: selectiviteit voor tijd-stroomdiagram HVK1.2

Toestel	Selectiviteit met stroomafwaarts toestel					
	HVK1.2-Q0		HVK-1.2-F1		HVK-1.2-F2	
RING-2	Ia	Isc	Ia	Isc	Ia	Isc
HVK1.2-Q0						

3.3.4 Tijd-stroomdiagram HKL2 (vlamboogstroom HKL-2 in blauw)



3.3.4.1 Tabel: vlambooggevaar voor tijd-stroomdiagram HKL2

Label # Scenario	Naam / beveiliging (zijde) Beveiliging	Volt Isc	Gel. afs Ia	Config t	Afmetingen Energie	Werkafs Grens
#009	HKL-2 (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HKL-2-Q0	13.6 kA	10.3 kA	0.08 s	2.3 cal/cm ²	0.7 m
#009.1	HKL-2 / HKL-2-Q0 (LINE)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	RING-3	13.6 kA	9.0 kA	0.75 s	18.4 cal/cm ²	2.1 m
#010	HKL-2A (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HKL-2-F1	9.5 kA	6.2 kA	0.09 s	1.5 cal/cm ²	0.5 m
#011	HKL-2B (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HKL-2-F2	2.4 kA	1.5 kA	0.05 s	0.2 cal/cm ²	0.2 m

3.3.4.2 Tabel: selectiviteit voor tijd-stroomdiagram HKL2

Toestel	Selectiviteit met stroomafwaarts toestel					
	HKL-2-Q0		HKL-2-F1		HKL-2-F2	
RING-3	Ia	Isc	Ia	Isc	Ia	Isc
HKL-2-Q0						

3.4 IEC 60909 Berekening

3.4.1 Tabel: resultaten van IEC 60909 berekening

Label #	Naam	Volt	Scenario	Ik''	Ip	Ik	Ik''(SLG)	Ip(SLG)
-	RING	10000 V	net	15.9 kA	39.2 kA	15.9 kA	0.0 kA	0.0 kA
			par	15.9 kA	39.2 kA	15.9 kA	0.0 kA	0.0 kA
			nood	-	-	-	-	-
#001	HVK1.1	400 V	net	28.8 kA	66.4 kA	28.8 kA	29.4 kA	67.4 kA
			par	53.4 kA	135.9 kA	53.4 kA	55.8 kA	128.3 kA
			nood	-	-	-	-	-
#002	GEN	400 V	net	-	-	-	-	-
			par	-	-	-	-	-
			nood	4.1 kA	9.5 kA	1.1 kA	4.1 kA	10.2 kA
#003	HVK1.1-1	400 V	net	25.8 kA	51.0 kA	25.8 kA	25.1 kA	48.6 kA
			par	43.2 kA	90.8 kA	43.2 kA	41.4 kA	73.6 kA
			nood	4.1 kA	9.4 kA	1.1 kA	4.1 kA	10.0 kA
#004	HVK1.1-1A	400 V	net	14.5 kA	23.8 kA	14.5 kA	12.1 kA	20.1 kA
			par	18.2 kA	32.7 kA	18.2 kA	14.8 kA	23.4 kA
			nood	3.7 kA	7.8 kA	1.1 kA	3.6 kA	7.8 kA
#005	HVK1.1-1B	400 V	net	3.2 kA	4.6 kA	3.2 kA	2.7 kA	3.8 kA
			par	3.2 kA	5.4 kA	3.2 kA	2.7 kA	3.9 kA
			nood	2.4 kA	3.6 kA	1.0 kA	2.1 kA	3.1 kA
#006	HVK-1.2	400 V	net	28.8 kA	66.4 kA	28.8 kA	29.4 kA	67.4 kA
			par	53.4 kA	135.9 kA	53.4 kA	55.8 kA	128.3 kA
			nood	-	-	-	-	-
#007	HVK-1.2A	400 V	net	15.7 kA	26.7 kA	15.7 kA	13.3 kA	22.8 kA
			par	20.5 kA	37.7 kA	20.5 kA	16.7 kA	27.1 kA
			nood	-	-	-	-	-
#008	HVK-1.2B	400 V	net	3.2 kA	4.7 kA	3.2 kA	2.7 kA	3.9 kA
			par	3.3 kA	5.5 kA	3.3 kA	2.8 kA	4.0 kA
			nood	-	-	-	-	-
#009	HKL-2	400 V	net	14.6 kA	30.9 kA	14.6 kA	14.7 kA	31.0 kA
			par	14.6 kA	30.9 kA	14.6 kA	14.7 kA	31.0 kA
			nood	-	-	-	-	-
#010	HKL-2A	400 V	net	10.3 kA	18.3 kA	10.3 kA	9.2 kA	16.3 kA
			par	10.3 kA	18.3 kA	10.3 kA	9.2 kA	16.3 kA
			nood	-	-	-	-	-
#011	HKL-2B	400 V	net	3.1 kA	4.4 kA	3.1 kA	2.6 kA	3.7 kA
			par	3.1 kA	4.4 kA	3.1 kA	2.6 kA	3.7 kA
			nood	-	-	-	-	-

3.4.2 Tabel: verklaring kopteksten resultaten van IEC 60909 berekening

Kop	Omschrijving
Label #	Identificatienummer van het label
Naam	Plaats van de kortsluiting
Scenario	Schakelconfiguratie gebruikt in de berekening
Volt	Nominale spanning[V]
Ik''	Driefase subtransiënte symmetrische kortsluitstroom (rms) [kA]
Ip	Driefase piek kortsluitstroom [kA]
Ik	Driefase stationaire symmetrische kortsluitstroom (rms) [kA]
Ik''(SLG)	Eenfase subtransiënte symmetrische kortsluitstroom (rms) [kA]
Ip(SLG)	Eenfase piek kortsluitstroom [kA]



3.4.3 Tabel: evaluatie kortsluitstroom schakelaars

	symmetrische toegekende stroom	IEC 60909 I''_k	asymmetrische piekstroom	IEC 60909 I_p
HVK1.1 / 1.2	65 / 70 / 120 kA	53.4 kA	143 / 154 / 220 kA	135.9 kA
HKL2	65 / 120 kA	14.6 kA	143 / 220 kA	30.9 kA

3.4.4 Tabel: referentie voor evaluatie kortsluitstroom

	symmetrische onderbrekingsstroom	symmetrische toegekende stroom	asymmetrische piekstroom
Studie resultaten (IEC 60909)	I'' _k , I _b (1)	I _k	I _p
LS Schakelmateriaal (IEC 61439)	-	I _{cw}	I _{pk}
LS Vermogensschakelaars (IEC 60947)	I _{cu} , I _{cs} (2)	I _{cw}	I _{cm}
MS Schakelmateriaal (IEC 62271)	-	I _k	I _{ma}
MS Vermogensschakelaars (IEC 62271)	I _{sc}	I _k	I _{ma}

(1): I''_k is de initiële symmetrische stroom, met de maximale AC component. I_b is de onderbrekingsstroom op het moment dat de schakelaar opent, deze kan lager zijn dan I''_k afhankelijk van de tijd.

(2): I_{cu} is de maximale onderbrekingsstroom (slechts 1 keer of onder voorwaarden), I_{cs} is de bedrijfsonderbrekingsstroom.



3.5 Gedetailleerde vlamboogberekening

3.5.1 Tabel: resultaten van IEEE 1584-2018 berekening

Label # Scenario	Bus name / PD name (side) Prot Dev	Volt Isc	Gap la	Config t	Dimensions Energy	Work D Boundary
-	RING (BUS) MaxTripTime @2.0s	10000 V 14.4 kA	152 mm 13.2 kA	VCBB 2.00 s	114x76x76cm 51.3 cal/cm²	91 cm 8.3 m
net	MaxTripTime @2.0s	14.4 kA	13.2 kA	2.00 s	51.3 cal/cm ²	8.3 m
par	MaxTripTime @2.0s	14.4 kA	13.2 kA	2.00 s	51.3 cal/cm ²	8.3 m
#001	HVK1.1 (BUS) HVK1.2-Q0	400 V 49.1 kA	25 mm 31.9 kA	VCBB 0.14 s	50x50x25cm 14.4 cal/cm²	46 cm 1.8 m
net	HVK1.1-Q0	26.4 kA	20.0 kA	0.14 s	8.5 cal/cm ²	1.4 m
par	HVK1.1-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
par	HVK1.2-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
#001.1	HVK1.1 / HVK1.1-Q0 (LINE) RING-1	400 V 26.4 kA	25 mm 20.0 kA	VCBB 2.00 s	50x50x25cm 122.1 cal/cm²	46 cm 5.9 m
net	RING-1	26.4 kA	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²	5.9 m
par	HVK1.1-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
par	RING-1	49.1 kA	31.9 kA	2.00 s	119.8 cal/cm ²	5.8 m
#002	GEN (BUS) MaxTripTime @2.0s	400 V 3.8 kA	25 mm 2.8 kA	VCBB 2.00 s	50x50x25cm 12.9 cal/cm²	46 cm 1.7 m
nood	MaxTripTime @2.0s	3.8 kA	2.8 kA	2.00 s	12.9 cal/cm ²	1.7 m
#003	HVK1.1-1 (BUS) GEN-Q0	400 V 3.8 kA	25 mm 2.7 kA	VCBB 2.00 s	50x50x25cm 12.8 cal/cm²	46 cm 1.7 m
net	HVK1.1-Q1	23.5 kA	17.9 kA	0.00 s	0.0 cal/cm ²	0.0 m
par	HVK1.1-Q1	39.3 kA	27.8 kA	0.00 s	0.0 cal/cm ²	0.0 m
nood	GEN-Q0	3.8 kA	2.7 kA	2.00 s	12.8 cal/cm ²	1.7 m
#004	HVK1.1-1A (BUS) HVK1.1-1-F1	400 V 3.5 kA	25 mm 2.5 kA	VCBB 2.00 s	50x50x25cm 11.5 cal/cm²	46 cm 1.6 m
net	HVK1.1-1-F1	12.9 kA	8.6 kA	0.02 s	0.5 cal/cm ²	0.3 m
par	HVK1.1-1-F1	16.1 kA	10.7 kA	0.01 s	0.2 cal/cm ²	0.2 m
nood	HVK1.1-1-F1	3.5 kA	2.5 kA	2.00 s	11.5 cal/cm ²	1.6 m
#005	HVK1.1-1B (BUS) HVK1.1-1-F2	400 V 2.0 kA	25 mm 1.3 kA	VCBB 0.11 s	50x50x25cm 0.3 cal/cm²	46 cm 0.2 m
net	HVK1.1-1-F2	2.5 kA	1.6 kA	0.05 s	0.2 cal/cm ²	0.1 m
par	HVK1.1-1-F2	2.5 kA	1.6 kA	0.04 s	0.1 cal/cm ²	0.1 m
nood	HVK1.1-1-F2	2.0 kA	1.3 kA	0.11 s	0.3 cal/cm ²	0.2 m
#006	HVK-1.2 (BUS) HVK1.2-Q0	400 V 49.1 kA	25 mm 31.9 kA	VCBB 0.14 s	50x50x25cm 14.4 cal/cm²	46 cm 1.8 m
net	HVK1.2-Q0	26.4 kA	20.0 kA	0.14 s	8.5 cal/cm ²	1.4 m
par	HVK1.1-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
par	HVK1.2-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
#006.1	HVK-1.2 / HVK1.2-Q0 (LINE) RING-2	400 V 26.4 kA	25 mm 20.0 kA	VCBB 2.00 s	50x50x25cm 122.1 cal/cm²	46 cm 5.9 m
net	RING-2	26.4 kA	20.0 kA	2.00 s	122.1 cal/cm ²	5.9 m
par	HVK1.2-Q0	49.1 kA	31.9 kA	0.14 s	14.4 cal/cm ²	1.8 m
par	RING-2	49.1 kA	31.9 kA	2.00 s	119.8 cal/cm ²	5.8 m
#007	HVK-1.2A (BUS) HVK-1.2-F1	400 V 14.2 kA	25 mm 9.4 kA	VCBB 0.01 s	50x50x25cm 0.3 cal/cm²	46 cm 0.2 m
net	HVK-1.2-F1	14.2 kA	9.4 kA	0.01 s	0.3 cal/cm ²	0.2 m
par	HVK-1.2-F1	18.3 kA	14.0 kA	0.00 s	0.2 cal/cm ²	0.2 m
#008	HVK-1.2B (BUS) HVK-1.2-F2	400 V 2.6 kA	25 mm 1.6 kA	VCBB 0.04 s	50x50x25cm 0.1 cal/cm²	46 cm 0.1 m
net	HVK-1.2-F2	2.6 kA	1.6 kA	0.04 s	0.1 cal/cm ²	0.1 m
par	HVK-1.2-F2	2.6 kA	1.6 kA	0.04 s	0.1 cal/cm ²	0.1 m
#009	HKL-2 (BUS) HKL-2-Q0	400 V 13.6 kA	25 mm 10.3 kA	VCBB 0.08 s	50x50x25cm 2.3 cal/cm²	46 cm 0.7 m
net	HKL-2-Q0	13.6 kA	10.3 kA	0.08 s	2.3 cal/cm ²	0.7 m
par	HKL-2-Q0	13.6 kA	10.3 kA	0.08 s	2.3 cal/cm ²	0.7 m
#009.1	HKL-2 / HKL-2-Q0 (LINE) RING-3	400 V 13.6 kA	25 mm 9.0 kA	VCBB 0.75 s	50x50x25cm 18.4 cal/cm²	46 cm 2.1 m
net	RING-3	13.6 kA	9.0 kA	0.75 s	18.4 cal/cm ²	2.1 m
par	RING-3	13.6 kA	9.0 kA	0.75 s	18.4 cal/cm ²	2.1 m



Label # Scenario	Bus name / PD name (side) Prot Dev	Volt Isc	Gap Ia	Config t	Dimensions Energy	Work D Boundary
#010	HKL-2A (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HKL-2-F1	9.5 kA	6.2 kA	0.09 s	1.5 cal/cm ²	0.5 m
	net par	HKL-2-F1 HKL-2-F1	9.5 kA 9.5 kA	6.2 kA 6.2 kA	0.09 s 0.09 s	1.5 cal/cm ² 1.5 cal/cm ²
#011	HKL-2B (BUS)	400 V	25 mm	VCBB	50x50x25cm	46 cm
	HKL-2-F2	2.4 kA	1.5 kA	0.05 s	0.2 cal/cm ²	0.2 m
	net par	HKL-2-F2 HKL-2-F2	2.4 kA 2.4 kA	1.5 kA 1.5 kA	0.05 s 0.05 s	0.2 cal/cm ² 0.2 cal/cm ²

3.5.2 Tabel: verklaring opteksten resultaten van IEEE 1584-2018 berekening

Kop	Omschrijving
Label #	Identificatienummer van het label
Naam / beveiliging (zijde)	Plaats van de vlamboog
Volt	Nominale spanning[V]
Gel.afs	Typische afstand [mm] tussen de fasen van het schakelmateriaal
Config	Electrode configuratie: VCB: verticale geleiders in een box VCBB: verticale geleiders in een box met onderbreking HCB: horizontale geleiders in een box VOA: verticale geleiders in open lucht HOA: horizontale geleiders in open lucht
Afmetingen	Afmetingen van de box rondom de vlamboog: hoogte, breedte, diepte [cm]
Werkafs	De werkafstand tussen de bron van de vlamboog en het gezicht of de borst van de medewerker
Scenario	Schakelconfiguratie gebruikt in de berekening
Beveiliging	Toestel dat de vlamboog onderbreekt
Isc	Totaal van de stroom [kA] bij een kortsluiting
Ia	Totaal van de stroom [kA] bij een vlamboog
t	Vertragingstijd [s] van een beveiligingstoestel voor het aanspreken op een vlamboogstroom
Energie	Vlamboogenergie [cal/cm ²] op werkafstand van de vlamboog
Grens	De afstand [m] waarbij het gevaar is gereduceerd tot 1.2 cal/cm ²

4 Gevarenidentificatie en methode

4.1 Vlambooggevaar

Een vlamboog ontstaat wanneer elektrische stroom zich door lucht verplaatst in plaats van een geleider. Meestal wordt dit veroorzaakt door een overslag of wanneer geleidend materiaal tijdelijk een ander pad voor de stroom maakt. De hoge weerstand van lucht zorgt dat veel energie wordt omgezet in warmte. Deze warmte gaat gepaard met infrarode straling, een drukgolf, gesmolten metaal en metaaldamp. Samen kunnen deze effecten een gevaarlijke werkomgeving vormen die tot zware brandwonden of zelfs de dood kunnen leiden.

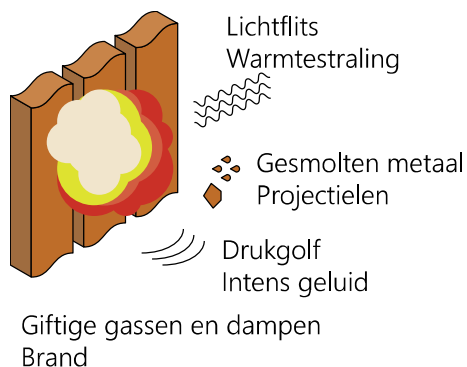
Vlam: vrijkomen van energie, waaronder een felle lichtflits

Boog: elektrische stroom door lucht, veroorzaakt door menselijke fouten of defecte apparatuur

Gevaar: het gevaar voor mensen in de nabijheid van de boog

Schakelmateriaal en werkmethode zijn ontworpen om personeel van onder spanning staande delen te scheiden met behulp van barrières. Goed onderhouden moderne apparatuur heeft een zeer lage kans op spontaan veroorzaken elektrische bogen, vlambogen zijn daarom zeldzaam.

Lucht is een slechte geleider van elektriciteit en het is niet gemakkelijk om een stroom tot stand te brengen. In de meeste elektrische systemen wordt het zelfs gebruikt als de belangrijkste vorm van isolatie! Als echter door spanningspieken of vallende onderdelen een tijdelijke overslag optreedt is het mogelijk dat er een langdurige vlamboog ontstaat. Een aanhoudende stroom door lucht leidt tot het vrijkomen van energie op verschillende manieren:



Straling: een lichtflits als gevolg van hoge temperatuur (tot 20.000 °C)

Metaaldamp: op het punt waar de boog de elektrische geleiders treft wordt metaal (koper of aluminium) verdampt

Druk golf: metaaldamp zet uit op een explosieve manier, waardoor een drukgolf ontstaat en losse onderdelen met hoge snelheid naar buiten vliegen

4.1.1 Gevaar van elektrische spanning en vlambogen

De belangrijkste reden dat vlambogen minder aandacht krijgen in regulering is dat deze op het grootste deel van een elektrische verdeling geen groot risico met zich meebrengen. Bij een verdeler met een nominale stroom onder de 100 ampère is het onwaarschijnlijk dat er bij een vlamboog een gevaarlijke hoeveelheid energie vrijkomt. Bij hoofdverdelers kan de energie echter catastrofale vormen aannemen.

Dit is een groot verschil met aanraakgevaar, die enkel afhangt van de spanning. Een elektrische schok van een kleine onderverdeler is net zo gevaarlijk als die van een hoofdverdeler. Omdat er veel meer aan onderverdelers wordt gewerkt komen dit bij een risico-inventarisatie al snel bovenaan de lijst.

Een algemene oplossing voor vlamboogrisico is vaak niet te vinden of heeft zeer beperkte effectiviteit. Standaard PBM's kunnen bijvoorbeeld bescherming bieden die voor 90% van de werkzaamheden niet nodig is en voor 5% juist veel te weinig. Voor een juiste omgang met vlamboogrisico is het dus van belang om zich te richten op taken die misschien niet vaak plaatsvinden, maar wel een hoog gevaar met zich meebrengen.

4.2 Methode voor risico-inventarisatie

Precieze statistieken over ongelukken met vlambogen zijn niet beschikbaar. Toch valt het in te schatten als naar alle ongelukken met elektriciteit in Nederland wordt gekeken. In nieuwsberichten over elektrische bedrijfsongevallen met zwaargewonden of doden wordt vaak over brandwonden gesproken. Het is daarom aannemelijk dat vlambogen een significant deel uitmaken van bedrijfsongevallen met elektriciteit.

Met als uitgangspunten 100.000 werknemers die beroepsmatig blootgesteld zijn aan elektrische risico's en 1 dode en 10 zwaargewonden per jaar krijgen we de volgende ongevalkans per jaar voor vlamboogrisico:

Gevolgcategorie	Nederlands gemiddelde ongevalkans per jaar	Acceptabele grens ongevalkans per jaar
meerdere doden	1x in de tien jaar (10^{-6})	1x in de tien jaar (10^{-6})
enkele dode	1x per jaar (10^{-5})	1x per jaar (10^{-5})
zwaargewonde	10x per jaar (10^{-4})	10x per jaar (10^{-4})

Op het eerste gezicht lijkt er geen directe aanleiding om aanvullende maatregelen te nemen om vlamboogrisico te verminderen, de ongevalkans is immers gelijk aan de acceptabele grens. Dit is echter een gemiddelde kans van alle 100.000 werknemers die beroepsmatig blootgesteld zijn aan elektrische risico's. Als er situaties zijn met een bovengemiddelde kans op een ongeval moeten er aanvullende maatregelen genomen worden.

Als voorbeeld: werkzaamheden zoals veiligstellen en weer in bedrijfstellen van hoofdverdelers of grote MCC's worden bij sommige bedrijven door een kleine groep werknemers gedaan. Contractors of ander personeel gaan pas aan het werk als deze is vrijgegeven. Deze kleine groep die veiligstelt loopt binnen dit bedrijf een veel groter risico dan een gemiddelde elektricien.

4.2.1 Risicobeoordelingsmethode

Zowel NFPA 70E als EN 50110 vereisen een risicobeoordeling voor vlamboogrisico maar schrijven geen methode voor. Eén mogelijke methode is met gebruik van een risicomatrix. Hierbij wordt kans en effect gecombineerd om een risicoclassificatie te verkrijgen die bepaald of het risico in de huidige vorm acceptabel is.

Een risicomatrix specifiek voor vlamboogrisico ziet eruit als hieronder, de acceptabele ongevalkans die hierboven is vastgesteld is met een ster aangegeven.

	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
meerdere doden	*				
enkele dode		*			
zwaargewonde			*		
geen blijvend letsel					
kleine EHBO letsels					



4.2.2 Classificatie van gevaar

Om het gevaarniveau te bepalen wordt gebruik gemaakt van de norm IEEE 1584 om de vlamboogenergie en vlambooggrens te bepalen. De berekening is gebaseerd op onder andere de kortsluitstroom, karakteristieken van beveiligingen en ontwerp van verdelers. Het effect van vlamboogenergie kan als volgt worden ingedeeld:

vlamboogenergie	Gevolg
Minder dan 1.2 cal/cm ²	kleine EHBO letsels
1.2 – 12 cal/cm ²	enkele dode
Meer dan 12 cal/cm ²	meerdere doden

4.2.3 Classificatie van kans

Aan verschillende taken kunnen verschillende kansen worden toegewezen, NFPA 70E tabel 130.5(C) biedt hierbij houvast. Hier kunnen zo nodig ook andere factoren die invloed hebben op de kans op een vlamboog worden meegenomen zoals onderhoudstoestand van verdelers.

Taakomschrijving	Kans
Inspectie, openen van deuren die niet leiden tot blootstelling aan onder spanning staande delen.	10 ⁻⁶
Inspectie zonder contact zoals thermografie.	10 ⁻⁵
Activiteiten aan of in de buurt van onder spanning staande delen. Meten spanningsloosheid.	10 ⁻⁴

4.2.4 Risicobeoordeling

Door beide classificaties te combineren blijft een compacte risicomatrix over met relevante verschillen.

	< 1.2 cal/cm ²	1.2 – 12 cal/cm ²	> 12 cal/cm ²
Inspectie, openen van deuren die niet leiden tot blootstelling aan onder spanning staande delen.	Geel	Geel	Rood
Inspectie zonder contact zoals thermografie.	Geel	Rood	Rood
Activiteiten aan of in de buurt van onder spanning staande delen. Meten spanningsloosheid.	Geel	Rood	Rood

Rood: Ongewenst, alleen acceptabel indien risicovermindering onpraktisch is of de kosten en baten ver buiten proportie liggen.

Geel: Te tolereren als de kosten van maatregelen boven de baten uitvallen.

Groen: Acceptabel, maar monitoren kan nodig zijn.

4.3 Risicobeheersing

Wanneer de risico-inventarisatie resulteert in situaties met een hoog risico moeten maatregelen worden genomen om het risico van die situaties te verlagen. De arbeidshygiënische strategie is een systeem dat wordt gebruikt in veiligheidskunde om ervoor te zorgen dat passieve oplossingen aan de bron worden toegepast vóór persoonlijke beschermingsmiddelen.

Eliminatie is het meest effectieve type beheersmaatregel. Deze is gericht op het risico volledig weg te nemen. Indien mogelijk is het niet uitvoeren van het werk de meest effectieve manier om blootstelling te vermijden.

Als verdelers niet meer wordt gebruikt maar nog steeds onder spanning staan, moeten bepaalde werkzaamheden zoals onderhoud mogelijk nog steeds plaatsvinden. Als wordt vastgesteld dat het risico groot is op apparatuur die ongebruikt is, wordt door het verwijderen van deze apparatuur ook het risico weggenomen.



Substitutie van het oorspronkelijke risico door een gereduceerd risico moet worden onderzocht als het niet volledig kan worden geëlimineerd. Deze maatregelen moeten passief en collectief zijn: de veiligheid die ze bieden moet op iedereen van toepassing zijn zonder dat aanvullende maatregelen of voorzorgsmaatregelen genomen zijn.

Oudere verdelers hebben mogelijk onvoldoende bescherming van actieve delen. Het vervangen van de apparatuur of het installeren van een IP2X-klasse afscherming vermindert het risico op werken waarbij toegang tot actieve delen niet nodig is, zoals inspectie of bedienen.

Elektrische verdelers die zijn getest als vlamboogvast kunnen de energie van een elektrische boog binnenhouden, waardoor het risico voor werknemers wordt beperkt. Deze tests worden uitgevoerd onder specifieke omstandigheden, met name dat de deuren van de verdelers zijn gesloten en vergrendeld. Het risico is dus alleen beperkt voor taken die aan deze voorwaarden voldoen.

Technische oplossingen bieden risicoreductie door wijzigingen in het ontwerp of beveiliging van verdelers die het risico bij de bron verminderen.

Hoge instellingen van vermogensschakelaars zijn een veelvoorkomende oorzaak van hoog vlambooggevaar dat kan worden opgelost door deze instellingen te verlagen. Soms is het type beveiliging ontoereikend, bijvoorbeeld wanneer zekeringen of schakelaars die niet kunnen worden ingesteld. In de meeste gevallen kunnen deze worden vervangen door een schakelaar met een verstelbare beveiliging.

Eventuele nieuwe instellingen van beveiligingen mogen niet leiden tot ongewenste afschakelen of verminderde selectiviteit met andere beveiligingsapparaten. Een analyse van de belasting en beveiligingen kan helpen bij het selecteren en toepassen van geschikte instellingen.

Detectie van vlambogen kan een probleem zijn door lage foutstromen. Om dit op te lossen kunnen apparaten die de lichtflits van de boog detecteren worden gebruikt. Hoewel de detectie erg snel is, is het systeem nog steeds afhankelijk van schakelaars om de fout te onderbreken. Als beveiligingen en hun instellingen juist zijn gekozen, is de mogelijke risicobeperking van deze systemen niet heel groot.

Als permanente instellingswijzigingen onaanvaardbare gevolgen zouden hebben voor de stabiliteit van het systeem of selectiviteit kan een onderhoudsschakelaar worden overwogen. Een onderhoudsschakelaar biedt schakelbare lagere beschermingsinstellingen voor een schakelaar. Het activeren van de onderhoudsschakelaar verlaagt tijdelijk het gevaar op de gewenste locatie.

Wanneer meerdere bronnen een verdeler kunnen voeden kan een vergrendeling die parallelle werking verhindert het gevaar op betrouwbare wijze verminderen. Wanneer parallelbedrijf gewenst is vanuit een operationeel perspectief, kan een automatisch overdrachtssysteem worden gebruikt dat de parallelle situatie tot enkele seconden beperkt.

Administratieve oplossingen zijn maatregelen die afhankelijk zijn van de vaardigheden en kennis van de medewerker om een veilige werkomgeving te creëren.

Spanningstesten is een activiteit waarbij mogelijke blootstelling aan vlambogen, hoe klein de kans ook, onvermijdelijk is. Voor locaties met een hoog risico die niet kunnen worden verlaagd door technische maatregelen, kan het boogrisico worden verminderd door een back-



opmeting uit te voeren om een extra zekerheid in te bouwen dat de apparatuur spanningsloos is.

Om personeel bewust te maken en te houden van de risico's van elektrische bogen, moet training worden gegeven aan iedereen die eraan kan worden blootgesteld. Met name buiten de NFPA 70E-rechtsgebieden omvat de training voor elektrisch gekwalificeerd personeel meestal geen uitgebreide training over vlambogen.

Persoonlijke beschermingsmiddelen kunnen worden gebruikt om enig restrisico te mitigeren. Meer en zwaardere PBM's zijn vereist om te beschermen tegen hogere waarden van vlamboogenergie.

Vlamboogenergie	PPE required
Onder 1.2 cal/cm ²	Er zijn geen specifieke PBM's vereist door de lage energie die vrijkomt. Synthetische stoffen die kunnen smelten moeten worden verboden voor elke vorm van elektrisch werk.
Tussen 1.2 cal/cm ² en 12 cal/cm ²	Kleding met toegekende beschermingswaarde gelijk aan of groter dan de geschatte vlamboogenergie Shirt met lange mouwen en broek of overall of vlamboogpak (SR) Arc-rated gezichtsbescherming en Arc-rated bivakmuts of vlamboog pak en kap (SR) Bovenkleding met boograting (bijv. Jas, parka, regenkleding, helmvoering) (AN) Zware lederen handschoenen, handschoenen met booglassen of rubberen isolerende handschoenen met lederen beschermers (SR) Harde hoed Veiligheidsbril of veiligheidsbril (SR) Gehoorbescherming Leren schoenen
Boven 12 cal/cm ²	Kleding met boogclassificatie met een boogwaarde gelijk aan of groter dan de geschatte invallende energie T-shirt met lange mouwen en broek of overall of vlamboogpak (selectie vereist) Arc-rated arc flash pak en capuchon Bovenkleding met boograting (bijvoorbeeld jas, parka, regenkleding, helmvoering) (indien nodig) Handschoenen met booglassen of rubberen isolerende handschoenen met leren beschermers (selectie vereist) Harde hoed Veiligheidsbril of veiligheidsbril (selectie vereist) Gehoorbescherming Leren schoenen

