

Varför ska utlösning ske inom 0,4 sekunder?

Mats Jonsson, STF Ingenjörutbildning AB

Personligen tycker jag inte om att använda ordet ”utlösning villkor” när man talar om dagens regler för skydd mot elchock genom automatisk frånkoppling av matningen. Begreppet härrör från § 6 i äldre starkströmsföreskrifter: ”utlösning ska ske inom några sekunder”. I dag bör man kanske använda uttryck som ”automatisk frånkoppling”. Det får i alla fall anses som mindre ”stötande”. Men rubriken blir mer spännande med den äldre formuleringen.

I Elsäkerhetsverkets föreskrifter ELSÄK-FS 2004:1 ges de grundläggande reglerna för skydd mot elchock: Dels ska skydd erhållas vid normal drift, skydd mot direkt beröring, dels ska skydd erhållas i händelse av ett fel, skydd mot indirekt beröring.

Detaljerade anvisningar om skydd mot elchock kan hämtas i SS 436 40 00, de så kallade Elinstallationsreglerna, kapitel 41. Förutom användning av skyddsklenspänning visar standarden på fem metoder till skydd mot indirekt beröring, 413.1 – automatisk frånkoppling av matning, 413.2 – extra isolering, 413.3 – isolerad miljö, 413.4 – jordfri lokal potential-utjämning samt 413.5, - skyddsseparation. Enligt Elsäkerhetsverkets föreskrifter får metoden isolerad miljö användas i lågspänningsinstallationer endast om speciella förhållanden nödvändiggör metoden.

Reglerna föreskriver att skydd genom automatisk frånkoppling ska tillämpas för varje installation utom för delar av installationen där en annan skyddsmetod är vidtagen mot indirekt beröring. För elinstallationer är automatisk frånkoppling den i särklass vanligaste skyddsmetoden mot indirekt beröring.

Metoden förutsätter dels att utsatta delar är anslutna till skyddsjord, dels att skydds- och PEN-ledare är anslutna till ett huvudpotentialutjämningsystem.

Ett fel mellan spänningsförande delar och utsatta delar, skyddsledare eller PEN-ledare i kretsen eller utrustningen får inte ge en beröringsspänning som överstiger 50 V växelspanning eller 120 V likspanning under så lång tid att personfara uppstår vid samtidig beröring av åtkomliga ledande delar. Det vill säga; om det vid ett fel uppkommer en beröringsspänningen mellan exempelvis utsatt del och huvudpotentialutjämnningen som överstiger 50 V vs, måste frånkoppling ske så snabbt att personfara inte uppstår.

Reglerna är väl kända av många eltekniker. Men varför ska frånkopplingstiden vara 0,4 sekunder under torra och i övrigt normala förhållanden och 0,2 sekunder under vissa yttre förhållanden ($U_0 = 230$ V)? Det bör påpekas att tiden 0,4 sekunder gäller för handhållen eller flyttbar materiel av klass 1 (materiel som är ansluten till skyddsjord). Ett mer utvecklat resonemang och tekniska beskrivningar om reglerna i 413 finns i IEC Technical report 61200 – 413, Part 413: Protection against indirect contact – Automatic disconnection of supply. Rapporten ligger till grund för Elinstallationsreglernas avsnitt 413. Mer om rapporten lite längre fram.

Vi börjar dock med en kort sammanfattning av IEC Technical report 60479-1, Effekter av ström genom människor och djur.

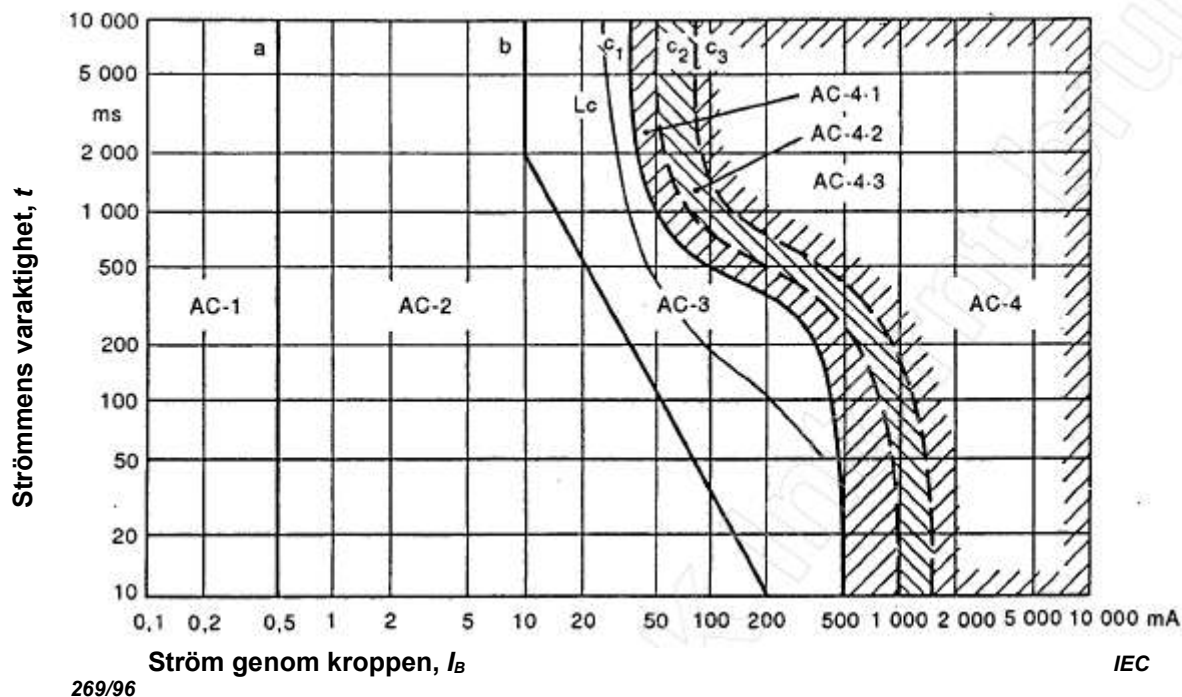
Strömmens påverkan på människan.

Reglerna för frånkopplingstider relateras till den nominella spänningen till jord, U_0 . Men mer intressant är spänningen över själva kroppen, *beröringsspänningen*. Det är dock inte spänningen i sig som är skadlig, utan den ström flyter genom kroppen. Växelström vid 50 Hz är i detta sammanhang särskilt farlig. Skador kan uppkomma vid betydligt lägre femtioperiodig växelström än vid jämförelse med likström. Men det är inte bara strömmens storlek och frekvens som är avgörande för skaderisken. Även strömmens väg genom kroppen

har stor betydelse. Teoretiskt sett skulle man kunna klara en större stegspänning (fot till fot) än en beröringsspänning över båda händerna.

De erkända riskerna med växelström inom området 15 – 100 Hz framgår av figur 1 och tabell 1 nedan.

Figur 1 – Strömmens påverkan på människan (förklaringar se tabell 1 nedan)



Tabell 1 – Område för tid/ström för växelström 15 – 100 Hz

AC-1	Upp till 0,5 mA linje a	Vanligen ingen inverkan
AC-2	0,5 mA upp till linje b *	Vanligen ingen skadlig fysiologisk inverkan
AC-3	Linje b upp till kurva c_1	Vanligen förväntas inga organiska skador. Sannolikt uppstår krampliknande muskelsammandragningar och andningssvårigheter när strömmens varaktighet överstiger 2 sekunder. Övergående störningar i hjärtats signalsystem, inkluderat förmaksflimmer och övergående hjärtstillestånd, utan hjärtkamarflimmer, som ökar med strömmens värde och varaktighet.
AC-4	Över kuva c_1	Med ökad strömstyrka och tid, risk för skadlig patologisk-fysiologisk inverkan såsom hjärtstillestånd, andningsförlamning och svåra brännskador utöver effekterna i AC-3.
AC-4.1	$c_1 - c_2$	Sannolikheten för hjärtkamarflimmer är 5 %
AC-4.2	$c_2 - c_3$	Sannolikheten för hjärtkamarflimmer stiger till 50 %
AC-4.3	Bortanför kurva c_3	Sannolikheten för hjärtkamarflimmer är över 50 %

* När varaktigheten på en ström är under 10 ms, är gränsen för ström genom kroppen konstant vid värdet 200 mA. Kurva L_c ingår inte i IEC Technical report 60479-1 utan är ett tillägg i IEC 61200-413 och har sitt stöd i beslut av IEC TC64. L_c ligger till grund för tabellerna i kap. 41 i SS 436 40 00.

Det elektriska motståndet hos en människas kropp vid 50/60 Hz

Den impedans som en kropp utgör i en strömkrets påverkas av beröringsspänningen, frekvensen, graden av hudens fuktighet, strömmens väg samt storleken på kontaktytorna.

Motståndet kan delas in i yttre motstånd och inre motstånd. Utöver kroppens impedans kan den yttre miljön såsom fotbeklädning och golvbeläggning komma att påverka strömgenomgången.

Det inre motståndet kan anses vara nära rent resistivt och beror till större del på strömmens väg än på kontaktyternas storlek. Motståndet utgörs i praktiken av armar och ben, där de fyra extremiteterna kan liknas vid varsin resistor. Vid strömgenomgång hand till hand blir det inre motståndet arm plus arm i serie, vid strömgenomgång från en hand till två fötter blir motståndet lika med en arm i serie med två parallella ben. Se även anmärkningen till tabell 2.

Det yttre motståndet utgörs av hud. Hudens motstånd kan liknas vid en resistiv del och en kapacitiv del. Hudens motstånd sjunker med ett ökat värde på strömmen. Värdet på det yttre motståndet beror på spänningen, frekvensen, strömmens varaktighet, kontaktytans storlek, graden av fuktighet hos huden och temperaturen. Även typen av hud påverkar motståndet. Det yttre motståndet varierar från person till person men även hos den enskilda individen beroende på tid, och miljö. För beröringsspänningar upp till ca 50 V beror den totala kroppsimpedansen nästan uteslutande på det yttre motståndet och dess värde uppvisar mycket stora variationer.

Den totala kroppsimpedansen, Z_T , utgörs dels av det yttre motståndet, huden, och dels av det inre motståndet.

För spänningar upp till 50 V visar mätningar där kontaktytorna är fuktade med rent vatten att det totala kroppsmotståndet minskar med 10 % - 25 % jämfört med torra kontaktytor.

För spänningar från ca 150 V och uppåt, kommer det totala kroppsmotståndet bli mindre och mindre beroende av graden av fuktighet hos huden och av kontaktytans storlek. Redan från 50 V och uppåt kommer hudmotståndet att bli mindre betydande för den totala kroppsimpedansen och för högre spänningar nästan uteslutande utgörs av det inre motståndet. Vid beröringsspänningar över 200 V faller det yttre motståndet ihop och svåra brännskador kan uppkomma.

Den totala kroppsimpedansen, Z_T , gällande vid strömgenomgång från hand till hand kan utläsas ur tabell 2.

Tabell 2 – Den totala kroppsimpedansen, Z_T , när en växelström 50/60 Hz passerar från hand till hand och där kontaktytorna är stora (5 000 – 10 000 mm²).

Touch voltage V	Values for the total body impedance (Ω) that are not exceeded for a percentage (percentile rank) of		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	1 750	3 250	6 100
50	1 450	2 625	4 375
75	1 250	2 200	3 500
100	1 200	1 875	3 200
125	1 125	1 625	2 875
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Asymptotic value	650	750	850

NOTE – Some measurements indicate that the total body impedance for the current path hand to foot is somewhat lower than for a current path hand to hand (10 % to 30 %).

Anm - Det ungefärliga värdet på den inre kroppsimpedansen

- från en hand till båda fötterna 75 %
 - från två händer till båda fötterna 50 %
 - från båda händerna till bålen 25 %
- av värdet från hand till hand (tabell 2).

Acceptabla nivåer

En mer ingående beskrivning av de tekniska reglerna i Elinstallationsreglernas avsnitt 413 finns i IEC Technical report 61200 – 413, Part 413: Protection against indirect contact – Automatic disconnection of supply. Rapporten ger även en bakgrund till reglerna. Nedan följer en kort sammanfattning av rapporten.

IEC Technical report 61200 - 413

IEC Technical report 479 definierar i själva verket två delfrågor:

- hur människans kropp påverkas av elektrisk ström, av olika styrka och varaktighet, som genomflyter kroppen, och
- den mänskliga kroppens elektriska impedans som funktion av beröringsspänningen.

Dessa två komponenter ger möjlighet att ställa upp ett samband för förväntad beröringsspänning och dess varaktighet, vid vilket det normalt inte uppstår någon skadlig fysiologisk påverkan på en person som utsätts för denna beröringsspänning.

För växelström (15 – 100 Hz) utgick härledningen av ett sådant samband ifrån de data som framgår av figur 14 i IEC Rapport 479-1, tredje utgåvan, som här återges i figur 1. Den tillämpliga delen av figuren var zon AC-3 (mellan linje b och c₁), inom vilken ingen organisk skada kunde förväntas. Sannolikheten för icke återgående störningar av hjärtats impulser, utan hjärtkammerflimmer, ökar med strömmen och varaktigheten, men dessa effekter bedömdes inte kvarstå generellt efter det att strömmen upphört.

Ovanför kurvan c₁ (i zon AC-4) förelåg risk för farliga fysiologiska verkningar, sådana som hjärtstillestånd, andningsuppehåll och svåra brännskador, för vilka sannolikheten ökade med storleken på strömmen och tiden upp till omkring 5 % vid linje c₂.

Problemet var att bestämma ett passande samband för ström-varaktighet inom zon AC-3, vilket skulle utgöra underlag för ett förslag till en spänning-varaktighetskurva, utifrån vilken praktiska gränser för beröringsspänning och varaktighet skulle kunna hämtas.

Ingen av begränsningslinjerna till zon AC-3 erbjöd en acceptabel lösning på problemet. Med tanke på de begränsningar sådana data har ifråga om noggrannhet, var det klart att det önskade sambandet ström-varaktighet måste innefatta en tillräcklig säkerhetsmarginal mellan sig och den övre gränsen. Å andra sidan bedömde man att det skulle vara överdrivet försiktigt att utgå från den undre gränsen.

Ett liknande problem uppstod då de data som presenterades i utgåva 1 av Rapport 479 användes för att härleda ett samband för ström och varaktighet. Vid den tiden godkändes en kurva av TC 64, vilken hade en betryggande säkerhetsmarginal under gränsen till zon AC-4.

Med dessa synpunkter i åtanke antogs kurvan som betecknas med "L_c" i figur 1, eftersom den överensstämde med det tidigare beslutet vad gäller storleken på marginalen under gränslinjen till zon AC-4. Samtidigt erkändes de reviderade slutsatserna i den andra utgåvan av IEC 479 ifråga om risknivån beträffande strömmar av olika varaktighet genom människokroppen.

Man ansåg att kurvan "L_c" (en funktion av fränkopplingstid och ström) var en förnuftig grund för fastställande av fränkopplingstider som funktion av förväntad beröringsspänning (se kurva L i figur 3) för att användas vid metoden "skydd genom automatisk fränkoppling av matningen".

Hur stor blir då strömmen?

När strömmen genom en kropp ska bestämmas måste kretsens impedans fastställas.

Impedansen kommer att påverkas av

- strömmens väg genom kroppen
- den förväntade beröringsspänningen
- yttre påverkan såsom vatten och kontakt med jordpotential

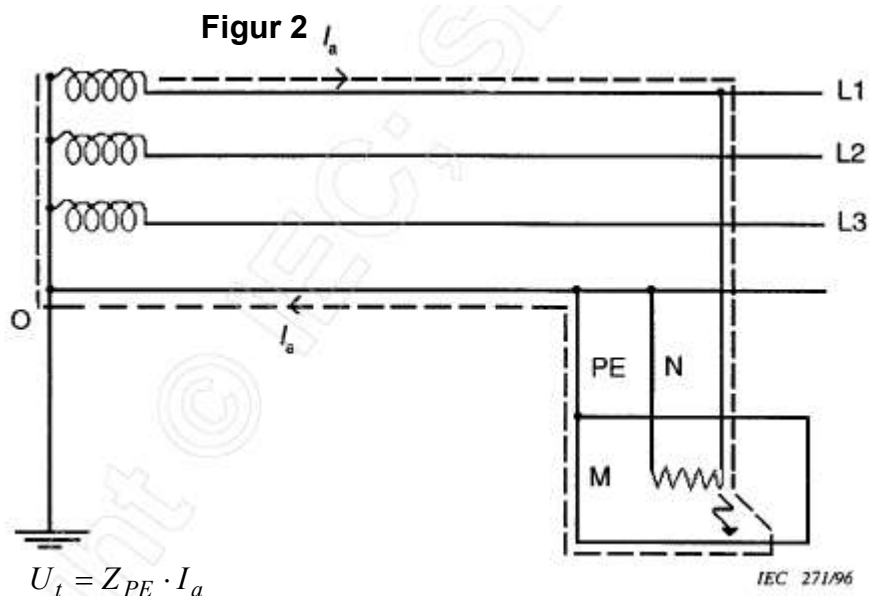
Strömmens väg genom kroppen

För att vara på den säkra sidan har det antagits att strömmen går från båda händerna till båda fötterna och att 95 % av befolkningen ska ha en kroppsimpedans över det antagna värdet.

Därför har man vid fastställandet av kroppsimpedansen tagit halva värdet av $Z_{T5\%}$ ur tabell 2 och med beaktande av anmärkningen till tabellen.

Den förväntade beröringsspänning

Den förväntade beröringsspänning, U_t kan sägas vara den spänning som uppkommer mellan den utsatta delen M och punkten O vid ett fel mellan fasledare och den utsatta delen.



Vid framtagandet av Tabell 41 A som återfinns i SS 436 40 00 har den förväntade beröringsspänningen antagits till

$$U_t = \frac{U_o \cdot c}{2}$$

Den 2:a som finns i nämnaren kommer av att man förutsatt att skyddsledarens och fasledarens area är av samma area och material. Ett lika förhållande mellan fas- och skyddsledare är normalt för gruppledningar.

Faktorn c är medtagen för att ta hänsyn till att den förväntade beröringsspänningen endast omfattar spänningsfallet mellan utsatt del och potentialutjämningen närmast före den utsatta delen (huvud- eller kompletterande potentialutjämning). Spänningsfallet i den matande anläggningen, före potentialutjämningen, behöver man inte ta med vid fastställandet av den förväntade beröringsspänningen, U_t .

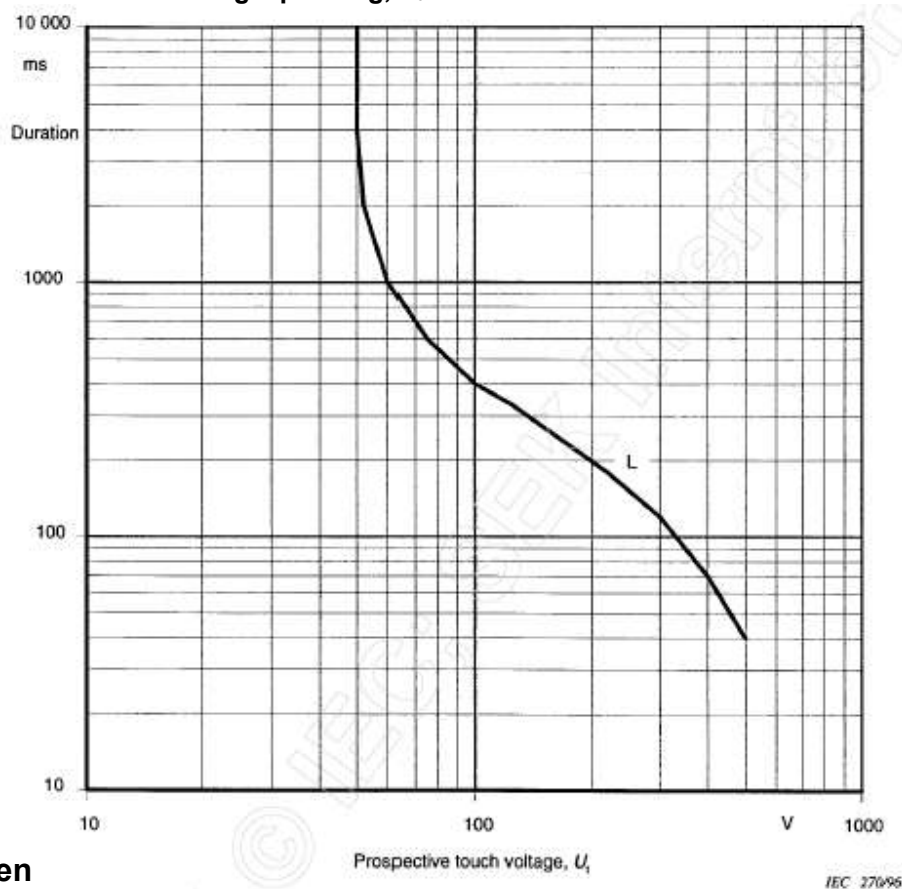
Vid $U_o = 230 \text{ V}$ har beröringsspänningen antagits till $U_t = \frac{U_o \cdot c}{2} = \frac{230 \cdot 0,8}{2} = 92 \text{ V}$

Enligt figur 3 blir vid 92 V den tillåtna fränkopplingstiden ungefär 0,4 sekunder.

Det bör påpekas att faktorn $c = 0,8$ endast är ett antaget värde och gäller inte generellt för alla TN-system. Vid noggrannare beräkningar av beröringsspänningen måste den matande anläggningen impedans fastställas.

Om anläggningen är belägen långt från matningskällan och faktorn c blir 0,6 blir beröringsspänningen knappt 70 V. I detta fall skulle man kunna acceptera 0,6 sekunders fränkopplingstid enligt figur 3.

Figur 3 – Maximalt tillåten varaktighet för den förväntade beröringsspänning, U_t , under normala förhållanden



Yttre förhållanden

Vid framtagandet av tabell 1 ovan har inga yttre resistanser medtagits. För att kunna tillgodoräkna sig yttre resistanser såsom fotbeklädnad (sockor och skor) och golvets resistans mot jord måste dessa vara relativt säkra och vara betydande. När den totala kretsens impedans ska fastställas har den yttre resistansen under normala förhållanden antagits till 1000Ω . Värdet är en kompromiss men antas vara rimlig under torra och i övrigt normala förhållanden. Erfarenheten av mätningar under torra förhållanden visar på mycket stora variationer. Värdet på 1000Ω gäller i allmänhet med marginal om typiskt normal fotbeklädnad och golvbeläggning använts.

Därför har den totala impedansen under *normala förhållanden* antagits till

$$Z = 1000 + 0,5Z_{T5\%} (\Omega)$$

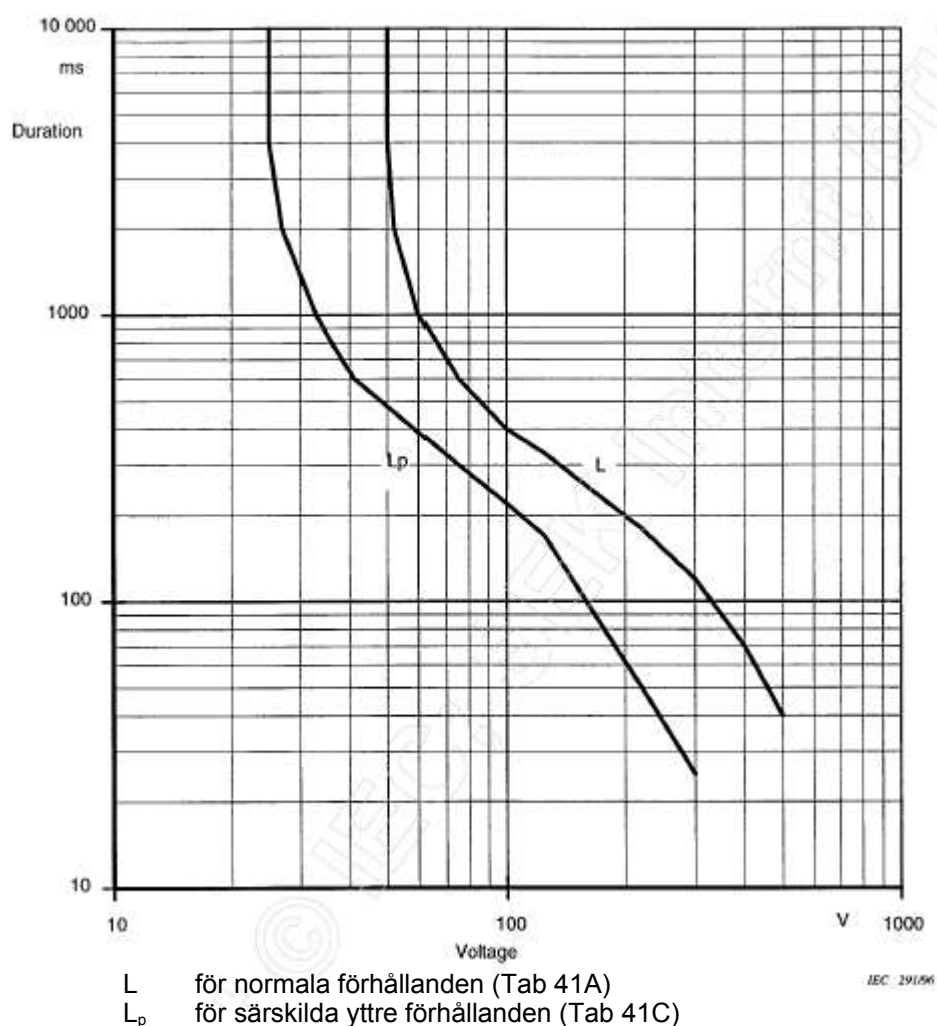
Inom utrymmen och på platser där *särskilda förhållanden* råder, som exempel i våta utrymmen eller på platser med stor risk för god kontakt med jordpotential kan man inte räkna med samma yttre resistanser som under *normala förhållanden*. Se SS 436 40 00 punkt 410.3.4 samt 413.1.7 och Tabell 41C.

En persons kroppsimpedans, Z_p under *särskilda förhållanden* har antagits till

$$Z_p = 200 + 0,5Z_{T5\%} (\Omega)$$

Värdet 200Ω gäller för normalt lägsta resistans för golvbeläggning samt utan fotbeklädnad.

Figur 4 – Maximalt tillåten varaktighet för den förväntade beröringsspänning, U_t , under normala och särskilda förhållanden



Tabellerna i kapitel 41 i SS 436 40 00 relaterar frånkopplingstiden till den nominella spänningen till jord. Detta synsätt får anses något förenklat. Diagrammet ovan relaterar frånkopplingstiden till beröringsspänningen.

Kompletterande potentialutjämning

Studerar man figur 1 kan man konstatera att om strömmen genom kroppen blir mer än 500 mA så finns det risk för hjärtkammerflimmer oberoende av frånkopplingstiden. Så hög ström genom en människokropp är nästan bara aktuellt vid högspänning men kan tänkas uppkomma även vid speciella situationer i lågspänningsinstallationer. Som exempel kan nämnas att för en kropp är delvis nedsänkt i vatten så är det tänkbart att strömmen når ett sådant värde att frånkopplingstiden blir utan verkan. I dessa fall är kompletterande potentialutjämning en möjlighet där syftet är att hålla ner beröringsspänningen och därmed strömmen genom kroppen. I badrum har man internationellt ansett att kort frånkopplingstid inte ger fullgott skydd varför man i dessa utrymmen har föreskrivit kompletterande potentialutjämning. I Sverige har vi dock inte ansett att riskerna i badrum är så stora att vi förordat kompletterande potentialutjämning. Man bör dock beakta att användning av el i badrum har ökat och därmed får man väl också anses att riskerna för elchock ökar.

Sammanfattning

Strömmens verkan i en människokropp är belagd inom vetenskapen men vad gäller förutsättningarna för bland annat kontakt med jord, strömmens väg genom kroppen m.m. har man vart tvungen att fastställa ett flertal antaganden. Om de faktiska frångöringstiderna inte överskrider de tider som ges för de olika miljöerna i *Elinstallationsreglerna*, så är risken för elolycksfall mycket liten. Men endast en liten ökning av frångöringstiden kan få dramatiska konsekvenser. Skyddsmetoden *automatisk frångöring av matning* förutsätter inte bara att utsatta delar är anslutna till skyddsjord och att installationen är ansluten till en potentialutjämning. Ur skyddssynpunkt är lika viktigt att frångöringstiderna kan innehållas.

Om framtiden

I dag gäller frångöringstiderna i tabell 41A (0,4 s) endast handhållen eller flyttbar materiel. Internationellt pågår ett arbete med att dessa frångöringstider ska gälla alla gruppledningar upp till och med 32 A. Arbetet har kommit så pass långt att det är troligt att vi får detta krav inom några år.

Källhänvisning

IEC 60479 – 1:1996,
Effects of current on human beings and livestock

IEC 61200 – 413:1996,
Protection against indirect contact – Automatic disconnection of supply

Figur 1: IEC269/96, IEC 61200 – 413:1996 - Figure 1.

Figur 2: IEC 271/96, IEC 61200 – 413:1996 - Figure 2.

Figur 3: IEC 270/96, IEC 61200 – 413:1996 - Figure 3.

Figur 4: IEC 291/96, IEC 61200 – 413:1996 - Figure C.2.