

Notitie aan: Multiconsult b.v.  
t.a.v. W.D.A. van 't Zelfde  
Postbus 141  
4100 AC Culemborg

Van: G.E. Tap

Geaccordeerd door: C.S. Stuurman

Datum: 13-10-2006

Onderwerp: Veiligheidsaspecten Systeem Luchtreiniging

Deze notitie betreft de veiligheidsaspecten welke betrekking hebben op het systeem voor luchtreiniging door middel van een hoog spanningsverschil tussen 2 geleiders.

Genoemde veiligheidsaspecten kunnen worden onderscheiden in:

- Elektrische veiligheid (o.a. naar personen)
- Veiligheid in relatie naar andere systemen (wederzijdse beïnvloeding).

Bij het bepalen of een systeem veilig is naar personen en/of de omgeving spelen van toepassing zijnde normen een belangrijke rol.

Bij de uitwerking van de bovengenoemde veiligheidsaspecten worden dan ook de van toepassing zijnde normen aangegeven voor zover deze met de elektrische aspecten te maken hebben.

Onderstaand worden de genoemde punten toegelicht.

#### Van toepassing zijnde normen voor wat betreft elektrische veiligheid

Onderstaande normen en richtlijnen kunnen worden onderscheiden:

- a) Richtlijn Gezondheidsraad
- b) Stroom door het menselijk lichaam (IEC 60479)
- c) Normen voor DC-hoogspanningsinstallaties
- d) Lading versus aanraakveiligheid
- e) bliksembescherming

#### a) Richtlijn Gezondheidsraad

De Gezondheidsraad geeft aanbevelingen voor blootstellinglimieten voor het frequentiegebied van 0 tot 10 MHz. Ten aanzien van het luchtreinigingsstelsel kan het volgende worden geconcludeerd:

- ◇ Ten aanzien van beïnvloeding van mensen door gelijkspanningssystemen worden geen maximum waarden gegeven voor de elektrische veldsterkte. Dit betekent dat er wat beïnvloeding betreft geen maximum is aan de toe te passen gelijkspanning
- ◇ Er wordt een maximum gegeven voor het magnetisch veld. Gezien het vrijwel ontbreken van stroom zal het systeem ruim onder deze waarde blijven
- ◇ Een maximum wordt gegeven voor de contactstroom. Dit is de stroom die door een persoon vloeit wanneer deze een onder spanning staande geleider

aanraakt. Een waarde van 0,5 mA is continue toelaatbaar. Er is voor personen geen veiligheidsrisico indien bij aanraking de stroom beneden deze waarde blijft.

b) Stromen door het menselijk lichaam

De norm IEC 60479 geeft richtlijnen bij het vaststellen van eisen ten aanzien van elektrische veiligheid voor personen en dieren.

- ◇ Deze norm geeft (figuur 22, tabel 13) voor DC een maximaal continue toelaatbare waarde van 2 mA. Beneden deze waarde zijn geen verschijnselen waarneembaar. Er zijn geen gevallen bekend van elektrocutie beneden waarden van 100 mA (uit figuur 22, links van curve c1). Op de DC-stroom is een rimpel van 10% toelaatbaar. Overigens is bij deze relatief kleine waarden alleen wat merkbaar als de draad wordt beetgepakt of als de ontlaadstroom sterk veranderd.
- ◇ De waarde die de Gezondheidsraad geeft ligt met 0,5 mA lager dan de hier genoemde 2 mA. Een andere verklaring dan dat een extra veiligheidsmarge wordt genomen kan op dit moment niet worden gegeven.

Tabel 13 en figuur 22 uit Norm IEC 60479

**Table 13 – Time/current zones for d.c. for hand to feet pathway – Summary of zones of Figure 22**

Zones	Boundaries	Physiological effects
DC-1	Up to 2 mA curve a	Slight pricking sensation possible when making, breaking or rapidly altering current flow
DC-2	2 mA up to curve b	Involuntary muscular contractions likely especially when making, breaking or rapidly altering current flow but usually no harmful electrical physiological effects
DC-3	Curve b and above	Strong involuntary muscular reactions and reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart may occur, increasing with current magnitude and time. Usually no organic damage to be expected
DC-4 1)	Above curve c1 c1 -c2 c2 -c3 Beyond curve c3	Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time DC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % DC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % DC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 %

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

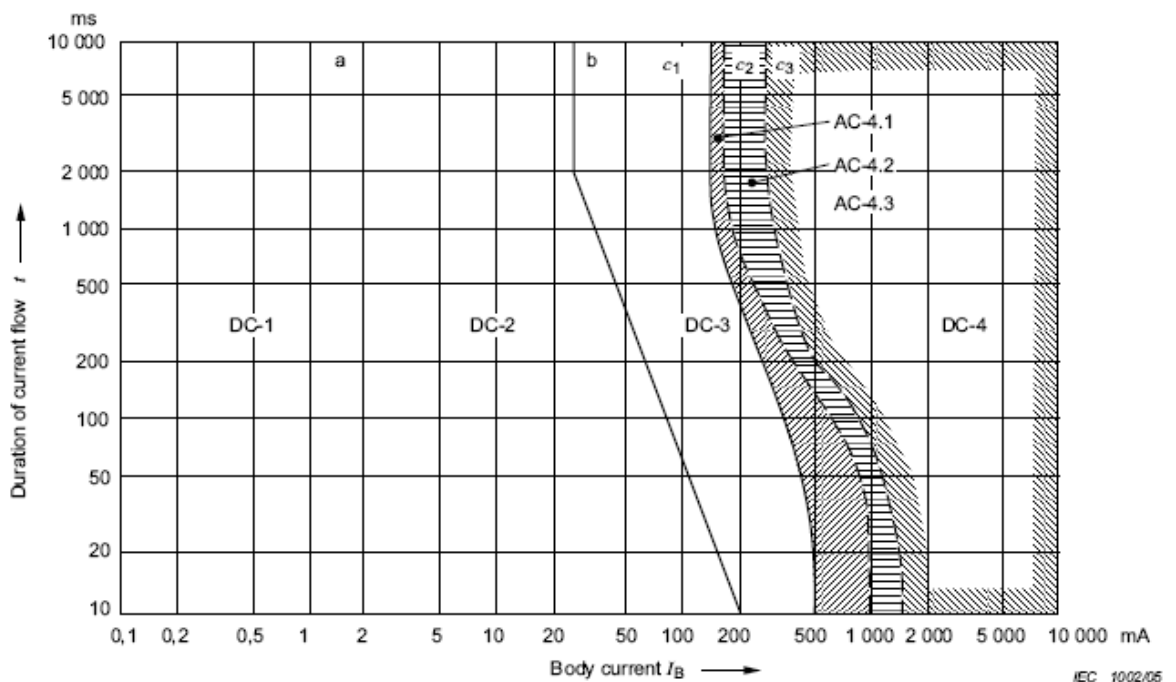


Figure 22 – Conventional time/current zones of effects of d.c. currents on persons for a longitudinal upward current path (for explanation see Table 13)

- c) NEN 1010  
 Bij aanbestedingen door de overheid dienen systemen te voldoen aan NEN 1010. Het toe te passen elektrisch materieel dient dan te voldoen aan het Warenwetbesluit elektrotechnische producten. Naar verwachting zullen hier geen onoverkomelijke eisen worden gesteld.
- d) Normen DC hoogspanningsinstallaties.  
 In het algemeen geldt dat DC-installaties moeten voldoen aan de geldende veiligheidsnormen ten aanzien van aanraakbaarheid etc. Indien de maximale contactstromen beneden de hierboven genoemde waarden kunnen worden gehouden zullen naar verwachting geen normen van toepassing zijn ten aanzien van aanraakbaarheid etc.

Indien de contactstroom groter wordt dan de hierboven genoemde waarden dan valt de installatie waarschijnlijk onder het regime van een DC-HS-installatie, tenzij kan worden aangetoond dat deze niet van toepassing is. In dat geval is een nader onderzoek wenselijk van de mogelijkheden binnen de bestaande normen en eventueel mogelijke systeem-intrinsieke veiligheden.

Onderstaand een beperkt overzicht van de geldende eisen voor HS-lijn  
 Afhankelijk van de spanning zouden de volgende normen van toepassing kunnen zijn:

EN-50341: Overheadlines exceeding 45 kV AC.

EN-50423: Overheadlines 1 kV to 45 kV AC.

Voor wat betreft gelijkspanning zouden de maximale waarden voor isolatieafstanden ed. mogelijk wat hoger kunnen zijn (1,41 maal).

EN-50423 geeft wat eenvoudiger/lagere waarden en minder strenge eisen voor een HS-lijn dan in 50341 staan vermeld. Ook wordt ingegaan op andere vormen van constructie.

Welke onderwerpen komen in 50341 aan de orde en hoe relevant zijn ze?:

- Algemene ontwerp-eisen als betrouwbaarheid, onderhoud, materialen, ontwerp parameters etc.  
Tenminste een aantal van deze onderwerpen lijken minder relevant omdat het bij dit systeem niet om vermogenstransport gaat.
  - De verschillend belastingen waaraan de lijn blootstaat.  
Of en in hoeverre dit van toepassing is zal pas blijken wanneer meer over de uitvoering van het systeem bekend is (aantal draden, afstanden etc.)
  - Elektrische eisen.  
Met uitzondering van de stroom-gerelateerde eisen, zullen deze van toepassing zijn.
  - Eisen aan aarding.  
Omdat geen grote stromen kunnen lopen zal de betekenis van deze eisen beperkt zijn. Wel is aandacht nodig voor blikseminslagen daar een bliksemdraad waarschijnlijk niet kan worden toegepast.
  - Ondersteuning/masten (uitvoering, materialen, bescherming tegen roest).  
Waarschijnlijk wel bruikbaar. Zeer waarschijnlijk zijn ook vergelijkbare normen geldig tav. objecten/constructies langs de weg.
  - Funderingen.  
Zelfde opmerkingen als hierboven.
  - Geleiders (gebruikte materialen, combinatie met telecom kabels).  
Deels waarschijnlijk bruikbaar voor zover niet stroom-gerelateerd. Ook rekening te houden met directe inslag op een draad.
  - Isolatoren.  
Bruikbaar om eisen te formuleren voor de toe te passen isolatoren. Nagaan of DC ook andere aspecten heeft dan hier genoemd.  
IEC 60383: eisen aan isolatoren.  
Voor vervuiling: IEC 60815. Er worden richtwaarden gegeven bij vervuiling.  
De uiteindelijke lekstroom wordt niet gegeven.
  - Overige toe te passen materialen (appendages).  
Stroom-gerelateerde niet nodig.
  - Kwaliteit en afname.  
Naar verwachting (deels) bruikbaar. Waarschijnlijk ook bestaande normen toepasbaar mbt. Infra-objecten.
- Deel 3 gaat in op de Nederlandse eisen. Hier ook eisen aan afstanden tot wegverkeer, andere infra etc.
- Annex A somt veiligheidsvoorzieningen op voor HS-lijnen, waaronder:
- Waarschuwborden
  - Klim voorzieningen

f) Bliksembescherming

Voor bliksembescherming is de norm IEC 62305 van toepassing (is onlangs in Nederland van toepassing verklaard).

Bij toepassing op grote schaal en omdat het systeem hoger dan de omgeving zal zijn, mag worden verwacht dat het 'regelmatig' getroffen zal worden door een blikseminslag. Hoe groot de kans daarop is kan worden berekend en is afhankelijk van het oppervlak en invanggebied.

Een blikseminslag zal op de draad of op de ondersteuning plaatshebben. De ondersteuning zullen daarom voorzien moeten zijn van een diepteaarder. Toepassing van een bliksemdraad boven de onder spanning staande geleider zal waarschijnlijk niet realiseerbaar zijn daar hiermee het E-veld ongunstig wordt beïnvloed. Daarom moet rekening worden gehouden met een directe inslag in de draad. Indien de draad daar niet tegen bestand is zal beschadiging en mogelijk breuk optreden. Afhankelijk van de locatie van de draad boven de weg zal breuk waarschijnlijk niet toelaatbaar zijn. In dat geval dient de geleider voldoende sterk te zijn om een inslag te kunnen verwerken. Een zwaardere draad heeft echter ook weer gevolgen voor de ondersteuningsconstructies. De voeding zal ook bestand moeten zijn tegen een directe inslag die via de draad naar de voeding komt. Mogelijk zijn speciale maatregelen noodzakelijk om te voorkomen dat een bliksempuls via de voeding op het openbare net terecht komt. Gedacht kan worden aan overspanningsafleiders, mogelijk in combinatie met een isolatietransformator

Het systeem functioneert dankzij ionisatie van de lucht. Er zijn bliksemopvangsystemen bekend die ook op dit principe berusten. Hoewel de werking van deze, zeer lokale, systemen door ons en andere Nederlandse deskundigen zeer wordt betwijfeld, wordt in Aziatische landen wel van dergelijke systemen gebruik gemaakt. Het is daarom niet op voorhand uit te sluiten dat dit, uitgebreide systeem, wat gevoeliger is voor blikseminslag.

Overigens zal het systeem geen extra risico's opleveren met betrekking tot blikseminslag op personen. De risico's die men bij onweer buiten altijd loopt gelden ook hier.

Bij werken aan het systeem dienen de juiste veiligheidsmaatregelen te worden genomen. Mogelijk dat hier een aanvulling nodig is op de reeds van toepassing zijnde veiligheidsmaatregelen.

### **Conclusie 1: Bij een maximale contactstroom van 0,5 mA zijn geen persoonlijke veiligheidsrisico's aanwezig.**

*Vaststellen maximale lading/stroom.*

De contactstroom die een persoon ervaart zal bestaan uit de ontladstroom van de draad + de stroom die de voeding levert.

De ontladstroom wordt bepaald door de capaciteit van de combinatie 'draad – aarde' en de op de draad aangebrachte spanning.

De capaciteit wordt bepaald door afstand tot het aardoppervlak en het oppervlak van de draad. Het oppervlak wordt daarbij bepaald door de geometrie van de geleider (dunne draad, buis of plaat) en de lengte.

Rekenvoorbeeld:

Bij een lading op de draad van 0,5 C zal de ontladstroom bij aanraken kleiner blijven dan 0,5 mA. (dit is worst-case daar de ontladstroom met een e-macht zal afnemen en binnen 1 msec. vrijwel nul zal zijn).

Bij een hoogte van 10 m. en een draaddikte van 1 cm. ligt de capaciteit van de draad rond de 6-7 pF.

Uit berekeningen blijkt dat een sectielengte van 1km. in dat geval al een spanning toelaat van bijna 75 kV voordat 0,5 Coulomb lading op de draad aanwezig is. Een lagere spanning levert een evenredig lagere lading.

De hierboven genoemde waarde van 0,5 mA is de totale stroom die door een lichaam kan/mag vloeien. Bij aanraking van de draad bestaat die stroom dus uit de kortstondige ontlading van de draad en de voortdurende stroom die door de bron geleverd kan worden. Daarbij zal ook de lek moeten worden meegerekend van de draad naar aarde, bijvoorbeeld bij mist of regen.

Uit de gedane metingen is gebleken dat deze lekstroom rond de 150  $\mu$ A ligt.

>> Onderzocht moet worden of een vergelijkbare lekstroom optreedt bij langere lengtes van de draad.

>> Onderzocht moet worden of bij toepassen van een andere geometrie van de geleider de capaciteit (en daarmee de lading) wezenlijk verandert.

Indien een voeding met een maximale stroom van 0,5 mA voldoende is, dan is vanuit het oogpunt van persoonlijke veiligheid voldaan aan de geldende normen en richtlijnen.

Indien een grotere stroom noodzakelijk is, dan biedt IEC 60479 een handvat om te onderzoeken of 2 mA ook toelaatbaar is. In dat geval is er nog steeds de 'relatieve' ruimte tot 100 mA. (waaronder nog nooit elektrocuties zijn gezien).

>> Denk ook aan onveilige situaties voor andere 'gebruikers' dan mensen, bijv. vonken bij aanraking en het gelijktijdig aanwezig zijn van een explosief mengsel.

### Van toepassing zijnde normen ten aanzien van wederzijdse beïnvloeding luchtreiniging systeem en systemen van derden

Onderstaande aspecten kunnen worden onderscheiden:

- a) EMC-richtlijn
  - b) Wederzijdse beïnvloeding met systemen van derden (EMC)
  - c) Corona – Ozon
  - d) Verstoorde radio-ontvangst
- 
- a) Normen voor het bereiken van EMC  
Voor alle systemen geldt dat voldaan moet worden aan de EMC-richtlijn. Dit betekent dat het systeem andere systemen niet mag verstoren en zelf niet door andere systemen wordt verstoord.  
In principe mag de leverancier zelf bepalen of voldaan wordt aan de EMC-richtlijn. Indien de leverancier dit verklaart dan mag worden aangenomen dat aan alle van toepassing zijnde EMC-normen is voldaan.  
Uiteraard dient hij dit wel aan te kunnen tonen.  
Gezien er geen grote stromen lopen lijkt dit geen probleem.  
>> Onderzocht moet worden of opladen van objecten onder de lijn kan leiden tot beïnvloeding of gevaarlijke situaties. Zie ook hieronder.
  - b) Wederzijdse beïnvloeding van/door systemen van derden  
Doordat het lucht reinigingssysteem berust op het principe van potentiaalverschil tussen de beide polen zal er nauwelijks stroom benodigd zijn. Er zal enkel stroom benodigd zijn vanwege de lekweerstand van de geleiders door de lucht en langs

de isolatoren naar aarde. Het lucht reinigingssysteem transporteert dus geen grote stromen, waardoor van inductieve en weerstandsbeïnvloeding op systemen van derden geen sprake zal zijn. Omdat de maximale stroom die de voeding kan leveren beperkt zal zijn (0,5 mA) zal ook tijdens een aardsluiting (wanneer de draad op de grond ligt) geen grote stroom lopen. Ook in dit geval is geen beïnvloeding te verwachten.

De verwachting is dat dit soort verstoring geen issue zal zijn daar vrijwel geen magnetisch veld aanwezig is.

Wat betreft het elektrisch veld moet rekening worden gehouden het opladen van niet-geaarde structuren nabij het lucht reinigingssysteem. Van belang hierbij is de eigen capaciteit van de niet geaarde structuur ten opzichte van aarde. Dit bepaalt de lading op de niet geaarde structuur en daarmee de voelbaarheid bij aanraking. Deze voelbaarheid kan worden ingedeeld in: niet merkbaar, voelbaar, pijnlijk, zeer pijnlijk. Een eerste inschatting is dat aanraking van niet geaarde structuren nabij het lucht reinigingssysteem wellicht leidt tot hooguit een voelbare aanraking. Er dient dan rekening te worden gehouden met eventuele schrikreacties met mogelijke gevolgen. Technisch is dit probleem te vermijden door geen niet-geaarde structuren nabij het lucht reinigingssysteem te positioneren.

Wel zal de mogelijkheid moeten worden onderzocht dat auto's (vrachtauto's) opgeladen worden en daarmee gevaarlijke situaties kunnen veroorzaken (overslag bij tanken).

>> In het licht van de EMC-richtlijn is het wel aan te bevelen onderzoek te doen naar mogelijke beïnvloeding van verkeerssystemen en auto's.

Verstoring door andere systemen is onwaarschijnlijk met uitzondering van beïnvloeding door nabijgelegen bovengrondse en ondergrondse hoogspanningsverbindingen of door spoorwegen (op dit moment alleen de Betuweroute en HSL-Zuid omdat deze met 25 kV AC werken).

Door inductie zou een storende spanning op de onder spanning staande draad kunnen optreden die mogelijk de voeding zou kunnen storen of waarmee de installatie onder een ander regiem (bijv. AC-normen ipv. DC-normen) zou kunnen vallen.

>> Geadviseerd wordt om beïnvloeding door nabijgelegen hoogspanningslijnen te onderzoeken.

c) Corona – Ozon

Corona dient zoveel mogelijk te worden vermeden. Enerzijds omdat dit energieverlies betekent en de weggelekte lading door de voeding moet worden geleverd, anderzijds omdat het verstoring kan veroorzaken (bijv. bij radio-ontvangst).

Het hoorbaar en mogelijk zichtbaar zijn van corona zal mogelijk een negatieve invloed hebben op de publieke opinie.

Zie hiervoor ook de eisen in 50341.

d) Verstoorte radio-ontvangst

Het aanwezig zijn van een geleider op relatief kleine afstand boven de weg kan mogelijk invloed op de ontvangst van bijvoorbeeld AM-zenders.

Onderzocht moet worden in hoeverre dit een probleem is.

Gezien het gebruik van trolley- en tram-lijnen op een veel kleinere afstand tot de weg zonder dat dit tot problemen leidt, is de verwachting dat dit geen probleem zal opleveren.

**Conclusie 2: Beïnvloeding van systemen in de omgeving is onwaarschijnlijk, onderzoek naar oplading van objecten wordt geadviseerd.  
Beïnvloeding door systemen in de omgeving is mogelijk bij hoogspanningslijnen, onderzoek hiernaar is noodzakelijk.**

**Opmerkingen met betrekking tot de toepassing van normen.**

Het voldoen aan normen biedt nog geen garantie dat een systeem zonder verstoring functioneert.

Ook dient te worden bedacht dat normen geldig zijn voor de gemiddelde situatie. En zeker voor EMC-normen geldt daarbij dat wanneer voldaan wordt aan de norm, er 'een redelijke zekerheid bestaat dat het systeem niet verstoord wordt (of een ander stoort)'. Het is dus geen absolute zekerheid maar een technische inschatting van een risico. De normen geven ook zelf aan dat speciale situaties apart dienen te worden beoordeeld.

Overigens is het mogelijk dat geen van de bestaande normen één op één van toepassing is op het systeem en dat gebruik gemaakt dient te worden van delen uit diverse normen.

Bedacht moet ook worden dat de normgeving negatief beïnvloed kan worden door de publieke opinie en subjectieve gevoelens.