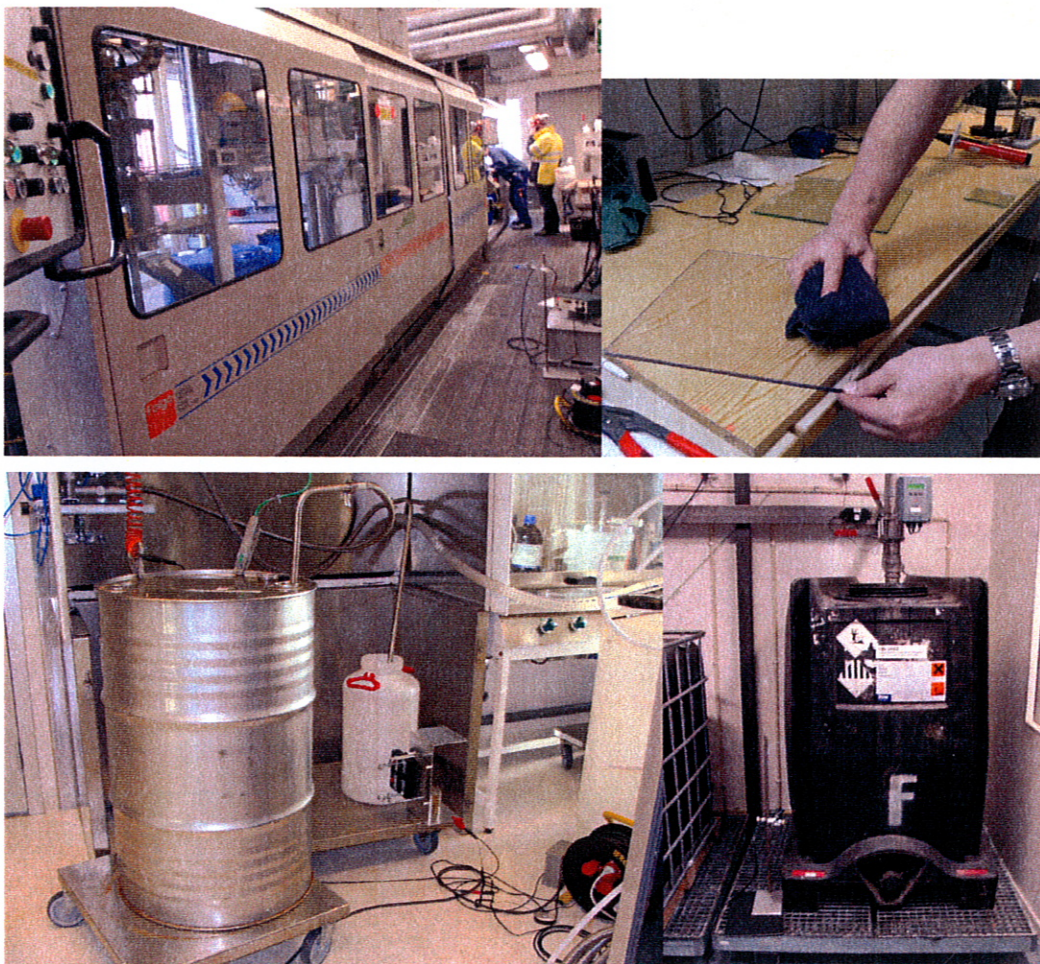


Rapport

Tändförmåga hos elektrostatiska urladdningar från icke ledande fasta material

2011-12-12



Handläggare:



Ulrika Nilsson, tel. 070 181 09 61
Process Safety Group Sweden AB

Kvalitetsgranskare:



Ken Nessvi, tel. 070 181 09 51
Process Safety Group Sweden AB

Sammanfattning

Syftet med detta projekt har varit att klargöra när tändfarliga elektrostatiska urladdningar uppkommer hos icke ledande material inom industrin. Fokus har varit på kontaktuppladdning i samband med hantering av isolerande material, samt fyllning av vätskor i olika typer av kärl.

Arbetet har innefattat både laborationer och mätningar ute på industrin. Dessutom har en litteraturstudie genomförts.

Resultaten från studien visar att kontaktuppladdning kan ge upphov till betydligt högre laddningsnivåer än de som uppmätts i samband med fyllning av vätskor i plastkärl.

I SEK handbok 433 [22] samt i draft till teknisk rapport [23] finns riktlinjer för maximal yta av isolerande material i zonklassade områden men också maximal urladdning som får förekomma för de olika gasgrupperna.

Resultat från genomförda laborationer och mätningar ute på industrier visar att kontaktuppladdning i samband med hanteringen av fasta isolerande material i och i anslutning till explosiv atmosfär utgör en tändrisk. Det är också intressant att industrimätningarna och labbmätningarna entydigt visar att uppladdningen för de olika ytstorlekarna väl stämmer överens med maximal tillåten uppladdning.

När det gäller fyllning av olika typer av kärl så indikerar mätningarna att detta inte utgör något problem med de vätskor som provats. Detta trots att de flesta som hanterar brandfarliga vätskor i stor utsträckning fokuserar på uppladdningen av vätskor och kärl i samband med hantering i rörledningar och fyllning/tömning av kärl.

Om man ser till förekomsten av isolerande fasta material ute på industrin så kan man konstatera att de riktlinjer som anges i standarder ej efterlevs. Användningen av plaster ökar mer och mer och redan idag överskrider storleksbegränsningarna för isolerande ytor i klassade områden.

När det gäller hantering av explosionsrisker bör ett större fokus läggas på kontaktuppladdning av isolerande ytor i explosionsfarliga områden. Generellt är kunskapen om detta dålig, och därmed är det också problem att nå ut med budskapet.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
2	Syfte och mål	6
3	Medverkande	6
4	Definitioner	7
5	Grundläggande kring explosioner	8
5.1	Gasexplosioner	8
5.2	Dammexplosioner	9
5.3	Explosionsfarliga områden	9
6	Tändkällor	11
6.1	Heta ytor	11
6.2	Öppna lågor, heta gaser och partiklar	11
6.3	Gnistor från mekanisk utrustning och bearbetning	11
6.4	Elektriska apparater	11
6.5	Inducerande, vagabonderande strömmar	11
6.6	Statisk elektricitet	11
6.7	Blixtnedslag	11
6.8	Radiofrekvent s elektromagnetisk trålning ($10^4 - 3 \times 10^{12}$ Hz)	12
6.9	Elektromagnetisk strålning ($3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{15}$ Hz)	12
6.10	Jonisering	12
6.11	Ultraljud	12
6.12	Adiabatisk kompression och chockvågor	12
6.13	Exoterma reaktioner och självantändning	12
6.14	Brand	12
7	Litteraturstudie	13
7.1	Hur ser kunskapsnivån ut i dagsläget?	13
7.2	Några forskningsrön på området	14
8	Statisk elektricitet	18
8.1	Elektrostatisk uppladdning	18
8.2	Elektrostatiska urladdningar	20
9	Materialegenskaper	23
9.1	Vätskor	23
9.2	Fasta material	23
10	Riskreducerande åtgärder	24
10.1	Jordning och potentialutjämning	24
10.2	Användandet av ledande eller dissipativa material istället för isolerande material	24
10.3	Försiktighetsåtgärder nödvändiga vid användandet av isolerande fasta material	25
11	Praktiska mätningar ute på industrin	27
11.1	Metod	27
11.2	Trioplast Landskrona	27
11.3	Akzo Nobel, Malmö	27
11.4	FeF Chemicals Køge	28
11.5	PolyPeptide Laboratories	32
11.6	Bona Kemi	36
11.7	Akzo Nobel i Stenungssund	40
12	Laboration – uppladdning av plastkärl	44
12.1	Testobjekt 25 liters plastkärl	45
12.2	Testobjekt 200 liters plastfat	51
13	Laboration – uppladdning av glas och polykarbonat	56
13.1	Klimat	56

13.2	Utförande och resultat	56
13.3	Slutsatser	60
14	Slutsatser	61
15	Diskussion	61
	Referenser	63

1 Inledning

Vad händer med vätskor som transporteras i plastslangar och när plastmaterial blandas med metall i tillverkningsmaskiner?

Detta är frågor som ofta uppkommer på industrier med hantering av brandfarlig vara i processen.

Syftet med detta projekt är att kunna klargöra när tändfarliga elektrostatiska urladdningar uppkommer hos icke ledande material inom industrin. Projektet har sin grund i ett uppdrag författarna var involverade i där en fyllningsmaskin byggdes med blandade material, både plast och metall. Frågor som då aktualiserades var bl. a:

- Hur vet man när uppladdningen är tillräcklig för att ge en tändfarlig borsturladdning?
- Beror det på materialet, storleken och formen på ytan?
- Hur spelar luftfuktigheten in?

Många industrier hanterar brandfarliga varor och/eller brännbart damm. Dessa miljöer riskbedöms, en klassningsplan och ett explosionsskyddsdokument upprättas. I explosionsskyddsdokumentet ingår att tändkällor i explosiv atmosfär ska bedömas. Statisk elektricitet är en tändkälla som vållar mycket bekymmer då den inte är helt enkel att förutse.

2 Syfte och mål

Med utgångspunkt i kapitel 4 och 5 i SEK Handbok 433 [22] kommer det att tas fram en mer nyanserad bild av vilka situationer som kan ge tändfarliga elektrostatiska urladdningar från icke ledande fasta material. Detta kommer att göras genom experiment, mätningar ute på industrin samt genom teoretiska värderingar. Speciellt skall inverkan av ytans storlek, typ av icke ledande material, samt uppladdningsmekanism undersökas närmare. Det skall också etableras en adekvat experimentell metodik för evaluering av tändfaran hos urladdningar i en given praktisk situation.

När det gäller borsturladdningar så är det brandfarliga gaser och ångor från brandfarliga vätskor som kan antändas. Hittills har man inte kunnat påvisa att brännbart damm har kunnat antändas av borsturladdningar.

Därför fokuseras på borsturladdningar från fasta isolerande material i samband med fyllning av brandfarliga vätskor samt kontaktuppladdning i samband med hantering av isolerande material på ytor och i kärl.

Målet är att få en mer nyanserad kvantitativ kunskap om vilka praktiska situationer som kan åstadkomma elektrostatiska urladdningar som kan utgöra en tändkälla för icke ledande fasta material i praktiken. Riktlinjer för identifiering av sådana situationer vid speciella tillfällen för processindustrin, tillsynsmyndigheter och konsulter diskuteras.

Kunskapen inom området är omfattande men den är ofta spridd och det är svårt att finna den sammanställd och framförd på ett enkelt sätt. Ett delmål i projektet är att sammanställa dokumentation och framföra den på ett sätt som gör att industrin kan ta till sig kunskapen.

3 Medverkande

Projektet har delfinansierats av Brandforsk, Tyréns AB samt Intressentföreningen för processäkerhet (IPS). I projektarbetet har försök på SP:s laboratorium och mätningar ute på industrin samt en litteraturstudie genomförts. Speciellt har inverkan av ytstorlek, typ av material, samt uppladdningsmekanism undersökts närmare.

Utförare och författare till rapporten har varit Ulrika Nilsson och Ken Nessvi, Process Safety Group Sweden AB. Litteraturstudie, fältmätningar, laboratorieförsök samt utkast till rapport genomfördes i Tyréns regi. Slutförandet av rapporten och ett seminarium genomfördes under hösten 2011 via uppdrag från Tyréns till Process Safety Group Sweden AB där författarna numera finns.

Ingvar Karlsson, SP har medverkat som sakkunnig och försöksledare vid laborationer och industrimätningar.

4 Definitioner

Här följer några viktiga definitioner. Utgångspunkten är SEK Handbok 433 [22].

Borsturladdning

Borsturladdningar kan uppkomma då ett rundat föremål förflyttas mot ett uppladdat isolerat föremål, t.ex. en människas finger mot en uppladdad IBC-behållare. En borsturladdning ger en energi upp till 4 mJ.

Dissipativ

Egenskap hos material som inte förmår behålla elektrisk laddning när det är i kontakt med jord. Dissipativa material har en volymresistivitet som överstiger $10^4 \Omega\text{m}$ men högst upp till $10^9 \Omega\text{m}$, eller har en ytresistivitet mindre än $10^{10} \Omega$ mätt vid normal omgivningstemperatur och 50 % luftfuktighet.

FIBC (flexible intermediate bulk container)

Beteckning på storsäck. Dessa delas upp i olika typer A-D, där C och D har högst krav gällande skydd mot elektrostatisk uppladdning.

Kapacitans

Förmågan att lagra elektrisk laddning hos komponenter. Kapacitans är definierad som förhållandet mellan laddningsmängden Q och spänningen över kretsen U :

$$C = \frac{Q}{U}$$

SI-enheten för kapacitans är farad; 1 farad = 1 coulomb per volt.

Explosionsgrupper och MESG

Indelningen av ämnen i explosionsgrupper bestäms av MESG (minimum experimental safety gap) som har att göra med hur smal bredd som behövs för att en flamma ska gå igenom en spalt.

Explosionsgrupp

IIA ex.vis propan

IIB ex.vis eten

IIC ex.vis hydrogen, acetylen

Konduktivitet

Mäter hur väl ett material transporterar elektrisk laddning. Konduktivitet är detsamma som konduktans per längdenhet och mäts i SI-systemet i enheten Siemens per meter (S/m).

Ledande föremål

Material som inte förmår att behålla elektrisk laddning utan leder den till jord när kontakt finns. Det har en volymresistivitet på högst $10^4 \Omega\text{m}$.

Relaxationstid

Tid under vilken den elektrostatiske laddningen på en yta, i en volym vätska eller pulver eller i ett moln av damm eller dimma, avtar exponentiellt till $1/e$ (cirka 37 %) av sitt ursprungliga värde.

RIBC (rigid intermediate bulk container)

Beteckning på 1 m³ bulkbehållare.

Volymresistivitet

En kropps resistans per längdenhet och tvärsnittsytanhet.

Ytresistans

Resistans uttryckt i Ω mellan två elektroder (normalt parallella, vardera 100 mm lång och med ett inbördes avstånd av 10 mm) i kontakt med den yta som skall mätas.

Ytresistivitet

Resistans mellan motstående sidor över en yta per längdenhet och breddenhet, vanligen uttryckt i Ω .

5 Grundläggande kring explosioner

Här beskrivs grundläggande fakta kring explosioners förutsättningar och uppkomst. Rapporten begränsas till att behandla dammexplosioner och gasexplosioner.

5.1 Gasexplosioner

Gasexplosioner inträffar då en brännbar gas blandas med luft och antänds av en tillräckligt stark tändkälla. För att en explosion ska kunna uppstå krävs att gas- luftblandningen ligger inom ett visst koncentrationsintervall; det s.k. explosionsområdet. Den undre explosionsgränsen är den lägsta koncentrationen och den övre explosionsgränsen den högsta koncentrationen för att explosion ska kunna ske.

Det finns ett specifikt blandningsförhållande som är lättast att antända och som kan ge de kraftigaste explosionerna. Detta kallas för ideal blandning och ligger nära den stökiometriska.

Gaserna kan vara tyngre, lättare eller ha samma densitet som luft. Detta gör att vissa gaser stiger, andra sjunker medan en del följer luftens rörelser.

Ångor från brännbara vätskor kan ge gasexplosioner. Vätskans flampunkt är en viktig parameter, flampunkten är den lägsta temperaturen vid vilken vätskan avger ångor i tillräcklig koncentration för att vara antändbar i luft. Det finns även en övre temperatur, där blandningen blir för fet, överkarburerad, i ett slutet kärl.

Utöver en explosiv blandning krävs också en tändkälla. Det kan röra sig om heta ytor, mekaniska gnistor eller gnistor från elektriska apparater. Även elektrostatiske urladdningar kan antända explosiva gasmoln.

En yta måste vara tillräckligt het för att kunna antända ett gasmoln. Detta kallas för den termiska tändpunkten, eller *minimum ignition temperature* (MIT).

Motsvarande finns en lägsta energi hos en tändande gnista; *minimum ignition energy* (MIE).

Varje definierad gas har individuella explosionsegenskaper.

5.2 Dammexplosioner

För att få en dammexplosion krävs ett finfördelat brännbart damm i form av ett dammoln i luft. Dammet har ett explosionsområde, som är ett koncentrationsintervall inom vilket dammolnet måste ligga för att en explosion ska kunna uppstå (Jämför explosionsområde ovan.).

Explosionsområden som mäts i g/m^3 kan jämföras med hygieniska gränsvärden som brukar ligga i storleksordningen mg/m^3 . Det krävs alltså ett relativt tätt dammoln för att dammexplosioner ska kunna uppstå. Man kan t.ex. inte se en lysande lampa på några meters avstånd vid denna dammkoncentration.

Dock krävs det bara millimetertjocka dammlager, som dammkälla, för att få ett tillräckligt tätt dammoln om dammet virvlar upp, t.ex. då man använder tryckluft. I en rörledning kan en dammavlagring på tiondelar av en 1 mm vara tillräckligt för att fortplanta en dammexplosion.

Partikelstorleken samt storleksfördelningen på partiklarna i ett dammoln har stor inverkan på explosionsegenskaperna hos brännbart damm.

Utöver dammolnet krävs en tändkälla. Det kan röra sig om heta ytor, mekaniska gnistor och gnistor från elektriska apparater. Vissa typer av elektrostatiske urladdningar kan också antända dammoln. För att antända en brännbar dammkoncentration krävs normalt betydligt högre energier än vid antändbara gaskoncentrationer.

Dammexplosioner initieras nästan uteslutande inifrån processer. En primär explosion leder sedan ofta till sekundära explosioner ute i fabrikslokaler.

5.3 Explosionsfarliga områden

Om gas- alt. dammluftblandningen ligger inom explosionsområdet, råder explosiv atmosfär. Vid klassning av en anläggning analyseras och bedöms områden där explosiv atmosfär kan bildas; explosionsfarliga områden.

Gasriskområde och omgivande randområde betecknas zon 0, zon 1 respektive zon 2 med följande definitioner:

Zon 0: Ett område där en explosiv atmosfär i form av en blandning i luft av brännbara gaser, ångor eller dimma förekommer ständigt, långvarigt eller ofta.

Zon 1: Ett område där en explosiv atmosfär i form av en blandning i luft av brännbara gaser, ångor eller dimma förväntas förekomma tillfälligt vid normal drift.

Zon 2: Ett område där en explosiv atmosfär i form av en blandning i luft av brännbara gaser, ångor eller dimma inte förväntas förekomma vid normal drift, och om det likväl förekommer, i så fall endast kortvarigt.

Dammriskområde och omgivande randområde betecknas zon 20, zon 21 respektive zon 22 med följande definitioner:

Zon 20: Ett område där en explosiv atmosfär i form av ett moln av brännbart damm i luft förekommer ständigt, långvarigt eller ofta.

Zon 21: Ett område där en explosiv atmosfär i form av ett moln av brännbart damm i luft förväntas förekomma tillfälligt vid normal drift.

Zon 22: Ett område där en explosiv atmosfär i form av ett moln av brännbart damm i luft inte förväntas förekomma vid normal drift, och om det likväl förekommer, i så fall endast kortvarigt.

6 Tändkällor

En tändkälla är någonting som kan antända ett explosivt moln av damm eller gas. Genomgång av tändkällor enligt SS-EN 1127-1 följer nedan.

6.1 Heta ytor

Ytor på både elektrisk och icke elektrisk utrustning kan antända en explosiv atmosfär om ytans temperatur överstiger ämnens tändtemperatur. Friktion kan leda till heta ytor men detta är i regel en långvarig process.

6.2 Öppna lågor, heta gaser och partiklar

En öppen låga vid t.ex. svetsning eller skärning kan antända brännbart material. Glöd och heta gaser från andra delar av en process kan också antända brännbart material.

6.3 Gnistor från mekanisk utrustning och bearbetning

Att enstaka mekanisk gnista skulle antända ett riskområde med damm har väldigt liten sannolikhet då tändenergin är för låg. Däremot är det oftast inga problem att antända en explosiv gasatmosfär. Gnistan kan komma från importerade föremål, (metall etc.), eller från lossnade föremål i utrustningen.

Roterande utrustning med hög hastighet som t.ex. fläktar kan bilda ”hot spots” och detta är en tillräckligt kraftig tändkälla för att antända ett dammoln och följaktligen även gasmoln.

6.4 Elektriska apparater

Elektrisk utrustning är en tändkälla om gnistor eller ljusbågar uppstår när spänningsförande strömkretsar bryts, antingen oavsiktligt eller avsiktligt via t.ex. en strömbrytare. Utrustningen kan också bli varm och därav utgöra en tändkälla. Elektrisk utrustning ska installeras efter SS-EN 60079-14 och SS-EN 61241-14 samt underhållas och kontrolleras i enlighet med standard SS-EN 60079-17 och SS-EN 61241-17. Dessutom ställer ofta försäkringsbolag krav på elrevisionbesiktning som utförs av auktoriserad besiktningsman via Elektriska nämnden.

6.5 Inducerande, vagabonderande strömmar

Vagabonderande strömmar kan förekomma vid t.ex. återledning till energiverk, speciellt i närheten av kabelstråk och stora svetsystem, där kabelstråk förlagda under mark kan minska motståndet till återledare. Andra orsaker kan vara kortslutning och magnetisk induktion.

6.6 Statisk elektricitet

Behandlas separat i kapitel 7.

6.7 Blixtnedslag

Om ett blixtnedslag slår ner i en explosiv atmosfär sker alltid antändning. Ett normalt åskskydd kan minimera risken för denna typ av tändkälla.

6.8 Radiofrekvent s elektromagnetisk trålning ($10^4 - 3 \times 10^{12}$ Hz)

Elektromagnetisk strålning avges från all utrustning som använder som genererar och använder radiofrekvent elektrisk energi, såsom RF generatorer för uppvärmning, torkning, härdning, svetsning och skärning. Alla ledande delar som är placerade i strålningsfältet fungerar som mottagare. Om strålningsenergin är tillräckligt hög och den mottagande ytan tillräckligt stor kan antändning ske.

6.9 Elektromagnetisk strålning ($3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{15}$ Hz)

Strålning i detta spektrum kan, speciellt om den är fokuserad orsaka antändning då den absorberas av en explosiv atmosfär eller av en fast yta. Ett exempel är om solljus bryts i ett glaskärl, exempelvis en E-kolv på ett labb, så kan tändfarliga temperaturer uppstå, och antändning ske av föremål som träffas av strålningen.

6.10 Jonisering

Joniserande strålning som genereras av t.ex. röntgenrör och radioaktiva substanser kan antända explosiva atmosfärer.

6.11 Ultraljud

Som ett resultat av att ultraljud absorberas av vätskor och fasta material, kan i extrema fall temperaturen stiga till antändningstemperatur.

6.12 Adiabatisk kompression och chockvågor

Vid kompression bildas värme som i vissa fall är tillräcklig för att uppnå antändningstemperatur. Temperaturökningen beror mera på tryckökningkvoten än på tryckskillnaden. Chockvågor genereras t.ex. vid plötsliga utsläpp av högtrycksgaser in i rörledningar.

6.13 Exoterma reaktioner och självantändning

En exoterm reaktion är en kemisk reaktion som avger värme, och som kan uppkomma t.ex. genom att organiskt material blivit fuktigt, eller då vissa vegetabiliska oljor sugts upp i porösa organiska material.

6.14 Brand

Vid brand i anläggningen bör system med lufttransport stoppas för att undvika dammexplosioner.

7 Litteraturstudie

7.1 Hur ser kunskapsnivån ut i dagsläget?

Glor, M. [7] har kartlagt kunskapsnivån gällande elektrostatiska tändrisker. Det är viktigt att komma ihåg att elektrostatisk uppladdning ofta är förknippat med process och processutrustning. Utöver normal drift måste man även ta hänsyn till vilka risker som tillkommer vid onormal drift och driftstörningar. Modifieringar och förändringar i process och utrustning görs ofta utan hänsyn till hur detta påverkar riskerna med statisk elektricitet. Vidtagna säkerhetshöjande åtgärder är ofta av organisatorisk natur och därför i hög grad beroende av mänskligt beteende och kompetensen hos medarbetarna. Elektrostatiska fenomen är ofta komplicerade och svåra att förstå. Därför krävs grundläggande kunskaper i fysik och processer för att kunna göra riskbedömningar. Det är endast i undantagsfall som incidenter kan förknippas med tidigare okända fenomen. Det senaste fenomenet, den s.k. konurladdningen upptäcktes på 1990-talet.

Ett bevis på hur komplicerat området är när man ofta ”skyller” på statisk elektricitet då inga andra tändorsaker har kunnat identifieras. Kanske inte felaktigt men lång ifrån hela sanningen.

Det uppstår ofta intressekonflikter då åtgärder för att främja miljöskydd, kvalitet, arbetsmiljöfrågor och produktivitet ska samordnas. Inte minst gäller det för ökade tändrisker i samband med elektrostatisk uppladdning och urladdning. Här följer några exempel:

- Genom att koncentrera och samla upp lösningsmedelsångor som man tidigare släppte ut har riskerna ökat för explosiv atmosfär, samtidigt har användningen av plaströr ökat och därmed risken för statisk elektricitet.
- Genom att anordna punktutsug där man samlar upp dammpartiklar för att minska partikelhalten i luften koncentreras dammet och explosiva blandningar kan uppstå i filter, där statisk elektricitet kan vara en tändorsak.
- Genom att anlägga tätskikt på betongplattor, med normalt god ledningsförmåga, har jordförbindningen brutits och tankbilar som genom däckens har varit jordade har plötsligt blivit isolerade ledare!
- Hjälmars av isolerande plast kan orsaka elektrostatiska urladdningar.
- Skoskydd kan också sätta ett jordningssystem med ledande golv helt ur spel.
- m.m....

Karakteriseringen av tändförmågan hos olika typer av urladdningar är en av de allra viktigaste frågorna kring statisk elektricitet. Ett komplicerat och pragmatiskt sätt att bestämma tändförmågan är att utföra tester. Genom att tändförsök utförs för ämnen med ett känt MIE kan man bestämma den så kallade ekvivalenta tändenergin, d.v.s. den tändenergi som motsvaras av den tändande elektrostatiska urladdning som används i försöken. En metod som används mer och mer för att karakterisera tändförmågan är att mäta laddningsöverföring, och särskilt för borsturladdningar. Tändförsöken utförs i närvaro av explosiv atmosfär för explosionsgrupp IIA, IIB och IIC. Damm är utrett endast i begränsad omfattning. Då det gäller jämförelser med ekvivalent energi för

borsturladdningar har det visat sig att damm med $MIE < 1$ mJ ej har kunnat antändas trots att den ekvivalenta energin från borsturladdningar för vissa gaser ligger på några milli joule. Detta visar att utöver total urladdningsenergi över tid är även laddningens utbredning i rummet viktig. Detta har lett till en livlig debatt bland experter på området.

Hittills har det varit allmänt vedertaget att propagerande borsturladdningar inte kunde inträffa när pulver, genom tyngdkraften, transporterats genom rör som är belagda med isolerande beläggning. Vid två inträffade olyckor har man dock misstänkt att så ändå varit fallet. Speciellt om stora mängder pulver transporteras över en kort tidsperiod med en fallhöjd av flera meter. Lösningen på problemet har blivit att använda ledande beläggningar eller inert atmosfär under dessa omständigheter. Vidare har det visat sig att avlagringar av pulver på insidan av utrustning kan utgöra en risk för propagerande borsturladdningar, något som tidigare ansågs omöjligt. Vid en inträffad explosion i en silo med ABS pulver har troligen propagerande borsturladdningar på grund av avlagringar varit tändorsaken.

Slutsatsen är att om brännbara pulver med låg smältpunkt eller med en tendens att forma amorfa beläggningar hanteras, måste hänsyn till risken för propagerande borsturladdningar tas med i riskbedömningen.

Många incidenter har rapporterats i samband med användningen av FIBCer (storsäck). Storsäck kan delas upp i typ A, B, C och D. Även en variant typ D^{plus} har utvecklats. Denna är en kombination av en typ C och D, d.v.s. den ska dels vara ledande och möjlig att jorda men om den inte jordas kan koronauraddningar med begränsad energi inträffa. Detta innebär dock en balansgång, om ledningsförmågan är för hög sker inga koronauraddningar och om den är för låg sker ingen avledning till jord. RIBCer används för transport och lagring av vätskor och består vanligtvis av PE plast. Dessa används mer och mer även för brandfarliga vätskor och utgör naturligtvis tändrisk pga. elektrostatisk upp- och urladdning. Vägledning finns i [10].

Förutom upptäckten av konurladdningar har inga nya kritiska fenomen identifierats avseende elektrostatisk urladdning vid industriella processer under det senaste decenniet. Dock har nya resultat kommit fram avseende allt från borsturladdningar från plasttytor och beläggningar till karaktäriseringen av tändförmågan genom laddningsöverföring. Förekomsten av propagerande borsturladdningar vid industriella processer samt testmetoder för att bedöma riskerna avseende förpackningar för vätskor (RIBC) och fasta material (FIBC, storsäck) är också områden som undersökts.

7.2 Några forskningsrön på området

Ackroyd, G. & Caine, P [1] har gjort försök med IBC-behållare med stålram och kommit fram till att dessa kan utgöra en tändrisk vid hantering av brandfarliga lösningsmedel. Detta trots att de anses vara lämpliga för att använda i zon 1 och 2 för ämnen i explosionsgrupp IIA och IIB. Därför är det viktigt att framhålla att behållarna i sig inte är säkra, och att ytterligare försiktighetsåtgärder måste vidtas för att kunna använda dessa i explosionsfarlig atmosfär. Experimenten visade att urladdningsnivåer betydligt högre än 60nC kunde uppkomma, och att brännbara blandningar med tändenergier på 0,15; 0,2 och 0,4 mJ kunde antändas.

Ackroyd, G. & Caine, P [2] föreslår ett samband mellan FIBCers (flexible intermediate bulk container) nedbrytningsspänning, linerns nedbrytningsspänning och tjocklek, för

att bedöma risken för propagerande borsturladdningar. FIBC, eller storsäck, delas in i olika kategorier (A-D) utifrån elektrostatiske antändningsegenskaper. Skillnaden mellan en typ A FIBC och en B FIBC är att den senare inte kan bilda tändfarliga propagerande borsturladdningar. Tändförmågan värderas normalt genom att mäta nedbrytningsspänningen, med kriteriet att värdet ligger på $< 6\text{ kV}$ (enligt IEC 61340-4-4:2005). Det anges särskilt att förekomsten av innerbeläggningar inte medräknas trots att flera pulver kräver en innerbeläggning, ofta utifrån transportreglerna. Förekomsten av innerbeläggningar påverkar helt klart nedbrytningsspänningen och därmed risken för farliga propagerande borsturladdningar. Därför vore det logiskt att ställa krav på nedbrytningsspänning $< 6\text{ kV}$, för innerbeläggningar. I praktiken bestäms tjockleken och egenskaperna snarare av hållfasthet och kompatibilitet, vilket gör att nedbrytningsspänningen ofta $> 6\text{ kV}$. En undersökning har visat att även om liners med spänning $> 6\text{ kV}$ har FIBC typ B inte producerat propagerande borsturladdningar. Med tjockare innerbeläggningar har dock propagerande borsturladdningar bildats. [3] visar att antagandet att isolerande plastskikt tunnare än 2 mm på ett jordat ledande underlag inte utgör någon tändrisk inte gäller generellt. Vid försöken med ett 0,7 mm tjockt PFA(perfluoroalkoxy)-skikt kunde urladdningar större än 100-150 nC uppkomma, vilket motsvarar gränsvärdet för att kunna antända vanliga lösningsmedel med MIE på ca 0,2 mJ, vilket motsvarar en ytpotential på $\sim 10\text{ kV}$. Undersökningen omfattar endast PFA, och försök med andra plaster kommer att göras.

Blitshteyn, M. [4] undersökte bland annat risker och riskreducerande åtgärder förknippade med elektrostatiske laddningar i områden med brandfarliga lösningsmedel, typiska för beläggnings- och tryckprocesser. Avancerade såväl som konventionella utrustningar för att eliminera elektrostatisk uppladdning finns att tillgå på marknaden. Det finns både aktiva och passiva system. De har varierande egenskaper och varje applikation kräver därför anpassade lösningar. För att hantera risker med statisk elektricitet krävs att man för en journal om elektrostatiske förhållanden och händelser, har ett förebyggande underhåll på neutralisationsutrustningarna, tar bort felaktiga joniseringsutrustningar, använder rätt utrustning för rätt applikation, samt hanterar neutralisationsinstallationerna på ett ingenjörsmässigt sätt.

Buhler, C., Calle, C., Clements, J.S., Trigwell, S & Ritz, M. [5] utvecklade en ny teknik för att värdera tändförmågan hos isolerande material. Normalt använder man en jordad sfär som man låter närma sig en uppladdad isolerande yta, i närvaro av en brännbar atmosfär. Denna metod är dock inte lämplig när man vill undersöka borsturladdningar som uppstår vid laddningsseparationen mellan två isolerande material. Här presenteras en sådan metod, och även en metod för att mäta ytpotentialen före, under och efter kontakt och separation.

Davidson, J.L., Williams T.J., Bailey A.G. & Stevens R.P. [6] har med datorsimuleringar i en s.k. elektrostatisk fältlösare gjort beräkningar av distributionen av elektriska fält mellan en laddad isolerande yta, en isolerande "backing" och en jordad sfär. Dessa data har sedan använts som input i ett datorprogram. Programmet använder ett nedbrytningskriterium för att bestämma om det elektriska fältet har rätt förutsättningar för att initiera en borsturladdning mellan sfären och den isolerande ytan. Närvaron av ett isolerande skikt inverkar på så sätt att ett kraftigare elektriskt fält kunde upprätthållas än om man bara hade haft ett ledande skikt. Ytterligare ett datorprogram möjliggjorde

att man kunde fastställa den lagrade elektrostatiska energin i närvaron av det isolerande skiktet. Resultaten visade att den maximalt tillgängliga energin på en definierad isolerande yta varierade med bl.a. skiktets tjocklek och form, samt på ytans spänning.

Hearn, G. & Smallwood, J. [8] har jämfört uppmätta peakvärdet för strömstyrka, vågform, tid för uppladdning och laddningsöverföring vid elektrostatiska urladdningar från laddade, isolerade sfäriska ledare med och utan jordplan (gnisturladdningar) och triboelektriskt uppladdad polyeten respektive polyamidplast (borsturladdningar). Man kom fram till tydliga skillnader i laddningsöverföring mellan gnist- och borsturladdningar, och mellan positivt uppladdad PA och negativt laddad PE. PA gav signifikant lägre laddningsöverföring och peakström än PE.

Horenstein, M. & Roberts, N. [9] fann att kraften som behövdes för borttagandet av en uppladdad isolerande folie från ett jordplan går att förutse, både experimentellt och med datorsimuleringar. Man fann att den elektrostatiska attraktionen mellan folien och jordplanet var linjärt proportionell med avståndet.

Llovera, P., Molinié, P., Soria, A. & Quijano, A. [12] har jämfört olika mätmetoder för ytladdning, elektrisk potential och elektriska fält, som används för att kunna karakterisera olika material och för att utvärdera olika industriella applikationer. Tre typer av mätinstrument kan användas; induktionssonder, fältkvarnar och elektrostatiska sonder. Instrument utgår från olika elektrostatiska förhållanden, men efter noggrann analys är mätresultaten ekvivalenta.

Ohsawa, A. [13] presenterar kriterier för volym-laddningsdensitet och elektriskt fält vid tankvägg för att undvika urladdning mellan ett jordat utskjutande föremål och laddade moln i jordade tankar med en volym upp till ca $1,5 \times 10^5 \text{ m}^3$. Gränsvärdena för laddningsdensitet likformigt laddade moln för att initiera urladdning vid spetsen på det utskjutande föremålet undersöktes. Därefter uppskattades laddningsöverföring och energi för att undersöka deras tändförmåga. För att kunna bedöma risken med hjälp av ett fältinstrument, fastställdes också kriterier för elektriskt fält vid tankväggen för att undvika tändande urladdningar. Slutsatsen är att tjocka tankväggar utgör en risk och att ju kortare tankar desto mera tändfarliga, med tunna konstruktioner reducerar tändrisken.

Pekkala, P., Paasi, J., Hearn, G. & Smallwood, J. [14] studerade elektrostatiska urladdningar från storsäck och IBCer. Olika typer av material studerades. Maximal urladdningsström, laddningsöverföring och avstånd från den yta vid vilken urladdning inträffar, uppmättes för ett intervall av ytpotentialer. Man fann att urladdningar med negativ polaritet gav högre värden på maximal urladdningsström än för motsvarande urladdningar med positiv polaritet. Distansen vid vilken urladdning skedde ökade med ytpotentialen som förväntat. Max urladdningsström och laddningsöverföring höll sig relativt konstant över ett intervall av ytpotentialer.

Sun, K., Zhao, H. & Gao, S. [16] gjorde antändningstester med borsturladdningar mellan en jordad sfärisk elektrod och en laddad PVC platta i hydrogen-luftatmosfär. Testresultaten indikerar att det är mycket svårt att generera borsturladdningar när ytpotentialen i plattans centrum understiger -10 kV , och att det är mycket svårt att antända hydrogen-luftblandningen vid potentialer under -20 kV . Vid en vätgaskoncentration på mellan 20-25 % kunde antändning ske.

Tamus, Z., Kiss, I., Szedenik, N & Keindl, M. [17] presenterar en laboratoriemodell för att undersöka energin hos propagerande borsturladdningar. Modellen fungerade tillfredsställande på små ytor ($100-400 \text{ cm}^2$), då det är enklare att skapa en konstant laddningsfördelning. Metoden är dock inte applicerbar på större ytor, där laddningsdistributionen inte är homogen.

Von Pidoll, U., Brzostek, E & Froechtenigt, H. [18] föreslår åtgärder för att förebygga risken för elektrostatisk urladdning i samband med tankning av bensindrivna fordon. Resistans till jord från tankningsplatta och däck $< 10^8 \Omega$, resistans hos lossnings slang resp. munstycke $< 10^6 \Omega$ etc. föreslås, och sist men inte minst antistatiska säten!

Von Pidoll, U., Brzostek, E & Froechtenigt, H. [19] presenterar en metod där laddningsöverföring Q_{\min} för en urladdning används istället för MIE som kriterium för att bestämma dess tändfarlighet. Fördelen är att denna metod är betydligt mindre beroende av spänning och gnistgap. Värden på minsta laddningsöverföring Q_{\min} för antändning av ett antal olika ämnen presenteras. Q_{\min} anges för både enstaka gnisturladdningar och borsturladdningar, såväl som vid multipla borsturladdningar över tid. Dessa värden kan bestämmas experimentellt utan att man behöver göra test med explosiv atmosfär.

Walmsley, H. [20] pekar på att mätfel på grund av induktion kan uppstå då man använder icke-avskärmade jordade sfäriska sonder för att mäta laddningsöverföring Q_{\min} . Försök har visat att man bör använda en korrektionsfaktor på mellan 2 och 2,5 för explosionsgrupp IIA och att användningen av oskyddade sonder överhuvudtaget inte är lämpligt för IIB och IIC.

Health and Safety Laboratory [21] testade tre olika typer av 1 m^3 IBC behållare från tre olika leverantörer som skulle vara lämpliga för användande i explosiv atmosfär. Enligt tillverkarna skulle de kunna användas i zon 1 och 2 för gaser i explosionsgrupp IIA och IIB, med MIE 0,2 mJ eller högre. Vidare testades flera olika typer av mindre plastkärl. Provobjekten utsattes för uppladdning genom gnidning med material tillverkade i bomull, polyamid och PVC, och laddades även upp med koronauppladdning. Provningsförfarandet framgår av EN 13463-1:2009. Samtliga testade IBCer avgav elektrostatiska urladdningar från några olika lock och handtag. Flera av urladdningarna överskred 60 nC, som är gränsvärdet för urladdningar för IIA gaser/ångor. Detta gällde även de IBCer som enligt tillverkaren skulle vara lämpliga för att använda i explosiv atmosfär. Testerna visade också att vissa små plastbehållare 100-250 ml gav upphov till urladdningar som överskred gränsvärdet 60 nC. Jämförande antändningsförsök indikerade att de gränsvärden som satts beträffande IIA, IIB och IIC gaser/ångor, har tillräcklig säkerhetsmarginal för att vara tillämpliga.

8 Statisk elektricitet

Här följer en teoretisk genomgång av fenomenet statisk elektricitet som tändkälla. Utgångspunkten är SEK Handbok 433 [22].

Mekanismerna för elektrostatisk urladdning är följande;

- Uppladdning (kontakt, induktion, konduktion, korona)
- Ackumulering
- Urladdning

8.1 Elektrostatisk uppladdning

Elektrostatisk uppladdning kan ske på olika sätt.

Kontaktuppladdning uppstår genom att man separerar två från början oladdade föremål som kommit i kontakt med varandra. Vid separationen kommer ytorna att bära lika stor laddning men av motsatt polaritet.

En annan typ av elektrostatisk uppladdning sker genom induktion, där ledande föremål som uppehåller sig i elektriska fält som skapats av andra uppladdade föremål, eller på ledande föremål i närheten av hög potential. Alla typer av föremål kan också bli föremål för uppladdning om laddade partiklar eller joniserade molekyler ackumuleras på dem.

8.1.1 Kontaktuppladdning

Kontaktuppladdning kan uppstå i gränssnittet mellan fasta, vätskeformiga och fasta/vätskeformiga ämnen.

Gaser kan inte laddas upp på detta sätt, men om de innehåller partiklar eller droppar, så kan dessa laddas upp.

I gränssytan mellan två olika fasta material sker en laddningsseparation, där en liten laddning överförs mellan ytorna och där den ena blir positivt laddad och den andra negativt laddad.

Kontaktuppladdning av vätskor sker när joner av en polaritet attraherar joner av motsatt polaritet och det uppstår ett gränssnitt i vätskan nära ytan. Denna gränssyta störs då vätska i rörelse går igenom ett filter, pumpas etc.

Denna typ av uppladdning sker framförallt hos vätskor med låg ledningsförmåga eller där fasta partiklar är i suspension. Samma sak gäller när man blandar in små mängder av en olöslig vätska eller om luftbubblor uppstår.

Även dimma eller spray kan ge denna typ av uppladdning, oavsett vätskans ledningsförmåga. Det är t.o.m. så att vattenspray ger högre uppladdning än oljedimma.

Då vätskor strömmar i ledningar eller genom filter uppstår kontaktuppladdning i gränsskiktet mellan vätska och material. Turbulent strömning genererar mer uppladdning än laminär strömning.

Uppladdningen är proportionell mot flödes hastigheten vid laminär strömning och kvadraten på hastigheten vid turbulent strömning.

Uppladdningen av vätskan fortgår till en jämvikt uppstår. Därefter ligger den konstant för ledande rörledningar, men minskar efter hand vid isolerande rör, där laddning ”fastnar” längs vägen.

Uppladdning genom blandning och omrörning av en ren vätska är måttlig, men inblandning av fasta ämnen eller dispergerade vätskor kan leda till omfattande uppladdning.

Olika operationer med pulver som t.ex. siktning, malning, satsning och pneumatisk transport kan ge olika grad av elektrostatisk uppladdning. Pneumatisk transport ger ur denna synpunkt den farligaste uppladdningen.

8.1.2 Induktionsuppladdning

Uppladdning genom induktion sker då ledande föremål förs in i elektriska fält, en laddningsförskjutning sker som kan utmynna i en gnisturladdning om den kommer i närheten av ett annat föremål. Om man jordar ledaren momentant potentialen att utjämnas, men det krävs en nettoladdning. Laddningsöverföringen kan ske i form av en gnista då jordningsledaren närmar sig det uppladdade föremålet. Om man sedan för bort det laddade föremålet från det elektriska fältet, kan den kvarvarande uppladdningen orsaka en gnisturladdning.

8.1.3 Konduktionsuppladdning

När ett uppladdat föremål kommer i kontakt med ett oladdat föremål, delas laddningen mellan dem. Exempelvis sker uppladdning då damm, dimma e.d. som är uppladdat avsätts på oladdade föremål.

8.1.4 Koronauppladdning

En annan metod för elektrostatisk uppladdning är att spraya elektroner från en metallspets som har hög negativ potential. Kan ske oavsiktligt från elektrostatisk sprayutrustning eller från koronaspetsar av typ D FIBC (storsäck).

8.1.5 Ackumulering

Efter separation kan laddning snabbt återföras genom antingen direkt kontakt eller genom luften. Laddning på icke ledande material hålls kvar på grund av dess resistans. Det krävs att en ledare är isolerad från jord för att motsvarande ackumulering av laddning ska ske för ledande material.

Hos laddade partiklar som t.ex. dammoln hålls laddningen kvar eftersom luften i sig normalt är en icke-ledare.

Läckage av laddning sker genom att laddning leds bort. Denna process kallas relaxation. Hastigheten bestäms av resistansen hos icke ledarna i systemet.

Akkumuleringen av laddning hos en vätska bestäms av dess uppladdningshastighet i förhållande till relaxationen.

Ledningsförmågan hos vätskor som normalt är dålig kan förändras vid uppladdning så att den blir bättre, vilket ger högre relaxation. Denna avklingar exponentiellt i takt med att laddningen leds bort.

8.2 Elektrostatiska urladdningar

Elektrostatiska urladdningar kan vara av olika natur. Gemensamt för dem alla är att de strävar efter att utjämna de potentialskillnader som uppstått vid uppladdningen.

En sådan elektrostatisk urladdning från ett fast eller vätskeformigt material kan vara utgöra en fara då den i vissa fall kan antända en explosiv atmosfär.

8.2.1 Gnisturladdningar

En gnisturladdning är en urladdning mellan två ledare. Den karakteriseras av att den ger en synlig gnistkanal som joniserar luften i hela dess längd. Urladdningen sker hastigt och ger ifrån sig ett knackande ljud.

Urladdningen sker när fältstyrkan mellan de två ledande föremålen överstiger luftens/gasens elektriska hållfasthet.

På grund av föremålets ledningsförmåga utjämnas i stort sett hela dess potentialskillnad och hela dess laddning.

Tabell 1 Gnistenergier

Charged object	Capacitance (pF)	Potential (kV)	Energy (mJ)*
Single screw	1	5	0.01
Flange, nominal width = 100 mm	10	10	0.5
Shovel	20	15	2
Small container (~50 litres)	50	8	2
Funnel	50	15	6
Person	300	10	15
Drum (200 litres)	200	20	40
Road tanker	1000	15	100

Data are taken from Luttgens and Glor (1989)

*Approximate values

Tabell 1 visar utvecklad gnistenergi från olika ledare, vid olika potential.

Energien kan räknas ut från formeln

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

W = gnistenergi (Joule)

V = potential (Volt)

C = kapacitans (Farad)

Gnistenergin är oftast tillräcklig för att antända de flesta gaser och i vissa fall även brännbart damm.

8.2.2 Koronurladdningar

Den här typen av urladdning inträffar vid vassa kanter och spetsar hos ledande föremål, d.v.s. ytor med liten radie eller kurvatur. Det elektriska fältet kring den vassa ytan är väldigt högt ($< 3 \text{ MV/m}$). Om en jordad elektrod förs mot ett uppladdat föremål alternativt är förd till en högre potential kan en sådan urladdning ske. Eftersom fältstyrkan avtar snabbt med avståndet, är området där jonisering kan ske begränsat.

8.2.3 Borsturladdningar

Borsturladdningar sker när rundade jordade ledare förs mot ett uppladdat isolerande material/objekt. Exempelvis då man för ett finger mot en plastyta.

Det är snabba förlopp som under ”gynnsamma” förhållanden både kan synas och höras. Till skillnad från gnisturladdningar verkar dessa vara mera begränsade och involverar bara en liten del av det uppladdade föremålet. Detta gör att urladdningsenergin också är relativt begränsad, men kan trots det antända de flesta brandfarliga gaser och ångor. Däremot finns i nuläget inget belägg för att en borsturladdning har kunnat antända en damm/luftlandning.

Borsturladdningar kan ha en ekvivalent energi upp till 4 mJ. Detta har bestämts genom att översätta energin till gnisturladdningar i gaser.

8.2.4 Propagerande borsturladdningar

Den här typen av urladdningar bygger på att du har en tunn film eller yta i ett material med hög resistivitet och hög dielektrisk hållfasthet med de två ytorna mycket uppladdade.

Urladdningen sker då de två ytorna kommer i elektrisk kontakt med varandra, genom t.ex. punktering mekaniskt eller på grund av att fältstyrkan överstiger materialets elektriska hållfasthet. Alternativt kan kortslutning ske i ändarna av filmen/ytskiktet genom metallisk koppling. Den uppladdade filmen kan antingen ”sväva fritt” i luften, eller vanligtvis genom att filmen ligger mot ett ledande material, som vanligtvis är jordat.

Förutsättningar för att propagerande borsturladdningar ska kunna ske är att skiktet/filmen är tunnare än 8 mm, och att ytorna har en laddningstäthet på minst $2,5 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$. Dessutom måste nedbrytningsspänningen genom materialet vara minst 4 kV, för jämna ytor, och minst 6 kV för ojämna ytor som t.ex. väv.

Urladdningsenergin kan uppgå till $> 1 \text{ J}$ och kan antända de flesta explosiva atmosfärer, oavsett om det rör sig om gas, damm, dimma eller ånga.

8.2.5 Åskliknande urladdningar

Åskliknande urladdningar inträffar när moln av laddade partiklar urladdas genom att den elektriska fältstyrkan hos atmosfären överskrids. Sådana har aldrig observerats i industriella applikationer, och man har experimentellt kommit fram till att dessa urladdningar är osannolika i silos med en volym $< 60 \text{ m}^3$ och en diameter $< 3 \text{ m}$.

8.2.6 Konurladdningar

Konurladdningar inträffar när uppladdade partiklar lastas in i en silo, och där laddningstätheten blir hög då partiklarna samlas i en hög. Urladdningarna verkar initieras i centrum på toppen av pulverhögen och löpa ut längs ytan till siloväggen.

Förutsättningarna för denna typ av urladdning är komplexa; resistivitet, uppladdningsström, partikelstorlek och storleksfördelning samt silons geometri påverkar bland annat om en konurladdning kan inträffa.

Granuler från ämnen med hög resistivitet i kombination med fint material som bildar dammoln med lågt MIE är exempel på en situation där denna typ av urladdning skulle kunna leda till antändning och dammexplosioner.

8.2.7 Uppladdning av personer

Det finns ingen mekanism i kroppen som gör att man kan känna att man är elektrostatiskt uppladdad. Det syns dock om man har en laddning över 10 kV; då står nämligen håret rakt ut...

Om man är uppladdad och tar i ett jordat föremål är det vanligt särskilt vintertid att man känner en ”stöt”. Detta är en reaktion i vårt nervsystem som skickar impulser till våra muskler att reagera. Gränsen för att vi ska känna denna stöt ligger vid en urladdning motsvarande en spänning på ca 1 kV (motsvarar 0,05 – 0,1 mJ). Denna urladdning är fullt tillräcklig att antända en explosiv atmosfär av lättantändliga gaser som vätgas och acetylen.

En person med bra hörsel kan höra en urladdning under förutsättning att urladdningen ger en spänning på över 5 kV, vilket motsvarar 0,8 – 1,6 mJ. Vid dessa gnistenergier antänds de flesta brandfarliga vätskor och gaser.

Kan man se en urladdning? På vintern då det är kallt är det lätt att se det ultravioletta ljus som uppträder då man t.ex. tar av sig tröjan i mörkret. En sådan urladdning har en spänning på över 10 kV, vilket ger höga gnistenergier.

9 Materialegenskaper

Här följer en presentation av några viktiga materialegenskaper som har stor betydelse för tändriskerna hos olika material. Utgångspunkten är SEK Handbok 433 [22].

9.1 Vätskor

Vätskor i rörelse kan bli elektrostatiskt uppladdade. Det gäller även då vätskor sprutas så att dimma uppstår.

Generellt har polära lösningsmedel som alkoholer, ketoner och vatten hög ledningsförmåga.

Hög ledningsförmåga	> 1000 pS/m
Medium ledningsförmåga	mellan 50 till 1000 pS/m
Låg ledningsförmåga	< 50 pS/m

9.2 Fasta material

Fasta material karakteriseras normalt som isolerande, dissipativa och ledande utifrån volymresistiviteten. Inneslutningar klassificeras utifrån ytresistivitet eller dess ytresistans. Ytresistiviteten är tio gånger högre än ytresistansen.

9.2.1 Isolering material

Isolerande material är enligt definition material som inte platsar i grupperna dissipativa eller ledande material. Dessa material har alltså inga ledande egenskaper. Isolering material ska normalt inte användas i riskområden då laddningar inte kan ledas bort.

9.2.2 Dissipativa material

Dessa material har en viss ledningsförmåga. Volymresistiviteten ligger mellan $10^4 \Omega\text{m}$ och upp till och med $10^9 \Omega\text{m}$.

9.2.3 Ledande material

Ledande material som t.ex. metaller har en volymresistivitet upp till och med $10^4 \Omega\text{m}$.

10 Riskreducerande åtgärder

Här följer en genomgång av olika riskreducerande åtgärder för att eliminera statisk elektricitet som tändkälla. Utgångspunkten är IEC TR 60079-32, draft for comments (31/952/NP) Explosive atmospheres – part 32: Electrostatic Hazards - Guidance [23].

10.1 Jordning och potentialutjämning

Potentialutjämning av alla ledande föremål är den mest effektiva metoden för att undvika faror med elektrostatiska urladdningar. Metoden används för att både utjämna potentialskillnader mellan ledande objekt och för att utjämna potentialen mellan utrustningen och jord.

Ett föremål kan jordas antingen genom direkt kontakt till jord eller genom elektrisk bindning till ett föremål som i sin tur är jordat.

Resistansen till jord blir då den sammanlagda resistansen för varje elektrisk bindning till jord. Den största delen av resistansen till jord kan vara kontakten med själva jordledningen och jord, beroende på kontaktytan och markens beskaffenhet; om det är lera, sand etc.

För att undvika att farliga potentialer byggs upp i en ledare måste resistansen till jord vara tillräckligt låg. För de flesta industriella processer är potentialen minst 300 V. Normalt kan man använda 100 V som ett gränsvärde för säker potential till jord.

För typiska laddningsströmmar på mellan 10^{-11} och 10^{-4} A blir då den maximala resistansen 10^6 Ohm. För mindre föremål med låg kapacitans kan 10^8 Ohm vara ett riktvärde.

Man ska undvika att lägga in delar i rörledning av isolerande material, då det bryter den elektriska ledningen och i värsta fall kan orsaka propagerande borsturladdningar. Den vedertagna metoden att förbinda alla flänsförband och kopplingar med separat ledare är inte att rekommendera och bör endast användas då det saknas metall - metall koppling.

Isolerande material som glas och plast används i allt högre utsträckning och här finns det i många fall ingen möjlighet att utjämna potentialen till en godtagbar nivå. Därför bör användandet av isolerande material i förening med brandfarliga vätskor och gaser undvikas.

10.2 Användandet av ledande eller dissipativa material istället för isolerande material

Användandet av elektrostatiskt isolerande fasta material i riskfyllda områden ska i största möjliga utsträckning begränsas. Numera finns det många exempel på material som tidigare varit isolerande (exempelvis plaster och gummisorter), som kan modifieras för att erhålla ”rätt” egenskaper och karaktäriseras som både dissipativa och ledande. Det kan handla om olika tillsatser i materialet, ytbeläggningar och lamineringar.

Normalt krävs inga ytterligare försiktighetsåtgärder kring dissipativa fasta material i riskfyllda områden vidtas, utöver att säkerställa jordning.

10.3 Försiktighetsåtgärder nödvändiga vid användandet av isolerande fasta material

Kraven för användande av isolerande fasta material i klassade områden skiljer sig beroende på vilken zon det rör sig om:

- För Zon 0 får isolerade fasta material enbart användas om uppladdningsmekanismer som kan generera riskfyllda potentialskillnader inte inträffar, varken under normal drift eller vid sällsynta felfall.
- För Zon 1 får isolerade fasta material enbart användas om uppladdningsmekanismer som kan generera riskfyllda potentialskillnader inte inträffar, varken under normal drift eller vid troliga felfall.
- För Zon 2 får isolerade fasta material enbart användas om uppladdningsmekanismer som kan generera riskfyllda potentialskillnader inte är sannolika under normal drift.
- För Zon 20, 21 och 22 får isolerade fasta material användas, men hänsyn ska tas till risken för gnistor, konurladdningar, borsturladdningar och propagerade borsturladdningar.

Där användandet av isolerande fasta material är oundvikligt finns restriktioner gällande den tillåtna ytan av det isolerande fasta materialet utifrån explosionsgrupp och zon.

Tabell 2 Maximal tillåten area för isolerande material i explosiv atmosfär (från SEK Handbok 433 [22])

Zon	Grupp IIA		Grupp IIB		Grupp IIC	
	Max area (mm ²)	Max tjocklek (mm)	Max area (mm ²)	Max tjocklek (mm)	Max area (mm ²)	Max tjocklek (mm)
0	5000	3	2500	3	400	1
1	10000	30	10000	30	2000	20
2	*	*	*	*	*	*

* Inga restriktioner

Ytorna som restriktionerna av isolerade fasta material fastställde ovan, kan ökas med upp till fyra gånger om jordade metallnät inkorporeras i materialet eller sveps runt detta.

Lager eller ytbeläggningar av isolerande material på jordade ledande ytor kan generera borsturladdningar eller propagerade borsurladdningar. Praktisk erfarenhet visar att det är osannolikt att dessa är tändfarliga under förutsättning att:

- Återkommande uppladdningsprocesser undviks, och
- Skiktet är av icke fluoriserad polymer, och
- Skiktjockleken understiger 2 mm för expl.gr. IIA och IIB, och 0,2 mm för IIC

Propagerande borsturladdningar kan undvikas genom att bland annat undvika tunna (bör vara tjockare än 8 mm) isolerande ytbeläggningar och undvika kraftiga och

återkommande uppladdning (exempelvis papper eller plastfilm som transporteras i maskiner).

Ytresistiviteten hos vissa isolerade fasta material kan reduceras ner till dissipativa nivåer om den relativa luftfuktigheten hålls på en nivå över 65 %. Detta kan vara tillräckligt för att förhindra en uppladdning av statisk elektricitet givet att det finns en möjlighet till jordning.

- Jonisering

Jonisering av luften innebär att begränsade utrymmen får en ökad täthet av joner så att laddningar på isolerade fasta material kan neutraliseras. Neutraliseringen kräver att produktionen av joner överstiger produktionen av laddningar. Jonisering ska inte användas i Zon 0 eller i Zon 1, annat än om riskerna har bedömts av en expert.

- Passiv jonisering

Riktade elektroder producerar koronauraddningar när de placeras i elektriska fält. Effektiviteten är begränsad men om jordning inte är säkerställd kan det tvärtom syftet istället produceras laddningar.

- Aktiv jonisering

Aktiv jonisering sker genom att applicera högspänning till ett antal koronapunkter.

- Radioaktiv röntgenjonisering

Radioaktiva röntgenkällor joniserar den omgivande luften. Joniseringen medför ingen risk för antändning. Effektiviteten är begränsad och avtar i takt med sönderfallet hos det radioaktiva materialet.

- Jonisering från luftutblåsare

Joniseringen av den omgivande luften används framförallt för att komma åt udda eller skrymmande formade föremål. Joniseringen i luften minskar snabbt efter startpunkten på grund av adsorption till materialet.

- Dissipativa antistatiska ämnen

Dissipativa antistatiska ämnen används på golv och kläder, för att öka konduktiviteten hos vätskor och material. Det är viktigt att säkerställa att dessa ämnen inte tvättas bort eller slits bort och funktionen därmed försvinner.

11 Praktiska mätningar ute på industrin

11.1 Metod

Under projektets gång har mätningar på diverse industrier utförts. Vi började med att köpa in en NanoCoulombmeter för att kunna utföra praktiska mätningar på industrin.

Till att börja med gjordes mätningar i utvalda områden, där industrierna själva identifierade platser där urladdningar bedömdes kunna ske. Väl på plats gjordes en rundvandring för att sedan lägga fokus på identifierade områden. Mätningar genomfördes på Trioplast i Landskrona, Akzo Nobel i Malmö och till sist FeF Chemicals Køge i Danmark.

I den senare delen av projektet utfördes mätningarna på ett mer systematiskt sätt. Mätupställningar visas bland annat från mätning på PolyPeptide Laboratories (se 9.5). Samma mätmetod har använts på PolyPeptide och Bona Kemi i Malmö, samt Akzo Nobel i Stengungsund.

Vid varje mättillfälle bestämdes temperatur och fukthalt i luften. Mätföremålen avjoniserades med en fläkt innan uppladdningsprocedur inleddes.

11.2 Trioplast Landskrona

Trioplast är ett tryckeri där plastfolier trycks med lösningsmedelsbaserade färger. I anläggningen tillverkas också egna plastpåsar som sedan trycks. Här uppmättes stora laddningar där återvunnen plast rullas på rulle. För att förebygga statisk elektricitet är befuktningssystem monterade i taket. Man försöker hålla fukthalten på en jämn hög nivå. Även jonisering förekommer i produktionen. Däremot finns ingen rutin för rengöring av joniseringsutrustningen. Detta märktes tydligt just där plast rullas upp på rulle, då joniseringsutrustningen troligen inte är rengjord.

Första mätresultatet var väldigt högt men efter hand som plastrullen blev urladdad sjönk mätvärdet. Det är lätt att förstå att personalen reagerar då de får kraftiga stötar när de rör vid rullarna.

I rullmaskin på Trioplanex uppmättes en uppladdning på 233 nC. Detta är ett värde långt över vad som är tillåtet i klassade områden. Vid mätningarna på Trioplast användes endast Nanocoulombmetern.

11.3 Akzo Nobel, Malmö

Akzo Nobel i Sege tillverkar färg. Akzo Nobel vid Segevång har haft 2 stycken större bränder som enligt utredning berott på statisk elektricitet. Detta har fått till följd att man på fabriken använder endast godkänd ej uppladdningsbar plast där lösningsmedel hanteras.

I och med att man har haft två storbränder som troligtvis orsakats av statisk elektricitet, har man jobbat mycket med att byta ut isolerande material till ledande eller dissipativa material. Därför var det inte lätt att finna uppladdade ytor (vilket naturligtvis är bra för Akzo). Försök att gnugga plastytor med

trasa gav ingen större uppladdning. På ett ställe fanns det en IBC-behållare som var uppladdad men denna var placerad långt utanför riskområde.

Akzo Nobel mätresultat:

- By 27 Plastdunk 39,1 nC
Behållare är godkända att hanteras i zon 1 och 2
- By 39 Lotsbehållare 90 nC (ej placerad i riskområde)
Lotsbehållare från Univar 44 nC (ej placerad i riskområde)
Tvättmaskin 14 nC

11.4 FeF Chemicals Køge

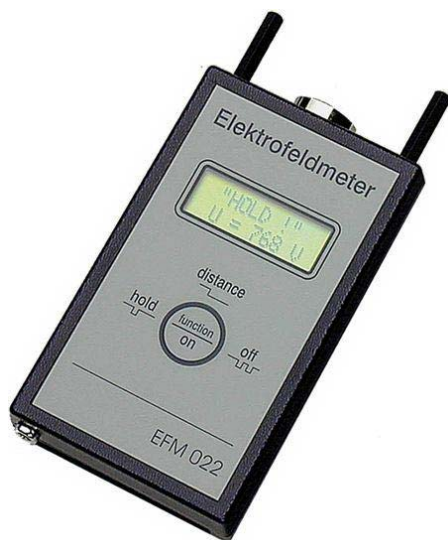
FeF Chemicals i Køge i Danmark är en läkemedelsindustri som hanterar mycket klass 1 produkter och även hybrida blandningar.

Syftet med mätningen var att fastställa om plaströr kan vara en tändkälla i explosionsfarlig miljö.

Mätningar

Följande instrument användes vid mätningarna på FeF Chemicals:

Field Mill Kleinwächter ID: EFM 022



Tietzsch ISO1 EX-godkänd high-ohm meter med speciell golv prob.



Handcoulombmeter



En portabel gasdetektor användes vid mätningarna för att försäkra att miljö inte var explosiv eftersom varken fältkvarnen eller handcoulombmeter är EX-godkända.

Tillvägagångssätt

Mätningarna utfördes på identifierade platser där man kunde misstänka att det förekom elektrostatisk uppladdning. Produktionen i anläggningen var i full gång så normal drift rådde vid mättillfället. Mätningarna startade i fabrik 12.

Fabrik 12

Luftfuktigheten var 46% RH.

Vi började mäta ledningsförmåga hos golvet på andra våningen. Klinkern hade ingen mätbar ledande förmåga. Gallren på brunnar och rännor var ledande och hade låg resistans.

Systemmätningar gjordes på personal gentemot klinker, genom att resistansen mättes genom person till golv. Resistansen uppgick till 1 G Ω . Det var mycket lägre värden om personalen stod på gallret. Hålldes vatten på klinkergolvet uppmättes värden på 0,5 M Ω . Detta visar att skorna endast utgjorde en liten del av den totala resistansen.

För att mäta spänningen på tunnor som fylldes med pulver användes en fältkvarn. Spänningen uppgick till 1,0 kV men varierade beroende på var på tunnan mätningen gjordes. Spänningen var både positiv och negativ. Detta ger ingen farlig urladdning.

På plan 2 gjordes mätningar på en 100 liters plasttunna. Den var inte mycket fylld, men vid uppladdning genom gnuggning uppnåddes en högre spänning. Här användes hand-coulombmetern för att mäta urladdningar. Högsta urladdning blev 23,8 nC vilket är tillräckligt för att antända produkter med explosionsgrupp IIC.

Fabrik 10

Toluen och etanol satsas separat i en reaktor, för att sedan mixas med torra produkter och centrifugeras. När det är klart är pulvret fuktigt med lösningsmedel.

Reaktorns insida är emaljerad med glas. Processen är inerterad med nitrogen och syrehalten är maximalt 5%. Syrehalten kontrolleras kontinuerligt med oberoende sensorer.

När klinkergolvet var torrt fanns ingen ledningsförmåga, men med vått golv erhöles 0,9 M Ω .

Plaströr i PVDF var väldigt lite uppladdade. När vi laddade upp ytan genom gnuggning erhöles 200 V. Slutsatsen var att vätskan i röret inte laddade upp utsidan.

I tunnorna stoppade FeF dubbla plastsäckar, en efter en, för att möta hygienkraven.

Höljet på skrubbern hade en laddning på 6 V som steg vid gnuggning av ytan.

Samlingscontainer hade en spänning på mellan 40-50 V och 200 V på toppen. Vid gnuggning på rören erhöles en spänning på 500 V.

På andra våningen hade klinkergolvet en konduktivitet på 0,4 M Ω med vatten annars hade golvet ingen mätbar ledningsförmåga.

Fabrik 3

I fabrik 3 var klinkergolvet inte ledande. Ledande föremål var jordade och laddades således inte upp.

100 M Ω uppmättes på ytan på faten där de laddades upp. Fatet laddades upp till 1 kV. Ju lägre botten på fatet desto lägre spänning. Skrubbern var laddad till 20 V. Container T320 med surt vatten var uppladdad till 500 V på toppen.

Temperaturen i rummet var 20°C och luftfuktigheten ca 40% RH.

På andra våningen var klinkergolvet inte ledande. Plaströr inuti metallrör var inte uppladdade. Plastytor var uppladdade till 40-80 V. IBC med kaustiksoda lösning laddades till 11 kV när ytan gnuggades.

Fabrik 4

I fabrik 4 genomfördes endast golvmätningar. Golvet var av betong med ett epoxylager. Det torra golvet hade ingen ledande förmåga medan 0,1 M Ω uppmättes i vatten när metall.

Bedömning

Generellt är objekten på FeF Chemicals inte särskilt högt laddade, varken rör eller plastbehållare. Detta kan tyckas märkligt eftersom vätska transporteras i rören. Frågan är om det beror på luftfuktigheten, som vid mättillfället var 40% RH, eller berodde på ledande egenskaper i materialet. Mätningar på andra industrier ger indikationer om att fyllning av vätskor i plastkärl inte ger någon farlig uppladdning. Dock måste man vara klar över att uppladdning inte kan uteslutas, och att man måste göra en bedömning från fall till fall. Uppladdningen på ett isolerat föremål måste vara minst 15 kV för att antända en explosionsfarlig miljö med lösningsmedel.

Åtgärder

För att göra golven ledande kan kopparremсор monteras på golvet och förbindas med jord. Därefter täcks golvet med ledande epoxifärg.

Man kan också ta bort epoxilagret och polera betongen under.

Istället för att använda standardplast ska material med ledande förmåga användas, t.ex. pink poly som används inom elektronikindustrin. Det finns också en typ av plast, tillverkad på Irland som är FDA godkänd.

11.5 PolyPeptide Laboratories

Mätning av elektrostatisk uppladdning vid fyllning av etanol (99%) i isolerande plastkärll genomfördes av Ingvar Karlsson SP, och Ulrika Nilsson Tyréns. Luftfuktigheten var vid kontrolltillfället 37% RH och temperaturen 19°C.

Avsikten med mätningen var att kontrollera om uppladdning sker vid fyllning av isolerande plastkärll. Vid kontrolltillfället simulerades fyra olika scenarier;

1. Fyllning med handpump av plast från 200 l metallfat till 120 l plastkärll (bild 1)
2. Fyllning med elektrisk pump från 200 l metallfat till 25 l plastkärll (bild 2)
3. Fyllning med handpump av plast från 25 l plastkärll till 25 l plastkärll (bild 3)
4. Fyllning från RPC till 25 l plastfat (bild 4)



Bild 1, Fyllning med handpump av plast från 200 l metallfat till 120 l plastkärll



Bild 2, Fyllning med elektrisk pump från 200 l metallfat till 25 l plastkärl.



Bild 3, Fyllning med handpump av plast från 25 l plastkärl till 25 l plastkärl.



Bild 4, Fyllning från RPC till 25 l plastfat.

Innan varje mätning joniserades plastkärlen med joniseringsfläkt.

Potentialmätningar utfördes med en elektrostatisk voltmeter på utsidan av plastkärlet. Potentialen på utsidan av plastkärlet kontrollerades kontinuerligt under hela fyllningsmomentet.

Resultat vid fyllning med handpump av plast från 200 l metallfat till 120 l plastkäril: maximal uppladdning 50 V.

Resultat vid fyllning med elektrisk pump från 200 l metallfat till 25 l plastkäril: maximal uppladdning 20 V.

Resultat vid fyllning med handpump av plast från 25 l plastkäril till 25 l plastkäril: maximal uppladdning 200 V.

Resultat vid fyllning från RPC till 25 l plastkäril: maximal uppladdning 170 V.

Slutsats

Ingen hög uppladdning kunde konstateras vid fyllning av etanol till isolerande plastkäril. På grund av etanolens höga konduktivitet vet vi att vi får en jämn laddningsfördelning i hela vätskemängden och därmed var det inte heller förväntat att det skulle ske en hög uppladdning av vätskan.

Vid mätningen visade det sig att det inte heller uppstod någon hög uppladdning av det isolerande materialet vid fyllning. Detta visar att själva fyllningen av etanol i isolerande plastkäril inte utgör någon elektrostatisk risk i det aktuella fallet.

Detta konstaterande utesluter ändå inte elektrostatiska risker eftersom plastkärlen kan

laddas upp till höga potentialer på utsidan genom friktion vid hantering av plastkärnen. Detta innebär att det kan föreligga en risk för borsturladdningar från plastkärnen p.g.a. att plastkärnen har utsatts för kraftig uppladdning på utsidan. En ytterligare elektrostatisk risk som skall tas i beaktande är urladdning av person. Personalen var vid kontrolltillfället inte jordade eftersom golvet i rummet där testen ägde rum var isolerande. Detta innebär att det saknas kontroll av hur mycket personalen kan ladda upp sig vid fyllning av plastkärnen.

11.6 Bona Kemi

Mätning av elektrostatisk uppladdning vid fyllning av spädmedel (konduktivitet $<0.05 \mu\text{S/cm}$) i isolerande plastkär i BONA AB:s lokaler i Malmö.

Klimat

Luftfuktigheten var vid kontrolltillfället 26% RH och temperaturen 20°C.

Instrument SP inventarienummer 502193 med mätosäkerhet $\pm 2^\circ\text{C}$ för temperatur och $\pm 3\%$ RH för luftfuktighet.

Utförande och resultat

Mätningarna utfördes på BONA AB, Malmö 2010-11-18 av Ingvar Karlson SP och Ulrika Nilsson Tyréns AB. Avsikten med mätningen var att kontrollera om uppladdning sker vid fyllning av isolerande plastkär.

Vid kontrolltillfället simulerades tre olika scenarier:

1. Fyllning med tappör som går ända ner till botten av kärlet (bild 6, 7).
2. Fyllning med tappör som går ca 50 cm ner i kärlet (bild 8, 9).
3. Fyllning utan tappör (splashfyllning, bild 10)

Kärlens volym var 1000 liter och tiden att fylla ett kärlet uppmättes till ca 7 minuter.

Innan varje mätning joniserades plastkärlet med joniseringsfläkt.

Potentialmätningar utfördes med en elektrostatisk voltmeter på utsidan av plastkärlet. Potentialen på utsidan av plastkärlet kontrollerades kontinuerligt under hela fyllningsmomentet.

Resultat vid fyllning med tappör som går ända ner till botten av kärlet.

Maximal uppladdning 400 V.

Resultat vid fyllning med tappör som går ca 50 cm ner i kärlet.

Maximal uppladdning 150 V.

Resultat vid utan tappör (splashfyllning)

Maximal uppladdning 20 V.

Slutsats

Vid mätningen visade det sig att det inte uppstod någon hög uppladdning av det isolerande plastkärlet vid fyllning. Trots spädmedlets låga konduktivitet visade vätskan ingen benägenhet att varken ladda upp plastkärlet eller vätskan i sig själv.

Metoden att fylla spädmedlet inverkade inte heller på uppladdningsbarheten. Vid fyllning från botten erhöles t.o.m. högre uppladdning än vid splashfyllning.

Resultaten gäller endast för de provobjekt som användes i testet.



Bild 5, mätupställning



Bild 6 Fyllning med tapprör som går ända ner till botten av kärlet.



Bild 7 Fyllning med tappprör som går ända ner till botten av kärlet.



Bild 8 Fyllning med tappprör som går ca 50 cm ner i kärlet.



Bild 9, Fyllning med tapprör som går ca 50 cm ner i kärlet.



Bild 10 Fyllning utan tapprör (splashfyllning)

11.7 Akzo Nobel i Stenungssund

Mätning av elektrostatisk uppladdning vid fyllning av vätska i isolerande plastfat (200 l) i Akzo Nobels lokaler i Stenungssund.

Vid kontrolltillfället utfördes även systemresistansmätningar och ”Walking test” för att kontrollera den elektrostatiska uppladdningsnivån på personalen då de jobbar med fyllning av plastfaten.

Mätningarna utfördes i EMU Expresshall.

Klimat

Luftfuktigheten var vid kontrolltillfället 18% RH och temperaturen 20°C.

Instrument SP inventarienummer 502193 med mätosäkerhet $\pm 2^\circ\text{C}$ för temperatur och $\pm 3\%$ RH för luftfuktighet.

Utförande och resultat

Mätningarna utfördes på Akzo Nobel, Stenungssund 2011-01-26 av Ingvar Karlson, SP och Ulrika Nilsson, Tyréns AB.

Mätning av elektrostatisk uppladdning vid fyllning av vätska

Avsikten med mätningen var att kontrollera om uppladdning sker vid fyllning av isolerande plastkärl.

Faten fylldes från botten med en rostfri lans som sedan följde med vätskan upp. Detta innebar att mynningen på lansen alltid var under vätskenivån i plastfatet.

Fyllningshastigheten var vid kontrolltillfället ca 0,7 kg/s.

Produkten som fylldes på var en trögflytande vätska.

Innan varje mätning joniserades plastfaten med joniseringsfläkt.

Potentialmätningar utfördes med en elektrostatisk voltmeter på utsidan av plastkärlet. Potentialen på utsidan av plastkärlet kontrollerades kontinuerligt under hela fyllningsmomentet.

Resultat vid fyllning av plastfat 1.

Maximal uppladdning 160 V.

Resultat vid fyllning av plastfat 2.

Maximal uppladdning 120 V.

Resultat vid fyllning av plastfat 3.

Maximal uppladdning 85 V.

Systemresistansmätningar sko/golv och "Walking test"

Golvet i EMU Expresshall utgjordes av ett galvaniserat metallraster. Detta golv ger goda förutsättningar för avledning av elektrostatiske laddningar från personalen som arbetar i hallen. Vid kontrollmätning var avledningsresistansen från metallrastret till skyddsjord lägre än 17 k Ω .

Personalen som arbetade hade skyddsskor utan någon märkning med avseende på avledningsegenskaper. Vid systemresistansmätningar visade det sig att de skyddsskor som användes ändå hade avledande egenskaper. Vid kontrolltillfället uppmättes systemresistansen på tre personer.

Vid kontrollen mättes systemresistansen genom att en person stod på golvet och höll i en metallektrod. Systemresistansen mättes från elektroden till skyddsjord. Detta innebär att systemresistansen genom skor, golv och personens kropp uppmättes. Mätspänning 100 VDC.

Resultat:

Operatör 1 (Arbesko)	18 M Ω .
Operatör 2 (Arbesko)	20 M Ω .
Operatör 3 (SIEVI)	7 M Ω .

Enligt SEK Handbok 433, kap. 9.1 kan följande utläsas gällande statisk elektricitet på personer:

Personer som är isolerade från jord kan lätt ta åt sig och kvarhålla elektrostatiske laddningar. Isolering från jord kan bero på att golvmaterialen eller fotbeklädningens sulor är tillverkade av icke-ledande material.

Det är viktigt att personer som arbetar där brandfarlig atmosfär kan finnas hindras från att bli elektrostatiskt uppladdade. Detta sker bäst genom att golven är ledande eller dissipativa och det säkerställs att personerna bär dissipativ fotbeklädning.

I handboken definieras dissipativa fotbeklädningar som fotbeklädningar som har en avledningsresistans lägre än 100 M Ω . Vid kontrolltillfället utfördes inga Walking test eftersom dessa låga systemresistanser säkerställer att operatörerna inte kan ladda upp sig till några farliga potentialer.

Slutsats

Vid mätningen visade det sig att det inte uppstod någon hög uppladdning av det isolerande plastkärlet vid fyllning. Detta visar att själva fyllningen av vätska i isolerande plastkärl inte utgör någon elektrostatisk risk. Detta konstaterande gäller under förutsättning att fyllningen utförs på samma sätt som vid kontrolltillfället. Vid högre flödes hastigheter kan dessa förutsättningar ändras och bör kontrolleras.

En annan elektrostatisk risk är att plastkärlen kan laddas upp till höga potentialer på utsidan genom friktion vid hantering. Detta innebär att det kan föreligga en risk för borsturladdningar från plastkärlen. Vid mätning av det aktuella plastfatet i SP:s lab framgick det att det kan skapas borsturladdningar som överstiger de gränsvärden som har definierats i *IEC TR 60079-32: Explosive atmospheres - Part 32: Electrostatics*.

Detta bör tas under beaktande beroende på vilken typ av vätska som skall fyllas på plastfatet.

En tredje elektrostatisk risk som skall tas i beaktande är urladdning av person. Personalen hade vid kontrolltillfället skyddsskor med avledande egenskaper och de stod och arbetade på ett galvaniserat metallraster. Detta är ett mycket bra sätt att säkerställa att personalen inte kan orsaka antändningar av brandfarliga gaser vid fyllning av plastfaten. Anmärkningsvärt var dock att skorna inte var märkta eller inköpta med syftet att ha avledande egenskaper.

Rekommendationen måste därför bli att inköpsrutiner upprättas där det framgår att skyddsskor som skall köpas in skall ha avledande egenskaper och att skorna är märkta med en tydlig symbol som visar att skorna har avledande egenskaper.

Resultaten i denna rapport gäller endast för de provobjekt som användes i testet.



Bild 11 Fyllning av vätska i plastfat

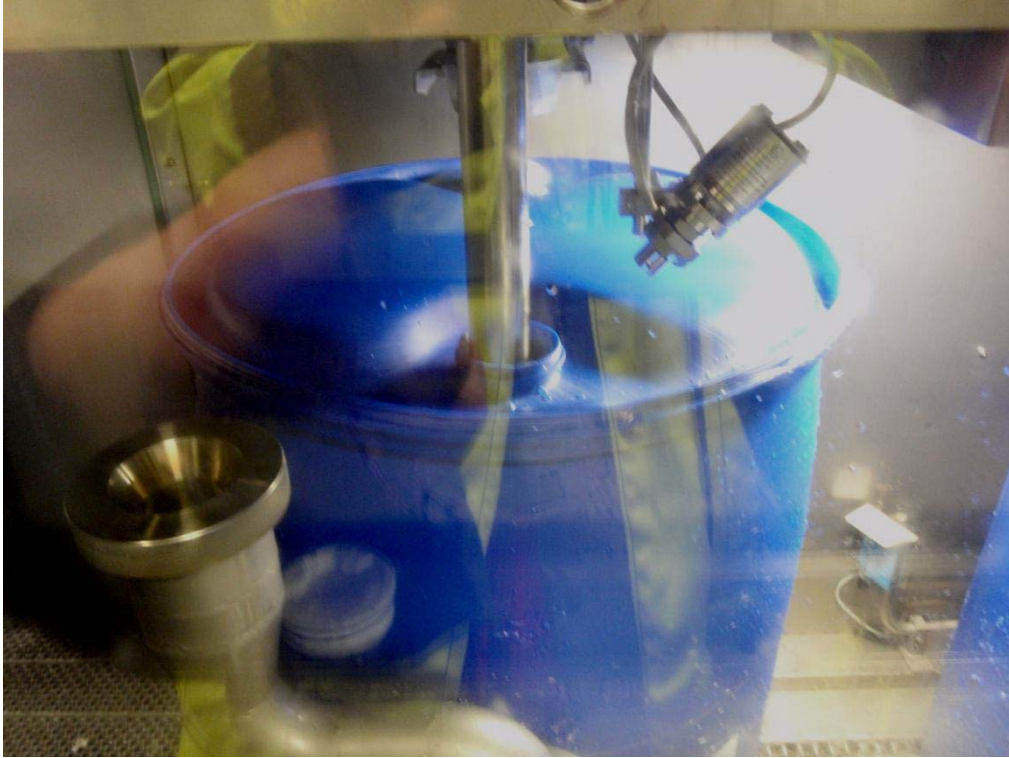


Bild 12, Fyllning av vätska i plastfat

12 Laboration – uppladdning av plastkärl

Laborationerna utfördes på SP i Borås under ledning av Ingvar Karlson. Vid första labbtillfället testades ett 25 liters plastkärl erhållet från PolyPeptide. Tester utfördes också på ett 200 liters fat från Akzo Nobel i Stenungssund. Dessutom har ytstorlekar enligt standard kontrollerats.

Laborationerna gjordes vid 23°C och en relativ luftfuktighet på 12% RH.

Testerna utfördes enligt följande rekommendationer och standarder:

CENELEC TR 50404:2003

Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity (finns i Sverige som SEK Handbok 433)

IEC TR 60079-32

as a draft for comments (31/859/DC) Explosive atmospheres – part 32: Electrostatics

EN 13463-1

Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres – part 1: basic method and requirements

EN 60079-0

Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 0: General requirements

Provobjekten utsattes för uppladdning genom gnidning av material tillverkade i bomull, polyamid och PVC*. Provobjekten laddades även upp med koronauppladdning.

**Uppladdning med PVC anges inte i standarden SS-EN60079-0, avsnitt 26.14.*

Rekommendation har getts av Ulrich von Pidoll (ledande expert inom området) att även PVC bör användas som ett material för uppladdning. Anledningen är att PVC ligger längre ner (på den negativa delen) på den triboelektriska skalan, medan bomull och polyamid ligger nära varandra.

12.1 Testobjekt 25 liters plastkäril

Plastkärilet är helt isolerande. Ytresistansen är högre än $10^{12} \Omega$. Innan testerna påbörjades kapades toppen på kärilet och tjockleken på plasten uppmättes till mellan 1,8 mm och 2,3 mm.



Bild 13 25 liters plastkäril

Nanocoulombmeter användes som testinstrument.



Bild 14 Nanocoulombmeter

Föremål använda för uppladdning av ytan

Polyamidtrasa tillräckligt stor för att undvika kontakt mellan testobjektet och operatörens fingrar under gnuggningsprocessen.



Bild 15 Polyamidtrasa

Bomullstrasa tillräckligt stor för att undvika kontakt mellan testobjektet och operatörens fingrar under gnuggningsprocessen.



Bild 16 Bomullstrasa

PVC-trasa (egentligen flera handskar gjorda i PVC) tillräckligt stor för att undvika kontakt mellan testobjektet och operatörens fingrar under gnuggningsprocessen.



Bild 17 PVC-handskar

En DC högspännings kraftförsörjning som kan leverera minst 30 kV (korona uppladdning).



Bild 18 Koronauppladdare

Utförande

Testet utfördes den 22 december 2010. Syftet var att simulera tre tänkbara scenarier.

1: Kärlet är tomt och utsatt för gnuggning på utsidan av kärlet.



Bild 19

Tabell 3 Resultat scenario 1

Polyamid	Bomull	PVC	Korona uppladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	26 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	28 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	33 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	15 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	15 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	21 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	26 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	28 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	24 nC	Ingen urladdning
Ingen urladdning	Ingen urladdning	24 nC	Ingen urladdning

2: Kärlet är fyllt med ledande vätska och utsatt för gnuggning på utsidan av kärlet.

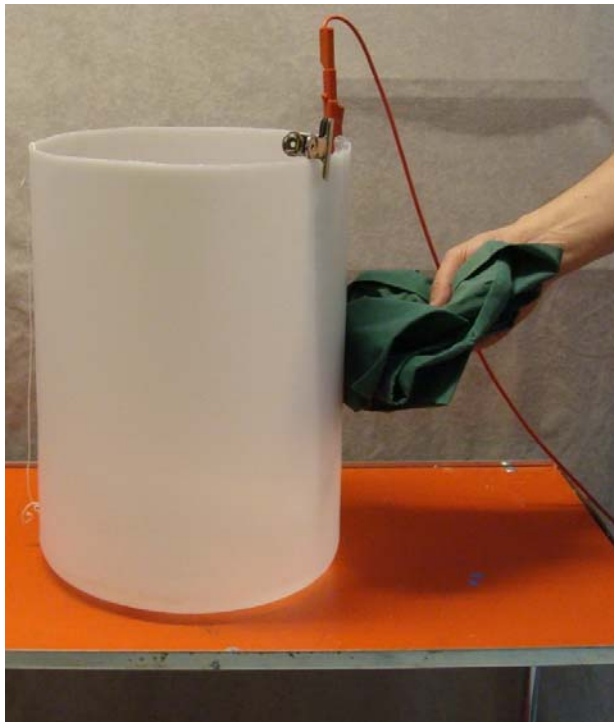


Bild 20

Tabell 4 Resultat scenario 2

Polyamid	Bomull	PVC	Korona uppladdning
60 nC	17 nC	Ingen urladdning	76 nC
54 nC	14 nC	Ingen urladdning	71 nC
38 nC	17 nC	Ingen urladdning	111 nC
44 nC	19 nC	Ingen urladdning	97 nC
56 nC	18 nC	Ingen urladdning	72 nC
33 nC	24 nC	Ingen urladdning	82 nC
34 nC	11 nC	Ingen urladdning	89 nC
32 nC	23 nC	Ingen urladdning	78 nC
23 nC	12 nC	Ingen urladdning	61 nC
46 nC	14 nC	Ingen urladdning	75 nC

- 3: Kärlet är fyllt med ledande vätska och utsatt för gnuggning på utsidan av kärlet. Därefter hälls vätskan i ett annat kärl.



Bild 21

Tabell 5 Resultat scenario 3

Polyamid	Bomull	PVC	Korona uppladdning
40 nC	40 nC	39 nC	Ingen urladdning
36 nC	24 nC	28 nC	28 nC
31 nC	44 nC	37 nC	Ingen urladdning
23 nC	40 nC	38 nC	20 nC
41 nC	51 nC	31 nC	14 nC
36 nC	33 nC	36 nC	10 nC
31 nC	32 nC	24 nC	18 nC
34 nC	32 nC	30 nC	Ingen urladdning
28 nC	28 nC	36 nC	28 nC
22 nC	37 nC	28 nC	10 nC

12.2 Testobjekt 200 liters plastfat

Plastfatet är helt isolerande. Ytresistansen var mer än $10^{12} \Omega$. Innan testerna påbörjades kapades toppen på fatet och tjockleken på plasten uppmättes till mellan 4,2 mm och 6,0 mm.



Bild 22 200 liters plastfat

Nanocoulombmeter användes som testinstrument (se bild 14).

Föremål använda för uppladdning av ytan

Polyamidtrasa tillräckligt stor för att undvika kontakt mellan testobjektet och operatörens fingrar under gnuggningsprocessen (se bild 15).

Bomullstrasa tillräckligt stor för att undvika kontakt mellan testobjektet och operatörens fingrar under gnuggningsprocessen (se bild 16).

PVC-trasa (egentligen flera handskar gjorda i PVC) tillräckligt stor för att undvika kontakt mellan testobjektet och operatörens fingrar under gnuggningsprocessen (se bild 17).

En DC högspännings kraftförsörjning som kan leverera minst 30 kV (korona uppladdning, se bild 18).

4: Kärlet är tomt och utsatt för gnuggning på utsidan av kärlet.



Bild 23

Tabell 6 Resultat scenario 4

Polyamid	Bomull	PVC	Korona uppladdning
32 nC	46 nC	44 nC	Ingen urladdning
29 nC	17 nC	34 nC	Ingen urladdning
59 nC	18 nC	47 nC	12 nC
26 nC	42 nC	35 nC	20 nC
32 nC	42 nC	70 nC	Ingen urladdning
18 nC	41 nC	78 nC	Ingen urladdning
32 nC	12 nC	39 nC	Ingen urladdning
21 nC	27 nC	48 nC	12 nC
22 nC	21 nC	88 nC	Ingen urladdning
27 nC	30 nC	81 nC	Ingen urladdning

5: Kärlet är fyllt med ledande vätska och utsatt för gnuggning på utsidan av kärlet.

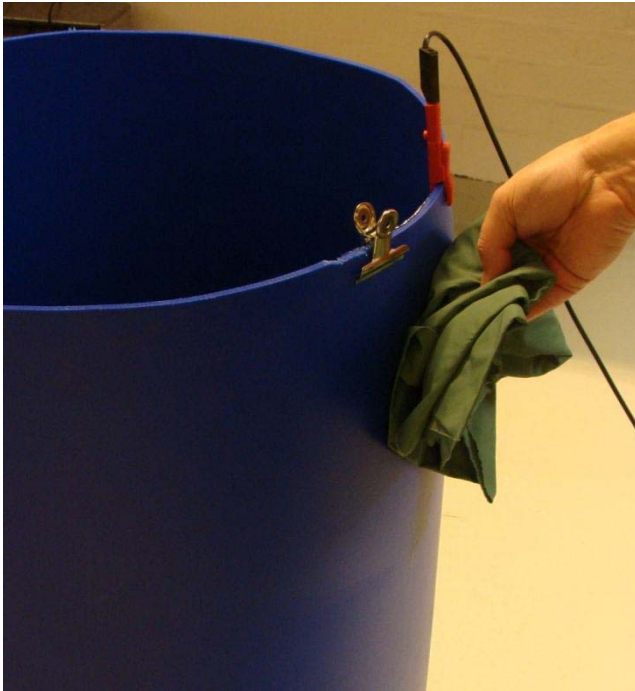


Bild 24

Tabell 7 Resultat scenario 5

Polyamid	Bomull	PVC	Korona uppladdning
Ingen urladdning	11 nC	Ingen urladdning	24 nC
Ingen urladdning	44 nC	Ingen urladdning	36 nC
Ingen urladdning	35 nC	Ingen urladdning	68 nC
Ingen urladdning	39 nC	Ingen urladdning	12 nC
Ingen urladdning	42 nC	Ingen urladdning	22 nC
Ingen urladdning	26 nC	Ingen urladdning	24 nC
Ingen urladdning	83 nC	Ingen urladdning	16 nC
Ingen urladdning	38 nC	Ingen urladdning	17 nC
Ingen urladdning	14 nC	Ingen urladdning	63 nC
Ingen urladdning	45 nC	Ingen urladdning	35 nC

- 6: Kärlet är fyllt med ledande vätska och utsatt för gnuggning på utsidan av kärlet. Därefter hälls vätskan i ett annat kärl.

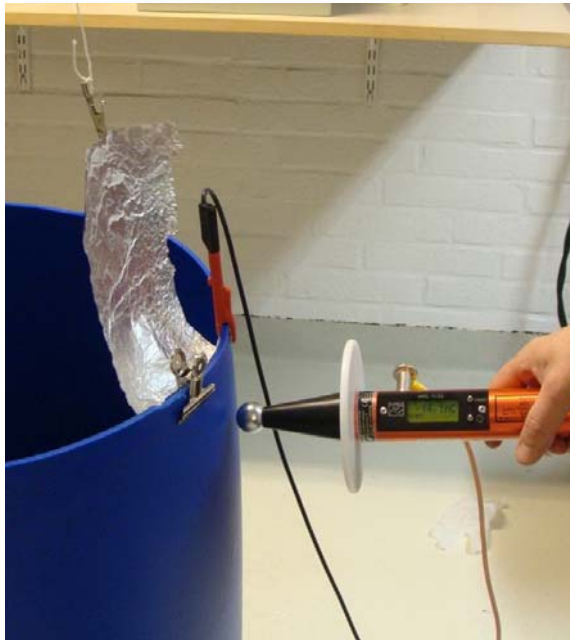


Bild 25

Tabell 8 Resultat scenario 6

Polyamid	Bomull	PVC	Korona uppladdning
21 nC	36 nC	17 nC	21 nC
28 nC	22 nC	23 nC	32 nC
27 nC	31 nC	33 nC	30 nC
23 nC	31 nC	44 nC	29 nC
29 nC	26 nC	20 nC	38 nC
29 nC	36 nC	29 nC	23 nC
34 nC	22 nC	20 nC	38 nC
29 nC	34 nC	17 nC	22 nC
33 nC	29 nC	18 nC	21 nC
22 nC	36 nC	24 nC	19 nC

Slutsatser och diskussion

Testresultaten visar att man kan dra urladdningar från de uppladdade isolerande plastkärlen som överstiger de gränsvärden som gäller för brandfarliga gaser och ångor i explosionsgrupp IIA, IIB och IIC.

Koronauppladdaren gav högst värden för det mindre kärlet, medan gnuggning gav högst värden för det större kärlet.

Det kan tyckas märkligt att samma mätmetod med samma typ av tillvägagångssätt för uppladdning ger så olika resultat. Dock bekräftar expertis inom området (Ulrich von Pidoll) att detta kan förväntas och är vanligt vid utförande av experiment. Anledningen är att provningsförfarandet är manuellt och att det är svårt att upprepa proceduren exakt på samma sätt 10 gånger i rad. Därför använder man ett medelvärde.

Både vid fältmätningar och laborationer är det viktigt att specificera typ av material och resistivitet. Förutsättningar som luftfuktighet och temperatur är viktiga. Även vätskors egenskaper ska specificeras med avseende densitet och ledningsförmåga.

13 Laboration – uppladdning av glas och polykarbonat

Mätning av borsturladdningar på begränsade ytor av mineralglas och polykarbonat genomfördes enligt SEK Handbok 433, utgåva 1 avsnitt 4.4.3 och SS-EN 60079-0, avsnitt 26.14, avseende miljöer med explosiv blandning av gas med luft.

Provobjekten utsattes för uppladdning genom gnidning med material tillverkade i bomull, polyamid och PVC. Provobjekten laddades även upp med koronauppladdning.

Syftet med mätningarna var dels att uppskatta hur stora laddningsmängder som kan frigöras vid en borsturladdning från dessa material, dels att se om de begränsningar av ytor som anges i SEK Handbok 433 är relevanta.

I SEK Handbok 433 definieras den maximalt tillåtna storleken på isolerande ytor. Dessa redovisas i tabell 9 nedan (se även tabell 2 tidigare i rapporten).

Tabell 9

Riskområde	Största yta, cm ²		
	Grupp IIA	Grupp IIB	Grupp IIC
0	50	25	4
1	100	100	20
2	Ingen begränsning om farlig uppladdning inte förväntas uppträda vid normal drift (underhåll och rengöring medräknat)	Ingen begränsning om farlig uppladdning inte förväntas uppträda vid normal drift (underhåll och rengöring medräknat)	Ingen begränsning om farlig uppladdning inte förväntas uppträda vid normal drift (underhåll och rengöring medräknat)

I standarden SS-EN60079-0, avsnitt 26.14 definieras provningsförfarandet och följande gränsvärden för borsturladdningar:

60 nC för grupp I eller IIA utrustning;

30 nC för grupp IIB utrustning;

10 nC för grupp IIC utrustning;

Syftet med mätningarna är att jämföra om kraven på begränsade ytor i SEK Handbok 433 korrelerar med kravet på maximal laddningsmängd i SS-EN60079-0.

13.1 Klimat

Provobjekten konditionerades under 48 h i 23°C ±2°C och 12% RH ±3% RH.

Mätningarna utfördes under samma förhållanden.

13.2 Utförande och resultat

Mätningarna utfördes i SP:s ESD-lab 2011-03-09 av Ingvar Karlson SP och Ulrika Nilsson Tyréns AB.

Mätningarna utfördes på provbitar av polykarbonat och glas med storlekar enligt tabell 10 nedan.

Tabell 10

Storlek [cm]	Area [cm ²]
30 x 30	900
10x 10	100
7,2 x 7,2	52
5 x 5	25
4 x 4	16
2 x 2	4

Tjockleken på provobjekten var 6 mm. Några försök gjordes med ruggade respektive rengjorda ytor.

Provobjekten utsattes för uppladdning genom gnidning av material tillverkade i bomull, polyamid och PVC*. Provobjekten laddades även upp med coronauppladdning.

**Uppladdning med PVC anges inte i standarden SS-EN 60079-0, avsnitt 26.14. Rekommendation har getts av Ulrich von Pidoll (ledande expert inom området) att även PVC bör användas som ett material för uppladdning. Anledningen är att PVC ligger längre ner (på den negativa delen) på den triboelektriska skalan, medan bomull och polyamid ligger nära varandra.*



Bild 26 Uppladdning genom gnidning

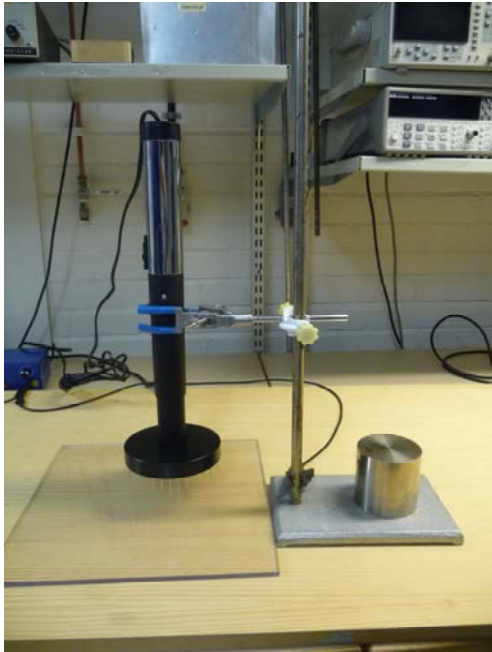


Bild 27 Coronauppladdning

De två olika uppladdningsförfarandena görs för att simulera två olika scenarier.

1. Uppladdning genom gnidning simulerar normal användning, d.v.s. att materialet rengörs med en trasa eller att en persons kläder gnids mot materialet vid hantering.
2. Coronauppladdning simulerar en kontinuerlig uppladdning av materialet. Detta kan t.ex. vara vid en forcerad fyllning av vätska alternativt pulver genom ett rör eller vid satsning till behållare.

Vid uppladdningen var provobjekten placerade på en träskiva som i sin tur var placerad på en ESD-arbetsbänk med avledande bordsskiva.

Vid gnidning utsattes provobjektet för 10 st. gnidningar. Därefter ställdes provobjektet på högkant och en urladdning togs från den positionen.

Vid coronauppladdning exponerades provobjektet för en spänning överstigande 30 kV. En fakirelektrod* placerades med ett avstånd av ca 30 mm från provobjektet med en varaktighet av ca 60 sekunder. Fakirelektroden avlägsnades från provobjektet med bibehållen spänning.

Därefter ställdes provobjektet på högkant och en urladdning togs från den positionen.

**Standarden SS-EN 60079-0, avsnitt 26.14 har frångåtts genom användandet av fakirelektrod. I standarden anges att en spets skall användas och provföremålet skall röras fram och tillbaka för att säkerställa att hela provföremålet blir exponerat för coronauppladdningen. Genom användande av en fakirelektrod säkerställs detta utan att provföremålet rörs.*

Urladdningarna togs med en Nanocoulombmeter av märket SCHNIER med typbeteckning HMG 11/02.

Mellan varje mätning blåstes joniserad luft på provobjektet med en joniseringsfläkt för att neutralisera kvarstående laddningar.

10 st. urladdningar togs för varje kombination.

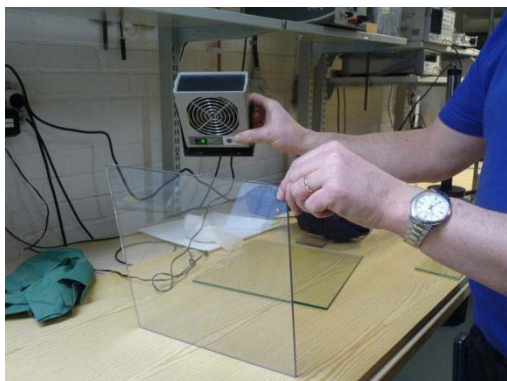


Bild 28 Jonisering av provobjekt



Bild 29 Registrering av urladdning med nanocoloumbmeter

Tabell 11 Resultat Polykarbonat

Storlek [cm]	Area [cm ²]	Bomull			Polyamid			PVC			Corona		
		Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]	Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]	Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]	Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]
30 x 30	900	13	212	135	10	123	64	25	63	38	92	233	156
30 x 30*	900	26	76	45	13	59	26	63	233	178	0	49	26
10 x 10	100	29	97	66	12	57	31	13	33	20	0	14	4
10 x 10*	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,2 x 7,2	52	18	45	20	0	44	17	12	30	21	0	0	0
5 x 5	25	13	20	10	0	0	0	0	18	5	0	0	0
4 x 4	16	0	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 x 2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Ruggad med sandpapper

Tabell 12 Resultat Glas

Storlek [cm]	Area [cm ²]	Bomull			Polyamid			PVC			Corona		
		Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]	Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]	Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]	Min [nC]	Max [nC]	Medel [nC]
30 x 30	900	10	19	14	0	0	0	10	40	18	64	214	145
30 x 30*	900	0	0	0	0	0	0	10	67	29	46	135	81
10 x 10	100	0	0	0	0	0	0	0	18	10	0	32	19
7,2 x 7,2	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 x 5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 x 4	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 x 2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* Rengjord med 99 % etanol

Provresultaten gäller endast för de provade exemplaren.

13.3 Slutsatser

Polykarbonat är ett vanligt förekommande material i t.ex. dragskåp och skyddsluckor. Polykarbonat har av erfarenhet visat sig vara ett av de mest uppladdningsbara materialen och representerar ett ”worst case scenario”, vilket gjorde detta till ett bra referensmaterial vid mätningarna.

Mineralglas är också ett vanligt förekommande material inom industrin. Sådant glas visar ingen större benägenhet att laddas upp vid gnidning. När stora ytor får exponeras för koronauppladdning kan tändfarliga borsturladdningar uppkomma, men det är sällsynt att en stor glasyta exponeras för en så kraftig kontinuerlig uppladdning.

Vid mätningarna visade det sig att de storleksbegränsningar på ytor som anges i SEK Handbok 433, överensstämmer väl med de gränsvärden för laddningar som anges i och SS-EN 60079-0, avsnitt 26.14. Några avvikelser erhöles dock.

Resultatet avviker något från standarden för gaser/ångor i klass IIB med ytor upp till 100 cm² för zon 1, där högre laddning än 30 nC noterades för polykarbonat.

14 Slutsatser

1. Studien visar att själva fyllningsmomentet inte gav upphov till några höga uppladdningar, varken med hög- eller lågkonduktiv vätska. Man kan dock inte dra slutsatsen att fyllning av vätska i ett kärl av isolerande material inte är någon risk. Egenskaper hos vätskan som t.ex. viskositet, densitet och ledningsförmåga påverkar uppladdningsförmågan. Vidare handlar det om materialkombinationer och olika processparametrar som tryck, flöden och temperatur.
2. Studien visar att man kan dra urladdningar från de uppladdade isolerande plastkärlen som överstiger de gränsvärden som gäller för brandfarliga gaser och ångor i explosionsgrupp IIA, IIB och IIC. Detta betyder att man ska vara försiktig vid hantering av plastkärl generellt i explosionsfarliga områden.
3. Studien visar att de storleksbegränsningar på ytor som anges i SEK Handbok 433, överensstämmer väl med de gränsvärden för uppladdning som anges i och SS-EN 60079-0, avsnitt 26.14.
4. Slutsatsen av detta forskningsprojekt är att tändfarliga elektrostatiska urladdningar kan uppstå då isolerande fasta material används i explosionsfarliga områden. Historiskt har mycket fokus lagts på alstrandet av statisk elektricitet vid transport av vätskor i rörledningar, kärl och annan processutrustning.

15 Diskussion

Av flera olika skäl (kostnad, hanterbarhet, kemresistens etc.) ökar användningen av plaster inom industrin. Samtidigt finns det säkerhetsaspekter som måste beaktas. Det kan gälla såväl risken för elektrostatiska urladdningar i explosionsfarliga områden som motståndsförmåga mot brand vid hantering av brandfarliga varor.

Av MSBs föreskrift SÄIFS 1997:9 framgår: *”Öppna cisterner, rörledningar och slangledningar skall vara tillverkade av material med kända och dokumenterade egenskaper. De mekaniska egenskaperna skall vara betryggande. Anordningarna skall ha ett tillfredsställande skydd mot skada genom brand. Anordningarna skall genom materialval, ytbehandling eller på annat sätt vara skyddade mot korrosion i den utsträckning som fordras med hänsyn till innehåll, driftsförutsättningar och rådande yttre betingelser.”*

Den här studien fokuserar på tändförmågan hos elektrostatiska från icke ledande fasta material. Det finns riktlinjer för hur och i vilken utsträckning sådant material får användas i explosionsfarlig miljö. I relevanta standarder och handböcker finns angivet storleksbegränsningar för ytor med isolerande material i sådana miljöer. Industrin har svårt att följa dessa riktlinjer.

Genomförda laborationer visar att riktlinjerna är relevanta, d.v.s. att tändfarliga urladdningar kan uppkomma då större ytor med isolerande material används.

Den förhållandevis kraftiga uppladdning som erhöles vid hantering av kärl i plast och vid kontaktuppladdning av isolerande ytor, är något som man måste ta hänsyn till vid

såväl normal hantering som vid tillfälliga arbeten i explosionsfarliga områden, i anslutning till ytor i plast.

I ATEX användardirektiv 1999/92/EC finns krav på att riskbedömning ska utföras för de tändkällor som kan finnas i explosionsfarlig miljö. Alltså ska en riskbedömning göras för de isolerande material som hanteras på en arbetsplats.

Vid tillfälliga arbeten i explosionsfarlig miljö krävs normalt tillstånd. Arbeten som kan ge risk för kontaktuppladdning av isolerande fasta material, som t.ex. rengöring av plastytor eller manuell hantering av plastkärl måste särskilt beaktas. Man måste överväga val av både metod och material. Ibland kan det t.ex. vara bättre att våttorka än att använda torra trasor vid rengöring.

En viktig fråga är hur man ska få tillverkare av godkänt material att sänka kostnaderna. Ökar efterfrågan på godkänt isolerande material ökar också tillverkningen och förhoppningsvis kan kostnaderna sjunka. Som det är idag tvekar många industrier att köpa in godkänt material på grund av höga kostnader och att det är oklart vilken effekt dessa har.

När det gäller vätskefyllning i plastkärl så indikerar mätningarna att detta inte utgör något problem med de vätskor som provats. De flesta som hanterar brandfarliga vätskor fokuserar på uppladdningen av vätskor och kärl i samband med fyllning. Studien har visat att betydligt högre laddningsnivåer uppkommer vid t.ex. rengöring av plastytor och annan manuell hantering. Mätningar gjorda av SP, på andra anläggningar, bekräftar detta.

Utbildning är en viktig del för att öka medvetenheten hos företag och personal som hanterar brandfarliga vara tillsammans med isolerande material. Här gäller det att fokusera på de verkliga tändriskerna som är förknippade med hantering av fasta isolerande material.

Referenser

1. Ackroyd, G. & Caine, P. (2005): Electrostatic testing of a rigid intermediate bulk container (RIBC) intended for use in explosive atmospheres, *Journal of electrostatics* no 63, pp 509-515.
2. Ackroyd, G. & Caine, P. (2009): An investigation of the occurrence of propagating brush discharges from type B flexible intermediate bulk containers with liners, *Journal of electrostatics* no 67, pp 256-262.
3. Ackroyd, G. & Newton, A. (2003): An investigation of the electrostatic ignition risks associated with a plastic coated metal, *Journal of electrostatics* no 59, pp 143-151.
4. Blitshteyn, M. (2002): Managing Risk of Electrostatic Hazards in Coating and Printing on moving webs, *Process Safety Progress* vol 21, no 4, pp 329-334.
5. Buhler, C., Calle, C., Clements, J.S., Trigwell, S & Ritz, M. (2009): New techniques to evaluate the incendivity of insulators, *Journal of electrostatics* no 67, pp 285-290.
6. Davidson, J.L, Williams T.J., Bailey A.G. & Stevens R.P. (2003): Discharge energy available to grounded sphere approaching charged ground-backed insulators, *Journal of electrostatics* no 59, pp 153-172.
7. Glor, M. (2005): Electrostatic ignition hazards in the process industry, *Journal of electrostatics* no 63, pp 447-453.
8. Hearn, G. & Smallwood, J. (2005): Comparison of ESD from metal sphere electrodes and tribocharges insulators of both polarities using two ESD probes, *Journal of electrostatics* no 63, pp 577-582.
9. Horenstein, M. & Roberts, N. (1995): Peeling Force for an Electrostatically Charged Sheet on a Grounded Surface, *Journal of electrostatics* no 35, pp 179-190.
10. Ireland, P.M. (2009): Contact charge accumulation and separation discharge, *Journal of electrostatics* no 67, pp 462-467.
11. Lamnevik, S. (2004): Statisk elektricitet, Risker i processindustrin.
12. Llovera, P., Molinié, P., Soria, A. & Quijano, A. (2009): Measurements of electrostatic potentials and electric fields in some industrial applications: Basic principles, *Journal of electrostatics* no 67, pp 457-461.
13. Ohsawa, A. (2009): Prevention criteria of electrostatic ignition by a charged cloud in grounded tanks, *Journal of electrostatics* no 67, pp 280-284.
14. Pekkala, P., Paasi, J., Hearn, G. & Smallwood, J. (2005): Characteristics of electrostatic discharges from intermediate bulk container materials, *Journal of electrostatics* no 63, pp 489-494.
15. Simon, J. & Llovera, P. (2008): Between teaching and research: Adolphe Ganot and the definition of electrostatics (1851-1881), *Journal of electrostatics* no 67, pp 536-541.

16. Sun, K., Zhao, H. & Gao, S. (2003): Ignition tests with brush discharge between a spherical electrode and a PVC plate in hydrogen-air mixture, *Journal of electrostatics* no 57, pp 389-394.
17. Tamus, Z., Kiss, I., Szedenik, N & Keindl, M. (2009): Effective method for measuring the energy of propagating brush discharges, *Journal of electrostatics* no 67, pp 267-270.
18. von Pidoll, U., Krämer, H. & Bothe H (1997): Avoidance of electrostatic hazards during refueling of motorcars, *Journal of electrostatics* no 40&41, pp 523-528.
19. von Pidoll, U., Brzostek, E & Froechtenigt, H. (2004): Determining the Incendivity of Electrostatic Discharges Without Explosive Gas Mixtures, *IEEE Transactions on industry applications* vol 40, no 6, pp 1467-1475.
20. Walmsley, H. (2009): Induced-charge errors in charge-transfer measurement, *Journal of electrostatics* no 67, pp 320-325.
21. Health and Safety Laboratory (2010), Plastic containers for flammable liquids/hazardous areas
22. Svenska Elektriska Kommissionen, Statisk elektricitet i explosionsfarliga områden, SEK Handbok 433 (2003)
23. IEC TR 60079-32, draft for comments (31/952/NP) Explosive atmospheres – part 32:1 Electrostatic hazards - Guidance
24. IEC TR 60079-32, draft for comments (31/953/NP) Explosive atmospheres – part 32:2 Electrostatic hazards – Tests