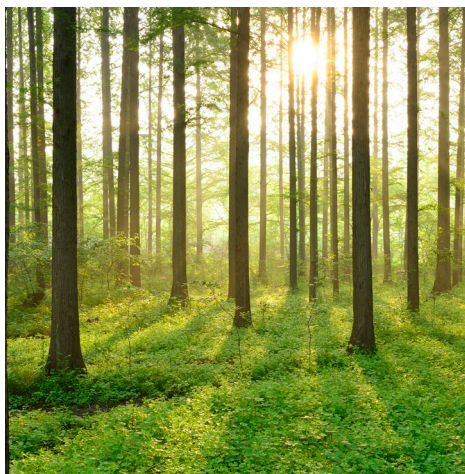


ELEKTRISKA OCH MAGNETISKA FÄLT I DISTRIBUTIONS- OCH REGIONNÄT

RAPPORT 2017:401



Elektriska och magnetiska fält i distributions- och regionnät

GÖRAN OLSSON OCH KATARINA YUEN

ISBN 978-91-7673-401-8 | © ENERGIFORSK maj 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Projektet Elektriska och magnetiska fält i distributions- och regionnät, har gjorts inom forskningsprogrammet Underhåll av elnät. Programmet har satsat på projektet eftersom det genom sina resultat med fokus på lågfrekventa fält - 50 Hz - belyser vilken påverkan Arbetsmiljöverkets föreskrift Elektromagnetiska fält AFS 2016:3 får på arbetet med distributions- och regionnät.

Programmet syftar till att analysera de behov som finns inom underhåll, diagnostik och reinvesteringsstrategi. Visionen är att resultaten från programmet ska ge ett bättre tekniskt och finansiellt beslutsunderlag för val mellan olika satsningar i elnätet i syfte att upprätthålla eller höja dess prestanda. Idéproduktionen initieras främst från de problem och uppkomna behov som finns hos elnätsföretagen.

Projektet har utförts av STRI AB och Sweco Energiguide AB. Rapporten har skrivits av Göran Olsson på STRI och Katarina Yuen på Sweco Energiguide. Till projektet har funnits en referensgrupp bestående av Christer Gruber, Energiföretagen Sverige, Hans Lagergren, Svenska Kraftnät samt Sven Jansson/Anton Fagerström, Energiforsk.

Sammanfattning

I Arbetsmiljöverkets föreskrift Elektromagnetiska fält AFS 2016:3 ges begränsningar för arbetstagares exponering för elektriska, magnetiska och elektromagnetiska fält inom frekvensområdet 0 Hz – 300 GHz. I denna rapport fokuseras på lågfrekventa fält - 50 Hz - och vilken påverkan före-skriften får på arbetet med distributions- och regionnät.

Ett antal arbetsområden inom spänningsområdet 10/12 - 130/145 kV som berör luftledningar, stationer och ställverk samt kablar har studerats och bedömts med avseende på exponering för B- och E-fält och vilka konsekvenser det kan få på arbetets utförande. Bedömningen har i första hand gjorts mot föreskriftens s k insatsvärden och i andra hand mot de beräknade nivåer på yttre fält som motsvarar gränsvärdet, vanligen benämnda LEF (Exposure Limit Equivalent Field). På detta sätt fås harmonisering med internationell standard och med de riktlinjer som tagits fram inom Svenska kraftnät.

Vid bedömning av arbetet på luftledningar och i stationer har uppgifterna delats in i Arbete Utan Spänning (AUS) - utanför närområdet, Arbete Nära Spänning (ANS) - inom närområdet och Arbete Med Spänning (AMS) - inom riskområdet. Då exponeringen beror av avståndet till spänningsförande anläggningsdel har alla beräkningar av fält utgått från de avstånd till risk- respektive närområdets yttre gräns som anges i standarden SS-EN 50 110-1. Det är dock vanligt att man tillämpar längre avstånd och på detta sätt fås också lägre fältnivåer.

Ett centralt avsnitt i föreskriften handlar om arbetsgivarens bedömning av förekommande elektriska och magnetiska fält och den riskbedömning som skall göras som en del av det systematiska arbetsmiljöarbetet. Arbetsgivaren skall även informera sin personal om förekommande fält och vilka övergående symtom dessa kan ge på människokroppen. Syftet med denna rapport är att ge underlag till en sådan första bedömning av exponeringen vid olika arbeten och hur fortsatta undersökningar bör inriktas. I vissa enklare fall behövs kanske inte ytterligare underlag, medan andra kräver beräkningar och/eller mätningar. I korthet kan exponeringsförhållandena sammanfattas enligt följande:

Luftledningar: För magnetsikt fält rekommenderas ett minsta avstånd mellan huvud och faslina på 10–20 cm och för större kroppsdelar minst 2–6 cm. Lokal fältförstärkning ger E-fält 20-24 kV/m invid stolpen för 145 kV. Arbete med enbart isoler-handskar på 36 kV ledningar rekommenderas inte p g a E-fält >50 kV/m vid händerna.

Kapslade mellanspänningsställverk för 12 och 24 kV: Vid arbete med stängda skåp fås inga yttre elektriska fält och inte heller magnetfält över låg insatsnivå. Arbete på kabelsidan kan ge exponering för B-fält motsvarande låg till hög insatsnivå.

Stationer och ställverk, AUS, ANS samt AMS med isolerstångsmetoden: Magnetiska fält under låg insatsnivå. E-fältet vid AUS är normalt under låg insatsnivå men kan vid 130/145 kV nå upp till hög nivå p g a lokal fältförstärkning.

Vid ANS fås E-fält i allmänhet mellan låg och hög insatsnivå och över hög insatsnivå mellan faserna.

Kablar: Inga yttre elektriska fält. Vid märkström rekommenderas >100 mm mellan kabel och huvud för triangulär konfiguration (och 3-fas kablar) och >250 mm för horisontell konfiguration.

Summary

The provision Elektromagnetiska fält AFS 2016:3 from Swedish work environment authority gives recommendations for workers exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields from 0 Hz to 300 GHz. Focus in this report is on low-frequency fields, 50 Hz, and their impact on work on distribution- and sub-transmission networks.

A number of working tasks in the voltage range 10/12 to 130/145 kV dealing with work on overhead lines, in substations and with cables have been studied and assessed regarding field exposure and consequences. The assessment has primarily been based on the Action Levels (AL) and secondly on the calculated values of the external field corresponding to the relevant Exposure Limit Value (ELV), called LEF (Exposure Limit Equivalent Field). This procedure follows international standards and also the new internal guidelines prepared by Svenska kraftnät.

The assessment of risks and the determination of exposure for work on overhead lines and in substations have been divided in Dead working, working in the vicinity of live parts and Live working. The field calculations have been based on the distances to the outer limit of the live working zone and to the vicinity zone, as the exposure is strongly dependent on the distance to live conductors

A central part of the provision deals with the employer's risk assessment including determination of worker's exposure to electric and magnetic fields. This shall be carried out as a part of the continuous on-going work to reduce all risks for workers. The employer shall give the workers information about the result of the assessment and about the possible health effects of exposure. The intention of this report is to give the employer guidance to this assessment and how further investigations shall be directed. Some less complex situations may not need any more studies, while others may need both calculations and measurements. The exposure conditions can be summarized as follows:

Over-head lines: For the magnetic field, a minimum distance of 10-20 cm between phase conductor and head is recommended and 2-6 cm for larger parts of the body. Local concentration of the electric field can result in E-field levels of 20-24 kV/m close to tower legs for 145 kV. Working on 36 kV lines using only insulation gloves is not recommended as the E-field at the surface of the conductor may exceed 50 kV/m, which is above the Action Level (AL) for the hands.

Medium voltage cubicles for 12 and 24 kV: The electric and magnetic field are below AL low when the cubicles are closed. Work on the cable side of the cubicles may result in B-field levels varying from AL low to high.

Stations: The magnetic field is below AL low for working in the Dead working zone, in the vicinity zone and in the Live working zone with hot stick. The electric field is normally below AL low but can reach high action levels due to local concentration of the field. For work in the vicinity zone the E-field level is normally between low and high AL but can exceed high AL level in the area between the phases.

Cables: No external electric field. A distance of at least 100 mm is recommended for the distance cable to head (at rated current) for a trefoil cable configuration. At least 250 mm is recommended for a horizontal or flat configuration.

Innehåll

1	Inledning	9
2	Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2016:3	10
2.1	Allmänt om föreskriften	10
2.2	Gränsvärden och insatsnivåer	10
2.3	Det systematiska arbetsmiljöarbetet	12
2.4	Utbildning av arbetstagare	14
2.5	Kommentarer till föreskriften	14
3	Exponering över insatsnivåerna	17
4	Riktlinjer för exponering - sammandrag	21
5	Arbete i höga elektriska och magnetiska fält	23
5.1	Arbetsmetoder	23
6	Arbete på luftledning	25
6.1	Arbete utan spänning	25
6.2	Arbete nära spänning	26
6.3	Arbete med spänning	30
6.3.1	Isolerstångsmetoden	30
6.3.2	Isolerhandskmetoden	30
6.3.3	Barhandskmetoden	37
7	Arbete i ställverk och stationer	40
7.1	Arbete i kapslade ställverk för 12 och 24 kV	40
7.2	Arbete i luftisolerade stationer för 52, 72,5 och 145 kV	43
7.2.1	Arbete utan spänning	43
7.2.2	Arbete nära spänning	51
7.2.3	Arbete med spänning – isolerstångsmetoden	52
8	Förstärkning av det elektriska fältet invid jordade strukturer	54
9	Arbete nära kablar	57
10	Sammanfattning och riktlinjer för arbete i elektriska och magnetiska fält	64
10.1	Riktlinjer för arbete på luftledning	65
10.2	Riktlinjer för arbete i stationer och ställverk	66
10.3	Förstärkning av det elektriska fältet invid jordade strukturer	66
10.4	Riktlinjer för arbete på Kablar	66
10.5	Översikt av bedömda arbetsuppgifter	67
11	Referenser	70

1 Inledning

Den 1 juli 2016 trädde en ny föreskrift från Arbetsmiljöverket i kraft. Den är till sitt tekniska innehåll identisk med det EU direktiv som publicerades i juni 2013 och reglerar arbetstagares exponering för elektriska och magnetiska fält.

Direktiv och föreskrift omfattar hela frekvensområdet från 0 Hz upp till 300 GHz och får därigenom inverkan inte bara på elbranschen utan även på delar av bl a stål- och verkstadsindustrin. I denna rapport behandlas den påverkan som föreskriften får på arbetet inom svenska distributions- och regionnät och med fokus på lågfrekventa fält, företrädesvis med frekvensen 50 Hz.

Frågan om och hur lågfrekventa elektriska och magnetiska fält påverkar människan har studerats mer omfattande sedan mitten av 1960-talet och i Sverige sedan mitten av 70-talet. Det var troligen planeringen inför kommande 800 kV luftledningarna som motiverade denna tidiga svenska satsning på framförallt det elektriska fältets omedelbara verkningar. Efter ett antal år kom intresset sedan att riktas mot eventuella långtids-effekter av lågfrekventa magnetfält och de omedelbara effekterna blev mindre aktuella. 1998 publicerade den internationella strålskyddsorganisationen ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) riktlinjer för allmänhetens och arbetstagares exponering för EMF [1] och där nivåerna baserades på fältets omedelbara effekter på människan. ICNIRPs riktlinjer kom att ligga till grund för en rekommendation från EU rörande allmänhetens exponering [2] och för motsvarande föreskrift från det svenska Strålskyddsinstitutet [3] (numera Strålsäkerhetsmyndigheten). Riktlinjerna från 1998 kom också att utgöra en bas för det förslag till EU-direktiv avseende arbetstagares exponering som var avsett att träda i kraft 2004. Det visade sig emellertid att det fanns flera olösta frågor, inte minst inom den medicintekniska sidan, och införandet av det nya EU-direktivet sköts fram i tiden först till 2008 och sedan till 2013. Den 26 juni 2013 publiceras så det nya EU-direktivet avseende arbetstagares exponering för elektriska och magnetiska fält [4]. Dess tekniska innehåll skiljer sig markant från 2004 års utgåva och detta beror framförallt på att den senare utgåvan baseras till betydande del på de reviderade riktlinjer som ICNIRP publicerade 2010 [5]. Enligt direktivet skall motsvarande nationella föreskrifter ha trätt i kraft senast den 1 juli 2016. Sedan i maj månad finns också den svenska EMF-föreskriften från Arbetsmiljöverket tillgänglig [6] och möjlighet finns att implementera denna i det ordinarie arbetsmiljöarbetet. Den nya EMF-föreskriften gäller i princip samtliga verk-samheter där arbetstagare utför arbete för arbetsgivares räkning. Med arbetsgivare likställs även den som hyr in arbetskraft. För verksamhet kopplad till arbete med magnetisk resonanstomografi gäller vissa undantag från föreskriften och under vissa omständigheter kan även försvarsmakten tillämpa ett eget regelverk. Dessa verksamheter ligger dock utanför denna studie.

I följande avsnitt kommer den nya föreskriften att diskuteras. Betydelsen av insats- och gränsvärden kommer att förklaras och hur dessa kan kopplas till vanligt förekommande arbetsuppgifter inom distributions- och regionnät; 12–145 kV.

Avslutnings-vis ges några exempel på arbetsuppgifter inom dessa områden och vilken exponering för fält som dessa kan medföra.

2 Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2016:3

2.1 ALLMÄNT OM FÖRESKRIFTEN

Arbetsmiljöverkets föreskrift Elektromagnetiska fält 2016:3 [6] ger begränsningar för arbetstagares exponering för elektriska, magnetiska och elektromagnetiska fält inom frekvensområdet 0 Hz – 300 GHz. Denna rapport fokuserar på lågfrekventa fält, före-trädesvis med frekvensen 50 Hz. Inledningsvis är det också viktigt att påpeka att denna rapport på intet sätt ersätter föreskriften. Det är föreskriften som gäller och för tolkning av föreskriften rekommenderas att studera de s k icke bindande vägledningarna för tillämpning av direktivet (och därigenom föreskriften) som publicerats genom EU [7-9].

Syftet med föreskriften AFS 2016:3 är att skydda arbetstagare mot de hälso- och säkerhetsrisker som kan uppstå vid exponering för elektriska och magnetiska fält i arbetet. De gränsvärden som är fastställda har baserats på vetenskapligt fastställda samband mellan omedelbara och övergående effekter på människokroppen och exponering för fält. Eventuella långtidseffekter som cancer, Alzheimer sjukdom etc. av exponering för fält ingår inte och inte heller de risker som kan uppstå vid beröring av spänningssatta ledare.

2.2 GRÄNSVÄRDEN OCH INSATSNIVÅER

I direktivet och föreskriften talas om gränsvärden och insatsnivåer. Gränsvärdena är grundade på omedelbar påverkan på människans organ. De fenomen som här avses är övergående, d v s försvinner fältet så upphör även kroppens reaktion. Det finns gränsvärden för hälsoeffekter, som inom det lågfrekventa området avser påverkan på bl a det perifera nervsystemet (som styr våra muskler). Det finns även gränsvärden för sensoriska effekter, som skyddar mot påverkan på det centrala nervsystemet i hjärnan. Kroppsliga reaktioner är här bl a fosfener, som upplevs som ljusblixtar i ögats randzon. Dessa gränsvärden uttrycks båda som en elektrisk fältstyrka (mV/m) inne i kroppens organ. Det är nämligen så att både ett elektriskt och ett magnetiskt fält utanför människokroppen, ger upphov till ett elektriskt fält inne i kroppen. Valet av storhet kommer från att kroppens egna signaler via nervbanorna drivs fram av svaga elektriska fält och att en påverkan på detta inre fält antas kunna få övergående påverkan på kroppens funktioner.

Denna inre fältstyrka kan dock inte mätas, utan kan bara uppskattas genom omfattande beräkningar. Ordet *uppskattas* används här eftersom korrekta beräkningar förutsätter ett kunnande om människans inre som vi ännu inte riktigt har. För att få storheter som kan mätas utanför kroppen har de s k insatsnivåerna tagits fram, som för det magnetiska fältet (B) kan uttryckas i μT och för det elektriska fältet (E) i kV/m . Det ges två insatsnivåer – låg och hög. För B-fältet motsvarar låg nivå gränsvärdet för sensoriska effekter och hög nivå gränsvärdet för hälsoeffekter. Låg insatsnivå för E-fältet begränsar det inre elektriska fältet och s k gnisturladdningar begränsas. Vid upp till hög nivå på det yttre E-fältet överskrids fortsatt inte gränsvärdet för det inre elektriska fältet och besvärande

gnisturladdningar kan undvikas om man vidtar skydds-åtgärder som potentialutjämning.

Relationen mellan insatsnivåer och gränsvärden är konservativ. Detta innebär att om en exponering inte överskrider aktuell insatsnivå är det säkerställt att exponeringen inte överskrider gränsvärdet. Det är däremot så att exponering över insatsnivån inte nödvändigtvis innebär att gränsvärdet överskrids. I Tabell 1 redovisas aktuella gränsvärden. För en komplett tabell hänvisas till föreskriftens Bilaga 4 och Tabell 1.

Den inducerade fältstyrkan E_{ind} för hälsoeffekter skall ses ett toppvärde någonstans i kroppen på den exponerade personen och motsvarande för sensoriska effekter skall ses som toppvärdet i huvudet på den exponerade.

Tabell 1. AFS 2016:3. Gränsvärden. För sinusformade fält gäller att rms-värdet är lika med toppvärdet delat med $\sqrt{2}$. I tabellen ges värden för det aktuella lågfrekventa området och specifikt för 50 Hz.

Frekvens f (Hz)	Inre fältstyrka E_{ind} (V/m) toppvärde	Inre fältstyrka E_{ind} (mV/m) rms
Gränsvärde för hälsoeffekter		
$1 \leq f < 3\,000$	1,1	778
50	1,1	778
Gränsvärde för sensoriska effekter		
$25 \leq f \leq 3\,000$	$0,0028 \cdot f$	
50	0,140	99

Till dessa gränsvärden finns motsvarande insatsnivåer; för elektriska fält och för magnetiska fält (egentligen den magnetiska flödestätheten). För vart sådant område finns insatsnivåer för hälsoeffekter och motsvarande för sensoriska effekter. För magnetiska fält finns därtill en insatsnivå specifikt för exponering av extremiteterna. En översikt av gräns- och insatsvärden och deras koppling till en ökande risk visas i Figur 1.

Insatsnivåerna för elektriska fält (egentligen den elektriska fältstyrkan) framgår av Tabell 2. Dessa gäller i fri rymd, d v s utan närvaro av någon person. Vid mätning av den elektriska fältstyrkan på en arbetsplats skall man alltså mäta fältet där den som arbetar normalt vistas, men i hans eller hennes frånvaro. Detta kan synas märkligt men alla omräkningar från yttre fält till inre fältstyrka har utförts i ett sådant så kallat ostört fält. Insatsnivåerna motsvarar de maximala värdena där arbetstagarens kropp normalt kan befinna sig.

Vid ett elektriskt fält inte överstigande $E_{låg}$ begränsas den inre fältstyrkan och risken för smärtsamma gnisturladdningar är liten.

Vid ett elektriskt fält upp till $E_{hög}$ överskrids inte gränsvärdena och risken för smärt-samma gnisturladdningar kan begränsas med potentialutjämning. Vid arbete på ett jordat föremål i ett kraftigt elektriskt fält (t ex i ställverksmiljö) kan arbetstagaren koppla sig till jord med en enkel förbindning. Här skall man dock undvika kopplingar som inte enkelt kan brytas vid fall eller liknande. Man får inte skapa en ny farlig situation genom att försöka lösa en annan!

Tabell 2. AFS 2016:3. Insatsnivåer för elektriska fält.

I tabellen ges värden för det aktuella lågfrekventa området och specifikt för 50 Hz.

Frekvens f (Hz)	E_{lag} (V/m)	$E_{\text{hög}}$ (V/m)
$25 \leq f < 50$	$500\,000 / f$	20 000
50	10 000	20 000

Även för den magnetiska flödestätheten finns insatsnivåer, se Tabell 3. I detta fall motsvarar B_{lag} gränsvärdet B_{ind} för sensoriska effekter och $B_{\text{hög}}$ motsvarande för hälso-effekter. Med andra ord: vid exponering under B_{lag} överskrider inget gränsvärde. Vid exponering upp till $B_{\text{hög}}$ överskrider inte gränsvärdet för hälsoeffekter, men övergående effekter på hjärnan och synsystemet kan uppkomma, exempelvis magnetofosfener. Den högsta nivån B_{extr} gäller för exponering av extremiteterna, exempelvis händerna, och kan accepteras då påverkan på huvud och bål är begränsad.

Liksom för den elektriska fältstyrkan gäller att insatsnivåerna motsvarar de maximala värdena där arbetstagarens kropp kan befinna sig.

Tabell 3. AFS 2016:3. Insatsnivåer för magnetisk flödestäthet.

I tabellen ges värden för det aktuella lågfrekventa området och specifikt för 50 Hz.

Frekvens f (Hz)	B_{lag} (μT)	$B_{\text{hög}}$ (μT)	B_{extr} (μT)
$25 \leq f < 300$	1 000	$300\,000 / f$	$900\,000 / f$
50	1 000	6 000	18 000

För det låga frekvensområdet som kraftsystemet använder, finns en tredje storhet att ta hänsyn till; den *kontinuerliga* kontaktströmmen som flyter vid elektrisk kontakt mellan föremål av olika potential. Om man t ex tar i en bil som är parkerad i ett ställverk så kan en kontaktström flyta från den uppladdade bilen, via människokroppen till jord. Detta förutsätter att bilen som laddas upp av fältet har isolerande däck och att personen har kontakt med jord via den andra handen eller via skor med ledande sula. Teoretiskt behöver ingendera parten – bilen eller personen – vara jordad, men det ger då en lägre kontaktström. Vid kontakt med en större bil parkerad på en plats med hög fältstyrka i ett 400 kV ställverk, kan kontaktströmmen uppgå till ca 0,5 – 1 mA. Insatsnivån för kontaktström framgår av Tabell 4.

Tabell 4. AFS 2016:3. Insatsnivåer för kontaktström.

I tabellen ges värden för det aktuella lågfrekventa området och specifikt för 50 Hz.

Frekvens f (kHz)	$I_{\text{kontakt rms}}$ (mA)
$f < 2,5$	1,0
50	1,0

2.3 DET SYSTEMATISKA ARBETSMILJÖARBETET

Arbetsmiljöverkets föreskrift innehåller förutom insatsnivåer och gränsvärden även anvisningar för vad arbetsgivaren skall göra i olika situationer och detta skiljer sig inte så mycket från vad som gäller för andra fysikaliska

arbetsmiljöfaktorer som buller och vibrationer. Frågan om elektriska och magnetiska fält skall ingå som en del i det systematiska arbetsmiljöarbetet. Enligt § 14 i föreskriften ska arbetsgivaren *”bedöma alla de risker, såväl direkta som indirekta som uppstår på grund av elektromagnetiska fält på arbetsplatsen och, om nödvändigt ska arbetsgivaren mäta eller beräkna nivåerna på de elektromagnetiska fält som arbetstagarna exponeras för. Resultatet av riskbedömningen kan ingå och vara en del i den riskbedömning som skall göras enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter om systematiskt arbetsmiljöarbete.”* Se även AFS 2001:1 [10]. Detta skall planeras och ske i samverkan mellan arbetsgivare och arbetstagare eller skyddsombud (32 §).

Arbetsgivaren skall identifiera och bedöma förekommande fält på arbetsplatsen (15 §). Detta skall göras med stöd av EU:s utgivna riktlinjer [7-9], standarder och annan vägledning. Om inte lämplig information finns att tillgå får bedömningen baseras på beräkningar och/eller mätningar (16 §).

Det skall säkerställas att exponeringen inte överskrider givna gränsvärden (10 §). Detta anses gälla då exponeringen inte överskrider givna insatsnivåer (11 §). Om exponeringen överskrider en viss insatsnivå, skall arbetsgivaren visa att motsvarande gräns-värde inte överskrids (11 §).

Föreskriften medger dock att insatsnivåer och gränsvärden får överskridas i vissa fall:

Den låga insatsnivån för elektriska fält (10 kV/m) får överskridas förutsatt att gränsvärdet för sensoriska effekter inte överskrids, eller att gränsvärdet för hälsoeffekter inte överskrids (12 §). Alltför kraftig gnisturladdning skall förebyggas genom jordning eller potentialförbindning (27 §) och arbetstagarna skall få information om övergående effekter på det centrala eller det perifera nervsystemet (31 §).

Den låga insatsnivån för magnetisk flödestäthet (1000 μ T) får överskridas om inte gränsvärdet för sensoriska effekter överskrids annat än tillfälligt och om inte gräns-värdet för hälsoeffekter överskrids (12 §). Arbetstagarna skall få information om övergående effekter på det centrala och det perifera nervsystemet (31 §). Förekommer sådana övergående effekter skall arbetsgivaren uppdatera riskbedömningen (30 §).

Exponeringen för ett elektriskt eller ett magnetiskt fält får överskrida gränsvärdet för sensoriska effekter (99 mV/m) om detta endast sker tillfälligt och gränsvärdet för hälso-effekter inte överskrids (13 §). Förekommer det effekter på det centrala nervsystemet skall riskbedömningen uppdateras (30 §) och arbetstagarna informeras om dessa övergående effekter (31 §).

Av 18 § framgår hur en riskbedömning skall göras och vad som särskilt skall beaktas. Bl a skall särskild hänsyn tas till arbetstagare som är särskilt utsatta och då i synnerhet arbetstagare med aktiva (ex vis pacemaker eller insulinpumpar) eller med passiva implantat (ex vis konstgjorda leder av metall och skruvar av metall) eller som är gravida.

Visar riskbedömningen att exponeringen överskrider insatsvärdena skall detta markeras med skyltar och tillträdet begränsas på lämpligt sätt (26 §). Är tillträdet

till arbetsplatsen redan begränsat genom staket eller dylikt, räcker det med att arbets-tagarna informeras om aktuella risker.

Om riskbedömningen visar att insatsnivåerna överskrids och det inte samtidigt kan visas att motsvarande gränsvärden inte överskrids, skall arbetsgivaren ta fram en handlingsplan för att begränsa exponeringen (23 §). Handlingsplanen skall i första hand anvisa alternativa arbetsmetoder och i sista hand lämplig personlig skydds-utrustning.

I 33 § talas om hälsoundersökning. Arbetsgivaren skall se till att den som exponerats över gränsvärdet eller om oönskad eller oväntad hälsoeffekt rapporterats, får genomgå en hälsoundersökning med syfte att upptäcka eventuella negativa effekter. För särskilt utsatta personer kan hälsoundersökning motiveras även vid exponering understigande gränsvärdet.

2.4 UTBILDNING AV ARBETSTAGARE

I föreskriften ingår information till och utbildning av arbetstagare som en del av arbets-givarens riskbedömning. Arbetsgivaren skall se till att de arbetstagare som sannolikt kan komma att utsättas för risker orsakade av elektromagnetiska fält på arbetsplatsen, får ta del av riskbedömningen och att de ges nödvändig information och utbildning om dess innehåll (31 §). I paragrafen listas vad utbildningen skall innehålla; bl a skall det ingå information om:

- Gränsvärden, insatsnivåer och risker vid sådan exponering.
- Resultatet av bedömningen, beräkningen eller mätningen.
- Hur negativa hälsoeffekter upptäcks och vilka övergående symtom som är förknippade med exponering.
- Rätten till läkarundersökning.
- Säkra arbetsrutiner.
- Arbetstagare som är särskilt utsatta.

Föreskriften säger inget om utbildningens varaktighet i timmar, det sägs heller inget om utbildningens form eller av vilken institution en sådan får ges, utan det lämnas åt arbetsgivaren att ge en för sina arbetstagare lämplig information eller utbildning. Det torde därför vara högst önskvärt om elkraftbranschen kunde ta fram och enas om en sådan anpassad utbildning.

2.5 KOMMENTARER TILL FÖRESKRIFTEN

Föreskriften är i många stycken svårläst och inte helt lätt att förstå för den som inte är insatt i ämnet. Det rekommenderas därför att börja med att läsa de s k icke bindande vägledningar som givits ut av EU [7-9]. I synnerhet den första volymen [7] ger en god introduktion till ämnet.

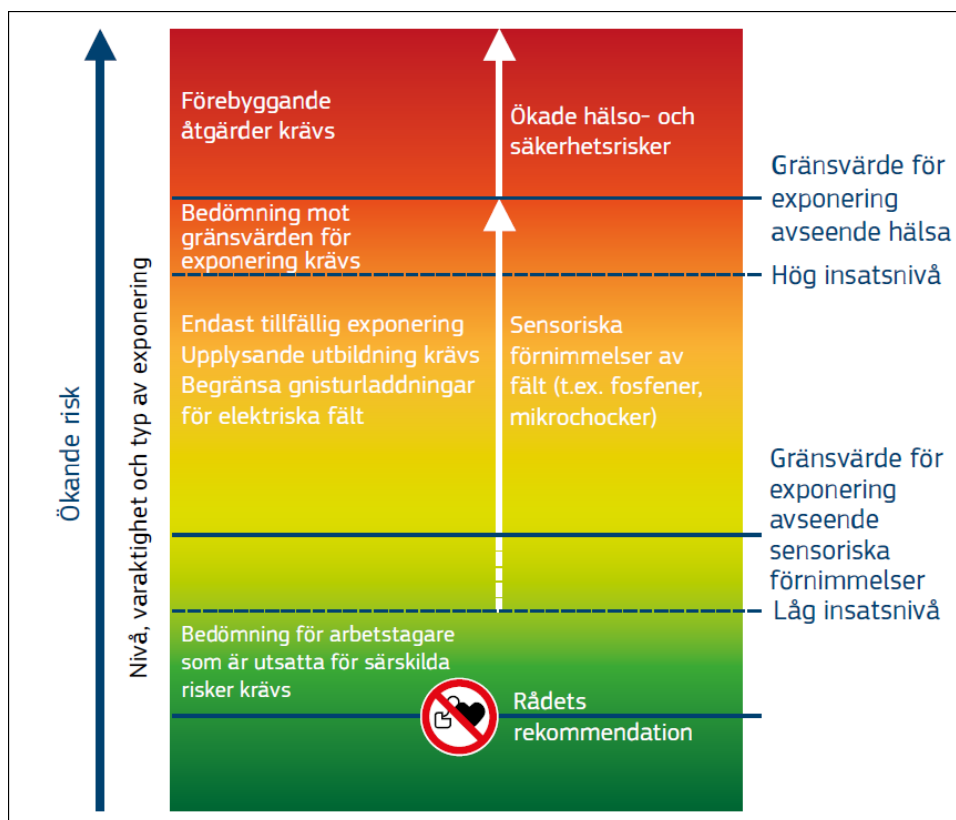
Svårigheter återfinns inom flera områden: Först det faktum att våra sinnesorgan knappt förmår uppfatta fält av rimlig styrka. När det gäller elektriska fält förmår flertalet känna dess inverkan på hårstrån på huvud och armar vid ca 10 kV/m. Det magnetiska fältet märker vi inte av förrän det nått betydande styrka, kanske över ett par mT.

Sedan denna uppdelning i gränsvärden som är icke mätbara storheter inne i människo-kroppen och insatsvärden som är mätbara storheter utanför kroppen. Därtill kommer att relationen mellan gränsvärden och insatsvärden är oklar och fortfarande föremål för utredning av internationella forskare.

En mer pedagogisk svårighet att förklara är varför mätningar skall göras i arbetstagarens frånvaro. Det kan förvisso förklaras med att de dosimetriska beräkningarna görs på detta sätt, men har ändå visat sig svårt att förklara för den i ämnet oinvigde.

Uppdelningen i sensoriska effekter och hälsoeffekter är en ytterligare komplicerande faktor som kräver tid att förklara. Pedagogiskt svårt är också att förklara varför sensoriska effekter kan accepteras i vissa fall.

Tillsammans gör allt detta att den information och utbildning som nämns i avsnitt 2.4 blir omfattande och måste få ta tid. Lämpligen kan man här göra en uppdelning av de som skall utbildas, så att skyddsombud och personer som planerar arbetet och genomför riskbedömningar får en mer utförlig information, medan övriga kan ges en mer begränsad variant. Erfarenheten så här långt visar att även personal med god teoretisk utbildning och kunskap om elsäkerhet och arbete i högspänningsmiljö behöver ett par timmars information för att få en rimlig introduktion till ämnet. För de personer som självständigt skall ta fram riskbedömningar för arbete i denna miljö, eventuellt med beräkningar och/eller mätningar, krävs troligtvis betydligt längre tid. En hel dag kan säkert då vara mera lämpligt.



Figur 1. Schematisk bild av sambandet mellan gränsvärden och insatsnivåer. Återgiven från Icke-bindande vägledning till god praxis vid tillämpningen av direktiv 2013/35/EU. Elektromagnetiska fält. Volym 1: Praktisk vägledning [7].

3 Exponering över insatsnivåerna

Det kan i vissa fall bli aktuellt att bedöma en exponering som överstiger insatsnivåerna men inte gränsvärdena. Arbetsmiljöverkets föreskrift medger detta enligt 11 § - 13 §, men lämnar ingen direkt vägledning hur denna bedömning skall göras annat än att arbetsgivaren skall visa i sin riskbedömning att aktuella gränsvärden inte överskrids. För denna exponeringsbedömning gäller enligt 16 § att man särskilt skall beakta den osäkerhet som finns vid denna typ av beräkningar och därmed göra en konservativ exponeringsbedömning. Viss ledning för denna bedömning ges i avsnitt D.1.3 i volym 1 av den icke-bindande vägledningen som tagits fram av EU [7].

Tydligare anvisningar för hur en exponering över insatsnivåerna kan motiveras och hanteras ges i ett dokument med titeln "Guide for implementing Directive 2013/35/EU on electromagnetic fields" [11]. Dokumentet har tagits fram av ENTSO-E (European Transmission System Operators) och kan fritt laddas ner från www.entsoe.eu. Det avser huvudsakligen högre spänningsnivåer än vad som denna rapport behandlar, men då de grundläggande principerna är desamma är dokumentet ändå mycket användbart.

I ENTSO-E guiden använder man begreppet Exposure Limit Equivalent Field förkortat LEF i beskrivningen av fält över insatsnivåerna. LEF är den lägsta nivån på ett yttre homogent fält som enligt samlad vetenskaplig litteratur ger en elektrisk fältstyrka inne i människokroppen motsvarande gränsvärdet. Detta innebär att det finns LEF-nivåer motsvarande för elektriska och för magnetiska fält och motsvarande gränsvärdet för sensoriska effekter och motsvarande för hälsoeffekter. Totalt ger detta fyra olika LEF för de typer av exponering som denna rapport berör. Begreppet LEF kommer från en blivande standard från CENELEC med beteckningen PrEN 50647, som kan förväntas utkomma under 2017 [12]. I ENTSO-E guiden rekommenderas läsaren att använda de LEF som anges i standarden EN 50647 eller möjligen att använda de intervall som anges i 2010 års utgåva i de riktlinjer för exponering som utgivits av ICNIRP [5]. Intervall används här för att ta hänsyn till den osäkerhet som finns i de olika beräkningsmodellerna, bl a vad det gäller kroppsform och vävnaders konduktivitet. För användaren är naturligtvis ett värde att föredra framför ett brett intervall, som annars lätt leder till osäkerhet.

Tabell 5. LEF enligt prEN 50647 och exponeringsintervall enligt ICNIRP Guidelines 2010 [5].

Typ av fält (50 Hz fält)	Exponeringsnivån ger skydd mot	LEF enligt prEN 50647	Exponeringsintervall enligt ICNIRP Guidelines 2010
Magnetiskt fält	Sensoriska effekter	2 mT	3 – 4,3 mT
Magnetiskt fält	Hälsoeffekter	7 mT	12 – 39 mT
Elektriskt fält	Sensoriska effekter	35 kV/m	38 – 58 kV/m
Elektriskt fält	Hälsoeffekter	35 kV/m	24 – 64 kV/m

Tabell 5 visar på en betydande skillnad mellan EN-standarderna och ICNIRPs riktlinjer. Detta kan delvis förklaras med att standarderna tar hänsyn till beräkningar utförda efter 2010, då ICNIRP publicerade sina riktlinjer och med att man i standarderna bättre tar hänsyn till den felmarginal som finns i denna typ av beräkningar.

För beräkning av LEF hänvisar man i standarderna till en artikel publicerad i juni 2016 av Isabelle Magne och François Deschamps [13], den förra från EDF (Électricité de France) och den senare från likaledes franska RTE (Réseau de Transport d'Electricité). I artikeln redovisar man en översikt av ett stort antal beräkningar av den inre fältstyrkan orsakade av ett yttre fält. Det är beräkningar som har utförts av olika personer med olika matematiska beräkningsmetoder, med modeller med olika kroppsform och med modeller där de inre organen givits olika ledningsförmåga. Därtill har beräkningsresultaten behandlats på varierande sätt. Detta har gett möjlighet att studera hur exempelvis den inre elektriska fältstyrkan i det centrala nervsystemet (i hjärnan) beror av ett yttre magnetfält och hur denna kan variera beroende på olika beräknings-förutsättningar. De olika osäkerhetskällorna har vägts samman och resultatet av detta har blivit en felmarginal som skall adderas till något som får antas vara den idag mest korrekta uppgiften, giltiga för den sk referensmodellen.

Referensmodellen är här den anatomiska modellen Maxwell, som har både en yttre kroppsform och vikt och storlek hos de inre organen som stämmer bäst överens med den manliga sk ICRP-modellen. (ICRP - International Commission on Radiological Protection - har tagit fram anatomiska modeller av en vuxen man och en vuxen kvinna – de sk ICRP-modellerna att användas vid framförallt studier av effekter av inre och yttre strålningskällor.) Beräkningarna med Maxwell publicerades av R. P. Findlay under 2013 [14] och 2014 [15].

I artikeln av Magne och Deschamps [13] ges en översikt av beräkningsresultatet med Maxwell och med den felmarginal som skall adderas. Detta ger möjlighet att beräkna LEF-värden för magnetiskt och elektriskt fält med hänsyn till det centrala (sensoriska effekter) och till det perifera nervsystemet (hälsoeffekter). För det centrala nervsystemet studeras påverkan på hjärnans sk grå och vita substans och för det perifera nerv-systemet studeras påverkan på huden, där det perifera nervsystemet slutar.

De uppgifter från beräkningarna med Maxwell som redovisas i artikeln återges nedan i Tabell 6. Med fet stil visas de värden som använts vid beräkning av LEF. Vidare i Tabell 7 och Tabell 8 visas fortsättningen av beräkningen med felmarginal, beräknad inre fältstyrka och beräknade LEF. Dessa beräknade värden för LEF har dock en svaghet då basvärdet bygger enbart på den manliga modellen Maxwell, ingen hänsyn har här tagits till kvinnans anatomi. Denna begränsning beror på att det bara finns ett fåtal beräkningar med kvinnliga modeller och bara en mycket begränsad parameterstudie.

Det är framförallt beräkningar med modellen NAOMI publicerade av Peter Dimbylow 2005 [16], som kan användas för att jämföra "manliga och kvinnliga värden". Beräknade värden för NAOMI visas i Tabell 9 och det framgår där att det är framförallt värdet för huden på 33,1 mV/m per kV/m som avviker jämfört med

motsvarande för Maxwell på 14,8 mV/m per kV/m. Det är oklart vad denna stora skillnad beror på och ävenså var på kroppen som detta uppträder, men i brist på annan information finns det skäl att ta hänsyn till denna uppgift. I detta fall finns bara ett värde att tillgå, ingen information finns om vad som händer med annan kroppsform etc., varför värdet får användas utan någon tillkommande felmarginal. Beräknade värden på LEF, med hänsyn till data från NAOMI, visas i Tabell 10 och det är E-fält värdet på 24 kV/m som kommer från beräkningar med NAOMI.

Tabell 6. Beräknad inre fältstyrka för modellen Maxwell, enligt [13]. Fet stil visar värden som används vid beräkning av LEF.

Exponeringsfall Yttre fält 50 Hz	Beräknad inre fältstyrka i mV/m, uttryckt som 99:e percentil			Referens till tabell i [13]	
	Avser sensoriska effekter			Avser hälso- effekter	
	Hjärnan, grå substans	Hjärnan, vit substans	Näthinnan	Huden	
1 mT, bröst-rygg	26,3	27,2	8,7	78,9	Tabell 3
1 mT, sida-sida	34,5	33,9	17,7	42,2	Tabell 5
1 mT, huvud-fot	26,3	19,1	6,9	41,9	Tabell 7
1 kV/m, huvud-fot. Fötterna jordade	1,9	1,0	0,6	14,8	Tabell 9

Tabell 7. Beräknade LEF för det centrala nervsystemet, för skydd mot sensoriska effekter. Uppgifter baserade på [13].

Yttre fält	Beräknad inre fältstyrka (mV/m)	Beräknad felmarginal enligt [13]	Beräknad inre fält- styrka inkl felmarginal (mV/m)	Beräknat LEF för det centrala nervsystemet	Beräknat LEF för det centrala nervsystemet, avrundat
Magnetiskt 1 mT, 50 Hz	34,5	36,7 %	47,2	2,12 mT	2 mT
Elektriskt 1 kV/m, 50 Hz	1,9	49,6 %	2,8	35,2 kV/m	35 kV/m

Tabell 8. Beräknade LEF för det perifera nervsystemet, för skydd mot hälsoeffekter. Uppgifter baserade på [13].

Yttre fält	Beräknad inre fältstyrka (mV/m)	Beräknad felmarginal enligt [13]	Beräknad inre fält- styrka inkl felmarginal (mV/m)	Beräknat LEF för det perifera nervsystemet	Beräknat LEF för det perifera nervsystemet, avrundat
Magnetiskt 1 mT, 50 Hz	78,9	38 %	109	7,3 mT	7 mT
Elektriskt 1 kV/m, 50 Hz	14,8	44,4 %	22	36,4 kV/m	35 kV/m

Tabell 9. Beräknad inre fältstyrka för NAOMI. Data från [16].

Exponeringsfall 50 Hz	Beräknad inre fältstyrka i mV/m, uttryckt som 99:e percentil					Referens till tabell i [16]
	Hjärnan, grå substans	Hjärnan, vit substans	Hjärnan	Näthinnan	Huden	
1 mT, bröst-rygg			25,7	6,98		Tabell 6
1 mT, sida-sida	30,2	31,4		13,5	36	Tabell 5
1 mT, huvud-fot			25,1	6,9		Tabell 6
1 kV/m, huvud- fot. Fötterna jordade	1,62	2,02		0,552	33,1	Tabell 5

Tabell 10. Beräknade LEF för det perifera nervsystemet, för skydd mot hälsoeffekter. Uppgifter baserade på [13] och på modellen NAOMI enligt [16].

Yttre fält	Beräknad inre fältstyrka (mV/m)	Beräknad felmarginal enligt [13]	Beräknad inre fält- styrka inkl felmarginal (mV/m)	Beräknat LEF för det perifera nervsystemet	Beräknat LEF för det perifera nervsystemet, avrundat
Magnetiskt 1 mT, 50 Hz	78,9	38 %	109	7,3 mT	7 mT
Elektriskt fält 1 kV/m, 50 Hz	33,1		33,1	24,2 kV/m	24 kV/m

De ovan redovisade värdena på LEF är alla beräknade under förutsättning att hela människokroppen exponeras för ett homogent fält. Vid flertalet exponeringsfall är dock exponeringen mer eller mindre inhomogen, varför dessa värden är konservativt beräknade. För det magnetiska fältet finns en öppning för höga lokala fält då det ges en särskild insatsnivå på 18 mT för exponering av extremiteterna (händer och fötter). Något sådant undantag för lokala elektriska fält finns inte angiven i föreskriften [5], men medges enligt § 11 om arbetsgivaren kan visa att motsvarande gränsvärde inte överskrids och att säkerhetsrisker kan uteslutas.

Beräkningar med inhomogena elektriska fält är komplicerade, men sådana har genomförts av Yngve Hamnerius och Tomas Nilsson vid Chalmers Tekniska Högskola på uppdrag av Svenska kraftnät [17]. Beräkningarna visar att det lokala elektriska fältet vid händerna och underarmarna kan uppgå till 50 kV/m utan att gränsvärdet för hälsoeffekter överskrids. Är fältet mycket lokalt kan ännu högre fältstyrkor accepteras.

4 Riktlinjer för exponering - sammandrag

Den informationen om olika exponeringsgränser som ges i Arbetsmiljöverkets före-skrift [6], i ENTSO-E Guiden [11] med stöd av den kommande standarden EN 50647 [12], i den analys av tidigare beräkningar som gjorts av Magne och Deschamps [13] samt i den fördjupade riskanalys som Svenska kraftnät sammanställt [17] kan sammanfattas på det sätt som visas i Tabell 11 för magnetiskt fält och Tabell 12 för elektriskt fält.

Generellt gäller att arbetsgivaren ska genomföra en riskanalys om exponeringen överskrider insatsnivåerna och det skall då visas att exponeringen inte överskrider respektive gränsvärde. Riskanalysen skall dokumenteras och detta gäller även om resultatet är positivt; om det kan visas att exponeringen är låg. Arbetstagarna skall informeras om resultatet av riskanalysen, om betydelsen av insats- och gränsvärden och om effekter av exponeringen och hur dessa kan undvikas. Arbetsgivaren skall vidare informera om säkra arbetsrutiner för att minska exponeringen och om rätten till hälso-undersökning i de fall då oväntad eller oönskad hälsoeffekt inträffat. Arbetstagare som är särskilt utsatta, som gravida och personer med pacemaker etc., skall ges en högre skyddsnivå. Vid exponering för elektriska fält över insatsnivå låg skall åtgärder som potentialutjämning vidtas för att minska alltför kraftiga gnisturladdningar.

Tabell 11. Riktlinjer för exponering för magnetisk flödestäthet.

Beteckning	Typ av fält	Skyddar mot	Begränsningen avser	Nivå	Referens
Insatsnivå för extremiteter	Inhomogent fält	Hälsoeffekter	Enbart händer och fötter	18 000 μT	6
LEF (Exposure Limit Equivalent Field)	Homogent fält	Hälsoeffekter	Högsta värde någonstans i kroppen	7 000 μT	12, 13
Insatsnivå hög, homogent fält	Homogent fält	Hälsoeffekter	Högsta värde någonstans i kroppen	6 000 μT	6
LEF (Exposure Limit Equivalent Field)	Homogent fält	Sensoriska effekter	Högsta värde i huvudet	2 000 μT	12, 13
Insatsnivå låg, homogent fält	Homogent fält	Sensoriska effekter	Högsta värde i huvudet	1 000 μT	6



Figur 2. Mätning av magnetfält längs det ena benet i en stolpe för 130 kV.

Tabell 12. Riktlinjer för exponering för elektrisk fältstyrka.

Beteckning	Typ av fält	Skyddar mot	Begränsningen avser	Nivå	Referens
Insatsnivå för extremiteter	Inhomogent fält	Hälsoeffekter	Enbart händer och underarmar	50 kV/m	17
LEF (Exposure Limit Equivalent Field)	Homogent fält	Hälsoeffekter	Högsta värde någonstans i kroppen	24 kV/m	16, 17
Insatsnivå hög, homogent fält	Homogent fält	Hälsoeffekter	Högsta värde någonstans i kroppen	20 kV/m	6
LEF (Exposure Limit Equivalent Field)	Homogent fält	Sensoriska effekter	Högsta värde i huvudet	35 kV/m	12, 13
Insatsnivå låg, homogent fält	Homogent fält	Sensoriska effekter	Högsta värde i huvudet	10 kV/m	6

5 Arbete i höga elektriska och magnetiska fält

Vid arbete i förhöjda elektriska och magnetiska fält skall arbetsgivaren göra en risk-bedömning och som en del i denna bedöma fältens storlek. Detta kan göras genom beräkning och/eller mätning. I vissa fall räcker en enkel bedömning av fältens storlek för att avgöra om insatsvärden passerats och vilka åtgärder som måste vidtas. I detta och kommande avsnitt ges vägledning för hur exponeringen skall bedömas i några vanliga arbetssituationer, som arbete på luftledningar, i ställverk och i stationer och i närheten av kablar. Vid arbete på oisolerade ledningar måste hänsyn tas till både det elektriska och det magnetiska fältet. Vid arbete på kablar är det endast det magnetiska fältet som behöver bedömas, då kablarnas jordade skärm effektivt avskärmar det elektriska fältet. Samtidigt innebär detta att man kan arbeta nära kablar och magnetfältsexponeringen kan därmed bli påtaglig.

Genomgående gäller att bedömningen av det magnetiska fältet baserats på en strömnivå som har valts så att den endast i undantagsfall bör överskridas och magnetfältbedömningen bör därmed i de flesta fall bli konservativ. Med hänsyn till den verkliga nivån på strömmen kan den t o m i något fall bli så konservativ att ett visst arbetsmoment förhindras. I sådana fall bör bedömningen göras om med en mer korrekt nivå på strömmen. Även bedömningen m a p elektrisk fältstyrka kan ibland vara onödigt konservativ då den baserats på de standardiserade avstånd som finns för respektive spänningsnivå [18]. Om man i praktiken använder längre avstånd kan beräkningarna behöva anpassas till detta för att inte onödigtvis försvåra arbetet.

Bedömningen av det elektriska fältet bygger på spänningsnivå. Normalt varierar denna inte lika kraftigt i en anläggning som strömmen, och konstruktionsspänningen kan därför anses vara representativ generellt.

5.1 ARBETSMETODER

Vid arbete på vanlig oisolerad luftledning måste hänsyn tas till både det elektriska och det magnetiska fältet. Därtill måste hänsyn tas till gränserna för risk- och närområdena, som i sin tur bestäms av spänningens nivå. Arbete innanför riskområdets yttre gräns är per definition s k Arbete Med Spänning (AMS) och arbete innanför närområdets yttre gräns betecknas Arbete Nära Spänning (ANS).

Byggnadsarbete av ledningar och stationer och merparten av allt underhållsarbete utförs utanför närområdets yttre gräns; som arbete utan spänning. Något arbete kan utföras som arbete nära spänning och ett mindre antal väl definierade arbetsuppgifter utförs som arbete med spänning. För den senare gruppen krävs särskild utbildning. Avståndsgränserna för risk- och närområde ges i den svenska standarden SS-EN 50 110-1, utg 3: 2013 "Skötsel av elektriska anläggningar - Del 1: Allmänna fordringar"[18] och visas här i Tabell 13. Enligt denna SS-EN standard finns tre olika arbetsmetoder vid arbete med spänning.

Generellt gäller att innan något arbete påbörjas ska en lämplig riskhantering genomföras och nödvändiga skyddsåtgärder vidtas. Observera att denna alltid

skall göras, även om inte arbetet medför någon risk orsakad av exponering för elektriska eller magnetiska fält.

Arbete utan spänning är arbete utanför närområdets yttre gräns.

Arbete nära spänning är allt arbete där en arbetare befinner sig inom närområdet eller når detta med kroppsdel eller med verktyg, utrustning eller anordning, dock utan att nå riskområdet.

Arbete med spänning är allt arbete vid vilken arbetaren antingen berör spänningssatta delar eller är inom eller når riskområdet med kroppsdel eller verktyg. Arbete med spänning kan utföras enligt:

- Isolerstångsmetoden
- Isolerhandskmetoden
- Barhandsmetoden

Tabell 13. Riktvärden för avstånden D_L och D_V . Efter Tabell A.1 i SS-EN 50 110-1 [18]. Avstånd för 12, 24, 52, 72,5 och 145 kV är interpolerade och är i tabellen markerade med kursiv stil.

Nominell systemspänning U_N kV	Minsta godtagbara avstånd i luft till riskområdets yttre gräns D_L mm	Minsta godtagbara avstånd i luft till närområdets yttre gräns D_V mm
10	120	1150
12	140	1160
15	160	1160
20	220	1220
24	260	1260
30	320	1320
36	380	1380
45	480	1480
52	550	1550
60	630	1630
70	750	1750
72,5	800	1800
110	1000	2000
132	1100	3000
145	1200	3000
150	1200	3000

6 Arbete på luftledning

6.1 ARBETE UTAN SPÄNNING

Vid arbete utan spänning utförs arbetet på ett avstånd som överstiger den yttre gränsen för närområdet och exponeringen för B- och E-fält blir vanligtvis så låg att ingen fortsatt utredning krävs. De två exempel som ges i Tabell 14 får illustrera detta. De är beräknade med typiska geometrier för 24 och 145 kV luftledningar och den valda strömmen är en vanlig konstruktionsnivå. Beräkningarna av B-fält har utförts med programmet EMF-7 Magnetic Field (3-D) utvecklat av EPRI och beräkningarna av E-fält med det likaledes analytiska EPRI-programmet EMF-4 Electric Field of Transmission Lines (3-D). De båda programmen ingår i ett programbibliotek som medföljer "EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200 kV and Above" [19].



Figur 3. Äldre ledning för 130 kV med schematiska linjer för E-fältet i rött och med svarta linjer för fältberäkning längs stolpen (V) och i nivå med faslinorna (H).

Tabell 14. Arbete utan spänning. B- och E-fält beräknat i området runt faslinorna. Spridningen hos de beräknade fältnivåerna beror på att fältet är osymmetriskt runt fasledarna. För både 24 och 145 kV är faslinan enkel (simplex), med 20 mm diameter för 24 kV och 39 mm för 145 kV. Fältlinjerna för E-fältet visas schematiskt i Figur 3.

Nominell systemspänning (kV)	24	145	24	145
	Bedömning för B-fält		Bedömning för E-fält	
Avstånd till när-områdets yttre gräns	1,26 m	3,0 m	1,26 m	3,0 m
Spänning fas-jord			14 kV	84 kV
Ström i faslina	630 A	1600 A		
Beräknat B-fält vid närområdets yttre gräns	55 - 80 μ T	75 - 225 μ T		
Beräknat E-fält vid närområdets yttre gräns			1,2 - 1,7 kV/m	2,4 - 4,4 kV/m
Insatsnivå låg	1 000 μ T		10 kV/m	

Då nivåerna för B- och E-fält är betydligt under de lägre insatsnivåerna på 1 000 μ T respektive 10 kV/m krävs ingen ytterligare utredning.

6.2 ARBETE NÄRA SPÄNNING

Arbete nära spänning bedrivs innanför närområdets yttre gräns men utanför riskområdet. Här är fältnivåerna högre och det krävs en mer omsorgsfull bedömning men samma typ av översikt kan användas som för arbete utan spänning, se Tabell 15.

Vid arbetsområdets inre gräns mot riskområdet; vid 0,26 respektive vid 1,2 m, är fält-bilden inte särskilt påverkad av stolpar eller regler och fältet kan här beräknas utan hänsyn till dessa. Här ligger beräknade B-fältnivåer under den lägre insatsnivån medan E-fältet är påtagligt högre, mellan låg och hög insatsnivå. De höga E-fältsnivåerna fås i utrymmet mellan faslinorna, där fältet tydligt påverkas av de två faserna. Se även Figur 4.

Närmare arbetsområdet yttre gräns, mot gränsen för närområdet, är magnetfältsnivåerna låga och motiverar ingen fortsatt utredning. Det elektriska fältet, däremot, påverkas här av stolparna och fältförstärkningen invid stolpbenet på 145 kV ledningen kan bli i storleksordningen 50 - 100 %. Detta kan visas genom att jämföra beräknat E-fält för ledningen med och utan stolpe. Se Figur 4 där E-fältet beräknats dels längs en vertikal linje 17 cm utanför stolpbenet och dels för en horisontell linje i nivå med faslinorna. I exemplet är stolpbenen och regeln jordade och återgivna som ledande cylindrar. Detta är ett ytterlighetsfall, men en regnvåt trästolpe är i det närmaste att betrakta som jordad, därtill kan ibland regeln vara jordad med en nedledare som löper längs ena stolpbenet. Den högsta beräknade fältstyrkan ca 20 cm utanför stolpbenet blir ca 21 kV/m och detta i nivå med faslinorna. Denna nivå på E-fältet har också bekräftats genom mätning längs ett stolpben till en 130 kV ledning, se Figur 5 [20]. Närmare stolpen visar den nedre grafen i Figur 4 att E-fältet ökar mycket kraftigt men då beräkningen blir osäker nära det jordade stolpbenet, måste värden mellan ca 1,8 och 2,2 m tas med en viss

försiktighet. Klart är dock att E-fältet överstiger insatsnivå hög - 20 kV/m - inom ett område längs stolpbenet där bälten hamnar vid klättring upp i stolpen.

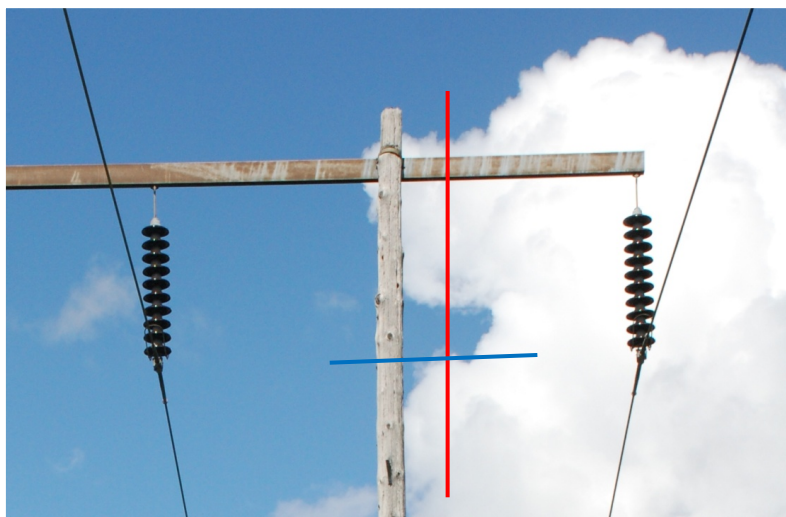
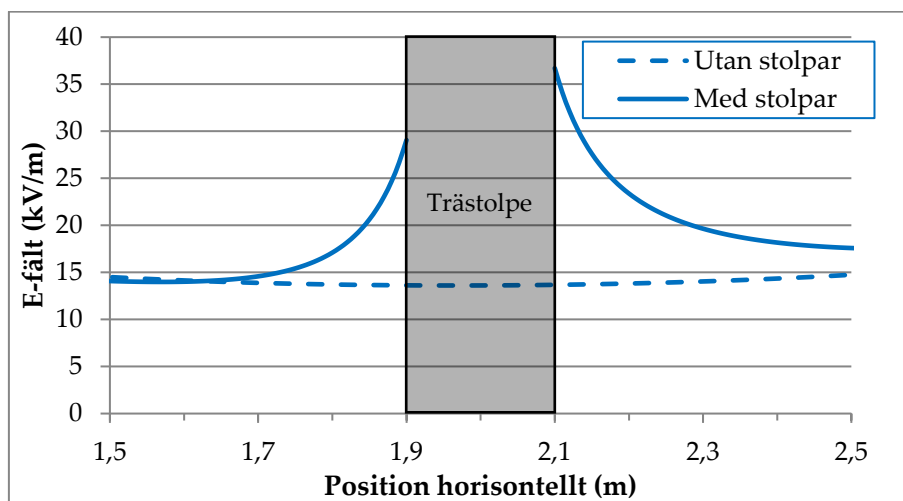
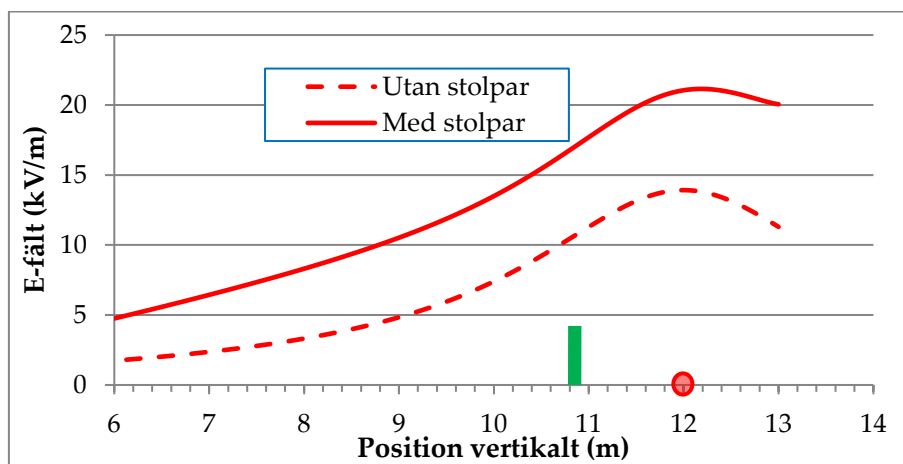
Beräkningen av E-fältet visar att klättring i en stolpe för 130/145 kV är förenat med en viss risk och där faktorer som fukt och jordlinor spelar en stor roll. Om möjligt bör man därför använda lift vid arbete på sådana ledningar.

Tabell 15. B- och E-fält vid arbete nära spänning. Spridningen hos de beräknade fältnivåerna beror på att fältet är osymmetriskt runt fasledarna. Faslinan är genomgående enkel (simplex), med 20 mm diameter för 24 kV och 39 mm för 72,5 och 145 kV.

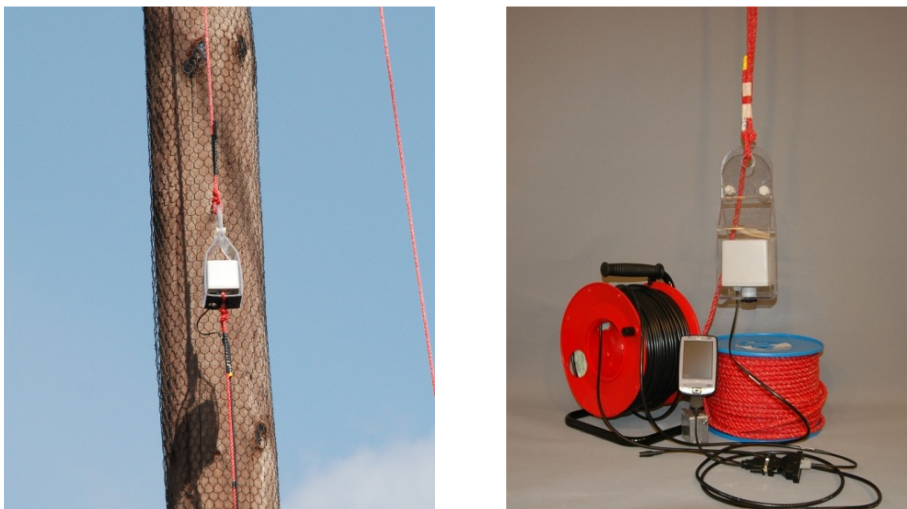
Nominell systemspänning (kV)	24	145	24	72,5	145
	Bedömning för B-fält		Bedömning för E-fält		
Avstånd till riskområdets yttre gräns	0,26 m	1,2 m	0,26 m	0,80	1,2 m
Spänning fas-jord			14 kV	42 kV	84 kV
Ström i faslina	630 A	1600 A			
Beräknat B-fält vid närområdets inre gräns, mot riskområdet	410- 610 μ T	210 - 350 μ T			
Beräknat E-fält vid närområdets inre gräns, mot riskområdet			9,1 – 14,0 kV/m	8,2 - 12,6 kV/m	10,3 – 16,7 kV/m
Beräknat E-fält inom närområdet, vid stolpben				Upp till 12,5 kV/m	Upp till 21,5 kV/m
Insatsnivå låg	1 000 μ T		10 kV/m		
Insatsnivå hög	6 000 μ T		20 kV/m		

I Figur 6 visas motsvarande situation för en 72,5 kV stolpe och i Tabell 15 ges mer information om E-fältet vid närområdets inre gräns. Det är uppenbart att den lägre spänningen, trots kortare avstånd, ger en fältstyrka < 20 kV/m invid stolpbenet.

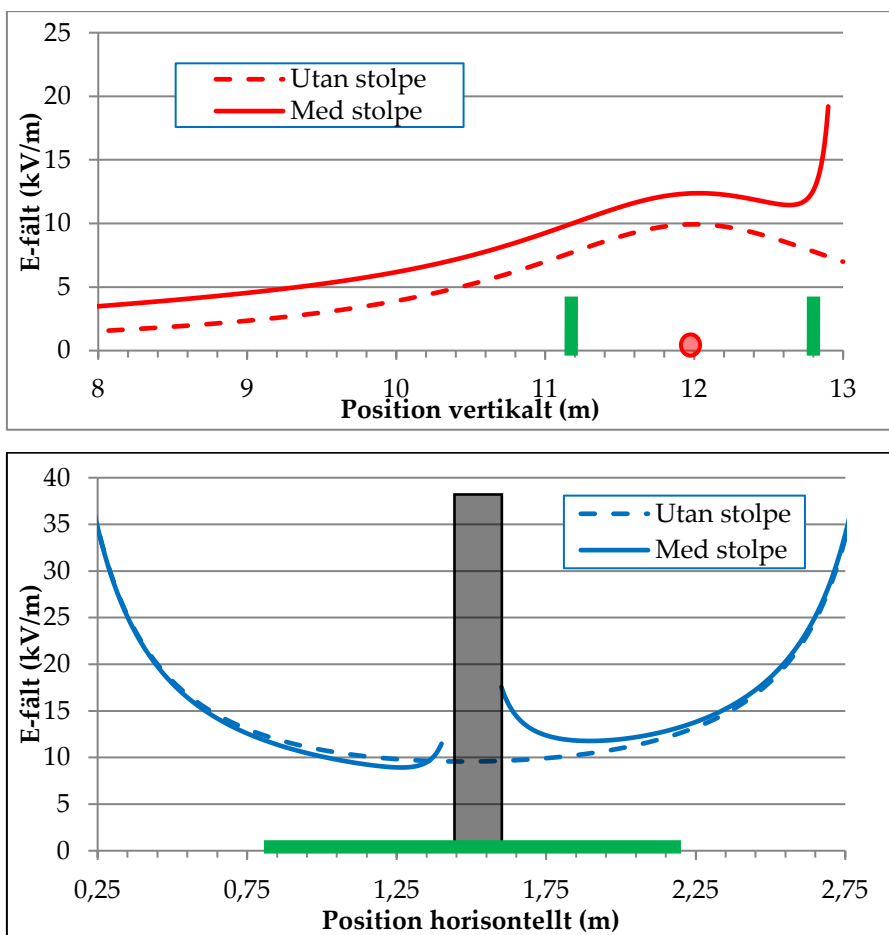
Arbete inom närområdet kan bedrivas med vissa begränsningar för att uppfylla kraven i AFS 2016:3 [6]. För det studerade fallet med en 145 kV ledning med fasavstånd 4,0 m bör man undvika att klättra upp i stolpen till eller över över faslinornas nivå. Beräkningarna med hänsyn tagen till fältförstärkning orsakad av de jordade stolpbenen visar att E-fältet längs stolpbenen är > 20 kV/m (insatsnivå hög), men < 24 kV/m (LEF, gränsvärdet för hälsoeffekter). För lägre spänningsnivåer är också fältstyrkan lägre. Arbete från skylift rekommenderas därför i första hand för 145 kV ledningar, men även för lägre spänningar, då detta ger mindre exponering för E-fält. Magnetfältsnivåerna är generellt låga vid arbete nära spänning.



Figur 4. Beräknade E-fältnivåer för en 145 kV ledning med och utan inverkan av jordade stolpar. Överst en vertikal linje i stolpens plan och ca 20 cm utanför stolpbenet, mot ytterfasen. I mitten en horisontell linje i nivå med faslinorna, med 0-punkt vid mittfasen och ytterfaserna vid -4 och 4 m, alla på höjden 12 m. Läget av ytterfasen visas med en röd ring området för Arbete Nära Spänning visas med grönt streck. Stolpbenet har modellerats som en ledande cylinder 20 cm i diameter och med centrum vid 2,0 m. Nederst visas var de två linjerna hamnar i praktiken på en stolpe för 130 kV.



Figur 5. Till vänster mätning av E-fält längs ett stolpben och till höger mätprob med optisk fiber för datakommunikation och isolerade rep för positionering av proben längs stolpbenet.

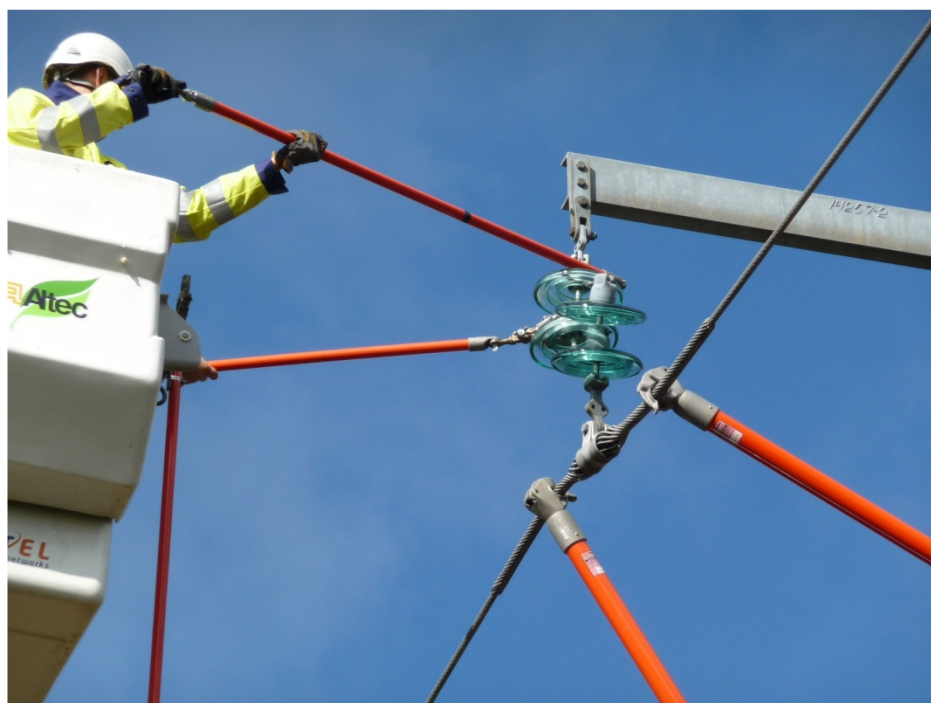


Figur 6. Beräknade E-fältnivåer för en 72,5 kV ledning med och utan inverkan av jordade stolpar. Överst en vertikal linje i stolpens plan och ca 20 cm utanför stolpbenet, mot ytterfasen. Nedan en horisontell linje i nivå med faslinorna, med 0-punkt vid mittfasen och ytterfaserna vid -3 och 3 m, alla på höjden 12 m. Läget av ytterfasen visas med en röd ring och området för Arbeta Nära Spänning visas med grönt streck. Stolpbenet har modellerats som en ledande cylinder 15 cm i diameter och med centrum vid 1,5 m.

6.3 ARBETE MED SPÄNNING

6.3.1 Isolerstångsmetoden

Vid arbete med isolerstång når man in i riskområdet med ett isolerande verktyg, samtidigt som man själv kan befinna sig utanför riskområdet. Vanligen utförs arbetet från stolpen, från en plattform tillfälligt fäst på stolpen eller från en skylift med isolerad korg. I de fall AMS-montören själv befinner sig utanför gränsen för risk-området, blir exponeringsbedömningen densamma som för Arbeta Nära Spänning. Vid spänningar upp till 72,5 kV kan arbetet utföras från stolpen, men för 145 kV rekommenderas en skylift, eventuellt med isolerad korg för ökad säkerhet mot överslag och strömgenomgång, se Figur 7.



Figur 7. Byte av en isolatorkedja med isolerstångsmetoden. Här arbetar montörerna från en lift med isolerad korg. Foto från Stefan Nilsson vid ELTEL Networks Infranet AB.

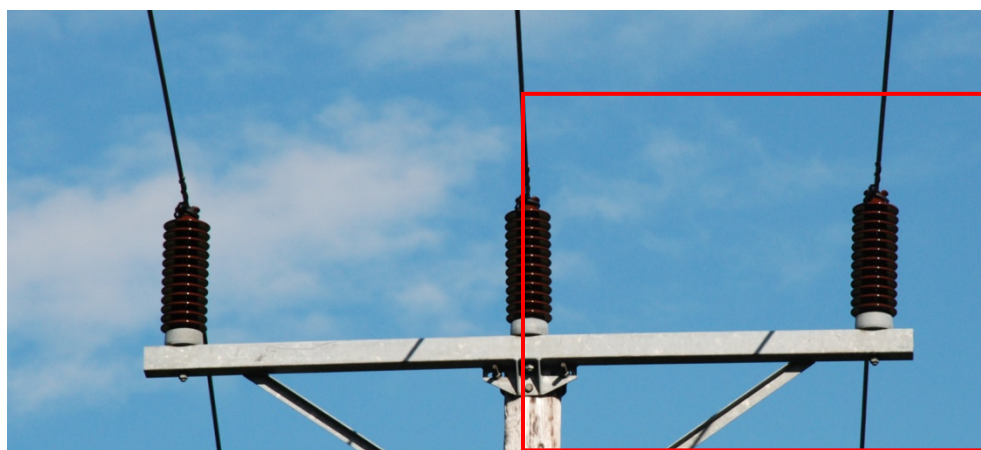
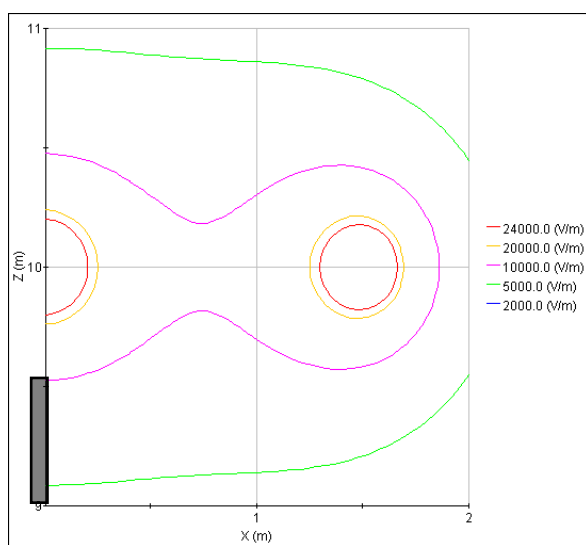
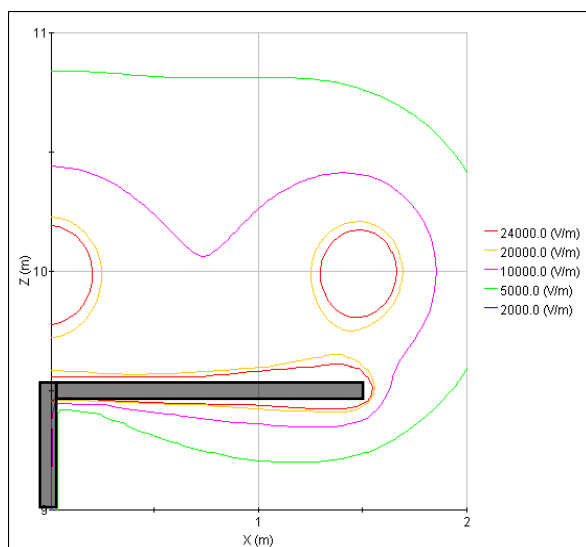
6.3.2 Isolerhandskmetoden

Arbete med isolerande handskar kan utföras upp till 36 kV men vanligen används metoden upp till 24 kV. Även i detta fall kan arbetet utföras från stolpen, från en plattform tillfälligt fäst på stolpen eller från en skylift, eventuellt med isolerad korg för ökad säkerhet. Handskarna ger full elektrisk isolation och ger möjlighet att komma nära in på linor, isolatorer och andra spänningssatta detaljer. Däremot skyddar varken handskar eller isolerande dukar mot det elektriska eller det magnetiska fältet. Dessa handskar är förhållandevis känsliga för mekaniska skador – punkteringar – och därför kombineras de vanligen med en kraftig ytterhandske, som ökar avståndet till spänningssatt detalj ytterligare något, se Figur 8.

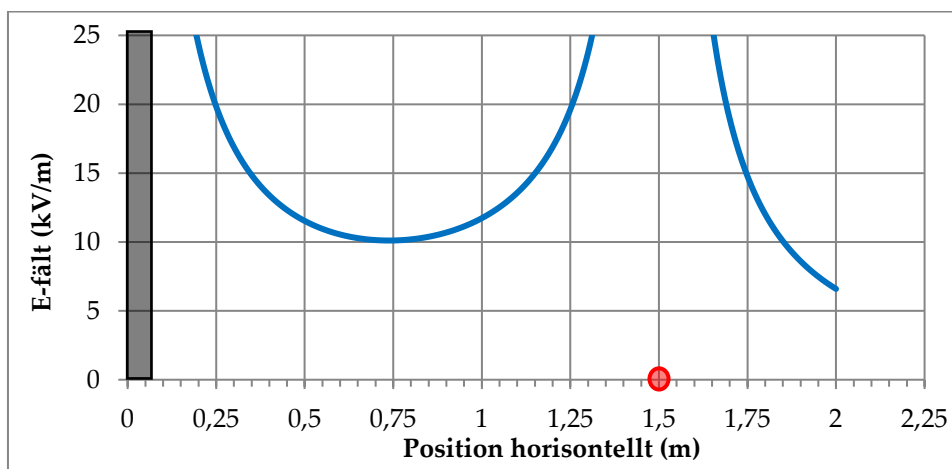
Det elektriska fältet runt toppen av en stolpe med tre stödisolatorer för 36 kV visas i Figur 9. Bildparet visar att den jordade stolpen och regeln har stor betydelse för fältbilden och ger upphov till ett utsträckt område med E-fält överstigande 20 kV/m. Stolpe och regel påverkar fältstyrkan bara inom ett lokalt område. Den nedre bilden visar fältbilden 0,3 m framåt i ledningens riktning och där har de jordade elementen bara en obetydlig påverkan. Utbredningen av området runt linorna med hög fältstyrka visas också i Figur 10.



Figur 8. Isolerande handskar med yttre skyddshandske för Arbeta Med Spänning. Bilden överst visar hur man med handskar monterat isolerande skydd för lina och isolator och nedan visas en handske av denna typ med yttre skyddshandske. Det övre fotot är från Stefan Nilsson vid ELTEL Networks Infranet AB.



Figur 9. Elektrisk fältstyrka vid stolptopp för 36 kV. Observera att värdena anges i V/m. Faslinorna sitter vid $X=0$ och 1,5 m. Figuren visar bara den ena halvan då fältbilden är symmetrisk. Överst visas en beräkning i stolpens plan och med hänsyn tagen till en ledande stolpe och ledande regel och i mitten visas motsvarande 0,3 m längre fram i linjeriktningen. Nederst visas med rött det område som fältberäkningen omfattar.



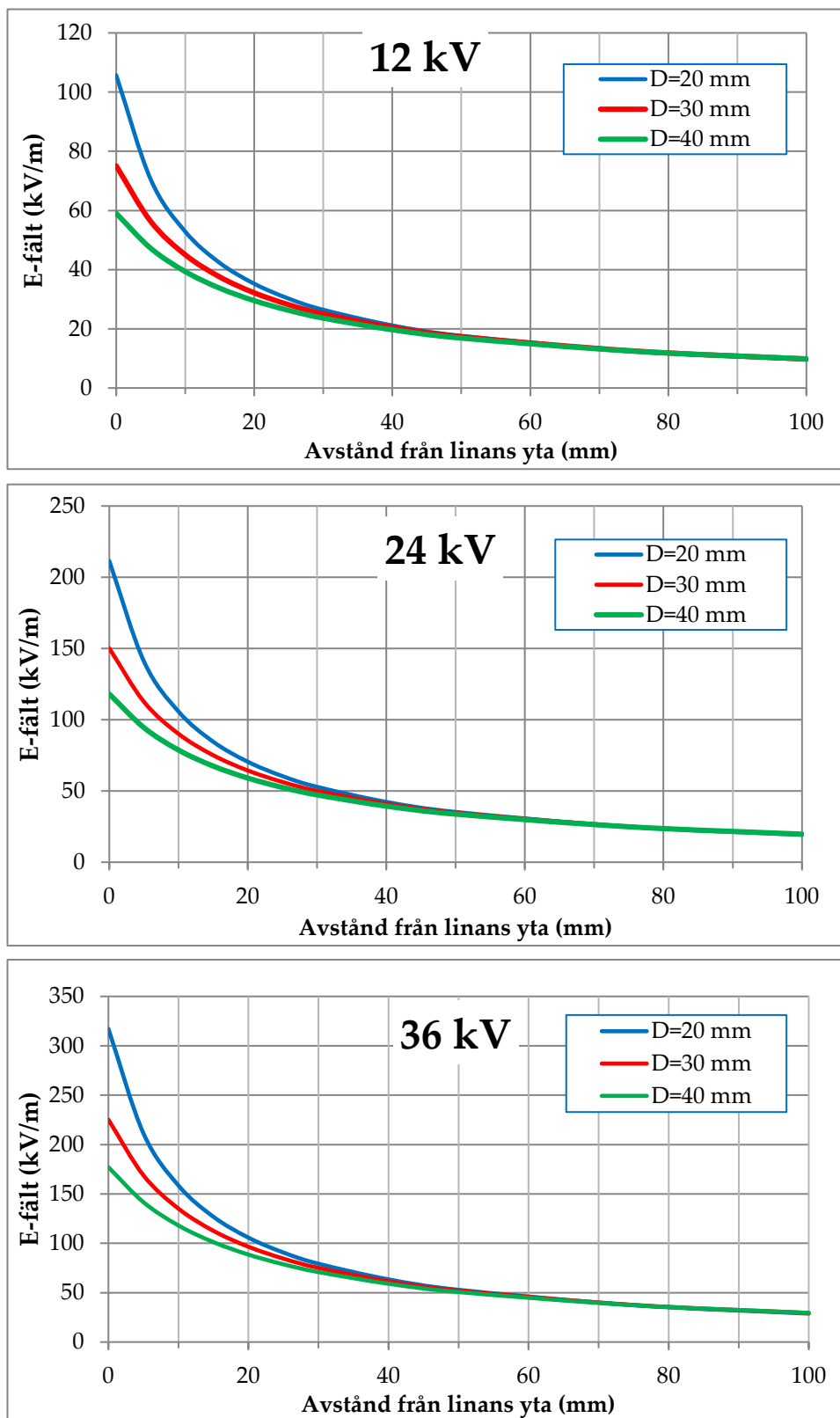
Figur 10. Beräknat E-fält längs en linje i nivå med faslinorna ut från mittfasen (0 m) och förbi ytterfasen (1,5 m) på en 36 kV ledning, med hänsyn till jordad stolpe och regel. Faslinans höjd över mark är 10,0 m och dess diameter 32 mm. Läget av ytterfasen visas med en röd ring.

För en 24 kV ledning blir fältstyrkan lägre på samma avstånd från faslinorna, vilket framgår av Tabell 16.

Tabell 16. Beräknad fältstyrka runt ledningar för 24 och 36 kV.

	Avstånd ut från faslina till att E-fältet understiger en given nivå	
	24 kV	36 kV
< 24 kV/m	14 cm	21 cm
< 20 kV/m	17 cm	25 cm

Tabell 16 visar att det är möjligt att komma nära faslinorna utan att överstiga LEF för hälsoeffekter (24 kV/m). Avståndet är så kort att det inte bör vålla besvär för arbetets genomförande, då man bör kunna hålla huvud och bål på avstånd från faslinorna. Däremot är situationen mer problematisk för händerna då E-fältet är mycket högt närmast linorna. Fältstyrkan beror av spänningsnivån och av linans diameter. Mindre diameter ger vid samma spänning en högre fältstyrka. Detta visas närmare i de tre diagrammen i Figur 11. Fältstyrkorna är beräknade med aktuell spänning fas-jord, d v s med 7, 14 och 21 kV.



Figur 11. Beräknad fältstyrka invid linor med diameter 20, 30 och 40 mm och med olika spänningsnivå.

Kravet på maximalt 50 kV/m för händer och underarmar kan tolkas som att medelfältet över den exponerade ytan inte skall överstiga 50 kV/m. Den aktuella ytan är hand-flatan, handens ovansida och den nedre delen av underarmen. Medelavståndet till dessa ytor beror av handens storlek, vilken diameter linan har och hur man greppar den, d v s faktorer som varierar från fall till fall och som inte kan bestämmas exakt. En enkel uppskattning av olika delytors storlek och avstånd visar dock att medelavståndet från det man greppar om blir ca 25 mm eller något mer. Till detta kommer isoler-handskens tjocklek eller tjockleken av en isolerande gummiduk, se Figur 12, och det totala medelavståndet blir då ca 30 mm. Med en extra skyddshandske utanpå fås längre avstånd, men detta får ge en extra säkerhetsmarginal.

Med 30 mm från linans yta fås ett E-fält på 24 - 26 kV/m vid 12 kV systemspänning, 47 - 53 kV/m vid 24 kV och 71 - 79 kV/m vid 36 kV systemspänning. Genom användning av den marginal som den extra handsken ger detta acceptabla exponeringsförhållande vid 12 och 24 kV systemspänning, men inte vid 36 kV. Skall arbete utföras med handsk-metoden på 36 kV skall man inte ta på direkt linorna utan använda ett kort verktyg som ger ett lite längre avstånd.

När det gäller det magnetiska fältet kan arbetssituationen beskrivas med hjälp av den tidigare visade ledningen för 24 kV och 630 A. Fasavståndet är 1,0 m, vilket är kort, men ett längre fasavstånd ger ett något lägre magnetfält i det mest kritiska området mellan faslinorna. Den här geometrin får därför representera ledningar för 12, 24 och 36 kV. I Figur 13 visas det beräknade B-fältet runt faslinorna. Området överstigande 1 mT (10 000 mG) är ett nära cirkelrunt område med en radie på ca 15 cm och området överstigande 6 mT är ett cirkulärt område runt ytterfasen med radie ca 2 cm. Detta visas även i Figur 14.

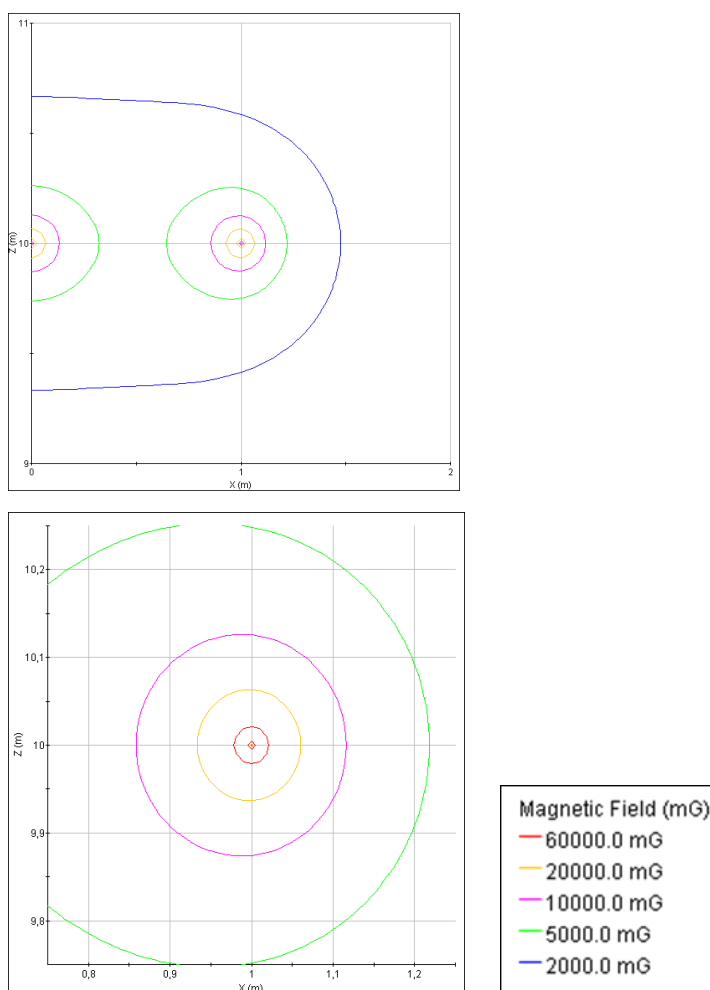
Fältbilden för både det elektriska och det magnetiska fältet komplicerar arbete med isolerhandskmetoden. För att begränsa det elektriska fältet skall man undvika att komma nära regel och stolpe, i synnerhet om de är jordade. Detta kan lösas genom att man placerar sig några dm "framför" eller "bortom" stolpen. Man skall vidare placera sig så att inte större kroppsdelar som huvud och bål behöver komma närmare fasledarna än ca 15 cm vid 24 kV och ca 20 cm vid 36 kV. Arbete från en lift, ev med isolerad korg, ger bättre möjligheter att finna en lämplig arbetsposition.

E-fältet alldeles invid fasledarna är mycket högt, men medelfältstyrkan över händer och underarmar överstiger inte 50 kV/m. För 36 kV fås däremot fältstyrkor väl över 50 kV/m, så för arbete på den spänningsnivån krävs ett nytt verktyg som ger nödvändigt avstånd och ett säkert grepp.

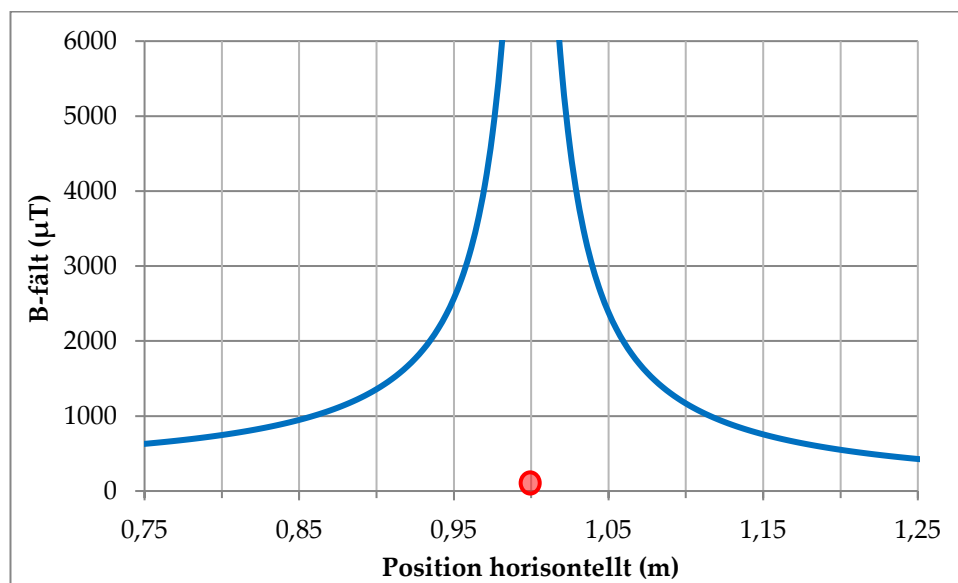
Om avstånden för det elektriska fältet respekteras, så kommer det magnetiska fältet också att vara under aktuella insatsvärden. Med minst 15 cm mellan fasledare och huvud begränsas det magnetiska fältet till < 1 mT och med minst 2 cm mellan fasledare och bål begränsas fältet till < 6 mT. Slutligen löser ett nytt verktyg även problemet med att händerna inte skall exponeras för ett fält > 18 mT.



Figur 12. Arbete med isolerande dukar. Foto från Stefan Nilsson vid ELTEL Networks Infranet AB.



Figur 13. Beräknat B-fält runt fasledarna till en 24 kV ledning med 630 A. Den nedre bilden är en inzoomad version av den övre. Notera att nivålinjerna visar fältet i mG. 10 000 mG (röd-violett färg i figuren) = 1000 μ T = 1 mT.



Figur 14. Beräknad magnetfältsnivå något under faslinorna på en 24 kV ledning med 630 A och fasavståndet 1,0 m. 0-punkt vid mittfasen och den ena ytterfasen vid 1,0 m. Läget av ytterfasen visas med en röd ring.

6.3.3 Barhandsmetoden

Vid arbete med barhandsmetoden är montören på samma spänningsnivå (potential) som den fas han eller hon arbetar på. Detta åstadkoms genom en direkt elektrisk förbindning till faslinan. Arbetsmetoden förutsätter att det finns gott om utrymme runt faslinor och isolatorer, annars finns risk att montören åstadkommer en kortslutning till jord eller mellan faser. För de högsta spänningsnivåerna är detta den enda praktiskt användbara arbetsmetoden och då kan det vara möjligt att t o m gå eller klättra över de långa isolatorkedjorna. För de här aktuella spänningsnivåerna används barhands-metoden för 72,5 och 145 kV, möjligen skulle även visst arbete på ledningar för 52 kV kunna fungera. För allt arbete förutsätts här att montören arbetar från en skylift med isolerad korg.

Frågan om exponering för det elektriska fältet kan lösas genom att montören bär en sk ledande dräkt, dvs en overall med huva och där dräktens väv har inslag av metalltråd. Om montören bär en komplett dräkt med huva, ledande handskar och ledande yttersockor, fås en dämpning av det elektriska fältet av ungefär 90 - 95 %. Man skall vara medveten om att dräkterna är besvärliga att ta på och av sig, de är täta och blir varma att arbeta i och de är förhållandevis dyra. De ledande dräkter som idag finns på marknaden är inga universalplagg som lämpar sig för allt arbete, utan skall bara användas när de verkligen behövs. En ytterligare komplikation är att de dräkter som funnits på marknaden en tid inte är i flamsäkert utförande, men sådana kommer förhoppningsvis att tas fram. Dräkter utan visir visas i Figur 15.

För arbete i miljöer med höga fältstyrkor bör dräkten kompletteras med ett ledande visir för att inte fältstyrkan vid ansiktet skall bli för hög. Enligt en studie av Gábor Göcsei m fl [21] bör ledande visir användas vid arbete på system för 120 kV och uppåt för att inte den maximala fältstyrkan i ansiktet skall överstiga 20 kV/m.

I Tabell 17 redovisas avståndet från faslinans centrum till den punkt där B-respektive E-fältet avtagit till en viss nivå. För E-fältet har ingen hänsyn tagits till fältförstärkning orsakad av regel eller stolpar då de högre och avgörande fältnivåerna (≥ 20 kV/m) motsvaras av förhållandevis korta avstånd. Ledningsstolparna är alla av portaltyp med hängkedjor eller komposita linjeisolatorer.

Tabell 17. Elektriska och magnetiska fält vid arbete med barhandsmetoden 52, 72,5 och 145 kV. Beräknat genomgående med enkel faslina (simplex) med 32 mm diameter för 52 kV och 39 mm för 72,5 och 145 kV.

	Nominell system-spänning (kV)	52	72,5	145	52	72,5	145
	Fasavstånd (m)	2,5	3,0	4,0	2,5	3,0	4,0
		Bedömning för B-fält			Bedömning för E-fält		
	Spänning fas-jord				30 kV	42 kV	84 kV
	Ström	800 A	800 A	1600 A			
		Avstånd från ledarens centrum till att B-fältet är					
Insatsnivå för extremiteter (händer)	< 18 mT	1 cm	1 cm	2 cm			
Insatsnivå hög	< 6 mT	3 cm	3 cm	6 cm			
LEF Sensoriska effekter gränsvärde för huvudet	< 2 mT	9 cm	9 cm	17 cm			
Insatsnivå låg	< 1 mT	17 cm	17 cm	35 cm			
					Avstånd från ledarens centrum till att E-fältet är		
Insatsnivå för extremiteter (händer)	< 50 kV/m				10-12 cm	15-17 cm	29-33 cm
LEF Hälsoeffekter gränsvärde för kroppen	< 24 kV/m				12-26 cm	30-38 cm	57-74 cm
Insatsnivå hög	< 20 kV/m				16-32 cm	36-45 cm	67-93 cm
Insatsnivå låg	< 10 kV/m				49-75 cm	68-123 cm	124-144 cm

Tabellen visar att det är det elektriska fältet som är styrande vid dessa spänningsnivåer, det är det som ger de längsta avstånden vid en given skyddsnivå. För de "elektriska avstånden" ges ett spann där de längsta avstånden gäller utrymmet mellan faslinorna och det kortaste området utanför ytterfaserna och nedanför faslinorna. Om möjligt bör man därför arbetet utföras från en position utanför ytterfaserna eller under faslinorna. Vid stolpbenen fås fältförstärkning, mer med blöt stolpe än med torr, och likaså fås fält-förstärkning vid regeln. De här områdena kan enklast undvikas om arbetet utförs från en lift med isolerande bom.

Även om den bästa positionen kan väljas fås ändå en fältstyrka $> 50 \text{ kV/m}$ i ett större område runt faslinorna, vilket hindrar direktkontakt med oskyddade händer. Ett kort isolerverktyg kan vara en lösning på detta och/eller användning av ledande dräkt. Möjligen kan man tänka sig att bara använda ledande handskar, men då finns risken för besvärande gnisturladdningar vid handlederna. En hel dräkt är den säkraste lösningen men en ledande rock används bl a i USA vid mindre kritiska fall. Givetvis måste man fortfarande hantera risken för gnisturladdningar mellan rock och elektriskt oskyddad kropp. För 145 kV rekommenderas hel dräkt medan andra lösningar kan vara acceptabla vid 52 och 72,5 kV.

Det magnetiska fältet ställer också krav på minimiavstånd. Avståndet mellan fasledare och huvud bör vara minst ca 10 cm vid 800 A och 20 cm vid 1600 A. För övriga kropps-delar gäller ca 3 respektive ca 6 cm. Dessa krav bör gå att uppfylla utan att arbetet försvåras i någon större grad, men det måste finnas en medvetenhet även om dessa begränsningar.



Figur 15. Montörer från Eltel Networks demonstrerar isolatorbyte med barhandsmetoden på en ledning för 132 kV i Norge. Båda montörerna bär ledande dräkt.

7 Arbete i ställverk och stationer

7.1 ARBETE I KAPSLADE STÄLLVERK FÖR 12 OCH 24 KV

Inomhusställverk i fördelningsstationer och industrier byggs numera normalt upp med kapslade ställverksfack för 12 eller 24 kV, se Figur 17. Det är en vanlig lösning sedan ett antal decennier tillbaka även om fackens utformning förändrats under årens lopp. Före de helkapslade facken kunde ställverken byggas upp med öppna fack där de olika funktionerna var fysiskt väl separerade.

Ställverkens metallkapsling ger ett gott skydd mot det elektriska fältet. När alla luckor är på plats och stängda finns inga öppningar där fältet kan "läcka ut".

För det magnetiska fältet är dock situationen annorlunda, då kapslingarna bara har en liten inverkan på fältet och strömmarna i ställverken kan vara förhållandevis höga. Detta belyses i de beräkningsexempel som följer nedan:



Figur 16. En rad med kapslade ställverk för 12 kV.

Magnetfältsnivån har beräknats för en rad med tio sammankopplade ställverksfack med 100 % märkström (4000 A eller 2500 A) symmetriskt i samlingsskenan. Fältet har beräknats för en vertikal linje i skåpens framkant och för en linje 0,5 m från skåpens framkant. Det förra får anses ge maxvärdet och det senare värdet där man normalt står framför skåpen för avläsning av instrument eller liknande. Den vertikala linjen går mitt i skåpraden, så i beräkningsmodellen finns 5 m samlingsskena åt vardera hållet. Beräkningar har genomförts för fyra följande fall:

- A: Ställverksfack för 12 kV av modernt utförande med samlingsskenorna arrangerade i mer eller mindre triangulär form. 4 000 A i samlingsskenan.
- B: Ställverksfack för 24 kV av modernt utförande med samlingsskenorna arrangerade i mer eller mindre triangulär form. 2 500 A i samlingsskenan.
- C: Ställverksfack för 12 kV av äldre utförande med samlingsskenorna arrangerade linjärt. 1 600 A i samlingsskenan.

D: Ställverksfack för 12 kV av äldre utförande med samlingsskenorna arrangerade linjärt. 3 150 A i samlingsskenan.

Beräkningsresultatet visas i Tabell 18 och det framgår att samlingsskenans utformning har stor betydelse för resultatet. Även om skenorna inte är ordnade i någon perfekt triangulär form fås en positiv inverkan på magnetfältsnivån.

Tabell 18. Beräknade maximala magnetfältsnivåer framför kapslade ställverksfack.

Ställverks-fack	Max B-fält vid skåpets front (μT) och höjd över golv (m)	Max B-fält 0,5 m framför skåpets front (μT) och höjd över golv (m)
A / 4 000 A	205 / 1,98	100 / 1,93
B / 2 500 A	110 / 2,02	60 / 2,05
C / 1 600 A	200 / 1,75	70 / 1,75
D / 3 150 A	165 / 1,75	80 / 1,75

Dessa kapslade och personsäkra ställverk ger möjlighet att koppla in eller ta bort kablar i ett fack och fortfarande ha hela ställverket i övrigt i drift. Vid sådant arbete får man krypa in i fackets nedre del och ansluta mot de skenor som finns på nedsidan om en fränkskiljare (det senare kan vara brytaren som flyttas ur driftläge), se Figur 17. Det är inte självklart att detta arbete ger kortare avstånd till samlingsskenan men riktningen blir helt annorlunda. Därtill finns också möjligheten att de två facken på ömse sidor om det man arbetar på är i drift och full driftström går i anslutna kablar i dessa fack. Beräkningsmodellen blir på detta sätt något mer komplex än i föregående fall och beräkningarna har begränsats till ett fall med äldre fack enligt D ovan och med 3 150 A i samlingsskenan och 1 600 A i de två närmast angränsande facken. Beräknings-modellen för detta fall visas i Figur 18.



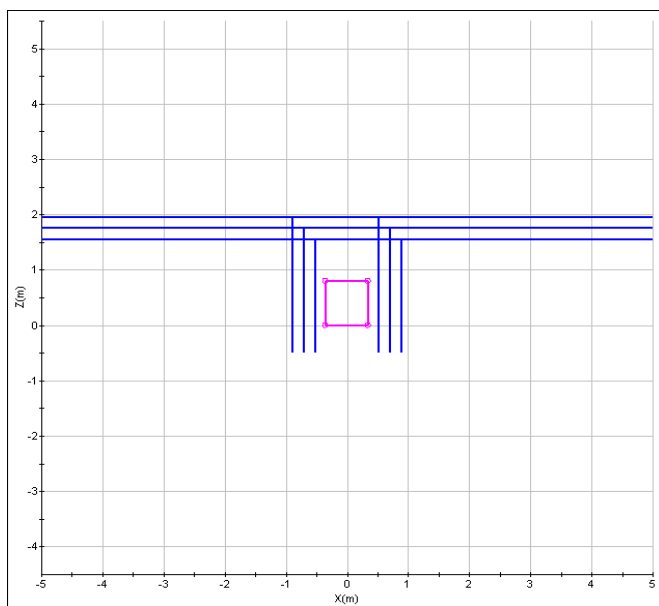
Figur 17. Kapslat ställverk typ Safesix för med brytarmodulen bortplockad för bättre åtkomst. Foto av Johan Brändström vid Sweco med tillstånd för publicering från Vattenfall.

Vid skåpets front fås med denna modell som högst 480 μT , betydligt högre än med bara samlingsskenan belastad.

Vid anslutning av kablar måste man längre in i skåpet och även uppåt med händerna för att ansluta kablarna. Huvudet kan då komma maximalt ca 0,6 m över golv och in i ett område med maximalt ca 1 350 μT . Händerna, som kommer lite högre upp, kan komma att exponeras för ett fält på ca 1 400 μT .

Beräkningarna visar att magnetfältsnivån i själva ställverksrummet, framför facken, kan uppgå till knappt 500 μT om samlingsskenan och facken är belastade till 100 % av märkström. Nivån är således väl under insatsnivå låg (1 000 μT). Vid kopplingsarbete inne i facken blir fältet högre, men fortfarande betydligt under hög insatsnivå hög (6 000 μT) för händerna och väl under LEF för sensoriska effekter (2 000 μT) för huvudet. Även om motsvarande beräkningar inte utförts för de modernare facken typ A och B, är det ändå troligt att magnetfältsnivån vid detta arbete inte blir högre än för typ D. Samlingsskenornas anordning i triangelform bör ge ett lägre magnetfält.

De äldre ställverken där varje fack innehåller i princip bara en funktion torde nu vara på väg att försvinna, men ännu kan något finnas i drift som motiverar följande beskrivning och diskussion om även dessa.



Figur 18. Beräkningsmodell för ställverksfack typ D, med samlingsskena med 3 150 A och två inkopplade fack med 1 600 A.

Vid ombyggnad av två stationer i en stad i Mellansverige skall äldre och platsbyggda ställverksfack ersättas med nya. Stationsbyggnaden är väl tilltagen så de nya facken kan ställas upp och tas i drift i ett rum, samtidigt som de gamla är inkopplade i ett annat rum. Facken är delvis öppna med en vägg som slutar ca 2 m över golv. Likaså är skenstråken mellan facken, som går strax under taket, också öppna. I Figur 19 visas ett par bilder från en av de två stationerna.



Figur 19. Mätning av E-fält framför ställverksfack av äldre typ med öppna skenstråk.
Foto Anders Bad, Sweco.

Magnetfältet uppmättes i två punkter 2,0 m över golv och rakt under mittfasen i det skenstråk som löper ca 2 dm under tak mellan två fack (skåp). Avståndet mellan mät-punkt och skenstråk var ca 0,8 m. Facken var i båda fallen anslutna till transformatorer belastade med ca 500 A. Det uppmätta magnetfältet var 50 μT i den ena punkten och 46 μT i den andra punkten.

Kompletterande mätningar utfördes även framför andra fack med lägre last och magnetfältsnivån var då också betydligt lägre; i storleksordningen 3 – 4 μT .

Då skenstråken var öppna fanns även ett intresse av att mäta det elektriska fältet, även om den aktuella spänningsnivån 10,5 kV normalt inte skall ge upphov till några högre fält. I detta fall mättes E-fältet på 2 meters höjd och något utanför ytterfas, där det normalt är högst. Fältet uppmättes till endast ca 0,3 kV/m och den låga nivån kan förklaras med en kombination av förhållandevis låg spänning och den avskärmande verkan som balkar i takkonstruktionen kan ha.

Sammanfattningsvis får man säga att det gamla ställverket inte var särdeles problematiskt vad det gäller magnetiska och elektriska fält, nivåerna var inte alarmerande. Däremot finns givetvis andra risker med den öppna konstruktionen, som risk för direkt beröring och risk för öppna ljusbågar.

7.2 ARBETE I LUFTISOLERADE STATIONER FÖR 52, 72,5 OCH 145 KV

7.2.1 Arbete utan spänning

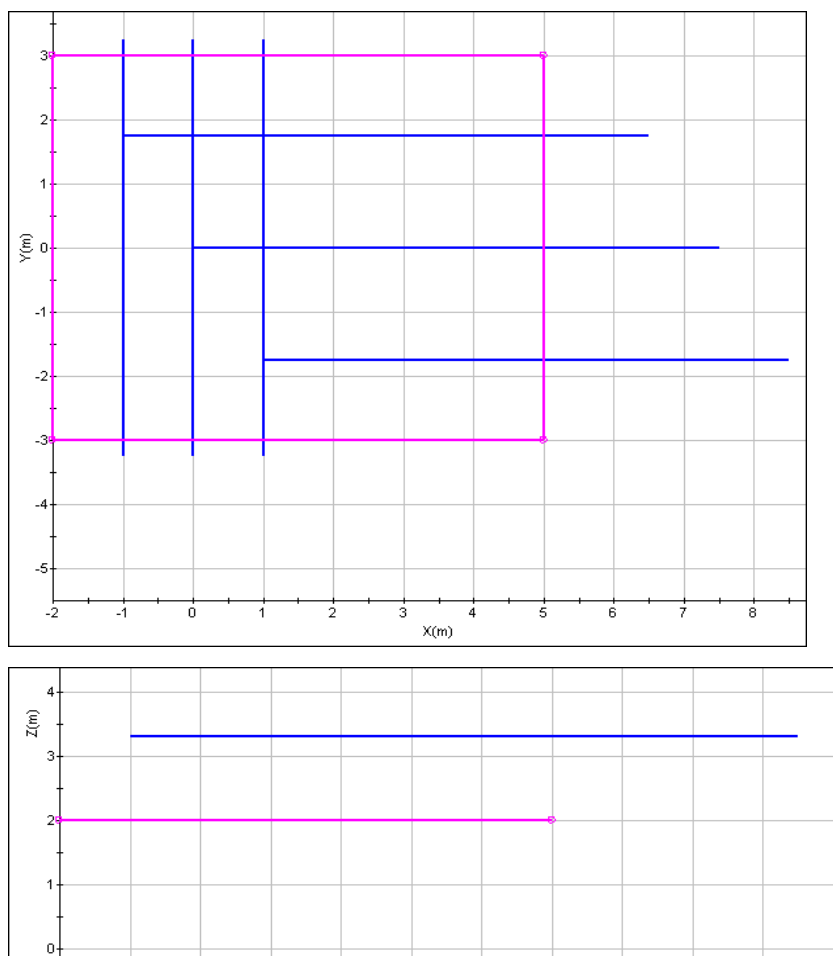
Vid arbete utan spänning befinner man sig utanför närområdets yttre gräns (se tidigare avsnitt 6.2, motsvarande avsnitt för luftledning). I Figur 20 visas ett

stativ med mätprob placerad i en vanlig arbetsposition framför ett manöverdon till en brytare i en station för 130 kV.

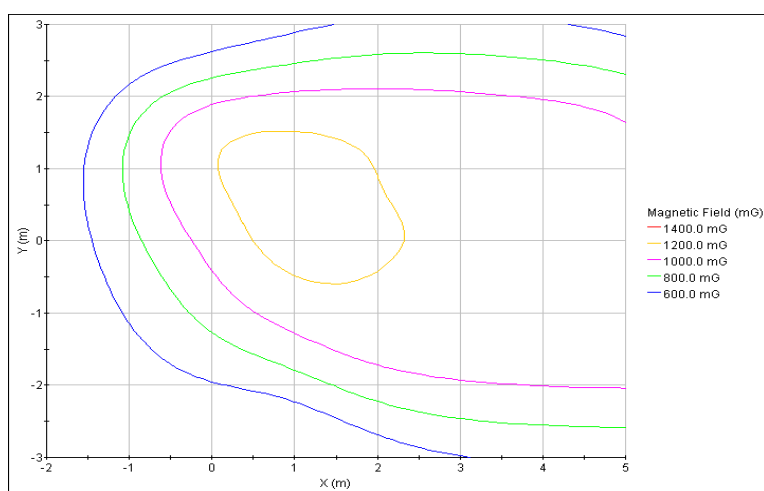
Stationernas layout är komplex och varierande, så det går inte att hitta en standardform som passar allt. Men, grundformen med samlingsskena och ett i rät vinkel anslutande fack finns med i princip överallt och ger höga fält p g a fältens sammanlagring. Beräkningar med en sådan enkel form kan förväntas ge något av ett "värsta fall", om ström och spänning väljs på rimligt sätt. Beräkningsmodeller och resultat för B-fältet visas i följande Figur 21 - Figur 26 och för E-fältet i Figur 27 - Figur 32 .



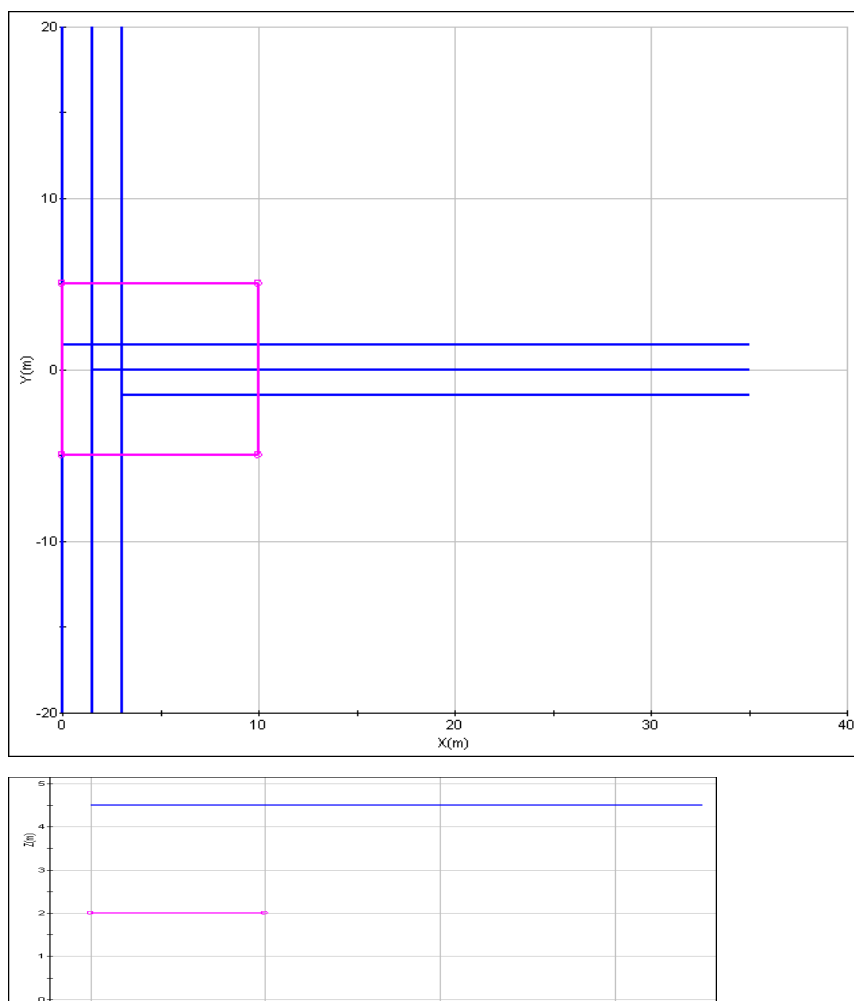
Figur 20. Mätning av E-fält invid ett manöverdon till en brytare i en 130 kV station av modern typ.



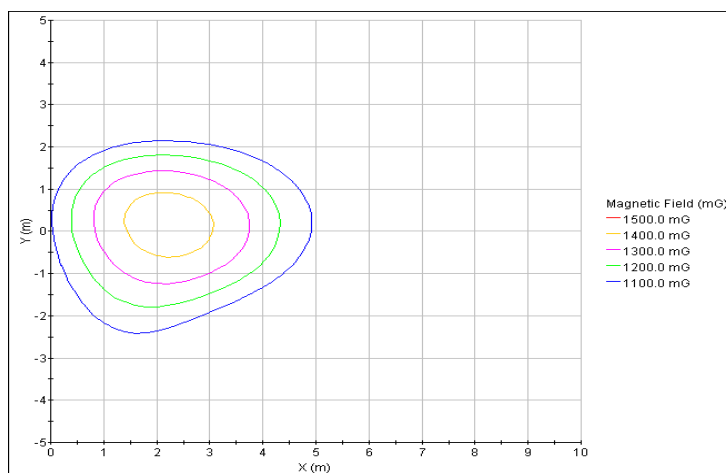
Figur 21. Modell för beräkning av B-fält i en 52 kV station. Layout ovan och sektion nedan. Blå linjer visar strömförande ledare och med violett visas var B-fältets beräknats.



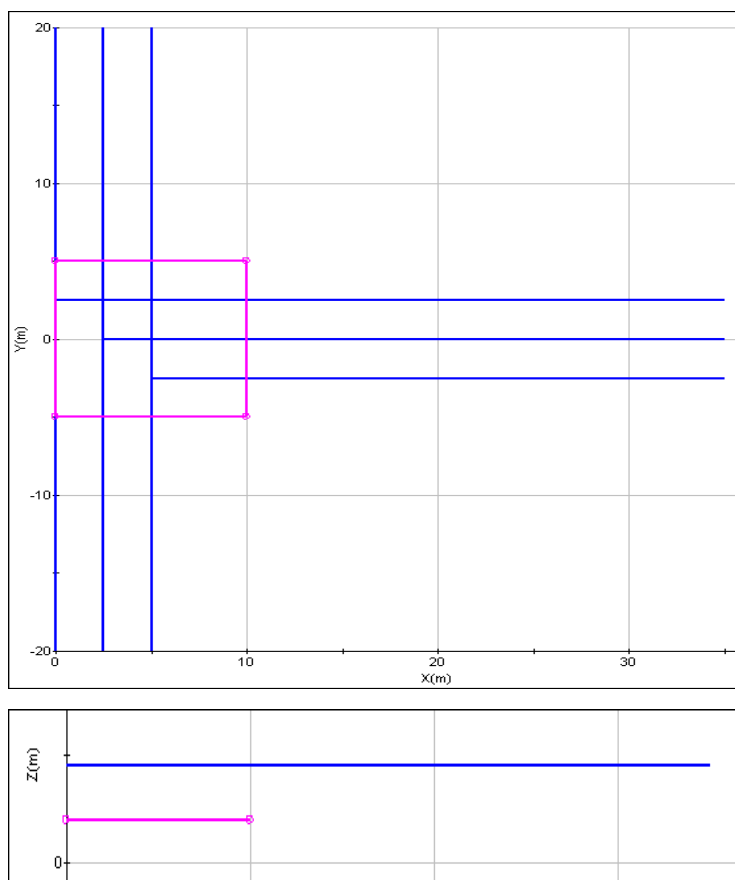
Figur 22. Beräknat B-fält för 2 meters höjd och inom den kvadrat som visas i figuren ovan. 1000 mG = 100 μ T.



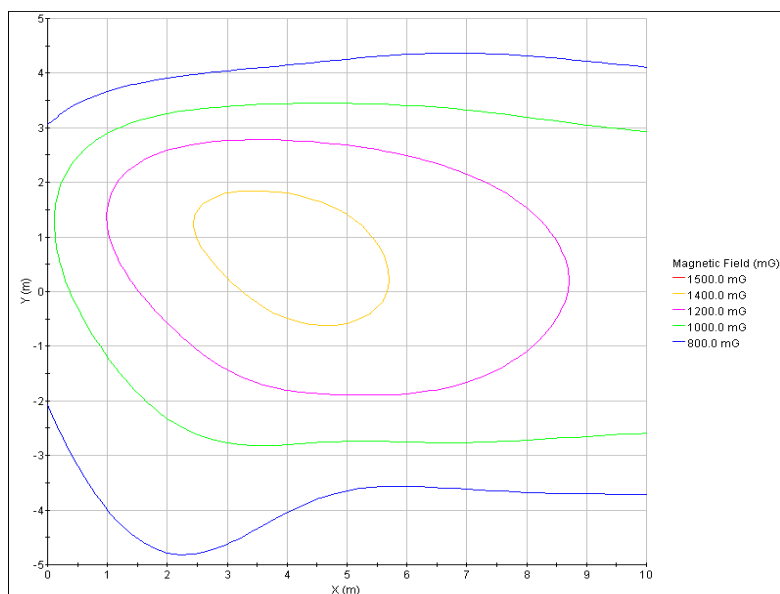
Figur 23. Modell för beräkning av B-fält i en 72,5 kV station. Layout ovan och sektion nedan. Blå linjer visar strömförande ledare och med violett visas var B-fältets beräknats.



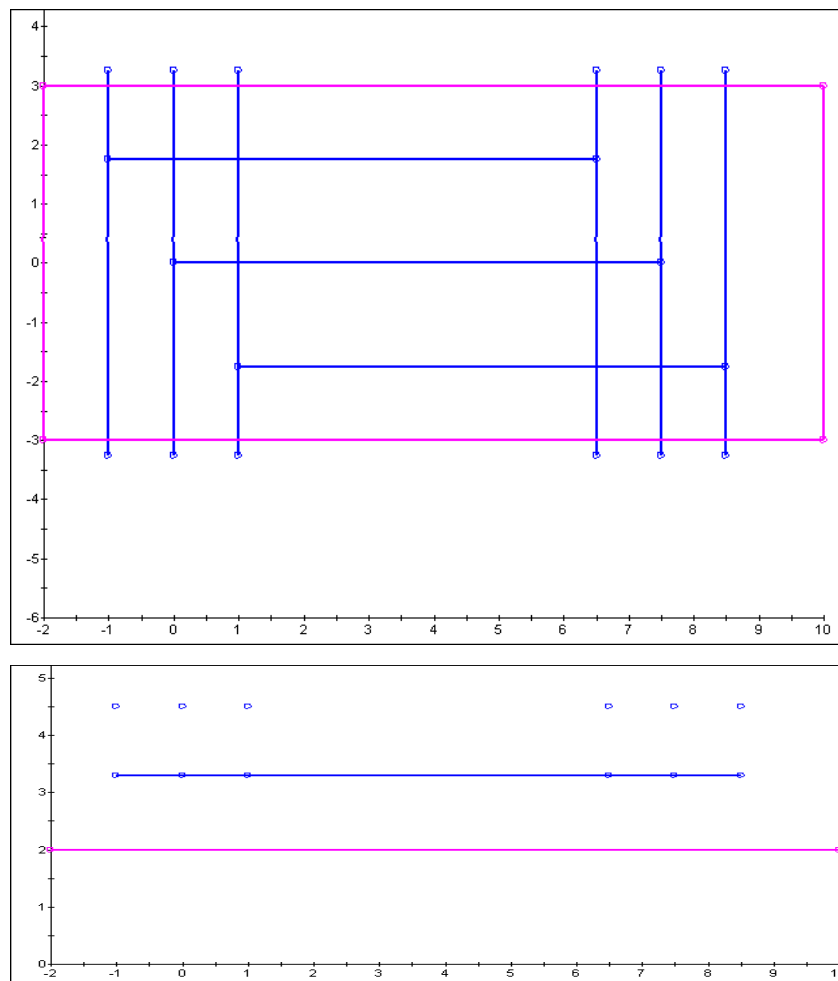
Figur 24. Beräknat B-fält för 2 meters höjd och inom den kvadrat som visas i figuren ovan. 1500 mG = 150 μ T



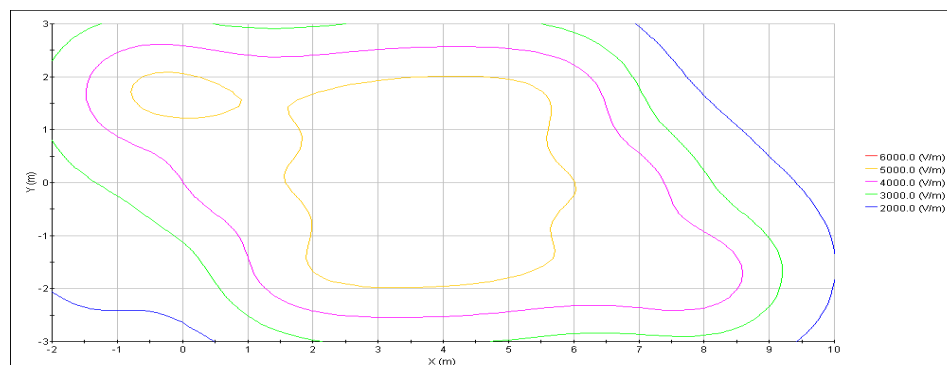
Figur 25. Modell för beräkning av B-fält i en 145 kV station. Layout ovan och sektion nedan. Blå linjer visar strömförande ledare och med violett visas var B-fältets beräknats.



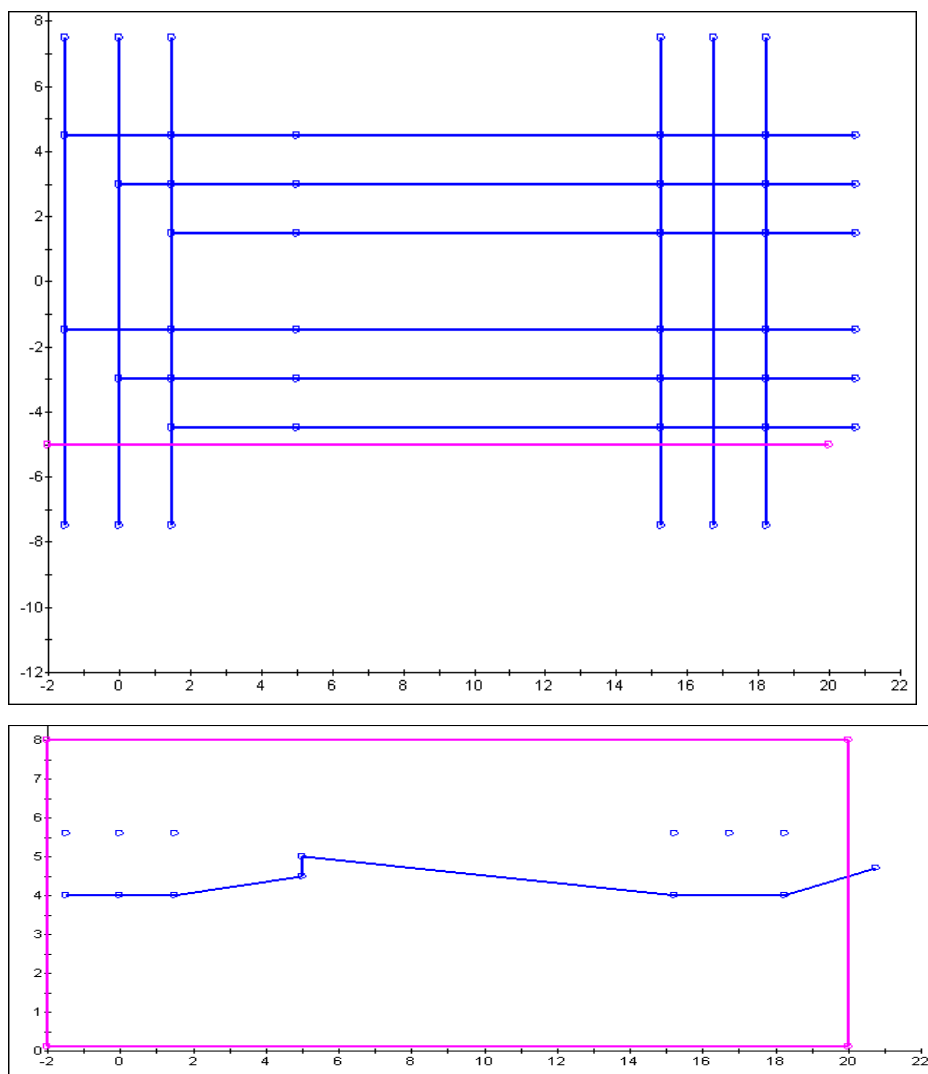
Figur 26. Beräknat B-fält för 2 meters höjd och inom den kvadrat som visas i figuren ovan. 1500 mG = 150 μ T



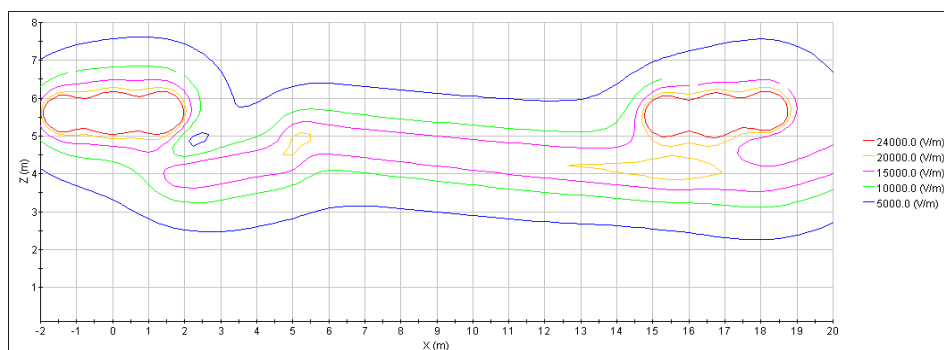
Figur 27. Modell för beräkning av E-fält i en 52 kV station. Layout ovan och sektion nedan. Blå linjer visar spänningssatta ledare och med violett visas var E-fältets beräknats.



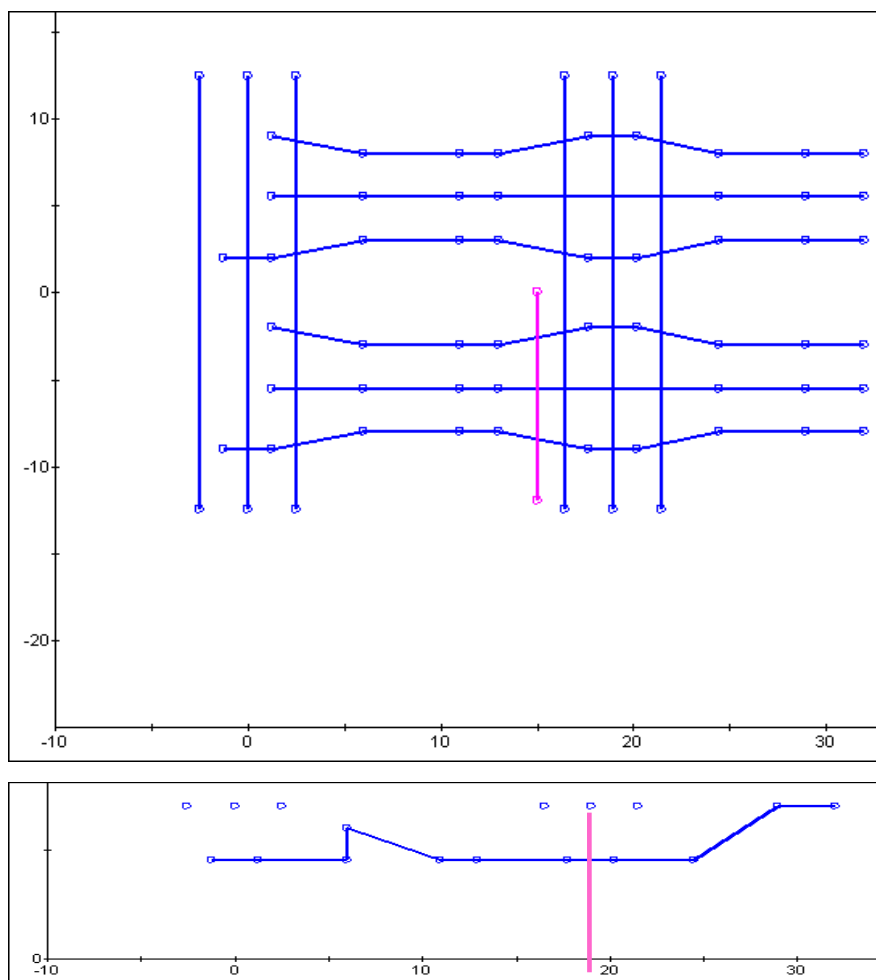
Figur 28. Beräknat E-fält 2 m ovan mark. Högsta värde ca 5,5 kV/m fås vid $X = 4$ m och $Y = 1,3$ m. Samlingsskenorna är 4,5 m ovan mark och ledarna i facken 3,3 m ovan mark. Gränsen för närområdet är $3,3 - 1,55 = 1,75$ m ovan mark.



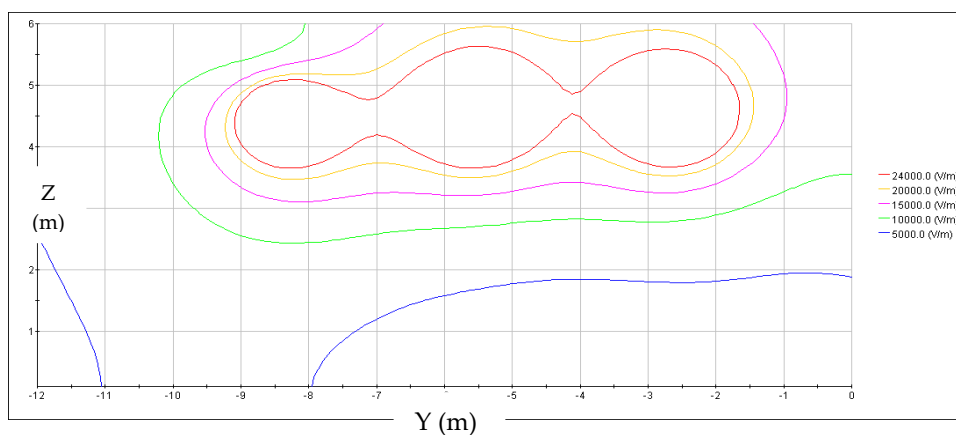
Figur 29. Modell för beräkning av E-fält i en 72,5 kV station. Layout ovan och sektion nedan. Blå linjer visar spänningssatta ledare och med violett visas var E-fältets beräknats.



Figur 30. Beräknat E-fält för ett snitt vid $Y = -5$ m och $X = -20$ m. Samlingsskenornas mittfaser är vid $Z = 5,6$ m och med mittfaserna vid $X = 0$ m och $X = 16,8$ m. Gränsen för närområdet är $5,6 - 1,8 = 3,8$ m ovan mark.



Figur 31. Modell för beräkning av E-fält i 130/145 kV station. Layout ovan och sektion nedan. Blå linjer visar spänningssatta ledare och den violetta linjen visar var E-fältets beräknats, vid $X = 15$ m och $Y = -12 - 0$ m



Figur 32. Beräknat E-fält för ett snitt vid $X=15$ m och $Y=-12 - 0$ m. Fasledarna i facket är vid $Y = -8,5$; $-5,5$ och $-2,5$ m och $Z = 4,5$ m. Gränsen för närområdet är $4,5 - 3,0 = 1,5$ m ovan mark.

Tabell 19. Arbete utan spänning. Beräknade fältnivåer för enkla stationsmodeller för 52, 72,5 och 145 kV.

Nominell system-spänning (kV)	52	72,5	145	52	72,5	145
	Bedömning för B-fält			Bedömning för E-fält		
Avstånd till närområdets yttre gräns (m)	1,55	1,8	3,0	1,55	1,8	3,0
Spänning fas-jord (kV)				30	42	84
Ström i samlings-skena (A)	1250	2500	2500			
Ström i anslutande fack (A)	825	1600	1600			
Beräknat B-fält vid närområdets yttre gräns (μT)	Upp till 470 2 m ovan mark: 130 μT	Upp till 220 2 m ovan mark: 145 μT	Upp till 130 2 m ovan mark: 145 μT			
Beräknat E-fält vid närområdets yttre gräns (kV/m)				4,3 (5,5 kV/m 2 m ovan mark)	5,2 (4,5 kV/m 2 m ovan mark)	7,5 (8,5 kV/m 2 m ovan mark) (<20 kV/m med fältförstärkning)
Insatsnivå låg	1000 μT			10 kV/m		
Insatsnivå hög	6000 μT			20 kV/m		

Beräknade fältnivåer enligt Tabell 19 visar att B-fältet är betydligt lägre än insatsnivå låg. Marginalen är så stor att även om stationslayouten förändras något, kan inte nivåerna komma att överstiga insatsnivå låg.

Detsamma gäller även i stora drag för det elektriska fältet, beräknade värden är under insatsnivå. Men, det elektriska fältet kan förstärkas påtagligt invid jordade strukturer, som ex vis stativ och apparatskåp. En mätning av E-fältet i ett 130 kV station visade på en fältförstärkning på nära tre gånger invid manöverdonet till en brytare; från ca 6 kV/m till ca 17 kV/m. I detta fall var bara ett lite område påverkat, men också precis där man har anledning att stå vid kontroll av manöverdonet. En rimlig bedömning ger att E-fältet i en station för 130/145 kV, och även med hänsyn till lokal fältförstärkning, inte bör överstiga 20 kV/m, d v s insatsnivå hög.

7.2.2 Arbete nära spänning

Arbete nära spänning utförs från närområdet, från riskområdets yttre gräns och ut till närområdets yttre gräns. Grundläggande faktorer är desamma som för arbete på luftledning, se avsnitt 6.2. Fältpåverkan är här endast måttligt påverkad stativ och annat ledande material, så det elektriska fältet beräknas utan hänsyn till detta. Detsamma gäller även för det magnetiska fältet. Korta fasavstånd ger områden med lokalt höga fält, men det torde vara endast för 130/145 kV som det kan bli

aktuellt att arbeta från en position mellan och under faserna och då är det troligen fråga om Arbete med spänning.

Beräkningsmodellerna – samlingsskena med anslutande fack, strömmar och spänningar - är desamma som använts tidigare för Arbete utan spänning, se vidare i Tabell 20.

Tabell 20. Arbete nära spänning. Beräknade fältnivåer för enkla stationsmodeller för 52, 72,5 och 145 kV.

Nominell system-spänning (kV)	52	72,5	145	52	72,5	145
	Bedömning för B-fält			Bedömning för E-fält		
Avstånd till riskområdets yttre gräns (m)	0,55	0,80	1,20	0,55	0,80	1,20
Spänning fas-jord (kV)				30	42	84
Ström i samlings-skena (A)	1250	2500	2500			
Ström i anslutande fack (A)	825	1600	1600			
Beräknat B-fält vid riskområdets yttre gräns (μT)	250 - 270	300 - 415	250 - 450			
Beräknat E-fält vid riskområdets yttre gräns (kV/m)				13 - 15 mellan faser: 20	12 - 17 mellan faser: 31	15 - 18 mellan faser: 24
Insatsnivå låg	1000 μT			10 kV/m		
Insatsnivå hög	6000 μT			20 kV/m		

7.2.3 Arbete med spänning – isolerstångsmetoden

Här gäller i princip samma sak som för arbete med isolerstångsmetoden på luftledning (se avsnitt 6.3.1). Verktygen - stängerna sträcks in i riskområdet från en position utan-för riskområdets yttre gräns. AMS-montören står här på en plattform eller arbetar från en lift. Om full elektrisk isolation uppnås med bara isolerstängerna behöver inte nödvändigtvis plattformen eller liften vara isolerade, men vanligen väljer man ändå isolerande utrustning för att öka säkerheten mot överslag och strömgenomgång.

Då montören står utanför riskområdet men innanför närområdets yttre gräns, blir exponeringen för fält densamma som för arbete nära spänning. De högsta fältnivåerna fås i området mellan faserna och det torde då vara lämpligt att arbeta från en position mellan och under ledarna. Användning av ställning och stänger visas i Figur 33.



Figur 33. Isolerstänger används för att hålla upp faslinorna och arbetet kommer sedan att utföras från en isolerande ställning. Foto från Stefan Nilsson vid ELTEL Networks Infranet AB.

8 Förstärkning av det elektriska fältet invid jordade strukturer

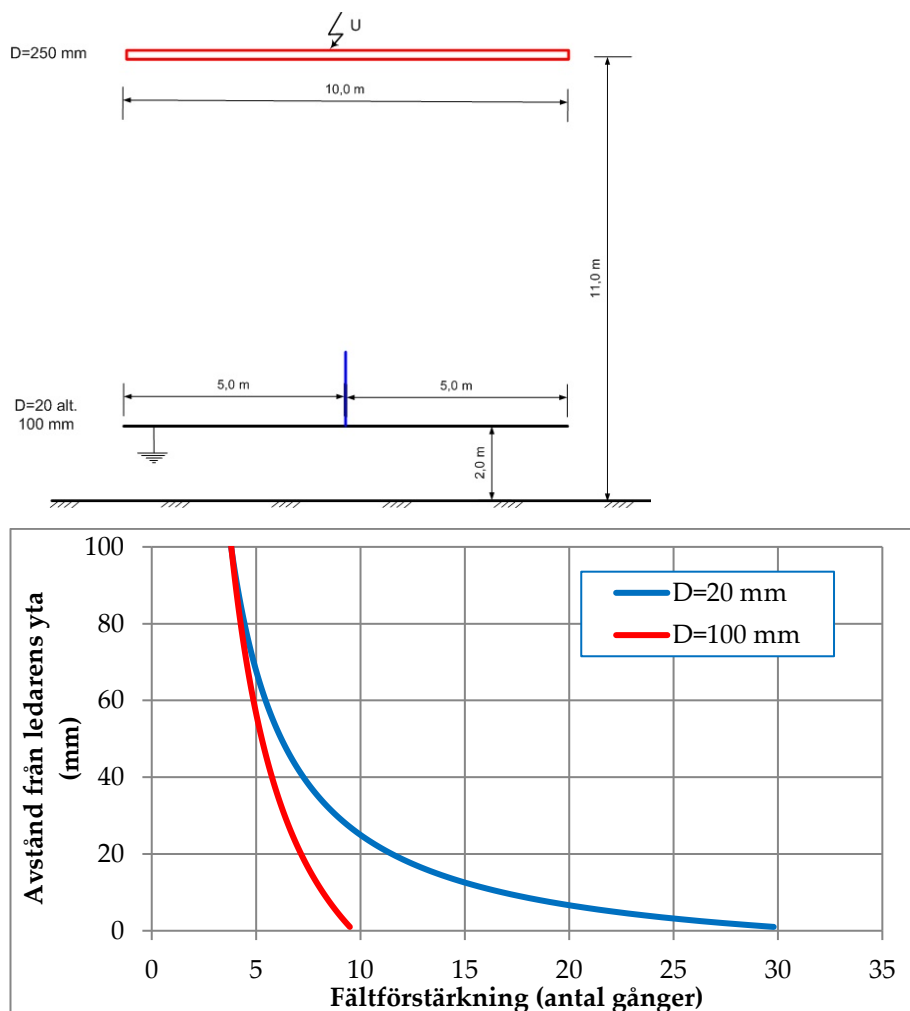
Det elektriska fältet påverkas av ledande strukturer, det har visats på flera ställen i tidigare avsnitt, och det innebär att fältet lätt kan begränsas och eller förstärkas. Ett exempel på det senare är den fältförstärkning på 15 - 16 gånger som sker på hjässan av en person som står rakt upp i ett elektriskt fält. Motsvarande fältförstärkning sker också runt toppen på ett ensamt stativ i ett ställverk. Står någon apparat ovanpå kommer denna att påverka fältbilden och det blir inte då samma påtagliga fältförstärkning runt stativets topp. Likaså sker en förstärkning av E-fältet invid stolparnas regler och även detta har diskuterats i tidigare avsnitt. Det besvärliga med denna fältförstärkning är att den kan öka den lokala fältstyrkan invid jordade föremål så att den blir så hög att man kommer i konflikt med aktuella insatsvärden, och detta trots att man är långt ifrån något spänningssatt föremål. Fenomenet är påtagligt vid högre spänningsnivåer (220 och 420 kV) men kan också få betydelse vid 130/145 kV, som följande beräkningar visar.

En beräkning av fältförstärkningen runt två olika ledare (lina/rör) med diameter 20 respektive 100 mm har genomförts med den enkla modell som visas på nästa sida i Figur 34.

En 10 m lång ledare är horisontellt monterad 2 m ovan mark och är jordad. Rakt ovanför ledaren 11 m över mark finns ett spänningssatt rör, horisontellt monterat och med samma orientering som ledaren under. Det spänningssatta röret är 25 cm i diameter. Det elektriska fältet har beräknats längs en vertikal linje upp från den jordade ledarens mittpunkt och mot det spänningssatta röret. Motsvarande beräkning av det opåverkade fältet har sedan gjorts utan jordad ledare. Fältförstärkningen är då kvoten mellan fältstyrka med och utan jordad ledare. I den nedre delen av Figur 34 visas denna fältförstärkning som funktion av avståndet från ledarens yta. Det framgår tydligt att den mindre ledaren (linan) ger upphov till en betydligt större fält-förstärkning på korta avstånd, men att den också avtar mycket snabbt. På lite större avstånd, efter ca 80 mm, är skillnaden mellan de två obefintlig.

I en station för 130/145 kV är fältstyrkor runt 5 kV/m vanliga 2 m ovan mark och på högre höjd kan 10 kV/m eller mer förekomma. Det senare kan t ex bli aktuellt vid ny- eller ombyggnad av ett fack i en befintlig station som är i drift och då nya ledare skall monteras. Vid sådant arbete kan fältstyrkan alldeles invid en jordad ledare som är 20 mm i diameter komma att uppgå till $10 \times 35 \text{ kV/m} = 350 \text{ kV/m}$. På lite längre avstånd, 25 mm från ytan, har fältförstärkningen minskat till 10 gånger och den resulterande fältstyrkan till 100 kV/m. Då båda dessa nivåer är väl över den speciella insats-nivån för extremiteter på 50 kV/m krävs en anpassad arbetsmetod där man inte behöver ta direkt på linorna med oskyddade händer. Observera att isolerande handskar inte är en lösning på detta problem då de inte direkt begränsar det elektriska fältet. Förvisso gör handskarnas tjocklek (samt tjockleken av en eventuell yttre skyddshandske) att man får ett längre avstånd till linan och därmed ett lägre fält, men det är inte säkert att detta räcker för att

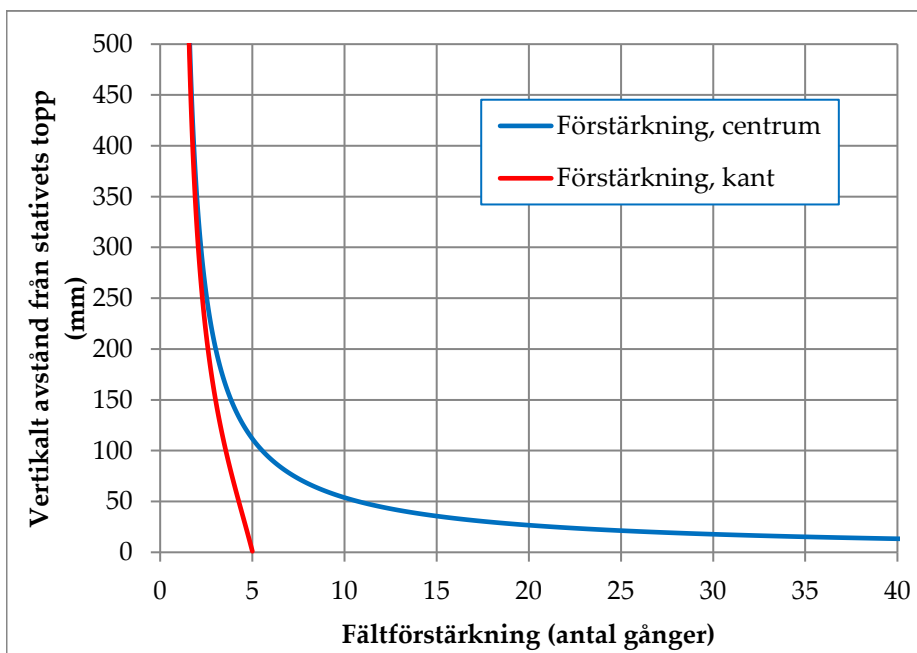
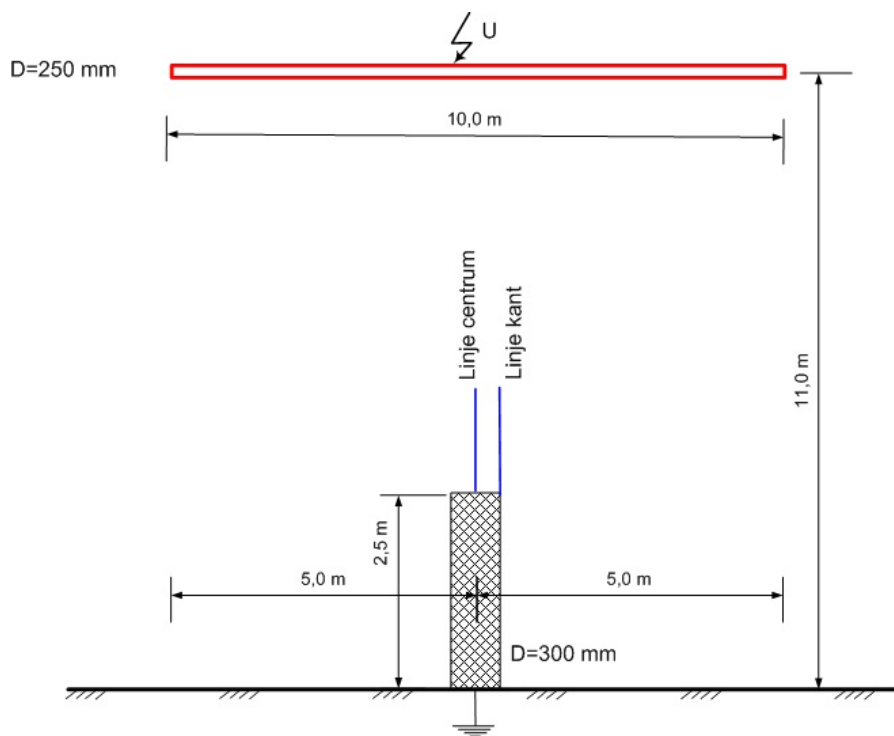
nedbringa fältet till acceptabel nivå. För ett ledarrör med diameter 100 mm blir inte denna effekt så påtaglig och ett sådant rör bör kunna hanteras i ställverksmiljö utan att E-fältet räknat över händer och underarmar överskrider insatsnivån på 50 kV/m.



Figur 34. Beräknad fältförstärkning invid ledare med olika diameter. Beräkningsmodell ovan och resultat nedan.

En större fältförstärkning kan också fås på toppen av ett stativ som står ensamt utan apparat eller stödisolator. Den situationen blir aktuell då man ex vis bygger ett nytt fack invid ett befintligt och spänningssatt fack. Särskilt påtaglig blir fältförstärkningen om det går en spänningssatt luftledning över det blivande facket med sitt stativ. I Figur 35 visas en enkel modell och den beräknade fältförstärkningen ovanför ett 2,5 m högt stativ som kan tänkas stå i ett 130/145 kV ställverk. Förstärkningen blir här så hög att man skall undvika att placera huvud eller bål i detta område om det opåverkade grundfältet är 5 kV/m eller mer, vilket gäller för flertalet fall i stationer för 52 - 145 kV. När en jordad apparat eller isolator placeras på stativet minskar fältförstärkningen påtagligt. I samband med montaget kommer även kranens arm att begränsa fältstyrkan.

Generellt gäller att fältförstärkningen avtar med ökande avstånd i sidled från stativet och om man kommer en halv meter från stativet har den maximala fältförstärkningen minskat till ca 1,5 gånger. Det är därför lämpligt att hålla ett visst avstånd till jordade föremål. Man skall också undvika att placera sig med kroppen mellan ett jordat och ett spänningssatt föremål.



Figur 35. Fältförstärkning längs två vertikala linjer upp från toppen av ett 2,5 m högt stativ med cirkulärt tvärsnitt med $\varnothing = 300\text{ mm}$. Beräkningsmodell ovan och resultat för två linjer nedan.

9 Arbete nära kablar

Vid arbete nära kablar är det endast det magnetiska fältet som behöver bedömas då kablarnas jordade skärm effektivt avskärmar det elektriska fältet. Samtidigt innebär detta att man kan arbeta nära kablar och magnetfältsexponeringen kan därmed bli påtaglig.

Magnetfältet runt kablar beror på strömmen och på kabelkonfigurationen; d v s hur ledarna i ett 3-fas förband är arrangerade. Horisontell förläggning med alla faser på samma nivå ger ett högre magnetfält än en triangulär konfiguration och skillnaden blir ännu större om de enskilda kablarna förläggs med ett mellanrum för att uppnå bättre avkylning. Detta visas i Figur 36, där även magnetfältet ovan en 1-fas kabel finns med för jämförelse. Kablarna i detta exempel kan t ex utgöras av en 130 kV kabel med ytter-diameter 115 mm. Med triangulär konfiguration fås fasavståndet 115 mm, likaså med den kompakta horisontella konfigurationen. Med 70 mm avstånd mellan kablarna, som är ett standardmått, fås fasavståndet 185 mm. Graferna visar att även denna lilla avståndsökning har betydelse för magnetfältet.

Generellt gäller att magnetfältet avtar linjärt med avståndet för en 1-fas kabel, men med avståndet i kvadrat för de horisontella och triangulära konfigurationerna. De tre följande uttrycken [1] – [3] gäller för oändligt långa ledare, men kan användas för att uppskatta magnetfältet från ett kabelförband om man inte behöver exakta värden nära förbandet.

För en oändligt lång ledare (1-fas) kan magnetfältet beräknas enligt:

$$B = \frac{0,2 \cdot I}{R} \quad [1]$$

Där B = flödestätheten i μT , I = strömmen i Ampere och R = avståndet i m mellan kabelns mittpunkt och den punkt där fältet skall beräknas.

Det magnetiska fältet från ett horisontellt 3-fasigt kabelförband kan för längre avstånd uppskattas med:

$$B = \frac{0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot S \cdot I}{R^2} \quad [2]$$

Där B = flödestätheten i μT , S = fasavståndet i m, I = strömmen i Ampere och R = avståndet i m mellan förbandets mittpunkt och den punkt där fältet skall beräknas.

För $R > 5 \text{ S}$ blir felet $< 5 \%$ och för $R > 7 \text{ S}$ blir felet $< 2 \%$.

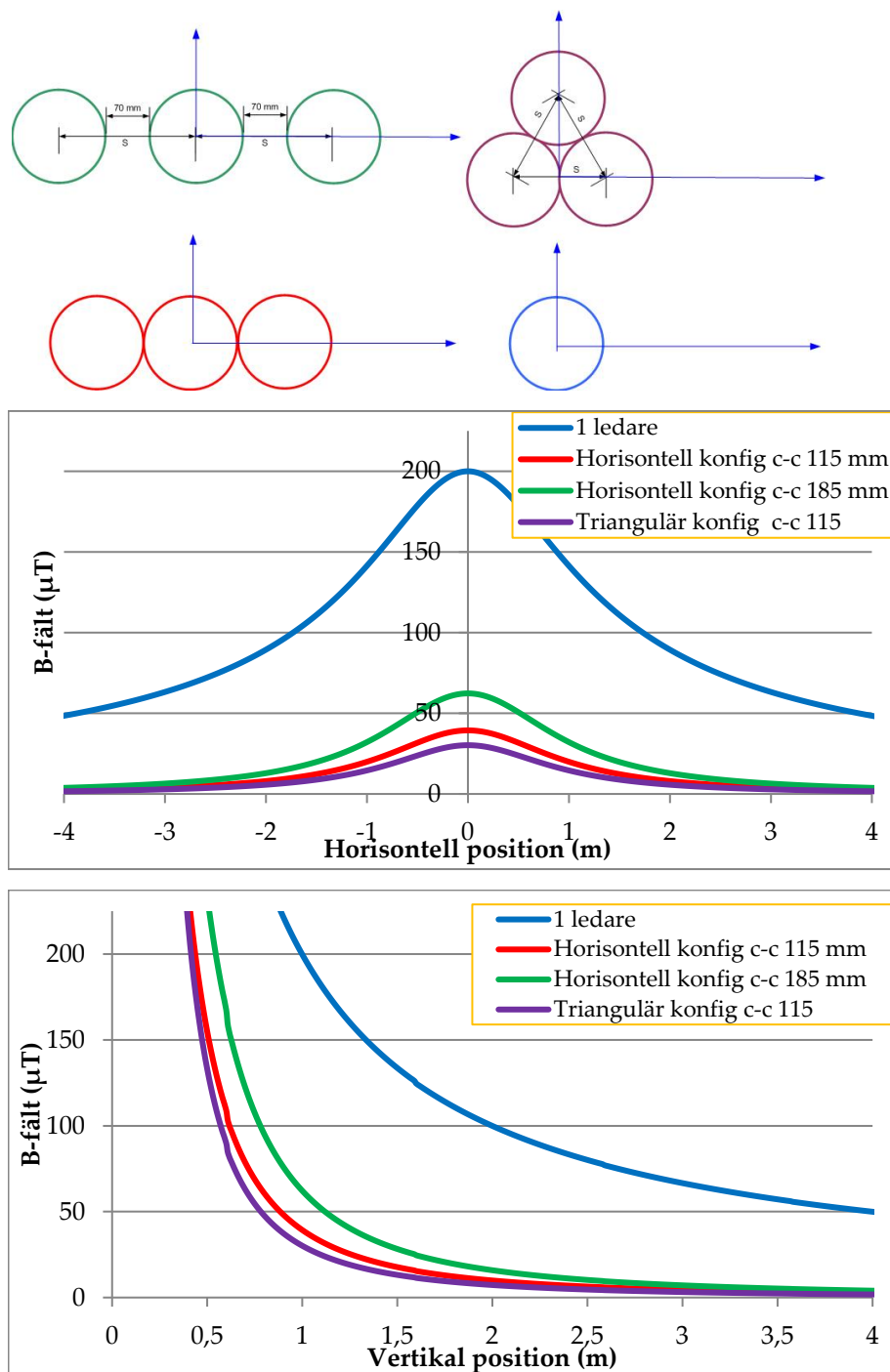
För en triangulär 3-fasig konfiguration kan magnetfältet för längre avstånd beräknas enligt:

$$B = \frac{0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot S \cdot I}{R^2} \quad [3]$$

Där B = flödestätheten i μT , S = fasavståndet i m, I = strömmen i Ampere och R = avståndet i m mellan förbandets mittpunkt och den punkt där fältet skall beräknas.

För $R > 3 S$ blir felet $< 5 \%$ och för $R > 4 S$ blir felet $< 2 \%$.

Treledarkabel kan ses som en kompakt triangulär konfiguration och får ett yttre magnetfält som avtar minst lika snabbt som denna.



Figur 36. Fyra olika ledarkonfigurationer med beräknad magnetfältsnivå längs en horisontell linje 1,0 m ovanför kablarna (mitten) och längs en vertikal linje (nedan) med 0 m vid förbandets mittpunkt. $I = 1\,000\text{ A}$.

För att bättre kunna ge rekommendation om arbete invid kabelförband har magnet-fältet studerats för 1-fas kablar, för 3-fasiga förband med tre kablar i horisontell för-läggning med 70 mm mellan kablarna och för förband med kablarna i triangulär form utan mellanrum mellan kablarna (dvs samma typ av förband som i Figur 36). De valda exemplen kan antas representera spänningar från $U_m = 12$ kV till $U_m = 145$ kV och ledar-areor från 630 mm^2 till 2500 mm^2 . I Tabell 21 ges data för åtta kablar inom spännings-området. Belastningsströmmen baseras på att kabeln är förlagd i luft, att ledaren är av koppar, att ledartemperaturen är 90°C , att skärmen är ansluten i båda ändarna och att ingen ström går i skärmen. Denna nivå på strömmen får betraktas som hög jämfört med vad som är vanligt förekommande för dessa kabeltyper. Om ledaren är av aluminium och arean densamma, blir den maximala strömmen lägre liksom därmed magnetfältet.

Tre kabeltyper ur Tabell 21 har valts ut för beräkning av magnetfältet, se Tabell 22 - Tabell 23. Urvalet har baserats på att magnetfältet ökar med strömmen och med avståndet mellan faserna. I samtliga fall är kablarna 200 m långa och beräkningen har utförts längs linjer som utgår från kablarnas mittpunkt, för de horisontella och triangulära konfigurationerna i horisontell och i vertikal riktning. Beräkningarna har utförts med programmet EMF-7 Magnetic Field (3-D) [19].

I Tabell 22 och Tabell 23 redovisas först beräkningar av magnetfältet vid 100 % ström enligt Tabell 21. Fältet har beräknats vid kabelns mantelyta, vid 1 cm utanför ytan och vid 4 cm utanför ytan. Värdet vid ytan skall ses i relation till 18 mT, som är det högsta insatsvärde som kan accepteras för extremiteterna (händerna), se Tabell 11. Nästa nivå, vid 1 cm utanför ytan, skall jämföras med insatsnivå hög avseende det perifera nerv-systemet. Tillägget på 1 cm baseras på att kläderna skapar ett visst mellanrum mellan kabelytan och huden. Enligt Tabell 11 är insatsnivå hög 6 mT. Den tredje nivån skyddar mot påverkan på det centrala nervsystemet, d v s hjärnan. Här förutsätts att arbets-tagaren använder hjälm och att denna ger ett minimiavstånd på 4 cm mellan kabelytan och hjärnans yttre delar. I det avståndet ingår då även 1 cm för kraniet tjocklek och för det vätskefyllda utrymmet innanför hjärnhinnorna. För denna tredje nivå gäller insatsnivå låg; 1 mT.



Figur 37. Högspänningskabel tillsammans med signal- och annan kraftkabel. Vid arbete med en kabel är det lätt att komma nära andra kablar.

Givetvis finns en möjlighet att använda de aktuella gränsvärdena (LEF) på 2 respektive 7 mT och det leder till några cm kortare minimiavstånd eller högre ström, men då försvinner också den lilla marginal för ofrivilliga rörelser och annat oförutsett som användning av ”enbart” insatsnivåerna ger.

Tabell 21. Kabeldata. Med fet stil markeras de tre kabeltyper för vilka magnetfältet beräknats.

Spänning U_0/U_m (kV)	Ledararea (mm ²)	Ytter- diameter (mm)	Ström. Horisontell konfiguration. (A)	Ström. Triangulär konfiguration. (A)
10/12	630	50	1000	1000
20/24	630	50	1000	1000
30/36	630	65	1000	1000
45/52	2000	90	1600	1900
66/72,5	2000	95	1600	1900
70/84	2000	95	1600	1900
110/123	2500	110	1500	1900
132/145	2500	115	1500	1900

För både de horisontella och de triangulära konfigurationerna gäller att den högsta flödestätheten fås över mittfasen och att den avtar betydligt över ytterfaserna. Detta framgår av Tabell 22 där beräknade värden på t ex kabelytan är högre för de vertikala beräkningslinjerna, rakt över mittfasen, jämfört med motsvarande avstånd för de horisontella linjerna.

För båda huvudfallen gäller att magnetfältet på kabelytan alltid är < 18 mT, även vid de höga strömmarna på 1 000 – 1 900 A. Det går därmed att lägga handen på kablarna utan några restriktioner.

Magnetfältet 1 cm utanför kabelytan är i samtliga fall < 6 mT, vilket gör att det för kroppsdelar utom huvudet inte finns några restriktioner. Arbetskläderna skall i samtliga fall ge ett sådant minimiavstånd att kravet på < 6 mT vid kroppsytan kan innehållas, och det gäller för alla här redovisade kabelvarianter och strömmar.

Hjälmen med dess upphängning och kraniets tjocklek ger ett minsta avstånd mellan en kabel och hjärnan på ca 4 cm och i detta fall gäller låg insatsnivå 1 mT. För kablar i horisontell konfiguration fås magnetfält betydligt över denna nivå rakt över mittfasen. Vid 100 % av nominell ström måste avståndet öka till 95 - 220 mm från kabelytan för att magnetfältet skall bli ≤ 1 mT. För den triangulära konfigurationen krävs att avståndet från ytan ökas till ca 120 mm. Vid lägre ström fås kortare avstånd, men för den horisontella konfigurationen krävs en minskning ända till 26 - 50 % för att klara kravet på 1 mT vid 4 cm från kabelns yta.

Tabell 22. Beräknad magnetfältsnivå. 3-fas horisontell konfiguration.

Konfiguration	Horisont.	Horisont.	Horisont.	Horisont.	Horisont.	Horisont.
Ström (A)	1500		1600		1000	
Ledararea (mm ²)	2500		2000		630	
Ytterdiameter (mm)	115		95		65	
Beräkningslinje	Horisont.	Vertikal	Horisont.	Vertikal	Horisont.	Vertikal
Magnetfält på kabelns yta (mT)	4,23	5,36	5,52	6,88	5,16	6,21
Magnetfält på kabelns yta + 1 cm (mT)	3,51	4,61	4,42	5,75	3,79	4,82
Magnetfält på kabelns yta + 4 cm (mT)	2,24	3,24	2,66	3,85	1,99	2,90
Avstånd från kabelns yta för att uppnå ≤ 1 mT (mm)	125	210	140	220	95	150
Avstånd från kabelns yta för att uppnå ≤ 100 μ T (mm)	760	910	760	900	535	650
Ström vid 1 mT på kabelns yta + 4 cm (A)	45 % 670	31 % 460	38 % 600	26 % 415	50 % 500	34 % 340

Om man vill undvika att ha olika förhållningssätt till kablar i horisontell konfiguration jämfört med i triangulär konfiguration, ger ett minimiavstånd på 250 mm mellan kabelns yta och huvudet möjlighet till arbete upp till angiven ström 1 500/1900, 1 600/1900 respektive 1 000/1000 A.

Det gäller med andra ord att undvika att komma nära kablarna med huvudet och i flertalet fall bör det inte vara något problem. Däremot när det är trångt, kanske i en kabelkulvert där arbete måste utföras på en kabel samtidigt som det ligger andra kabelförband på stegar i närheten, kan det säkerligen vara svårt att kunna säkerställa ett visst minimiavstånd, se ett exempel på detta visas i den tidigare visade Figur 37 och i Figur 38. I mer speciella situationer kan lämpligen en enkel skärm användas för att förhindra att huvudet kommer för nära ett kabelförband i drift.

Tabell 23. Beräknad magnetfältsnivå. 3-fas triangulär konfiguration.

Konfiguration	Triang.	Triang.	Triang.	Triang.	Triang.	Triang.
Ström (A)	1900		1900		1000	
Ledararea (mm ²)	2500		2000		630	
Ytterdiameter (mm)	115		95		65	
Beräkningslinje	Horisont.	Vertikal	Horisont.	Vertikal	Horisont.	Vertikal
Magnetfält på kabelns yta (mT)	4,86	4,73	5,91	5,93	4,52	4,50
Magnetfält på kabelns yta + 1 cm (mT)	3,96	3,83	4,62	4,60	3,19	3,14
Magnetfält på kabelns yta + 4 cm (mT)	2,41	2,32	2,62	2,56	1,52	1,47
Avstånd från kabelns yta för att uppnå 1 mT (mm)	120	116	120	120	65	65
Avstånd från kabelns yta för att uppnå ≤ 100 µT (mm)	620	610	580	570	335	335
Ström vid 1 mT på kabelns yta + 4 cm (A)	41 % 780	43 % 820	38 % 720	39 % 740	65 % 650	68 % 680

För kabelgeometrier och strömvärden som inte finns i tabellerna ovan kan enkla överslagsberäkningar göras. Magnetfältet är direkt proportionellt mot strömmen och mot fasavståndet, så tabellerna kan enkelt skalas om till andra värden. Avståndet centrum-centrum som använts för de horisontella konfigurationerna är ett normalt före-kommande avstånd på 70 mm + 2 kabelradier. För stora fasavstånd närmar sig magnetfältsnivån den som fås från en lång rak ledare.



Figur 38: Kabelförband i tunnel med två parallella 3-fasgrupper i triangulär konfiguration. Kabelarea 1200 mm². Vid arbete på det inre förbandet är det lätt att komma nära det yttre.

10 Sammanfattning och riktlinjer för arbete i elektriska och magnetiska fält

För arbete i miljöer där det förekommer elektriska och magnetiska fält finns sedan 1 juli 2016 en föreskrift från Arbetsmiljöverket (AFS 2016:3) som anger de insats- och gränsvärden för dessa fält. Enligt föreskriften skall arbetsgivaren som en del i det systematiska arbetsmiljöarbetet bedöma de risker som uppstår på ett fält på arbetsplatsen och om nödvändigt mäta eller beräkna nivåerna på dessa fält. Om det då visar sig att insatsnivåerna överskrider skall arbetsgivaren ta fram en handlingsplan för att förebygga exponering överstigande gränsvärdet. Gränsvärdena är i detta fall grundade på akuta och övergående effekter på människokroppen och uttryckta som en elektrisk fältstyrka (mV/m) inne i kroppen. Denna storhet kan inte mätas direkt men har räknats om till mätbara elektriska och magnetiska fält utanför kroppen – de så kallade insatsvärdena. Överskrider inte insatsvärdena kommer inte heller gränsvärdena att överskridas. Det finns två olika gränsvärden och motsvarande insatsvärden för både elektriska och magnetiska fält. Därtill finns även insatsvärden för extremiteterna. Vid 50 Hz gäller följande insatsvärden enligt Tabell 24 nedan.

Tabell 24. Översikt av insatsvärden för magnetiska (B-) och elektriska (E-fält). LEF är kortform för *Exposure Limit Equivalent Field* dvs ett fält som motsvarar gränsvärdet.

- (a) Värden från Arbetsmiljöverket AFS 2016:3 [6].
- (b) Värden från standard prEN 50647 [12].
- (c) Värden från Svenska kraftnät [17].

Beteckning	Typ av fält	Skyddar mot	Begränsningen avser	Nivå B-fält	Nivå E-fält
Insatsnivå för extremiteter	Inhomogent fält	Hälsoeffekter	Händer och underarmar		50 kV/m (c)
Insatsnivå för extremiteter	Inhomogent fält	Hälsoeffekter	Händer och fötter	18 000 µT (a)	
LEF	Homogent fält	Hälsoeffekter	Högsta värde i kroppen	7 000 µT (b)	24 kV/m (c) (1)
Insatsnivå hög	Homogent fält	Hälsoeffekter	Högsta värde i kroppen	6 000 µT (a)	20 kV/m (a)
LEF	Homogent fält	Sensoriska effekter	Högsta värde i huvudet	2 000 µT (b)	35 kV/m (b) (1)
Insatsnivå låg	Homogent fält	Sensoriska effekter	Högsta värde i huvudet	1 000 µT (a)	10 kV/m (a)

Not 1. Observera att det i praktiken är LEF för hälsoeffekter (24 kV/m) som sätter gränsen för exponering av hela kroppen, inklusive huvudet.

I bedömningen av en specifik arbetssituation måste hänsyn tas inte bara till fältets nivå utan även till arbetsplatsen utformning och hur kroppen kommer att placeras i förhållande till spänningssatta objekt. Det blir därför praktiskt att ta hänsyn till de avstånd som finns tabellerade som avstånd till risk- och närområdets yttre gräns.

Arbetsuppgifterna kan delas in i arbete på luftledningar, i stationer och ställverk och på kablar.

10.1 RIKTLINJER FÖR ARBETE PÅ LUFTLEDNINGAR

Vid arbete på luftledningar utanför närområdets yttre gräns, dvs vid sk Arbete utan spänning, är nivåerna för både det elektriska och det magnetiska fältet under de lägre insatsnivåerna (10 kV/m resp. 1000 μ T).

Arbete nära spänning kan utföras med vissa begränsningar. Vid dessa förhållandevis långa avstånd utgör inte det magnetiska fältet något problem, men det elektriska fältet kan ligga i området låg – hög insatsnivå (10-20 kV/m) runt faslinorna. Längs ett stolpben på 145 kV ledning kan fältstyrkan närma sig men knappast överstiga 24 kV/m. En fuktig trästolpe eller en stolpe med nedledare ger generellt högre fältstyrka än en torr stolpe och högst fältstyrka fås i nivå faslinorna. Arbete från skylift med isolerad korg rekommenderas för arbete på 145 kV ledningar och kan med fördel användas för lägre spänningar.

Handskmetoden kan användas upp till 36 kV systemspänning men används vanligen upp till 24 kV. Handskarna isolerar för spänningen men begränsar varken det elektriska eller det magnetiska fältet. Vid 36 kV krävs ett minsta avstånd på 25 cm mellan faslina och huvud-bål och vid 24 kV krävs 17 cm för att klara den höga insats-nivån för E-fält (20 kV/m). Detta bör inte vara till hinder för arbetsmetoden, men kräver en viss uppmärksamhet. Den elektriska fältstyrkan alldeles invid faslinorna blir mycket hög och även i förhållande till insatsvärdet för extremiteter på 50 kV/m. Räknat över händer och underarmar fås dock acceptabla förhållanden för 12 och 24 kV, men inte för 36 kV. För denna högsta spänningsnivå krävs någon form av verktyg som ger en viss distans. Det magnetiska fältet är högt invid faslinorna, men avtar snabbt. Den högre insatsnivån på 6 000 μ T passeras efter ca 2 cm och den lägre nivån på 1 000 μ T efter ca 15 cm. Detta skall inte innebära något hinder eller större besvär för arbetsmetoden.

Vid arbete med spänning med isolerstångsmetoden befinner sig montören utanför riskområdet och detta kan då likställas med Arbete nära spänning.

Arbete med barhandsmetoden kan bli aktuellt på ledningar för 145 kV och 72,5 kV och möjligen för 52 kV. Inverkan av det elektriska fältet begränsas bäst med användning av en sk ledande dräkt. En hel dräkt med huva rekommenderas och för 145 kV även ett ledande visir som ger ett förstärkt skydd för ansiktet. Ledande handskar krävs också vid 72,5 och 145 kV, eftersom E-fältet är högt invid faslinorna. Högst fältstyrka fås i området mellan faslinorna, så därför bör arbetet ske från en position utanför eller under faslinorna. Detta mer eller mindre förutsätter användning av en lift med isolerad korg. Det magnetiska fältet är här ett mindre problem och kräver bara en medvetenhet om frågan. Avståndet mellan fasledare och huvud bör vara minst ca 10 cm vid 800 A och 20 cm vid 1600 A. För övriga kroppsdelar gäller ca 3 respektive ca 6 cm.

10.2 RIKTLINJER FÖR ARBETE I STATIONER OCH STÄLLVERK

För kapslade ställverk för 12 och 24 kV utgör det elektriska fältet inget problem då kapslingen effektivt avskärmar fältet. Inte heller vid äldre och öppna mellanspannings-ställverk når E-fältet över aktuella insatsvärden. I ställverksrummet, omedelbart framför fullt belastade fack och samlingsskena, kan det magnetiska fältet uppgå till knappt 500 μT , väl under låg insatsnivå. Högre magnetfältsnivåer, mellan låg och hög insatsnivå (1000 - 2000 μT), kan fås vid arbete på kabelsidan i ett fack om facken på båda sidor är fullt belastade.

Vid arbete på längre avstånd i öppna stationer för 52–145 kV, s k Arbete utan spänning, är magnetfältsnivån vid full belastning väl under låg insatsnivå. Det elektriska fältet är också lågt i anläggningar för 52 och 72,5 kV, likaledes väl under låg insatsnivå. I stationer för 145 kV är E-fältet vanligen under låg insatsnivå, men fältförstärkning kan ge upphov till lokalt högre fält – upp mot hög insatsnivå (20 kV/m). Mycket lokalt kan fältstyrkan bli ännu högre, men det är då framförallt händerna som kan exponeras för sådana fält.

Vid Arbete nära spänning är magnetfältsnivån fortfarande väl under låg insatsnivå medan det elektriska fältet vid arbete från marknivå ligger mellan låg och hög insatsnivå. I det begränsade området mellan faserna som ligger utanför riskområdet kan fältstyrkan nå upp över 24 kV/m, så detta område bör reserveras för Arbete med spänning.

Vid Arbete med spänning, med isolerstångsmetoden, blir bedömningen med avseende på fält densamma som för Arbete nära spänning, då montören arbetar från en position utanför riskområdet.

10.3 FÖRSTÄRKNING AV DET ELEKTRISKA FÄLTET INVID JORDADE STRUKTURER

Det elektriska fältet påverkas av ledande föremål och därmed kan det ske en lokal men påtaglig förstärkning av det elektriska fältet invid jordade föremål, som t ex vid apparatstativ, ledarrör och linor. Liten radie, kantigheter och spetsar ger hög fält-förstärkning. Men, för att det resulterande fältet skall bli besvärande högt (>24 kV/m), krävs att det opåverkade fältet är >5 kV/m, vilket gör att detta är en fråga för i huvudsak stationer för 130/145 kV. Vid ny- eller ombyggnad av ett fack i en station kan fältstyrkan invid linor och stativ nå höga värden och kräva särskild varsamhet. Det är dock svårt att i mer generella termer peka ut alla de situationer där fältförstärkningen kan bli så besvärande hög att det krävs skyddsåtgärder.

10.4 RIKTLINJER FÖR ARBETE PÅ KABLAR

Högspänningskablar är omslutna av jordad skärm som effektivt begränsar det elektriska fältet. Kablarnas isolation gör det samtidigt möjligt att arbeta med kroppen nära dem och komma in i ett område med högt magnetiskt fält. Nivån på fältet beror på kabelförbandets geometri, där ett 3-fasigt förband är mer gynnsamt än ett 1-fasigt. Likaså är ett 3-fasigt förband med kablarna i triangelform mer gynnsamt än ett förband med faserna horisontellt placerade.

Generellt gäller att man skall hålla huvudet på avstånd från kabelförbandet och det gäller framförallt rakt över (och under) mittfasen i det horisontella förbandet. För en horisontell förläggning krävs upp till 220 mm vid full märkström 1600 A. För en triangulär förläggning räcker det 100 mm. Ett minimiavstånd på 250 mm mellan kabelyta och huvud ger således marginal för arbete på båda typerna av förband. Magnetfältet på kablarnas yta blir högt vid märkström, men inte över insatsvärdet för händerna. Man kan alltså ta i kablarna även om de är fullt belastade.

Vid arbete i trånga utrymmen, som i en kulvert, kan t ex en tillfälligt placerad skärm användas för att säkerställa att inte huvudet kommer för nära ett kabelförband i drift.

10.5 ÖVERSIKT AV BEDÖMDA ARBETSUPPGIFTER

I översikten i Tabell 25 visas resultatet av en bedömning av elektriska och magnetiska fält vid ett antal olika arbetsuppgifter.

Tabell 24. Översikt av arbetsuppgifter och exponeringsförhållanden.

Under låg insatsnivå. Arbetet kan utföras.	Låg – hög insatsnivå. Arbetet kan utföras med vissa restriktioner.	Över hög insatsnivå. Arbetet bör inte utföras på detta sätt
---	---	--

Pos	Arbetsuppgifter och förutsättningar för exponering	Bedömning m a p elektriskt fält	Bedömning m a p magnetiskt fält
Luftledning			
1	Luftledningar 24-145 kV. Arbete Utan Spänning.	Under låg insatsnivå.	Under låg insatsnivå.
2	Luftledningar 24-72,5 kV. Arbete Nära Spänning, vid närområdets inre gräns.	Lokalt låg – hög insatsnivå	Under låg insatsnivå.
3	Luftledningar 145 kV. Arbete Nära Spänning, längs stolpben och i nivå med faslinan.	Lokalt hög insatsnivå - 24 kV/m	Under låg insatsnivå.
4	Luftledningar 24-145 kV. Arbete Med Spänning. Isolerstångsmetoden.	Samma som Arbete Nära Spänning. Pos 2 och 3	Samma som Arbete Nära Spänning. Pos 2 och 3
5	Luftledningar 12-24 kV. 630 A. Arbete Med Spänning. Isolerhandskmetoden	Min avstånd till faslinan: Huvud/bål 17 cm	Min avstånd till faslinan: Huvud 15 cm. Större kroppsdel 2 cm.
6	Luftledningar 36 kV. 630 A. Arbete Med Spänning. Isolerhandskmetoden.	Min avst till faslinan Huvud/bål: 25 cm > 50 kV/m vid faslinan för händerna.	Min avstånd till faslinan: Huvud 15 cm. Större kroppsdel 2 cm.
7	Luftledningar 52-72,5 kV. 800 A. Arbete Med Spänning. Barhandsmetoden.	Ledande dräkt förutsätts	Min avstånd till faslinan: Huvud 9 cm. Större kroppsdel 3 cm.

Pos	Arbetsuppgifter och förutsättningar för exponering	Bedömning m a p elektriskt fält	Bedömning m a p magnetiskt fält
8	Luftledningar 145 kV. 1600 A. Arbete Med Spänning. Barhandsmetoden med ledande dräkt och visir.	Ledande dräkt förutsätts	Min avstånd till faslinan: Huvud 17 cm. Större kroppsdel 6 cm.
Stationer och ställverk			
9	Kapslade ställverk för 12 och 24 kV. 3150 A i samlingsskena och 1600 A i fack. Arbete framför stängda skåp.	Under låg insatsnivå.	Under låg insatsnivå.
10	Kapslade ställverk för 12 och 24 kV. 3150 A i samlingsskena och 1600 A i fack. Arbete inne i fack med anslutning av hsp kablar.	Under låg insatsnivå.	Låg - hög insatsnivå.
11	Luftisolerade stationer för 52/72,5. 1250 resp. 2500 A i samlingsskena och 825 resp. 1600 A i fack. Arbete Utan Spänning.	Under låg insatsnivå.	Under låg insatsnivå.
12	Luftisolerade stationer för 145 kV. 2500 A i samlingsskena och 1600 A i fack. Arbete Utan Spänning.	Under låg insatsnivå. Fältförstärkning kan lokalt ge ≤ 20 kV/m.	Under låg insatsnivå.
13	Luftisolerade stationer för 52/72,5 kV. 1250/2500 A i samlingsskena och 825/1600 A i fack. Arbete Nära Spänning. Ej arbete i området mellan faserna.	Låg - hög insatsnivå.	Under låg insatsnivå.
14	Luftisolerade stationer för 145 kV. 2500 A i samlingsskena och 1600 A i fack. Arbete Nära Spänning. Ej arbete i området mellan faserna.	Låg - hög insatsnivå.	Under låg insatsnivå.
15	Luftisolerade stationer för 52/72,5/145 kV. 1250/2500/2500 A i samlingsskena och 825/1600/1600 A i fack. Arbete mellan faserna.	Lokalt över hög insatsnivå mellan faserna.	Under låg insatsnivå.
16	Luftisolerade stationer för 52/72,5/145 kV. Arbete Med Spänning. Isolerstångsmetoden.	Samma som Arbete Nära Spänning. Pos 13-14.	Samma som Arbete Nära Spänning. Pos 13.

Pos	Arbetsuppgifter och förutsättningar för exponering	Bedömning m a p elektriskt fält	Bedömning m a p magnetiskt fält
Kablar			
17	Horisontell konfiguration 132/145 kV / 2500 mm ² / 1500 A 66 /72,5 kV / 2000 mm ² / 1600 A 30 /36 kV / 630 mm ² / 1000 A /1600/1000 A	Inget yttre E-fält	Under låg insatsnivå vid >220 mm från kabelns yta till huvudet.
18	Triangulär konfiguration 132/145 kV / 2500 mm ² / 1900 A 66 /72,5 kV / 2000 mm ² / 1900 A 30 /36 kV / 630 mm ² / 1000 A	Inget yttre E-fält	Under låg insatsnivå vid >100 mm från kabelns yta till huvudet.

11 Referenser

1. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields, and to electromagnetic fields (up to 300 GHz). ICNIRP Guidelines 1998. Health Physics. April 1998. Vol 74. No 4. pp 494-522.
2. Rådets rekommendation av den 12 juli 1999 om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält (0 Hz – 300 GHz).
3. Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält. SSMFS 2008:18.
4. Europaparlamentets och rådets direktiv 2013/35/EU av den 26 juni 2013 om mini-mikrav för arbetstagares hälsa och säkerhet vid exponering för risker som har sam-band med fysikaliska agens (elektromagnetiska fält) i arbetet (20:e särdirektivet enligt artikel 16.1 i direktiv 89/391/EEG) och om upphävande av direktiv 2004/40/EG.
5. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics. December 2010. Volume 99. No 6. pp 818-836.
6. Elektromagnetiska fält. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om elektromagnetiska fält och allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna. AFS 2016:3.
7. Icke-bindande vägledning till god praxis vid tillämpningen av direktiv 2013/35/EU Elektromagnetiska fält. Volym 1: Praktisk vägledning.
8. Praktisk vägledning för god praxis vid tillämpningen av direktiv 2013/35/EU Elektromagnetiska fält Volym 2: Fallstudier.
9. Icke-bindande vägledning för god praxis vid tillämpningen av direktiv 2013/35/EU om elektromagnetiska fält. Vägledning för små och medelstora företag.
10. Systematiskt arbetsmiljöarbete. AFS 2001:1. Arbetsmiljöverket. 2001.
11. Guide for implementing directive 2013/35/EU on electromagnetic fields. ENSTO-E. 2016.
www.entsoe.eu/Documents/SDC%20documents/entsoe_EMF_report_web.pdf
12. Basic standard for the evaluation of workers' exposure to electric and magnetic fields from equipment and installations for the production, transmission and distribution of electricity. Draft prEN 50647. Cenelec. April 2016.
13. Isabelle Magne and François Deschamps: Electric field induced in the human body by uniform 50 Hz electric and magnetic fields: bibliography analysis and method for conservatively deriving measurable limits. Journal of Radiological Protection. 36. 2016. pp 419-436.
14. Richard Findlay. Dosimetry Study Part II. The Effects of Body Height and Mass on the Calculated Induced Electric Fields at 50 Hz and Comparisons with the EMF Directive. Contract Report. EMFCOMP-07-2013.
15. R. P. Findaly: Induced electric fields in the Maxwell surface-based human modell from exposure to external low frequency electric fields. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 162. No. 3. 2014. pp 244-253.
16. Peter Dimbylow: Development of the female voxel phantom, NAOMI, and its application to calculations of induced current densities and electric fields from applied low frequency magnetic and electric fields. Physics in Medicine and Biology. 50. 2005. pp 1047-1070.

17. Elektrisk fältstyrka vid rondning och underhållsarbete i stationsmiljö.
STRI rapport R16-1232 av Joacim Törnqvist och Göran Olsson.
Rapporten kan laddas ner från Aktörsportalen/Teknik och entreprenad/Arbete i elektriska fält på Svenska kraftnäts hemsida.
18. Skötsel av elektriska anläggningar. Del1: Allmänna fordringar. SS-EN 50 110-1, utg 3: 2013.
19. EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200 kV and Above. Third Edition. EPRI, Palo Alto, CA, USA. 2005.
20. Larsson, Anette och Olsson, Göran: Arbete i höga elektriska och magnetiska fält. Luftledning 70-400 kV. Elforsk rapport 09.99.
21. Göcsei, Gábor m fl: Shielding efficiency of conductive clothing during live-line maintenance. ICOLIM 2014.

ELEKTRISKA OCH MAGNETISKA FÄLT I DISTRIBUTIONS- OCH REGIONNÄT

I juli 2016 trädde en föreskrift från Arbetsmiljöverket i kraft som reglerar arbetstagares exponering för elektriska och magnetiska fält inom frekvensområdet 0 Hz – 300 GHz. Givna gränsvärden baseras på vetenskapligt vedertagna samband mellan exponering för fält och akuta och övergående effekter på människokroppen.

Här beskrivs vilken påverkan föreskriften får på byggnads- och underhållsarbete i distributions- och regionnät; från 10/12 till 130/145 kV, och fokus är på fält med frekvensen 50 Hz.

Ett centralt moment är att bedöma de risker för arbetstagarnas hälsa som en viss exponering för ett elektriskt eller magnetiskt fält kan medföra. En uppskattning av fältets storlek kan göras genom att utnyttja de vägledningar som finns eller genom att utföra beräkningar och eller mätningar. Arbetstagarna ska informeras om resultatet av riskbedömningen och om eventuella effekter på människan.

Rapporten innehåller också en vägledning för riskbedömning av arbete på luftledningar, i stationer och ställverk och med kablar. Arbetsuppgifterna har delats in i grupperna arbete utan spänning, arbete nära spänning och arbete med spänning.

Resultaten visar att det elektriska fältet är en mer begränsande faktor än det magnetiska, men att den praktiska betydelsen för om och hur arbetsuppgifterna kan utföras är ganska liten.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se