

Statická elektřina

Ing. Jiří Lonský

Statická elektřina je jev známý z přírody již tisíce let. První pozorované elektrické jevy v přírodě byly např. blesk nebo Eliášův oheň. První pokusy s elektrostatikou popsal řecký filozof Thalés z Milétu. V průmyslu nebo v domácnostech se statická elektřina začala projevat převážně v souvislosti s rychlým rozvojem výroby plastů a elektroniky.

Statická elektřina je jev způsobený kumulací elektrického náboje (kladného nebo záporného) na povrchu různých předmětů (izolantů nebo izolovaných vodičů). Povrch izolantu může mít různý náboj v různých místech, povrch izolovaného vodiče má stejný náboj v celé ploše.

Materiály se nabíjejí vzájemným kontaktem a oddělením nebo třením (triboelektricky). Záporně nabitě elektrony přecházejí z jednoho materiálu na druhý, a tím se mění polarita a velikost náboje.

Na základě experimentů byly materiály seřazeny podle toho, jak se nabíjejí statickou elektřinou, do tzv. *triboelektrické řady*. Například lidské vlasy (obr. 1) a sklo se nabíjejí kladně, polyetylen nebo PVC záporně.

Další způsob nabití (zelektrování) je založen na jevu elektrostatické indukce, při kterém se na povrchu tělesa indukují elektrický náboj přiblížením jiného elektricky nabitého tělesa. Indukovaný náboj má opačnou polaritu než náboj, který tuto indukci vyvolal. U vodičů lze indukovaný náboj odvést uzemněním, u izolantů zůstává indukovaný náboj na tělese.

Schopnost nabíjení je určena několika parametry, mezi které patří:

- typ materiálu,
- charakter povrchu materiálu, velikost kontaktní plochy,
- povrchový odpor materiálu,
- velikost stlačení materiálů, rychlost pohybu,
- charakter a vlivy prostředí, relativní vlhkost vzduchu.

Jevy statické elektřiny

Statická elektřina způsobuje problémy při mnoha průmyslových činnostech, ale zároveň je úspěšně využívána k podpoře různých procesů nebo funkce některých zařízení.

Problémy se statickou elektřinou

Každý z nás určitě pocítil bezpočet výbojů statické elektřiny při vystupování z auta, při dotyku zábradlí, někdy i v supermarketu atd.; výboje mohou dosahovat velikosti desítek kilovoltů. V průmyslu při výrobě a zpracování plastů a textilií dosahují výboje až stovek kilovoltů. Tyto výboje jsou značně nepříjemné, a přestože nedochází ke zranění osob, určitě způsobují snížení produktivity práce i koncentrace pracovníků na plnění pracovní-

ho úkolu. Někdy mohou být závažnější až sekundární následky, jako např. pád z výšky atd.

Jestliže se elektrostatické výboje objeví v prostředí s přítomností rozpouštědel nebo různých prachů, jde opravdu o nebezpečnou kombinaci s možnými fatálními následky.



Obr. 1. Statická elektřina je všudypřítomná

Naproti tomu výboj i pouhých několika desítek voltů může zničit nebo poškodit polovodičové komponenty (obr. 2), někdy se tento problém projevuje až u konečného uživatele celého přístroje.

Při výrobě a zpracování plastů, papíru, textilií se materiál často pohybuje velkými rychlostmi, přičemž se může vzájemně slepit nebo přilepit k plochám stroje. Převíjení nebo řezání velkých rolí generuje velké náboje, které opět způsobí výboje směrem k obsluze stroje nebo mohou zničit řídicí elektroniku stroje. Role materiálu působí jako obrovský kondenzátor, náboj je uchovávan po dlouhou dobu a způsobuje problémy i dalším zpracovatelům nebo konečným uživatelům. V některých případech může být zničen vlastní materiál, výboje způsobí poškození povrchu, nebo dokonce průraz.

Ve výrobních procesech vyžadujících čisté prostředí nebo čistý výrobek (balení jídla nebo léků, výroba polovodičů a lékařských přístrojů atd.) se statická elektřina také stává problémem. Nabité povrchy součástí nebo materiálů přitahují nečistoty, které kontaminují výrobek a způsobí vznik zmetků.

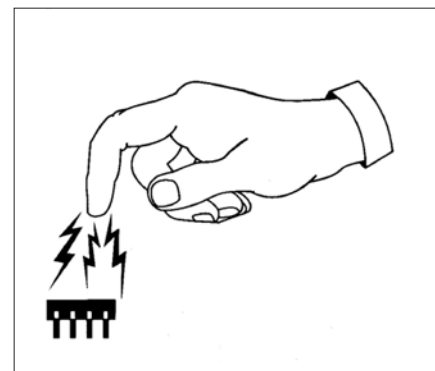
Většinu problémů vzniklých vlivem statické elektřiny – až už složitých nebo jedno-

duchých, je možné úspěšně řešit, jakmile je problém nastolen, analyzován a jsou využity vhodné metody.

Využívání statické elektřiny (elektrostatické nabíjení)

Statickou elektřinu lze s úspěchem využít v mnoha průmyslových oborech. Zde je uveden pouze základní přehled:

- elektrostatické nanášení práškových plastů (elektrokinetické a korónové nabíjení),
- elektrostatické rozprašování kapalin,
- elektrostatické odlučování prachu (nabitě částice prachu se usazují na sčerných elektrodách) nachází využití jak v průmyslových zařízeních, tak i v domácích čistíčkách vzduchu, domácí čistíčky vzduchu s ionizátorem tedy produkují záporné ionty, kterých má člověk v uzavřených místnostech nedostatek, a zároveň urychlují usazování prachu na podlahu, stěny a pevné předměty,
- elektrostatická separace materiálů (např. při recyklaci plastů se využívá rozdílná schopnost nabíjení látek),
- elektrostatické nanášení stříže – flokování,
- elektrostatická podpora při hlubotisku zlepšuje kvalitu tisku odstraněním míst s chybějící tiskovou barvou,
- elektrostatické spojování materiálů (dočasné spojení dvou a více materiálů za úče-



Obr. 2. Elektronické součástky mohou být ohroženy statickou elektřinou

lem jejich zafixování při různých technologiích, vkládání nálepky do formy vstříkovacího stroje – *in mould labeling*),

- kontrola porušení izolace nebo kontrola materiálu, kde je nezbytná neporušenost povrchu,
- počítadlo plastových sáčků počítá počet perforací (každá perforace znamená jeden průraz) mezi sáčky,
- testování elektroniky, testování rozbušek na elektrostatický výboj,

- elektrostátický iontový motor se již využívá pro pohon kosmických sond,
- výroba nanovláken z roztoku polymerů pomocí technologie elektrovlákňování,
- vytváření elektrostáticky trvale nabitých materiálů, tzv. elektretů (např. nabitá netkaná textilie zvyšuje účinnost filtrace),
- elektrostátické čištění použitých olejů.

Elektrické vodiče a izolanty

Při popisu účinků a jevů statické elektřiny je nutné vzít v úvahu i typy materiálů. Materiály jsou z tohoto hlediska rozděleny do dvou základních skupin: vodiče a izolanty.

Ve vodičích se elektrony volně pohybují po celém průřezu vodiče. Proto, když se neuzemněný vodič stává nabitým, celý průřez vodiče přijímá náboj stejného napětí a polarit. Nabitý vodič může být neutralizován jednoduše připojením k zemi, poněvadž uzemnění je vlastně nekonečný zdroj a „nádoba“ pro elektrony. Jestliže je vodič pozitivně nabit a připojen k zemi, potřebné množství elektronů teče ze země do vodiče, dokud se vodič nestane neutrálním. Naopak jestliže je vodič nabit negativně a následně připojen k zemi, nadbytek elektronů poteče do země, dokud se vodič nestane neutrálním.

Izolant reaguje v mnohém odlišně na statickou elektřinu a nemůže být neutralizován jednoduchým uzemněním jako vodiče. V izolantu je tok elektronů velmi omezen. Vzhledem k tomu může izolant uchovat množství elektrostátických nábojů různých potenciálů a polarit na různých místech své plochy. Připojením izolantu k zemi se nedosáhne změny proudu elektronů jako u vodičů, proto tedy musí být použity jiné prostředky pro neutralizaci elektrostátických nábojů na izolantech.

Způsoby eliminace statické elektřiny

Uzemnění

Vodivý předmět může být tedy neutralizován uzemněním. Dokud vodič zůstává uzemněn, elektrostátický náboj nemůže vzniknout.

Metoda zvýšení vodivosti

Kdyby mohl být izolant vyroben vodivý, mohl by být také neutralizován uzemněním. Izolant může být vytvořen vodivý jednou z těchto metod:

- navlhčením,
- antistatickými chemickými povlaky,
- použitím antistatik do polymerních materiálů,
- použitím uhlíku jako plnidla.

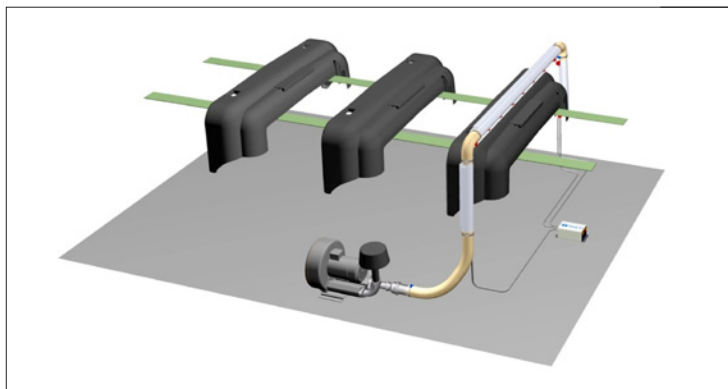
Některé materiály, které jsou hygroskopické, mají schopnost absorbovat vlhkost. V tomto případě se materiál stává dostatečně vodivým pro odstranění elektrostátických nábojů. Záleží ovšem také na rychlosti, s jakou bude materiál vlhkost absorbovat: role papíru, navíc zabalená v ochranné plastové

fólii, bude mít vlhkost stejnou jako při výrobě a při odvíjení rychlostí desítek až stovek metrů za minutu se vliv vlhkého vzduchu vůbec nemusí projevit.

U nehygroskopických materiálů by množství vlhkosti potřebné pro účinné rozptýlení elektrostátického náboje nebylo v podstatě použitelné pro většinu průmyslových účelů. V některých případech může velká relativní

Antistatika jsou látky buď silně hydrofilní, nebo s elektricky vodivou strukturou. Přidávají se do polymerních materiálů při vstřikování, vyfukování nebo extruzi.

Uhlík může být přidán pro vytvoření vodivého plastu. Tento postup a také použití antistatik se používají spíše při výrobě produktů, u kterých nesmí vzniknout statická elektřina (antistatické výrobky např. při



Obr. 3. Vzduchový nůž s antistatickou tyčí



Obr. 4. Ionizační ventilátor

vlhkost vzduchu vyvolat jiné výrobní problémy (vznik koroze, problémy při pájení atd.).

Antistatické chemické povlaky jsou nanášeny na nevodivé předměty sprejem, natíráním nebo namáčením. Vytvořená vodivá plocha je schopna rozptýlit elektrostátické náboje. Chemikálie nevytvářejí vodivou plochu, ale absorbují vlhkost ze vzduchu, která vytvoří vodivou vrstvu.

výrobě elektroniky), než jako pomoc s problémy se statickou elektřinou během výrobních procesů.

Metoda náhrady - ionizace

Přebytek nebo nedostatek elektronů, a tím kladný nebo záporný náboj na povrchu materiálu, lze snadno odstranit doplněním opačného náboje.

Tento proces je umožněn ionizací, což je štěpení atomů nebo molekul vzduchu na kladné a záporné ionty. Ionizační zařízení emituje množství kladných a záporných iontů v okolí elektrostáticky nabitého předmětu. Protože se opačné náboje přitahují, nabitý předmět přijímá dostatečný počet kladných nebo záporných iontů, až nastane jeho neutralizace.

Typy ionizátorů

Existují tři základní typy zařízení pro ionizaci:

- ionizátory napájené vysokým napětím,
- ionizátory využívající radioaktivní nebo UV záření,
- neutralizátory pracující na základě indukce (pasivní neutralizátor).



Obr. 5. Ionizační pistole s napájecím zdrojem

Mezi ionizátory je také možné zařadit plamen a dále zařízení vytvářející plazmový výboj, neboť z definice plazmy vyplývá, že jde o elektricky neutrální proud iontů a elektronů.

V praxi se však většinou používají ionizátory napájené vysokým napětím a pasivní neutralizátory v podobě antistatických kartáčků.

Ionizátory napájené vysokým napětím

Neutralizační zařízení napájené elektricky se skládá z jednoho nebo více ionizačních hrotů, na které se přivádí vysoké napětí, které může dosahovat hodnot mezi 3 až 30 kV. Pro správnou neutralizaci nábojů obou polarit je nezbytné, aby ionizátor také vytvářel ionty obou polarit a ve stejném množství (ionizátor musí být v rovnováze). Ionizační hroty mohou být napájeny vysokým napětím o frekvenci 50 Hz nebo může jít o stejnosměrně napájené ionizátory, a to buď v trvale stejnosměrném režimu, nebo pulzně stejnosměrném režimu. Objevují se i ionizátory napájené vysokofrekvenčně.

Ionizátory pro neutralizaci statické elektřiny jsou vyráběny v mnoha variantách podle použití. Existují i konstrukce pro použití v prostředích s nebezpečím požáru a exploze. Ionizátory používané v superčistých prostředích (*clean room*) jsou také konstruovány a vyráběny tak, aby byly kompatibilní s třídou čistoty a nezpůsobovaly žádné problémy v těchto prostředích. Při požadavcích na čištění materiálů nebo předmětů zároveň s neutralizací statické elektřiny jsou k dispozici zařízení pracující s podporou stlačeného vzduchu nebo vzduchu z vysokotlakého ventilátoru, dále mohou obsahovat pevné nebo rotační kartáče a jednotku pro odsávání nečistot. Ionizátory nevytvářejí žádné nebezpečné látky, pouze menší množství ozonu, který většinou ani není nutné odsávat. Je však třeba mít tuto skutečnost na zřeteli v určitých použitích. Ionizátory jsou zároveň bezpečné i z pohledu vysokého napětí, neboť pracují s velmi malými proudy. Největší firmou, která vyrábí tyto průmyslové ionizátory, je Simco-Ion s výrobními závody v USA, Nizozemí a Japonsku.

Ionizátory využívající radioaktivní záření

Eliminátory statické elektřiny pracující s jadernou energií využívají prvky jako polonium nebo radium, které jsou zapouzdřeny do keramických kroužků a připevněny k neutralizačnímu zařízení. Tyto materiály velkou rychlostí bombardují okolní molekuly vzdu-

chu částicemi za vzniku ionizace. Zařízení pracující s jadernou energií může být použito v nebezpečných prostředích a nevyžaduje elektrické připojení. Vzhledem k poločas rozpadu radioaktivního prvku je uvedené zařízení nutné každý rok obnovovat. Tento typ ionizátorů se používal i v dřívějším Československu, nyní se pravděpodobně již nikde nevyskytuje.

Neutralizátory pracující na základě indukce

Zařízení pracující na základě indukce nejsou externě napájená, ale využívají stejný



Obr. 6. Hlavice zařízení pro odsávání nečistot s ionizačními tyčemi

princip ionizace vysokým napětím. Toto zařízení je obvykle v konfiguraci uzemněné kovové tyče se sérií ionizačních hrotů nebo drátků. Vysoké napětí potřebné pro vznik ionizace je vlastně vysoké napětí elektrostatického náboje na samotném materiálu. Při průchodu nabitého materiálu kolem indukční tyče vlivem vysokého napětí se vytváří silné elektrické pole za vzniku ionizace. Ionizovaný vzduch však umožní pouze pokles náboje, ale náboj není úplně eliminován. Uvedené neutralizátory jsou účinné při velmi velkých nábojích. Při snižování náboje na materiálu klesá i účinnost ionizace až na úroveň, kdy se ionizace zastaví. V tomto případě musí být použito elektricky napájené zařízení.

Výběr zařízení pro neutralizaci statické elektřiny

Výběr zařízení nebo materiálů pro neutralizaci statické elektřiny je nutné vždy konzultovat s vyškoleným a kvalifikovaným specialistou, který má zkušenosti s průmyslovým prostředím. Zařízení pro neutralizaci statické elektřiny jsou vyráběna v mnoha různých konfiguracích a výběr záleží na podmínkách a požadavcích každého použití.

Přehled typů ionizátorů

1. Antistatické (ionizační) tyče jsou tvořeny řadou emitačních hrotů a jsou určeny k neutralizaci náboje na plochých materiálech, jako jsou fólie, papír, textilie atd. Pracovní dosah tyčí je až 1 000 mm v závislosti na rychlosti pohybu materiálu. Pro zvětšení pracovního dosahu, popř. pro zvýšení rychlosti vybíjení, se používají ionizační tyče s podporou stlačeným vzduchem nebo mohou ionizační tyče využívat laminární proudění vzduchu např. v čistých prostorech při výrobě elektroniky. Některé antistatické tyče také používají podporu proudu stlačeného vzduchu k odstraňování nečistot z materiálu; toto provedení se nazývá vzduchový nůž s ionizační tyčí (proud vzduchu vystupuje z úzké štěrbině po celé délce tyče). Antistatické tyče jsou rovněž k dispozici v kruhovém provedení pro plnicí a balicí stroje, extruzi plastů atd. Zařízení k neutralizaci náboje na materiálech pohybujících se v pneumatické dopravě také obsahuje antistatické tyče, aktivní ionizační hroty jsou nasměrovány dovnitř na materiál (obr. 3).

2. Ionizační vzduchové ventilátory opět obsahují emitační hroty, přes které ventilátor fouká vzduch na požadované místo. Jsou k dispozici přenosné modely pro umístění na pracovních stolech nebo modely určené pro stabilní umístění. Tyto jednotky jsou schopny neutralizovat materiály až do vzdálenosti 1,5 m a jsou zvláště vhodné pro součásti a materiály s nerovným povrchem (3D rozměrem), ale také pro pásy a fólie při navíjení (obr. 4).



Obr. 7. Přístroj k měření intenzity elektrostatického pole

3. Ionizační pistole a trysky pracují se stlačeným vzduchem nebo dusíkem, který zajišťuje koncentrovaný bodový zdroj vzduchu. Trysky a ručně ovládané pistole jsou určeny k průběžnému čištění a neutralizaci elektrostatických nábojů na součástech a materiálech. Některé typy obsahují i vestavěné vzduchové filtry a jsou vhodné i k použití v čistých prostorech (obr. 5).

4. Zařízení pro odsávání nečistot se skládá z hlavice připojené na odsávací jednotku se sběrným systémem. Hlavice obsahuje antistatické tyče, může obsahovat kartáč a ofukovací trubku se stlačeným vzduchem. Zařízení je určeno k čištění plochých materiálů, jako jsou fólie, plastové desky, může jít i o rotační předměty, jako jsou plastové láhve atd. Zařízení se montuje do výrobních linek nebo tiskových strojů (obr. 6).

Přístroje k měření statické elektřiny

Přístroje jsou užitečné při analyzování problémů souvisejících se statickou elektřinou a pomáhají určit správné umístění zařízení pro neutralizaci statické elektřiny. Také lze sledovat účinnost těchto zařízení nebo určovat schopnost materiálů nabíjet se statickou elektřinou i stupeň vybíjení. Přístroje jsou vyráběny v různých verzích, jednoduché, kapesní v nižších cenových relacích nebo složitější pro laboratorní účely. Tyto přístroje jsou rovněž nezbytné tam, kde je výskyt statické elektřiny nebezpečný.

Přehled typů přístrojů:

- elektrostatický měřič pole – přístroje měří intenzitu elektrostatického pole (obr. 7); rozsah měření napětí se může pohybovat až do $\pm 20 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($\pm 2 \text{ MV}\cdot\text{m}^{-1}$),

- měření nebo kontrola povrchového odporu – přístroje se používají např. ke kontrole antistatických podlah, pracovních stolů nebo materiálů pro balení elektrostaticky citlivých výrobků; rozsah měření bývá 10^3 až $10^{13} \Omega$,
- přístroje pro kontrolu ionizátorů *charge plate monitor* měří rychlost vybíjení náboje a vyvážení ionizátoru; v elektronickém průmyslu se ionizátory standardně testují vybíjením náboje z 1 000 na 100 V,
- přístroje pro kontrolu uzemnění pracovníků kontrolují antistatické náramky a antistatickou obuv před vstupem na pracoviště nebo kontrolují toto vybavení průběžně.

Ochrana elektroniky před elektrostatickým výbojem (ESD)

Při výrobě a montáži elektroniky je statická elektřina velmi sledovaná veličina. Celá problematika ochrany je podrobně vysvětlena v ČSN EN 61340, kde jsou popsány metody měření, metody simulace elektrostatických jevů, zkušební metody pro podlahové krytiny a obuv a ochrana elektronických součástek před elektrostatickými jevy.

Základní vybavení antistatických pracovišť obsahuje:

- uzemnění pracovníků pomocí antistatického náramku nebo použití antistatické podlahy a antistatické obuvi,
- přístroje ke kontrole uzemnění pracovníků,

- ionizátory (v případě výskytu nevodivých materiálů nebo v automatických linkách jsou doporučovány),
- antistatické obaly pro výrobky,
- správné označení a vymezení celého pracoviště, včetně vykonávání jeho pravidelných kontrol.

Rozdělení materiálů z hlediska normy ČSN EN 61340:

- elektrostaticky vodivý: materiál, jehož povrchový odpor je $\geq 10^2$ a $< 10^5 \Omega$,
- elektrostaticky disipativní: materiál, jehož povrchový odpor je $\geq 10^5$ a $< 10^{11} \Omega$,
- izolant: materiál, jehož povrchový odpor je $\geq 10^{11} \Omega$.

Statická elektřina v prostředí s nebezpečím požáru a výbuchu

Pro tato prostředí je k dispozici norma ČSN 33 2030 *Elektrostatika – Směrnice pro vyloučení nebezpečí od statické elektřiny*, kde jsou popsány i situace vyskytující se v praxi, které mohou nastat v různých výrobních technologických a strojních zařízeních, a zároveň i opatření, jak zabránit nebezpečí elektrostatického výboje. Konkrétní pracoviště a technologie výroby by měly být posouzeny oprávněnou osobou, jako je např. Fyzikální technický zkušební ústav v Ostravě.

☒

115 let Landis+Gyr

Vstupte s Landis+Gyr do světa smart meteringu

www.landisgyr.cz

- Smart metering
- Řešení pro smart grid
- Komplexní systémy pro sběr a zpracování dat pro zákazníky
- Ekonomické řešení dálkového odečtu pro průmyslové areály
- WEB portál
- Integrované multiutilitní řešení obsahující inteligentní měřiče všech energií – elektřiny, tepla, plynu a vody

