

Oldószerzőzők egészségi, robbanási és mérgezési veszélye

Bónusz János

A hazai építőipar mintegy 1500 olyan vegyi terméket használ rendszeresen, amelyek az emberi szervezetre kifejezetten ártalmasak, sőt fennáll a szerves oldószerzőzők okozta robbanás és mérgezés veszélye. Milyen hatékony tűzvédelmi intézkedések tehetők ezek megelőzésére?

Az építőipar kemizálásának egészségvédelmi kérdései

Az építőiparban, főleg a befejező építési munkák területén egye inkább fennáll a szerves oldószerzőzők okozta robbanás és mérgezés veszélye.

Ez a tény egyrészt az építőipar fejlődésére is jellemző, ún. „kemizálás” folyamatával, azaz a vegyi termékek, műgyanták felhasználásának ugrásszerű megnövekedésével függ össze.

Emiatt az egyes szakmai tevékenység során a munkahelyi mikroklíma a környezetbe kerülő, egészségre ártalmas szennyeződések következtében alapvetően megváltozik. Mindezideig hazánkban, de általában világszerte az építőipar egyes területein sok olyan vegyi anyag kerül felhasználásra, amelyek egészségre ártalmas hatását és veszélyességét egyáltalán nem is vizsgálták, vagy jelentősen alábecsülték.

Érdemes megemlíteni azt, hogy a hazai építőipar jelenleg is mintegy 1500 olyan vegyi terméket használ rendszeresen, amelyek az emberi szervezetre kifejezetten ártalmasak.

A munka-, egészség- és tűzvédelmi intézkedések pedig akkor hatékonyak, ha azok megelőző jellegűek és a termelési viszonyok által kialakult környezeti veszélyforrásokat teljes egészében figyelembe veszik.

Ez gyakran elég nehéz feladat és komoly szakmai felkészültséget igényel annál is inkább, mert a vegyi termékeket gyártó és forgalmazó vállalatok gyártmányaik mérgező hatását, veszélyességét - a hatályos rendelkezések ellenére is - nem helyénvaló módon ítélik meg.

Veszélyes, mérgező hatású vegyi termékek kerülhetnek úgy forgalomba, hogy az emberi szervezetet károsító sajátságukra, vagy más veszélyforrásra nem is figyelmeztetik a felhasználókat.

Veszélyes termékek

- *Kalcidur NV-2, NV-3*: korróziógátló inhibitort tartalmazó, betonkötést gyorsító adalék. Egyik hatóanyaga a nátriumnitrit, amely veszélyes vérméreg, methemoglobin-képző. Ebből a készítményből mintegy 50-80 ml-nyi mennyiség a szervezetbe jutva már halálos mérgezést idézhet elő (a csomagolóanyagon még a mérgezési veszélyre való figyelmeztetés sincs feltüntetve!).
- *Betonol*: erősen mérgező hatású magnézium-szilikófluoridot tartalmaz. Betonfelület kezelőszer.
- *Mikrozol B.*: dinitro-ortokrezol-nátrium, nátriumfluorid hatóanyagú fagombamentesítőszer. Legtöbb helyen szórással, permetetéssel kerül felhasználásra.

- *Vilupál parkettalakk*: a kötése során mérgező formaldehid-gáz szabadul fel, de ennek csak ingerlő hatására hívják fel a figyelmet a gyártmányismertető. A formaldehid pedig veszélyes sejtmérge, amely súlyos vese megbetegedést (urémiát) idézhet elő.
- *Eprosin, Sinmast, Epamin III. stb.*: hazai és import epoxigyanták, amelyek trietiléndiamin és egyéb alifás amin-alapú térhálósítói erősen ingerlő és maró hatásúak, de bőrön át is felszívódó idegmérgek.

Veszélyes munkakörök

Az építőiparban az alábbi területeken kell elsősorban számolni az emberi szervezetre ártalmas vegyi anyagok felhasználásával:

- *festő-, mázoló-,*
- *padlóburkoló, parkettázó-,*
- *tetőfedő-,*
- *nedvesség ellen szigetelő, savszigetelő-,*
- *aszfaltútépítő-,*
- *üveges-,*
- *hegesztő- és egyéb munkák (pl. takarítás, karbantartás) területe.*

Az építőiparban általában, de elsősorban az előbbi munkaterületeken olyan sajtószerű körülményekkel is számolni kell, amelyek az egészségvédelem hatékonyságát hátrányosan befolyásolják.

Ki kell hangsúlyozni, hogy ezek az adottságok gyakorlatilag függetlenek az építőipar fejlettségi színvonalától.

Az eredményes, preventív egészségvédelem pedig a mikrokozmosz emberi szervezetre ártalmas összes tényezőinek felmérését és azok megváltoztatását teszi szükségessé. Ebből következik, hogy már a felsőoktatásban a munka-, illetve egészségvédelem területét érintő tananyagokban a hallgatókban azt a képességet és szemléletet kell kifejleszteni, hogy a munkahelyi veszélyforrásokat, az emberi szervezetet károsító tényezőket önállóan értékeljék, majd azok elhárítására a szükséges intézkedést saját hatáskörükben meg tudják tenni.

Ezt a munkavédelmi szemléletet pedig úgy lehet az oktatás során kifejleszteni, ha a tananyagban minél több olyan fejezet található, mely gyakorlati példákat, esetleg megtörtént esetek részletes szakmai elemzését tárgyalják.

Az építőiparban az egészségvédelmi óvintézkedések során kiindulási feltételként figyelembe kell venni az alábbi tényezőket:

- a) az építőipari tevékenységre javarészt nem helyhezkött, hanem változó munkaterület jellemző. Ennek megfelelően a munkahelyi mikrokozmosz egészségvédelmi paraméterei is esetenként változnak. Emiatt a leghatékonyabb óvintézkedést - pl. a helyi elszívást, mesterséges légcserét - rendszerint nem lehet biztosítani.
- b) az építőiparban a mérgező hatású vegyi terméket rendszerint nagy mennyiségben használják fel. Anyagok kezelésére, tárolására olyan lánc alakult ki, hogy a mérgező anyagok a közvetlen felhasználás helyére csak több lépcső (raktár) közbeiktatásával kerülhetnek. Emiatt a mérgező anyagok több embercsoporttal kerülnek közvetlen kapcsolatba. Az építés helyén olyan korszerű raktározás sem biztosítható, mint telepített üzemekben.
- c) építéshelyi körülmények mellett nemcsak a közvetlen felhasználást végzők, hanem a közelben dolgozók is kapcsolatba kerülnek a mérgező hatású anyagokkal. Ugyanez fordítva is fennáll akkor, ha mérgező anyagokat felhasználó vegyi üzemekben kell építési tevékenységet végezni.
- d) végső soron megemlítendő az építőiparra jellemző munkaerővándorlás és az alkalmazottak alacsony iskolai végzettsége is és annak hátrányos következményei.

Kénhidrogén baleset

Gyakran súlyos következményekkel járhat a vegyi szennyeződés jellegű veszélyforrás helytelen megítélése.

A következő tragikus baleset példázza a veszélyhelyzet alábecsülését:

Egy gyárban egy 4 főből álló brigád a szennyvízelvezető csatorna egyik aknáját tisztította, ahol jelentős mennyiségben kénhidrogéngáz gyűlt össze. Ez az igen veszélyes mérgező gáz a fehérje hulladékok bomlástermékeként is keletkezik, tehát a szennyvízcsatornák állandó kísérője.

Az aknanyílásba - védőálarc nélkül - leereszkedett dolgozó rosszul lett, eszméletét veszítette, majd ugyanígy járt segítségére siető első és második társa is.

Mindhárman életüket veszítették kénhidrogéngáz-mérgezés következtében.

Itt érdemes megemlíteni azt, hogy a kénhidrogén jellemző záptojás szagát már milliószoros hígításban érzékelni lehet, s igen kis töménysége ($0,005 \text{ mg/m}^3$) előidézi a szájban a szintén jellemző, kellemetlen, édeskés ízt.

Ebből az következik, hogy ebben az esetben érzékszervi úton azonnal tudomást lehet szerezni a mérgezést előidéző veszélyforrásról.

Sokan nem tudják azonban azt, hogy nagyobb töménységben igen rövid ideig (0,5 - 1,0 perc) tartó belélegzés után a kénhidrogén éppen a szagló (és ízlelő) idegvégződéseket bénítja meg, tehát a mérgezésnek kitett személy már nem képes többé érzékelni a veszélyforrás jelenlétét. Minél nagyobb a kénhidrogén töménysége a munkatérben, ez az állapot annál hamarabb bekövetkezik. Ez játszódott le az előbb idézett tragikus baleset során is. Nem valószínű, hogy a kötelező munkavédelmi oktatás során a kénhidrogén előbbi fiziológiai hatására külön felhívták volna a figyelmet.

Fontos személyi tényezőként kell megemlíteni azt, hogy az építőiparban dolgozó vezetők és szakmunkások képzettségüknél fogva nem rendelkezhetnek olyan vegyi anyagismerettel, mint amely napjainkban - éppen a kemizálási folyamat miatt is - már szükséges volna.

Ez utóbbi tény az egyetemi oktatás és mérnökképzés során figyelembe kell venni, így elsősorban az építész-, szerkezetépítő-, építőmérnöki és egyéb olyan tagozatoknál, ahol a vegyszeti ismeretek nem képeznek súlyponti kérdést.

Ez a hiány úgy volna legegyszerűbben pótolható, hogy az ilyen tagozatok hallgatói a munkavédelmi oktatás során az építőiparban (és határterületein) felhasználásra kerülő mérgező vegyi termékek fontosabb tulajdonságait, az emberi szervezetet károsító hatásukat, egyben az ellenük való védekezés lehetőségeit is elsajátítanak. Egy ilyen tárgyú előadássorozat azért sem volna megterhelő a hallgatóknak, mivel az építőiparban felhasználásra kerülő mérgező vegyi termékek mintegy 20 fős anyagcsoportba foglalhatók össze.

Ugyanakkor a hallgatók rendelkezésére kellene bocsájtani jegyzet alakjában egy olyan segédletet, amely áttekinthető táblázatokba foglalva tartalmazná az építőiparban is megtévesztő fantáziánéven forgalomba kerülő vegyi termékek toxikus hatását és ezzel kapcsolatos egészség- és tűzvédelmi jellemzőit. Egy ilyen segédlet egyébként a szakmai tevékenység gyakorlása során is feltétlen hasznos segítséget nyújtana. Nem érdektelen megemlíteni azt, hogy az Építőipari Balesetelhárító és Egészségvédő Óvórendszabály a mérgező hatású vegyi termékek felhasználásának egészségvédelmi kérdéseivel igen szűkszavúan foglalkozik.

Az építőipari vegyi anyagok fő jellemzői

Az alábbi táblázat néhány olyan vegyi terméket ismerteti, amelyet az előbbi építési munkák területén használnak.

Az építőiparban használatosabb mérgező hatású, tűz- és robbanásveszélyes vegyi termékek

Az anyagcsoport megnevezése	Mérgező hatású alkotórész és mennyisége	Fontosabb felhasználási terület
Akrok, Akrilán-lakkok	50 % benzolhomológ + ketonok	mázoló munkák
Bonobit H és S	30-40 % szolventnafta	tetőfedő, nedvesség elleni szigetelő munkák
Chemofort Perlux, Flexodur, Eupol M, stb. telítetlen poliésztergyanták	80 % stírol monomer, szerves peroxid keton (acetone)	mázoló munkák, öntött padlóburkolatok készítése, stb.
Durol, Szintalin, Parolin, Interlux, stb. zománcfestékek	35 % alifás szénhidrogén (lakkbenzin) + 5 % benzolhomológ	mázoló munkák
Elasztolén, Klorotex, Viatex, Izofix, stb. Rezisztán zománcfestékek	50 % körüli benzolhomológ (xilol)	mázoló, homlokzatfestő, útburkoló, tetőfedő, nedvesség elleni szigetelő munkák
Kateszil, Katepox (Nerolin)	35 % körüli benzolhomológ (10 % acetone) Kátrány, poliamidgyanta	mázoló, tetőfedő, szigetelő, esetleg padlóburkoló, savszigetelő munkák
Miykrozol B, Mykotox B, stb.	Nátriumpentaklórfenolát, dinitroortokrezol-nátrium, Kromkriolit, stb.	fa gombamentesítő szerek (épületasztalos munkák)
Pálmafix 501, Pálmarekord, Pálmatex, stb. ragasztók	50 % benzolhomológ + acetone, esetleg etilacetát	padlóburkoló munkák
Progress lakk és zománcfestékek	40 % szolventnafta	mázoló munkák
Resopol öntőgyanták	20 % benzolhomológ + szabad fenol, poliamidgyanta térhálósító	padlóburkoló, savszigetelő munkák
Vilupál parkettalakk	50 % xilol + szabad formaldehid	parkettázó, mázoló munkák
Va kopol PVC-oldat	70 % ciklohexanon	homlokzatfestő, mázoló, szigetelő munkák

A festékek, szigetelő- védőréteggépző anyagok, műgyanták főleg szerves oldószeres alakban, de gyakran vizes diszperzióként kerülnek forgalomba. Az ilyen műgyantaoldatok, festékanyagok, stb. használatra kész állapotra hígítva mintegy 30-70 % szerves oldószert tartalmaznak. Gyakran a felület (alap) tisztítására, zsírtalanítására közvetlen is használnak szerves oldószereket. A műgyanták és az oldószerek jó része az „A” - fokozottan tűz- és robbanásveszélyes, illetve a „B” - tűz- és robbanásveszélyes tűzveszélyességi osztályba tartozik.

Az oldószerek, hígítók nem épülnek be a védőrétegbe, hanem kisebb vagy nagyobb párolgási sebességgel gőzzé alakulva elpárolognak, a munkatérbe kerülnek, s azt a környezeti állapothatározóktól függően telítik.

Párolgási hajlam

A fontosabb állapotváltozók pl. a hőmérséklet, légköri nyomás, a munkatérben kialakult légáramlási sebesség, az oldószer párolgási hajlamát kifejező gőznyomás (tenzió) és forráspont, amelyek az előbbieket függvénye, végül az ezek alapján létrejött légszennyeződés mértéke, vagyis az oldószer töménysége a munkatérben.

Az oldószer párolgási hajlamát gyakran szokták jellemezni az ún. párolgási számmal. Ez egy olyan viszonyszám, amely azt fejezi ki, hogy ugyanazon feltételek mellett (felületnagyság, vagy csepp, hőmérséklet, stb.) időegység alatt (1 sec) hányszor kevesebb oldószer párolog el, mint az összehasonlítási alapul vett oldószer (éter). Azonos tömegmennyiség esetén a párolgási időt fejezi ki a párolgási szám.

Néhány oldószer etil éterre vonatkoztatott párolgási száma a következő:

etil éter	1,0
metilénklorid	1,8
aceton	2,1
etilacetát	2,9
benzol	3,0
könnyű benzin	3,5
triklóretilén	3,8
metilalkohol	6,3
toluol	6,1
etilalkohol	8,3
o - xilol	13,5
n - butilalkohol	33,0
dekalin	94,0

Az előbbi értékek elég jó megközelítéssel kifejezik a viszonylagos párolgási sebességet. Így pl. ha 1 m² felületen 12,5 °C hőmérsékleten éterből 1 sec alatt 54,5 g párolog, akkor pl. acetonból az előbbi viszonyszám szerint 2,1-szer kevesebb, vagyis 54,5/2,1 ≈ 25,9 g párolog el ugyanazon feltételek mellett.

A szerves oldószer párolgása az alábbi összefüggés szerint számítható ki:

(pl. egy padlóburkolat fektetésénél a ragasztórétegből vagy pl. festésnél, lakkozásnál a rétegből eltávozó oldószer)

$$G = Mf \times O \times F \times \beta(Pt - Pg) / Ph \quad (\text{kg/m}^2, \text{óra})$$

ahol

G = az 1 m² felületről 1 óra alatt, adott hőmérsékleten elpárolgó oldószer gőz mennyisége,

Mf = az oldószer molekulatömegével jó megközelítéssel arányos párolgási tényező, amelynek értéke 52,0 - 85,0 között változik.

O = a védőréteg, ragasztóréteg, műgyantaoldat, stb. sajátságától függő tényező, amely azt fejezi ki, hogy azok milyen mértékben hajlamosak visszatartani (okkludálni) azt oldószert.

Értéke általában 0,40 - 0,88 között változik.

F = a számításba vehető párolgási felület, m²

β = a légáramlás sebességétől (v) függő párolgási tényező, értékei ha

V = 0,0 - 0,1 m/sec akkor = 0,60

V = 0,1 - 0,6 m/sec akkor = 0,78

V = 0,6 - 5,0 m/sec akkor = 0,92

P_t = az oldószer telítési nyomása az elpárolgás hőmérsékletén, torr
 P_g = az oldószer gőznyomása az elpárolgás hőmérsékletén és légköri nyomásnál, torr
 P_h = légköri nyomás, torr

Az előbbi összefüggés, a Dalton képlet azonban olyan sok változó faktort tartalmaz, amelyek esetenkénti megállapítása körülményes, így az összefüggés elsősorban nagyságrendi tájékoztatásra alkalmas.

Ugyanakkor, ha egy oldószer P_g gőznyomása (torr) adott hőmérsékleten és P_0 légköri nyomáson (torr) ismert, akkor a munkatérbe került G mennyisége az alábbi összefüggés szerint számítható ki:

$$G = M \times V \times P_g / 22,414(P_0 - P_g) \quad (\text{g/m}^3)$$

ahol

M = az oldószer (g) molekulásúlya
 V = a munkatér kubaturája, m^3

Sűrűség

Egészségvédelmi szempontból igen fontos, hogy gyakorlatilag minden oldószergőz nehezebb, mint a levegő, s maga ez a tény különösen kellemetlen veszélyhelyzeteket teremthet. Ennek figyelembevétele rendkívül fontos minden résztvevő számára, mert a különféle munkahelyek légszellőzésének kialakításánál sokszor végzetes hiba forrása lehet.

A gázok és oldószergőzök levegőre, illetve hidrogénre vonatkoztatott sűrűsége a molekulásúlyaikkal arányos, azaz:

$$D_{lev} = M / 28,95, \text{ illetve } D_H = M / 2,02$$

ahol

D_{lev} = a levegőre, illetve D_H a hidrogénre vonatkoztatott relatív sűrűség
 M = molekulásúly (2,02 a hidrogéngáz, illetve 28,95 a levegő közepes molekulásúlya)

Ki kell hangsúlyozni, hogy egészségvédelmi szempontból a helyiségek légcseréjének tervezésekor, stb. kizárólag a D_{lev} értéke jöhet számításba.

Mivel a szakmai gyakorlatban használatos összes oldószer molekulásúlya nagyobb, mint 28,95, ebből következik, hogy **gőzeik a levegőnél nehezebbek**, mint azt az alábbi adatok is alátámasztják:

Oldószer megnevezése:	M	D_{lev}
acetone	58,00	2,03
benzin (könnyű)	95,00	3,30
diacetonalkohol	116,16	3,98
etilalkohol	46,00	1,61
i-propil alkohol	60,09	2,10
metilalkohol	32,04	1,18
nehézbencin	140,00	4,80
ólomtetraetil	323,61	11,10
tetraklóretán	167,86	5,97
tetralin	132,20	4,63
toluol	92,13	3,22

triklóretilén	131,40	4,56
xilol	106,16	3,71

Az oldószergőzők jóval nagyobb gőzsűrűsége azért veszélyes, mert közvetlen a padlósínt felett 0,5 - 1,0 m-es magasságban mindig aránytalanul nagyobb az oldószergőzők töménysége.

Ez azt jelenti, hogy az, aki szerves oldószergőzőkkel szennyezett munkatérben dolgozik és akár rövid időre is eszméletét veszti és ilyen állapotban a padlózatra kerül, ott sokkal több oldószergőzöt lélegez be, s így akár 5-10 percig is magára hagyva, halálos mérgezésnek van kitéve.

Sajnos több ilyen eset előfordult. Egy dolgozó egyedül és minden védőfelszerelés nélkül egy föld alatti pácolótartály mázolás előtti zsírtalanítását végezte benzolhomológ tartalmú oldószerekkel. Nem élte túl.

Volt több olyan tüzeset is, ahol a veszélyes oldószergőzőz jelenléte ellenére kiadták a vízszelő szakember számára a nyílt lánggal járó műveletsorra vonatkozó engedélyt. A vízszelő szakember nem kellő körültekintéssel járt el, és a benzinlámpa begyújtását követően dolgozni akart. Munkájában a robbanás akadályozta meg. Természetesen súlyosan megsérült ő is és a padlóragasztó szakember is.

Ilyen körülmények mellett egyedül, ellenőrzés, azaz közvetlen élő kapcsolat nélkül nem szabad senkinek sem dolgozni. Adott esetben a munka összehangolására komolyan oda kell figyelni.

Az előbbiekből az is következik, hogy zárt munkatereknél a mesterséges (vagy természetes) légcserénél az elszívó- vagy kivezető nyílást minden esetben a padlósínt közelében (15 - 30 cm magasságban) tanácsos kialakítani.

Egészség- és tűzvédelmi szempontból, illetve a légszellőzés tervezésekor igen fontos annak ismerete, hogy az előbbi állapotok között melyek nehezítik meg a légcserét, illetve melyek hatnak előnyösen.

Előnyösen hatnak, illetve az oldószergőzők egészségre ártalmas és robbanásveszélyes koncentrációját csökkentik:

- a légáramlás sebessége az ajtók, ablakok nyitvatartása
- a csökkenő hőmérséklet
- a légköri nyomás növekedése
- az oldószerek kisebb gőznyomása, ill. minél nagyobb forráspontja, esetleg párolgási száma
- végül az oldószerek minél kisebb mérgező hatása, toxicitása, és értelem szerint
- minél nagyobb a zárt munkahely térfogata.

Ugyanakkor hátrányosak, illetve az oldószergőzők egészségre ártalmas töménységét és a robbanásveszélyt is növelik:

- a hőmérsékletemelkedés
- csökkenő légköri nyomás
- az oldószerek gőznyomása, illetve minél kisebb forráspontja és párolgási száma
- az oldószerek levegőre vonatkoztatott nagyobb gőzsűrűsége
- az oldószergőzők diffúziós állandója, amely a levegővel való elegyedési hajlamot fejezi ki
- az oldószergőzők mérgező hatásának mértéke
- a munkatér kis térfogata, ajtók, ablakok bezártsága
- a párolgási felület, illetve fajlagos felület nagysága, stb.

Mindezeket a légszellőzés méretezésénél feltétlen figyelembe kell venni.

Az oldószerek mérgező hatásáról általában

A szerves oldószergőzők kivétel nélkül erősen bódító, narkotizáló hatásúak, ami már magában is növeli a balesetveszélyt pusztán bágyasztó, részegséghez hasonló közérzet keltése miatt. Ilyen állapotban az egyensúlyérzék erősen csökken (s ez igen veszélyes lehet pl. létrán, állványzaton, magasban végzett munkáknál). Benzolrészegségnél hajlamos szélsőséges, kiszámíthatatlan, dühöngő örültre jellemző cselekedetekre, amellyel feltétlenül számolni kell a gyors elsősegélynyújtásnál, mert magában és környezetében kárt tehet a mérgezett, akit már emiatt sem szabad magára hagyni. Ez az állapot egyébként szinte egyik pillanatról a másikra, kiszámíthatatlanul következik be, de erre számítani kell.

Ezt az alapvető - de egyébként minden óvórendszabályban kötelezően előírt - utasítást sajnos elég gyakran figyelmen kívül hagyják és nem egy olyan eset fordult már elő, hogy emiatt halálos kimenetelű benzolmérgezés következett be. Az elsősegélynyújtás során az előbbi körülményeket feltétlen figyelembe kell venni.

A szerves oldószergőzőknél bizonyos töménység feletti belélegzésnél öntudatlan bódultság, eszméletvesztés (kóma), majd halálos mérgezés állhat be, amelyet a munkatársak gyakran részegségnek ítélnék és elmulasztják a gyors elsősegélyt.

Különösen veszélyesek ilyen szempontból a benzol és homológjai (xilol, toluol, szolventnafta), klórozott szénhidrogének, észterek (butil-, amid-, etil-, acetát), ketonok (pl. aceton, ciklohexanon, stb.) és valamivel kevésbé az alkoholok (a metilalkoholt kivéve) és alifás szénhidrogének (pl. lakkbenzin). Az oldószergőzők ezen túlmenően az emberi szervezetet veszélyesen károsítják és jellemző mérgezést idéznek elő. A benzolhomológok a vérképzés szervét támadják meg, a klórozott szénhidrogének, formaldehid a vesét, míg az észterek a májat károsítják, végül a központi idegrendszert kivétel nélkül megtámadják.

A munkavédelmi és egészségvédő óvórendszabályok éppen ezért írják elő azt a még megengedhető határtöménységet (koncentrációt), amelynél még egészségkárosodással nem kell számolni. Ezeket a MAK értékeket mg/m^3 -ben adják meg.

A természetes légcserét úgy kell biztosítani, hogy a munkatérben a mérgező anyagok töménysége az előbbi értékeket ne haladja meg. Ellenkező esetben mesterséges légcserét kell biztosítani. Megjegyzendő, hogy a megengedhető legnagyobb elszennyeződés jóval az alsó robbanási határérték alatt van.

Az oldószergőzők robbanásveszélye

Az oldószergőzők egy bizonyos telítettség (töménység) felett a levegővel robbanóelegyet alkotnak. Az így kialakult gáz-levegő elegy a kémiai láncreakciók következtében az egész munkatérre kiterjedő, veszélyes robbanást idézhet elő.

A legtöbb munkahelyen olyan sajátos gyújtószikrával kell számolni, amely szinte „ideális” körülményt biztosít az oldószergőzőkkel telített légterek robbanásához. Ez a műanyagok elektrosztatikus feltöltődése következtében létrejött szikraképződés.

Az építőiparban a különféle műanyagburkolólemezek, szigetelőfóliák, műszálas szőnyegpadlóburkolatok, stb. ragasztásánál, továbbá műanyagcsővezetékek, szerelvények szerelésénél fordul elő ez a váratlan, rejtett veszélyforrás, amelynek szerepét meglehetősen lebecsülik, vagy nem is veszik figyelembe. Az utóbbi időben több olyan tüzeset fordult elő, ahol az oldószergőzők robbanását a

plexilapokból képződött szikra idézte elő. Érdemes megemlíteni, hogy az ilyen szikrák feszültsége kb. 15-60 ezer V között változik, míg hőmérséklete mintegy 4500-5200 °C.

Minden elektromos töltés villamos térerősséget hoz létre, a töltések eloszlása a felületen meghatározott töltéssűrűséget eredményez. Ezt As/m^2 -ben szokták kifejezni.

Ha az elektromos erőter nem vezetőben, hanem szigetelőben alakul ki, akkor annak szigetelőképességétől függően nagy térerősség jöhet létre. Egy meghatározott térerősségnél azonban a szigetelő hirtelen jó vezetővé válik és átüt.

Levegőnél ez az állapot $E_{\text{lev x max}} = 3 \times 10^6 \text{ V/m}$ értéknél következik be.

Levegőnél, ha a dielektromos állandót $\epsilon = 1$ -nek vesszük, akkor a legnagyobb felületi töltéssűrűség $\delta_{\text{max}} = 2,66 \times 10^{-5} \text{ As/m}^2$

Két pont között elektromos térben s távolság esetén U potenciálkülönbség hatására a térerősség nem homogén erőterben az alábbi lesz:

$$E = dU/ds \quad \text{ebből } U = E \times ds$$

a töltésmennyiség:

$$Q = \epsilon \times \epsilon_0 A \times U / s$$

$Q = C \times U$, amelyből $C = Q/U \text{ As/V}$ (ahol C = a kapacitás, amelynek egysége az 1F {farad} = 1 As/V, ami igen nagy érték, ezért törtrészeit használják). Egy álló helyzetben lévő emberi test kapacitása mintegy 10 pF (= $10 \times 10^{-12} \text{ F}$), de biztonságtechnikai szempontból

$C_{\text{ember}} \approx 200 \text{ pF}$ értékkel kell számolni.

Az elektromos tér energiatartalma a következő:

$$W = 1/2 C \times U^2 = 1/2 \times Q \times U = 1/2 \times Q^2/C \text{ Watt/sec.}$$

Térben eloszlott töltéseknél, egy térfogat legnagyobb energiatartalmát a levegő átütési térerőssége korlátozza, illetve szabja meg. Egy Q töltést hordozó testnél E térerősség mellett ez az erő:

$$F = Q \times E$$

Elektrosztatikus feltöltődés

Az elektrosztatikus feltöltődés és kisülés a szigetelő anyagoknál (pl. PVC padlóburkolat) gyakran egyidejűleg következik be. Biztonságtechnikai szempontból igen lényeges a szikrák töltésmennyisége, illetve annak energiatartalma, másrészt az önfeltöltődés és az önkisülés ideje. Ez egy meghatározott jellemző görbe szerint játszódik le, amelynek egyenletéből a TE feltöltődési idő (sec) kiszámítható.

Az elektrosztatikus feltöltődés nagyságát igen sok tényező befolyásolja, így elsősorban, az előbbiek alapján:

- az elektromos vezetőképesség
- dielektromos állandó
- az érintkezési pontok száma és gyakorisága
- a feltöltődési folyamat sebessége

- a felületi hőmérsékletkülönbségek
- a lehasadási, részecske, illetve töltésleválási hajlam, stb.

Az elektrosztatikus feltöltődés tanulmányozása biztonságtechnikai szempontból azért fontos, mivel ennek során létrejött a robbanásveszélyes elegyek begyújtását előidéző, ún. legkisebb gyújtási energia, vagyis az az energiaérték, amely egy bizonyos töménységű oldószer- (vagy gáz-) levegő elegy robbanását előidézni képes. Ez a határ az alsó és a felső robbanási határérték között helyezkedik el.

Néhány gáz és oldószergőz legkisebb gyújtási energiája 1 bar nyomáson, normál feltételek mellett az alábbi:

<i>Levegővel elegyített anyag 1 bar össznyomáson</i>	<i>Minimális gyújtási energia (mJ)</i>
Acetilén	0,019
Aceton	0,60
Benzol	0,20
Bután	0,25
Butilacetát	0,50
Butilalkohol	0,50
Ciklohexán	0,22
Ciklopropán	0,17
Dietiléter	0,19
Dioxán	0,90
Etán	0,25
Etilacetát	0,50
Etilénoxid	0,06
Heptán	0,24
Hexán	0,24
Hidrogén	0,019
Kénhidrogén	7,00
Metán	0,28
Metilalkohol	0,60
Propán	0,26
Szénmonoxid	8,00
Szénkéneg	0,009

Nobert-Schön szerint a lehasadási határértékek és a legkisebb gyújtási energia alapján az egyes anyagok az alábbi robbanási osztályokba sorolhatók:

<i>Robbanási veszélyességi osztályok</i>	<i>Lehasadási határértékek (mm)</i>	<i>Legkisebb gyújtási energia (mJ)</i>
1.	1,00	0,25
	0,6	0,06
2.	0,0	0,025
3.	0,4	0,025

A lehetséges védelem

A legkisebb gyújtási energia ismeretében az elektrosztatikus feltöltődés következtében létrejött szikraképződés, mint veszélyforrás elleni védelem is kidolgozható a helyi adottságok szerint. Itt elsősorban az elektromos töltések felhalmozódását kell a veszélyes energiaszint alá korlátozni.

Egy szigetelt vezetőben a feszültségegyensúly:

$$U_c = I_1 \times R_E \quad \text{illetve ha}$$
$$W = 1/2 \times C U^2, \text{ akkor}$$
$$W = 1/2 \times C \times (I_1 \times R_E)^2$$

Ha elegendő gyújtási energia rendelkezésre áll, akkor egy oldószergőz- (vagy gáz) levegő elegy robbanásával, vagy folyamatos égésével számolni kell.

A szakmai gyakorlatban előforduló fontosabb hőforrások hőmérséklete az alábbi:

villanyrezsó	540-680°C
villanyrezsó ellenállás huzala	850-1100
égő cigaretta	850-1000
gyufa lángja, általában nyílt láng	900-1100
izzó koksz (pl. kokszkosárban)	1300-1450
acél és beton között képződő szikra	2500-3000
olaj-, és gázégők lángja	1450-2000
gázhegesztő lángja	1800-2500
villanyhegesztő ív hőmérséklete	3700-4800

Ezek alapján látható, hogy az összes számításba jöhető, az építőipari munkák területén szinte minden alkalommal előforduló hőforrások a robbanás veszélyes oldószergőzök és gázok gyulladási hőmérsékletét messze meghaladják.

A robbanásveszély lehetőségének meghatározása számítással

Az előzőek szemléltetését a továbbiakban számítási példán mutatom be, hogy az építéshelyi viszonyok gondos rögzítésével milyen egyszerűen és gyorsan, de megbízhatóan ki lehet számítani az esetleges robbanásveszély lehetőségét. Ez a gondolatmenet egyébként minden olyan esetben kiindulási alapul szolgálhat, amikor szerves oldószergőzök kerülnek a munkaterbe és ott különféle műveletet kell végezni, így pl. mázolóműhelyeknél, gyártóüzemeknél, építőipari szerelőcsarnokoknál, festékszórás műveletnél, műanyagpadló ragasztásnál, padlólakkozásnál, stb.

Példa:

Egy 30 m x 50 m = 1500 m² alapterületű és 3 m magasságú előadóteremben Vilupál elnevezésű (savra keményedő amingyantás) lakkal végzik a parketta lakkozását. Téli időszokról lévén szó, külön szellőztetés nincs. A fajlagos anyagfelhasználás A = 0,42 kg/m². A lakk benzolhomológ tartalma (xilol) m = 40 %. A száradási, illetve kötési folyamat során 1 kg lakkból mintegy 0,02 kg formaldehidgáz szabadul fel.

Kérdés: fennáll-e az oldószergőz okozta robbanás, illetve mérgezés veszélye?

A helyiség térfogata:

V = 30 x 50 x 3,0 = 4500,0 m³, a parketta alapterülete F = 30 x 50 = 1500 m², amelyre

$$Q_A = F \times A = 1500 \times 0,42 = 630,0 \text{ kg parkettalakk kerül.}$$

Ebből:

$$Q_{m1} = F \times A \times m1 = 1500 \times 0,42 \times 0,40 = 252,0 \text{ kg oldószergőz (xilol) és}$$

$$Q_{m2} = F \times A \times m2 = 1500 \times 0,42 \times 0,02 = 12,6 \text{ kg formaldehidgáz kerül a munkatérbe.}$$

Az Avogadro-tételből következik, hogy mólnyi (M) gáz (vagy oldószergőz) 22,41 térfogatot tölt be 0 °C-nál és 760 torr. légköri nyomás mellett (kmólnyi mennyiség 22,41 m³-t).

Az oldószergőzök térfogata adott esetben (a xilol molsúlya M = 106,16)

$$\begin{aligned} M : 22,41 &= 252 : x \\ x &= 22,41 \times 252 / 106,16 = 53,20 \text{ m}^3 \quad \text{térfogatot tölt be} \end{aligned}$$

A teremben 20 °C hőmérséklet uralkodik és a légköri nyomás 750 torr.

Az előbbi térfogat az egyesített gáztörvény alapján átszámítható:

$$P_0 \times v_0 / T_0 : p \times V / T \quad \text{azaz} \quad 760 \times 53,20 / 273 : 750 \times V / 273 + 20$$

$$\text{ebből} \quad V = 760 \times 53,20 \times 293 / 750 \times 273 = 57,86 \text{ m}^3$$

lesz az oldószergőzök térfogata.

A táblázat alapján a xilolgőzök alsó robbanási határkoncentrációja $r_a = 1,2 \text{ tf.}\%$. Kérdés, hogy az előbbi térfogat ezt milyen mértékben közelíti meg.

$$4500 : 57,86 = 100 : x$$

$$X = 57,86 \times 100 / 4500 \approx 1,30 \text{ térf.}\% \text{ azaz}$$

a xilolra jellemző alsó robbanási határtöménységet eléri, tehát a robbanás veszélye állandóan fennáll.

A tűzvédelmi előírások szerint azonban a munkatérben az oldószergőzök töménysége nem érheti el az alsó robbanási határ 20 %-át.

$$r_{\text{ameg}} = 0,2 \times r_a$$

Adott esetben ez azt jelenti, hogy az oldószergőzök töménysége legfeljebb

$$r_{\text{ameg}} = 0,2 \times 1,20 \approx 0,24 \text{ tf.}\% \text{ lehet.}$$

Téli időszakban a szellőzés útján biztosított légcserre igen korlátozott, mesterséges légelszívás pedig nemigen jöhet számításba. Itt meg kell említeni, hogy bizonyos értelemben sajnós műszaki szempontok is korlátozzák a természetes légcserét a lakozási munkáknál.

A léghuzat a lakkréteg felületén olyan gyors párolgást, ennek következtében lehűlést idéz elő, s nagyobb (70 % feletti) páratartalmú légtér a felülettel érintkezve már harmatpont alá lehűlve páralecsapódáshoz vezethet. Emiatt a lakkréteg fényét veszti, illetve fehéres lepedéket, foltosodást kap.

Ha ebben az esetben a helyiségben az összes szabad nyílás felülete (F_{sz}) legfeljebb 1,5 m², míg a légáramlási sebesség (V_{lev}) mindössze 0,25 m/mp (= 15,0 m/perc = 900,0 m/óra).

Így óránként a légcserre, illetve a kiáramló levegő mennyisége (Q) legfeljebb:

$$Q = F_{sz} \times V_{lev} = 1,5 \times 900,0 = 1350,0 \text{ m}^3 / \text{óra}$$

légcserre szükséges.

Egészségvédelmi szempontból azonban biztosítani kell azt, hogy az oldószergőzök töménysége $MAK = 50 \text{ mg/m}^3$; $CK = 100 \text{ mg/m}^3$, míg a felszabaduló formaldehidgázoké pedig $MAK = 1 \text{ mg/m}^3$; $CK = 2 \text{ mg/m}^3$ alatt maradjon.

Ha a parketta lakkozását 8 óra alatt végzik el, akkor az 1 óra alatt fejlődő oldószergőz és formaldehidgáz mennyisége (M), illetve töménysége és

$$M_1 = 252000000/8 = 31500000 \text{ mg/óra oldószergőz} \\ \text{(xilol)}$$

$$M_2 = 12600000/8 = 1575000 \text{ mg/óra formaldehidgáz.}$$

Kérdés: hogy a szennyezőanyagok töménysége az előírt töménységet ne haladja meg, óránként mennyi tiszta levegővel kell hígítani a munkateret. Ez az alábbi összefüggés szerint számítható:

$$L = b \times M / y_i - y_a \quad \text{ahol}$$

L = a légcseres útján betáplálendő levegő térfogata $\text{m}^3/\text{óra}$

b = 1,2 - 2,0 nagyságrendű biztonsági tényező

M = az 1 óra alatt képződő légszennyeződés, mg/óra

y_i = a szennyező anyagok megengedhető legnagyobb töménysége mg/m^3 (adott esetben 50 mg/m^3 , illetve 1 mg/m^3)

y_a = a szellőztető, tehát tiszta levegő szennyeződése mg/m^3 (adott esetben ez legyen legfeljebb 10 mg/m^3 , de lehet 0 is).

Az előbbi összefüggés alapján a terembe óránként:

$$L = 1,5 \times 31500000 / 50 - 10 = 1,5 \times 31500000 / 40 = 118125 \text{ m}^3/\text{ó}$$

levegőt kell juttatni.

(Formaldehidgázra számolva ez a mennyiség kevesebb, de mindig a nagyobb mértékű légszennyeződést kell alapul venni.)

Adott esetben csak természetes légcserét lehet biztosítani. A légáramlás sebessége legfeljebb $0,5 \text{ m/sec}$ -re növelhető (= 1800 m/óra). Kérdés, hogy milyen nagyságú szellőzőnyílást kell biztosítani a légcseréhez.

Az előbbieken alapján

$$Q = F_{sz} \times V_{lev} \quad \text{amelyből}$$

$$F_{sz} = Q / V_{lev} = 118125 / 1800 = 65,625 \quad \text{felületű szellőzőnyílás szükséges.}$$

Ezt a feltételt ablakok vagy ajtók nyitásával lehet biztosítani.

Végezetül érdemes kiszámítani, hogy egy esetleges robbanásakor milyen viszonyok alakulnak ki.

A 252 kg xilolgőz robbanásakor gyakorlatilag pillanat töredéke alatt teljes égés következik be.

A xilol égéshője kerekítve 43 MJ/kg .

A felszabaduló hőmennyiség Q_1 .

$$Q_1 = m \times q$$

$$Q_1 = 252 \text{ kg} \times 43 \text{ MJ/kg} = 10836 \text{ MJ}$$

A formaldehid égéshője 19,4 MJ/kg.

A felszabaduló hőmennyiség Q_2 .

$$Q_2 = 12,6 \text{ kg} \times 19,4 \text{ MJ/kg} = 244,44 \text{ MJ}$$

Egy Kmólnyi xilológózból (106,16 kg), mintegy 442 kg égéstermék keletkezik.

A levegő és az égéstermékek fajhőjét ($C = 1,40 \text{ KJ/kg}$) átlagosan lehet számításba venni.

1 m³ levegő 0 °-on 1 bar nyomáson 1,12 kg,

20 °-on 1,2 kg tömegű.

A robbanás pillanatában az oldószergőzök és az égéstermékek egyidejűleg jelen vannak.

Ennek megfelelően a rövid ideig tartó felmelegedés hőmérséklete az előbbi hőmennyiség felszabadulása során az alábbiak szerint becsülhető:

	a robbanás előtt		a robbanás után	
levegő	4432,74 m ³	5319,3 kg	4500 m ³	-----
égéstermék	-----	-----	291,4 m ³	442 kg
oldószergőz	57,86 m ³	252 kg	-----	-----
formaldehid	9,4 m ³	12,6 kg	-----	-----
	4500 m ³	5583,88 kg	4791,4 m ³	442 kg

A hőmennyiség az átlagos fajhő alapján az előbbi gázok, gőzök és égéstermék felmelegítésére fordítódik.

$$Q = C_x \times m \times \Delta t$$

$$\Delta t = (Q_1 + Q_2) / C_x \times m$$

$$\Delta t = (10836 \text{ MJ} + 244,44 \text{ MJ}) \times 1000 \text{ kg} / 1,40 \text{ KJ/kg} \times 5583,88 = \mathbf{1417,4 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Ez azt jelenti, hogy rövid idő alatt ennyivel emelkedik a térben a hőmérséklet.

Ennek következtében hirtelen nagy nyomás, detonáció áll be.

Kiszámítása a következő képlet alapján történik:

$$P_1 \times V_1 / T_1 = P_2 \times V_2 / T_2$$

$$1,0 \times 4500 / (273 + 20) = P_2 \times 4791,4 / (273 + 1417,4)$$

$$15,35 = 2,83 P_2$$

$$P_2 = 15,35 / 2,83$$

$$P_2 = 5,42 \text{ bar}$$

azaz 5,42 bar túlnyomás alakul ki a teremben. Ilyen nyomásváltozásnál már az összes ajtók, ablakok összetörnek (a válaszfalak is megrepednek, sőt kidőlnek), végül halálos kimenetelű légnyomásnak is ki vannak téve a dolgozók.

Öngyulladásra hajlamos anyagok

Végezetül érdemes megemlíteni, hogy az építőiparban néhány teljesen veszélytelennek látszó, öngyulladásra hajlamos anyag is akad, s ezek egyik veszélye éppen abban rejlik, hogy nem ismerik, illetve nem veszik figyelembe.

Ilyen sajtóságú anyagok pl. a lenolajkence, olajfestékek, zsíros hígító, oxigén felvétellel száradó lakkok, zománcfestékek egy része, stb. (ezek telítetlen kötéseket tartalmazó anyagok).

Ezek nagy fajlagos felületű anyagokkal (pl. törlőrongy, faforgács, fűrészpor, kenderkóc, stb.) érintkezve + 18 °C körüli hőmérsékleten (de főleg napsugárzás hatására!) is, olyan hevesen oxidálódnak, hogy öngyulladást idézhetnek elő.

Ilyen eset fordult elő két alkalommal egy vállalat egyik telephelyén, ahol 800-1000 kg-nyi kenderkötelet impregnáltak (ásványolaj helyett!) lenolajkencével és őrizetlenül hagyták egy pincehelyiségben két munkaszüneti napon át. Kizárólag csak az éjjeli őr éberségének volt köszönhető az, hogy emiatt nem égett hamuvá egy több millió forint értékű raktár, illetve anyagkészlet. Az idejében értesített tűzoltóság így is csak nehezen tudta a hatalmas tömegű, erősen füstölő égési gócot hatástalanítani. Itt azt kell megemlíteni, az első ilyen eset nem volt elég ahhoz, hogy a következtetéseket levonják belőle. Ugyanolyan körülmények mellett ez az eset még egyszer megismétlődött.

További példák:

Egy 10 m³-es 20 °C-os zárt térben benzolból és levegőből álló robbanásveszélyes elegy létrejöttéhez mennyi benzol szükséges, ha az alsó robbanási határ 1,2 tf%?

A benzolgőz levegőre vonatkoztatott sűrűsége:

$$d_r = M / 29 = 78 / 29 = 2,7$$

1 m³ benzolgőz tömege (ha 1 m³ 20 °C-os levegő tömege 1,2 kg)

$$g_{\text{benzol}} = g_{\text{lev}} \times d_r = 1,2 \times 2,7 = 3,24 \text{ kg}$$

$$v = v \times c_{\text{tf}} / 100 = 10 \times 1,2 / 100 = 0,12 \text{ m}^3$$

$$G = g \times v = 3,24 \times 0,12 = 0,38 \text{ kg} = 380 \text{ g}$$

Egy benzolfinomító üzem szivattyútelepén a helyiségben óránként átlagosan 200 mg/m³ benzolkoncentráció-emelkedést mértek. Ugyanakkor a környező légtér benzolkoncentrációja 25 mg/m³ volt.

A helyiség hasznos térfogata 600 m³.

Benzolra a megengedett határkoncentráció 100 mg/m³. Mennyi külső levegőt kell a helyiségbe vezetni, hogy a helyiségben a benzolkoncentráció 70 mg/m³ legyen?

A megadott adatok a következők:

$$C_K = 25 \text{ mg/m}^3$$

$$C_t = 70 \text{ mg/m}^3$$

$$V = 600 \text{ m}^3$$

$$C_{\text{átl}} = 200 \text{ mg/m}^3, \text{ óra}$$

A fejlődő szennyező anyag mennyisége:

$$C_{sz} = C_{\text{át}} \times V = 200 \times 600 = 120000 \text{ mg/óra}$$

A biztonsági tényezőt $f = 1,5$ -nek választjuk, tehát:

$$L_a = f \times (C_{sz} / (C_t - C_k)) = 1,5 \times (120000 / (70 - 25)) = 4000 \text{ m}^3/\text{óra}$$

szellőző levegő bevezetésére van szükség.

Ezzel a légmennyiséggel az óránkénti légcseré:

$$l = L_a / V = 4000 / 600 = 6,7\text{-szeres.}$$

Ugyanitt a karbantartás során nagyobb benzolmennyiség ömlött ki. A koncentráció rövid idő alatt 2000 mg/m^3 értéket ért el.

Milyen teljesítményű vész-szellőzés létesítése szükséges, hogy 45 perc alatt a helyiségben a 70 mg/m^3 benzolkoncentráció elérhető legyen?

További adatok:

$$C' = 2000 \text{ mg/m}^3$$

$$Z = 45 \text{ perc} = 0,75 \text{ óra}$$

A biztonsági tényezőt itt $f = 1,2$ -nek választjuk.

$$L_s = f \times (C_{sz} / (C_t - C_k)) + V \times ((C' - C_t) / Z \times (C_t - C_k)) \quad \text{m}^3/\text{óra}$$

$$C_{sz} = C' \times V = 2000 \times 600 = 1200000 \text{ mg}$$

$$L_s = 1,2 \times \{1200000 / (70-25) + 600 \times (2000 - 70) / (0,75 \times (70 - 25))\} = 74000 \text{ m}^3/\text{óra}$$

ami kerekítve, óránként 120-szoros légcserének felel meg.

Néhány gyakorlati tájékoztató jellegű kapacitásadat

- az emberi test kapacitása szigetelőpadlón $\approx 100 \text{ pF}$
- az emberi test kapacitása bőrtalpú cipőben vezetőpadlón állva $\approx 400 \text{ pF}$
- gépkocsi kapacitása $\approx 500 \text{ pF}$
- tartálykocsi ($7,5 \text{ m}^3$) $\approx 1000 \text{ pF}$
- szigetelt tartály ($3,6 \text{ m } \emptyset$) $\approx 100000 \text{ pF}$

$$\text{pF} = \text{pikofarad} = 10^{-12} \text{ F.}$$

Egyes műanyagfajták feltölthetősége, a felületi ellenállás és a fajlagos ellenállás függvényében

Fólia anyaga	felületi ellenállás Ohm	fajlagos ellenállás Ohm x cm	Feltölthetőség ∇
kemény PVC	10^{11}	10^{15}	max. 5000
lágy PVC	10^{13}	10^{14}	1000
polietiléntereftalát	10^{14}	10^{17}	kb. 200

polietilén	10^{13}	10^{17}	100
polipropilén	10^{14}	10^{17}	100
cellulózacetát	10^{13}	10^{14}	250

Néhány gyakorlati adat a feltöltöttségre:

- Száraz szőnyegen járkáló vagy széken, autóülésen ülő ember száraz időben 5000 V-ig;
- Teher- vagy személyautó mozgása kövezeten, száraz időben 10000 V-ig;
- Szíjtárcsán futó szíj 30000 V-ig képes feltöltődni.

Néhány anyag relaxációs ideje a fajlagos ellenállás függvényében

Anyag	Fajlagos ellenállás (Ohm. cm)	t_r (s)
Desztillált víz	10^6	7×10^{-6}
Gumi	$10^9 - 10^{13}$	$3 \times 10^{-4} - 3$
Nyersolaj	$10^9 - 10^{11}$	$1,8 \times 10^{-4} - 1,8 \times 10^{-2}$
Repülőbenzin	$10^{13} - 10^{15}$	$1,8 - 1,8 \times 10^2$
Erősen tisztított szénhidrogén	10^{17}	$1,8 \times 10^4$

Irodalomjegyzék

- Kovács Géza: Oldószergőzők okozta robbanási és mérgezési veszély az építőiparban
- BUDALAKK Festék- és Műgyantagyár Munkavédelmi és Tűzvédelmi Osztály (1984.):
A vállalatnál használt szerves oldószerek egészségi ártalmai, toxikológiai jellemző adatai
A védekezés, illetve az ártalmak megelőzésének elvei
- a szövegben említett szabványok
- építési engedélyezési dokumentációk
- Hommel (1992.)
- Nehézipari Minisztérium Továbbképző Központ Esztergom-kertváros (1977.):
Elektrosztatikus feltöltődések a munkavédelem és a tűzvédelem szempontjából

Bónusz János tú. alez.