Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

VÄGLEDNING

Strömpenetration av räddningstjänstens skyddskläder vid olika typer av kontamination

Strömpenetration av räddningstjänstens skyddskläder vid olika typer av kontamination

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
MSB:s Kontaktperson: Näsman Yvonne, 010-240 4030

Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB1498 - december 2022
ISBN: 978-91-7927-013-1

Förord

I samband med att vårt samhälle elektrifieras i allt högre grad ökar sannolikheten att räddningspersonal behöver genomföra räddningsinsats mot elektrifierade fordon och stationära batteri/elsystem, som kan utgöra en risk för räddningspersonal under insats.

Mot bakgrund av detta ämnar denna studie presentera en översyn av medicinska fakta, standarder, dokumenterade incidenter och forskningslitteratur rörande strömgenomgång hos människa, samt presentera resultat från en provserie som testat ledningsförmågan hos olika larmställstextilier och handskar även vid kontamination av olika vätskor. Detta kan sammanfattas med en central frågeställning kring förutsättningar för ”strömgenomgång av räddningspersonals ordinarie skyddskläder och kropp under insats”.

Uppdraget beskrivs i MSB:s Överenskommelse MSB2019-10324-1. MSB:s kontaktperson har varit handläggare Yvonne Näsman.

Ansvariga för de olika delavsnitten är senior professor Ulf Björnstig, Kunskapscentrum för katastrofmedicin, Umeå universitet, Umeå, masteringenjör elektrokemi David Sturk, AB Sturk Consulting, Göteborg, samt elingenjör Lars Hoffmann, chef överlaboratorier och verkstad hos NEVS i Trollhättan. Ulf Björnstig ansvarar för sammanställningen.

Genom vänligt tillmötesgående från Läkartidningen och huvudförfattaren har kunskaperna från Tondel et al. Läkartidningen (2017) delvis inkorporerats i denna kunskapsöversikt. Denna översikt över de medicinska effekterna av strömgenomgång har författats av:

- överläkare Martin Tondel, arbets- och miljömedicin, Akademiska sjukhuset, Uppsala
- överläkare Anna Blomqvist, medicinkliniken, Hallandssjukhus, Halmstad
- professor/överläkare Kristina Jakobsson, arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska universitetssjukhuset, Göteborg
- docent/överläkare Tohr Nilsson, arbets- och miljömedicin, Länssjukhuset, Sundsvall
- docent/överläkare Bodil Persson, arbets- och miljömedicin Syd, Lund
- med.dr./psykolog Sara Thomée, arbets- och miljömedicin Sahlgrenska universitetssjukhuset, Göteborg
- docent/överläkare Lars-Gunnar Gunnarsson, arbets- och miljömedicin, Universitetssjukhuset, Örebro.

Tillstånd att referera och publicera lämpliga utdrag ur Svensk Elstandard IEC 60479-1:2018, har erhållits av Ingvar Eriksson, teknisk expert, Svensk Elstandard (SEK), Stockholm.

Medverkande med fackkunskap och framtagande av data från AFA försäkring har varit senior professor Bengt Järvholm, Institutionen för yrkes och miljömedicin, Umeå universitet, Umeå, som också ombesörjt och erhållit etiktillstånd dnr 2019-05939 från Etikprövningsmyndigheten för detta.

AFA försäkring, genom Ann Weigelt, Gunilla Åhman och Elin Henriksson, tackas för att man bidragit med framtagande av data från år 2010 till 1 december 2019 från arbetsskadeförsäkringen.

Mattias Strömgren tackas för datasökning avseende MSB:s insatsrapporter gällande strömgenomgång hos räddningstjänstpersonal vid skarp insats.

Brandmaterielsamordnare Roger Samuelsson och Carl Olsson, Räddningstjänsten i Storgöteborg (RSG), tackas för erfarenhetsåterföring avseende skyddsklädsel.

Övriga personer som konsulterats och konstruktivt bidragit med kunskap tackas för sina bidrag.

Författarna i bokstavsordning
Ulf Björnstig
Lars Hoffmann
David Sturk

Allmänna råd till räddningspersonal om elrisker

Allmänt

- För att en person ska drabbas av strömgenomgång krävs att denne sluter en strömkrets mellan plus- och minuspol hos strömkällan.
- Om insats sker i närheten till spänningsförande struktur – kontakta sakkunnig och iakttag gällande säkerhetsrutiner – bryt strömmen.
- Vid riskarbete i närhet av elutrustning kopplad till det fasta nätet, koppla ifrån fastighet eller installation om så är möjligt, t.ex. solcellsanläggning eller ett e-fordon som står på laddning.
- Ett e-fordon som är inblandat i en trafikskadehändelse är normalt inte strömförande. I ett e-fordon bryts strömmen från drivbatteriet oftast automatiskt vid indikering av jordfel, utlösning av krockkuddar etc. Det är klokt att förvissa sig om att ”tändningen”, eller annan förarstyrd kontakt t.ex. start/stopp knapp, är avstängd, innan manipulation (klippning) av karossen sker och/eller att koppla bort 12 eller 24 V batteriet på annat sätt.
- Traditionellt definieras spänning över 1 000 V AC och 1 500 V DC som högspänning. Dock definierar fordonsindustrin 30–1 000 V AC och 60–1 500 V DC som ”högspänning” = orange kablage.
- Solcellsanläggningar, batterilagringssystem, liksom e-fordonssystem kan ha både AC och DC komponenter.

Mätresultat

- Oljor hade närmast isolerande egenskaper, medan vatten, speciellt saltvatten, och släckvattenadditiv betydligt försämrade våta kläders strömskyddande egenskaper.
- Torra handskar och larmställ, som testats, skyddade bäst mot farlig strömgenomgång, medan skyddseffekten hos fuktiga varierade beroende på benägenhet att ta upp vätska och typ av handske/byxa. Amidfiberförstärkt handske tog upp mest vatten och hade sämst skyddseffekt mot strömgenomgång. Byxorna hade bäst skydd i knäregionen.

Medicinska fakta

- Spänning under 50 V AC är sällan farlig vid kort kontakt.
- AC i frekvensområdet 50–100 Hz är särskilt ogynnsamt med höjd sannolikhet att ge hjärtkammarflimmer = upphävd cirkulation.
- Ström genom hjärtat (exempelvis från ena handen till andra handen eller foten) är speciellt olyckligt ur denna synpunkt.
- AC-ström från 15–20 mA och däröver kan ge muskelkramp vid kontakt så att man ej kan släppa greppet – kan också ge kramp i andningsmuskulaturen = upphävd andning.

Akut omhändertagande av drabbad

- I händelse av andningsstillestånd ge ”konstgjord” andning.
- Om puls saknas (misstänkt hjärtkammarflimmer) påbörja hjärtlungräddning. Den optimala åtgärden är dock defibrillering (elchock).
- Kontakt med sjukvård, ej nödvändigtvis sjukhus, bör tas även vid händelse som inte verkat så allvarlig initialt.
- Den drabbade **ska till sjukhus vid**:
  - högspänningsolycka; dvs. över 1 000 V AC respektive 1 500 V DC
  - lågspänningsolycka med strömgenomgång av hjärtat
  - medvetandepåverkan
  - brännskador
  - tecken på nervpåverkan – förlamning.

Viktiga fakta att notera om händelsen

- tidpunkt och plats
- hög/lågspänning och AC eller DC
- kontaktpunkter dvs. strömmens in och utgång
- tid som strömgenomgång pågått
- längd av medvetandepåverkan/förlamning.

Innehåll

1. Bakgrund 8

2. Medicinska effekter av strömgenomgång 9
2.1 Strömgenomgång eller ljusbåge 9
2.2 Hög- respektive lågspänningsolycka 9
2.3 Omedelbara icke-termiska effekter 10
2.4 Omedelbara termiska skador 11
2.5 Sammanfattning 11

3. Gränsvärden för strömgenomgång – människa 12
3.1 Kriterier för strömgenomgång i kroppen 12
3.1.1 Generellt 12
3.1.2 Strömgräns för krampgrepp och hjärtflimmer 13
3.1.3 Kroppens motstånd mot strömgenomgång 14
3.2 Sammanfattning 17

4. Hur har räddningstjänstpersonal drabbats av elektrisk strömgenomgång – registerstudier 18
4.1 AFA Försäkring – arbetsskadeförsäkringen 18
4.1.1 Sjukfrånvaro mer än 14 dagar 18
4.1.2 Kort eller ingen sjukfrånvaro 18
4.2 MSB:s insatsregister 19
4.3 Anekdotiska fall 19
4.4 Sammanfattning 19

5. Litteraturstudie – rapporter och publikationer 20
5.1 Metod och databaser 21
5.2 Statistikrapporter 21
5.2.1 NFPA ”Non-Fire Electrical Incidents” 21
5.2.2 FEMA ”Firefighter Fatalities in the United States in 2018” 21
5.2.3 Betraktelse över statistikrapporter 22
5.3 Akademisk forskningslitteratur 22
5.4 Sammanfattning 23

6. Moderna larmställs elskydd **25**
6.1 Sammanfattning 26

7. Prov med kontaminerad skyddsklädsel – metodutveckling och mätningar **27**
7.1 Metod 28
7.1.1 Vätskor 29
7.1.2 Handske 30
7.1.3 Larmställ och tyger 31
7.2 Mätresultat och diskussion 34
7.2.1 Elektriska isolationsmätningar i personlig skyddsutrustning 35
7.3 Sammanfattning 42

8. Råd och reflektioner **43**
8.1 Råd till räddningspersonal 43
8.1.1 Allmänt 43
8.1.2 Fysikaliska/tekniska fakta 43
8.1.3 Medicinska fakta 44
8.1.4 Akut omhändertagande av drabbad 44
8.1.5 Viktiga fakta om händelsen 44
8.1.6 Tekniska kom-ihåg-punkter 45
8.1.7 Kom-ihåg-punkter för skyddsutrustning 45
8.2 Reflektioner 45

9. Referenser **47**

10. Bilagor **49**
10.1 Kriterier för strömgenomgång i kroppen 49
10.1.1 Generellt 49
10.1.2 Kroppens motstånd mot strömgenomgång 50
10.2 Index över litteraturstudie 56

1. Bakgrund

Räddningstjänstens ordinarie larmställ är inte konstruerade för att skydda mot höga spänningar, men kan sannolikt ge ett visst skydd mot strömgenomgång. Dock kan detta skydd försämras när vätskor kontaminerar och väter larmstället under en släcknings- och eller räddningsinsats.

Scenarier som denna studie primärt relaterar till är sådana som motsvarar en beröringsspänning på mellan 100 V till 1 000 V växelström (AC) och 1 500 V likström (DC).

MSB erbjuder idag ett kunskapsmaterial över elrisker och elsäkerhet vid räddningsinsats mot elanläggningar med hög och lågspänd AC. I det materialet återfinns vägledning och rekommendationer för insats mot elsystem med AC från 240 V upp till 400 000 V, medan motsvarande inte finns i samma omfattning för DC.

I slutet av 2017 utfördes en översyn av tidigare MSB-utbildningsmateriel inom området och i samband med detta gjordes intervjuer med bl.a. räddningstjänstpersonal. Vid intervjuerna framkom en viss oro för konsekvenser av att av misstag komma i direkt kontakt med strömsatta komponenter. Man uttryckte även osäkerhet över vilket skydd konventionella larmställ, handskar och i viss mån även skor, ger mot strömgenomgång och hur närvaro av olika vätskor kan påverka skyddet.

Målsättningen med studien är att samla kunskap inom området för att bidra till att adekvata bedömningar av risker och skydd ska kunna göras. Hur olika kontamination/vätning av klädsel påverkar risker och skydd belyses experimentellt. I och med samhällets pågående energiomställning har ett fokus har varit risker som exempelvis kan uppstå vid trafikskadehändelser med e-fordon, solcellsanläggningar och mot stationära batterisystem.

2. Medicinska effekter av strömgenomgång

Nedanstående medicinska kunskapsöversikt (2.1–2.5) är huvudsakligen utdrag ur valda delar från en kunskapssammanställning publicerad i Läkartidningen (Tondel, et al., 2016).

2.1 Strömgenomgång eller ljusbåge

Vid strömgenomgång går strömmen vanligen mellan hand och fot eller från hand till hand, men det kan vara svårt att avgöra vad som faktiskt är in- respektive utgång när kroppen blir en del av strömkretsen. Strömmen följer i allmänhet större nerver, blodkärl och muskler, som har lågt elektriskt motstånd. För att kunna uppskatta skadeverkningarna är det viktigt att bilda sig en uppfattning av strömmens väg genom kroppen.

Hjärtat och skelettmuskulaturen är som känsligast i frekvensområdet mellan 50 och 100 Hertz (Hz), varför strömexponering med den frekvensen orsakar hjärtrytmrubbningar och muskelkontraktioner (Lee, 1997). 50 Hz är den frekvens som ström i svenska hem vanligen har.

Strömgenomgång ger ofta upphov till muskelkramper, med förlängd strömexponering till följd av att personen ”fastnar”. Eftersom underarmens och fingrarnas böjarmuskler är starkare än sträckarmusklerna, kan handen inte frivilligt öppnas så länge personen är en del av strömkretsen (Lee, 1997). Strömkretsen måste därför brytas för att krampen ska upphöra. Vid frekvens över 100 Hz blir muskeln överstimulerad, vilket i stället leder till muskeluttröttning (Morse & Morse, 2006).

En ljusbåge är ett elektriskt överslag som uppstår vid potentialskillnader på > 30 000 V per centimeter mellan två kontaktpunkter. Luftens gaser bryts ned och joniseras till ett plasma som når temperaturer på > 4 000 °C. Vid ljusbågsolyckor uppstår ofta brännskador i huden hos de personer som stått i närheten av det snabbt expanderade plasmat (Morse & Morse, 2006).

2.2 Hög- respektive lågspänningsolycka

Elolyckor indelas traditionellt i hög- och lågspänningsolyckor. Enligt Elsäkerhetsverket är gränsen definierad som en nominell spänning över/under 1 000 V AC eller över/under 1 500 V DC (Elsäkerhetsverket, 2014). Under denna spänningsgräns finner man vad som traditionellt klassas som lågspänning (50–1 000 V AC och 120–1 500 V DC), medan högspänning anges för spänningar över 1 000 V AC och 1 500 V DC. Spänning under 50 V AC och 120 V DC klassas som klenspänning. (IEC 61140, 2016) (SS 436 40 00, 2017) (SEK Handbok 438, 2012)

Dessa traditionella definitioner har inom fordonsindustrin utmanats då man klassar 60–1500 V DC och 30–1000 V AC som ”högspänning”. (ECE R100, 2018) Nivåerna under dessa spann klassas som ”lågspänning”. Det är väletablerat inom fordonsindustrin att hos e-fordon använda orangefärgat kablage till det fordonsindustrin kallar ”högspänning”. (ECE R100, 2018) Det kan vara av värde att ha kännedom om detta dilemma, eftersom t.ex. 400 V klassas som ”högspänning” hos e-fordon, men definieras som lågspänning i fasta elinstallationer likt solcellsanläggningar.

Vi använder i fortsättningen Elsäkerhetsverkets definition. Vid händelser med högspänning överförs stora energimängder under bråkdelen av en sekund, medan det vid lågspänningsolyckor krävs några sekunder av strömgenomgång för att framkalla skador (Veiersted, et al., 2003).

Energiöverföringen beror av spänningen, strömstyrkan och kontakttiden. Värmeutvecklingen blir således som allra högst där det elektriska motståndet är som störst, såsom i huden och skelettnära strukturer. I världslitteraturen finns ett flertal rapporter med beskrivning av omedelbara och långvariga/fördröjda effekter som har sin bakgrund i termiska och/eller icke-termiska mekanismer.

2.3 Omedelbara icke-termiska effekter

Hjärtarytmier såsom kammar – eller förmaksflimmer kan inträffa vid lågspänningsolyckor med 230 V AC, 50 Hz, som vi vanligen har i hemmen. Risken för en rytmrubbning är särskilt stor om strömmens väg går genom hjärtat, som vid strömgenomgång från hand till hand (Lee, 1997) (Morse & Morse, 2006) (Veiersted, et al., 2003) (Soar, et al., 2010). Om EKG är normalt i akutskedet är risken ofta begränsad för senare rytmrubbning (Lee, 1997). Förmaksflimmer kan dock i sällsynta fall uppträda efter flera timmars besvärsfri latens.

Strömmen påverkar inte bara hjärtats retledningssystem, utan kan även orsaka hjärtmuskelskada till följd av värmeutveckling, eller hjärtinfarkt genom kranskärlssammandragning. Andningsstillestånd uppstår genom kramp i andningsmuskulaturen, eller genom direkt påverkan på andningscentrum i ryggmärgen. För att undvika sekundärt hjärtstillestånd, dvs. på grund av syrebrist, kan därför långvarig assisterad andning krävas efter det att hjärtrytmen kommit tillbaka (Soar, et al., 2010). Krampartad kärlsammandragning kan förutom i hjärtat också inträffa i perifera kärl och orsaka cirkulationsstörning och puslöshet i det akuta skedet.

Skador på sen- och muskelfästen uppstår såväl av de kraftiga muskelkramperna som av brännskadan via underliggande upphettad benvävnad. I extrema fall orsakar muskelkramperna även frakturer och ”urledglidning” (Lee, 1997). Vid allvarliga elolyckor kan muskelsönderfall leda till att sönderfallsprodukterna transporteras till njurarna och där blockerar urinfiltrationen, dvs. man får en njurskada. Strömgenomgång och ljusbågsolyckor kan även orsaka sekundära fallolyckor med traumaskador av olika slag inklusive frakturer.

Nervsystemet skadas beroende på energimängd och strömmens väg. Akut funktionsförlust (svaghet, känselnedsättning), eller nervretning (skakningar, domningar), försvinner oftast efter timmar upp till några dagar. Ibland uppkommer bestående skador i ryggmärg och perifera nerver, vilka kan påvisas med vanliga neurofysiologiska undersökningar (Lee, 1997).

2.4 Omedelbara termiska skador

Värmeutvecklingen beror på tillförd energimängd och elektriska motstånd. När huden är fuktig minskar hudmotståndet, vilket ofta medför att de ytliga brännskadorna blir små, medan det i stället blir mer omfattande djupa vävnadsskador. Värmeskador på blodkärl kan leda till akut tilltäppning av stora och små kärl, men skador på kärlens inre yta kan också disponera för sena arteriella och venösa tromboser (blodproppar).

Alla elolyckor, men särskilt högspänningsolyckor, är kända för att kunna ge upphov till djupa brännskador med risk för ödembildning (vätskeutsvämmning) och kompartmentsyndrom (dvs- musklerna svullnar i sitt senfack och blodkärlen kan klämmas ihop av det ökade trycket), där de vanligaste lokalisationerna är underarm och underben. Eftersom även smärtnerverna kan vara skadade utesluter inte frånvaro av känselsymtom ett begynnande förhöjt tryck i ett kompartment. Fasciotomi (att skära upp senhinnan runt muskeln) kan därför bli aktuell i akutskedet (Lee, 1997).

På cellulär nivå skadas speciellt långa, slanka, celler som muskelceller, genom att ett högt elektriskt fält orsakar håligheter i cellmembranet. Detta kan leda till cellsönderfall och vävnadsdöd. (IEC 60479-1, 2018)

2.5 Sammanfattning

- Kontakt med spänning under cirka 50 V utgör begränsad skaderisk.
- AC, speciellt med frekvens 50–100 Hz, ger störst risk för hjärtrytmrubbning, medan DC mer karaktäriseras av värmeutveckling i vävnaderna.
- Omedelbara effekter av strömgenomgång innefattar hjärtarytmi, medvetandeförlust, brännskador, muskelsönderfall, kompartmentsyndrom (svullnad av muskulatur så att cirkulationen störs), njurskada, nervskador och sekundära traumaskador.
- I händelse med andningsstillestånd är ”konstgjord” andning av betydelse för överlevnad. Om också puls saknas (misstänkt kammarflimmer) bör hjärt-lungräddning insättas. Den optimala åtgärden då är dock defibrillering (elchock). Defibrillator finns på många företag och platser i samhället, samt i vissa räddningsfordon och givetvis i ambulans.
- Gott omhändertagande i akutskedet och tidig multidisciplinär uppföljning av komplicerade fall minskar troligen efterföljande sjuklighet.
- Långvariga/fördröjda effekter av strömgenomgång innefattar smärttillstånd, nedsatt muskelfunktion, lokal autonom dysfunktion, nedsatt psykiskt välbefinnande, kognitiva problem, hörselnedsättning och katarakt.

3. Gränsvärden för ström-genomgång – människa

Tydlig vägledning och kunskap kring gränsvärden och konsekvenser av strömgenomgång för människor och boskap presenteras i den internationella standarden IEC 60479-1: 2018. (IEC 60479-1, 2018). I följande sektion ”3.1 Kriterier för strömgenomgång i kroppen” sammanfattas nyckelparametrar tagna ur denna standard, vilka legat till grund för valda testparametrar. En fördjupande text erbjuds bland rapportens bilagor i sektion 10.1.

De två typerna av ström, AC och DC, kan ge varierade skadeverkningar vilket presenterats i kapitel 2 ovan. Möjligheten/riskerna att åstadkomma sådana skadeverkningar på en kropp beror på skyddsklädselns/larmställets motstånd mot aktuell kontaktspänning. Andra faktorer som kroppens totala elektriska motstånd (impedanser + resistanser hos organ och hud) och frekvensen hos AC etc. har också betydelse för konsekvenser av strömgenomgång och påverkan av hjärtrytmen. Kännedom om dessa egenskaper kan vara av värde vid bedömning av risker, skyddsnivå och taktik vid insats.

3.1 Kriterier för strömgenomgång i kroppen

Standarden IEC 60479-1 presenterar kriterier för strömgenomgång baserat på data från provning där man utforskat relationen mellan kroppens motstånd och beröringsspänningens nivå (25 V AC till 1 000 V AC; 50/60 Hz) utifrån tre kontaktytor:

- stor 10 000 mm²
- medium 1 000 mm²
- liten 100 mm²

och tre fuktförhållanden då strömmen går från hand till hand:

- torr
- ”vattenblöt” (dvs. blöt med färskvatten)
- ”saltvattenblöt”.

För att förenkla begreppen väljer vi i denna rapport att tala om kroppens totala elektriska motstånd mot strömgenomgång. Såsom presenteras i bilagan under sektion 10.1. består denna samlade egenskap hos kroppen av flertal delar som omfattar hudens elektriska motstånd (impedans + resistans) och kroppens inre elektriska motstånd (impedans + resistans).

Ytterligare en förenkling är att ur information som här behandlas från IEC 60479-1 presenteras i detta avsnitt värden för en statistisk medelperson (dvs. 50-percentilen).

3.1.1 Generellt

För att det ska uppstå en strömgenomgång i mänsklig vävnad krävs en elektrisk spänning som driver strömmen genom kroppen. Storleken på strömmen som går

genom kroppen bestäms av förhållandet mellan denna spänning och kroppens totala elektriska motstånd. Ett sätt att förenkla detta begrepp är att tala om ”kroppens resistans” vilket kan ge intrycket att det elektriska motståndet ökar linjärt med ökad spänning, men så är inte verkligheten i och med att detta motstånd förändras av flertal faktorer under strömmens färd genom kroppens organ och skikt av mänsklig vävnad.

Olika individer bär på olika elektriskt motstånd. Ett exempel taget ur statistik kan innebära att detta motstånd hos en statistisk medelperson (50-percentilen) uppskattas till 1 225 ohm. Om denna person utsätts för strömgenomgång genom kontakt med 230 V AC så kommer strömmen att uppgå till 190 mA, vilket ger brännskador, svåra kramper och risk för att andningsmusklerna krampar och hjärtat kan sekundärt drabbas av syrebrist, se Tabell 1.

Ohms lag: $U = R \times I$ vilket kan omskrivas till

$$\frac{Spänning}{Elektriskt\ motstånd} = Ström$$

$$\frac{230[VAC]}{1225[ohm]} = 0{,}19[A]$$ alltså 190 mA!

Man bör veta att kroppens elektriska motstånd varierar i relation till flera parametrar hos kroppsdelar såsom:

- beröringsspänningens storlek
- strömmens väg genom kroppens kroppsdelar
- kroppens totala elektriska motstånd (impedanser+resistanser)
- strömgenomgångens varaktighet/tid
- strömmens frekvens
- hudens fuktighetsgrad
- beröringsytan som ger strömgenomgång
- kraften med vilken beröringsytan etablerats, kontakttryck
- temperatur.

För att kunna göra en studie av vilket skydd en skyddsbarriär likt klädesplagg, larmställ eller handskar erbjuder mot strömgenomgång i kroppen behöver dessa parametrar vara tydligt definierade vid provgenomförande. I de provutföranden som utförts inom ramen för denna studie och som presenteras i kapitel 7 så är de relevanta parametrarna de som berör spänning, frekvens, yta och kraft hos beröringskontakt och temperatur.

3.1.2 Strömgräns för krampgrepp och hjärtflimmer

AC-strömgränsen för krampgrepp ligger i spannet 8–15 mA, samt omedelbar risk för hjärtkammarflimmer föreligger vid strömgenomgång från 50 till 100 mA. Man kan notera att i IEC 60479-1:2018 har man valt att ange 5 mA som lägre gränsen för krampgrepp i syfte att bereda marginal för de fåtal människor som är särdeles känsliga, medan t.ex. Elinstallationsreglerna SS 436 40 00 anger 10 mA. Det finns således inget exakt värde men det ligger i storleksordning 10 ± 5 mA beroende på individens fysiologi.

För DC-ström gäller att endast när kretsen skapas eller bryts upplevs smärtsamma krampliknande muskelrörelser, men ej under kontinuerlig strömgenomgång. (IEC 60479-1, 2018)

Tabell 1. Konsekvenser av AC-strömgenomgång.

Risknivå	Ström	Konsekvens/Effekt
Normalt	<0,5 mA	Under känseltröskeln
Normalt	1–8 mA	Kännbar stöt, det går att släppa taget
Farligt	8–15 mA	Smärtsam stöt, det går att släppa taget
Farligt	15–20 mA	Smärtsam stöt, det går inte släppa taget
Farligt	50–100 mA	Risk för hjärtkammarflimmer och kvävning
Farligt	100–200 mA	Hjärtkammarflimmer inträffar
Farligt	>200 mA	Brännskador, svåra kramper – kramp i andningsmusklerna kan ge syrebrist till hjärtat och hjärtstopp

Notering: En frisk människa klarar normalt att få en strömgenomgång upp till 8 mA. Visst kan det upplevas som en kraftig stöt men det leder normalt inte till kramp. Den utsatta individen kan vid den nivån släppa taget. Dock är det inte ovanligt att det kan leda till en sekundär skada, såsom fallolycka om strömgenomgång sker i högre nivå t.ex. på tak eller på stege.

Detta är något att tänka på vid insats på tak med solcellsanläggning. Det är viktigt att se till att denna anläggning är frånkopplad ifrån matande nät.

3.1.3 Kroppens motstånd mot strömgenomgång

Som vi nämnde ovan är kroppens totala elektriska motstånd ett resultat av de enskilda kroppsdelarnas egenskaper. Men förenklat sett är det beröringsspänningen, följd av beröringsytan som är de parametrar som tydligast påverkar elektriska motståndet hos kroppen.

Det innebär att ju högre beröringsspänning respektive kontaktyta, desto sämre elektriskt motstånd.

Elektriska motståndet i relation till kontaktyta och typ av fukt

Utifrån de förutsättningar som ligger till grund för de resultat och gränsvärden som presenteras i standarden IEC 60479-1: 2018 kan man konstatera att vid strömgenomgång från hand till hand ger ytornas fuktighet varierande elektriskt motstånd. I ovan inledande stycke 3.1 presenterades de tre fuktförhållandena som behandlas:

- torr
- ”vattenblöt” (dvs. blöt med färskvatten)
- ”saltvattenblöt”.

Vid beröringsspänningar under ca. 125 V AC kommer en torr hand ge högre elektriskt motstånd än blöta händer, men vid denna spänningsnivå sammanfaller det elektriska motståndet hos torra och vattenblöta händer oavsett storleken på kontaktytan.

För kontaktytor av storleken 10 000 mm^2 (dvs. ca. en handflata, 1 dm^2) påvisas att det elektriska motståndet sammanfaller hos saltvattenblöta händer med de övriga två fuktförhållandena då beröringsspänningen når över ca. 400 V AC.

För kontaktytor av storleken 1 000 mm² (dvs. ca. ett finger) och 100 mm² (dvs. 1 cm²) sammanfaller det elektriska motståndet hos saltvattenblöta händer med övriga två fuktförhållandena då beröringsspänningen når över ca. 200 V AC.

Detta innebär att då man jämför lika stora kontaktytor kommer beröring med torr yta innebära högre elektriskt motstånd vid kontaktspänningar under 125 V AC än med fuktiga händer. Men, över denna nivå spelar det ingen roll ifall händerna är våta med färskvatten eller torra. Däremot, för saltvattenblöta händer förblir kurvan för elektriska motståndet förhållandevis lägre även över 125 V AC tills elektriska motståndet hos torra och vattenblöta händer konvergerar ner till en gemensam nivå med saltvattenkurvan vid en beröringsspänning vars magnitud påverkas av kontaktytans storlek.

Värden/kurvor illustreras i Figur 14, Figur 15 och Figur 16 i bilaga 10.1.

Elektriska motståndet i relation till frekvens och beröringsspänning

Högre frekvens hos AC-ström sänker elektriska motståndet hos kroppen och således ökar strömstyrkan med högre frekvens vid en viss beröringsspänning.

Ökad frekvens minskar det elektriska motståndet, men samtidig avtar inverkan av detta samband med ökande beröringsspänning. Vid ca. 2000 Hz sammanfaller kurvorna för det elektriska motståndet när mätningen genomförts vid 25; 50; 100; 225; 1000 V AC. För 10 V AC sammanfaller kurvan för elektriskt motståndet med de högre beröringsspänningarnas resultat/kurvor först i området 50–100 kHz.

Detta innebär att kroppens elektriska motstånd har en vital relation till frekvens och beröringsspänning vid frekvenser under ca. 2000 Hz, men inte alls vid frekvenser över ca. 50 kHz.

Värden/kurvor illustreras i Figur 17 i bilaga 10.1. Där kan man utläsa beröringsspänningens betydelse för en kropps totala elektriska motstånd.

Elektriska motståndet sjunker under varaktig ström

Vid det ögonblick då kontaktspänning etableras bidrar kroppens initiala elektriska motstånd till en omedelbar blockering som dock sjunker hastigt i relation till strömmens varaktighet. Även högre beröringsspänning påverkar och påskyndar att denna blockering avtar.

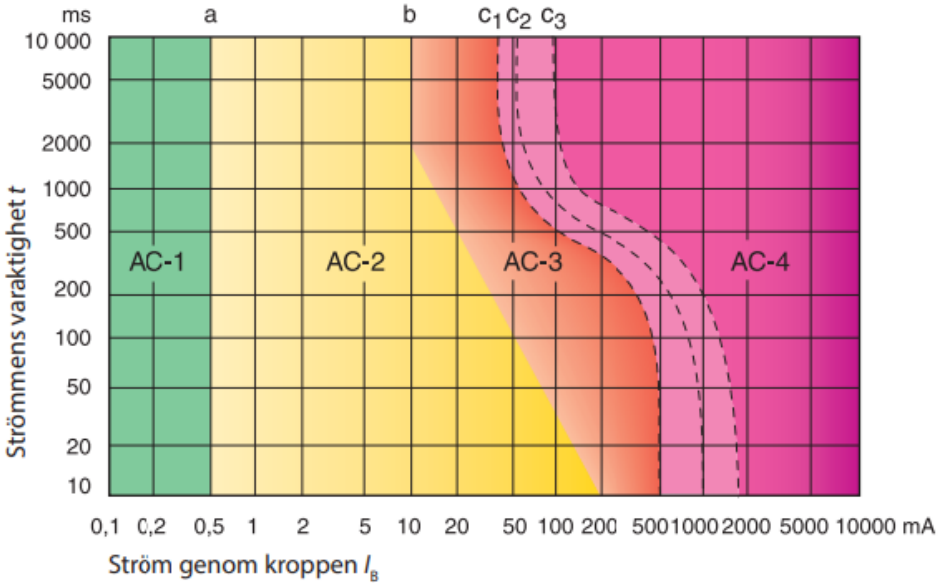
Detta initiala elektriska motstånd begränsar därför maxnivån hos korta strömpulser såsom elchock från elstängsel. Elektriska motståndet sjunker således allteftersom strömgenomgång tillåts fortgå. Detta belyser hur avsevärt betydelsefullt det är att strömgenomgång orsakad i en miljö med höga spänningsnivåer (samt höga frekvenser) måste frånkopplas extremt snabbt för att minska kroppsskador, t.ex. med effektiv jordfelsbrytare.

Figur 1 illustrerar tydligt hur graden av skadekonsekvenser påverkas av både magnituden på strömmen som går genom kroppen och dess varaktighet. Det gula AC-2 området visar att under ca. 10 mA sker vanligen ingen skadlig effekt, men däröver spelar varaktigheten en viktig roll huruvida den utsatte personen kan drabbas av ett farligare skadescenario, dvs. ett högre AC-X område. Figur 1 återfinns i Elinstallationsreglerna SS 436 40 00 som i sin tur insamlat informationen från IEC 60479-1.

Figur 1. Tid/strömzoner för fysiologiska effekter av växelströmsgenomgång, 15–100 Hz. (SS 436 40 00, 2017)

STRÖMMENS PÅVERKAN PÅ MÄNNISKAN

Zon	Gränsvärden	Fysiologisk effekt
AC-1	≤ 0,5 mA, kurva a	Vanligtvis ingen reaktion.
AC-2	> 0,5 mA till kurva b	Vanligtvis ingen skadlig effekt.
AC-3	L_c kurva b till kurva c_1	Vanligtvis ingen organisk skada. Kramp och svårighet att andas vid tider över 2 s är sannolika. Reversibla störningar av hjärtat ökar med strömstyrka och tid.
AC-4	över kurva c_1	Med ökande strömstyrka och tid ökar de patofysiologiska effekterna, såsom hjärtstillestånd, andningsstillestånd och brännskador.
AC-4.1	kurva c_1 till kurva c_2	Sannolikheten för hjärtkammarflimmer 5 %.
AC-4.2	kurva c_2 till kurva c_3	Sannolikheten för hjärtkammarflimmer 50 %.
AC-4.3	över kurva c_3	Sannolikheten för hjärtkammarflimmer ≥ 50 %.



Källa: Standard SS-EN 4364000.

Gränsvärden beroende av likström (DC) eller växelström (AC)

Som tidigare nämnts är kroppens elektriska motstånd en summa av elektriska motståndet hos de enskilda kroppsdelar som omfattas av strömgenomgången. Elektriska motståndet kan därför påverkas av kroppsdelars olika förmåga att hindra strömgenomgång beroende på om det handlar om DC eller AC.

Huden erbjuder en viss initialt blockerande effekt mot DC-ström som dock avtar med minskande beröringsyta och lägre beröringsspänning. Man kan beskriva det som att huden laddar upp sig och under den tiden detta pågår är mängden ström som kan flöda genom kroppen reducerad. Fenomenet kan betraktas som en form av ”kondensatorverkan”.

Kroppens elektriska motstånd under DC-strömgenomgång är därför något högre än motsvarande elektriska motstånd under AC-strömgenomgång när beröringsspänningen är lägre än ca. 200 V AC och DC och kontaktytan är kring storleken av en handflata (10 000 mm²) eller större.

DC-strömgenomgång med kontaktyta som ett finger (1 000 mm²) och lägre bedöms ge samma elektriska motstånd som AC-strömgenomgång. Detta innebär att vid provning med kontaktytor av sådan storlek förväntas det registrerade elektriska motståndet vara lika oavsett AC eller DC.

Värden/kurvor illustreras i Figur 18 i bilaga 10.1.

3.2 Sammanfattning

Följande punkter presenterar gränsvärden som kan användas som tumregel kring scenarier rörande strömgenomgång av kropp.

- Den nivå av ström som klassas som tröskel till krampgrepp anges vara 8–15 mA AC när frekvensen är 50 Hz.
- Strömspann där omedelbar risk för hjärtkammarflimmer tilltar kraftfullt uppskattas till 50 till 100 mA.
- Beröringsspänning över ca 125 V AC med torra eller vattenblöta kontaktytor (t.ex. händer) ger samma elektriska motstånd mot strömgenomgång i kroppen oavsett ytans storlek.
- Beröringsspänning över ca 400 V AC vid kontaktyta.
- 10 000 mm², ger samma elektriska motstånd för saltvattenblöta händer som för torra och vattenblöta händer. Detsamma gäller vid ca 200 V AC vid kontaktyta under 1 000 mm².
- Högre frekvens hos AC-ström leder till ett lägre elektriskt motstånd mot strömgenomgång i kroppen.
- Frekvensens inflytande i relation till beröringsspänningen minskar successivt med ökad frekvens. För beröringsspänningar från 25 till 1 000 V AC sammanfaller nivåerna för det elektriska motståndet fallande från 2 000 Hz (25 V AC) ned till 1 000 Hz (1 000 V AC).
- Varaktigheten/tiden under vilken strömgenomgång fortgår spelar en avgörande roll för graden av skadekonsekvenser.
- Det elektriska motståndet är i stort likartad mellan AC och DC för mindre kontaktytor (lika med eller mindre än 1 000 mm²) oavsett beröringsspänning.
- För större kontaktytor (över 10 000 mm²) innebär DC ett lite högre elektriskt motstånd upp till beröringsspänning på 200 V.

4. Hur har räddningstjänst-personal drabbats av elektrisk strömgenom-gång – registerstudier

4.1 AFA Försäkring – arbetsskadeförsäkringen

4.1.1 Sjukfrånvaro mer än 14 dagar

Arbetsskador som ger upphov till ersättning (exempelvis sjukskrivning mer än 14 dagar eller invaliditet), finns registrerade i arbetsskadeförsäkringen hos AFA Försäkring. Eftersom anmälan till arbetsskadeförsäkringen har en koppling till ekonomisk ersättning kan den anses vara en god informationskälla för våra syften.

Under åren 2010–2014 anmäldes drygt 59 000 arbetsskador med sjukskrivning fler än14 dagar, varav 360 hade drabbat räddningstjänstpersonal. *Ingen av dessa 360 hade skadats eller omkommit på grund av strömgenomgång.* Som kuriosa och jämförelse kan nämnas att nästan hälften (45 %) av dessa 360 var relaterade till fysisk träning. En procent hade skadats av eld/värme vid skarp insats, 3 % vid övning och 16 % hade snubblat eller halkat vid insats.

4.1.2 Kort eller ingen sjukfrånvaro

Eftersom inga fall av skador hos räddningstjänstpersonal med lång sjukfrånvaro pga. elektricitet återfanns i ovanstående material har en utvidgad sökning genomförts i december 2019. Denna sökning omfattande tiden 2010 fram till 1 december 2019, med kriterierna;

- räddningstjänstpersonal som drabbats av skada, eller händelse, involverande elektrisk ström
- avgränsning 0 till 30 dagars sjukfrånvaro
- totalt ingick cirka hundra tusen fall anmälda till AFA försäkring i materialet.

Denna sökning gav totalt fyra händelser:

- En person som skulle dra ut en strömkontakt till motionsredskap fick en stöt/strömgenomgång.
- En person drabbades av strömgenomgång vid manipulation av eldosa/skåp på arbetsplatsen.

- En person skadades under släckinsats i byggnad genom kontakt med strömförande ledning utan isolering på vind (blöta handskar – ström in i handen). Denne fick brännskada och 1 % invaliditet.
- I en komplicerad händelse vid brand i elstolpe på landet, kom den drabbade i kontakt med strömförande jordledning från ett 10 000 V AC system, vars jordning var defekt. Sökte sjukvård och utreddes, men hade klarat sig bra.

4.2 MSB:s insatsregister

Ett fall har presenterats ur MSB:s insatsregister sedan 2010. Det gäller en kortslutning från strömförande kontaktledning vid försök till skyddsjordning vid Karlbergs tågstation, Stockholm år 2013. Inga personskador uppkom. Räddningstjänstens utrustning för skyddsjordning skadades dock av den ljusbåge som uppstod mellan kontaktdon och ledning, när man skulle skyddsjorda tågets kontaktledning (ca 16 000 V AC, 16 2/3 Hz), vilken fortfarande var fullt strömförande. Eftersom man först hade kopplat skyddsjordningens don mot rälsen gick strömmen den vägen och ingen person drabbades av strömgenomgång. Händelsen karaktäriserades av multipla missförstånd, outbildad personal, avsteg från gällande rutiner etc. Detta ledde i slutändan till att man försökte skyddsjorda en fullt spänningsförande ledning. (Noren, 2013).

4.3 Anekdotiska fall

Sammanlagt tre fall från åren 2010–2018, visar på händelser under skarp insats, där man råkat komma i kontakt med ström. (Räddningstjänsten i Bengtsfors kommun, 2018) (Medelpads Räddningstjänstförbund, 2016) (Räddningstjänsten Enköping-Håbo, 2010). I ett av fallen skulle strömmen ha varit bruten, men personen drabbades ändå av viss strömgenomgång. I ytterligare två fall kom man, med kofot, under insats, i kontakt med strömförande ledning.

Skadorna synes av rapporterna ha varit begränsade. Alla tre fallen var anmälda till Arbetsmiljöverket och i åtminstone ett fall också till Elsäkerhetsverket. Inget av dessa fall fanns representerade i övriga studerade databaser.

4.4 Sammanfattning

I studerat material har det varit mycket sällsynt med skadehändelser hos räddningstjänstpersonal som orsakats av strömgenomgång vid skarp insats.

I några händelser var strömmen ej bruten vid insatsen, trots att den enligt gällande rutin borde ha varit bruten.

5. Litteraturstudie – rapporter och publikationer

Den centrala frågan som behandlas i denna studie – 'larmkläders skydd mot strömgenomgång' – kan betraktas utifrån händelser där räddningspersonal skadats då de kommit i kontakt med strömförande krets så att denna slutits och orsakat strömgenomgång genom kläder och kropp.

Spänningsområdet av intresse berör utrustning och fordon med elektriska kretsar mellan 100 V och direktivet för högspänning, dvs. 1 000 V AC och 1 500 V DC. Exempel på utrustning återfinns hos elektrifierade drivlinor hos fordon och fartyg, småskalig elproduktion och lagring av elektrisk energi, samt hushållsprodukter, i de fall då dessa nyttjar 110 till 230 V AC (50/60 Hz).

Under litteraturstudie av rapporter från myndigheter och forskningsinstitut, samt från akademisk litteratur, visade det sig att denna precisa frågeställning må vara omtalad i samhällsrummet, men förekomsten är låg av konkreta och väldokumenterade skadehändelser med drabbad räddningspersonal.

Förhoppningsvis är denna låga förekomst en följd av ett redan väletablerat säkerhetsarbete med arbetsrutiner hos den berörda yrkesgruppen, samt att ytterligare en bidragande faktor må vara de säkerhetskrav från standarder och ellagstiftning, som efterlevs av seriösa tillverkare av berörda elsystem inom aktuellt spänningsområde.

Detta innebär att statistikstudien nedan är kraftigt begränsad vilket gör det svårt att dra slutsatser från statistik kring den precisa formuleringen av frågan. Därav fokuserar nedanstående statistikstudie (sektion 5.2) på en rapport kring "non-fire electric incidents", som ger en bild av förekomsten av aktuella skadehändelser, samt på en rapport om dödsfall bland räddningspersonal och huruvida dödsfall orsakat av strömgenomgång har registrerats i USA.

I vårt samhälle syns en kontinuerlig ökning av antalet elsystem inom det spann av spänningsnivåer som studeras i vår studie. Denna ökning förväntas fortgå och även tillta inom de närmsta årtiondena.

Man kan därför förmoda, att trots etablerade säkerhetsarbeten med insats/arbetsrutiner och installerade säkerhetsfunktioner i denna typ av utrustning, så kommer vi se en ökning av skadehändelser med räddningspersonal som drabbas av strömgenomgång. Mot bakgrund av detta har den akademiska litteraturstudien (sektion 5.3) inriktat sig på dokument som berör skydd mot strömgenomgång, men detta visar sig främst handla om tekniska säkerhetslösningar, snarare än det skydd som räddningstjänstpersonal bär på kroppen.

5.1 Metod och databaser

Litteratursökning utfördes i databaser hos Umeå Universitetsbibliotek där statistikrapporter och forskningsmaterial kunde identifieras utifrån en grupp sökord. Bland sökord och kombinationer av dessa var de som levererade flest relevant material följande:

> [IEC 30479-1; electric safety; electric shock; electrocution; arc; firefighter; firefighter safety; protective equipment; protective clothing; incidents; statistics; NFPA; photovoltaic; PV; short circuit]

Motsvarande ord nyttjades även med svensk text. Databaser som gav bäst resultat var:

- Academic Search Elite
- BASE
- Google Scholar
- PubMed
- Scopus.

5.2 Statistikrapporter

5.2.1 NFPA ”Non-Fire Electrical Incidents”

Rapporten ”Non-Fire Electrical Incidents” av Ahrens och Evarts från NFPA Research slår fast att förekomsten av strömgenomgång under räddningsinsatser är mycket låg. (Ahrens & Evarts, 2017)

I denna rapport behandlas statistik insamlad från tidigare studier av NFIRS (National Fire Incident Reporting System) och man konstaterade att bland 2014 års 31.6 miljoner incidenter med utryckningar av räddningstjänst i USA klassades endast 2 000 som ”electrical rescue incidents” där en eller flera drabbade individer undsatts av räddningsstyrkan. Av dessa var 1000 drabbade av strömgenomgång, medan 500 fick räddas undan situation i närhet av kraftledningar och ytterligare 500 var oklassificerade. Incidenter med strömgenomgång motsvarar alltså 0,03–0,05 % av alla utryckningar i USA under 2014. Mer än hälften av dessa incidenter hände i trafik- och boendemiljöer. Den enskilt vanligaste situationen i trafiken var nedfallna elledningar.

Huruvida någon av de drabbade individerna var räddningspersonal framkommer inte, men rimligen handlar det om en lägre andel av de drabbade i dessa 1 000–1 500 incidenter.

5.2.2 FEMA ”Firefighter Fatalities in the United States in 2018”

FEMA är en del av US Department of Homeland Security som bland annat bevakar statistik över skador och dödsfall inom räddningskåren i USA.

I rapporten ”Firefighter Fatalities in the United States in 2018” (Federal Emergency Management Agency, 2019) redovisas typer av dödsfall och miljöer under 2018, men även statistik över åren mellan 2009 och 2018.

Där ser man att snittet på dödsfall under perioden sjunker i USA (bortsett från 450 döda år 2001) men ligger i snitt på ca 100 per år.

De olika kategorier av insatstyp som presenteras är i fallande ordning av dödsfall vid ”On-scene fire”, ”Other on-duty”, ”On-scene nonfire”, ”Responding or returning” och ”Training”. Det går inte utläsa ur dessa kategorier något om dödsfall kopplade till elektrisk olycka eller strömgenomgång. Ej heller förekommer ordet ”electric” (eller närliggande sökord) i rapporten.

Efter en genomläsning av rapporten kan man konstatera att dödsfall orsakade av strömgenomgång inte har lyfts som ett statistiskt signifikant scenario för räddningspersonal i USA.

5.2.3 Betraktelse över statistikrapporter

Orsaken till frånvaron av bevakning på strömgenomgång genom ordinarie larmkläder kan vara relaterad till slutsatsen ur NFPA:s rapport ”Non-fire electrical incidents”, dvs. att incidenter med strömgenomgång (hos antingen personen som blir undsatt eller räddningspersonal) representerar mindre än 0,05 % statistiskt sett av alla årliga utryckningar i USA, vilket kan förmodas vara likartat i Europa och Sverige.

5.3 Akademisk forskningslitteratur

Som redan nämnts är den frågeställning som denna rapport behandlar inte särskilt väletablerad och det tar sig också uttryck när man genomför litteraturstudie genom akademiska databaser. En lista över artiklar som uppskattats som närliggande presenteras i bilagan sektion 10.2.

Till att börja med kan man repetera utifrån NFPA rapporten ovan att av utryckningar till el-incidenter utan brand, utgör större delen trafikincidenter med nedfallna ledningar, samt incidenter i boendemiljöer. (Ahrens & Evarts, 2017). Dock är det snarare introduktionen av ny teknik som leder till de mest omtalade scenerierna, såsom småskalig elproduktion hos villor och byggnader. Flertal standarder och guidedokument har det senaste årtiondet framtagits för att säkerställa både säker installation och person och materielskydd i händelse av skada eller annat haveri. En sådan standard är det tyska handhavande guidedokumentet VDE-AR-E 2100-712:2018-12 som bland annat slår fast att spänningen mellan enskilda aktiva delar i ett system av solceller ska vara lägre än 120 V DC och att summan av alla kortslutningströmmar på den sida av kretsen som är i kontakt med omgivningen får ej kunna överstiga 12 mA, samt att den samlade energin på denna plats i systemet är lägre än 350 mJ. (VDE- AR-E2100-712, 2018)

I deras rapport ”Mitigating electric shock and arc-flash energy – A total system approach for personnel and equipment protection” behandlar Mohla et al. just sådana tekniska förutsättningar för att reducera dessa risker. (Mohla, et al., 2012) Förutom att behandla konsekvenserna av ljusbåge (dvs. ”arc-flash”) presenteras tekniska lösningar och associerade utrustningar.

I deras slutsatser lyfter de det grundläggande skydd som fingerskyddade terminaler erbjuder för lågvoltsutrustning. För högre spänningsnivåer bör situationer som utgör hög risk detekteras med monitorering av elsystemet, och i händelse av utbrott av ljusbåge ska detektionssystem agera momentant

för att bryta ljusbågen inom millisekunder. De omnämner möjlighet att utföra sådan momentan detektion med utrustning för optisk detektion och isolering med utrustning som grupperas som ”ljusbågsskydd” eller ”ljusbågsdetektering”. Mot slutet berör de kort behovet av personlig skyddsutrustning, samtidigt som de konstaterar att detta ska betraktas som det sista lagret av skydd.

I två rapporter titulerade ”Firefighter safety for PV systems” skrivna av en forskningsgrupp hos Aalborg Universitet, studeras de rekommendationer som presenteras av VDE-AR-E 2100-712:2013-05 varav ett av de centrala kraven är att en serie av solceller ska enkelt kunna frånkopplas med en switch i änden av kretsen av solceller.

Forskningsgruppen presenterar risken att detta ändock tillåter kretsen att på solcells-sidan fortlöpande bära spänning över de 120 V DC som definieras som skadlig spänning. Istället förordar de en teknisk lösning där man dels låter alla solceller separeras från varandra och därefter placeras i intern kortslutning för att hantera den potentiella generationen av solcellsel som varje cell fortsätter producera medan det mottar solljus. De noterar att detta dock inte rekommenderas i VDE av 2013 års version. (Spataru, et al., 2013) (Mathe, et al., 2015)

I ett försök att hitta litteratur som behandlar räddningspersonals skyddsutrustning snarare än tekniska säkerhetsutrustningar till elektrisk apparatur gjordes sökningar kring textilier or ”personal protective equipment”. Den mest närliggande artikeln till studiens frågeställning titulerades ”Assessment of Firefighters’ needs for personal protective equipment”. Rapporten baseras på en studie av 54 personer inom räddningstjänst i USA (varav 6 kvinnor). De centrala frågorna i den rapporten berör brand- och värmeskyddet, kompatibilitet mellan larmställ och övrig utrustning, komfort, mobilitet, storlek och passform. I denna rapport saknas termer som behandlar förekomsten av elektricitet med ett undantag då en tabell (Table 4) redovisar ett fall av incident med ”Electrically conducted” men i övrigt ges ingen vidare information om elektricitetrelaterade faktorer för PPE (=personlig skyddsutrustning). (Park, et al., 2014)

5.4 Sammanfattning

- Svårt att hitta litteratur som behandlar:
  - strömgenomgång av räddningspersonals ordinarie skyddskläder och kropp under insats
  - statistik och/eller forskning rörande händelser med räddningstjänst som drabbas av el-incidenter där strömgenomgång skett och drabbad individ därav skadats
  - studier och forskning kring hur larmställ och skyddshandskar får sämre skydd mot strömgenomgång när de kontamineras av vätskor, samt hur varierande vätskor påverkar detta fenomen olika.
- Svårigheten att hitta denna litteratur påvisar avsaknad av nutida och tidigare engagemang för studiens centrala frågeställning både i Sverige och globalt.
- I frågan om det skydd som räddningstjänstpersonal kan åtnjuta från ordinarie larmställ och handskar återfanns ingen litteratur.
- I brist på sådan litteratur som direkt behandlade strömgenomgång hos larmställ och räddningstjänstpersonal studerades litteratur med närliggande frågeställningar.

- Statistik från USA påvisade att förekomsten av el-incidenter med skadlig strömgenomgång är oerhört låg i dagsläget. Under 2014 utfördes 31,6 miljoner utryckningar i USA varav endast 0,03–0,05 % (1 000–1 500 st) var ”el-incidenter utan brand”, där människor drabbats av strömgenomgång. Andelen av dessa som var räddningstjänstpersonal presenterades ej men kan förväntas vara mellan 0 och ett fåtal.
- El-incidenter utan brand skedde främst i trafikmiljöer med nedfallna kontaktledningar eller boendemiljöer.
- De, inför framtiden, mest ”omtalade” el-incident-scenarierna berör samhällets elektrifiering med ny teknik, men dessa förekommer inte i signifikant omfattning inom statistiken.
- I stora drag behandlar vägledande litteratur om elsäkerhet framförallt tekniska säkerhetslösningar, medan personligt skydd mot strömgenomgång behandlas sparsamt och omnämns då som en sista barriär.
- Ett par publikationer och en standard har studerats där man kan läsa om rekommendationer på hur solcellssystem ska installeras och vilka alternativ som finns bland tekniska säkerhetssystem. Till viss utsträckning behandlar dessa vilka faktorer räddningstjänstpersonal ska beakta vid insats mot sådana elproduktionssystem. Dock inget om strömgenomgång genom larmställ eller handskar.
- Bland publikationer om skyddsfaktorer hos larmställ återfanns inget kunskapsmaterial som betraktade elektriskt motstånd hos dessa kläder och deras ingående textilier, membran och andra material.
- Baserat på ovan angivna fakta kan man dra slutsatsen att den specifika frågan om ”strömgenomgång av räddningspersonals ordinarie skyddskläder och kropp under insats” inte omfattas av tidigare eller nutida forskning nämnvärt.

6. Moderna larmställs elskydd

Speciella arbetskläder såsom räddningstjänstens larmställ erbjuds av flertal leverantörer, så vilket märke som används av olika räddningstjänster kan variera.

Med syfte att göra ett stickprov på ett nyligen upphandlat larmställ besöktes Räddningstjänsten i Storgöteborg (RSG) för en intervju av två brandmaterielsamordnare. (Brandmaterielsamordnare, 2019)

Det larmställ som RSG idag använder upphandlades under 2014 och kläderna är delbara så att ett yttre skikt kan tas av från jacka och byxor. Syftet är att förbättra skötsel och renhet samt förenkla inspektion av plaggets ingående materialskikt vid behov. Utifrån positiva erfarenheter med larmställ från 2008 års upphandling ansåg man att membranteknik var ett annat viktigt krav. De nya membranen ämnar erbjuda en starkare petroleumbeständighet och även skydd mot blodsmitta.

Elskydd hos larmställ var inte en central fråga när upphandlingen gjordes, och hos RSG har de nya larmställen inte upphandlats mot situationer med el-incidenter. Brandmaterielsamordnarna resonerade att detta kan beror på en avsaknad av registrerade händelser där strömgenomgång hos brandman skett. Detta kan vara en följd av att förekomsten i samhället av e-fordon, stationära batterilager och elsystem för mindre elproduktion (t.ex. solcellsanläggningar för villor) före 2014 varit låg i förhållande till den ökning som man förväntar sig se framöver. Därtill är sådana elsystem vanligen byggda av tillverkare som använder elkretsbrytande säkerhetsutrustning såsom smältsäkringar, kontaktorer och pyrotekniska brytare.

Utöver utvecklingen av tekniska säkerhetslösningar påverkas räddningspersonalens arbetssäkerhet av det kontinuerliga arbetet för att ständigt uppdatera riskanalyser och arbetsrutiner (t.ex. arbetsjordning och att stänga av elsystem innan insats utförs). Hos RSG leds sådant arbete av ”förmågegrupper” som analyserar förbättringspotentialen hos etablerade brand- och räddningsrutiner och identifierar nya riskområden och -situationer. Information till detta hämtas från omvärldsbevakning generellt, och i synnerhet information från MSB, den egna och andra kårer, industrin och andra funktioner i samhället.

Bland de flertal krav som ställdes under deras upphandling 2014 kan man relatera några till olika elsäkerhetsrelaterade faktorer men dessa är snarare indirekt än direkt ämnad mot elsäkerhet.

- Skydd mot fuktgenomgång utifrån ger skydd mot strömgenomgång.
  - Även om de två brandmaterielsamordnarna inte kan hänvisa till konkreta rapporter som påvisar att våta larmkläder har sämre el-skydd än torra så uppskattar de att så är fallet.
  - Membranteknik som ger lägre fuktgenomgång uppskattas ge bättre skydd mot strömgenomgång.

- Delbara larmställ.
  - Renhet och slitstyrka uppfattas numera som basala krav hos skyddsklädsel, men tidigare har detta betraktats som mindre angeläget. Även i detta fall konstaterar brandsamordnarna att det saknas konkret rapport som påvisar att smutsiga och slitna kläder ger sämre elskydd, men det anses vara en rimlig förmodan.
- Antistatskydd (EN 1149-5:2018, 2018).
  - Antistatskydd kopplas ofta till kategorin ”elsäkerhet” då det förhindrar att kläder genererar statisk elektricitet som skulle kunna antända gaser i explosiva miljöer. Det erbjuder dock inte något uppenbart skydd mot strömgenomgång.

Certifierat elskydd mot höga spänningsnivåer, strömgenomgång och ljusbåge, innebär vanligen ökade kostnader och upphandlare måste överväga hur relevant ett högt klassat elskydd är i de situationer personal kommer arbeta. I möjligaste mån utformas arbetssäkerhet utifrån utbildning och generiska insatsrutiner, som anpassas mot den uppkomna situationen. Detta kompletteras med skyddet som krävs av larmstället. Exempel på generiska insatsrutiner är rekommendationer på avstånd mellan släckförande räddningspersonal och brand i spänningssatta föremål.

6.1 Sammanfattning

- Vid tidpunkten när upphandling skedde (2014) förekom ingen kravställning på skydd mot strömgenomgång.
- Det exemplifierande larmstället har därför inte primärt upphandlats för sina egenskaper mot strömgenomgång.
- Bland sekundära egenskaper som skulle kunna bidra till skydd mot strömgenomgång kan nämnas strävan att skydda bäraren mot fuktgenomgång, samt strävan att delbara larmställ underlättar tvätthantering och renhet.
- Antistatskydd kan misstas som skydd mot strömgenomgång.

7. Prov med kontaminerad skyddsklädsel – metod-utveckling och mätningar

Provning utfördes på ett begränsat urval brandmannapersedlar som inbegrep ett handskar och textilprover från byxor som tillhandahållits av MSB och RSG. De begagnade persedlar som användes för provningen var tvättade och rena, men i viss mån slitna.

Man kan reflektera över i hur hög utsträckning räddningstjänstens dagliga skyddsutrustning är nytvättad och ren, men utifrån dialog med räddningstjänst och MSB förstår vi att medvetenheten kring nyttan med vältvättade och korrekt impregnerade persedlar ökar.

Vidare är det naturligt att beakta att dessa persedlar under insats ofta kommer i kontakt med diverse vätskor. Ett urval av relevanta vätskor har därför ingått i studiens provutförande.

Ytterligare en faktor att betänka är graden av mekaniskt slitage av larmställ och handskar. Önskvärt vore att jämförande prov också kunnat ske på helt nya persedlar, men av budget och kostnadsskäl kunde inte sådan provning utföras.

Provutförandet ämnar behandla studiens centrala frågeställning kring i hur hög grad räddningstjänstens ordinarie larmställ och handskar erbjuder ett skydd mot strömgenomgång, samt hur detta skydd påverkas av olika grad av vätning utav olika relevanta vätskor. Spänningsområdet som är av högst intresse sträcker sig från 100 V AC och DC till nivåerna för högspänning enligt Högspänningshandboken, dvs. 1000 V AC och 1 500 V DC. (SEK Handbok 438, 2012) Provningen har dock utförts på upp till 5 000 V för att ge mätresultaten marginal. Under provning av olika vätskors ledningsförmåga, studerades så låg spänningsnivå som 3 V DC, för att tydligare kunna se skillnader mellan strömledande vätskors elektriska egenskaper.

Isolationsmätningen har genomförts med ett isolationsmätinstrument som mäter spänningsnivåer ifrån 100 till 5 000 volt. Instrumentets märke är MERISO 5000A, vilken följer standard IEC/EN 615 57, samt VDE 0413. Instrumentet mäter isolationsnivåer vid följande spänningar, 100, 250, 500, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500 och 5 000 V, se Figur 2 nedan. Detta mätinstrument använder likspänning under mätningen.

Figur 2. Mätinstrument för att mäta elektrisk isolationsnivå.

Foto: Lars Hoffmann

Likspänning och likström finns i alla typer av batterier och alstras även ifrån solceller. I ett e-fordon kan det förekomma såväl växelspänning, AC, som likspänning, DC. Under drift omformas batteriets DC-ström av kraftelektronik till AC-ström, som används bland annat av elmotorer.

Vid användning av all typ av kraftelektronik för att styra elmotorer, eller för att överföra energi ifrån t.ex. solceller till nätet, förekommer höga frekvenser och framför allt såväl DC som AC i installationen.

Under körning med ett e-fordon kan det förekomma frekvenser upp till 12 kHz, viket naturligtvis stängs av när bilen stannat och stängts av. Under räddningsinsats mot e-fordon förekommer således inte frekvenser av sådan magnitud.

Vid laddning av ett e-fordon finns inte sällan möjlighet till två typer av laddning, AC långsam laddning (ca. 10–16 A AC), samt medelsnabb laddning (ca. 16–32 A AC), medan för snabbladdning används DC (100–1 000 A DC).

I normala fall har en fordonsägare endast tillgång till långsamladdning (AC) i hemmet, medelsnabb laddning (AC) vid t.ex. köpcentra och snabbladdning med DC på speciella depåer, t.ex. Teslas laddstationer.

7.1 Metod

Att mäta isolationsresistans upp till 5 000 V i skyddsutrustning som t.ex. kläder och handskar, visade sig vara en utmaning. Därför såg vi tidigt att metodutveckling var nödvändigt för att säkerställa repeterbara mätningar. Vi valde att mäta isolationsnivå med spänningar upp till 5 000 V för att se hur stor säkerhetsmarginalen är. Som jämförelse kan nämnas att för hushållsprodukter t.ex. en TV provas normalt med en isolationsmätning upp till 3 000 V.

Vid mätningarna utsattes handskar och valda områden på byxa utvändigt för 150 ml vatten under 15 minuter. Var femte minut vägdes provartiklarna och isolationsmätning skedde. Syftet med vägningen var att notera den mängd vatten som dessa provföremål sugit åt sig.

De två provmetoderna i denna studie är nyutvecklad för att på bästa sätt utforska den centrala frågeställningen rörande till vilken utsträckning ordinarie larmkläder erbjuder elektriskt motstånd, dvs. skydd mot strömgenomgång. Standardiserade provutrustningar används, däribland den ovan nämnda mätutrustningen MERISO 5000A, samt ett ”DIN-finger” som normalt används vid prov av IP klassning, se Figur 3.

Utöver standardiserad provutrustning har vi nyttjat en cylindrisk ledare till handskprovning och en svarvad mässingskula för tygprovning, (se 7.1.2 och 7.1.3.).

Figur 3. Standardiserat DIN-finger.

Foto: Lars Hoffmann

Alla mätningarna genomfördes i laboratoriemiljö i 20 ± 0,5 grad Celsius och med luftfuktigheten kontrollerad mellan 37–43 %.

7.1.1 Vätskor

Inför provning av resistans i vätskor togs ett beslut att avgränsa provmetod till positiv och negativ elektrodyta på vardera omkring 1 000 mm² för att kunna jämföra mot data presenterade i standarden IEC 60479-1. I relation till en brandmanshandske motsvaras denna kontaktyta av ett finger runt den metalliska ledare som utvalts för provningen. Prov har utförts i de vätskor som kan förkomma i fordon, samt på exempel av släckvatten med tillsatt additiv som förväntas användas till släckinsats mot både fordon och anläggningar för småskalig elproduktion, t.ex. solcellsanläggning för villor.

I Tabell 2 presenteras de utvalda vätskorna som studerats och resultaten från isolationsmätningarna visas radvis för varje vätska i relation till de spänningsnivåer som studerats och redovisas per kolumn.

Figur 4. Elektrisk resistansmätning av vätska med två 1 000 mm^2 elektroder. Denna yta motsvarar ett fingers kontaktyta enligt IEC 60479-1.

Foto: Lars Hoffmann

7.1.2 Handske

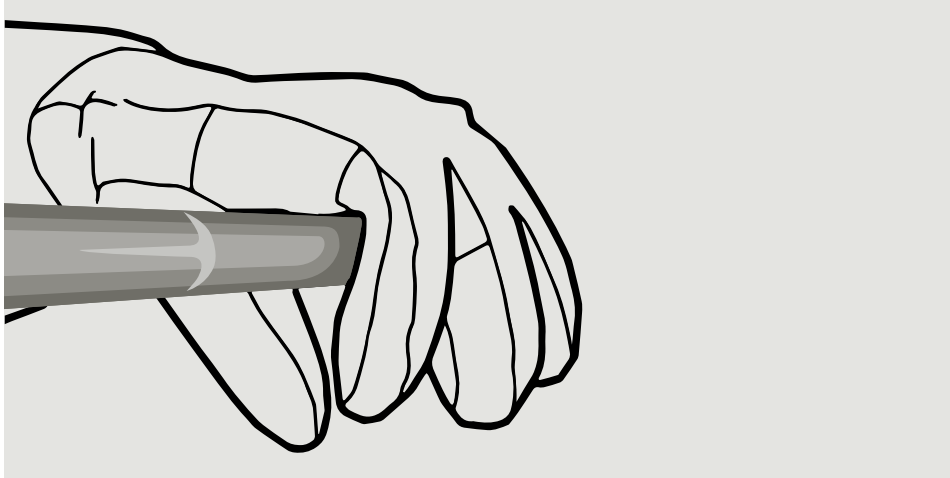
För att säkerställa en anläggningsyta mellan DIN-finger i handske och spänningssatt yta användes ett metallrör med 20 mm diameter, se Figur 5.

Figur 5. DIN-finger tillsammans med spänningssatt metallrör.

Foto: Lars Hoffmann

I Figur 6 nedan kan ses en typskiss som visar hur handskar utsatts för elektrisk isolationsprovning.

Figur 6. Skiss föreställande en handske i det elektriska isolationsprov som utförts i studien.



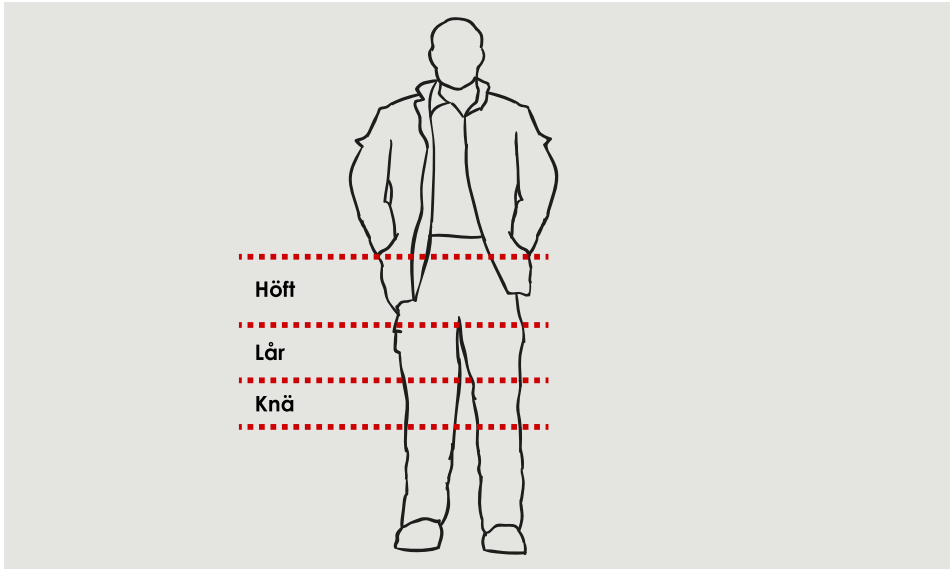
Följande fysiska antaganden har även antagits för metoden. En fjäderkraft som ger ett anläggningstryck om 10 N (ca: ett kg), samt anläggningsyta ca. 1 000 mm², viket motsvarar ett fingers kontaktyta, enligt Figur 6.

Vi har provat handskar med vatten; detta för att det är vanligaste medium som räddningspersonal kommer i kontakt med i sitt dagliga arbete. Eftersom vi endast hade tillgång till ett fåtal skyddshandskar så utfördes endast prov med kommunalt vatten. Detta eftersom skyddsutrustningen riskerade att förändras om vi kontaminerade denna med andra kemiska vätskor t.ex. om vi belagt en handske med någon typ av oljeprodukt. Då kan ju en kommande mätning med nästa vätska komma att markant påverkas.

7.1.3 Larmställ och tyger

När det kommer till mätning av tyger och då främst de larmställ som vi provat blev inriktningen följande områden: höft, lår och knä, se Figur 7.

Figur 7. Indelning av provområde på larmställ. Vi valde att prova tygområden från framsida höft, lår och knä.



För att utföra provning av tyger i dessa områden klipptes dessa delar ut ifrån larmställ, se Figur 8 och Figur 9.

Figur 8. Tygbit från höft innan genomfört prov.

Foto: Lars Hoffmann

Figur 9. Tygbit ifrån lår, lägg märke till det flertal lager av olika materiel som plagget byggs upp med.

Foto: Lars Hoffmann

För mätning av strömgenomgång och elektriskt motstånd hos kontaminerat tyg i de utvalda områdena behövde vi utveckla en repeterbar mätmetod. Till detta svarvades ett mässingsklot kring vilket tygstycket fästes så att enbart dess utsida skulle utsättas för vätskan.

Mässingskulan hade en diameter på 60 mm och en egenvikt om ca. 1 kg. Anläggningstrycket liknar därmed det vid handskprovningen, se Figur 10.

Mässingskulan är kontakterad till den krets som sluts när provobjektet (kula + tyg) nedsänks i vätska och däri kommer i kontakt med metallskålens botten, se Figur 11. På detta sätt punktbelastas textilprovet. Kontaktytan blir därigenom inte 1 000 mm² och de numerära resultaten från textilprovningen från byxor respektive handskprovningen kan inte jämföras direkt sinsemellan.

Figur 10. Mässingskula med en diameter om 60 mm och ca 1 kg egenvikt – kan liknas vid en knäskål.

Foto: Lars Hoffmann

Figur 11. Tygprov med innesluten metallkula och vätning med vatten. Kulan och metallskålen har en spänningspotential mellan 100 till 5 000 V.

Foto: Lars Hoffmann

7.2 Mätresultat och diskussion

Först utfördes resistansmätningar i vätskor, oljor etc. som är vanligt förekommande i fordon, men genomfördes även på släckvätskor som vatten, med och utan inblandning av olika additiv, som kan användas för att höja brandbekämpande prestanda.

I Tabell 2 ses tydligt att t.ex. petroleumprodukter är dåliga (gröna celler) på att leda ström, medan vattenbaserade kemikalier och olika typer av blandningar av vatten med släckmedelstillsatser, leder ström bra (röda celler).

Tabell 2. 100 mm² yta per elektrod i vätska.

VAC/VAD	3	100	250	500	1 000	1 500	2 000	2 500	5 000
Tom bägare	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL	OL
95 okt Bensin	OL	10 G	10 G	10 G	10 G	10 G	10 G	10 G	10 G
Servoolja ATF Dexron II	OL	3,7 G	3,7 G	3,7 G	3,7 G	3,7 G	3,7 G	3,7 G	3,7 G
Motorolja 10W40 ny	OL	300 M	300 M	300 M	300 M	300 M	300 M	300 M	300 M
Motorolja 10W40 beg	OL	1 G	1 G	1 G	1 G	1 G	1 G	1 G	1 G
Hypiodolja 80 W	OL	70 G	50 G	50 G	50 G	50 G	50 G	50 G	50 G
Glykol blå 50/50	97	0	0	0	0	0	0	0	0
Glykol röd 50/50	105	0	0	0	0	0	0	0	0
Spolarvätska 30/70 blandning	2 600	2 800	0	0	0	0	0	0	0
Addetiv 1. 100 %	17	0	0	0	0	0	0	0	0
Addetiv 1. 1 %/vatten 99 %	277	0	0	0	0	0	0	0	0
Addetiv 2. 25 %/vatten 75 %	240	0	0	0	0	0	0	0	0
Batterisyra 35 %	7,4	0	0	0	0	0	0	0	0
Havsvatten 3 % (Ljungskile)	34,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Batterivatten	3 150	3 200	0	0	0	0	0	0	0
Kommunalt kranvatten	1 100	0	0	0	0	0	0	0	0

Sammanställning av elektriskt motstånd/resistans (ohm) i olika vätskor. I grönt område är antingen motståndet hos vätskan mycket högt (Mega- eller Giga-Ohm,) eller spänningen så låg (upp till 50 V) att en strömgenomgång genom kropp kommer att möta tillräckligt högt motstånd för att anses som ofarlig på grund av låg strömnivå (Tabell 1).

En faktor som var slående var att de additiv som testats, vars syfte är att öka släckmedlets brandbekämpande förmåga, tydligt sänkte släckvattnets elektriska motstånd/resistans vid så små mängder som 1 % inblandning i släckvattnet. Denna jämförelse ser man i kolumnen för provresultat med 3 V DC (dessa värden är att anse som samma för 50 V). Man kan dock konstatera att sannolikheten för strömgenomgång är låg, emedan nyttan för additivens brandbekämpande förmåga alltid behövs under brandbekämpning.

Petroleumprodukter däremot leder ström väldigt dåligt och kan snarare fungera som isolator.

7.2.1 Elektriska isolationsmätningar i personlig skyddsutrustning

Handske

Undersökningen av skyddsutrustning för händer genomfördes med fem olika typer av skyddshandskar. A och B var begagnade och från MSB:s skolor och vi har inte delgivits någon information om ålder eller hur lång tid dessa varit i aktiv tjänst. C var också begagnad och skänkt från RSG och ingår i den utrustning som nyttjas dagligen av deras brandpersonal. D och E är amidförstärkta handskar som använts vid exempelvis losstagning vid bilkrasch och som ska ge ett visst skydd mot skärskador.

Vi har reagerat på att tidigare genomförda tester inte tagit någon hänsyn till AC eller DC. Vid våra tester genomfördes mätningar med såväl DC som AC. Dock sågs ingen markant skillnad i de mätningar som genomfördes med AC respektive DC upp till 5 000 VDC.

Därför har vi i denna provserie antagit att de båda strömarterna påverkar skyddsutrustning på likartat sätt. Detta antagande stöds också av vad som beskrivits i sista delen av sektion 3.1.2 och stycket ”Gränsvärden beroende av likström (DC) eller växelström (AC)”.

Gränsvärdena anges sammanfalla för AC och DC över 200 V och kontaktyta 10 000 mm^2, medan alla gränsvärden för AC och DC tenderar att sammanfalla för kontaktytor i storleksordningen 1 000 mm^2 och mindre, oavsett berörings-spänningens nivå.

I Tabell 3 nedan ses data för de fem olika modellerna av vanligt förekommande skyddshandskar, som svensk räddningstjänst använder och som erhållits för test.

Tolkning av tabellerna nedan kan göras på följande sätt:

- ”Gröna” värden är lika med att provartikeln troligen hade skyddat bäraren mot strömgenomgång upp till 8 mA genom handsken.
- ”Gula” värden är i gränslandet mellan det en normal person tål och det område som kan leda till skada, dvs. upp till 15 mA genom handsken.
- ”Röda” värden kan vid strömgenomgång leda till direkt dödlig skada, dvs. över 15 mA genom handsken.

Det framgår tydligt i Tabell 3 att skyddet mot strömgenomgång är starkare ju svårare det är för elektriskt ledande vätskor att tränga in till handskens insida. Detta kan betraktas som bekräftelse av den uppskattning som framlades vid intervjun av de två brandmaterielsamordnare som presenteras i rapportens kapitel 6.

Handske B och C visade bäst skydd mot strömgenomgång. Bäst resultat iakttogs under prov på handske typ/mod. C som även bäst stod emot fuktgenomgång, dvs. +2.25 % viktökning av vatten efter 15 minuters vätning. Handske D och E, som var amidfiberförstärkta handskar, upptog mest vatten. Benägenheten till strömgenomgång synes dock inte enbart relaterad till hur mycket vatten handsken tagit upp vid försöket, vilket antyds av att handske B tagit upp mer vatten än handske A, men trots detta har fuktig handske B bättre skydd mot strömgenomgång än A. De amidförstärkta handskarna attraherade mest vatten och hade sämst skydd mot strömgenomgång. Ett tydligt resultat för samtliga handskar pekar dock mot att de handskar som testats genomgående gav bättre skydd mot strömgenomgång när de var torra, jämfört med när de var påverkade av vätska.

Egenskaperna när handskarna var fuktiga varierade dock beroende på typ av handske och där handske typ C gav bäst mätresultat i det genomförda försöket. Provresultaten antyder komplexa samband som kräver mer omfattande provserier och med nyare provmaterial än vad som gavs möjlighet till under denna studien.

Tabell 3. Provresultat för handske typ/mod. A.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	184 gram	190 gram +3,26 %	205 gram +11,4 %	209 gram
100	0,1 µA	10 mA	100 mA	100 mA
250	0,31 µA	25 mA	250 mA	250 mA
500	0,63 µA	50 mA	500 mA	500 mA
1 000	0,14 µA	100 mA	1 000 mA	1 000 mA
1 500	2,14 µA	150 mA	1 500 mA	1 500 mA
2 000	3,08 µA	200 mA	2 000 mA	2 000 mA
2 500	4,17 µA	250 mA	2 500 mA	2 500 mA
5 000	12,5 µA	500 mA	5 000 mA	5 000 mA

Tabell 4. Provresultat för handske typ/mod. B.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	195 gram	211 gram +8,2 %	225 gram +15,4 %	233 gram +19,5 %
100	0,003 µA	0,002 mA	1,67 mA	3,33 mA
250	0,007 µA	0,00625 mA	4,17 mA	83,3 mA
500	0,017 µA	0,017 mA	8,3 mA	166,7 mA
1 000	0,03 µA	0,04 mA	16,7 mA	333 mA
1 500	0,05 µA	0,075 mA	25 mA	500 mA
2 000	0,1 µA	0,1 mA	3,33 mA	667 mA
2 500	0,13 µA	0,5 mA	41,7 mA	833 mA
5 000	0,3 µA	1 mA	83,3 mA	1 667 mA

Tabell 5. Provresultat för handske typ/mod. C.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	133 gram	134 gram +0,75 %	135 gram +1,50 %	136 gram +2,25 %
100	0,001 µA	0,001 mA	0,5 mA	1,2 mA
250	0,0025 µA	0,005 mA	1,25 mA	5 mA
500	0,005 µA	0,017 mA	2,5 mA	10 mA
1 000	0,01 µA	0,04 mA	5 mA	20 mA
1 500	0,015 µA	0,075 mA	7,5 mA	30 mA
2 000	0,02 µA	2 mA	10 mA	40 mA
2 500	0,025 µA	2,5 mA	12,5 mA	50 mA
5 000	0,25 µA	10 mA	25 mA	100 mA

Tabell 6. Provresultat för handske typ/mod. D.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	92 gram	130 gram +41,3 %	147 gram +59,8 %	149 gram +62,0 %
100	2 µA	90 mA	90 mA	90 mA
250	5 µA	227 mA	227 mA	227 mA
500	12,5 µA	0,45 A	0,45 A	0,45 A
1 000	25 µA	0,90 A	0,90 A	0,90 A
1 500	50 µA	1,36 A	1,36 A	1,36 A
2 000	66,7 µA	1,82 A	1,82 A	1,82 A
2 500	83,3 µA	2,27 A	2,27 A	2,27 A
5 000	0,17 µA	4,54 A	4,54 A	4,54 A

Tabell 7. Provresultat för handske typ/mod. E.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	92 gram	111 gram +20,1 %	122 gram +32,6 %	124 gram +34,8 %
100	1 nA	90 mA	90 mA	90 mA
250	0,025 µA	227 mA	227 mA	227 mA
500	0,0625 µA	0,45 A	0,45 A	0,45 A
1 000	0,167 µA	0,90 A	0,90 A	0,90 A
1 500	0,30 µA	1,36 A	1,36 A	1,36 A
2 000	0,40 µA	1,85 A	1,85 A	1,85 A
2 500	0,625 µA	2,27 A	2,27 A	2,27 A
5 000	2,51 µA	4,54 A	4,54 A	4,54 A

Larmställ

Genomgående iakttogs att skyddet hade tre olika nivåer i de studerade områdena. Höft hade endast tyg och innerfoder, lår hade tre lager med ett förstärkt foder mellan yttre tyg och innerfoder och knä hade fem olika lager med förstärkt tyg i knäområdet och även ett gummiliknade membran innanför yttertyget. I nedanstående Tabell 8–Tabell 11 ses möjlig påverkan på person.

Alla tre testade larmställ var begagnade och vi saknade data rörande hur de har underhållits, hur många tvättar som de genomgått och hur impregnering av dessa hade utförts. Den osäkerhet kring resultaten för olika fabrikat som detta orsakar kan åtgärdas om provserien kan utföras på nya larmställ. Detta skulle också kunna fungera som ett referensläge förbedömning av förändring av begagnade larmställs skyddsegenskaper.

Studerar man Tabell 8–Tabell 14 ser man återigen att även för dessa byxor gäller att högre fuktgenomträngning ger försämrat skydd mot strömgenomgång, precis som visades vid proverna på handskar. Då alla tre byxorna var begagnade och utan känd historik, så var kvalitén på vardera plaggets impregnering okänd. Det genomgående dåliga resultatet för byxa typ/mod C som absorberade mycket vätska (Tabell 14) kan bero på absorptionsegenskaperna, vilka bland annat kan vara beroende på impregneringen.

Membranteknik kan ge varierat resultat beroende på de egenskaper som membranet erbjuder. I händelse av att membranet motverkar fuktgenomgång stärks skyddet mot strömgenomgång. Men om membranet består av material med viss förmåga till strömledning, t.ex. kompositfibrer, kan det bidra till sämre skydd mot strömgenomgång. Sådant ska naturligtvis ställa mot positiva egenskaper som kompositfibrer kan erbjuda.

Det går inte att fastslå utifrån de genomförda proverna vad som är det främsta skälet till det låga skyddet mot strömgenomgång hos byxa typ/mod C. Resonemanget ovan påvisar att det kan förekomma ett flertal faktorer varav kvalitén hos impregneringen, samt valet av material i plaggets skyddande skikt (t.ex. membranteknik och material), är hypoteser som vore önskvärt att studera ytterligare.

Tabell 8. Mätningar på byxa A – midja.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	38 gram	39 gram +2,63 %	40 gram +5,26 gram	45 gram +18,4 %
100	0,1 nA	2 µA	10 mA	10 mA
250	0,25 nA	6,25 µA	25 mA	25 mA
500	0,5 nA	16,7 µA	50 mA	50 mA
1 000	1 nA	40 µA	100 mA	100 mA
1 500	15 nA	75 µA	150 mA	150 mA
2 000	20 nA	100 µA	200 mA	200 mA
2 500	25 nA	500 µA	250 mA	250 mA
5 000	500 mA	1 mA	500 mA	500 mA

Tabell 9. Mätningar på byxa A – lår.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	55 gram	56 gram +1,82 %	58 gram +5,45 %	65 gram +18,2 %
100	0,0001 µA	0,0001 µA	10 mA	10 mA
250	0,00025 µA	0,0025 µA	25 mA	25 mA
500	0,0005 µA	0,01 µA	50 mA	50 mA
1 000	0,001 µA	0,02 µA	100 mA	100 mA
1 500	0,0015 µA	0,075 µA	150 mA	150 mA
2 000	0,002 µA	0,2 µA	200 mA	200 mA
2 500	0,0025 µA	5 µA	250 mA	250 mA
5 000	0,05 µA	100 µA	500 mA	500 mA

Tabell 10. Mätningar på byxa A – knä.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	230 gram	231 gram +0,43 %	233 gram +1,30 %	235 gram +2,17 %
100	0,1 nA	0,1 nA	0,1 nA	0,1 nA
250	0,25 nA	0,25 nA	0,25 nA	0,25 nA
500	0,5 nA	0,5 nA	0,5 nA	0,5 nA
1 000	1 nA	1 nA	1 nA	1 nA
1 500	1,5 nA	1,5 nA	1,5 nA	1,5 nA
2 000	2 nA	2 nA	2 nA	2 nA
2 500	2,5 nA	2,5 nA	2,5 nA	2,5 nA
5 000	5 nA	5 nA	5 nA	5 nA

Tabell 11. Mätningar på byxa B – midja.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	80 gram	82 gram +2,5 %	85 gram +6,25 %	90 gram +12,5 %
100	0,0001 µA	100 mA	100 mA	100 mA
250	0,005 µA	250 mA	250 mA	250 mA
500	0,017 µA	500 mA	500 mA	500 mA
1 000	0,05 µA	1 000 mA	1 000 mA	1 000 mA
1 500	0,15 µA	1 500 mA	1 500 mA	1 500 mA
2 000	0,2 µA	2 000 mA	2 000 mA	2 000 mA
2 500	0,25 µA	2 500 mA	2 500 mA	2 500 mA
5 000	50 mA	5 000 mA	5 000 mA	5 000 mA

Tabell 12. Mätningar på byxa B – lår.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	42 gram	23 gram 2,83 %	45 gram +7,14 %	47 gram +11,9 %
100	0,0001 µA	0,0001 µA	0,2 mA	1 mA
250	0,0025 µA	0,0125 µA	0,5 mA	2,5 mA
500	0,005 µA	0,05 µA	1 mA	5 mA
1 000	0,01 µA	0,1 µA	2 mA	10 mA
1 500	0,015 µA	1,5 µA	3 mA	15 mA
2 000	0,02 µA	25 µA	4 mA	20 mA
2 500	0,025 µA	125 µA	5 mA	25 mA
5 000	0,0001 µA	25 mA	62,5 mA	50 mA

Tabell 13. Mätningar på byxa B – knä.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	208 gram	210 gram +0,96 %	212 gram +1,92 %	217 gram +4,33 %
100	0,1 nA	0,1 nA	0,1 nA	2 nA
250	0,25 nA	0,25 nA	3,13 nA	6,3 nA
500	0,5 nA	0,5 nA	6,3 nA	16,7 nA
1 000	1 nA	1 nA	12,5 nA	33,3 nA
1 500	1,5 nA	1,5 nA	18,8 nA	50 nA
2 000	2 nA	2 nA	25 nA	66,7 nA
2 500	2,5 nA	2,5 nA	31,3 nA	83,3 nA
5 000	5 nA	50 nA	62,5 nA	250 nA

Tabell 14. Mätningar på byxa C – midja.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	93 gram	111 gram +19,4 %	123 gram +32,3 %	129 gram +38,7 %
100	0,002 µA	91 mA	91 mA	91 mA
250	0,008 µA	0,23 A	0,23 A	0,23 A
500	0,017 µA	0,45 A	§ 0,45 A	0,45 A
1 000	0,03 µA	0,91 A	0,91 A	0,91 A
1 500	0,05 µA	1,36 A	1,36 A	1,36 A
2 000	0,06 µA	1,81 A	1,81 A	1,81 A
2 500	0,125 µA	2,75 A	2,75 A	2,75 A
5 000	125 mA	4,54 A	0,45 A	4,54 A

Tabell 15. Mätningar på byxa C – lår.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	93 gram	111 gram +19,4 %	123 gram +32,3 %	129 gram +38,7 %
100	0,002 µA	0,3 mA	0,3 mA	0,3 mA
250	0,005 µA	8,3 mA	8,3 mA	8,3 mA
500	0,01 µA	17 mA	17 mA	17 mA
1 000	0,02 µA	33 mA	33 mA	33 mA
1 500	0,03 µA	50 mA	50 mA	50 mA
2 000	0,04 µA	66 mA	66 mA	66 mA
2 500	0,05 µA	83 mA	83 mA	83 mA
5 000	167 mA	167 mA	167 mA	167 mA

Tabell 16. Mätningar på byxa C – knä.

Spänning AC/DC	Torr	5 min. vätning	10 min. vätning	15 min. vätning
	122 gram	133 gram +9,02 %	137 gram +12,3 %	143 gram +17,2 %
100	0,01 nA	0,01 µA	10 mA	0,01 nA
250	0,25 nA	0,05 µA	25 mA	25 mA
500	8,3 nA	0,14 µA	50 mA	50 mA
1 000	0,02 µA	1 µA	0,1 A	0,1 A
1 500	0,037 µA	3,75 µA	0,15 A	0,15 A
2 000	0,057 µA	66 mA	0,2 A	0,2 A
2 500	0,083 µA	83 mA	0,25 A	0,25 A
5 000	0,2 µA	0,17 A	0,5 A	0,5 A

7.3 Sammanfattning

- Provutförandet inriktades främst mot spänningsspann från 100 V upp till 1 000 V AC respektive 1 500 V DC, men för att åstadkomma mätresultat med marginaler utfördes även prov upp till 5 000 V AC och DC, samt att prov på vätskor skedde från så låga nivåer som 3 V AC och DC.
- Handskar och larmställ skyddade användaren mot strömgenomgång bättre om dess konstruktion/design och materialval minskar fuktgenomgång in mot kroppen (se % fuktupptag i Tabell 3 till Tabell 14).
- Alla torra testade handskar gav bättre skydd mot strömgenomgång än fuktiga, medan skyddseffekten hos fuktiga varierade beroende på typ av handske.
- Torra testade byxor begränsade strömgenomgång bättre än fuktiga.
- Två byxmodeller (A och B) klarade att i testsituationen väsentligt begränsa strömgenomgång i knänivå, även efter 15 minuters väta – dock var effekten betydligt sämre i lår och höftnivå.
- Utöver fuktgenomgång kan även andra funktionella egenskaper hos materialvalen påverka skyddet mot strömgenomgång. Materialval i membranskydd kan ha influens på sådant skydd.
- Sannolikt kan kvalitén hos plaggens impregnering påverka strömskyddet.
- Släckvatten med additiv för att öka vätskans släckprestanda minskar samtidigt dess elektriska motstånd markant. Det innebär att larmkläder och handskar som genomdränkts inpå kroppen med sådan släckvätska får sämre strömskydd än om det genomdränkts av vanligt vatten.
- Larmställets byxor och dess knäområde har i dessa mätningar ett relativt gott skydd mot elektrisk strömgenomgång. Antagligen är detta en följd av flera materialskikt.
- Alla provade handskar och larmställsbyxor var begagnade utan historik rörande aktuell materialhälsa. Mekaniskt slitage har visuellt studerats och bedömts vara acceptabelt för studien. Rådande status beträffande impregnering var okänd.
- Ett starkare underlag för slutsatser avseende olika fabrikats egenskaper sinsemellan och vid förslitning skulle åstadkommits om prov kunnat ske också på nya handskar och larmställ.
- Denna studies provmetod skulle kunna användas vid en uppföljande studie på ny materiel.
- Denna rapport säkerställer INTE att utsatt person ska ge sig in i arbete där risk för strömgenomgång finns, utan den belyser endast hur skyddet hos handskar och utvalda områden hos larmställsbyxor ser ut i de fall då person sluter en strömkrets genom beröringskontakt med spänningsförande komponenter.

8. Råd och reflektioner

8.1 Råd till räddningspersonal

8.1.1 Allmänt

- Baserat på rapporterade olycksfall kan man dra slutsatsen att det är mycket sällsynt att svensk räddningstjänstpersonal drabbas av strömgenomgång och än mer ovanligt att drabbad ådrar sig allvarliga skador.
- Med den pågående omställningen i samhället mot ökad elektrisk energianvändning i exempelvis fordon, solpaneler och energilagringssystem, kan antalet risksituationer förväntas öka. Därmed förblir det viktigt att räddningstjänsten hålls kontinuerligt uppdaterade rörande sannolikhet och konsekvenser (dvs. ”risker”) med strömgenomgång så att deras kunskap och medvetenhet fortlöpande stärks.
- Om insats sker i närheten av spänningsförande struktur ska man kontakta sakkunnig för att reda ut hur strömmen ska brytas och incidenter undvikas.
- Iakttag gällande säkerhetsrutiner – bryt strömmen.
- Traditionellt definieras 50–1 000 V AC och 120–1 500 V DC som lågspänning, medan högspänning är nivåer över detta spann. Begreppsförvirring kan uppstå eftersom man inom fordonsindustrin definierar spänningsnivåerna 30–1 000 V AC och 60–1 500 V DC som ”högspänning”. Det är viktigt att räddningstjänstpersonal känner till denna skillnad.
- Elanläggningar såsom solcellsinstallationer och batterilagringssystem, samt e-fordon kan ha både AC och DC komponenter. Batterisystem har generellt DC.

8.1.2 Fysikaliska/tekniska fakta

- Oljor har närmast isolerande egenskaper, medan släckvattenadditiv betydligt försämrar våta kläders strömskyddande egenskaper.
- Glykol och andra alkoholer leder ström.
- I händelse av att personlig skyddsutrustning tillåter fuktgenomgång in på kroppen försämras skyddet mot strömgenomgång drastiskt.
- Slitna kläder/handskar och andra absorberande kläder drar sannolikt till sig mer fuktighet och försämrar de skyddande egenskaperna.
- Torra handskar som testats skyddar bättre mot strömgenomgång än fuktiga, medan skyddseffekten hos fuktiga kan variera beroende på typ av handske.
- Larmställ skyddar bäst mot strömgenomgång i knäregionen.

8.1.3 Medicinska fakta

- Spänning under 50 V AC är sällan farlig.
- Strömstyrkan som standarden anger som ofarlig är kring 10 mA.
- AC i frekvensområdet 50–100 Hz har en tendens att ogynnsamt påverka hjärtats rytm och kan ge hjärtflimmer i värsta fall. AC ström genom hjärtat (exempelvis från ena handen till andra handen eller fötterna) är speciellt olyckligt ur denna synpunkt. 50–100 mA AC kan ge hjärtflimmer.
- AC-ström från 15–20 mA och däröver kan ge muskelkramp vid kontakt så att man ej kan släppa greppet.
- Kroppens elektriska motstånd mot strömgenomgång påverkas inte nämnvärt av fuktighetsgraden på kroppens kontaktytor när beröringsspänningen är högre än 125 V AC.
- Om kroppens kontaktytor är fuktiga med salthaltigt vatten försämras kroppens skydd (det elektriska motståndet) ytterligare i jämförelse med fukt från färskvatten.
- Kroppens elektriska motstånd är i stort sett likartad mellan AC och DC för mindre kontaktytor (t.ex. ett finger), men för kontaktytor större än en handflata är motståndet något högre för DC när kontaktspänningen är lägre än 200 V AC/DC.
- Högre frekvenser hos AC-ström sänker/försämrar kroppens skydd mot strömgenomgång.

8.1.4 Akut omhändertagande av drabbad

- I händelse med andningsstillestånd är ”konstgjord” andning av betydelse för överlevnad. Om också puls saknas (misstänkt kammarflimmer) bör hjärt-lungräddning insättas. Den optimala åtgärden då är dock defibrillering (elchock). Defibrillator finns på många företag och lokalisationer i samhället, samt i vissa räddningsfordon och givetvis i ambulans.
- Kontakt med sjukvård, ej nödvändigtvis sjukhus, bör tas även vid händelser som inte verkat så allvarliga initialt.
- Den drabbade ska till sjukhus vid:
  - högspänningsolycka; över 1 000 V AC respektive 1500 V DC
  - lågspänningsolycka; under 1 000 V AC eller 1500 V DC, men med strömgenomgång av hjärtat exempelvis arm till arm, eller genom bålen exempelvis vänster arm till fot
  - medvetandepåverkan
  - brännskador
  - tecken på nervpåverkan exempelvis förlamning.

8.1.5 Viktiga fakta om händelsen

- Tidpunkt och plats
- hög/lågspänningsnivå och strömkälla (strömstyrka, säkring)
- AC eller DC

- kontaktpunkter dvs. strömmens in och utgång
- tid som strömgenomgång varat
- medvetandepåverkan och förlamning.

8.1.6 Tekniska kom-ihåg-punkter

- Av de fåtal skadehändelser som inträffat kan man dra slutsatserna att vid arbete i närhet av elutrustning kopplad till det fasta nätet (ex. solcellsanläggning, e-fordon på laddning) är det viktigt att komma ihåg att koppla ifrån installationen före insats.
- För att en person ska drabbas av strömgenomgång krävs att denne sluter en strömkrets mellan plusoch minuspol hos strömkällan.
- Ett e-fordon som är inblandat i en trafikskadehändelse är normalt inte strömförande. I ett e-fordon bryts strömmen från drivbatteriet oftast automatiskt vid indikering av jordfel, utlösning av krockkuddar etc. Men det är ändå klokt att förvissa sig om att ”tändningen”, eller annan förarstyrd kontakt t.ex. start/stopp knapp, är avstängd innan manipulation (klippning) av karossen sker. Alternativt kan man koppla bort 12 eller 24 V batteriet.

8.1.7 Kom-ihåg-punkter för skyddsutrustning

- Välvårdade persedlar (t.ex. korrekt tvättade, impregnerade, och lite slitna) har sannolikt bäst egenskaper mot strömgenomgång, varför det kan vara rekommendabelt att försöka hålla utrustningen i gott skick enligt fabrikantens rekommendationer och kassera utrustning som är alltför mekaniskt och kemiskt sliten.
- Skyddsutrustning som har benägenhet att absorbera/släppa igenom vatten ger sämre skydd mot strömgenomgång när den blir fuktig.

8.2 Reflektioner

- Den centrala frågeställningen i denna studie är huruvida larmställ och handskar som kontanimerats med vätskor erbjuder ett försämrat skydd mot strömgenomgång.
- Kartläggningen av elrelaterade arbetsplatsolyckor bland räddningstjänstpersonal (kapitel 4) visade att strömgenomgång är en mycket ovanlig händelse, vilket också litteraturstudien (kapitel 5) av statistik, rapporter och akademiska publikationer visade indikerar att räddningstjänstpersonal idag sällan drabbas av strömgenomgång. Genom den pågående energiomställningen i vårt samhälle kan förhållandena dock ändras i framtiden.
- Till denna studie har repeterbara provmetoder utvecklats utifrån gränsvärden ur etablerade standarder rörande elsäkerhet och konsekvenser av strömgenomgång.
- Provmaterialen utgjordes av ett begränsat antal begagnade larmställsbyxor och handskar som var tvättade rena. Dock var deras historik obekant. Detta ger begränsad möjlighet till generalisering av resultaten och bedömning av olika fabrikats prestanda i nyskick, samt av förslitningens betydelse.

- Önskvärt vore att provseriens hypoteser kan utvärderas medelst motsvarande provning på rena och obrukade larmställ för att etablera referensvärden att jämföra graden av försämrat skydd över användningstid, kvalité på materielunderhåll och typ av slitage.
- Mätresultaten inom vardera provserien – dels för handskar och dels för larmställsbyxor – kan jämföras inbördes. Eftersom kontaktytan är definierad som ca. 1 000 mm^2 (ett finger) under provning av handskar, men som ”punktkontakt” under provning på larmställstyg, ska man inte jämföra mätresultaten mellan de två objektens provserier.
- De två provseriernas tydligaste resultat är att de båda påvisar att det elektriska motståndet mot strömgenomgång sjunker ju högre fukthalt som upptagits av provobjekten, men samtidigt förekommer avvikelse som kan vara indikation på att plaggets design, materialstruktur och materialval inverkar på det elektriska motståndet.

9. Referenser

Ahrens, M. & Evarts, B. 2017. Non-Fire Electrical Incidents. *National Fire Protection Agency Research.* Quincy. MA.

Brandmaterielsamordnare. 2019. Intervju om kravbild mot elsäkerhet vid upphandling av larmställ, [Intervju 27 11 2019]. *Räddningstjänsten Storgöteborg.* Göteborg.

ECE R100. 2018. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train. Economic Commission of Europe. Luxembourg. https://op.europa.eu/en/publicationdetail/-/publication/fd8e6b47-d767-11e4-9de8-01aa75ed71a1 (Hämtad 20200114).

Elsäkerhetsverket. 2014. Elolyckor. *Elsäkerhetsverket*. Stockholm.

Federal Emergency Management Agency. 2019. Firefighter Fatalitites in the United States in 2018. U.S. *Fire Administration.* Emmitsburg, MD. https://webstore.iec.ch/publication/62980 (Hämtad 20200114).

IEC 60479-1, 2018. International Standard: Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects, *International Electrotechnical Commission.* Geneva. https://webstore.iec.ch/publication/62980. (Hämtad 20200114).

IEC 61140. 2016. Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment. *International Electrotechnical Commission*. Geneva. https://www.sis.se/api/document/preview/8018203/ (Hämtad 20200114).

Lee, R. 1997. Injury by electrical forces: pathophysiology, manifestations, and theraphy. *Curr Probl Surg* 34(9), 677–764.

Mathe, L., Sera, D., Spartaru, SV, et al. 2015. Firefighter safety for PV systems: A solution for the protection of emergency responders from hazardous dc voltage. *IEEE Industry Applications Magazine* 21(3), 75–84.

Medelpads Räddningstjänstförbund. 2016. Räddningstjänstens rapport till Arbetsmiljöverket. Utredning – Arbetsolycka – Räddningspersonal. *Medelpads Räddningstjänstförbund*. Sundsvall.

Mohla, DC., Driscoll, T., Hamer, PS. & Panetta, S. 2012. *Mitigating electric shock and arc flash energy – A total system approach for personnel and equipment protection. Conference Record of Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference 18(3),* 48–56. *Institute of Electrical and Electronic Engineers.* Piscataway. NJ.

Morse, MS. & Morse, JS. 2006. In: Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering. Electric Shock. Electrical Injury. *John Wiley & Sons, Inc.* Hobocken. NJ.

Noren, P. 2013. Fördjupad olycksundersökning. Olyckstillbud i samband med arbetsplatsjordning, Karlbergs järnvägsstation, *Storstockholms brandförsvar.* Stockholm.

Park, H., Park, J., Lin, SH. & Boorady, L. M. 2014. Assessment of Firefighters' needs for personal protective equipment. *Fashion and Textiles 1*, 1–13.

Räddningstjänsten Enköping-Håbo. 2010. Räddningstjänstens rapport till Arbetsmiljöverket. Tillbud 20100405 Grillbyskolan Enköping, Rökdykare. *Räddningstjänsten Enköping-Håbo.* Enköping.

Räddningstjänsten Bengtsfors kommun. 2018. Räddningstjänstens anmälan till Arbetsmiljöverket. Tillbud – Elektricitet. *Räddningstjänsten Bengtsfors kommun.* Bengtsfors.

SEK Handbok 438. 2012. Högspänningshandboken – SS-EN 61936-1 och SS-EN 50522 med Högspänningsguiden, *SEK Svensk Elstandard*. Kista.

Soar, J, Perkins, GD, Abbas, G et al. 2010. Cardiac arrest in special circumstances: Electrolyte abnormalities, poisoning, drowning, accidental hypothermia, hypothermia, asthma, anaphylaxis, cardiac surgery, trauma, pregnancy, electrocution. Resuscitation 81(10), 1400–1433.

Spataru, S, Sera, D, Blaabjerg, F, et al. 2013. Firefighter safety for PV systems: Overview of future requirements and protection systems. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. *Institute of Electrical and Electronic Engineers.* Piscataway. NJ.

SS 436 40 00. 2017. Elinstallationsreglerna. Elinstallationer för lågspänning – Utförande av elinstallationer för lågspänning. *SEK Svensk Elstandard.* Kista.

SS EN 1149:5. 2018. Skyddskläder – Elektrostatiska egenskaper – del 5: Fordringar på design och ingående material. Svenska Institutet för Standarder, Stockholm.

Tondel, M. Blomqvist, A, Jakobsson, K, et al. 2016. Elolyckor kan ge skador som visar sig efter lång tid. *Läkartidningen* 114, 1–5.

VDE-AR-E2100-712. 2018. Measures for the DC range of a PV installation for the maintenance of safety in the case of firefighting or technical assistance. *VDE, Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.* Frankfurt. https://standards.globalspec.com/std/10026431/VDE-AR-E%202100-712 (Hämtad 20200114).

Veiersted, K., Goffeng, L. & Moian, R. 2003. Akutte og kroniske skador etter strömulycker. *Tidsskr Nor Laegeforen* 123(17), 2453–6.

10. Bilagor

10.1 Kriterier för strömgenomgång i kroppen

Standarden IEC 60479-1 presenterar kriterier för strömgenomgång baserat på data från provning där man utforskat relationen mellan kroppens motstånd och beröringsspänningens nivå (25 V AC till 1000 V AC; 50/60 Hz) då strömmen går från hand till hand utifrån tre kontaktytor:

- stor 10 000 mm^2
- medium 1000 mm^2
- liten 100 mm^2

och tre fuktförhållanden:

- torr
- ”vattenblöt”
- ”saltvattenblöt”.

Vidare presenteras denna konsekvens för boskap och mänsklig kropp, vävnad och organ som utsätts strömgenomgång med AC och DC.

10.1.1 Generellt

För en given väg som strömmen tar genom människokroppen beror faran för individen huvudsakligen på storleken och varaktigheten på detta strömflöde. Den avgörande faktorn är gränsen för beröringsspänning (”touch voltage”) (U_T) vilken anges som produkten av strömmen genom kroppen och kroppens impedans, dvs. kroppens motstånd mot strömgenomgång. Impedansen är olika hos olika kroppsdelar varför förhållandet mellan ström och spänning inte är linjärt över strömmens väg genom kroppen. Impedansen i olika delar av kroppen består av både resistiva och kapacitiva bidrag. Nivån på kroppsimpedansen beror på flertal faktorer och i synnerhet på strömmens färdväg, på beröringsspänningen, varaktighet av strömflödet, strömmens frekvens, hudens fuktighetsgrad, kontaktyta, utövat kontakttryck och temperatur.

I huvudsak anses risken för rytmrubbning i hjärtat som kan leda till hjärtstopp vara den huvudsakliga dödsmekanismen vid dödliga elektriska olyckor.

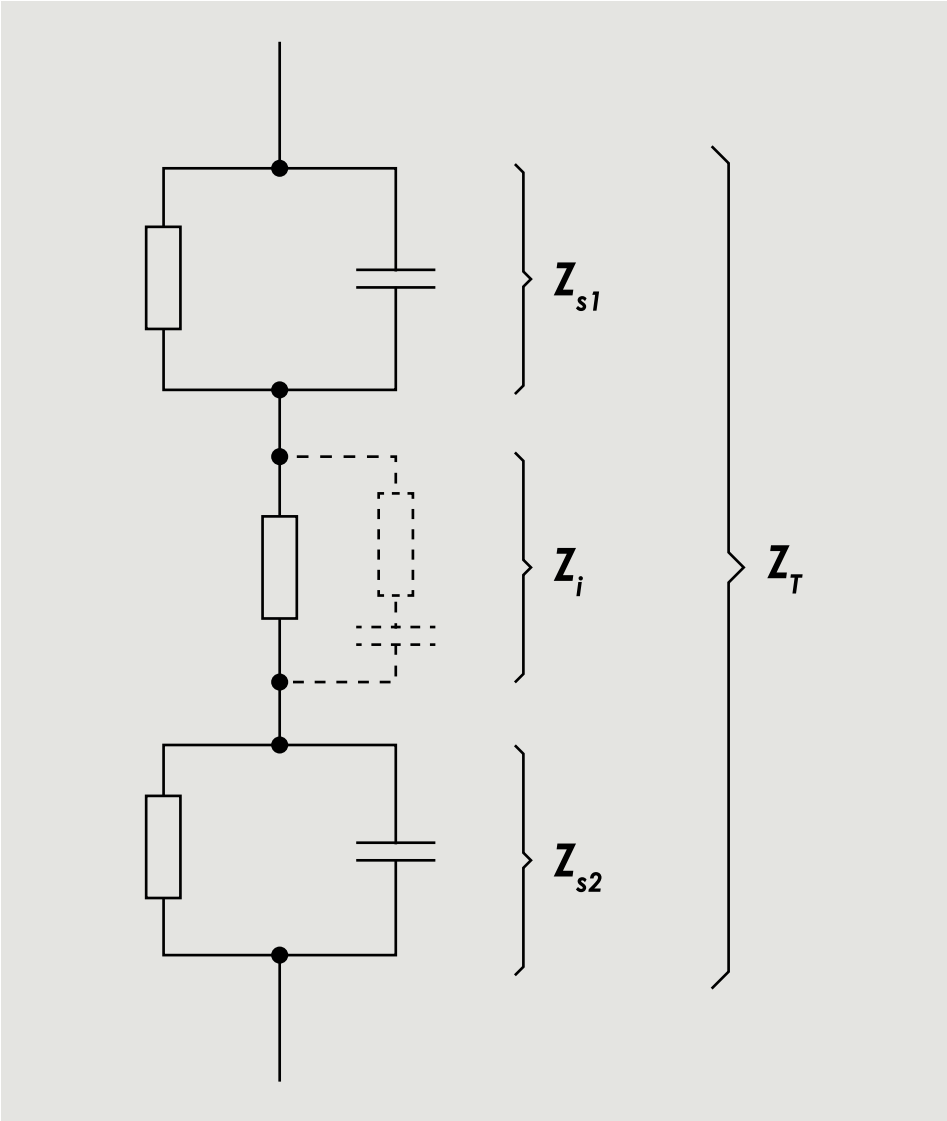
Olyckor med likström är mycket mindre frekventa än vad man kan förvänta sig från antalet likströmsapplikationer, och dödliga elektriska olyckor inträffar endast under mycket ogynnsamma förhållanden. Detta beror delvis på det faktum att med likström är det lättare att släppa taget om strömförande komponenter och för att ström-gränsvärdet för risk för ventrikelflimmer ligger högre än för AC.

10.1.2 Kroppens motstånd mot strömgenomgång

Kroppens inre impedans (Z_i)

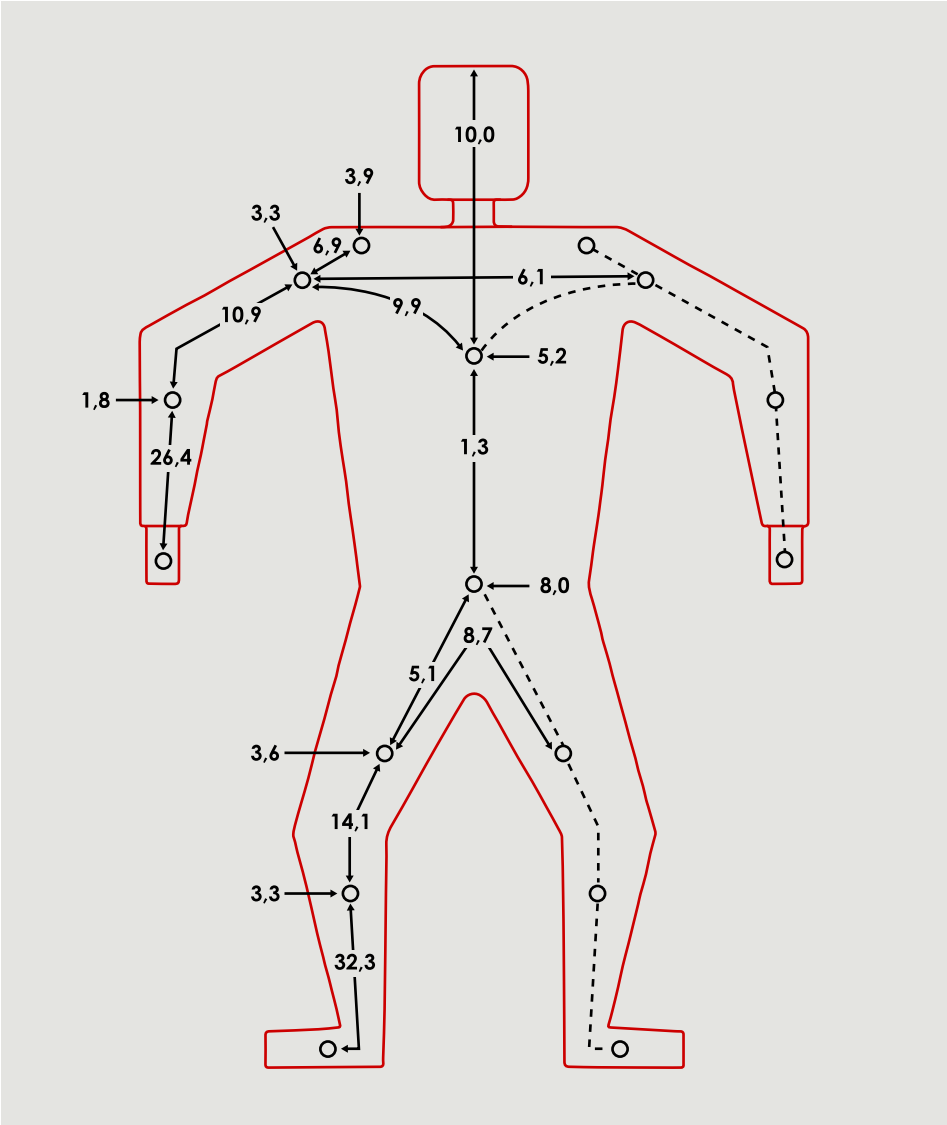
Kroppens inre impedans (Z_i) kan betraktas som företrädelsevis resistiv (Figur 12). När ström leds inuti kroppen påverkas styrkan främst av dess färdväg, och i lägre omfattning av yttre kontaktytan.

Figur 12. Impedanser hos kroppen. Den streckade komponenten indikerar att även ett litet kapacitiv bidrag också förekommer. Z_i innebär kroppens inre impedans; Z_s innebär hudens impedans hos första handen {1} respektive andra handen {2}; Z_T innebär den totala impedansen. (IEC 60479-1, 2018)



Om man utgår från att strömmen tar färdvägen från hand till fot och sedan betraktar hur olika kroppsdelar bidrar till den inre impedansens kan man konstatera att impedanserna hos armar och ben dominerar över impedansen i kroppens centrala delar (Figur 13).

Figur 13. Procentuell fördelning av olika kroppsdelars bidrag till den totala inre impedansen. Vardera bidrag beskriver motsvarande kroppsdels inre enskilda (partiella) impedans (Zip). (IEC 60479-1, 2018)



Hudens impedans (Z_s)

Impedansen hos huden kan betraktas som bestående av komponenter som ger både resistiva och kapacitiva bidrag (Figur 12). Detta beror på att huden omfattar flera skikt och porer med varierade egenskaper. Hudens impedans faller med ökad strömstyrka.

Till skillnad från kroppens inre impedans (Z_i) påverkas hudens inre impedans av ett större antal faktorer såsom beröringsspänning, elfrekvens, varaktighet hos strömmen, kontaktyta, kontakttryck, fuktighetsgrad och temperatur hos huden.

Vid lägre beröringsspänningar kan hudens impedans variera stort även hos en enskild person, medan vid högre beröringsspänningar reduceras hudens impedans kraftigt fram till den punkt då huden går sönder.

Kroppens totala impedans (Z_T)

Då hudens inre impedans varierar stort under lägre beröringsspänningar så gäller detta även för kroppens totala impedans (Z_T) (Figur 12). Vid högre beröringsspänningar bidrar hudens impedans allt mindre och kroppens totala impedans sammanfaller mot kroppens inre impedans ju högre spänningen är.

Eftersom hudens inre impedans reduceras mot ökad elfrekvens blir kroppens totala impedans lägre vid exponering till högre elfrekvenser. Av denna anledning är kroppens totala impedans högre vid exponering av likström än växelström.

Kroppens initiala resistans (R_0)

I det ögonblick då beröringsspänningen kommer i kontakt med huden är inte kroppens kapasitans laddad ännu. Därför är hudens impedans (Z_s) försumbara och kroppens initiala resistans är likvärdig med kroppens inre impedans (Z_i) (se Figur 12). Den initiala resistansen (R_0) beror därför huvudsakligen på strömmens väg genom kroppen och i mindre avseende även på kontaktytan varigenom strömmen går.

Den initiala resistansen begränsar därför maxnivån hos korta strömpulser såsom elchock från elstängsel.

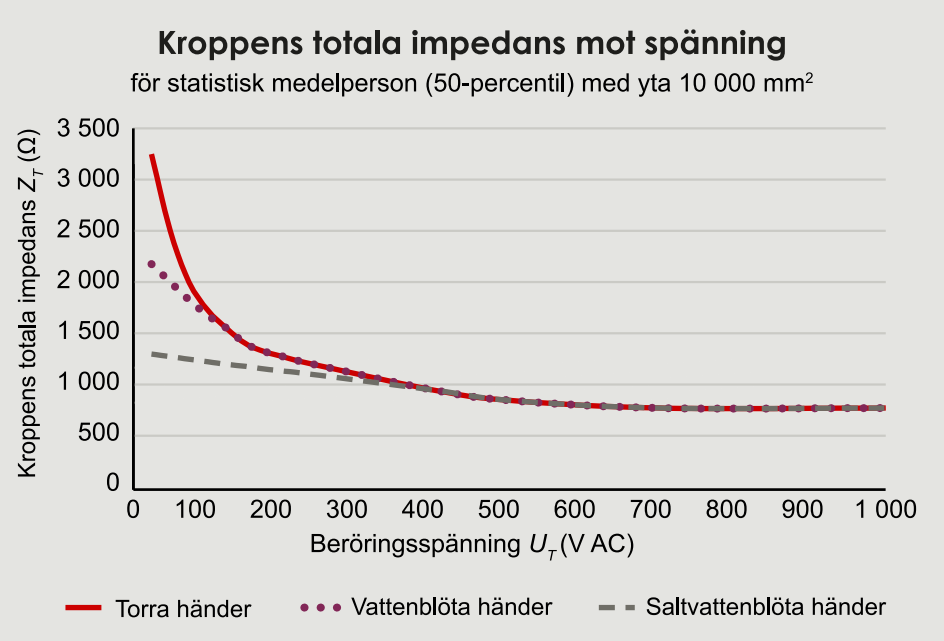
Kroppens motstånd (Z_T) vs. beröringsspänning

Resultaten i Figur 14 och Figur 15 påvisar att oavsett kontaktyta under beröringsspänningar över ca. 125 V konvergerar impedansen för torra och färskvattenblöta händer.

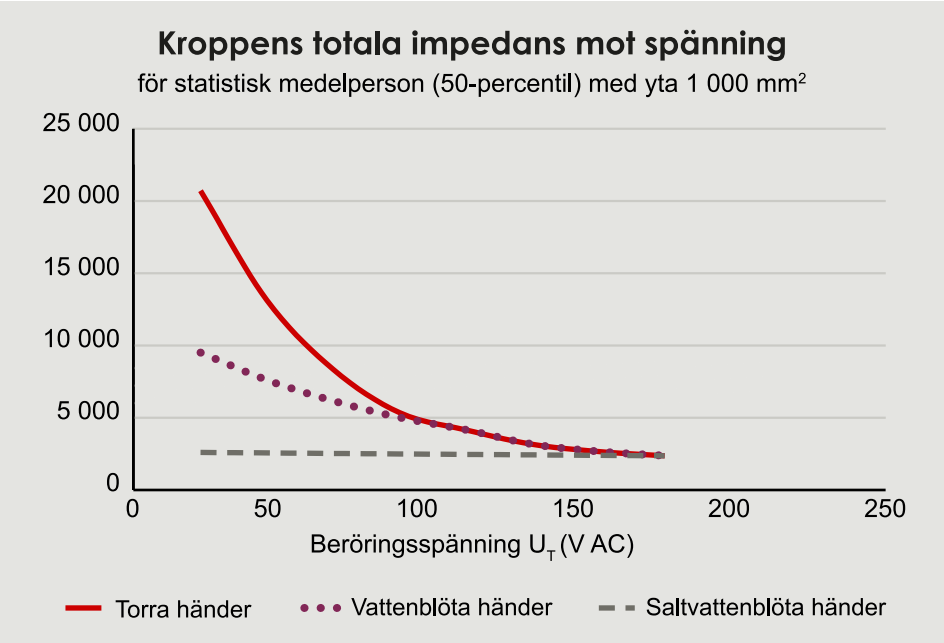
Figur 14 visar även att beröringsspänning över 400 V ger samma impedans för saltvattenblöta händer och de övriga två förhållandena då kontaktytan är 10 000 mm².

Resultaten som presenteras i Figur 15 och Figur 16 har utförts endast upp till 200 V där kroppens totala impedans konvergerar oavsett torrhet eller typ av fuktighet på händerna då kontaktytan är 1 000 mm² respektive 100 mm².

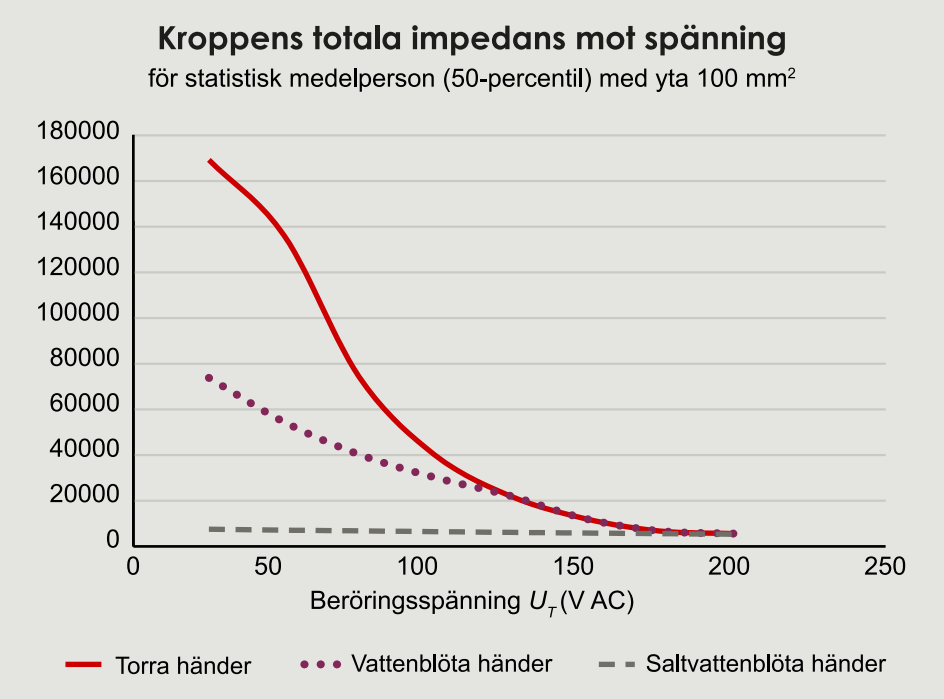
Figur 14. Kroppens totala impedans vid strömgenomgång från hand till hand då kontaktytan är stor (10 000 mm²). Värdena avser en medelperson där händerna antingen är torra, färskvattenblöta eller saltvattenblöta. (IEC 60479-1, 2018)



Figur 15. Kroppens totala impedans vid strömgenomgång från hand till hand då kontaktytan är stor (1 000 mm²). Värdena avser en medelperson där händerna antingen är torra, färskvattenblöta eller saltvattenblöta. (IEC 60479-1, 2018)



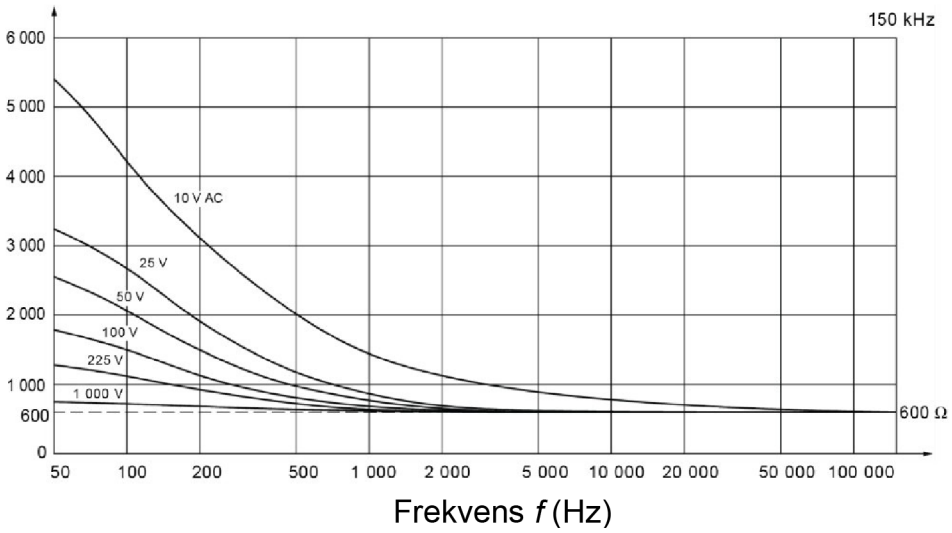
Figur 16. Kroppens totala impedans vid strömgenomgång från hand till hand då kontaktytan är stor (100 mm²). Värdena avser en medelperson där händerna antingen är torra, färskvattenblöta eller saltvattenblöta. (IEC 60479-1, 2018)



Frekvensens inverkan på kroppens impedans

Kroppens totala impedans sjunker i samband med högre frekvens likväl som högre kontaktspänning. Således ökar risken för strömgenomgång och strömmens storlek kraftigare än linjärt när frekvens likväl som kontaktspänningen blir högre. Värdena för kroppens totala impedans sjunker med högre frekvens på grund av att hudens kapacitans påverkas. För kontaktspänningar från 25 V AC visar underliggande data till Figur 17 att innan 5 000 Hz konvergerar kroppens totala impedans (Z_T) mot, och sammanfaller med kroppens inre impedans (Z_i).

Figur 17. Kroppens totala impedans (Z_T) påverkas av frekvensen hos växelströmmen som individen utsätts för. Den data som underbygger grafen beskriver förutsättningarna hos en statistisk medelperson (50-percentil). Värden för Z_T med högre frekvens än 2 000 Hz har framtagits genom extrapolation av tillgängliga data. (IEC 60479-1, 2018)



Likström (DC) vs. Växelström (AC)

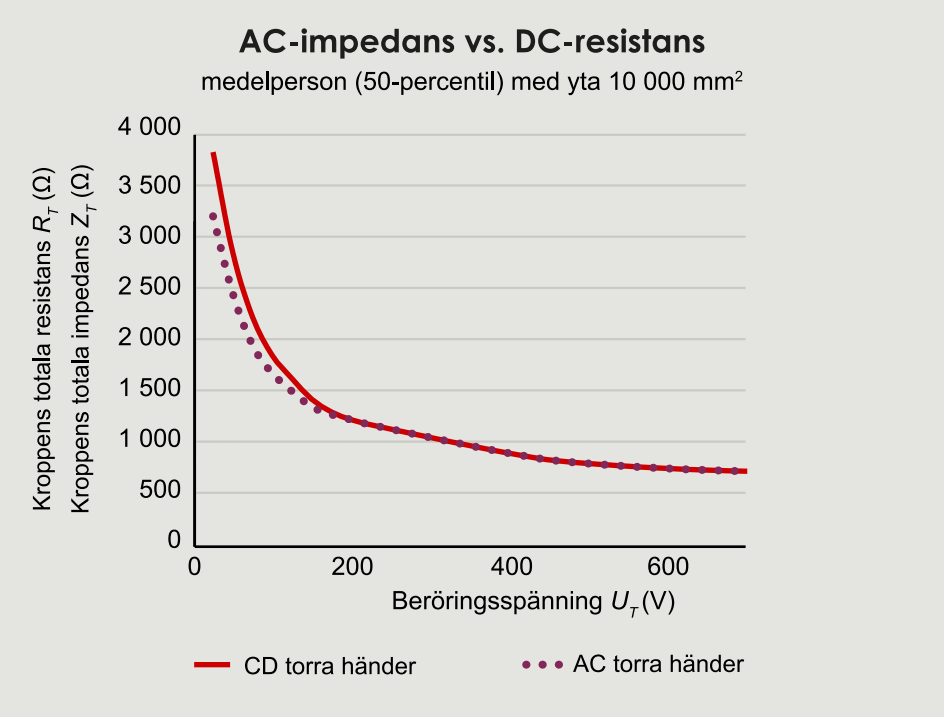
Figur 18 presenterar data från tester med strömgenomgång från hand till hand med torr kontaktyta på 10 000 mm^2.

Under ca. 200 V kommer kroppens resistans (R_T) vid DC-strömgenomgång vara högre än kroppens totala impedans vid AC-strömgenomgång. Skälet är att under DC-strömgenomgång ger hudens kapacitansegenskaper en blockerande effekt som saknas under AC-strömgenomgång.

När motsvarande kontaktyta är fuktig med vatten eller saltvatten kan man med rimlig noggrannhet beakta värdena som presenteras i Figur 14 för vattenblöta händer respektive saltvattenblöta händer.

DC-strömgenomgång med kontaktytor 1 000 mm^2 och lägre bedöms ge samma resultat som visas för AC-strömgenomgång i Figur 15 och Figur 16. Detta innebär att för dessa kontaktytor kan förväntas att de tekniska värdena kan beskrivas med provning på en av de två typerna av elström, AC vs. DS.

Figur 18. Statistiska värden för kroppens totala impedans vid AC-strömgenomgång (50/60 Hz) och kroppens resistans vid DC-strömgenomgång. Strömgenomgång från hand till hand. (IEC 60479-1, 2018)



Värdet hos kroppens initiala resistans (R_0)

Värdet hos kroppens initiala resistans (R_0) hos en statistisk medelperson (50-percentilen) som drabbas av strömgenomgång från hand till hand eller från hand till fot uppskattas till 750 Ω. För 5-percentilen och 95-percentilen uppskattas värdet till 500 Ω respektive 1 000 Ω.

När man jämför R_0 mot det asymptotiska värdet för Z_T vid strömgenomgång med AC 50/60 Hz så är R_0 lägre än Z_T. Likaså är R0 lägre än kroppens totala resistans R_T vid DC-strömgenomgång. Orsaken är att i det ögonblick då kontaktspänning etableras är hudens kapacitans och kroppens inre kapacitans oladdade.

10.2 Index över litteraturstudie

Topic	Grade	Authors	Source	Vol.	Pages	Year	Content	First author
Non-Fire Electrical Incidents	3.5	Marty Ahrens, Ben Evarts	NFPA Research	Report	1–17	2017	Investigation of "Non-Fire Electrical Incidents"	Ahrens
Fire in storage battery	2	Armistead, T.F.	ENR (Engineering News-Record)			2019	Fire at Arizona energy storage battery bank draws scrutiny	Armistead
Firefighter safety and photovoltaic	4	R. Backström, D. Dini	Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering	8472		2012	Firefighter safety and photovoltaic installations research project **(Not Available)**	Backström
Electrical accidents in UK	3	M. Barrett, K. O'Connell, C. Sung, G. Stokes	Building Services Engineering Research and Technology	31(3)	237–249	2010	Analysis of electrical accidents in UK domestic properties	Barrett
Harmful electrical shock	3	G. Biegelmeier	Elektrotechnik und Informationstechnik	124 (6)	200–208	2007	Tolerable risks of protection against harmful electric shock for direct current	Biegelmeier
Fire-fighting with foam on solar panels	2	Bosco, J.P., Tanaka, Z., Ott, B.A., Slee, D.T.	2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2015	7355988		2015	The efficacy of fire-fighting foams for disrupting power generation from silicon solar panels	Bosco
Electrical incidents	2	Richard B. Campbell, David A. Dini	NFPA Research	Report	1–96	2015	Occupational Injuries From Electrical Shock and Arc Flash Events	Campbell
Electrical injuries	3	Dechent, D., Emonds, T., Stunder, D., (...), Kraus, T., Driessen, S.	Burns			2019	Direct current electrical injuries: A systematic review of case reports and case series **(Not Available)**	Dechent
Electric shock	2	Edwards, C.Bruce	Fire Engineering	149(4)	7	1996	Electricity and electric shock	Edwards
Electric shock	2	Fish R.	J of Emergency Medicine	11(3)	309–12	1993	Electric shock, Part 1: Physics and pathophysiology	Fish
Fibrillation	1	King, E., Coggan, R.	Down to Earth Conference, DTEC	7731295		2016	EG-0 constant fibrillation probability curve replication	King
High Voltage safety concepts for power electronics	2	O. Kota, G. Balasubramanian	SAE Technical Papers	12		2013	High voltage safety concepts for power electronic units	Kota
Electrical injuries	3	Kroll, M.W., Ritter, M.B., Perkins, P.E., Shams, L., Andrews, C.J.	Journal of Emergency Medicine	56(5)	71–79	2019	Perceived Electrical Injury: Misleading Symptomology Due to Multisensory Stimuli **(Not Available)**	Kroll
Harmful electrical shock	2	K. Lee	SAE Technical Papers				Simulation of electrical shock safety of human body for FCV electrical units **(Not Available)**	Lee

Topic	Grade	Authors	Source	Vol.	Pages	Year	Content	First author
Firefighter safety for PV systems	4	Mathe, L., Sera, D., Spataru, S.V., (...), Blaabjerg, F., Kerekes, T.	IEEE Industry Applications Magazine	21(3)	75–84	2015	Firefighter safety for PV systems: A solution for the protection of emergency responders from hazardous dc voltage	Mathe
Electric shock and arc flash	4	Mohla, D.C., Driscoll, T., Hamer, P.S., Panetta, S.A.R.	IEEE Industry Applications Magazine	18(3)	48–56	2012	Mitigating electric shock and arc flash energy – A total system approach for personnel and equipment protection	Mohla
Electrical injuries	3	A. R. Moritz, F. C. Henriques, Jr.	Am J Pathol	23(5)	695–720	1947	Studies of Thermal Injury: II. The Relative Importance of Time and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burns	Moritz
Heat injuries by inhaling	2	Alan R. Moritz, Frederick C. Henriques, Jr., Regina McLean	Am J Pathol.	21(2)	331–331	1945	The Effects of Inhaled Heat on the Air Passages and Lungs: An Experimental Investigation	Moritz
Firefighters PPE	4	Huiju Park; Juyeon Park; Shu-Hwa Lin; Lynn M Boorady	Fashion and Textiles	1	1–13	2014	Assessment of Firefighters' needs for personal protective equipment	Park
Firefighter clothing	2	Šajatović, A.H., Pavlinić, D.Z., Dragčević, Z.	Tekstil	62(3–4)	160–173	2013	Firefighters clothing systems for protection against heat and flame **(Not Available)**	Šajatović
Firefighter safety for PV systems	4	S. Spataru, D. Sera, F. Blaabjerg, L. Mathe, T. Kerekes	2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition	6647298	4468–4475	2013	Firefighter safety for PV systems: Overview of future requirements and protection systems	Spataru
Firefighters vs E-Vehicles	1	Stave, C., Carlson, A.	European Transport Research Review	9(2)	25	2017	A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles	Stave
Effects of voltage on human body	3	S. Suchanek, V. Hinrichsen, J. Gao, R. Brocke,	VDE Fachberichte	68	33–37	2011	Effects of step voltages on the human body	Suchanek
Electric shock	2	Taka, Y., Hirata, A., Yamazaki, K., Fujiwara, O.	IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	137(4)	229–235		Electric shock and safety evaluation for electrostatic discharge from human	Taka
Firefighter safety for PV systems	3	Corporate author	VDE-AR-E 2100-712			2018	Measures for the DC range of a PV installation for the maintenance of safety in the case of firefighting or technical assistance	VDE
Fibrillation	2	Woodhouse, D.J., Griffiths, I.	Down to Earth Conference, DTEC	7731305		2016	The probability of ventricular fibrillation due to step voltage hazards	Woodhouse

Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 **www.msb.se**
Publ.nr MSB1498 - december 2022 ISBN 978-91-7927-013-1