

# DC ARK FLASH ANALIZI NASIL YAPILIR



Aydın Keçeci  
Elektrik Mühendisi

# Ark flash çalışmalarının tarihi

- 1980 yılında ilk defa ralph lee açık hava ark (open in air arc) hesaplamalarını geliştirdi (**Düşük gerilim tesisler için kullanılır**)
- 1980 yılında du pount firması bu konuda nomex isimle alevi geciktiren ürünü çıkardı.
- 1998 yılında 3 kişi doryth ,neill , floyd (IEEE komite üyesi) ilk defa kutu içi ark hesaplarını geliştirdi.
- NFPE 70E 2002 yılında HRC katagorilerini belirliyerek yayınlandı.
- DC sistemlerde oluşan arc ile ilgili ilk makale 2010 yılında daniel duan tarafından yazılmıştır.
- 2012 yılında NFPA 70E ek baskısında bu formülü yasallaştırılmış olmasına rağmen uluslararası bir yasa henüz yoktur. Tamamen yerel USA da geçerli bir yasadır.

# KISA DEVRE ÇEŞİTLERİ

## BOLTED

- FAZ – FAZ
- FAZ –NÖTR
- METALİN DEĞMESİ İLE OLUŞAN KISA DEVRE



## ARK

HAVANIN İYONİZE OLMASI SONUCU OLUŞAN ARK

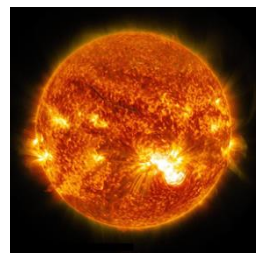
**ARK KISA DEVRE AKIMI HİÇBİR ZAMAN BOLTED KISA DEVRE AKIMINDAN BÜYÜK DEĞİLDİR.**



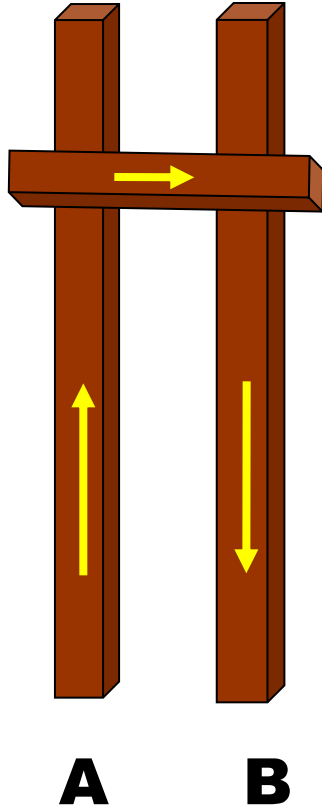
# ARK

Metal ile oluşan  
kısa devre  
Bolted short  
circuit

Hava  
yoğunluklu  
kısa devre  
Arc fault

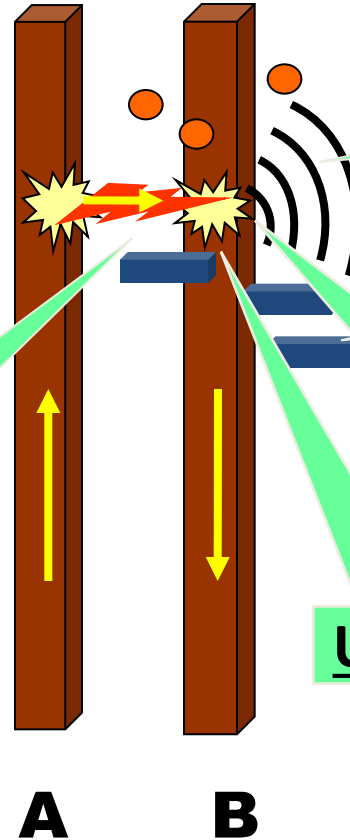


Basınç...1.400.000 kgf/m<sup>2</sup>  
Ses..... 140 dB  
Isı..... 10.000-20.000 C<sup>0</sup>



Bakır buharı /  
Toksit

Yüksek basınç



Erimiş Metal

Ses dalgası

Şarapnel

Yüksek ısı

UV ışık

Alaşım olarak Tantalumhofniyumkarbittir. (Ta<sub>4</sub>HfC<sub>5</sub>) 4215 °C erir  
Metal olarak C (Karbon) 4427 °C erir.

# ARK ÇEŞİTLERİ

Open Air Arc

Arc in a Box

Ejected Arc

Tracking Arc

Running/ Traveling Arc



# Open Air Arc



Enerji her yöne yayılır.

# Arc in a box



Enerji tek yöne yayılır.

**Elektrik kazalarında ölümlerin %80'i elektrik çarpması değil ark patlaması sonucu meydana gelmektedir..**

**Bazen arkın oluşturduğu plazma magnetik alandan etkilenerek tek yönlü olarak ark in a box tnda şiddetli olabilir. (enjected ark)**

**Tracking arkta KKD lerin üzerinde yürüyerek elbisenizin içine girerek iç çamaşırlarlarınızı yakarak cildinizde önemli yanıklara sebep olurlar. (Tracking ark)**

# NFPE 70E

## ARC (ESKİ HRC)

Enerji Seviyesi Cal/ cm <sup>2</sup>	Enerji Seviyesi Joul/cm <sup>2</sup>	Tehlike risk Katagorisi (HRC)	Min KKD cal/cm2	FR kıyafetsiz yarattığı
0 - 1,2	0 - 5	0 iptal oldu	4	2 ci derece yanık
1,3 - 4	5,01 - 16,74	1	4	Pamuklu kıyafet yanar
4,1 - 8	16,75 - 33,47	2	8	3.cü derece ciddi yanıkla
8,1 - 25	33,48 - 104,6	3	25	Ölümcül yanıklar ,organ
25,1 - 40	104,7 - 167,36	4	40	Kötü Ölüm

IEC 61482-1-1 (open air metod A) 10,25 cal/cm<sup>2</sup>

IEC 61482-1-2 (Box metod B) Class 1 3,036 cal/cm<sup>2</sup> >158 kJoule  
Class 2 8,426 cal/cm<sup>2</sup> >318 kJoule

ATPV veya EBT  
eşiği olarak geçer

CENELEC , IEC 61482-1-2 2014 te onayladı. (2007 onaylı değildir.)

# Ark flash analizinden ne beklenir

- Oluşacak enerji hesaplanır.  $\text{cal/cm}^2$  veya  $\text{kJoule/m}^2$
- Tehlike belirlenir ve azaltma önlemleri yapılır
- Yaklaşım mesafesi hesaplanır.
- Uyarı etiketleri ile çalışanlar bilgilendirilir.
- KKD lerin seçimi yapılır.
- Çalışma şartları belirlenir.



# ARK ETKİSİ

- Ralph lee göstermiştir ki insan derisinde  $96^{\circ}\text{C}$  üzerinde ısıya 0,1sn maruz kalınca de 3 cü derece çok kötü yanıklar meydana gelebilmektedir.  $80^{\circ}\text{C}$  üzeri ise 2 ci derece yanıklar oluşmaktadır.
- Ark flaş parlaması neticesinde 3m uzaklıktaki bir kişiyi öldürebilir.
- ABD de 2014 yılında elektrik kaynaklı 961 ağır yanma şekilli yaralanma meydana gelmiştir.

# ARK KAYNAKLI YARALANMALAR

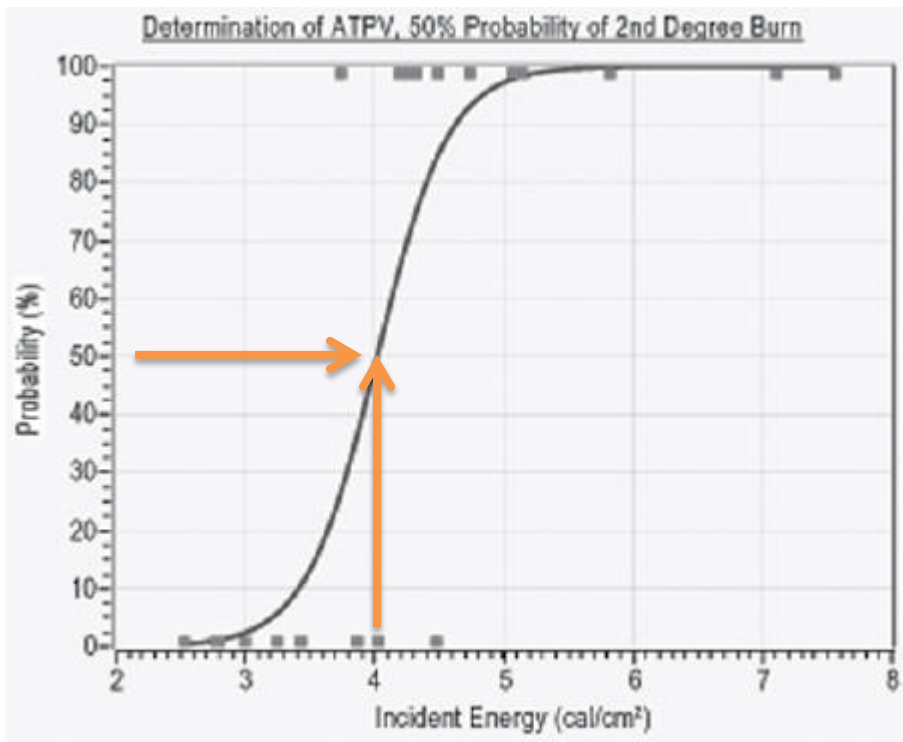
- 1) Termal yanık yaralanması
- 2) Patlama basınç dalgası yaralanması
- 3) İşitme kaybı yaralanması
- 4) Zararlı elektromanyetik emisyonlar
- 5) Yüksek toksik gazların salınımı
- 6) şarapnel yaralanması

# ISININ ETKİSİ

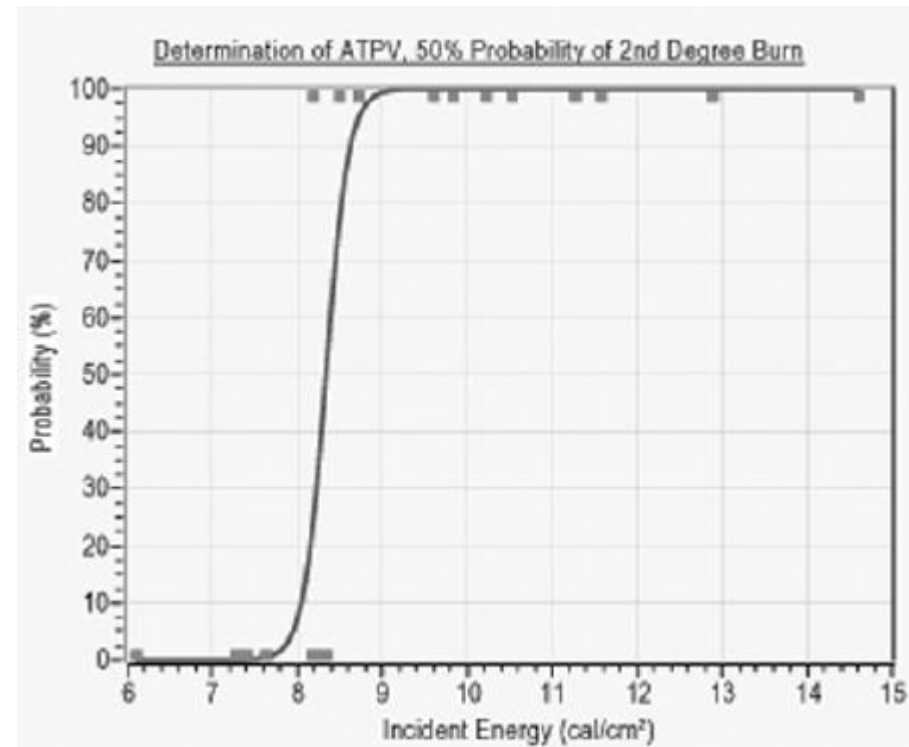
Deride iyileştirilebilen yanıklar.....	80 C
Deride hücre ölümleri (yanık izleri ).....	96 C
FR Kıyafetin ateşlenme başlangıcı.....	400-800 C
FR kıyafetin yanması .....	800 C
Arktan dolayı metalden fırlayan parça .....	1.000 C
Güneşin yüzey sıcaklığı.....	4.982 C
Ark .....	16.640 C

# 2.ci derece yanık olma ihtimali

**ARC 1 APTV 4**



**ARC 2 APTV 8,3**



# ARK FLASH ANALİZ HESAPLARI

## AC SİSTEMLER İÇİN

IEEE 1584

Lee Metodu

Duke metodu

Wilkins

Basitletirilmiş IEEE

NFPE 70E

ARCPRO II

Stokes/oppenlander

Tammy gammon

DGUV 203-077 ( Eski 5188)

VDE 0682-306-1-2



Bakır kalorimetre

(DC sistemler için)

Maksimum güç hesap yöntemi

a)Daniel Doan metodu

b)Ammerman metodu

Stokes ve oppenlander (1991)

Paukert (1993)

# DC Sistemlerde Enerji seviyeleri

- Level A 1.2 cal/cm<sup>2</sup>
- Level B 4 cal/cm<sup>2</sup>
- Level C 8 cal/cm<sup>2</sup>
- Level D 25 cal/cm<sup>2</sup>
- Level E 40 cal/cm<sup>2</sup>
- Level F 100 cal/cm<sup>2</sup>

1	2	3	4	5
HRC	cal/cm <sup>2</sup>	Joule/cm <sup>2</sup>	Kjoule/m <sup>2</sup>	Kıyafetlerin açıklanması
0	-	-	-	işlenmemiş pamuk,yün gibi alevlenebilir fakat erimeyen malzemeler ,min kumaş ağırlığı 150gr/m <sup>2</sup> <b>iptal edilmiştir</b>
1	4	15 16 16,74 17	150 160 167,4	ARC değerine uygun gömlek, pantolon veya tulum >135kj/m <sup>2</sup>
2	8	30 32 33,47 34	300 320 334,7	Class 2 ... >423 kjoule/m <sup>2</sup>
3	25	100 104,6 105	1000 1046	
4	40	160 167,36 168	1600 1673,4	

# Tesislerin elektriksel güvenlik indeksi

- ES = Elektriksel güvenlik değeri
- $f_{EH}$  = Elektriksel tehlike faktörü
- $f_{ENV}$  = Çevre Faktörü
- $f_{TEMAS}$  = Temasa olma ihtimali faktörü
- $f_{ARC}$  = Ark flash olma ihtimali faktörü
- $f_{TERMAL}$  = Termal yanık olma ihtimali faktörü
- $f_{INJURY}$  = Yaralanma faktörü

Eğitim ,  
İş kontrolü (**KKD giyip giymediği , çalışma kurallarına uyup uymadığı hariç** )  
Ekipmanın bakımı  
Tools ların nerede kullanıldığı  
Dead work çalışırken aniden enerji ile karşılaşılması gibi  
**Bunlar hesaplamalarda dikkate alınmaz**

$$ES = f_{EH} * (1 + f_{ENV} + f_{TEMAS} + f_{ARC} ) * f_{INJURY}$$

$$ESI = 200,000 * \frac{(ES_{olay 1}) + (ES_{olay 2}) + (ES_{olay 3}) \dots}{\text{Çalışma saati ( işçi sayısı x çalışma saati)}}$$

Termal tehlike ile ark tehlikesi asla beraber hesaba katılmaz. Eğer termal tehlikeyi baz alacaksanız ark tehlikesi yerine termal tehlike faktörü konulur.



# Faktör Hesaplamaları

$E_{ES}$ ELEKTRİKSEL TEHLİKE ÖNEMİ	
YÜKSEK	> 1750
ORTA	31- 1749
DÜŞÜK	0-30

$f_{EH}$ ELEKTRİKSEL TEHLİKE FAKTÖRÜ		
MAVİ	Tehlike yok	0
YEŞİL	Çok düşük tehlike	1
SARI	Orta Tehlike	10
KIRMIZI	Yüksek Tehlike	50
KOYU KIRMIZI	Çok yüksek tehlike	100

# FAKTÖRLER

$f_{\text{TEMAS}}$ ELEKTRİKSEL TEMAS YAKINLIK FAKTÖRÜ	$f_{\text{TEMAS}}$
Çarpılma tehlike sınırı dışında	0
Çarpılma tehlike sınırı içinde	1
Kıyafetli olduğu yer	3
Yasak bölge	10

$f_{\text{ARC}}$ ARK FLASH FAKTÖRÜ	$f_{\text{ARC}}$
AEK FLASH SINIRLARI DIŞINDA	0
ARK FLASH SINIRLARI İÇİNDE	10

$f_{\text{ENV}}$ ELEKTRİKSEL ÇEVRE FAKTÖRÜ	$f_{\text{ENV}}$
KURU	0
NEMLİ	5
ISLAK	10

$f_{\text{TERMAL}}$ ELEKTRİKSEL TERMAL YAKINLIK FAKTÖRÜ	$f_{\text{TERMAL}}$	$f_{\text{TERMAL}}$
GÜÇ	1- 30kW	>30kW
KONTAK YOK	0	0
TEMAS	3	10

# YARALANMA FAKTÖRÜ

YARALANMA FAKTÖRÜ	f <sub>INJUR</sub>
Yok ise	1
1 ci derece yanık veya kalpte fibrasyon yok	3
2 ci derece yanık veya ark flash/blast	5
Kalp krizi ile sonuçlanması	10
3 üncü derecyanık veya organ kaybı	20
ölümle sonuçlanan kaza	100

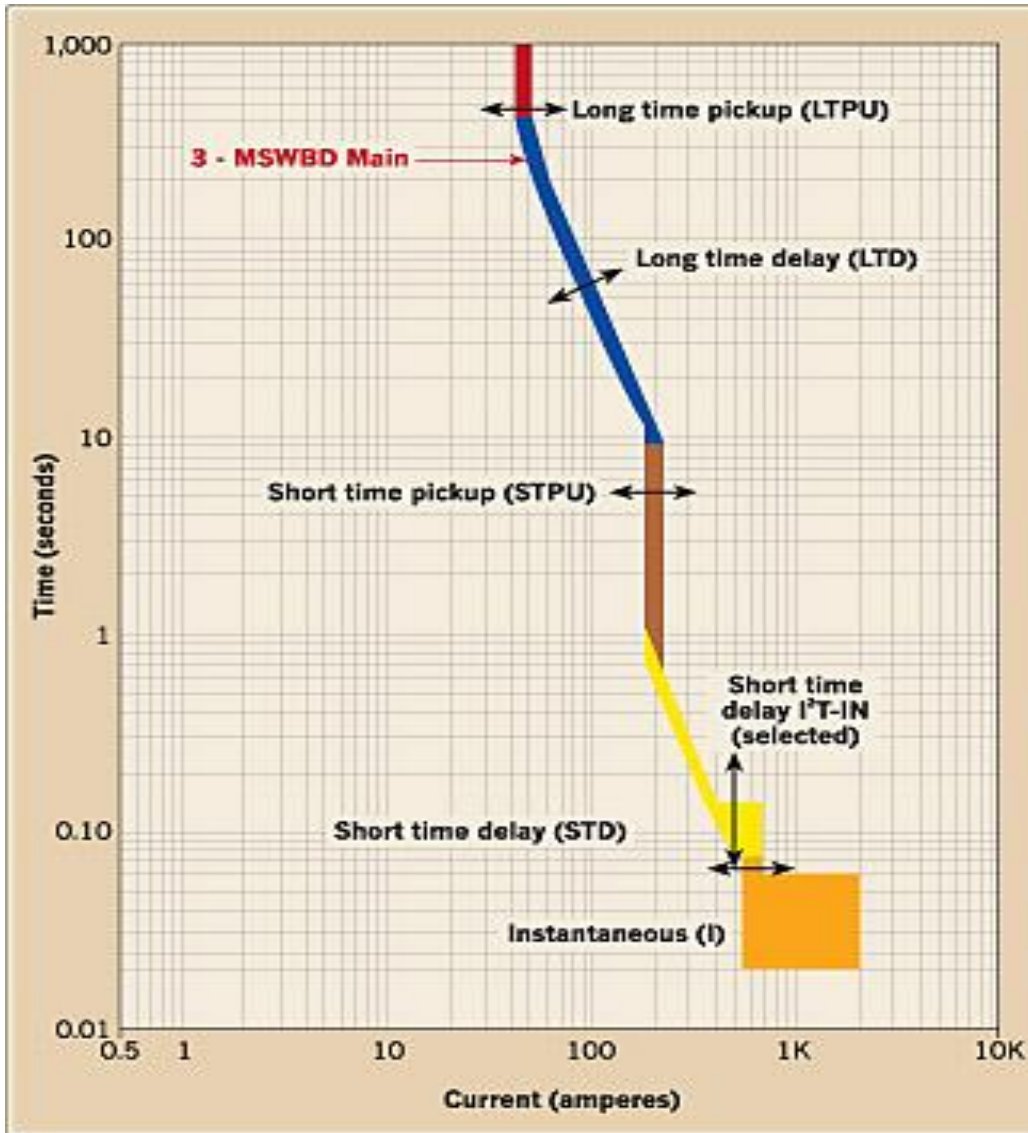
$$ESI = 200,000 * \frac{(ESevent1) + (ESevent2) + (ESevent3) \dots}{\text{hours worked}}$$

# Nasıl Hesaplanır

- Kısa devre hesapları yapılacak.
- Bara arası mesafeler belirlenecek.
- Her tip şalterin çalışma eğrileri belirlenecek.
- Şalterlerin bakım süreleri incelenecek.
- Çalışma mesafeleri belirlenecek (45 ,60,96 cm)
- Empedans ,reaktans, drenci hesaplanacak.
- Kablo mesafeleri ve kullanılan kablo çapları çıkarılacak.

# Kısa devre hesabı yaparken hesaplanır

- Kesicinin açma kapama zamanları
- Sigorta bilgileri: Akımı, İşletme Gerilimi, Eğrileri
- Röleler: elektronik mi, mekanik mi, akım trafosu oranları, açma kapama süreleri
- Trafo bilgileri empedansı, sekonder ve primer gerilimi, %, kayıplar gibi
- Kablonun boyu, çapı
- Vs vs.



Termik açma zamanı **LTPU**

Termik gecikmeli açma zamanı **LTD**

Magnetik açma zamanı **STDU**

Magnetik açma zamanı selektiviteli  
**STD**

Ani açma zamanı **I**

# ANALİZ KARŞILAŞTIRILMALARI

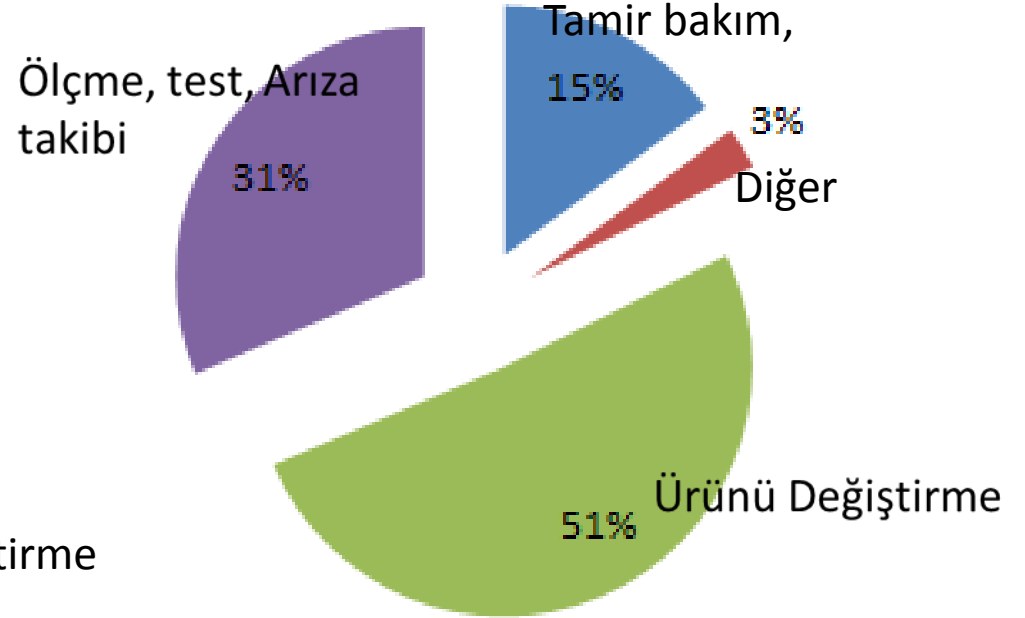
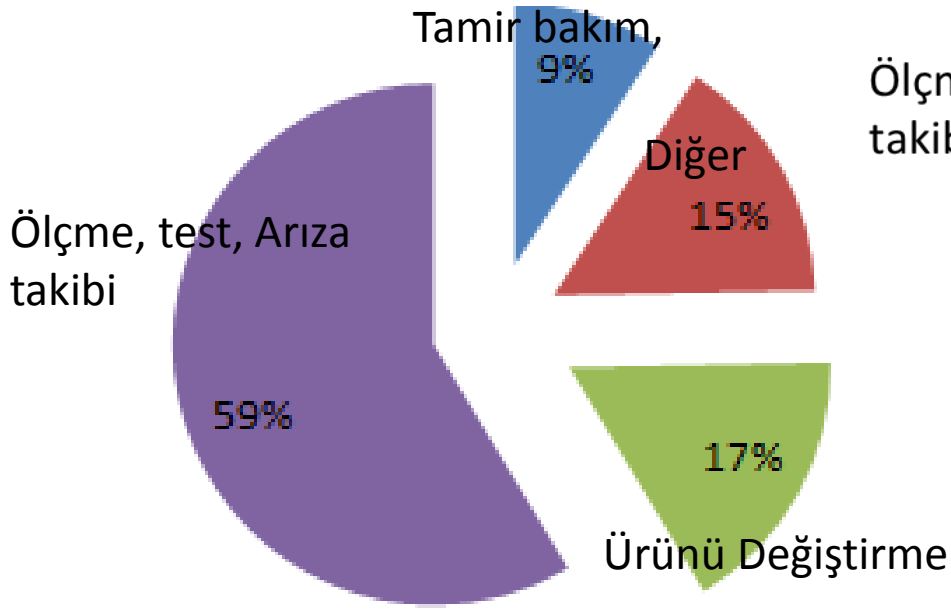
- Ark flaş tehlike değerlendirmesi,
- Ark modellemesi,
- Olay enerjisi hesaplamaları, **IEEE 1584**
- Yarı ampirik modeller, **NFPE 70E**,
- İstatistiksel tabanlı modeller,
- Teori tabanlı modeller (**arcpro** || gibi)
- Karşılaştırmalı çalışma (**EPRI, duke, PG&E test verilerine dayanan metodlar**)

# İSTATİSTİKLER

- Fransa elektrik tarafından yapılan 10 yıllık elektrik kazalarınınındaki yaralanmaların %77 sinin ark flash kaynaklı olduğunu tespit edilmiştir.
- ABD de yapılan 152 elektrik kaynaklı ölümlle sonuçlanan davalarda
- %82 si enerjinin kesilmediği için olmuş
- %11 si Loto uygulamasına uyulmadığı için
- %7 si Ölçüm ve topraklama ve izolasyon dan veya diğer sebeplerden kaynaklandığı görülmüştür.
- İngilterede yapılan çalışmada ise %68 inin 5 emniyet kuralına uyulmadığı ve %19 unun ise bakımın yapılmaması nedeni ile olduğu ortaya çıkmıştır.



# Kaza sebebi



**YÜKSEK GERİLİM**

**ALÇAK GERİLİM**

# $V_{arc}$ , $I_{arc}$ Dalga şekli

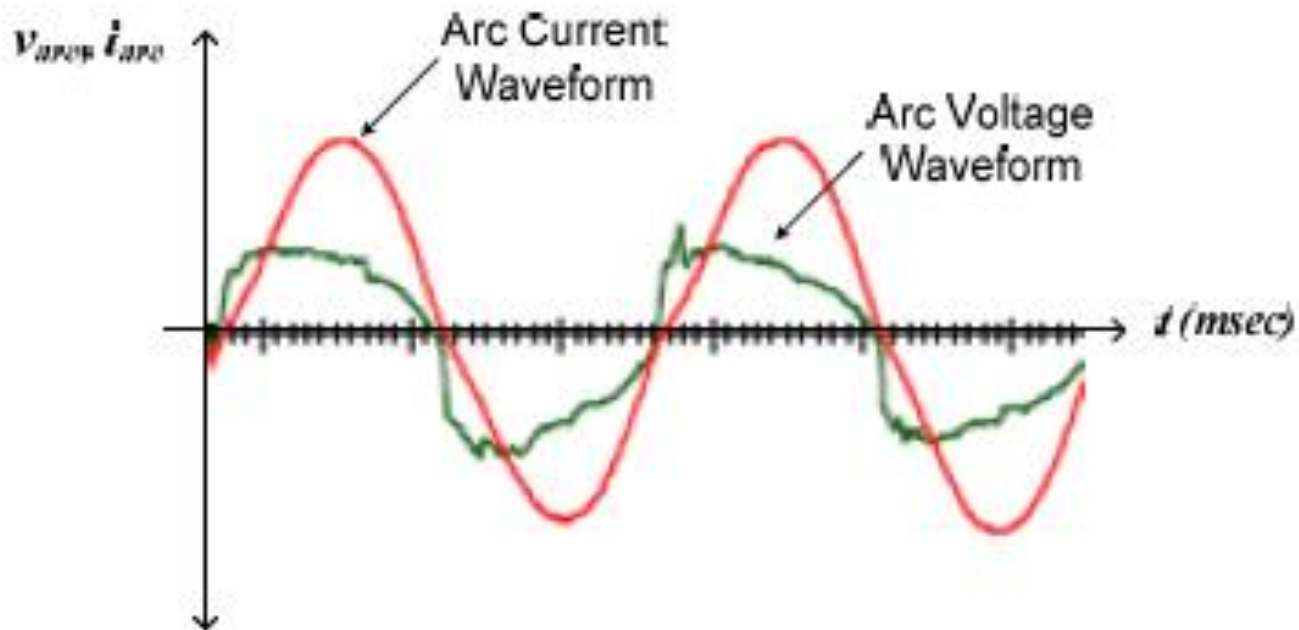


Fig. 4 AC Arc Voltage and Arc Current Waveforms

$$P_{arc} = V_{arc} \times I_{arc}$$

$$E_{arc} \approx P_{arc} \times t$$

# TEK FAZ (Faz-Nötr/Toprak)

- Single-Phase Arcs:
- **ARCPRO:** Tek fazlı arkın davranışlarını belirlemek için geliştirilmiş bir yazılım.
- **Duke Heat Flux Calculator:** Ücretsiz bir yazılımdır. Arcpro gibi dir.

# 3 FAZ UYGULAMALAR (L-L)

- **Lee Method:** 3 fazlı açık hava kullanılır.
- **NFPA 70E:** Alçak Gerilim tesislerde kullanılır.
- **IEEE 1584:** Açık hava ve pano içi meydana gelen ark olarları için hesaplanır.
- **Basitleştirilmiş IEEE1584:**
- **Wilkins metodu:**

# NFPA 70E (2004) (LV)

- $E_{MA} = 5271 D_A^{-1,9593} \times t_A [0.0016 F^2 - 0.0076 F + 0.8938]$
- $E_{MB} = 1038.7 D_B^{-1,4738} \times t_B [0.0093 F^2 - 0.3453 F + 5.9675]$
- $E_{MA}$  =Maksimum açık hava olay enerjisi (cal/cm<sup>2</sup>)
- $E_{MB}$  =Maksimum kutu içi olay enerjisi (cal/cm<sup>2</sup>)
- $D_A, D_B$  =Mesafe , çalışan ile bara arası mesafe (18 inç gibi)
- $t_A, t_B$  = Açma süresi (sn)
- $F$  =3 faz kısa devre akımı (kA) ( 16 kA to 50 kA)

# $E_n$ Normal olay enerjisi IEEE 1584

$$\lg (E_n) = K_1 + K_2 + 1.081 \lg (I_a) + 0.0011 G$$

$E_n$	Normal olay enerji joule/cm <sup>2</sup>
$K_1$	-0,792 Açık hava ark konfigrasyonu -0,555 Kutu içi ark konfigrasyonu
$K_2$	0 Topraksız sistemler veya çok yüksek toprak drençli yerler için -0,113 Topraklı tesisler için
$I_a$	Ark akımı
$G$	Bara arası mesafe
$\lg$	Log 10

# $E_i$ incident enerjisi IEEE 1584

$$E = 4.184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{610}{D} \right)^x$$

- $E_n$  = Normal Ark enerjisi  $J/cm^2$
- $C_f$  = Kalkulasyon faktörü = 1.0; voltage > 1kV  
= 1.5; voltage < 1kV
- $t$  = Kesicinin açma süresi (sn)
- $D$  = Çalışanın arka olan uzaklığı
- $E$  = Joul/cm<sup>2</sup>
- $X$  = Mesafe faktörü

System Voltage (kV)	Equipment Type	Typical gap between conductors (mm)	Distance Exponent (x)
0.208 - 1	Open Air	10 - 40	2.000
	Switchgear	32	1.473
	MCC and panels	25	1.641
	Cable	13	2.000
> 1 - 5	Open Air	102	2.000
	Switchgear	13 - 102	0.973
	Cable	13	2.000
> 5 - 15	Open Air	13 - 153	2.000
	Switchgear	153	0.973
	Cable	13	2.000

# IEEE 1584 Ark akımı hesabı

1000V <

$$I_a = 10^{\{K + 0.662 \log(I_{bf}) + 0.0966V + 0.000526G + 0.5588V * \log(I_{bf}) - 0.00304G * \log(I_{bf})\}}$$

↓  
Ark akımı

↘ Açık konfigrasyon :-0,153  
Pano içi :-0,097

↓  
kV

↘ Kısa devre akımı

↓  
Bara arası açıklık

$I_a = \% 100$

$I_a = \% 85$



# IEEE 1584 Ark akımı hesabı

1000V < Sistem Gerilimi > 15.000V

$$\log(I_a) = 0.00402 + 0.983\log(I_{bf})$$

↓  
Ark akımı

↓  
Kısa devre akımı

# Ark flash sınırı hesabı IEEE 1584

$$D_B = 610 * \left[ 4.184 C_f E_n \left( \frac{t}{0.2} \right) \left( \frac{1}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$D_B$  = Arktan olan uzaklık (mm)

$E_B$  = 5 J/cm<sup>2</sup> veya (1,2 cal/cm<sup>2</sup>)

# Basitleştirilmiş IEEE 1584

- For system voltages **480 V** and below:
- $E = 1.5 (0.258 I_{bf}) (t/0.2) (610/D)^X$
- For system voltages **600 V** and below:
- $E = 1.5 (0.344 I_{bf}) (t/0.2) (610/D)^X$
- For system voltages over **1000 V**:
- $E = (0.57 I_{bf}) (t/0.2) (610/D)^X$

# YARI AMPİRİK HESAPLAMA

- **WILKINSIN BASİT FORMÜLÜ**

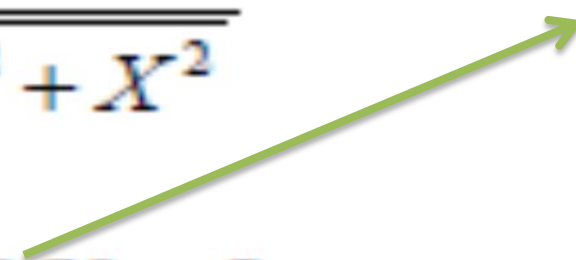
Bu formül open in air içindir  
box in arc için 0,821 ile  
çarpılmalıdır.

- $V_{arc} = 1,757 * (I_{arc})^{0,1457} * g^{0,2476} * V^{0,4166}$

$$R_{arc} = 1.757 I_{arc}^{-0.8543} g^{0.2476} V_{LL}^{0.4166}$$

$$I_{arc} = \frac{V_{PH}}{\sqrt{(R_{arc} + R)^2 + X^2}}$$

Çarpan katsayısı ?  
Neye bağlı



$$E_{arc} \approx 3 P_{arc} t \approx 3 V_{arc} I_{arc} t$$

# WILKINS METODU

$V_{arc}$  = RMS ark gerilimi (V)

$I_{arc}$  = RMS ark akımı (A)

$g$  = Bara arası mesafe (mm)

$V_{LL}$  = faz arası gerilim (V)

Bu formül open in air içindir box in arc için 0,821 ile çarpılmalıdır.

# WILKINSIN Arc in open air

$$E_s = \frac{E_{arc}}{4\pi d^2}$$

$$E_{MAX} = 114.9 E_s^{1.0655} g^{0.2562} V_{LL}^{-0.5697}$$

$d$  Distance from arc (mm)

$E_{max}$  Mean maximum energy density at a distance  $d$ , (cal/cm<sup>2</sup>)

$g$  Electrode gap (mm)

$V_{LL}$  Line-to-line voltage (V)

# Çarpan faktörü ne?

- Wilkinsin, ammerman ve fotune nin çalışmalarında arc in box ta çarpan 3 mü 5 mi alınacak?

# WILKINSIN Arcs in box

$$E_{MAX} = 114.9 E_1^{1.0655} g^{0.2562} V_{LL}^{-0.5697}$$

$$E_1 = k \frac{E_{arc}}{a^2 + d^2}$$

TABLE II  
OPTIMUM VALUES OF k AND a

Enclosure	Width (mm)	Height (mm)	Depth (mm)	a (mm)	k
Panelboard	305	356	191	100	0.127
LV Switchgear	508	508	508	400	0.312
MV Switchgear	1143	762	762	950	0.416



# Lee metodu ark enerjisi

- 0,6kV altında 50kA e kadar olan kısa devreler

$$E = 5271 D^{-1.9593} t [0.0016 * I_{bf}^2 - 0.0076 * I_{bf} + 0.8938]$$

- 0,6 kV üzerinde 50kA e kadar olan kısa devreler

$$E = 1038.7 D^{-1.4738} t [0.0093 * I_{bf}^2 - 0.3453 * I_{bf} + 5.9675]$$

- Açık hava hatları

$$E = 793 D^{-2} V I_{bf} t$$

NOT : 10KV ÜZERİNDE TAVSİYE EDİLMEZ.

# Lee metodu emniyet mesafesi

$$D_B = \sqrt{2.65 * 1.732 * V * I_{bf} * t}$$

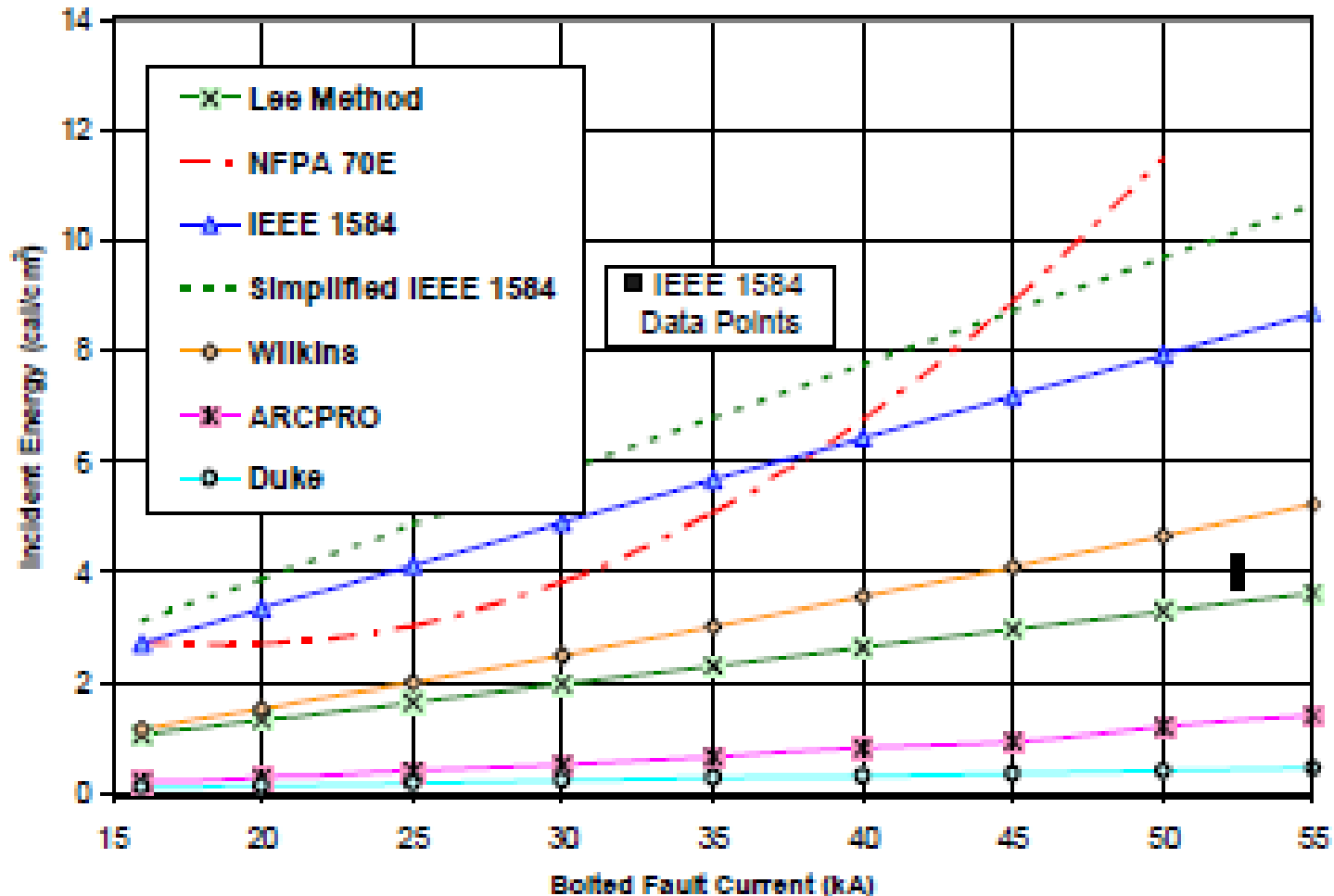
- $D_b$  = Değeri inç tir. 2,54x inç = cm
- $V$  = Faz arası gerilim (kV) L1-L2
- $I_{bf}$  = Bolted kısa devre akımı (kA)=  $I_{cs}$
- $t$  = Açma zamanı (sn)
-

# C metodu

	$V < 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V < 5 \text{ kV}$	$V > 5 \text{ kV}$
$I_a =$	$0.85 I_{bf} - 0.004 I_{bf}^2$	$0.928 I_{bf}$	$I_{bf}$
$E =$	$416 I_a t D^{-1.6}$	$21.8 I_a t D^{-0.77}$	$16.5 I_a t D^{-0.77}$
$D_B =$	$(416 I_a t / 1.2)^{0.625}$	$(21.8 I_a t / 1.2)^{1.3}$	$(16.5 I_a t / 1.2)^{1.3}$

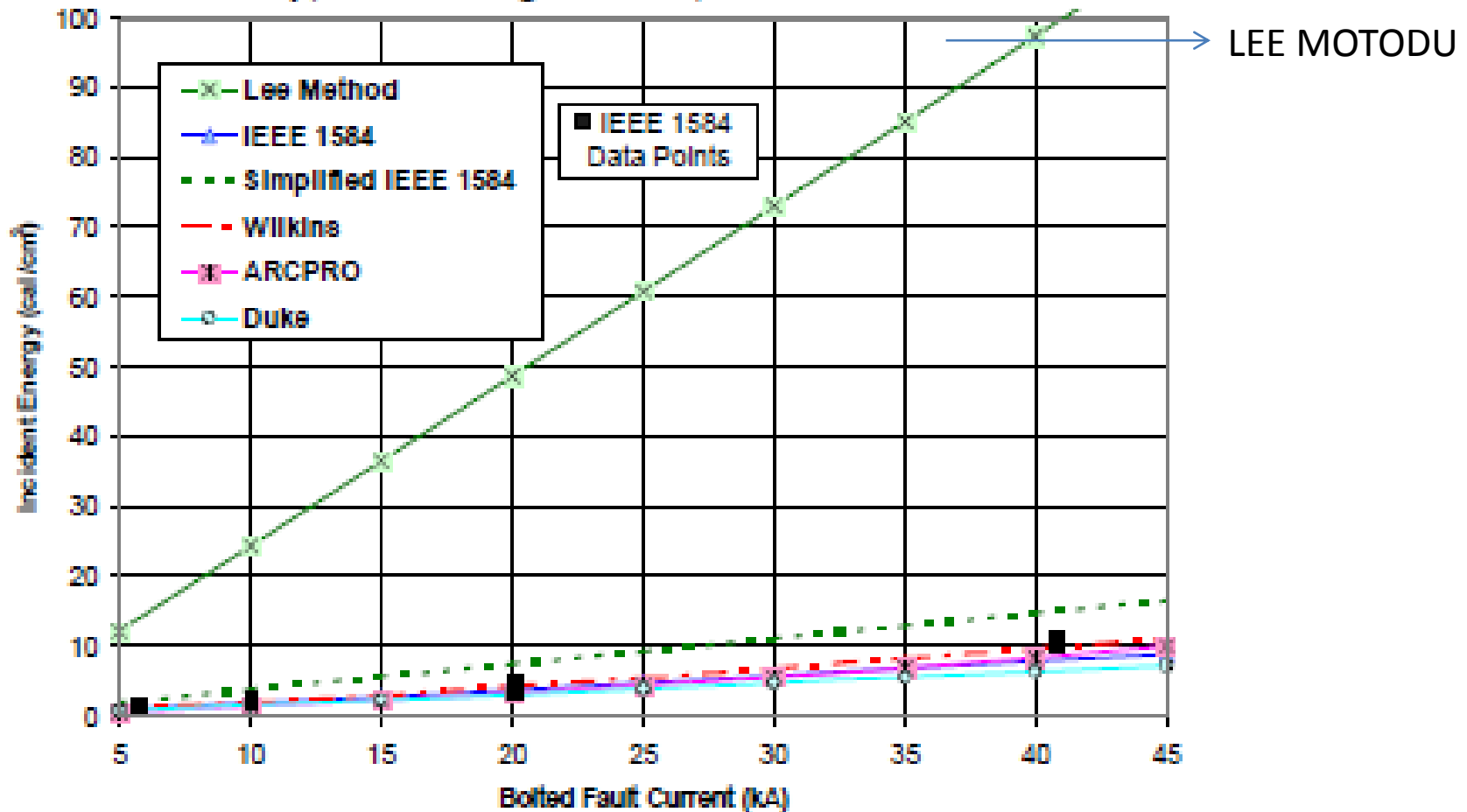
# KARŞILAŞTIRMA

480-V Arc-in-a-Box:  
0.75" Gap, 24" Working Distance, 0.1 sec Duration

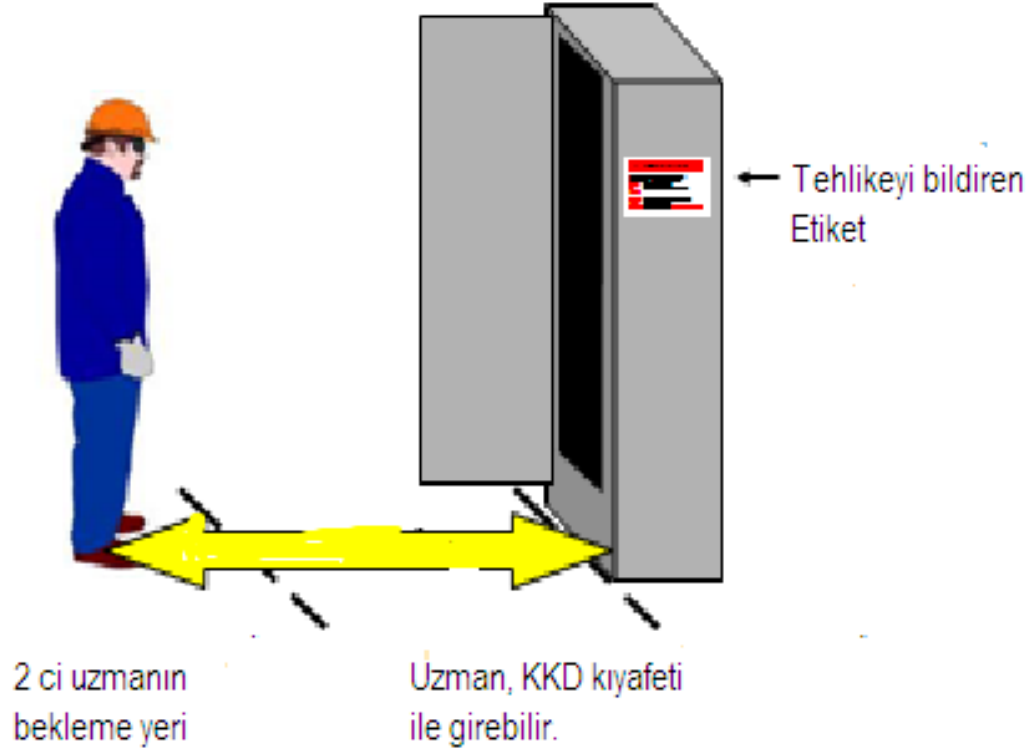


# 13,8kV in open air

13.8-kV Arc in Open Air:  
6" Gap, 30" Working Distance, 0.2 sec Duration



# Yaklaşma Mesafesi



# **BGI 5188**

## **ALMANYA ARK FLASH HESAPLAMA**

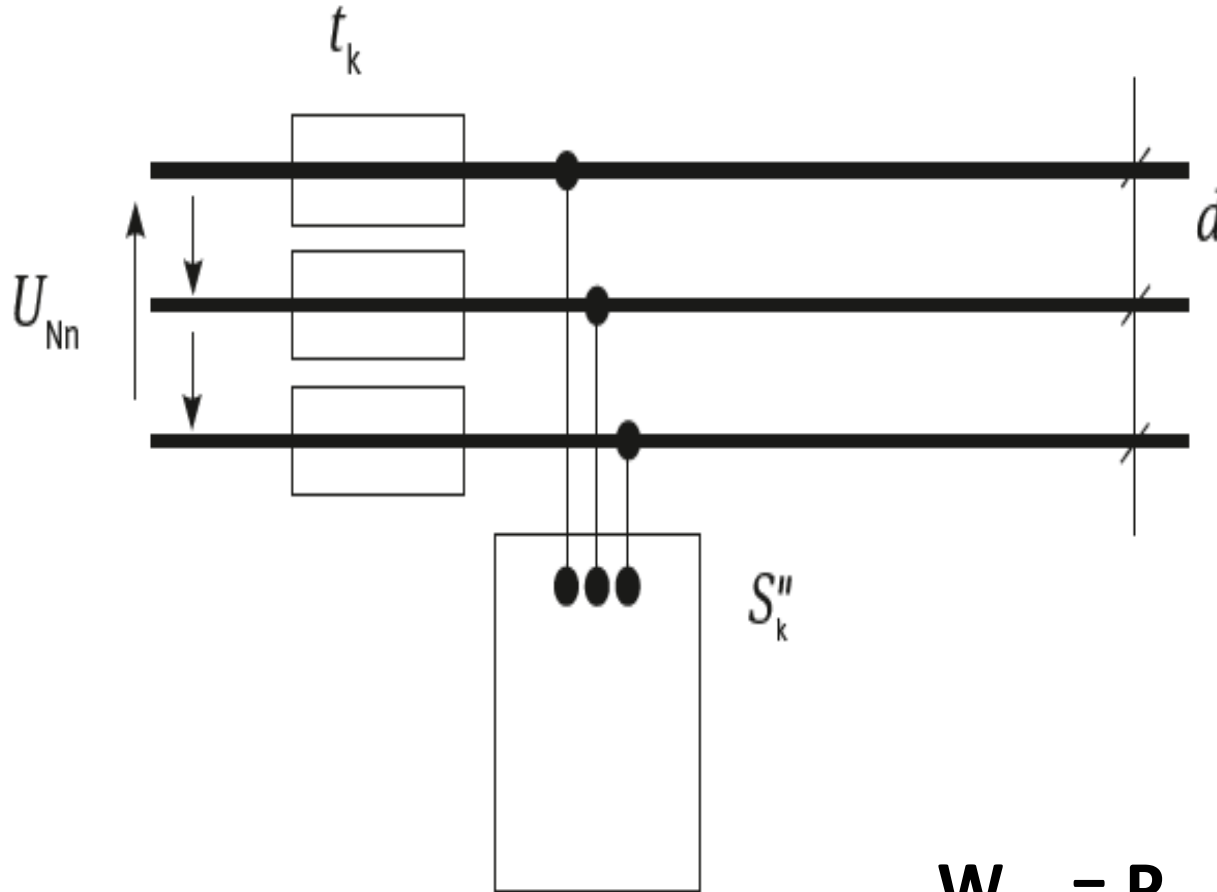
Termal hesaplamaların dışında basınç, ses, toksit gaz gibi etkiler bu hesaplamalarda dikkate alınmaz.

# Sembol ve birimler

a	çalışma mesafesi	mm
$W_{Iba}$	Eş değer ark enerjisi, Koruma düzeyi	kJ veya kWs
$K_p$	Ark gücü	
$E_{IO}$	Doğrudan olay enerjisi	kJ/m <sup>2</sup> veya kWs/m <sup>2</sup> - cal/cm <sup>2</sup>
$E_i$	Olay enerjisi	kJ/m <sup>2</sup> veya kWs/m <sup>2</sup> - cal/cm <sup>2</sup>
d	Baralar arası mesafe	mm
$S''_K$	Kısa devre gücü	KVA
$W_{LB}$	Ark enerjisi	kJ veya kWs
$I_{kLB}$	Kısa devre akımı	kA
$I_{arc-class}$	Ark akımı	kA
$W_{LBP}$	Test seviyesi	kJ veya kWs
$k_B$	Akım sınırlayıcı bir faktör	
$k_T$	İletim faktörü	
t	Kalma süresi	s



# Elektrik sistemleri parametrisi



$t_k$  [s]: Koruma cihazının açma süresi

$U_{Nn}$  [V]: Faz arası gerilim

$R/X$ : Drencin /reaktans oranı

$S''_k$  [kVA]: Yükün gücü

$d$  [mm]: Bara arası mesafe

$$W_{LB} = P_{LB} \cdot t_k$$

$$W_{LB} = k_p \cdot 3 \cdot U_{Nn} \cdot I_{3k} \cdot t_k$$

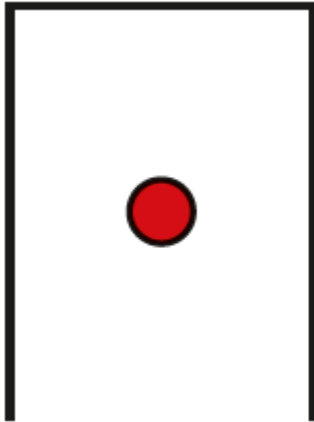
- $I_{kLB} = k_B \times I_{k3min}$

$k_B < 1000V$   
 $k_B > 1000V$

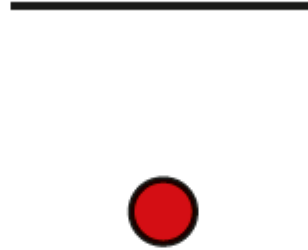
ise 1,0,5 ve 0,25 değerleri alınır  
 ise 1 alınacak

Gerçek kısa devre akımı

Hesaplanan kısa devre akımı



$k_T = 1$   
 Pano



$k_T = 1,5 - 1,9$   
 Arka duvar ,oda  
 Trafo odası

$$W_{Lba} = k_T \cdot \left( \frac{a}{300 \text{ mm}} \right)^2 \cdot W_{LBP}$$



$k_T = 2,4$   
 Açık hava

$k_t = 1$



$k_t$



$k_t = 1,5$



$k_t = 1,7$

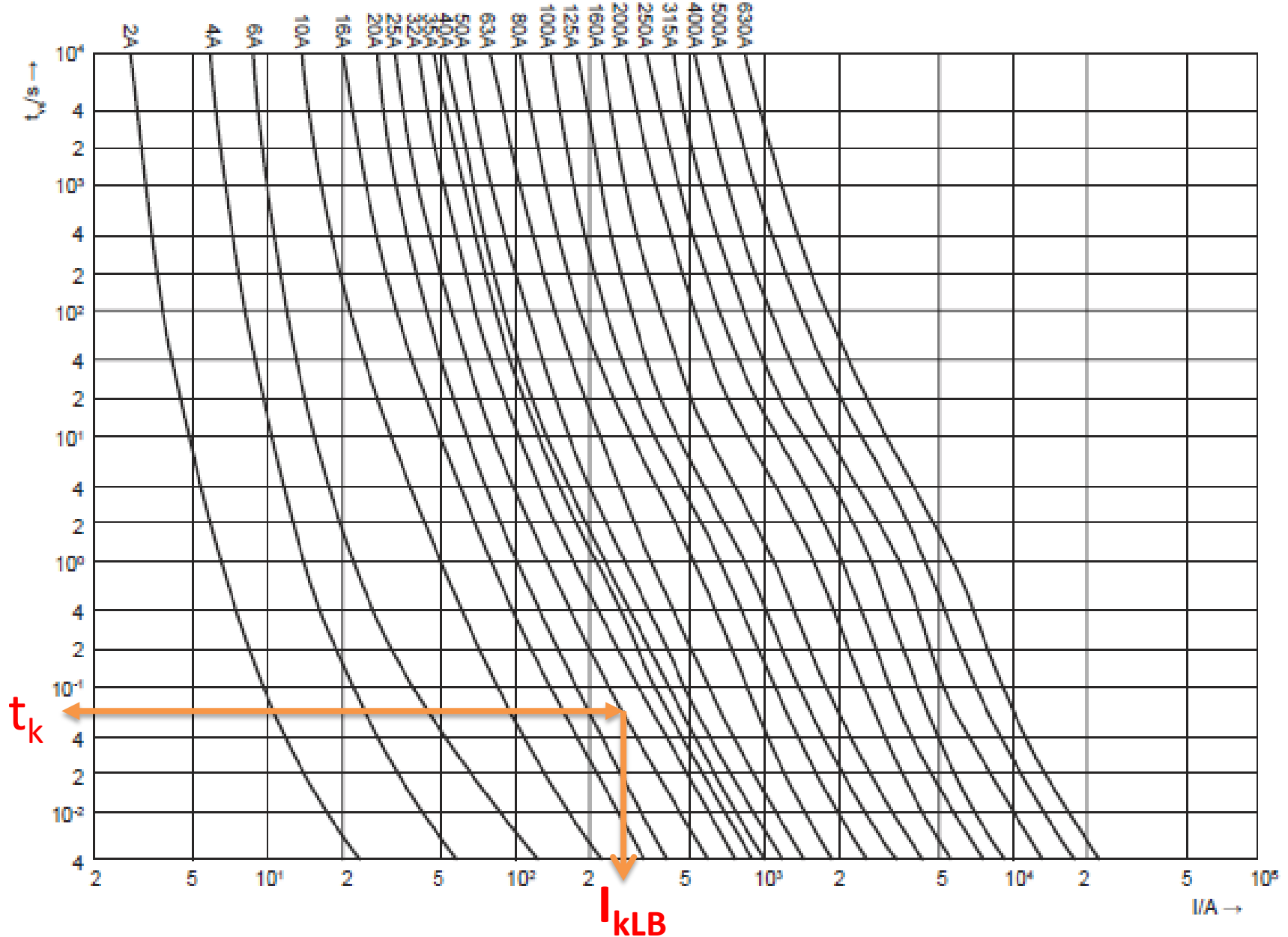


$k_t = 2,4$

$k_t = 1,9$



# NH SIGORTANIN AKIM ZAMAN EĞRİSİ



# Pratik hesaplama

- **1000V Altı**

- $W_{arc} = k_p * 1,739 * U * I_{3k} * t$        $k_p = ( 0,22 \dots 0,27 )$

- $k_p = 0,29 * (R/X)^{-0,17}$

% 50 + % 50 alınır.

- **1000V Üstü**

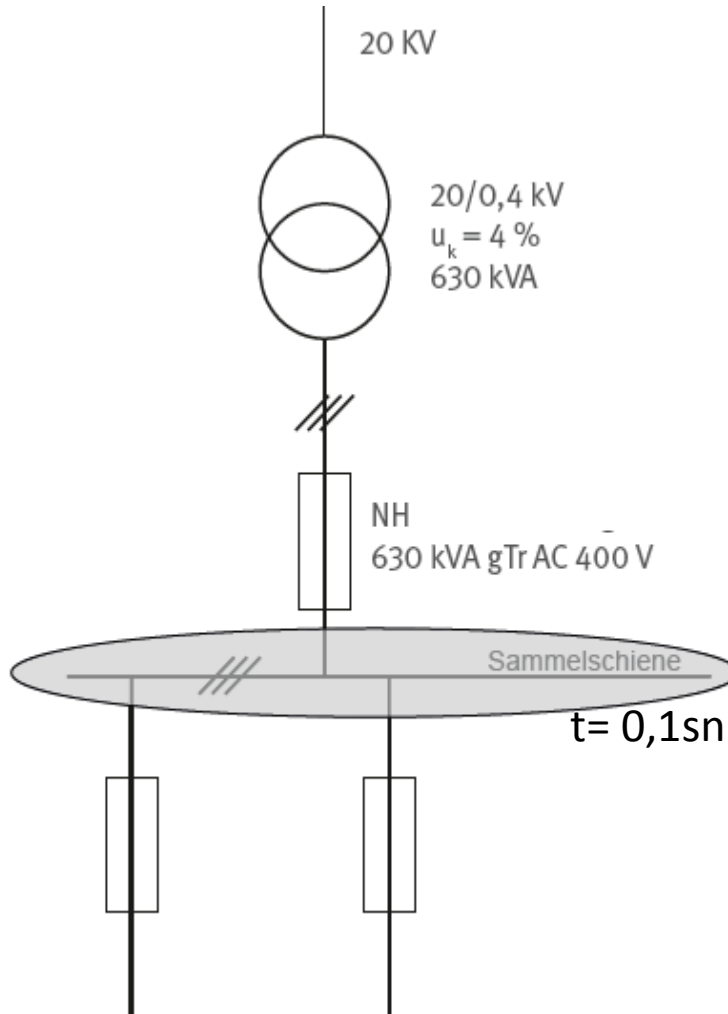
- $W_{arc} = k_p * 1,739 * U * I_{3k} * t$        $k_p = ( 0,04 \dots 0,10 )$

$k_p$ 

$U_n$	$d$	$R/X$	$k_p$
400 V	30 mm	0,2	0,229
		0,5	0,215
		1,0	0,199
		$\lambda = 2,0$	0,181
	45 mm	0,2	0,289
		0,5	0,263
		1,0	0,240
		$\lambda = 2,0$	0,222
	60 mm	0,2	0,338
		0,5	0,299
		1,0	0,270
		$\lambda = 2,0$	0,253
10 ... 20 kV	120 ... 240	0,1	0,04 ... 0,08



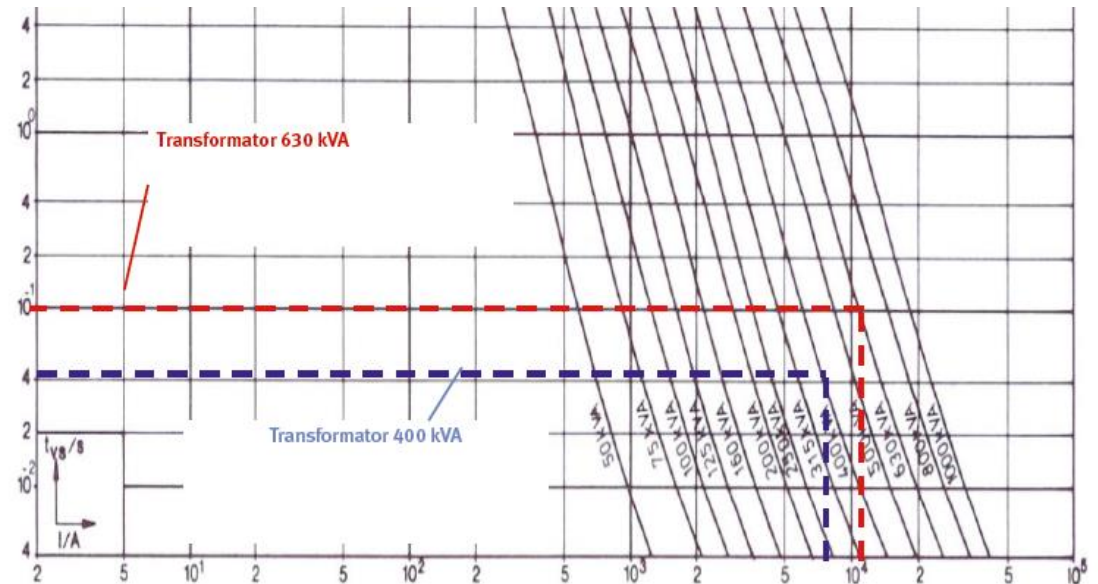
# Örnek



$$I_{3k} = 22 \text{ kA}, \quad I_{\text{mak}} = 23,1 \text{ kA}, \quad I_{\text{min}} = 20,9 \text{ kA}$$

$$C = 1,05 \text{ mak}, \quad C = 0,95 \text{ min}$$

$$I_{\text{kLB}} = k_B \cdot I_{\text{k3min}}'' = 0,5 \cdot 20,9 \text{ kA} = 10,45 \text{ kA}$$



# Hesaplama

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_{Nn} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 23,1 \text{ kA} = 16,004 \text{ MVA}$$

$$k_{p_{\max}} = 0,29 / (R/X)^{0,7} \quad k_{p_{\max}} = 0,38.$$

$$W_{LB} = k_p \cdot S_k'' \cdot t_k = 0,38 \cdot 16,004 \text{ MVA} \cdot 0,1 \text{ s} = 608,2 \text{ kJ}$$

$$W_{LB\ddot{a}} = k_T \cdot \left( \frac{a}{300 \text{ mm}} \right)^2 \cdot W_{LBP} = 1,5 \cdot \left( \frac{300 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} \right)^2 \cdot W_{LBP}$$

$$W_{LB\ddot{a}} = 237 \text{ kJ} \quad \text{Class1}$$

$$W_{LB\ddot{a}} = 477 \text{ kJ} \quad \text{Class2}$$

$$W_{LB} = 608,2 \text{ kJ} > W_{LB\ddot{a},KI2} = 477 \text{ kJ}.$$

Sonuç kıyafetler sizi korumayacaktır. Yani çalışmak yasaktır.



# Çalışma mesafesi hesabı

APTV = 4-30 cal/cm<sup>2</sup> class1

$$W_{port} = k_T * (a/300)^2 * W_{arcp}$$

- $k_T$  degeri hesaplama
- DV:1 - 2,4 Ayrıntılı değerın kullanılması
- GV:1 Çok sayıda pratik alınan rehber değerı
- EV:1 Extreme değer (en kötü değer)

## Çalışma mesafesi hesabı

Class 1	$a=300 * ((k * U * I * t) / (1 \dots 2,4 * 91))^{1/2}$
Class 2	$a=300 * ((k * U * I * t) / (1 \dots 2,4 * 184))^{1/2}$

IEC 61482-1-1 (open air metod A) 10,25 cal/cm<sup>2</sup>

IEC 61482-1-2 (Box metod B) Class 1 3,036 cal/cm<sup>2</sup> >158 kJoule

Class 2 8,426 cal/cm<sup>2</sup> >318 kJoule

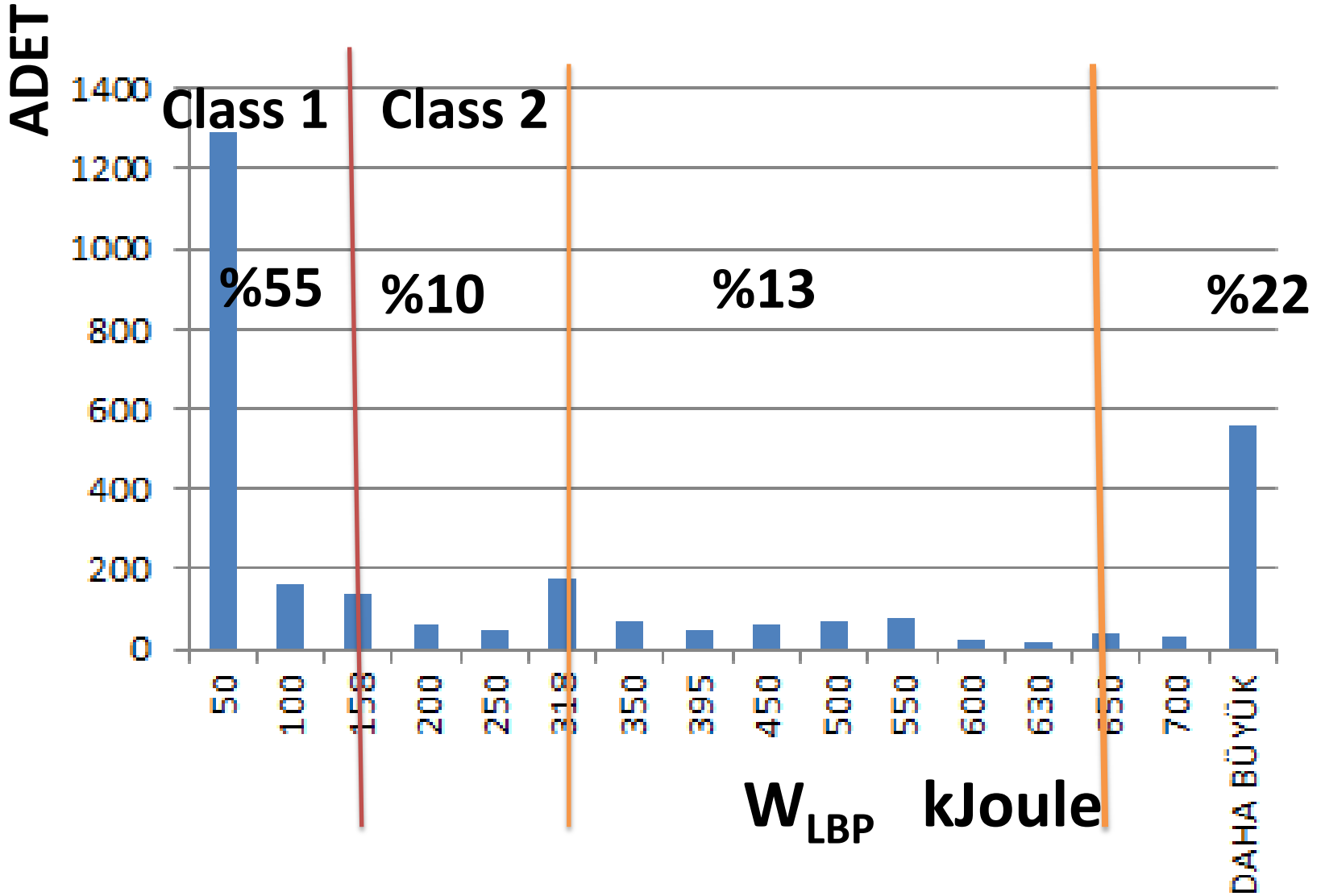
CENELEC , IEC 61482-1-2 2014 te onayladı. (2007 onaylı değerdir.)

# Alçak Gerilim için uygulama IEC 61482 1-2

Ekipman tipi Çalışma şekli	16A kadar	100A kadar	Kablo ,Ana Panolar, Kontrol Bordları	Hava hatları
Yaklaşma Durumu Pano kapağının açılması	-	Class 1	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2
Ölçme cihazlarında ayarlar	-	Class 1	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2
NH veya MCCB Bakımı	-	Class 1	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2
Tamir bakım kontrol	-	Class 1	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2
5 emniyet kuralı	-	Class 1	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2
Enerjili hatta çalışma durumu	-	Class 1	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2	Ark enerjisine bağlı Class 1 veya 2

**$W_{ark} = 0,25 * 1,73 * V * I_{3k} * t$  ( kjoule ) 3 faz sistemde**  
**158 kJ class 1 ..... 318 kJ class 2**

## CLASS 1 ve CLASS2 nin piyasadaki oranları



# IEC 61482 -2

- Kumaş ile ilgili gereksinimler
- Tüm kıyafetler uzun kollu olacaktır.
- Vücudumuzu kaplayacaktır.
- Kıyafetin test yöntemlerini belirler.
- Kumaşın genel özellikleri
- Baş, yüz, el ve ayak koruması standardını belirtmez.
- Termal ark tehlikesine karşı koruma sağlar.
- Dikiş ipliği 260 °C dayanacaktır.
- Çekme ve yırtılma testlerinden geçmek zorunda

ARC /HRC  
DEĞERLERİ  
KKD  
min 4 cal/cm2

1

İç çamaşırlar %100 pamuklu olacak  
Ark değerine göre uzun kollu gömlek  
Ark değerine göre Pantolon veya Tulum  
Ark değerine göre yüz siperliği ve baret  
Güvenlik gözlüğü  
Kulaklık (Kulak içine uyan)  
Yalıtkan Eldiven (Çalışma gerilimi uygun)  
Yalıtkan Ayakkabı



min 8 Cal /cm2

2

İç çamaşırlar %100 pamuklu olacak  
Ark değerine göre uzun kollu gömlek  
Ark değerine göre Pantolon veya Tulum  
Ark değerine göre yüz siperliği ve **kar maskesi**  
Güvenlik gözlüğü, Kulaklık (Kulak içine uyan)  
Yalıtkan Eldiven (Çalışma gerilimi uygun)  
Yalıtkan Ayakkabı



min 25 cal/cm2

3

İç çamaşırlar %100 pamuklu olacak  
Ark değerine göre uzun kollu ceket  
Ark değerine göre Pantolon veya Tulum  
Ark değerine göre yüz siperliği ve kar maskesi  
Güvenlik gözlüğü, Kulaklık  
Ark değerine uygun başlık (**Hood**)  
Yalıtkan Eldiven (Çalışma gerilimi uygun)  
Yalıtkan Ayakkabı



min 40 cal/cm2

4

İç çamaşırlar %100 pamuklu olacak  
Ark değerine göre uzun kollu ceket  
Ark değerine göre Pantolon veya Tulum  
Ark değerine göre yüz siperliği ve kar maskesi  
Ark değerine uygun başlık (Hood)  
Güvenlik Gözlüğü, Kulaklık  
Yalıtkan Eldiven (Çalışma gerilimi uygun)  
Yalıtkan Ayakkabı



# ARK TEHLİKESİNİ ÖNLEME

## 1- Teknik olarak azaltma yönüne git.

Açma sürelerini düşür  
Ark flash Röleler kullan  
Gücü böl (Trafo sayısını arttır)  
ZSI röleleri  
UFGS  
Dual setting  
vs..

## 2) Bariyer koy

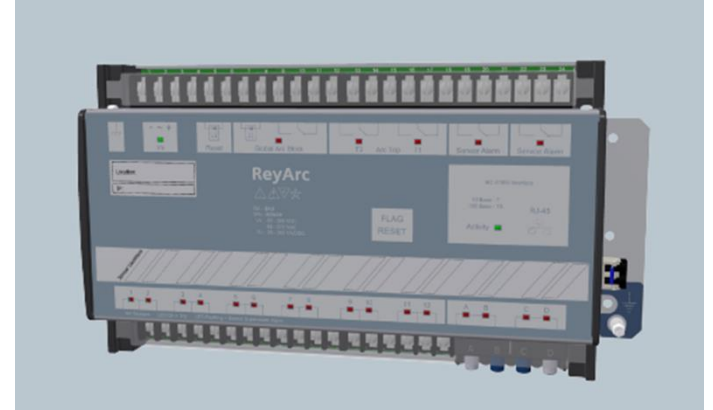
Sahaya kimsenin girmesine engel ol  
Uyarıcı bariyerler kullan, Sahayı kilitle

## 3-KKD Belirle

Olabilecek ark etkisine uygun kıyafet seç  
Kullanılmasını sağla

## 4)Uyarı etiketleri koy

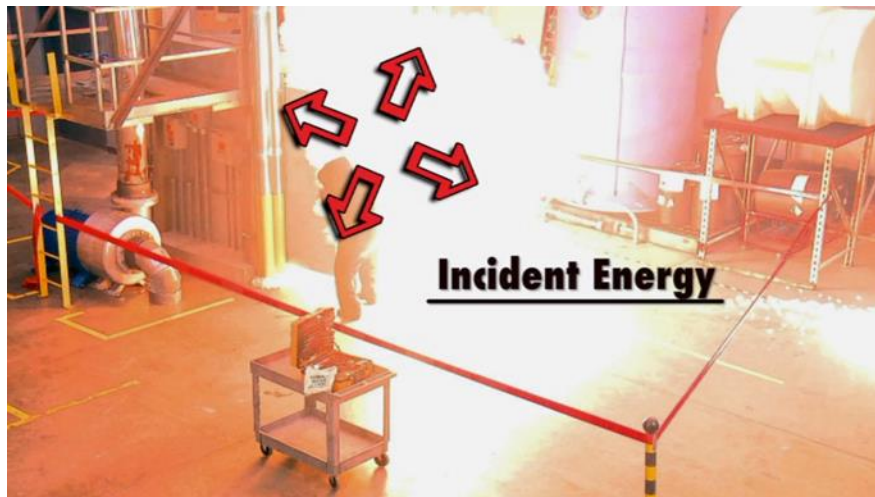
O sahada olabilecek max tehlikeye göre etiketler ile uyar





# ANALİZ RAPORU

Bus Name	Protective Device Name	Bus kV	Bus Bolted Fault (kA)	Prot Dev Bolted Fault (kA)	Prot Dev Arcing Fault (kA)	Trip/ Delay Time (sec.)	Breaker Opening Time (sec.)	Equip Type	Gap (mm)	Arc Flash Boundary (in)	Working Distance (in)	Incident Energy (cal/cm <sup>2</sup> )	Required Personal Protective Equipment (PPE) Class
SYN_BUS 1	SYN-52-4-50/51	12.47	14.78	13.93	13.43	0.243	0.083	SWG	153	189	48	4.53	Class 1
SYN_BUS 2	SYN-52-8-50/51	12.47	12.16	11.32	10.95	0.272	0.083	SWG	153	190	48	4.56	Class 1
MCC-1 MB (TR-1-SEC)	SYN-52-2-50/51	0.48	18.08	16.24	8.3	9.019	0.083	PNL	25	538	18	315	<b>Dangerous</b> (Note 4)
MCC-1	MCC-1-MAIN	0.48	17.94	15.80	9.51	0.18	0	PNL	25	57	18	7.85	Class 2
MCC-2 MB (TR-2-SEC)	F-TR2/MCC2	0.48	17.77	15.56	7.97	10.845	0	PNL	25	593	18	370	<b>Dangerous</b> (Note 4)
MCC-2	MCC-2-MAIN	0.48	17.64	15.42	9.31	0.18	0	PNL	25	56	18	7.74	Class 2



# ÖRNEK ÇALIŞMA

800KVA, %6, 400V , 9700W

$$I_k = 20,21 \text{ kA}$$

$$R = 9700 * (400^2 / 800^2) * 10^{-3} = 2,424 \text{ m}\Omega$$

$$X = ((6/100 * (400^2 / 800))^{1/2} - (2,424)^2)^{1/2} = 11,75 \text{ m}\Omega$$

$$(R/X)^{-0,17} = 1,308 \quad k_p = 0,26$$

$$0,26 * 1,73 * 400 * 20,21 * 1 = 363 \text{ kJoule} \quad \text{class 2}$$

$$= k_p \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nN} \cdot I_{k3}'' \cdot t_k$$

L=4m, 2x(3x240)mm<sup>2</sup>

$$R = 4 * 10^3 / (56 * 240 * 2) = 0,14 \text{ m}\Omega$$

$$X = 0,07 * (4 / 2) = 0,14 \text{ m}\Omega$$

$$(R/X)^{-0,17} = 1 \quad k_p = 0,29$$

$$0,29 * 1,73 * 400 * 17 * 1 = 341 \text{ kJoule} \quad \text{class 2}$$

$$= k_p \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nN} \cdot I_{k3}'' \cdot t_k$$

$$t_k = ?$$

L=3m, 10x80 CU bara

$$R = 3 * 10^3 / (56 * 800) = 0,066 \text{ m}\Omega$$

$$X = 0,07 * 3 = 0,21 \text{ m}\Omega$$

$$(R/X)^{-0,17} = 1,21 \quad k_p = 0,29$$

$$= k_p \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nN} \cdot I_{k3}'' \cdot t_k$$

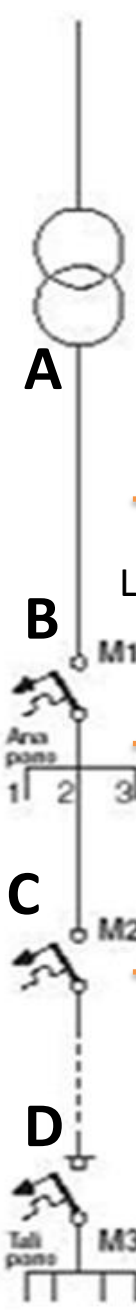
L=70m, (3x180)mm<sup>2</sup>

$$R = 70 * 10^3 / (56 * 180) = 6,94 \text{ m}\Omega$$

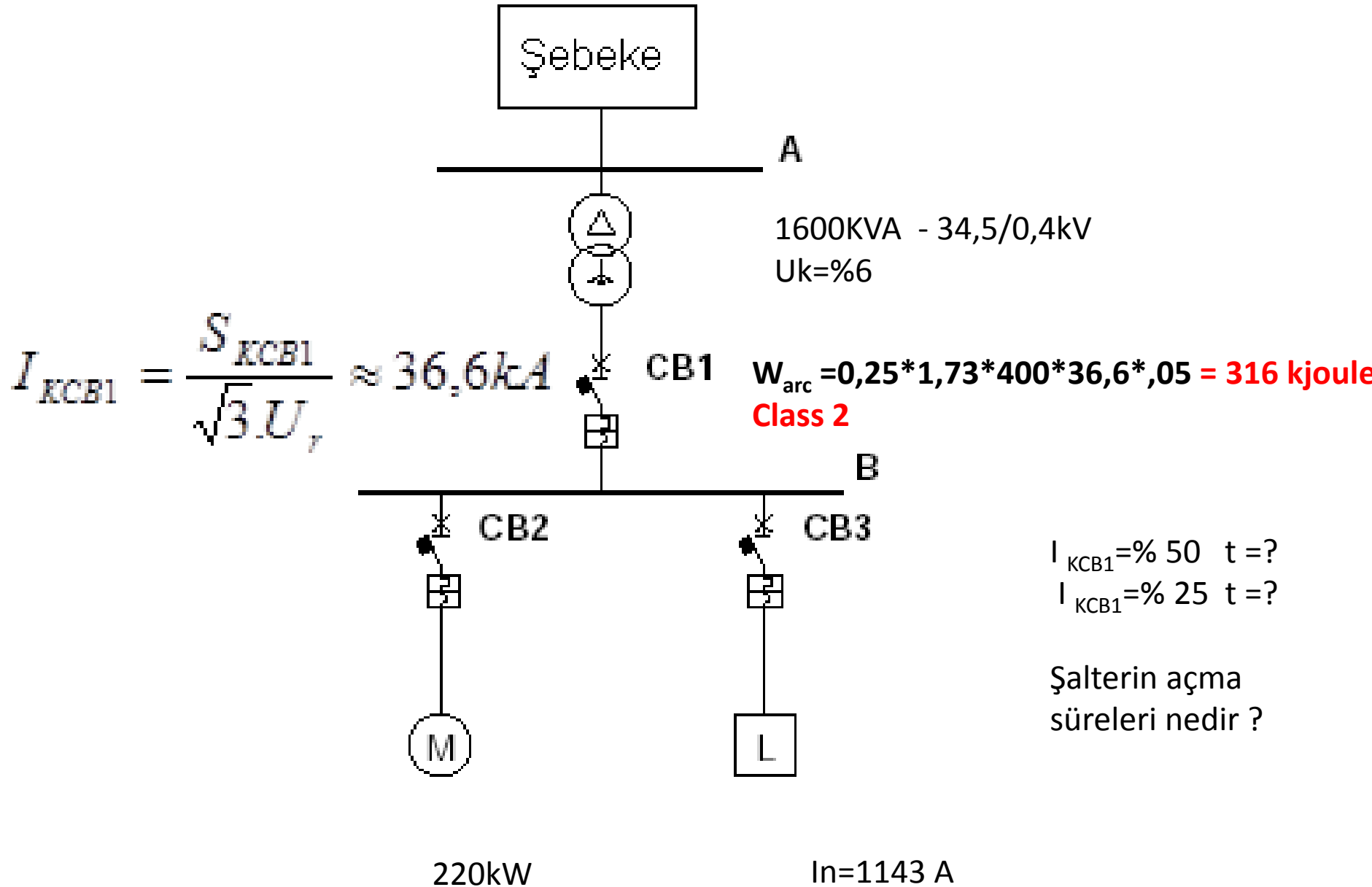
$$X = 0,07 * 70 = 4,90 \text{ m}\Omega$$

$$(R/X)^{-0,17} = 0,94 \quad k_p = 0,33$$

$$= k_p \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nN} \cdot I_{k3}'' \cdot t_k$$



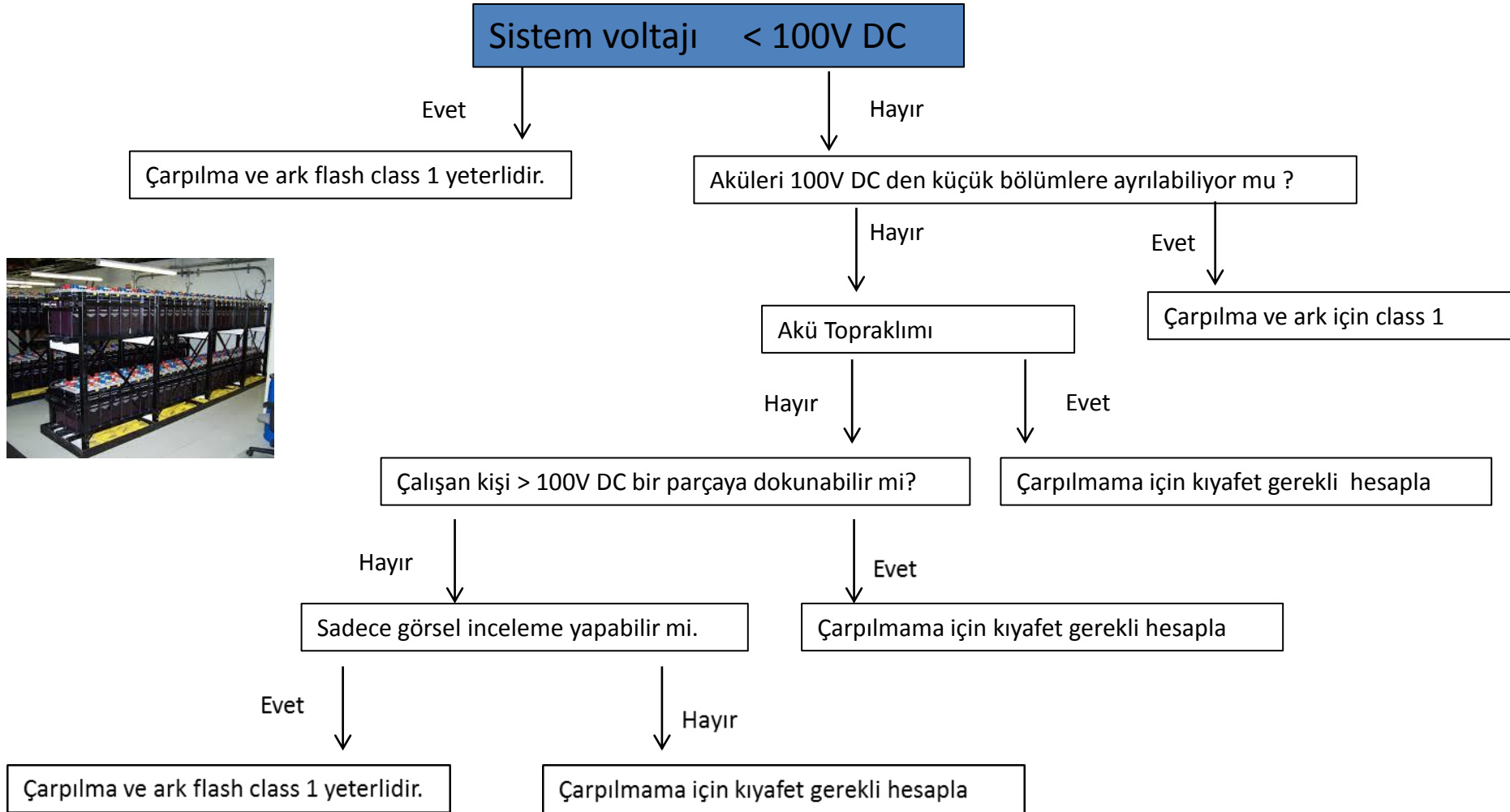
# Örnek şema



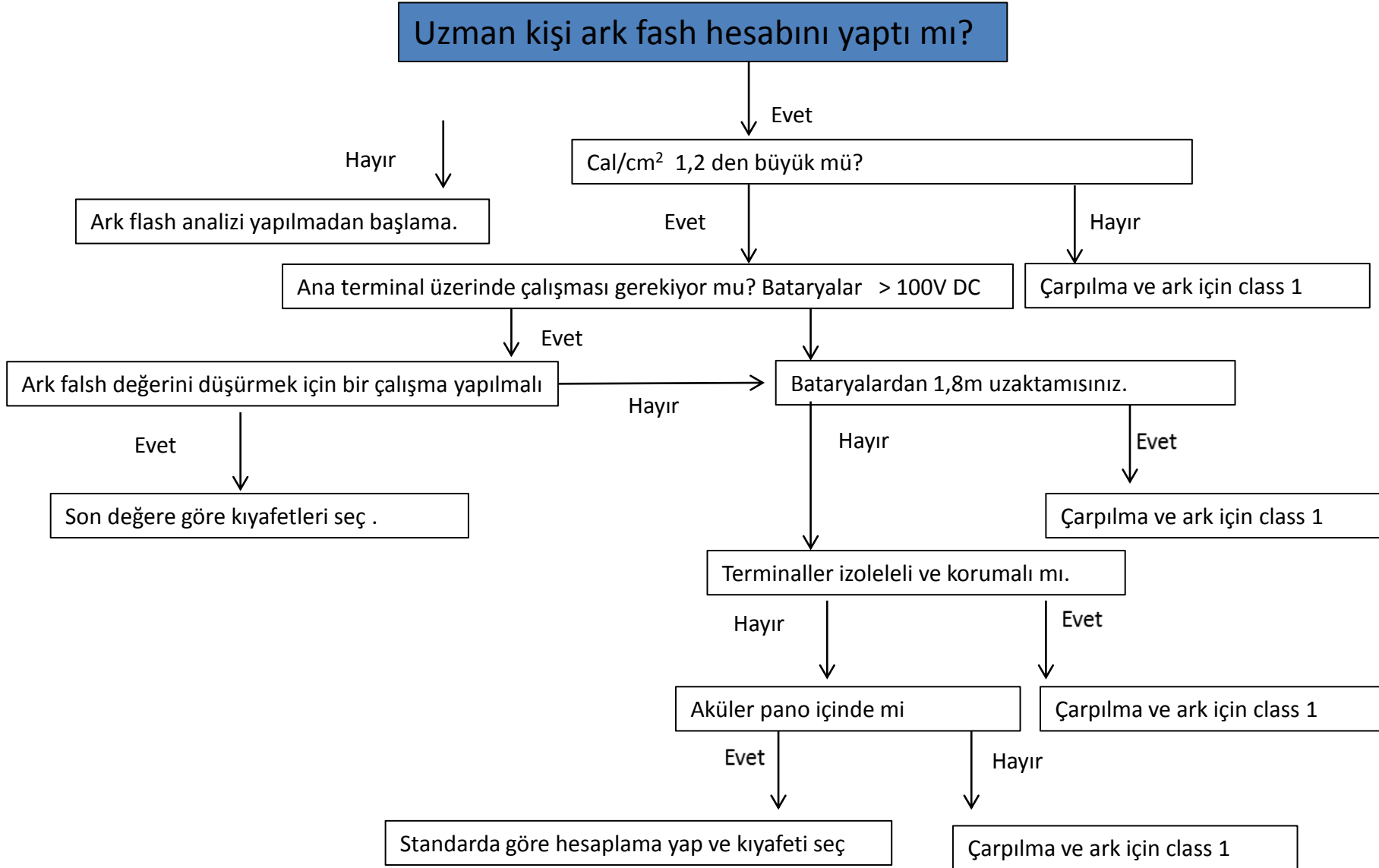
# DC ARC FLASH

- DC ark konusunda yayınlanan ilk makale 2010 yılında D.R.Doan tarafından yapılmıştır.
- 2004 Yılındaki AC ark sistemlerinden faydalanılmıştır.
- NFPA 70E 2012 yılındaki baskısında DC ark flash ve çarpılmalar için 2 yöntem sunmuştur. Bu yöntemler Duan ve Ammerman yöntemleridir. UPS uygulamalarında kullanılmaktadır. Pratik akü bakım önerileri ve KKD lerin seçimini kapsamaktadır.
- IEEE 450 ,1106 ,1188 akülerin bakım ve test işlemlerini kapsar . Ark flash ile ilgili değildir
- Doun nın max güç metodunda çarpma faktörünü tali panolarda **1,6** ana panolarda çarpanın **3** kullanmak akıllıca olacaktır. Denilmektedir.
- Wilkinsın ,Ammerman ve Fortune büyük panolar için çarpanın **5** olmasını tavsiye etmektedir.
- Bazı otoriteler bu çarpanın daha da düşük olması gerektiğini söylemektedirler.

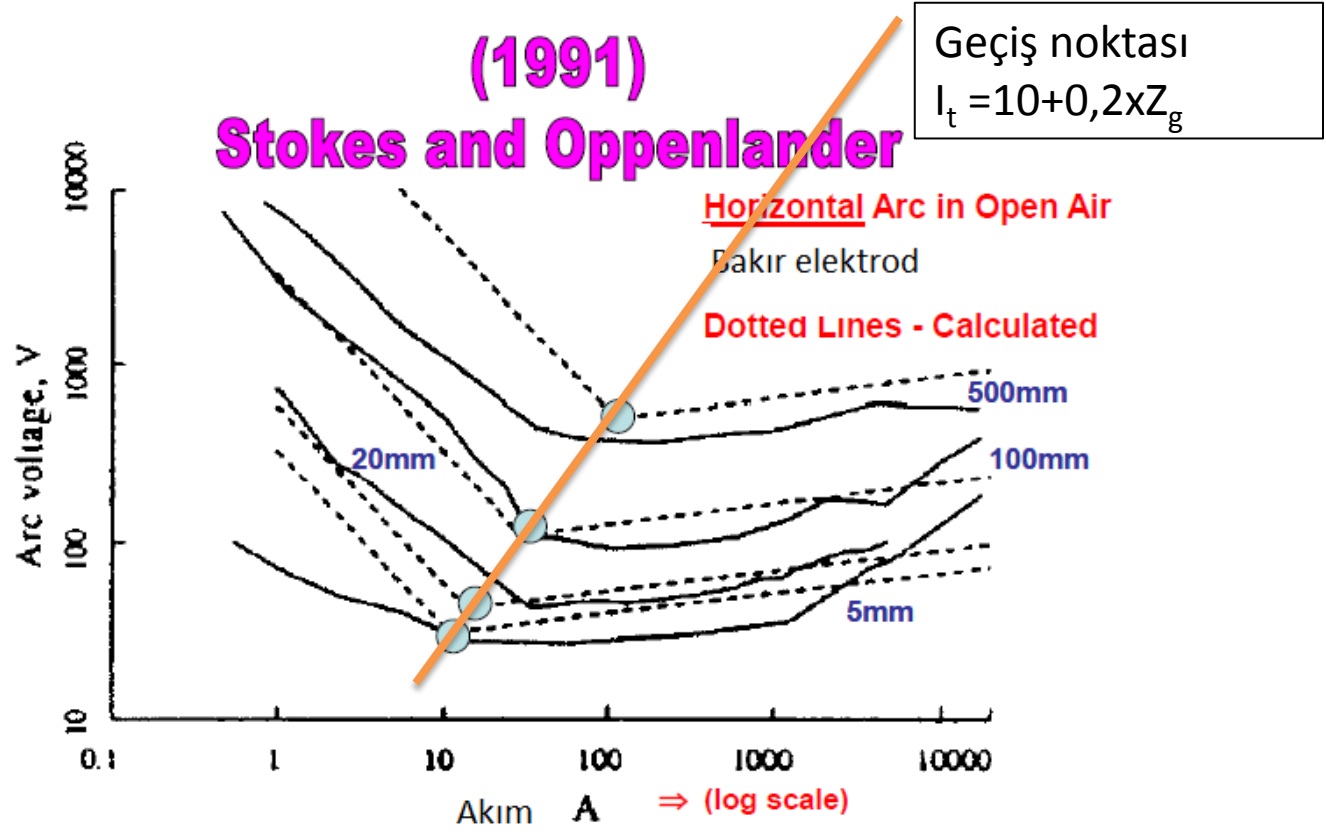
# DC RİSK DEĞERLENDİRMESİ



# DC ark flash risk değerlendirmesi



# A.D.Stokes ve W.T.Oppenlander



— Ölçülen  
- - Hesaplanan

$$R_{arc} = \frac{20 + 0.534z_g}{I_{arc}^{0.88}}$$

Seri elektrotlar için min ark voltajı

# Ark akımı ile ark gerilimi

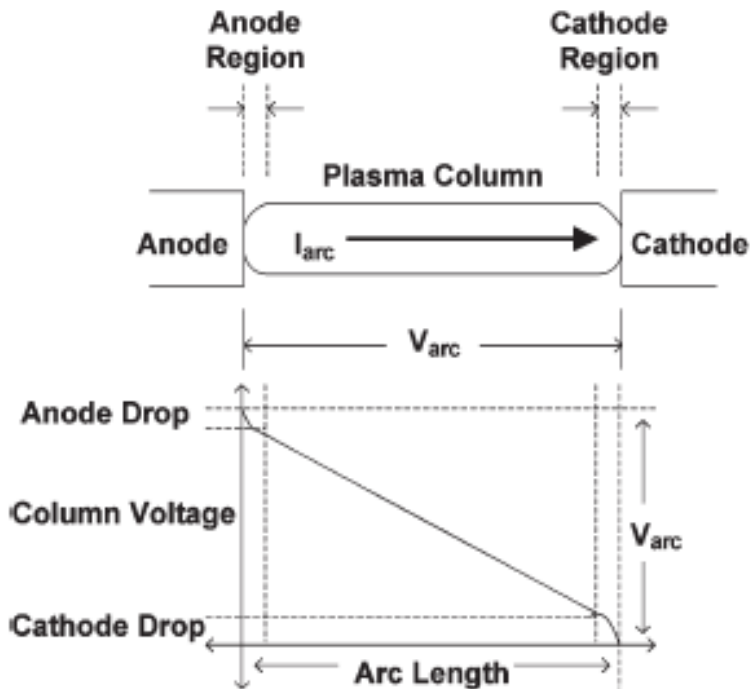


TABLE I  
STROM'S AVERAGE VOLTAGE GRADIENT [6]

Arc Current	Average Voltage Gradient
< 5 kA	12.2 - 13.0V/cm (31 - 33V/in.)
10 kA - 20 kA	15.0V/cm (38V/in.)
68 A - 21.75 kA	13.4V/cm (34V/in.)



# DC ARC FLASH (AFB)

- 100V DC ve 1000A akım üzerindeki sistemlerde AFB mesafesi 91,44cm olarak kabul eder. Buda bu sınırlar içerisinde bulunan tüm çalışanlar KKD şartlarına tam uymak zorundadır.



# DC Ekipmanlı pano içinde incident enerji formülü

$$IE_{ARC} = kE_{ARC} / (a^2 + d^2) \quad \text{calories/cm}^2$$

# NFPA 70 (2012) Ek D DC formülü

## Daniel Doan formülü

- $P = V \times I$

**1000 V DC ye kadar uygulanır**

- $P_{arc} = V_{arc} \times I_{arc}$  (Watt)

- $E_{arc} = (I_{arc})^2 \times R_{arc} \times t_{arc}$  ( $E_{arc} = \text{Joule}$ ), ( $t_{arc} = \text{Sn}$ )

$$E_s = \frac{E_{arc}}{4\pi d^2} \quad \text{Open in air}$$

$E_s = d$  uzaklıktaki enerji (joule)  
 $d =$  Arkdan olan uzaklık (cm)

$I_{sc} =$  Kısa devre akımı

$$I_{arc} = 0.5 \times I_{sc}$$

$$E_{arc} = 0.01 \times I_{arc} \times V_{system} \times \frac{t_{arc}}{d^2} \quad \text{Arc in a open}$$

$$E_{arc} = 3 \times 0.01 \times I_{arc} \times V_{system} \times \frac{t_{arc}}{d^2} \quad \text{Arc in a box}$$

**3 ?**

$$R_{arc} = 0,5 \times V_{SYS} / I_{sc}$$

# NFPA 70 (2012) Ek D DC formülü

## Ammerman formülü

$$R_{arc} = \frac{20 + 0.534 \times z_g}{I_{arc}^{0.88}}$$

Baralar arası mesafe  
Stokes ve oppenlander formülü

$$I_{arc} = \frac{V_{system}}{R_{system} + R_{arc}}$$

Sistemin drenci (Kablo,akü, bağlantı drençleri)

$$E_{arc} = 0.239 \times I_{arc}^2 \times R_{arc} \times \frac{t_{arc}}{4\pi d^2}$$

Paukert (1993)

$$100\text{A} < I_{\text{arc}} < 100\text{kA}$$

# Paukert

Çeşitli elektrot aralıklarına bağlı ark voltajı ile ark direncini hesabı

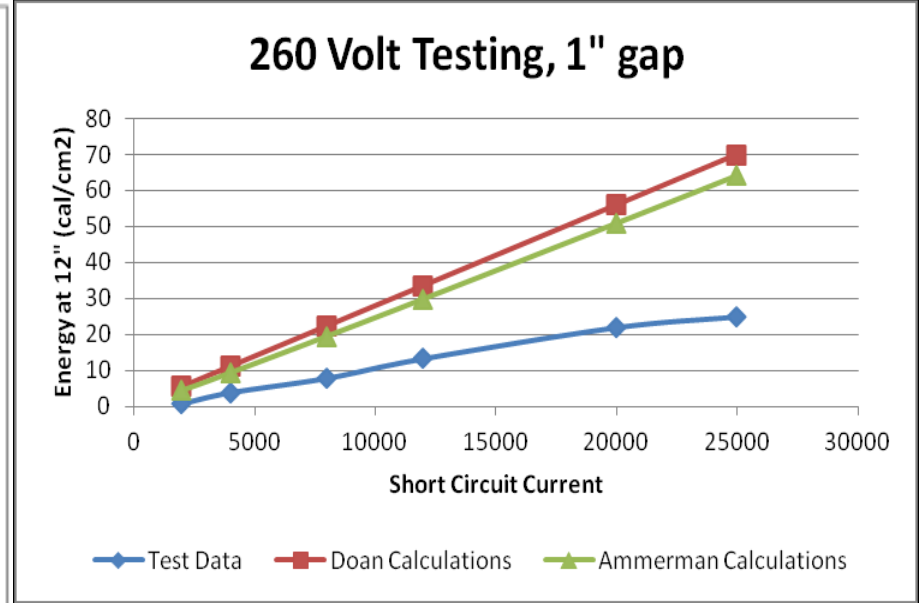
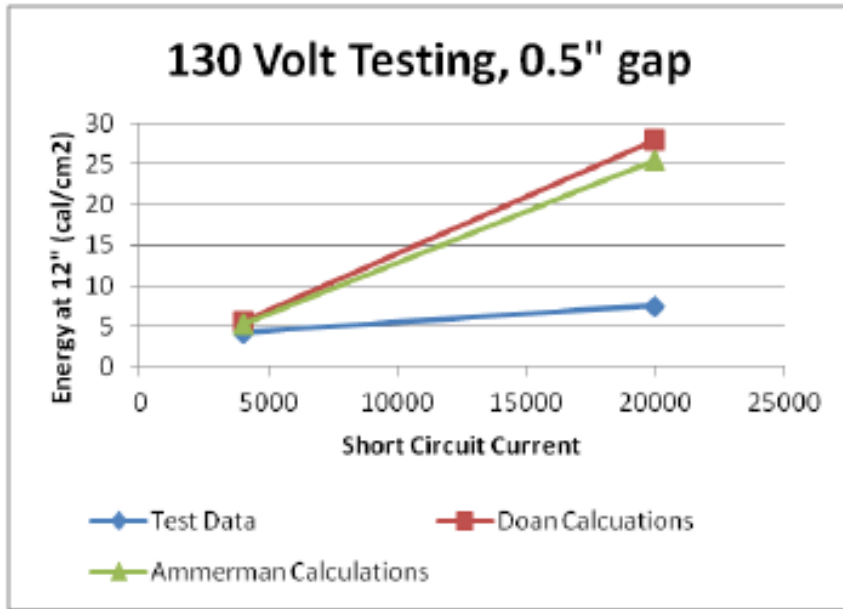
$I_{arc} < 100 \text{ A}$

Electrode Gap (mm)	Arc Voltage (V)	Arc Resistance ( $\Omega$ )
1	$36.32 I_{arc}^{-0.124}$	$36.32 I_{arc}^{-1.124}$
5	$71.39 I_{arc}^{-0.186}$	$71.39 I_{arc}^{-1.186}$
10	$105.25 I_{arc}^{-0.239}$	$105.25 I_{arc}^{-1.239}$
20	$153.63 I_{arc}^{-0.278}$	$153.63 I_{arc}^{-1.278}$
50	$262.02 I_{arc}^{-0.310}$	$262.02 I_{arc}^{-1.310}$
100	$481.20 I_{arc}^{-0.350}$	$481.20 I_{arc}^{-1.350}$
200	$662.34 I_{arc}^{-0.283}$	$662.34 I_{arc}^{-1.283}$

$100 < I_{arc} < 100 \text{ kA}$

Electrode Gap (mm)	Arc Voltage (V)	Arc Resistance ( $\Omega$ )
1	$13.04 I_{arc}^{0.098}$	$13.04 I_{arc}^{-0.902}$
5	$14.13 I_{arc}^{0.211}$	$14.13 I_{arc}^{-0.838}$
10	$16.68 I_{arc}^{0.163}$	$16.68 I_{arc}^{-0.836}$
20	$20.11 I_{arc}^{0.190}$	$20.11 I_{arc}^{-0.810}$
50	$28.35 I_{arc}^{0.194}$	$28.35 I_{arc}^{-0.805}$
100	$34.18 I_{arc}^{0.241}$	$34.18 I_{arc}^{-0.759}$
200	$52.63 I_{arc}^{0.264}$	$52.63 I_{arc}^{-0.735}$

# Duan ve Ammerman karşılaştırması



Kısa devre akımı 5kA geçtikten sonra bu formül gerçek değerlerden uzaklaşmaktadır.

# Ammerman ve Doan Karşılaştırması

Voltage	Short Circuit Current	arc gap (inches)	Test		Doan		Ammerman	
			arc current	Energy (cal/cm <sup>2</sup> ) 12", 2 sec	arc current	Energy (cal/cm <sup>2</sup> ) 12", 2 sec	arc current	Energy (cal/cm <sup>2</sup> ) 12", 2 sec
130	4000	0.5	2300	4.2	2000	5.6	1955	5.3
130	20000	0.5	6200	7.5	10000	28.0	7904	25.4
260	2000	1	1000	1	1000	5.6	1385	4.5
260	2000	2	500	1	1000	5.6	1155	5.2
260	4000	1	2500	4	2000	11.2	2669	9.5
260	4000	2	2000	5	2000	11.2	2176	10.6
260	8000	1	4500	8	4000	22.4	5122	19.6
260	12000	1	6500	13.4	6000	33.6	7482	30.0
260	20000	1	10000	22	10000	56.0	12028	51.0
260	22000	2	6500	22	11000	61.6	9962	58.0
260	25000	1	11750	25	12500	70.0	14785	64.3
260	31000	2	9500	36	15500	86.8	13421	81.0



# Kıyaslama cal/cm<sup>2</sup>

Ölçüm yeri	Volt DC	Max Güç metodu	Paukert Metodu	Stokes Metodu
Elektrokimyasal DC bara	250	7,6	7,2	7
Trafo merkezinin akü rafı	135	0,9	0,8	0,8
UPS AKÜ sistemi	350	1,7	1,4	1,2

# NFPA 70 DC arc olay enerji hesabı

- $IE_m = 0.00951 \times V_{sys} \times I_{arc} \times M_f \times T_{arc} / D_{cm}^2$
- $I_{arc} = 0.5 \times I_{bF}$
- $IE_m = 0.004755 \times V_{sys} \times I_{bF} \times M_f \times T_{arc} / D_{cm}^2$
- $IE_m$  = Maksimum güç noktasındaki yaklaşık olarak dc arc flash energy , **cal/cm<sup>2</sup>**
- $I_{arc}$  = dc arc akımı, Amper
- $I_{bF}$  = dc Kısa devre akımı , Amperes
- $V_{SYS}$  = dc Sistem gerilimi, Volts
- $T_{arc}$  = Kesici veya rölenin açma süresi (sn) .
- $D_{cm}$  = Çalışma mesafesi, cm
- $M_f$  = Çarpan faktörü 1.0 için arc-in-open-air

# Çarpan faktörü 3 mü 5 mi?

Enclosure Type	Enclosure Width mm (in)	Enclosure Height mm (in)	Enclosure Depth mm (in)
Small	305 (12.0)	356 (14.0)	191(7.5)
Medium	508 (20.0)	508 (20.0)	508 (20.0)
Large	1143 (45.0)	762 (30.0)	762 (30.0)

Çarpan faktörü 5 alınmalı

# AFB (Yaklaşma Mesafesi)

$$D_{afb} \text{ (cm)} = [(0.003963) \times M_f \times V_{SYS} \times I_{bF} \times T_{arc}]^{0,5}$$

**Kaynaktan olan uzaklıklar  $D_{in}$**

Distance from Arc		
(inches)	(mm)	(cm)
36	910	91.0
24	610	61.0
18	455	45.5

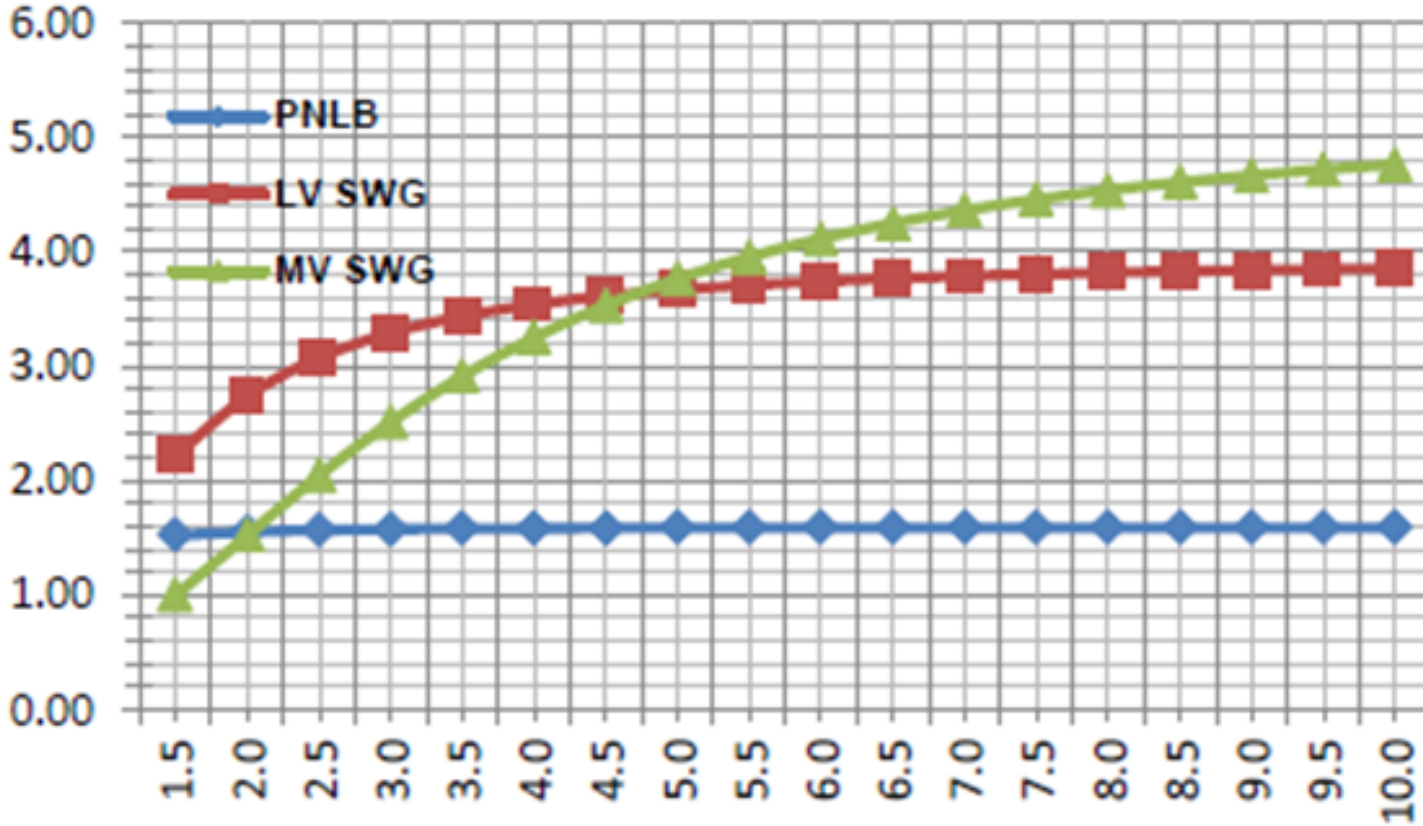
# Çarpan faktörü hesabı

$$M_f = (k4\pi)/(1 + [A_{in}/D_{in}]^2)$$

$$A_{in} = 0.03937a \quad (\text{inc})$$

	Width		Height		Depth		Area of inner surface		a	A <sub>in</sub>	k
	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm <sup>2</sup> )	(in. <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	N/A
PNLB (Small)	305	12.0	356	14.0	191	7.5	361082	560	100	3.937	0.127
LV SWG (Medium)	508	20.0	508	20.0	508	20.0	1290320	2000	400	15.748	0.312
MV SWG (Large)	1143	45.0	762	30.0	762	30.0	3774186	5850	950	37.4015	0.416

# Çarpan faktörü



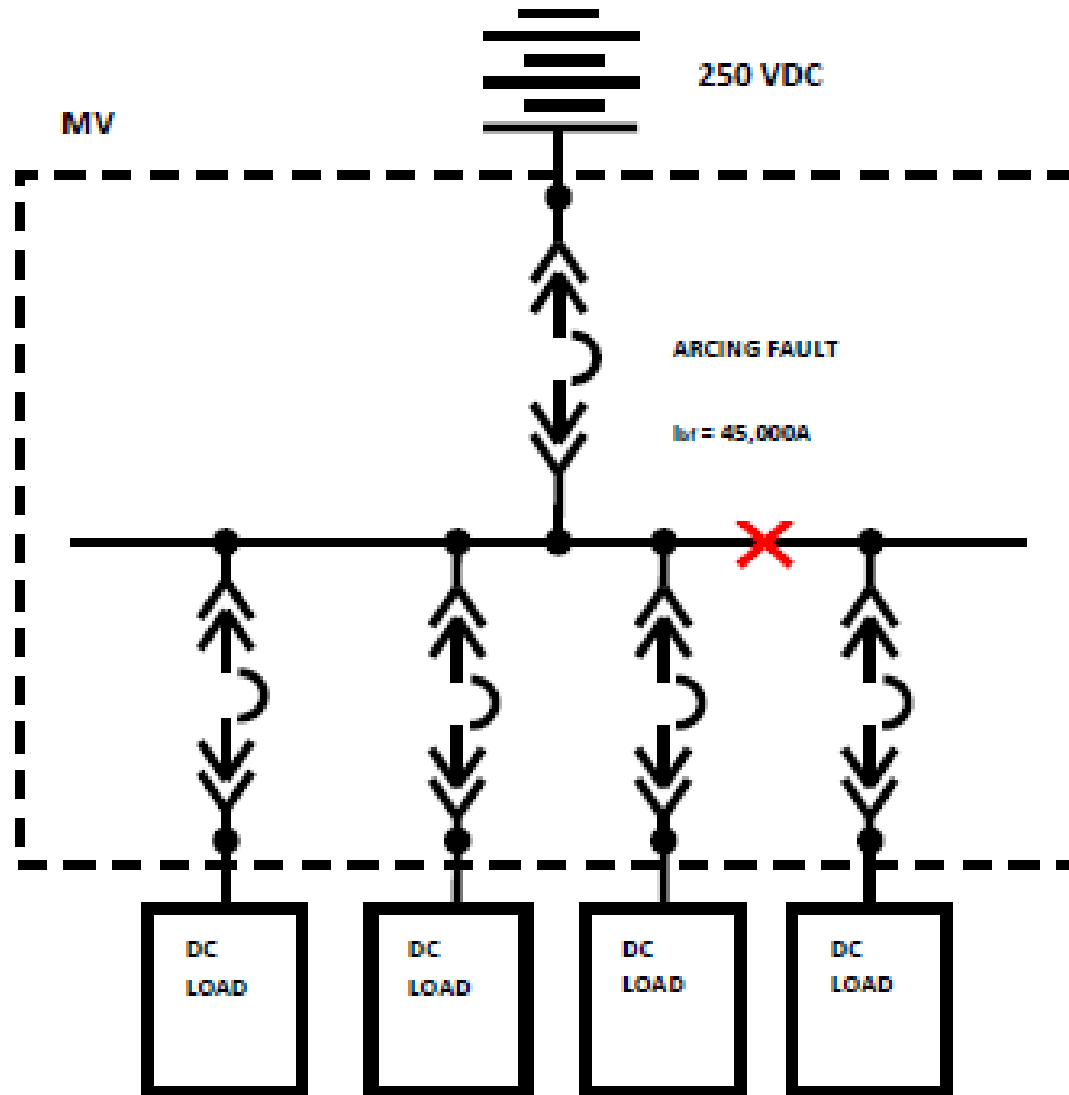
Akü dolapları bu de değerlendirili

Pratikte kullanılır.

45,72	60,96	76,20	91,44	106,68	121,92	137,16	152,40	167,64	182,88	198,12	213,36	228,60	251,84	276,08	301,32	327,56	354,80
-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

cm

# örnek

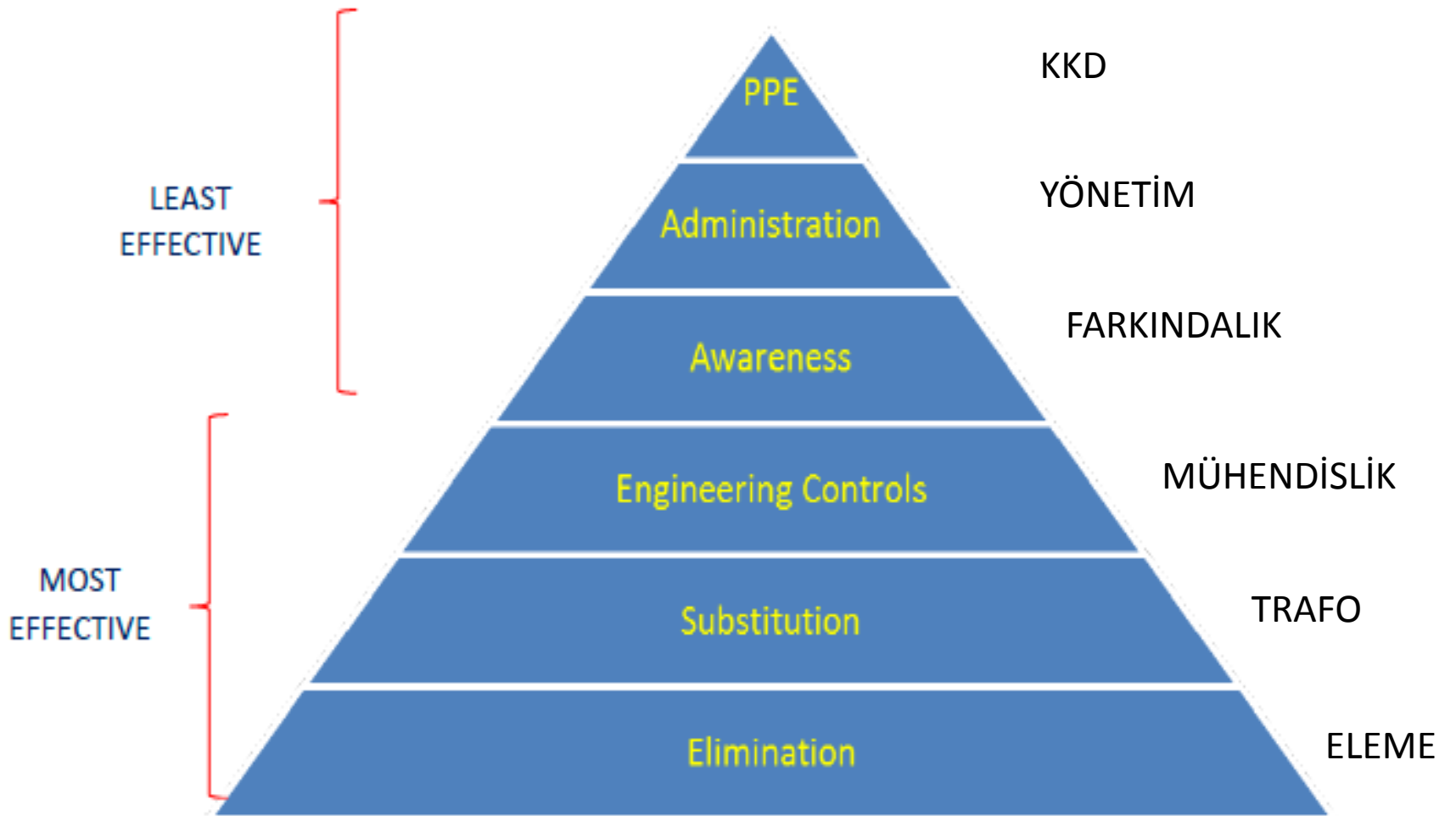


# AFB (Orta boy bir pano)

**Table 3. Example of determining arc flash boundary based on a medium sized enclosure.**

<i>K</i>	0.416	0.416	0.416	0.416
$\Pi$	3.142	3.142	3.142	3.142
<i>A</i>	37.4	37.4	37.4	37.4
<i>D</i>	3	101.8	106.3	107.2
$M_f$	-	3.27	3.33	3.34
$V_{sys\_dc}$	250	250	250	250
$I_{bf}$	45000	45000	45000	45000
$T_{arc}$	0.5	0.5	0.5	0.5
$M_f$	3.27	3.33	3.34	3.34
$D_{afb\_in}$ (ft)	101.8 (8.48)	106.3 (8.86)	107.2 (8.93)	107.4 (8.95)





# Basit bir örnek Doan formülüne göre

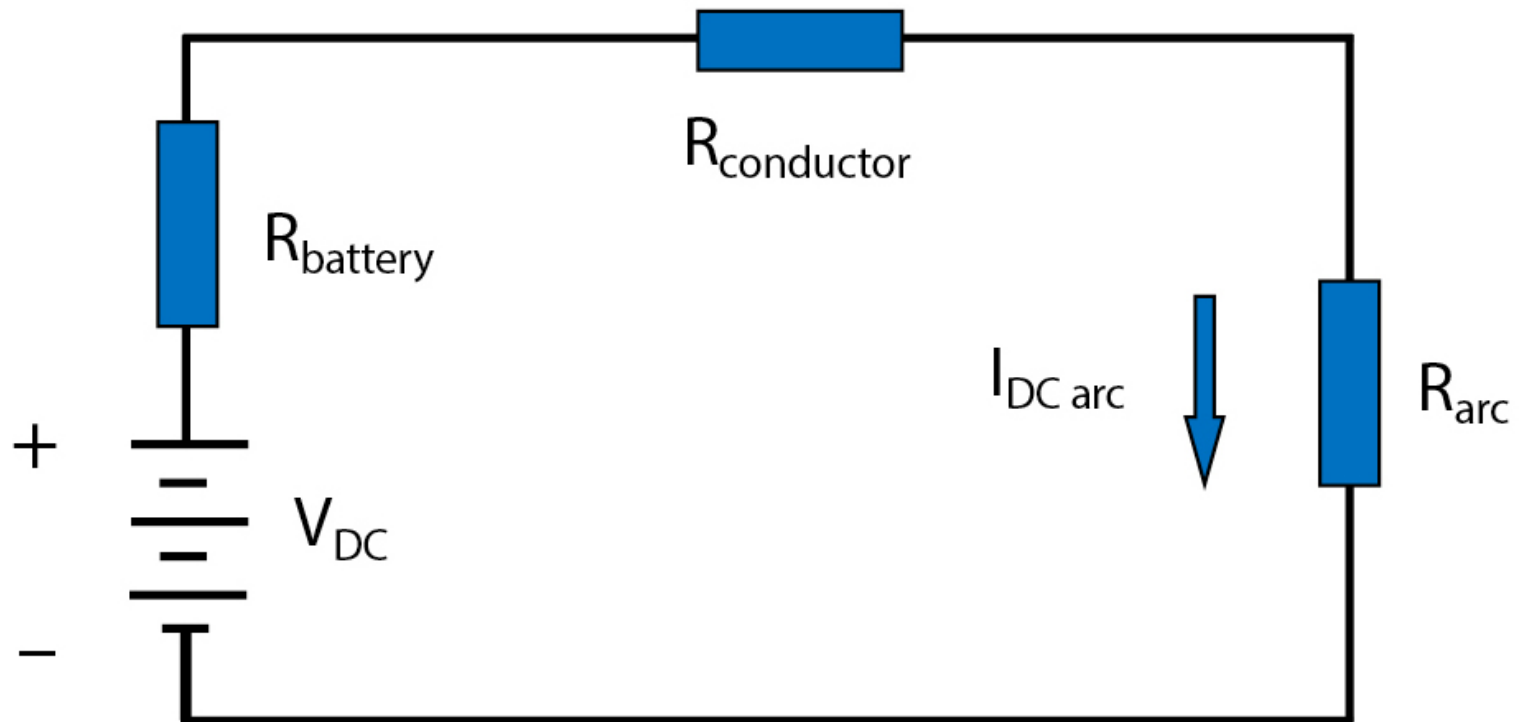
Akü tipi	UPS akü,
Bataryanın Gücü	500W/ Akü
Kısa devre akımı	4500 A
Akü sayısı	40
Akünün Gerilimi	12,6 V DC
Akünün iç drenci	2,8 ohm

$$I_{arc} = 0.5 \times 4,500 = 2,250 \text{ amps}$$

$$E_{arc} = 0.01 \times 2,250 \times 40 \times 12.6 \times \frac{2}{(18'' \times 2.54)^2} = 10.8 \text{ cal/cm}^2$$

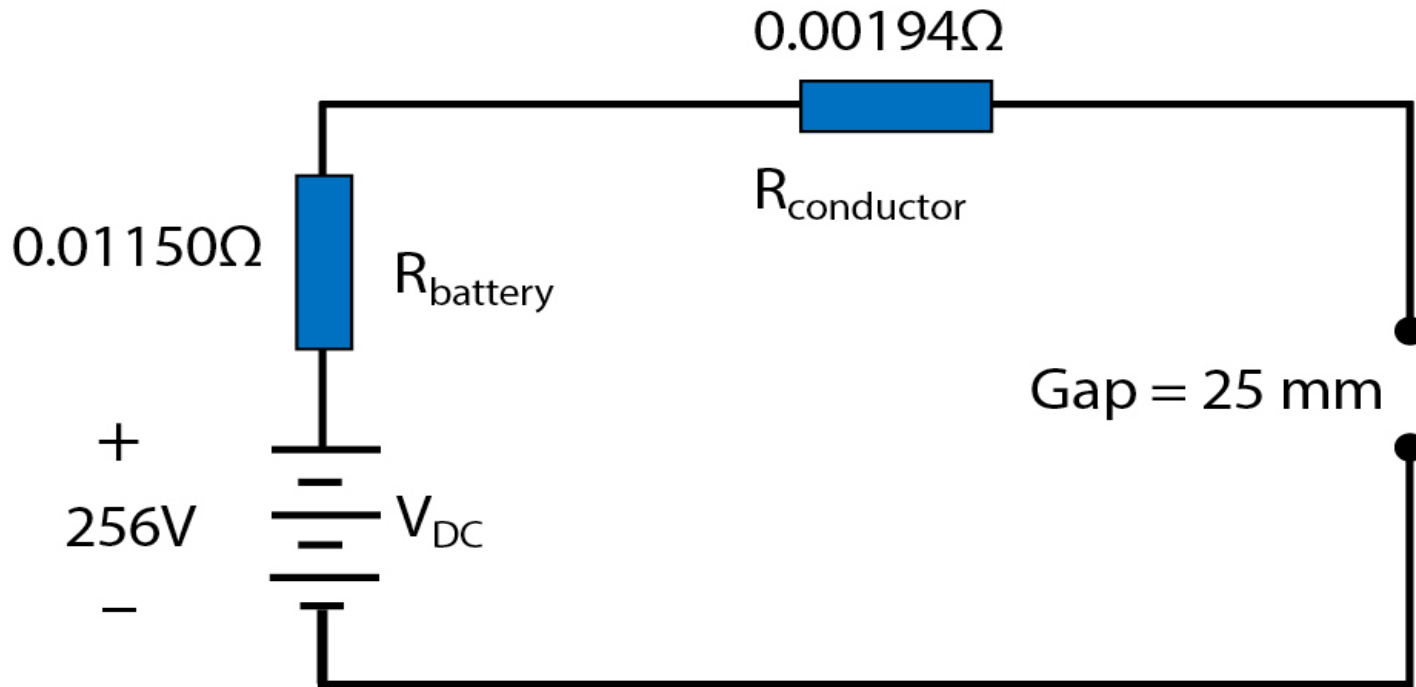
# Ammerman metodu DC Hesaplama

**Figure 1** Ohm's Law and DC arc flash calculations



# Ammerman metodu DC Hesaplama

**Figure 2** DC arc flash example



$$I_{DC \text{ arc}} = 0,5 * (256 / (0,0115 + 0,00194)) = 9,524 \text{ kA}$$

# Ammerman $R_{arc}$ DC Sistemlerde Hesaplama

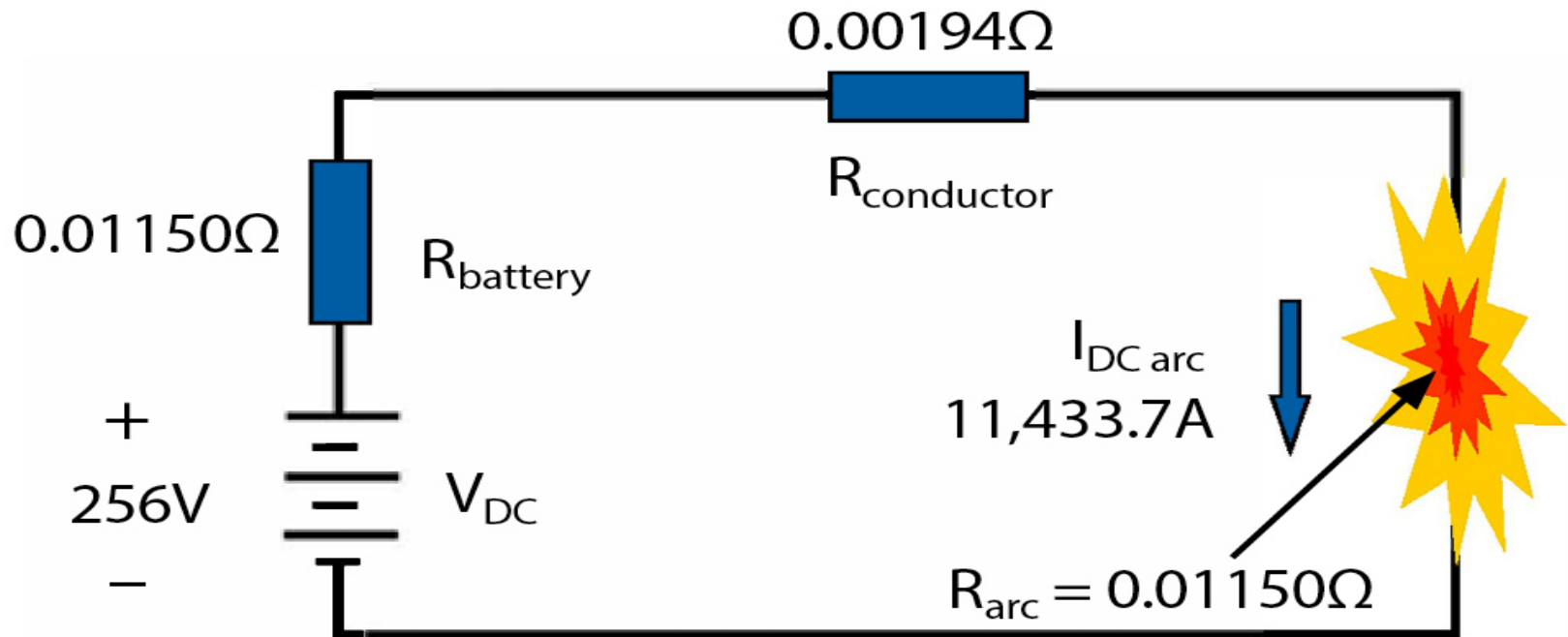
**Figure 3**

DC arc resistance worksheet			
$R_{arc}$ = DC arc resistance in ohms		$G$ = gap in mm	$I_{DC arc}$ = DC arcing current
Step 1	$G \times 0.534$	$(25) \times 0.534$	13.3500
Step 2	Step 1 + 20	$(13.35000) + 20$	33.3500
Step 3	$I_{DC arc}^{0.88}$	$(9,524)^{0.88}$	3,172.2036
Step 4	$R_{arc} = \text{Step 2} \div \text{Step 3}$	$(33.3500) \div (3,172.2036)$	0.01051

$$R_{arc} = \frac{20 + 0.534 \times z_g}{I_{arc}^{0.88}} \longrightarrow z_g = G \text{ Bara arası mesafesi}$$

# Duan metodu ile DC Hesaplama

**Figure 4** Results from example problem



# Ammerman $E_{arc}$ DC Arc flash enerji hesabı

**Figure 5**

DC incident energy worksheet—Arc flash in open air			
$E_{i\ air}$ = incident energy $R_{arc}$ = arc resistance in ohms $d$ = distance from arc in mm $E_{arc}$ = energy in arc $I_{DC\ arc}$ = DC arcing current $t_{arc}$ = time in seconds			
Step 1	$E_{arc} = I_{DC\ arc}^2 \times R_{arc} \times t_{arc}$	$(11,433.7)^2 \times (0.00895) \times (0.3)$	351,008.70
Step 2	$4 \times \pi \times d^2$	$12.56637 \times (457)^2$	2,624,473.81
Step 3	$E_{i\ air} = \text{Step 1} \div \text{Step 2}$	$351,008.70 \div 2,624,473.81$	0.1337
Step 4	$\text{cal/cm}^2 = \text{J/mm}^2 \times 23.9$	$(0.1337) \times 23.9$	3.20

# Ammerman metodu DC Hesaplama

**Figure 6**

<b>DC incident energy worksheet—Arc flash in an enclosure/box</b>			
$E_{i\text{ air}}$ = incident energy $R_{\text{arc}}$ = arc resistance in ohms $d$ = distance from arc in mm $E_{\text{arc}}$ = energy in arc $I_{\text{DC arc}}$ = arcing current $t_{\text{arc}}$ = time in seconds			
Step 1	$E_{\text{arc}} = I_{\text{DC arc}}^2 \times R_{\text{arc}} \times t_{\text{arc}}$	$(11,433.7)^2 \times (0.00895) \times (0.3)$	351,008.70
Step 2	$a^2 + d^2$	$(100)^2 + (457)^2$	218,849.00
Step 3	$k \times E_{\text{arc}}$	$(0.127) \times (351,008.70)$	44,578.10
Step 4	$E_{i\text{ air}} = \text{Step 3} \div \text{Step 2}$	$(44,578.1) \div (218,849.0)$	0.2037
Step 5	$\text{cal/cm}^2 = \text{J/mm}^2 \times 23.9$	$(0.2037) \times 23.9$	4.9





# DC YAKLAŞIM MESAFELERİ

NOMİNAL GERİLİM	Yaklaşım mesafesi	Kıyafetli yaklaşım	Kıyafetli en fazla yaklaşım
0-100 V DC	Yok	Yok	Yok
101- 300 V DC	1 metre	Dokunma	Dokunma
301 – 1000V DC	1 metre	30 cm	25 cm



# ETİKETLER

 <b>WARNING</b> Qualified Persons Only	
Arc-Flash and Shock Hazards Appropriate PPE Required	
REVIEW SAFE WORK PRACTICES PRIOR TO WORK	
44 in 7.1 cal/cm <sup>2</sup> 5.85 kA	Arc-Flash Hazard Boundary Arc-Flash Incident Energy at Work Distance: 18 inches Maximum Available Fault Current
<b>Recommended (Minimum) PPE:</b> Arc-rated long sleeve shirt and arc-rated pants, or arc-rated coverall and/or arc-flash suit. Arc-rated arc-flash suit hood, arc-rated gloves, arc-rated jacket, parka, or rainwear. Hard hat, arc-rated hard hat liner, safety glasses, hearing protection, arc-rated gloves, and leather footwear.	
480 VAC 00	Shock Hazard when Cover is Removed Glove Class
42 in 12 in	Limited Approach Restricted Approach
Equipment/Device Name: MCC-2A Feed From: MDP-1 Scenario 2 - Normal Power	Study Performed by: ACME Flash, Inc. Prepared: 02/12/16

 <b>DANGER</b>	
Arc-Flash and Shock Hazards Energized Work Prohibited	
207 in 65 cal/cm <sup>2</sup> 43.8 kA	Arc-Flash Hazard Boundary Arc-Flash Incident Energy at Work Distance: 18 inches Maximum Available Fault Current
<b>Recommended (Minimum) PPE:</b> No Safe PPE Exists - Do Not Work On Equipment While Energized!	
480 VAC 00	Shock Hazard when Cover is Removed Glove Class
42 in 12 in	Limited Approach Restricted Approach
Equipment/Device Name: Main CB Feed From: Service Switchboard Scenario 2 - Normal Power	Study Performed by: ACME Flash, Inc. Prepared: 02/12/16

Çalışma gerilimi ve çarpılmaya karşı emniyet sınıfı

Etiket hazırlama tarihi  
Etiketi hazırlayan Firma

ARC 1, 2,3 WARNING  
ARC 4 DANGER

Ölçümün yapıldığı yer

Kkd ile Çalışma mesafesi

**Her iki etikette KKD kullanım tehlike seviyesi ARC değeri yazılmamıştır. Uygun değildir.**

# SORULAR



TEŞEKKÜRLER

[aydin.kececi@hotmail.com](mailto:aydin.kececi@hotmail.com)