

Farer ved strøm og spenning

Skadeomfanget ved elektrisk støt avhenger hovedsakelig av følgende faktorer [1]: Type strøm, eksponeringstid, strømstyrke og strømbane gjennom kropp.

1. Type strøm

AC strøm fører generelt til mer omfattende muskelsammentrekninger enn DC strøm [1]. For de frekvenser man finner i stikkontakter, dvs. 50 Hz i Europa og 60 Hz i USA, betraktes AC strøm å være 3-5 ganger farligere enn DC strøm for en gitt strømstyrke [1].

2. Eksponeringstid

Mengde energi avsatt i kroppsvev øker med tiden. Denne faktoren kan reduseres betydelig dersom man tar sine forhåndsregler under arbeid med elektrisk apparatur. Grip f.eks. aldri rundt en gjenstand som du mistenker kan være strømførende. Strømmen vil låse hånden, og du utsettes for en mye større skade enn om du f.eks. hadde berørt gjenstanden med yttersiden av håndflaten.

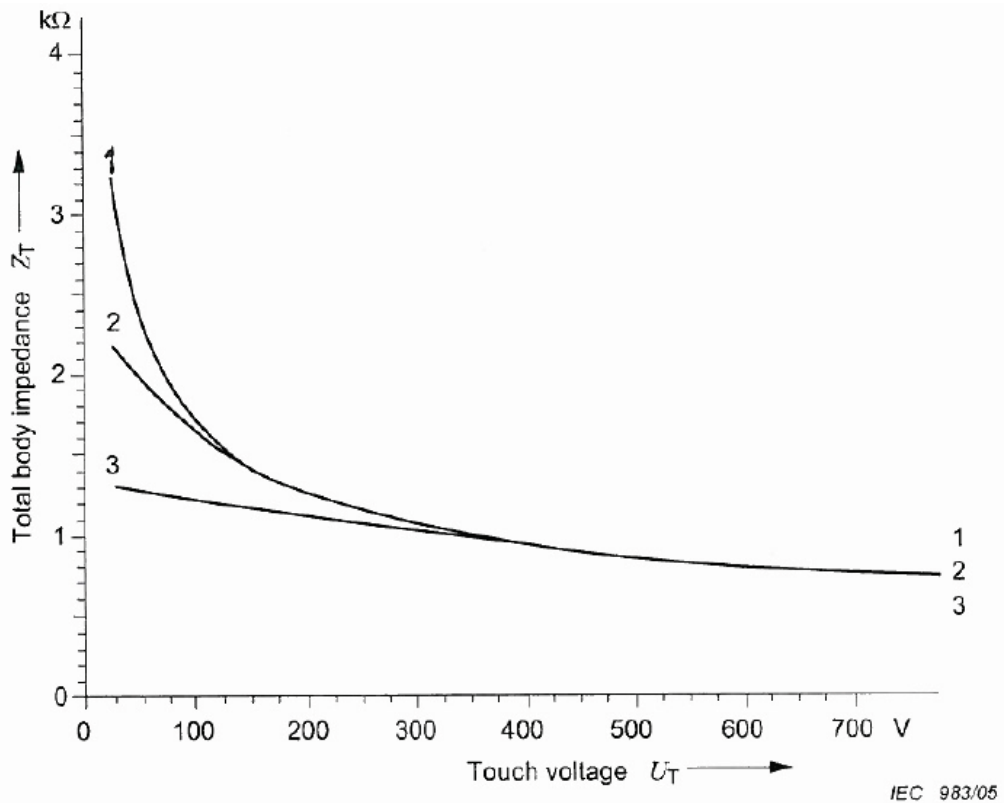
3. Strømstyrke.

Faren ved et elektrisk støt er forbundet med størrelsen på strømmen som går gjennom kroppen. Hvor stor spenning vi tåler avhenger derfor av den totale motstanden i strømkretsen hvor kroppen inngår. Dette er illustrert i et eksempel nedenfor og i Fig. 2. Kroppsvev med høy resistans er mest utsatt for skade siden størst mengde energi frigjøres i dette vevet. Tabell 1, hentet fra Ref. [1], gir en oversikt over sammenhenger mellom strømstyrke og kroppslige reaksjoner. I størrelsesorden samsvarer verdiene med faresonene definert i Fig. 3 og Fig. 4, men disse figurene viser også viktigheten av å ta med eksponeringstiden i vurderingen av faregrad. **Merk at Fig. 3 og Fig. 4 viser at i verste tilfelle kan så lave strømmer som 30 mA AC og 130 mA DC være livsfarlige.**

Tabell 1: *Forventede kroppslige reaksjoner for ulike strømstyrker. Dette er omtrentlige verdier som er personavhengig. Hentet fra Ref. [1].*

	AC strøm [mA]	DC strøm [mA]
Merkbar strøm	1-10	5-10
Gir muskelsammentrekning.	15	75
Gir hjerteflimmer	60-100	300-500

Vår viktigste beskyttelse mot indre elektrisk skade er huden. Hud har høy resistans noe som fører til at mye av energien i strømmen avsettes på overflaten av kroppen, og på den måten beskytter indre vitale organer. Det er viktig å være klar over at resistans til hud kan varierer mye. Tørr og uskadet hud har mye høyere resistans enn tynn og fuktig hud. Dette er illustrert i Fig. 1 der total motstand i kropp fra hånd til hånd for 50-60 Hz AC strøm er plottet som funksjon av spenningsfall over kropp for tre ulike scenarioer med tørr og våt hud. Vi ser også av plottet at effekten av hud som beskyttelse mot elektrisk strøm forsvinner ved høye spenningsfall. Årsaken til dette er at ved høyt spenningsfall svekkes huden pga at den brennes. Man bør derfor være ekstra forsiktig under arbeid med elektrisk apparatur dersom man for eksempel har sår på hendene.



Key

- 1 dry conditions (Table 1)
- 2 water-wet conditions (Table 2)
- 3 saltwater-wet conditions (Table 3)

Fig.1: Total motstand i kropp for 50-60 Hz AC strøm når strømbane går fra hånd til hånd som funksjon av spenningsfall over kropp for tilfellen der hud er 1) tørr, 2) våt (usaltet vann) og 3) våt (saltvann). Kontaktflate med strømførende gjenstand er her 82 cm^2 . Legg merke til at de tre scenarioene sammenfaller for spenninger over 350 V noe som tyder på at indre motstand i kropp, ikke hud, er den dominerende resistansen. Hentet fra Ref. [2].

4. Strømbane gjennom kropp

En AC-strøm så lav som 50 mA med 1 sek. eksponeringstid gjennom hjerteregionen er nok til å frembringe hjerteflimmer (Se Fig.3), og kan dermed være dødelig. Dette er noe man bør tenke over når man jobber med strømførende gjenstander. F.eks., unngå å gripe en elektrisk gjenstand med den ene hånden dersom den andre hånden er i kontakt med noe som går til jord. En mulig strømbane vil da være gjennom brystregionen.

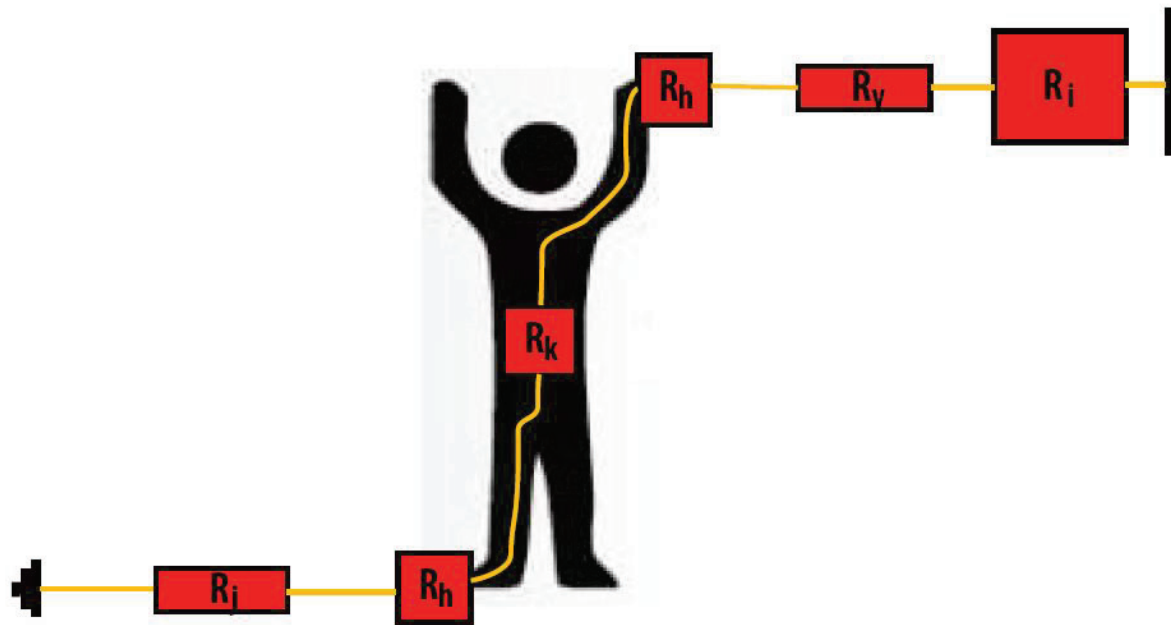


Fig.2: Strømkrets der en persons kropp er del av kretsen. Her er R_i indre resistans til et elektrisk apparat, R_v og R_j er resistans i strømledere, R_h er motstand i huden og R_k er indre resistans i kroppen. Generelt er $R_h \gg R_k$.

Fig. 1 viser en strømkrets der kroppen inngår i kretsen. Strømmen som går gjennom denne kretsen er bestemt av Ohms lov:

$$I = \frac{V}{R_i + R_v + R_h + R_k + R_h + R_j} \quad (1)$$

Her er V spenningen over kretsen.

Eksempel:

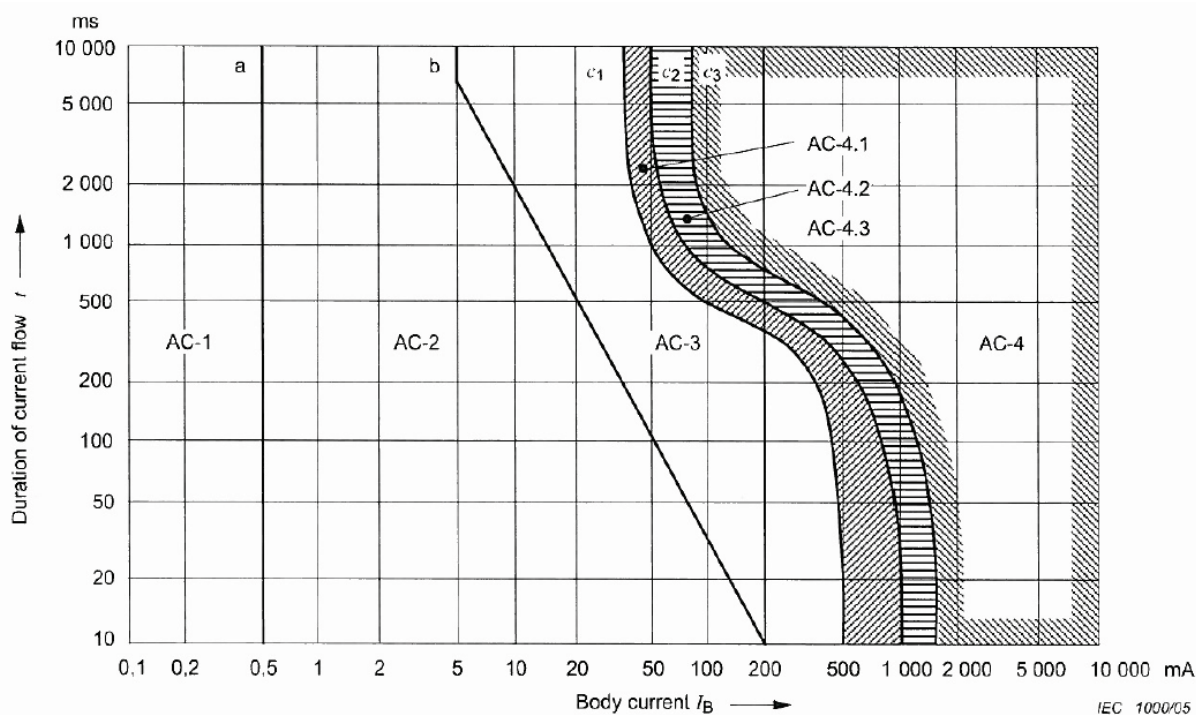
La oss som en illustrasjon tenke oss en person som stikker to metalliske gjenstander inn i en kontakt med 230V spenningsdifferanse mellom de to kontakthullene. Fra Fig. 1, vil total kropps-resistans i dette tilfellet ligge mellom 1.1 – 1.3 k Ω . Fra lign 1, impliserer dette en strømstyrke av størrelse 210-180 mA.

International Electrotechnical Commission (IEC) har utarbeidet et strømstyrke-eksponeringstid diagram der 4 ulike faresoner er inntegnet for AC og DC strøm som går fra venstre hånd gjennom kropp ned til bena (Se Fig. 3 og 4). For eksempelet over, med 0.1 sekunders eksponeringstid (Tilsvare ca reaksjonstiden til et menneske), ser vi at nettspenningen er i faresonen AC-3. AC-3 strømstyrke vil gi muskelsammentrekninger. Dette betyr at dersom personen i eksempelet over holder rundt de metalliske gjenstandene vil hendene knyttes enda hardere til gjenstandene noe som igjen fører til en lenger eksponeringstid enn kun reaksjonstiden. Fra Fig.3 ser vi at kun en eksponeringstid på rundt 0.5 sekund er nødvendig for at 200 mA kan utløse hjertefflimmer, og at dersom personen ikke kommer løs i løpet av ett sekund, er han i det klart livsfarlige området vist i Fig. 3.

5. Livsfarlige AC og DC spenningskilder

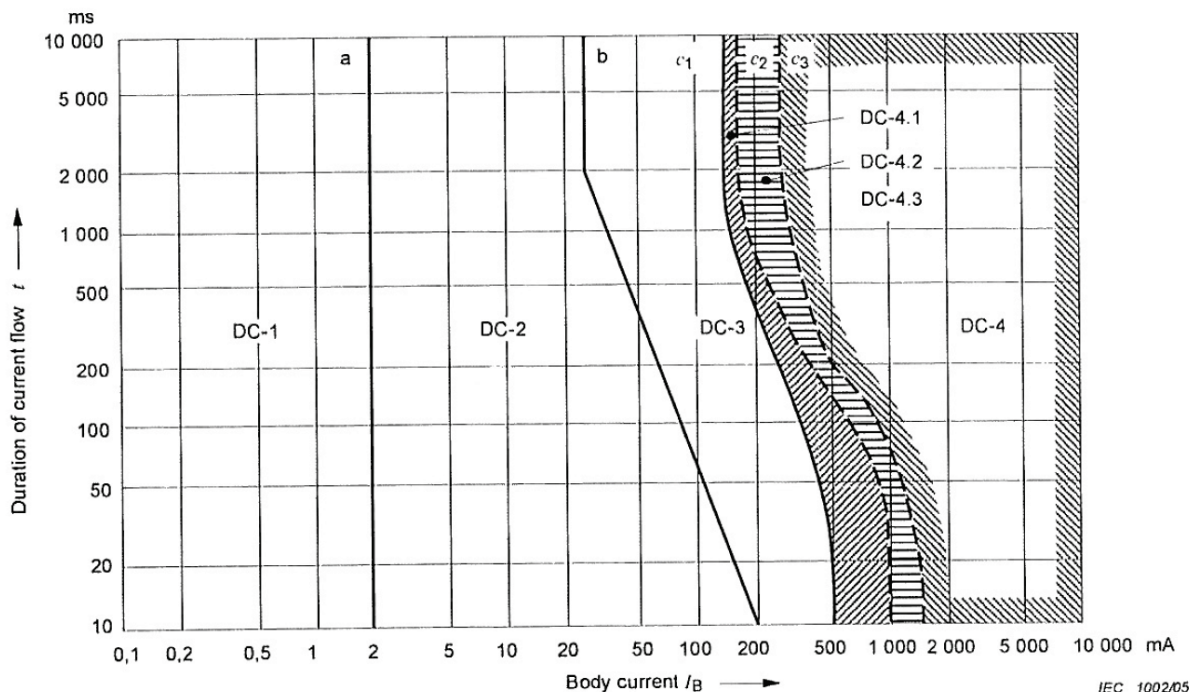
La oss på grunnlag av Fig. 1, 3 og 4 gjøre et anslag på hva som er nedre spenningsgrense for spenningskilder som kan betraktes som livsfarlige. Fra Fig. 3 og 4 er 30 mA og 130 mA nedre grense for strømstyrker som kan fremkalle hjerteflimmer for henholdsvis AC og DC strøm.

Dersom vi på grunnlag av Fig. 1 antar at 1000 Ohm er et estimat på laveste motstand gjennom kropp, impliserer dette at en 30V AC-kilde og en 130V DC-kilde i verste fall kan være livsfarlige.



Zones	Boundaries	Physiological effects
AC-1	Up to 0,5 mA curve a	Perception possible but usually no 'startled' reaction
AC-2	0,5 mA up to curve b	Perception and involuntary muscular contractions likely but usually no harmful electrical physiological effects
AC-3	Curve b and above	Strong involuntary muscular contractions. Difficulty in breathing. Reversible disturbances of heart function. Immobilization may occur. Effects increasing with current magnitude. Usually no organic damage to be expected
AC-4 ¹⁾	Above curve c_1 c_1-c_2 c_2-c_3 Beyond curve c_3	Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time AC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % AC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % AC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 %
¹⁾ For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation, this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet. For other current paths, the heart current factor has to be considered.		

Fig. 3: IECs definisjon av faresoner for 50-60 Hz AC strøm som går fra hånd til føtter. Sone AC-4 representerer dødelig fare sone. Hentet fra Ref. [2].



Zones	Boundaries	Physiological effects
DC-1	Up to 2 mA curve a	Slight pricking sensation possible when making, breaking or rapidly altering current flow
DC-2	2 mA up to curve b	Involuntary muscular contractions likely especially when making, breaking or rapidly altering current flow but usually no harmful electrical physiological effects
DC-3	Curve b and above	Strong involuntary muscular reactions and reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart may occur, increasing with current magnitude and time. Usually no organic damage to be expected
DC-4 ¹⁾	Above curve c_1 c_1-c_2 c_2-c_3 Beyond curve c_3	Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time DC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % DC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % DC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 %

¹⁾ For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet and for upward current. For other current paths the heart current factor has to be considered.

Fig. 4: IECs definisjon av faresoner for DC strøm som går fra hånd til føtter. Sone DC-4 representerer dødelig fare sone. Hentet fra Ref. [2].

Referanser

- [1] Merck Manuals – Online Medical Library om Electrical injuries.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 60479-1 (2005).

Kjetil M. D. Hals, September 2010.