

Regelverk och råd vid mobil elektrifiering i bergtäkter

Författare: Elin Rubensson, Lars Illis, Göran Forsling, Sweco



Bakgrund

Detta dokument avser att besvara de frågeställningar som SBMI har kring uppfyllande av elsäkerhet och regelverk för en täktägare som ska driva ett kraftsystem som involverar både hög- och lågspänning. Frågorna har besvarats utifrån bland annat Elsäkerhetsverkets föreskrifter, Svensk Standard, Starkströmsföreskrifterna och ESA. Frågeställningarna i detta dokument utgör en grund till hur konceptförslag för mobil elektrifiering av bergtäkter kan utföras.

1. Högspänningsfrågor (> 1kV)

1.1. Nätbolagets respektive kundens ansvarsfördelning i leveranspunkt

Innehavarsvaret är tvingande enligt lag.

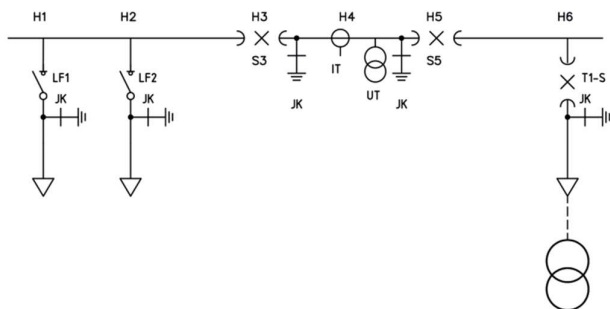
Innehavaren av en anläggning är den person som äger, råder och har bestämmanderätten över anläggningen.

Enligt ESA om innehavandeansvaret; Om ett företag, en förvaltning eller annan organisation är innehavare, så är det företagets verkställande direktör eller motsvarande som har det yttersta innehavarsvaret. Vid behov kan arbetsuppgifter som erfordras för att uppfylla detta ansvar, delegeras inom verksamhetens organisation. I verksamheter med många och/eller geografiskt spridda starkströmsanläggningar är delegering ofta nödvändig.

Innehavare av en elanläggning måste alltid utse en elanläggningsansvarig, vars ansvar är att stå för den elektriska anläggningens skötsel. Det är elanläggningens innehavare som är skyldig att se till att elanläggningen är utförd och hålls/drivs i sådant skick att den ger nödvändig säkerhet för person och egendom, inklusive fortlöpande tillsyn. Innan en elanläggning får tas i drift måste innehavaren ha utsett en elanläggningsansvarig med erforderlig kompetens.

Fler roller utöver elanläggningsansvarig kan besättas, se ESA. Exempel på roller är eldriftledning, elsäkerhetsledare, kopplingsbiträde och kopplingsledare.

Generellt gäller "IBH14 – Anslutning av kundanläggningar >1-36kV till elnätet" för utformning av **kundens anläggning**. IBH14 är baserad på Starkströmsföreskrifterna, Svensk Standard och EBR:s Elsäkerhetsanvisningar (ESA).



Ansvarsgräns mellan nätägare och kund är anslutningspunkten. Ovan bild visar lämplig exempelutformning på kundens ställverk i enlighet med IBH14, där fack H1 och H2 är nätägarens inkommande kablar – som nätägaren ansvarar för. I SBMI:s fall kommer det troligtvis bara vara en inkommande kabel ty en radiell anslutning, och beroende på val av koncept kommer det antingen vara en transformator enligt ovan bild (10/1kV) alternativt bara vara en utgående 10kV-kabel ned till transformatorn i täkten.

Elanläggningsinnehavaren ansvarar för all utrustning och tillsyn efter inkommande kablar.

1.2. Manuellt till/frånslag av elanläggningen – får man bryta strömmen själv vid 10 kV? (bryt och lås)

Manuellt till- och frånslag av 10 kV brytare kan utföras lokalt eller fjärrmanövrerad. Kopplingen ska utföras av anläggningens elansvarige som utsetts av innehavaren. Brytaranordningen med frånskiljning och jordning ska vara försedd med möjlighet att låsa med speciell bygel där flera hänslås kan appliceras. Låsen ska ha uppgift om vem som låst tillsammans med telefonnummer.

Ur standard SS-EN 50110-1

5.2 Kopplingar

5.2.1

Kopplingar är ämnade att förändra en anläggnings elektriska kopplingsläge.

Det finns två typer av kopplingar:

- driftmässiga till- och frånkopplingar av anläggningar, samt start och stopp av utrustningar med anordningar konstruerade så, att de inte innebär någon fara om de används på avsett sätt
- från- och tillkoppling av anläggningar för arbete.

Kopplingar kan utföras på platsen eller genom fjärrmanövrering.

Elsäkerhetsanvisningarna (ESA) omfattar säker skötsel av och säkert arbete på eller i anslutning till elektriska anläggningar. Via ESA följer elbranschen arbetsmiljölagen, elsäkerhetslagen och branschens tolkning av SSEN 50110-1 Skötsel av elektriska anläggningar. Exempelvis så är ESA ett exempel på sådana anvisningar som avses i Elsäkerhetsverkets föreskrifter. ESA är ett förtydligande och komplement till SS-EN 50110-1. I SS-EN 50110-1 finns en funktion, *elanläggningsansvarig (besviken ovan)*, vilken utses av innehavaren. Den elanläggningsansvarige beslutar i vilken grad ESA implementeras i egen verksamhet.

Ur SS-EN 50110-1

6.2 Arbete utan spänning

6.2.1 Allmänt

Detta avsnitt anger grundläggande fordringar ("de fem säkerhetsreglerna") för att säkerställa att den elektriska anläggningen på arbetsplatsen är spänningslös och säker så länge arbete pågår. Detta fordrar att arbetsplatsen är klart definierad. Efter det att den avsedda elektriska anläggningen har identifierats ska följande fem grundläggande åtgärder vidtas i angiven ordning om det inte föreligger väsentliga skäl att göra på annat sätt:

- fränkilj
- skydda mot tillkoppling (blockering)
- kontrollera att driftspänningen är fränkopplad
- jorda och kortslut
- anbringa skydd mot närbelägna spänningssatta delar.

Medgivande att påbörja ett arbete ska ges till elsäkerhetsledaren av eldriftledaren. Varje person som deltar i arbetet ska vara fackkunnig, instruerad eller övervakas av en sådan person.

6.2.2 Fränkiljning

Den anläggningsdel på vilken arbete ska utföras ska fränkiljas från alla matningskällor. Fränkiljningen ska bestå av ett luftgap eller av en likvärdig isolation som ska säkerställa att fränkiljningspunkten inte kan överbryggas elektriskt.

6.2.3 Skydd mot tillkoppling (blockering)

Alla elkopplare som har använts för att fränkilja den elektriska anläggningsdelen för arbetet ska blockeras, företrädesvis genom att manövermekanismen låses. Om låsanordning saknas ska likvärdig åtgärd för att blockera vidtas enligt etablerad praxis. Om en hjälpkraftkälla erfordras för manövrering av elkopplaren, ska kraftkällan blockeras eller tas ur drift. Anslag som förbjuder obehörig manöver ska sättas upp. Om blockering åstadkoms genom fjärrmanöver ska lokal manöver vara förhindrad. Överförings- och förreglingssystem som används för detta ändamål ska vara tillförlitliga.

Anläggningsdelar som fortfarande är spänningssatta efter fränkiljningen, t ex kondensatorer och kablar, ska urladdas med lämplig anordning.

1.3. Får man flytta en högspänningskabel ovan mark inom täkt när den är spänningssatt?

Det finns inget regelverk som säger att man inte får flytta en spänningssatt kabel. Innan en eventuell flytt av spänningssatt kabel måste en riskbedömning utföras och säkerhetsåtgärder vidtas för att förhindra farliga potentialer vid direkt- och indirekt beröring. Det måste t.ex säkerställas att kraftkabelns yttermantel ej är skadad på sådant sätt att den kan utgöra fara och att skyddsskärm är hel längs hela kabeln. Kabel ska vara utförd med skyddsskärm och jordad i bägge ändar. Reläskydd och/eller säkringar ska fungera och vara anpassade för den kabel den/de avser skydda och snabbast möjligt kunna felbortkoppla, med marginal, lägsta förekommande kortslutnings- och jordslutningsströmmar. Vanligt förekommande är att göra kabeln spänningslös innan flytt för att undvika risker. I de fall gruvkabel används ändras förutsättningarna åt det bättre.

ELSÄK-FS 2006:1 "Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet" ska tillämpas genomgående. Speciellt relevant för frågan om flytt av spänningssatt högspänningskabel är följande:

"7§ Vid arbete på eller i närheten av en spänningssatt anläggning skall säkerhetsåtgärder vidtas för att förhindra att de som deltar i arbetet skadas av strömgenomgång, verkan av ljusbåge eller kortslutning".

1.4. Får man själv gräva ner och återfylla runt en högspänningskabel inom täkt? Vilket djup krävs och vilka krav på återfyllnadsmaterial?

Starkströmsföreskrifterna (Del C4 avsnitt C42) anger att elektriskt arbete ska utföras av, eller under ledning av, en för arbetet ansvarig person, en elarbetsansvarig. Den elarbetsansvarige skall vara fullt förtrogen med arbetet och arbetsmetoden samt ha nödvändig kännedom om arbetsplatsen och tillse att betryggande skyddsåtgärder vidtas. Den elarbetsansvarige skall förvissa sig om att varje arbetare som deltar i arbetet har erforderlig kunskap om innebörden av föreskrifterna om anläggningars skötsel och av de eventuella särskilda anvisningar som är fastställda för anläggningen eller arbetet¹.

Svensk Standard för skötsel av elektriska starkströmsanläggningar bör användas som komplement till ovanstående föreskrift.

I SS-EN 50110-1 (avsnitt 4.1-4.3) nämns bland annat att det ansvar som tilldelats de personer som svarar för säkerheten för dem som deltar i ett arbete eller som påverkas eller kan påverkas av detta arbete ska motsvara kraven i nationell lagstiftning.

Nationell lagstiftning kan föreskriva minimiålder och kompetenskrav. I avsaknad av nationell lagstiftning angående kompetenskrav ska följande kriterier användas då kompetensen bedöms:

- kunskap om elektricitet
- erfarenhet av elarbete
- kännedom om den anläggning på vilken arbetet ska utföras och praktisk erfarenhet av arbetet
- kännedom om de riskkällor som kan uppstå under arbetet och de säkerhetsåtgärder som ska beaktas
- förmåga att vid varje tillfälle avgöra om det är säkert att fortsätta arbetet eller inte

Innan ett arbete påbörjas ska dess svårighetsgrad fastställas så att lämpligt val av fackkunnig person, instruerad person eller lekman görs för arbetet².

Elsäkerhetslagen (2016:732) anger att personer som avser att utföra elinstallationsarbete, alltså ett arbete som avser:

1. att utföra, ändra eller reparera en elektrisk starkströmsanläggning,
2. att fast ansluta en elektrisk utrustning till en starkströmsanläggning, eller
3. att koppla loss en elektrisk utrustning från en starkströmsanläggning som utrustningen är fast ansluten till.

måste vara auktoriserad enligt 20 §, alltså besitta "tillfredsställande utbildning och praktisk erfarenhet".

¹ Elsäkerhetsverket. (1999). *ELSÅK-FS 1999:5 Starkströmsföreskrifterna s.278*. Stockholm: Kerstin Risshytt.

² SEK Svensk Standard. (2013). *SS-EN 50110-1 Skötsel av elektriska anläggningar*. Stockholm.

I 2016:732 avses med starkströmsanläggning: en elektrisk anläggning för sådan spänning, strömstyrka eller frekvens som kan vara farlig för människor eller egendom, elektrisk utrustning: en anordning, apparat eller annat föremål som producerar, överför, använder eller förbrukar el eller en komponent i en sådan utrustning eller i en starkströmsanläggning³.

Förläggningsdjup enligt Starkströmsföreskrifterna:

1	2	3			
Spänning	Kabel förlags i mark, dock inte i körbana och väggen inom område för allmän väg	Kabel förlagd i körbana och väggen inom område för allmän väg			
	Förläggningsdjup	Kabelskydd	Förläggningsdjup	Kabelskydd	Minimimått mellan mark och skydd m
kV	m		m		m
Högst 24	0,45	Erfordras			
Högst 24	0,65	Erfordras inte	0,65	Erfordras	0,55
(Högre än 24	0,65	Erfordras	0,65	Erfordras	0,55)

Tabell 1

Med kabelns förläggningsdjup avses kortaste avståndet mellan färdig markyta och bädd vid kabel eller vid skyddsror.

I berggrund kan kabel förläggas på mindre djup eller undantagsvis ovanpå bergytan, om kabeln på effektivt och varaktigt sätt skyddas mot åverkan⁴.

Väljs ett SRS-rör behöver man inte ta hänsyn till vilket djup röret ligger på utan det kan väljas efter rådande markbeskaffenhet i enlighet med EBR-direktiv KJ41:15. Röret avser kabelförläggning i så kallad "svår mark".

Kabelförläggning sker i enlighet med EBR-direktiv KJ 41:15. Schakt, sandning, täckning, återfyllning, återställning och återfyllningsmassor. Se nedan bild för markklass 2 (svår mark) där återfyllnadsmaterial även presenteras.

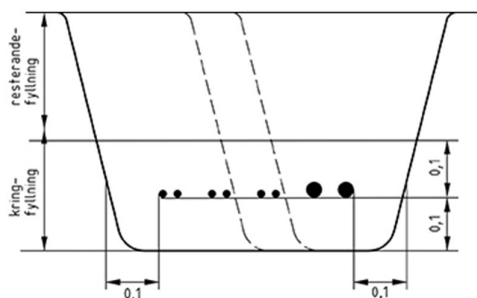
³ Sveriges Riksdag. (den 30 06 2020). Hämtat från riksdagen.se: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/elsakerhetslag-2016732_sfs-2016-732

⁴ Elsäkerhetsverket. (1999). ELSÅK-FS 1999:5 Starkströmsföreskrifterna s.247. Stockholm: Kerstin Risshytt.

Markklass 2

Kablar och rör förläggs på en cirka 0,1 m tjock kringfyllnadsbädd enligt figuren nedan. Kringfyllnadsmaterialet ska bestå av natursand alternativt stenmjöl max 4 mm.

Där risk finns att kring/resterande fyllning passerar schaktväggen/botten, tätas denna med geotextil (fiberduk) lägst klass 2.



Markklass 2

Resterande fyllning närmast intill kringfyllning eller kabelskydd får inte innehålla skarpa stenar som kan skada kabeln vid jordkomprimering, tjällossning eller trafikbelastning. Resterande fyllning ska inte innehålla mer än 10 procent av kornstorleken 100–150 mm.

För förläggning vid vägkorsning gäller andra förläggningsregler.

1.5. Får man ansluta "handske" till 10 kV?

Anslutningsdon för snabbkoppling av 10 kV kabel kan utföras enligt standard IEC 62613-1 och -2. Standard IEC 80005-1 beskriver kraven för anslutning med flexibel kabel till fartyg i hamn. Denna standard kan eventuellt tillämpas även för anslutning mellan högspänningsnätets leveranspunkt och bergtäktens transformatorstation. För att klargöra denna frågeställning har Elsäkerhetsverket kontaktats. Elsäkerhetsverket efterfrågade en skriftlig fråga med beskrivning av hur anslutning är tänkt att utföras och kommer att formuleras och skickas in. Frågan är om standarden kan tillämpas om bergtäkten kan tolkas som fartygssidan i nedanstående figur.

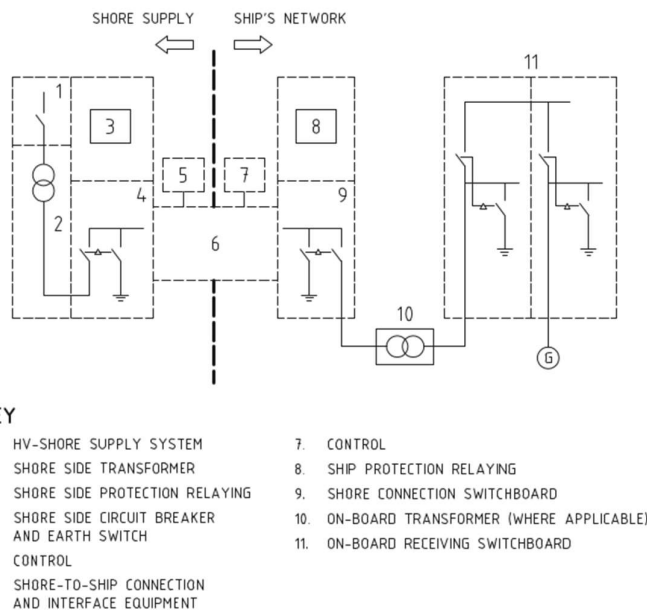


Figure 1 – Block diagram of a typical described HVSC system arrangement

Vid jämförelse med lösningar från en tänkbar leverantör, Cavotec, finns ett flertal lösningar på högspänningsanslutningar upp till 15 kV. För **gruvteknik/bergtäkter** tycks en begränsning inträda vid 7,2 kV. Vid den spänningsnivån finns handskanslutningslösningar med bygellåsning inklusive förreglingsfunktioner och skarvhandsklösningar med gängad fixering tillgängligt. Över denna spänning är utrustningen begränsad till **marin hamnverksamhet**.



Skarv för 7,2 kV från Cavotec.

Tekniken med kopplingshandskar för högspänning har behov av kontinuerlig översyn då risken för överslag ökar med ökad spänning.

Noteras bör;

En IEC -norm följer inte automatiskt Svensk Standard. Kompletterande riskbedömningar måste utföras och dokumenteras för att kunna ge stöd för utförandet. Svensk Standard är det som

gäller. Lösningen för handskanslutningar stöder sig på IEC. Därför måste särskilda riskbedömningar göras för användande av handsklösning. Det är fortfarande möjligt att göra om man hittar ett sätt att utföra anslutningen med handske, men man har inte täckande standarder att luta sig mot som automatiskt uppfyller säkerhetskraven enligt SS-EN standard. Detta måste visas i ett kompletterande riskbedömning (till exempel uppfyllande av krav på jordning, skydd mot förväxling av kontaktdon, skydd mot beröring av spänningssatt del mm.) Såväl svensk som internationell standard ska beaktas.

Efter granskning av lösningar på marknaden kan vi se en begränsning av handskanslutningar till gruvor/bergtäkter vid spänningen 7,2 kV. För högre spänningar finns lösningar till marin verksamhet. Ett arbete med standarder för att samstämna SS-EN standarder med IEC standarder pågår ständigt och kommer troligen även att omfatta flexibla anslutningsdon för högspänning,

Med tillgänglig teknik enligt de standarder och anvisningar för säkerhet som finns idag rekommenderas en konventionell anslutning till nätstation för den ingående transformatorstationen till Bergtäkten.

2. Lågspänningsfrågor (< 1 kV)

2.1. Öppen kabelförläggning ovanpå egen privat mark – vilka regler gäller för liggande kabel på mark? Hängande kabel i stolpar?

Kabelförläggning konventionell kraftkabel ovan mark: I berggrund kan kabel förläggas på mindre djup eller undantagsvis ovanpå bergytan, om kabeln på effektivt och varaktigt sätt skyddas mot åverkan⁵. Kabeln skall då förläggas i extra förstärkta och uv-beständiga rör försedda med heltäta skarvmuffar eller skyddas med u-profil i stål eller liknande. Ett krav som gäller är att kabeln skall vara fast förankrad i marken. Bergtäkter kan klassas som "svår mark" och ett förslag är att använda SRE-slang och klamra fast den ovan mark.

För hängkabel gäller olika regler beroende på var ledningsstråket går, exempelvis om stolparna passerar parkeringsplatser eller inte. Här får vi ha fortsatt dialog. Men generellt finns det regler för hur stolpar skall förankras och minsta avståndet till mark för luftledningar enligt tabell nedan hämtad från EBR.

⁵ Elsäkerhetsverket. (1999). *ELSÅK-FS 1999:5 Starkströmsföreskrifterna s.247*. Stockholm: Kerstin Risshytt.

Ledningstyp och nominell spänning	Område med detaljplan	Område utan detaljplan
Luftledning ≤ 1 kV	4,5	4,5
Luftledning utan metallmantlad eller skärmad kabel > 1 kV	6*	6
Luftledning med metallmantlad eller skärmad kabel > 1 kV	6*	4,5
Fasledare i friledning	7	6
>1 och ≤ 55 kV		
> 55 kV	7 + S	6 + S
Längsgående jordledare	6*	4,5*

Tabell 1

De med * angivna värdena gäller fritt utrymme vid alla belastningsfall. Övriga värden gäller vid maximitemperatur hos ledare och vindstilla.

För hängkabel gäller även säkerhetsavstånd för icke elektriskt arbete enligt nedan bild. Värt att ta i beaktande för valet av hängkabel eller kabel ned i tåkt.

Säkerhetsavstånd icke elektriskt arbete



Säkerhetsavstånd ska fastställas av elfackkunnig.

Anm. För att avgöra vilka elektriska anläggningsdelar som kan utgöra fara och vilka spänningsnivåer som dessa anläggningsdelar har, krävs en elfackkunnig person som fastställer säkerhetsavståndet och informerar elsäkerhetsledaren om fastställda avstånd.

Tabell 1. Säkerhetsavstånd, vid icke elektriskt arbete

Minsta tillåtna avstånd mellan elektrisk ledare och kroppsdel, verktyg eller maskindel vid genomförande av icke elektriskt arbete. Avståndet ska uppmätas och kontrolleras genom användande av lämpligt längdmätninginstrument.

Riktning	Spänning	Säkerhetsavstånd
Sidled	0,4 kV	≥ 2 m
	1 - 40 kV	≥ 4 m
	>40 kV	≥ 6 m
Höjdled	0,4 - 1 kV	≥ 2 m
	>1 - 220 kV	≥ 4 m
	>220 kV	≥ 5,5 m

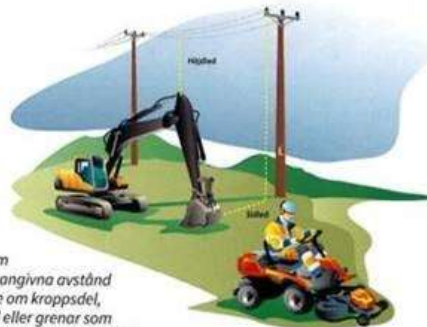


Bild 4. Avstånd från elektrisk anläggningsdel utan att tillämpa någon ESA arbetsmetod. Arbete som bedrivs utanför i tabell 1 (sidan 14) angivna avstånd betraktas som icke elektriskt arbete om kroppsdel, verktyg, redskap/maskin samt träd eller grenar som fallis, inte riskerar att komma innanför angivna avstånd.



Om minsta angivna säkerhetsavstånd inte kan upprätthållas ska arbetet omedelbart avbrytas!

2.2. Får man ansluta handske till 1 kV? Får man ansluta kopplingar som skruvas ihop?

På marknaden finns inte skarvhandskar för 1000V.

Skarv som skruvas ihop kan göras genom att använda en kopplingslåda med plintar där kabeln kan skruvas på isolatorer i lådan.

För 1 kV finns skarvdon som kan skruvas. Nedanstående typ är godkänd för industriell användning. Nedan visas exempel för 1 kV-anslutningar från Cavotec. Dessa följer internationell standard och Svensk Standard.



3. Nätberäkningar

3.1. Beskrivning

Nätberäkningar har utförts för att utgöra ett underlag i designen av anläggningen.

3.2. Lastdata

För 2-steg behövs käft- & konkross.

För 3-steg behövs käft-, konkross och VSI. Dock är det sällsynt att VSI körs samtidigt som käft- och konkross varför två fall presenteras: ett fall med VSI och ett fall utan VSI.

Även en stackläggare behövs och i denna analys antas belastning för 3-steg inkl. stackläggare.

Tabell 2. Märkdata och uppskattade verkliga belastningar av förbrukare. Uppgifter om start- och driftmetod samt normal belastning har erhållits efter samtal med Andreas Almén och Mikael Gustafsson.

Käftkross	Värde	Anmärkning
P_r	160 kW	
$\cos \varphi_r$	0,86	
U_r	0,4 kV	
I_r	277 A	Antar $\eta = 0,97$
Startmetod	Frekvensomriktare eller mjukstart	Startström ca. 2-2,5 I_r
Driftmetod	Förbikoppling till direktdrift	
P_{verklig}	112 kW	Normal belastning ca. 70 % av märkdata
$\cos \varphi$	0,86	Förbikoppling till direktdrift efter uppstart
I	194 A	Antar $\eta = 0,97$
Konkross	Värde	Anmärkning
P_r	200 kW	
$\cos \varphi_r$	0,86	
U_r	0,4 kV	
I_r	346 A	Antar $\eta = 0,97$
Startmetod	Frekvensomriktare eller mjukstart	Startström ca. 2-2,5 I_r
Driftmetod	Frekvensomriktare eller förbikoppling	
P_{verklig}	170 kW	Belastning 85 % av märkdata. Kan köras 70-110 % p.g.a. ev. användning av spaltreglering.
$\cos \varphi$	0,86	Förbikoppling till direktdrift efter uppstart
I	294 A	Antar $\eta = 0,97$
VSI	Värde	Anmärkning

P_r	250+40 = 290 kW	Inkubator + transportörer och övrig utrustning.
$\cos \varphi_r$	0,86	
U_r	0,4 kV	
I_r	502 A	Antar $\eta = 0,97$
Startmetod	Frekvensomriktare eller mjukstart	Startström ca. 2-2,5 I_r
Driftmetod	Frekvensomriktare eller förbikoppling	
P_{verklig}	203 kW	Normal belastning ca. 70 % av märkdata
$\cos \varphi$	0,86	Frekvensomriktare/Förbikoppling till direkt drift efter uppstart
I	351 A	Antar $\eta = 0,97$
Stackläggare	Värde	Anmärkning
P_r	3*22 = 66 kW	
$\cos \varphi_r$	0,86	
U_r	0,4 kV	
I_r	114 A	
Startmetod	Direktstart	
Driftmetod	Direktstart	
P_{verklig}	46 kW	Normal belastning ca. 70 % av märkdata
$\cos \varphi$	0,86	Frekvensomriktare/Förbikoppling till direkt drift efter uppstart
I	80 A	Antar $\eta = 0,97$

3.3. Nätdata

Varje maskin förses med en upphängd mobil transformator av 1/0,4 kV.

Avstånd från bergtäktens kant till maskin har uppskattats till 200-300 meter.

1 kV-gruvkraftkabel upprullad på kabelvinda som förser maskin med effekt bör begränsas till ledarearea av 70 mm² för att den ska vara hanterlig. Det är tillåtet att använda parallellkopplade 1 kV-gruvkraftkablar för att öka belastningsförmåga och begränsa spänningsfall i denna applikation. Korrektionsfaktor för 1 kV kabelvinda $k_{\text{tot}} = k_{3 \text{ lager}} = 0,49$.

1 kV kraftkabelförband mellan nättransformator och 1 kV-ställverk antas förläggas med en kraftkabel per rör. Korrektionsfaktor för 1 kV kabelförband mellan transformator och 1 kV-ställverk $k_{\text{tot}} = k_{\text{rör } 2/\text{rör utan inbördes avstånd}} = 0,81$.

Eventuellt behov av reaktiv effektkompensering bör vara anpassad till applikationen som karaktäriseras av snabba momentana fluktuationer och vara placerad i anslutning till lasten. Maximalt uttag av reaktiv effekt i nätanslutningsavtal är normalt 50 % av abonnemangent.

3.4. Resultat och diskussion

För detaljerade resultat av beräkningar, se sid 17 – Resultat från nätberäkningar 10,5-1-0,4 kV.

3.4.1. Utformning distributionsnät 1,0 & 0,4 kV

Ett koncept med 0,4 kV-distribution bör uteslutas. Beräkningar har visat att detta ger stor erforderlig mängd kablage mellan transformator, 0,4 kV-ställverk, kabelvinda och maskin som gör det ohanterligt.

Preliminär erforderlig storlek upphängd mobil transformator 1/0,4 kV på maskin är 200 kVA för käftkross och stackläggare, 300 kVA för konkross och 400 kVA för VSI. Slutgiltiga transformatordata bör dock detaljstuderas med avseende på märkeffekt, märkspänningar m.m. för att passa maskinernas egenskaper. Vektorkoppling bör vara Yz.

Lägsta tillåtna dimension av kraftkabel på 1 kV-nät är kopparledare CU PEX 70 mm² respektive aluminiumledare AL PEX 120 mm² med avseende av kortslutningstålighet av 10 kA under en sekund. Lågre dimensioner är tillåtet om skydd som begränsar genomsläppt energimängd installeras.

Kabelvinda för käftkross och stackläggare bör vara enskild gruvkabel CU PEX 3x70. Kabelvinda för konkross och VSI bör vara CU PEX 2//3x70.

Minsta erforderliga storlek för 1 kV kabelförband mellan transformator i nätstation och 1 kV-ställverk:

- Driftfall 1: Samtida drift av käftkross, konkross och stackläggare: CU PEX 3x240.
- Driftfall 2: Samtida drift av käftkross, konkross, VSI och stackläggare: CU PEX 2//3x240.

Flera parallella kabelförband av ALU PEX kan förläggas om detta anses mer kostnadseffektivt.

3.4.2. Högspänningstransformator, kraftkabel och ställverk

Transformatorns primärlindning bör vara omkopplingsbar mellan märkspänning 22 och 11 kV för möjlighet att ansluta till både 20 och 10 kV-nät. Märkspänning sekundärlindning bör vara 1,05 kV. Primärlindningen bör vara utrustad med omsättningskopplare, förslagsvis i steg av $\pm 2 \times 2,5$ % av primära märkspänningen.

Erforderlig storlek för 22-11/1,05 kV-transformator:

- Driftfall 1: Samtida drift av käftkross, konkross och stackläggare:
 - 600 kVA – belastning 74 %, eller
 - 800 kVA – belastning 55 %
- Driftfall 2: Samtida drift av käftkross, konkross, VSI och stackläggare:
 - 1000 kVA – belastning 68 %, eller
 - 800 kVA – belastning 89 %

Vektorkoppling ska vara Dyn11. Transformatorns kortslutningsimpedans ska vara lägsta möjliga för god driftprestanda.

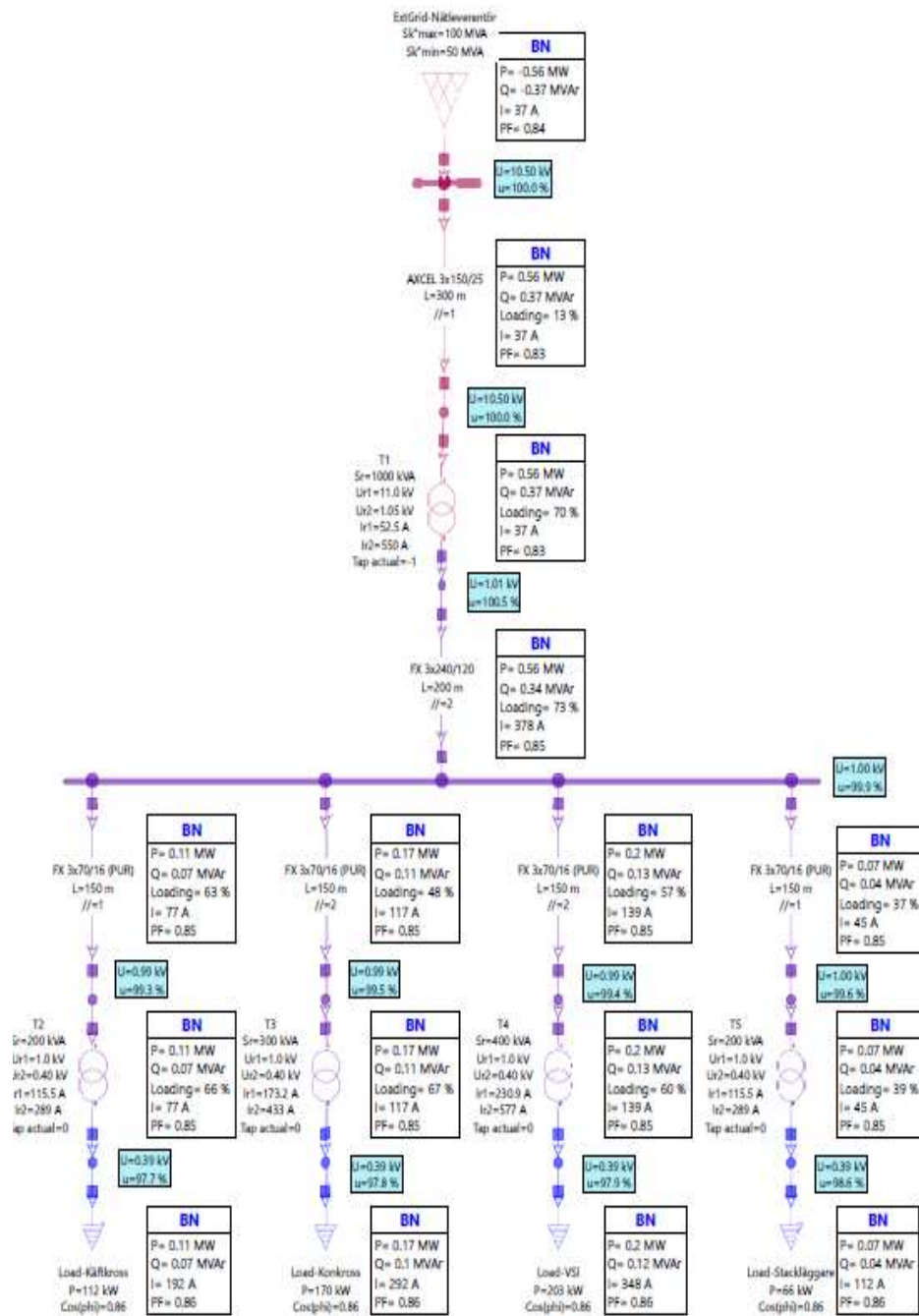
Ställverk bör dimensioneras för att minst tåla termisk kortslutningsström av 15 kA under en sekund och stötström av 37,5 kA för att kunna anslutas till alla elleverantörers nät oberoende nätens egna maximala kortslutningsströmmar. Anslutande kraftkabel/hängkabel mellan ställverk och transformator bör med avseende på detta vara märkt 24 kV ALU 3x150 alternativt 24 kV CU 3x95. En mindre dimension av kraftkabel/hängkabel kan eventuellt vara aktuellt av praktiska skäl, t.ex. ALU PEX 3x50, då prioritet är att ställverket är dimensionerat för de maximala kortslutningsströmmarna av säkerhetsskäl.

3.4.3. **Reaktivt effektbehov**

Maximalt reaktivt effektbehov i nätanslutningspunkten är ungefär $0,37/0,56 \cdot 100 \approx 66$ % vid märkdrift vilket är mer än de 50 % som normalt är tillåtet i nätanslutningsavtal. Det kan därför vara behov av lokal kompensering i anslutning till de största lasterna. Observera att konsumtionen av reaktiv effekt kan vara högre/lägre än angivet beroende på lasternas drift.

Ett kondensatorbatteri bör inte placeras i högspänningsställverket då den troligtvis inte är anpassad för applikationen med snabba momentana reaktiva effektfluktuationer. Det finns även risk med för överdimensionering av kondensatorbatteri och kan ge upphov till reaktiva effektpendlingar av produktion/konsumtion mot nätleverantör p.g.a. varierande reaktivt effektbehov hos förbrukarna.

Rekommendation är att placera reaktiv effektkompensering i direkt anslutning till respektive förbrukare. Som det är idag används frekvensomriktare främst enbart under start av maskinerna för att sedan förbikopplas p.g.a. att den dammiga miljön gör att det erfordras upprätthållande av ventilation i frekvensomriktare. Om frekvensomriktare kan köras under normal drift utan att förbikopplas skulle den reaktiva effektkonsumtionen uppströms förbättras.



Figur 1. Resultat från lastflödesberäkning enligt förutsättningar angivet i 3.

4. Elansvar vid bergtäkt

Elansvaret innehas av anläggningens innehavare. En bergtäkt har inte ett löpande behov av elektriskt underhåll under normala förhållanden. En platsanställd auktoriserad elektriker ses därför inte som en nödvändighet. Däremot bör elsäkerhetsarbetet ske löpande på plats. Detta kan utformas så att löpande okulär kontroll av elkablar och kopplingsdon genomförs av en av operatörerna som instruerats i dess funktioner och handhavande. Denna person bör ha genomgått EBR kurs för *instruerad elsäkerhetsledare – icke elektriskt arbete* och kunna uppvisa intyg för utbildningen. Upptäcks fel eller defekta kablar, kopplingsdon, motorer, transformatorer m m. som behöver åtgärdas skall auktoriserad el-personal tillkallas för avhjälpande åtgärder.

Innehavaren har ansvar för att ingående elutrustning uppfyller elsäkerhetskraven enligt föreskrifter och standarder. Elsäkerhetskraven kan anses vara uppfyllda om skötsel och underhåll kan genomföras enligt föreskrifterna där inspektioner och eventuell rengöring kan utföras spänningslöst av *instruerad elsäkerhetsledare – icke elektriskt arbete* samt att övriga el-arbeten genomförs av auktoriserad person. Även all inkoppling och bortkoppling av fasta installationer, utan kontaktdon, måste utföras av auktoriserad el-personal.

För kontrollmätning av jordtag som har ett intervall på upp till 8 år har innehavaren ansvar för den periodiska kontroll som ska utföras. Denna kontroll skall utföras av auktoriserad el-personal med speciell kännedom om jordtagets uppmättningsförfarande och utformning.

Säkerhetsinstruktioner för arbetsplatsen (bergtäkten) ska innehålla uppgifter vem som är utsedd att verka som elsäkerhetsledare (enligt ovan) anges. Upprättad säkerhetsinstruktion skall vara skriven på ett språk som förstås av alla berörda på arbetsplatsen (bergtäkten).

Elansvar bergtäkt egen personal



Ägaren av bergtäckten driver produktionen och har egen elpersonal med auktorisation

Elansvar bergtäkt instruerad personal



Ägaren av bergtäckten driver produktionen men har ingen egen elpersonal med auktorisation. Vid behov av elarbeten som kräver auktoriserad elpersonal anlitas extern entreprenör.

Elansvar bergtäkt extern entreprenör



Ägaren arrenderar ut bergtäckten till extern entreprenör. Entreprenören äger elanläggningen men har ingen egen elpersonal med auktorisation. Vid behov av elarbeten som kräver auktoriserad elpersonal anlitas extern entreprenör.

5. Jordning

5.1. Om jordning

- **Systemjordning** - systemets gemensamma koppling mot jord. T.ex. TN-C, TN-S, IT, isolerad nollpunkt, impedansjordad nollpunkt och direktjordad nollpunkt.
- **Skyddsjordning** – jordning av utsatt del. Jordningen av den utsatta delen har två funktioner:
 - Att möjliggöra för anläggningens jordfelskydd att koppla bort den felaktiga anläggningen.
 - Att begränsa beröringsspänningen i den utsatta delen till ofarliga nivåer.
- **Funktionsjordning** – jordning av objekt för deras funktion. T.ex. jordning av överspänningsskydd, ventilavledare och mättransformatorer.

5.2. Föreskrifter om var och hur systemjordning skall/bör ske vid 10 kV

Det finns inga föreskrifter som redovisar var och hur systemjordningen ska utformas. Systemjordningens utformning beror på det totala nätets elektriska egenskaper och det är nätägarens ansvar att t.ex. begränsa beröringsspänningens tid och magnitud samt genom att ge reläskydd möjlighet att detektera samt bortkoppla förekommande jordfel. I starkströmsföreskrifterna §B73 a anges krav på systemjordningen för detekteringsnivå och maximal bortkopplingstid av enpoliga jordfel i icke-direktjordade nät med systemspänning < 25 kV. Om nätägare förser nätkundanläggning med spänningsnivå 10 kV ombesörjer nätägare för systemjordningen, där nätkundens anläggning ska vara utförd sådant att jordfel kan detekteras och felbortkopplas medelst nätägarens systemjordning och dess krav på detektering och felbortkoppling.

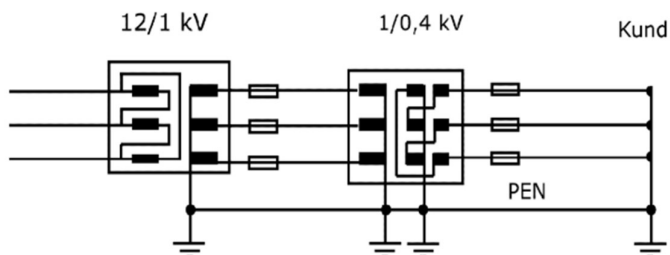
Om nätkundanläggning är galvaniskt skiljd mot nätägarens jordningssystem, t.ex. via en transformator eller på annat sätt isolerad, är det nätkunden som ombesörjer val av systemjordning. Lämplig systemjordning för bergtäkt kommer troligtvis att vara isolerad nollpunkt p.g.a. enskild kabel till enskild transformator 10/1 kV och då är detta en billig och driftsäker applikation.

5.3. Föreskrifter när det gäller var och hur systemjordning skall/bör ske vid 1 kV

Lågspänningsnät 1 kV kan byggas som ett direktjordat TN-system eller isolerat IT-system. TN-systemet blir enklare i sin utformning av skyddssystem men kan ge stora och potentiellt farliga felströmmar vid enpoligt jordfel och innefattar därmed krav på beröringsspänning vid direkt och indirekt beröring. Ett enpoligt jordfel kopplas bort snabbt och är lättare att lokalisera. IT-systemet är personsäkrare vid ett första fel (enpoligt jordfel) med resulterande försumbar jordfelsström, dock potentiellt höga spänningar i de friska faserna som kan ge upphov till överslag och/eller ett ytterligare jordfel. IT-systemet kräver övervakning av nätets isolationsmotstånd samt skydd för snabb felbortkoppling av ett samtida jordfel i en annan fas (andra fel/dubbelt jordfel). För snabb felbortkoppling av kortslutningar och dubbelt jordfel ska samtliga skydd vara utrustade med överströmsskydd och jordfelskydd.

För att bygga och använda en 1 kV-anläggning med TN-system utförs den som en lågspänningsanläggning enligt EBR:s konstruktionspublikation, [EBR K25](#).

Krav på systemjordningens utformning behandlas i standard "Elinstallationsregler för lågspänning – Utförande av elinstallationer för lågspänning" (SS 436 40 00). Denna svenska standard har utarbetats med beaktande av de särskilda krav som anges i Elsäkerhetsverkets föreskrifter och anpassats till svensk elsäkerhetsteknisk praxis och särskilda svenska förhållanden.



Figur 2. Exempel på systemjordning av 10/1/0,4 kV-system. I detta exempel är 1- och 0,4 kV-system direktjordade. Det rekommenderas att närmast lasten använda Z-kopplad transformator för att utjämna osymmetriska laster samt ha en låg nollföljdsimpedans.

5.4. Systemjordning och ledarsystem

5.4.1. 20 & 10 kV

Systemjordning för anslutande 20 eller 10 kV-nät är förutbestämd av nätägarens systemjordning och ej valbar för kunden.

Linje mellan kopplingsstation och transformator utformas med tre fasledare och skyddsåterledning i skärm parallellt med en separat följelina. Denna kan utföras som kraftkabel eller hängkabel.

5.4.2. 1,0 kV

Tabell 3. Systemjordningsalternativ 1 kV. Val av systemjordning för 1 kV-nät är en diskussionsfråga men direktjordat är att föredra om det utformas bra jordtag samt att alla kabelförband skyddas medelst överströmsskydd och jordfelsskydd. Ett direktjordat nät utgör dessutom bättre funktion i händelse av åsknedslag.

Systemjordning	Fördelar	Nackdelar
TN (direktjordat)	Snabb felbortkoppling av första fel.	Krav på begränsning av beröringsspänning för att skydda person. Krävs god återledning i följelina och kabelskärm för att skydd ska kunna detektera ett enpoligt jordfel.
IT (isolerat)	Bra personsäkerhet.	Potentiellt höga spänningar i de friska faserna vid enpoligt jordfel vilket kan ge upphov till överslag i utrustning. Behov av system för isolationsövervakning. Svårigheter att lokalisera jordfel.

Om det är stora symmetriska trefaslaster kan systemet utgöras av tre fasledare och skyddsåterledning i skärm oavsett systemjordning, d.v.s. ingen neutralledare behövs. Dock bör det kontrolleras att frekvensomriktare på 0,4 kV inte ger upphov till betydande asymmetrisk last sådant att det finns risk för vagabonderande strömmar med tre fasledare och tillhörande skärm. Gruvkablar är normalt utformade med tre ledare inkl. skärm varför en neutralledare på 1,0 kV kan vara svårare att realisera.

5.4.3. 0,4 kV

Systemjordning för 0,4 kV bör vara direktjordat.

0,4 kV-nätet kan eventuellt utföras med tre fasledare och neutralledare för anslutning av maskinens enfaslaster och/eller p.g.a. osymmetrisk trefaslast från maskinernas frekvensomriktare. Eventuell förekommande osymmetrisk trefaslast från maskinens frekvensomriktare kan dock eventuellt accepteras om de endast är aktiverade under uppstartsfas tills dess att motorn är uppe i nominellt varvtal.

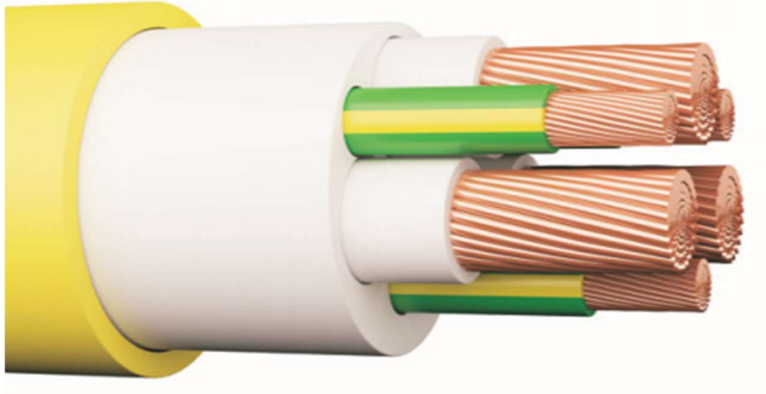
5.5. Jordtag

5.5.1. Placering av jordtag

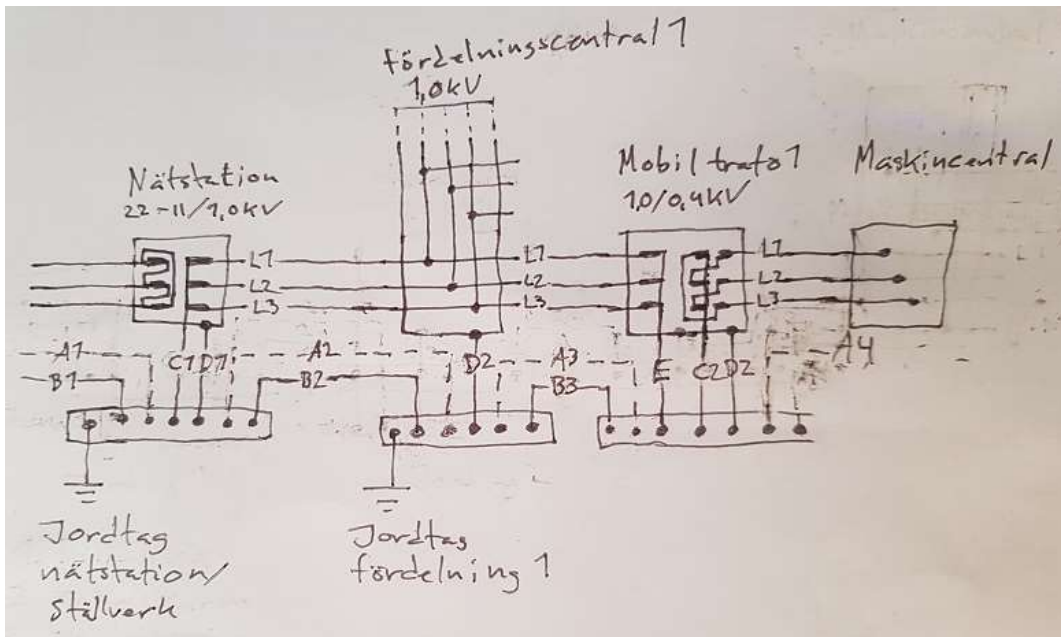
Jordtagets jordelektrod kan utgöras av jordstänger, ledare vertikalt neddrivna i marken, djupjordning, horisontellt nedgrävda ledare, ytjordning etc. Indirekta jordtag erhålls via byggnadsfundament, skyddsjordning av kabelskåp, stolpar för vägbelysning, kabelskärmar, elinstallationer med mera. Vid samjordning av sammanhängande kabelnät sammanbinds ett stort antal av dessa indirekta jordtag vilket påtagligt reducerar beröringsspänningen. Systemets gemensamma jordtag för varje sammanhängande jordkabelnät benämns som primärjordtag. Nätstation av 22-11/1,0 kV ska ha ett godkänt jordtag för att säkerställa ett kontinuerligt och säkert primärjordtag under hela året. Alla in- och utgående kabelskärmar och följelinor till nätstationen ansluts till nätstationens huvudjordskena utöver tillkommande skydds- och funktionsjordningar.

EBR rekommenderar att alltid anlägga ett jordtag i ytterändan på varje lågspänningsgrupp i landsbygdsnät oberoende av nättyp för att minimera beröringsspänning i händelse av avbrott i ledningens PEN-ledare. Jordtaget bör i dessa fall vara ett djupjordtag alternativt ett ytjordtag om exempelvis följeledare används.

Fast jordtag i ytterändan är dock kanske inte praktiskt realiserbar för kablar som rullas upp på kabelvinda samt maskiner med mobila upphängda 1,0/0,4 kV-transformatorer. Av denna anledning kan närmsta ytterligare jordtag, utöver primärjordtaget, vara placerade i fördelningspunkter 1,0 kV. Flera sammankopplade enskilda jordtag i bergtäkten förbättrar det resulterande jordtagsvärdet. Maskinerna utgör troligtvis inte ett bra jordtag i ytterände p.g.a. skiftande övergångsresistans och ingen direkt koppling mot jord. Det är troligtvis inte heller praktiskt tillämpligt av en medföljande följelina för gruvkabel på kabelvinda som i en konventionell, fast kabelförläggning.



Figur 3. Tvärsnitt av enklaste formen av gruvkabel 1,0 kV med tre fasledare och tre separata skyddsledare. Denna kabel är speciellt utförd med tre separata skyddsledare istället för en omkringliggande skärm som på en konventionell trededarkabel varför risken för avbrott av skydsskärm reduceras betydligt. Kabeln är konstruerad för att klara ständigt förändrade dynamiska laster, såsom upprullning vid bormning. Kabeln tål hög mekanisk stress som kan uppkomma vid av- och upprullning och den svåra nötning som kan förväntas när kabeln släpas efter maskiner.



Figur 4. Principskiss för jordsystem. Observera att detta endast utgör en grov principskiss för att beskriva erforderliga sammankopplingar av jordlinenätet. Flertalet detaljer såsom övrig skyddsjord, funktionsjord, skydd med mera ej är representerade. Observera att jordtag för nätstation kan vara gemensam med 24 kV-ställverk.

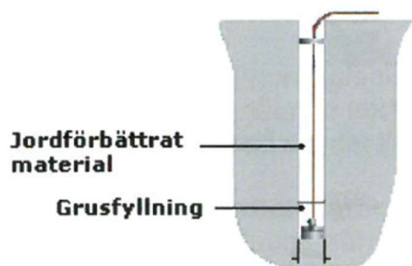
Förklaringar till Figur 4 ovan:

- A1: Kabelskärm från anslutningspunkt (kraftkabel eller hängkabel)
- B1: Följelina från anslutningspunkt.
- C1: Systemjordning nätstation (förslagsvis TN - direktjordat)
- D1: Skyddsjord nätstation.
- A2: Kabelskärm mellan nätstation och fördelningscentral 1.
- B2: Följelina mellan nätstation och fördelningscentral 1 (redundans vid brusten kabelskärm).
- D2: Skyddsjord från fördelningscentral 1.
- A3: Kabelskärm mellan fördelningscentral 1 och mobil transformator.
- B3: Följelina mellan fördelningscentral 1 och mobil transformator. Denna kan behöva realiseras om en vanlig konventionell kraftkabel används. Om gruvkabel används kan följelinan uteslutas.
- E: Funktionsjord av mobil transformator.
- C2: Systemjordning mobil transformator (TN – direktjordat).
- D2: Skyddsjord mobil transformator.
- F: Eventuell neutralledare för enfaslast i maskincentral.
- A4: Kabelskärm och/eller skyddsjord från maskincentral.

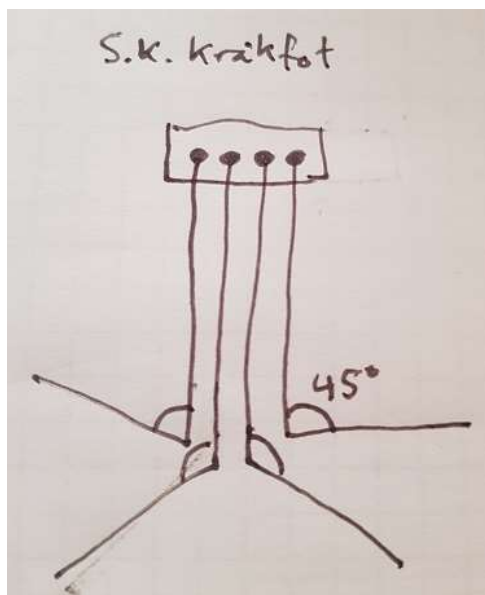
5.5.2. Utformning av jordtag

Tabell 4. Markresistivitet ρ_e för flertalet markförhållanden. För ett bra jordtag i bergiga miljöer ställs höga krav på jordtagets utformning. Det ska också eftersträvas ett konstant bra jordtagsvärde under hela året. Det ses att det är väldigt stor spridning beroende på markförhållanden och även inom bergtäkten kan markens beskaffenhet göra att jordtagsvärden varierar. Åtgärder erfordras för att säkerställa ett kontinuerligt bra jordtag i bergtäkt.

Markslag	ρ_e	Anmärkning
Havsvatten (Östersjön)	1 – 5 Ωm	
Lera	10 – 70 Ωm	Inte frusen
Grund-, brunn- eller källvatten	10 – 150 Ωm	
Lera	2000 – 3000 Ωm	Frusen
Lerblandad sand	40 – 300 Ωm	
Betong, färsk eller i jord	50 – 500 Ωm	
Gyttja, torv, mull	50 – 250 Ωm	
Sjö och ävatten	100 – 400 Ωm	
Sand, mjäla	1 000 – 3 000 Ωm	
Morängrus	1 000 - 10 000 Ωm	
Betong, torr	2000 – 100 000 Ωm	
Åsgrus	10 000 - 50 000 Ωm	
Urberg (granit, gnejs m.m.)	10 000 - 50 000 Ωm	
Sandig humusjord	100 000 Ωm	Frusen



Figur 5. Jordtaget kan förbättras på flera sätt. I denna figur visas principen med förbättring av jordtag medelst jordtagsborrning där jordspettets ekvivalenta area ökas genom att fylla med ett bättre ledande material (t.ex. bentonit). Detta är en trolig lösning på samtliga jordtag som ska förläggas i bergtäkt men kan även tillämpas om nätstationens jordtag är på besvärlig grund ur jordtagsperspektiv. Förslagsvis har jordspettet en minsta total längd av 10 meter (flertalet skarvade spett) och håldiameter 0,1 meter. Ledarmaterial bör förslagsvis vara stång av kopparbelagt stål med minsta diameter av 16 mm.



Figur 6. Förslag på utformning jordning av nätstation med s.k. kråkfot i det fallet att markförhållandena är fördelaktiga. I detta fall antas att nätstation är placerad utanför bergtäkt med bättre markbeskaffenhet ur jordtagssynpunkt.

5.5.3. Övrigt

Varje jordtag ska kunna mätas individuellt. Före idrifttagning ska de enskilda jordtagen vara uppmätta, godkända och dokumenterade. Kontrollmätning ska ske vart 8:e år av de enskilda jordtagen.

6. Slutsatser

6.1. Allmänna kommentarer

- Det finns ingenting i Elsäkerhetsföreskrifterna som säger att en kabel måste vara förlagd under mark, även om det är branschstandard och utförandet finns beskrivet i Svensk Standard. Vid avvikelse från Svensk Standard skall alltid en riskanalys utföras som belyser alla risker en avvikelse medför.
- Det finns gruvkablar på marknaden som har andra egenskaper än konventionell kraftkabel. Gruvkabeln beskrivs (av Draka) enligt följande; kabel för strömförsörjning av mobil utrustning, med anti-vridnings skydd. Kabeln är speciellt lämpad där risken är hög för mekaniska skador, tex i gruvor och tunnlar. slitstark mantel utmärkt hydrolys resistent. Dessa kablar kan förläggas utan att vara förlagda i rör och utan att vara fast förankrade. Dock skall de skyddas för mekanisk påfrestning som kan uppkomma om maskiner behöver korsa kablarna.
- Ur personsäkerhetsperspektiv bör kraftkabel alltid vara märkt (exempelvis gul markering eller gul kabel) så att samtliga på arbetsplatsen vet att det är kraftkabel.
- EBR:s konstruktionspublikation, EBR K25 hanterar utformningen av 1kV-system

6.2. HSP eller LSP ned i tåkt

Båda lösningsförslagen med HSP och LSP ned i tåkt är fullgoda alternativ. Det finns för- och nackdelar med båda lösningarna.

Högspänning ned i tåkt medför endast en kabel istället för två parallella som erfordras vid LSP. Högspänning ned i tåkt medför att transformator och LSP-ställverk placeras i samma container och är därmed enklare att flytta med sig.

Utifrån personsäkerhetsperspektiv är konceptet med lågspänning ned i tåkt mer fördelaktigt än högspänning ned i tåkt. Av säkerhetsskäl med hänsyn till omgivande miljö (damm mm) är det mer fördelaktigt att inte ha högspänningsställverket nere i tåkten då personsäkerhet alltid bör vara högsta prioritet.

Om man väljer att ha högspänning ned i tåkten kommer det att medföra två kopplingar som kräver högre behörighet än vad lågspänningslösningen gör.

Tillägg från SBMI rörande kabel på mark

När medlemmar i SBMIs Krossutskott tillfrågades om risker som de kunde se i aktuellt förslag till Högmobil Elektrifiering av täkter var det endast en risk som nämndes och den tog alla upp: **att fordon i täkt kör över och skadar elkabeln.** Detta bedöms främst vara en **driftsäkerhetsrisk.**

Problemet hanteras idag i gruvor – bilderna är från **Aitik** – genom att man skapar särskilda skyddade platser för överskörning där fordon kan passera utan att skada högspänningskabeln. I gruvor har kabeln sex gånger så hög spänning som föreslås i den lågspänningskabel som ska användas i konceptet Högmobil Elektrifiering.



I täkter kör inte bara egen personal. Där kör även kunder som kan behöva bättre upplysning om var elkabeln finns, var den får köras över och var den inte får bli överkörd.

I teckningen nedan ska vanliga parasollfötter hålla plaströr där man har fäst "LAPPTYG". Överkörningsskydden måste vara breda och starka nog för passerande fordon.

