# Zabezpečenie elektromagnetickej kompatibility EMC vzhľadom na rastúce hrozby od nežiaducich elektromagnetických vplyvov

Bo MILLEVIK, Roxtec International AB, Švédsko
Ing. Miroslav HOLLÝ, Roxtec CZ, s.r.o., ČR

## 1. ÚVOD

Pri utesňovaní káblov, ktoré prechádzajú rôznymi stavebnými konštrukciami alebo stenami skríň či kontajnerov, je veľmi dôležité vedieť, akým rizikám môže byť konkrétny káblový prestup vystavený a podľa toho zvoliť aj konštrukciu a materiálové zloženie priechodky. Pokiaľ sa vyžaduje len **protipožiarna odolnosť**, väčšinou sa to dá riešiť rôznymi tmelmi alebo minerálnou vlnou kombinovanou protipožiarnym náterom. Všeobecne takýmto prestupom hovoríme protipožiarne upchávky. Na trhu sú dostupné desiatky takýchto aplikácii od rôznych výrobcov, a keďže naše protipožiarne predpisy sú v tejto oblasti relatívne prísne, nie je problém zvoliť si pre konkrétny prípad optimálne riešenie. V praxi sa však často stretávame so závažným problémom, keď si zainteresovaní neuvedomia, že utesnenie káblov, to nie je len ochrana voči ohňu. Pri riešení káblových prestupov cez rôzne stavebné konštrukcie treba mať na pamäti minimálne týchto 10 vlastností:

1. Odolnosť voči požiaru
2. **Odolnosť voči tlakovej vode a zemnej vlhkosti**
3. **Odolnosť voči hlodavcom**
4. **Odolnosť voči mechanickému namáhaniu a vibráciám**
5. Odolnosť voči klimatickým vplyvom a UV žiareniu
6. **<u>Kompatibilná ochrana EMC</u>**
7. Plynotesnosť a použitie pre výbušné prostredie Ex
8. Prachotesnosť pre čisté priestory
9. Odolnosť voči agresívnym chemickým látkam
10. Flexibilita pre jednoduché budúce zmeny

Pre zabezpečenie plynulosti prevádzok a predchádzaniu škôd na majetku, či dokonca zamedzeniu ohrozenia ľudského zdravia je kriticky dôležité tieto riziká poznať a pri návrhu káblových prestupov s nimi počítať. Len tak dokážeme zabezpečiť 2 základné požiadavky každého zariadenia či objektu: **bezpečnosť a spoľahlivú prevádzku**. Pred uvedením hlavnej témy z oblasti EMC (č. 6) by som chcel zopakovať aspoň 3 najčastejšie podceňované riziká (č. 2, 3, a 4), ktoré najviac ohrozujú bezpečnosť a prevádzku elektrických zariadení.

## 2. Odolnosť voči zemnej vlhkosti a tlakovej vode

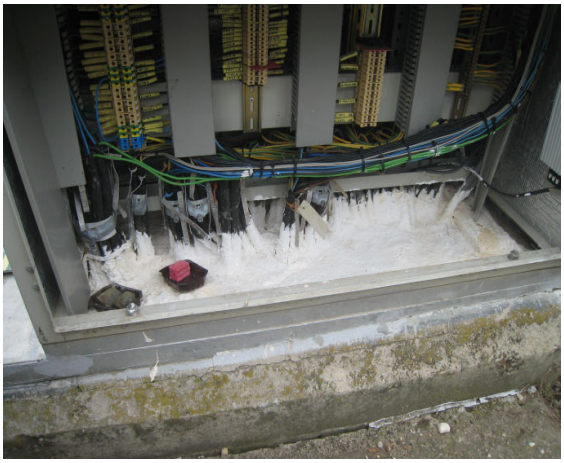
Pri káblových prestupoch z exteriéru do interiéru pod úrovňou terénu vždy hrozí, že sa štrbinami popri kábloch dostane do vnútra tlaková voda alebo minimálne zemná vlhkosť. Pri zvýšenej relatívnej vlhkosti a zvýšenej prašnosti, či už z naplavených nečistôt a priesakov, alebo z opadajúcej vnútornej omietky, výrazne rastie riziko parciálnych výbojov a skratov. Okrem toho podstatne rýchlejšie korodujú kovové časti drahých prístrojov a zariadení. V lepšom prípade sa poškodené prístroje stihnú vymeniť a dôsledkom vlhkosti sú len zvýšené prevádzkové náklady. V horšom prípade môže nastať prerušenie prevádzky elektrického zariadenia a v najhoršom prípade havária s ujmou na majetku, či dokonca s ohrozením ľudského života. Nemusím preto zdôrazňovať, že pre zabezpečenie spoľahlivej prevádzky každého el. zariadenia či objektu je kriticky dôležité, aby v jeho interiéri bolo sucho a čisto. Prestupy káblov a potrubí z exteriéru do interiéru by teda mali byť pri všetkých objektoch vodotesné. Požiadavka na vodotesnosť sa v praxi pohybuje od štandardnej klasifikácie IP 68 až po tlak vody 4 bar (pri zvýšenom riziku záplav).

Aj certifikovanou mäkkou požiarnou upchávkou sa do interiéru často dostáva veľmi nežiadúca vlhkosť

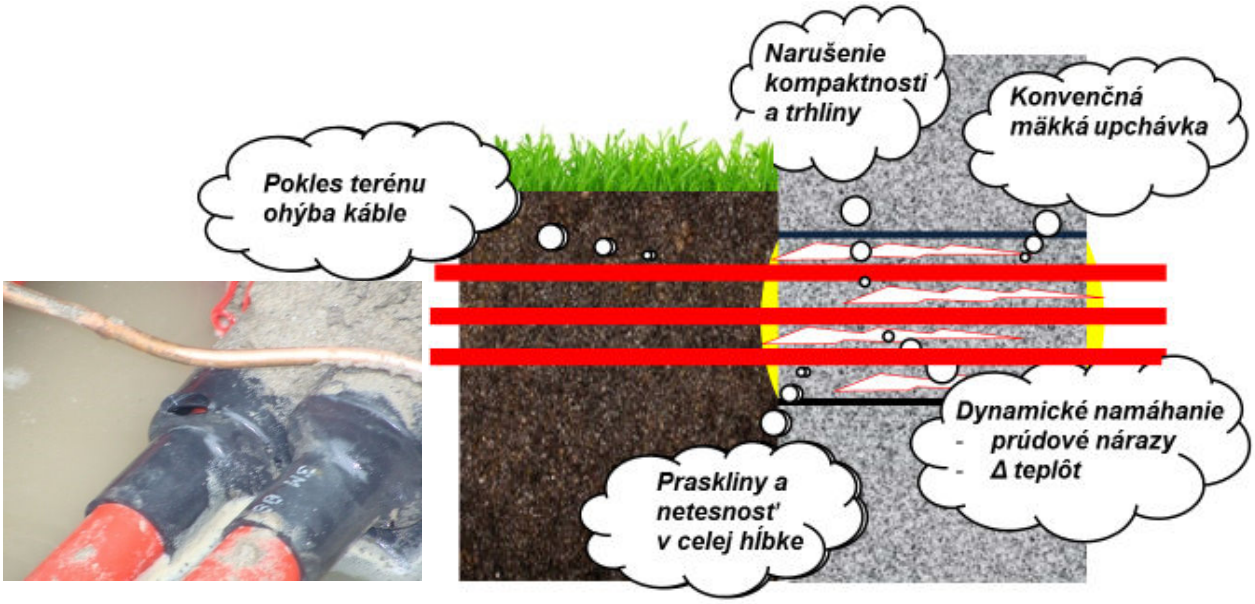
Vlhkosťou a mechanickým namáhaním narušená protipožiarna upchávka stráca funkčnosť, čím sa zvyšuje riziko šírenia požiaru

## 3 ODOLNOSŤ VOČI HLODAVCOM

Takmer všetky hlodavce (kuny, potkany, myši,...) hľadajú spôsob, ako sa dostať za potravou alebo za teplom do rôznych objektov. Veľmi často sa im to podarí práve prehryzením sa cez káblové prestupy. Nasledujúce obrázky dokazujú, že riziko znefunkčenia mäkkých protipožiarnych upchávok či prehryzenia káblov s následným ohrozením plynulosti a bezpečnosti prevádzky je naozaj veľké:



## 4. ODOLNOSŤ VOČI DYNAMICKÝM POHYBOM VPLYVOM TEPLOTNÝCH ROZDIELOV ČI TRHNUTIAM VPLYVOM NÁRAZOVÝCH PRÚDOV




Prasknutá zmršťovacia hadica pod vplyvom tlaku terénu je najčastejšou príčinou, prečo sú elektrické stanice vlhké a prašné.

Elektrické káble, hlavne silové, sú v prestupe cez stavebnú konštrukciu vystavené viacerým mechanickým namáhaniam v dôsledku:

- teplotných zmien
- prúdových nárazov pri zapínaní a vypínaní
- ohybu káblov pod tlakom terénneho násypu

Vplyvom týchto dynamických pohybov sa materiál konvenčnej mäkkej požiarnej upchávky naruší, vzniknú tu trhliny a netesnosti v celej hĺbke prestupu, čím upchávka stráca svoju funkčnosť a do interiéru preniká voda.

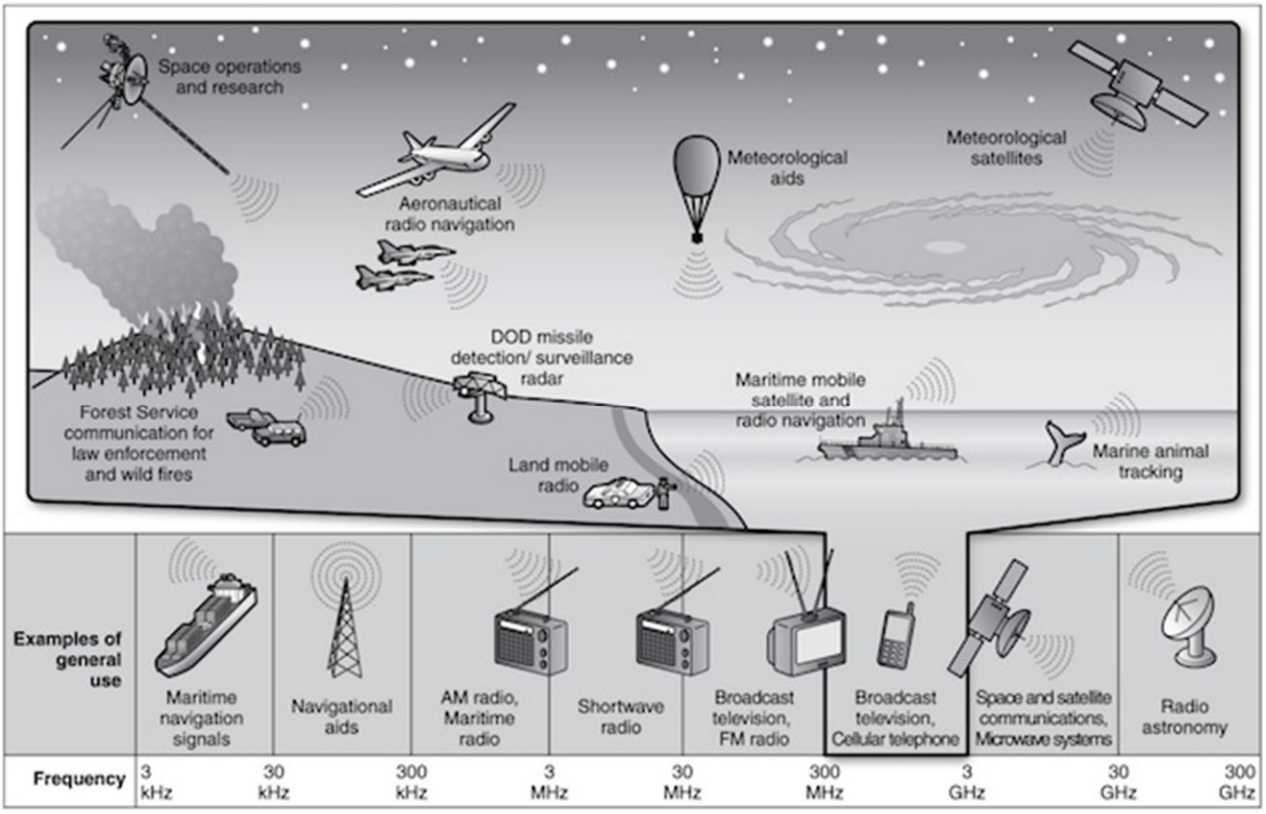
# 5. ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA (EMC) - DEFINÍCIA A ROZDELENIE

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je vlastnosť elektrického zariadenia (prístroja, stroja, systému) spoľahlivo fungovať vo svojom elektromagnetickom prostredí a bez ovplyvňovania iných zariadení a systémov. Musí teda odolávať pôsobeniam od iných elektrických alebo magnetických prístrojov a systémov a svojím elektromagnetickým poľom nezasahovať do fungovania iných zariadení a systémov. Delí sa na 2 kategórie:

- **EMI** - elektromagnetická interferencia (rušenie)
- **EMS** - elektromagnetická susceptibilita (odolnosť, resp. chúlostivosť)

Zdroje týchto rušivých signálov môžeme ďalej rozdeľovať:

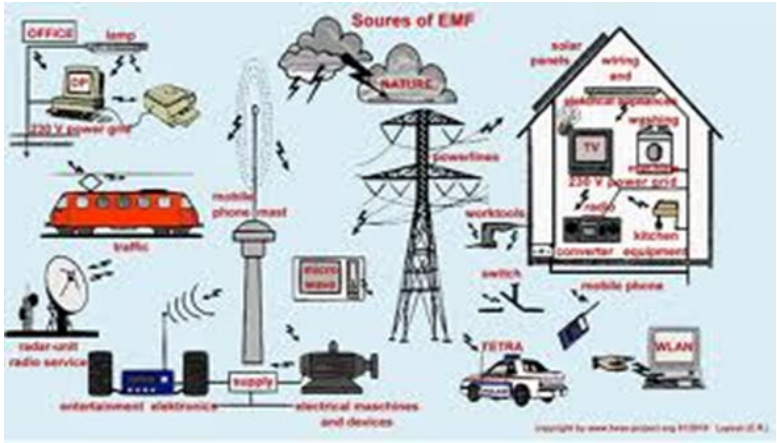
- Podľa pôvodu na: **prírodné** a **umelé**
- Podľa šírky pásma na: **úzkopásmové** a **širokopásmové**
- Podľa frekvencie na: **nízkofrekvenčné energetické** - do 2 kHz (deformácia napájacích napätí energetických sietí)
  **nízkofrekvenčné akustické** - do 10 kHz
  **vysokofrekvenčné (rádiové) -** od 10 kHz do 400 GHz
- Podľa dĺžky na: **impulzné** (kratšie ako 200 ms) a **spojité** (dlhšie ako 200 ms)
- Podľa šírenia na: **šírené vedením** (napájacím, signálnym, dátovým)
  **šírené vyžarovaním** - priestorom



# 6. EMC HROZBY OD ELEKTROMAGNETICKÝCH IMPULZOV RÔZNEHO TYPU

Medzi najväčšie hrozby narušenia elektromagnetickej kompatibility elektrických strojov, zariadení a objektov znamenajúce ohrozenie bezpečnosti a spoľahlivosti ich prevádzky patria elektromagnetické impulzy **EMP**, ktoré podľa pôvodu vzniku môžeme rozdeliť na:

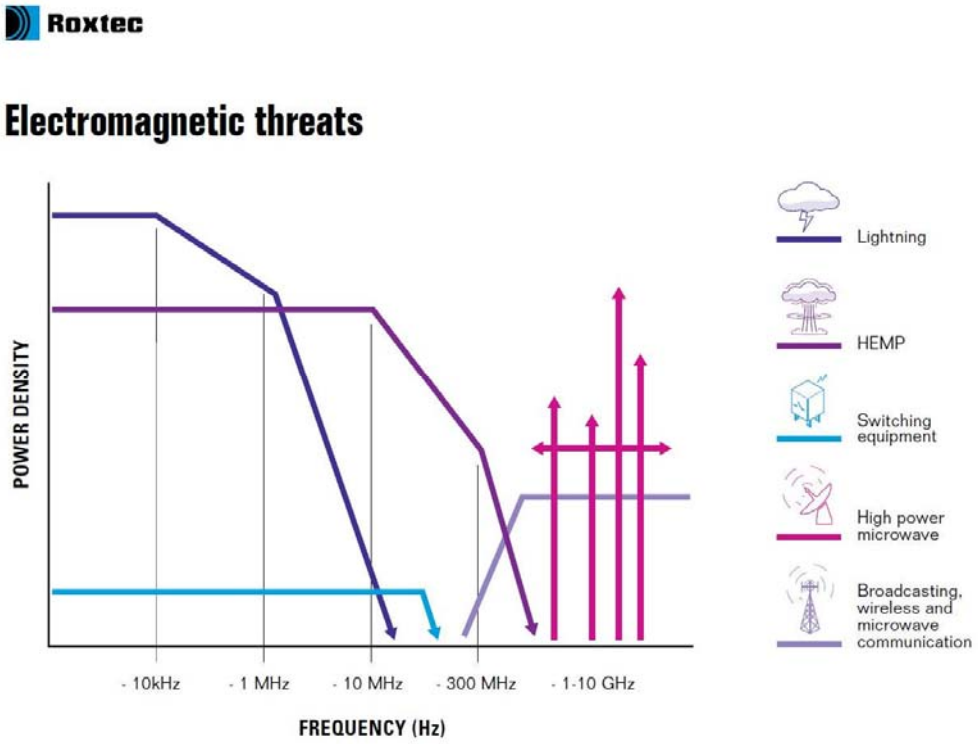
- LEMP - elektromagnetický impulz blesku (Light)
- NEMP - elektromagnetický impulz z jadrového výbuchu (Nuclear)
- HEMP - vysoko napäťové impulzy (High Althitude)
- HPM - vysoko energetické mikrovlnné impulzy (High Power Microwave)
- NNEMP - nenukleárne elektromagnetické impulzy (Non Nuclear)



Ďalšími hrozbami narušenia elektromagnetickej kompatibility elektrických strojov, zariadení a objektov sú:

- EMI - elektromagnetické interferencie (rušenia)
- RFI - rádio frekvenčné interferencie
- IEMI - úmyselné elektromagnetické rušenie (Intentional)
- Magnetické polia

Z hľadiska narušenia EMC sú popri prírodných katastrofách najrizikovejšie hrozby **IEMI** (úmyselné elektromagnetické rušenie) a **HPM** ako vysoko energetické mikrovlnné impulzy vo forme teroristických útokov impulznými puškami a delami vyvinutými na tieto účely. Všetky objekty strategického významu by preto mali mať zabezpečenú EMC ochranu prioritne voči týmto hrozbám. Intenzita a frekvenčné rozsahy jednotlivých elektromagnetických hrozieb sú zobrazené na tomto grafe:



# 7. STRATEGICKY DÔLEŽITÉ INFRAŠTRUKTÚRY VYŽADUJÚCE EMC OCHRANU

Väčšina elektrických zariadení si vyžaduje určitý stupeň ochrany voči elektromagnetickým interferenciám, nežiadúcim indukciám, účinkom blesku a pod. S narastajúcou hrozbou terorizmu rastie aj potreba chrániť dôležité objekty a zabezpečiť ich EMC kompatibilitu. Vzhľadom na stúpajúci rast množstva aj intenzity rôznych elektromagnetických rušení a nežiadúcich impulzov je v súčasnosti potrebné chrániť minimálne objekty, ktoré sa pokladajú za infraštruktúru strategického významu. Medzi takéto možno zaradiť:

- Objekty pre výrobu a rozvod elektrickej energie (elektrárne a rozvodne)
- Ochrana a riadenie letovej prevádzky (letiská)
- Prevádzky železničnej dopravy (trakčné objekty)
- Datacentrá, serverovne a riadiace miestnosti v priemysle (control rooms - „velíny“)
- Objekty pre televíznu, rádiovú, mobilnú a inú diaľkovú komunikáciu
- Armádne a vládne budovy
- Nemocnice a objekty verejného zdravotníctva
- Priemyselné objekty strategického významu (nafta, plyn, sklady potravín, ...)
- Vodárne, čističky odpadových vôd a priehrady
- Finančné inštitúcie a banky

EMC ochrana by mala byť samozrejmosťou u všetkých objektov dôležitého významu ako napríklad: železničné objekty, dátové centrá, elektrárne, rozvodne, nemocnice, ...
Na Slovensku sú v súčasnosti v tejto oblasti značné rezervy a situácia je z hľadiska EMC ochrany značne podceňovaná.

Okrem strategicky dôležitých objektov má EMC ochrana veľa krát význam aj pri bežných priemyselných aplikáciách, ako je napríklad nadmerné opotrebovanie ložísk strojov z dôvodu prítomnosti bludných prúdov a podobne:

## 8. ZÁSADY A PRINCÍPY ÚČINNEJ EMC OCHRANY

Pre zabezpečenie základnej ochrany EMC je potrebné dodržiavať všetky platné predpisy a normy pre ochranu elektrických zariadení pred bleskom a úrazom elektrickým prúdom a to najmä správnym uzemňovaním, ekvipotenciálnym spájaním, tienením, filtrovaním, správnym výberom káblov, ich triedením a separovaním, reguláciou elektrických obvodov, využitím obmedzovačov rázových vĺn, prúdových a napäťových ochrán a podobne.

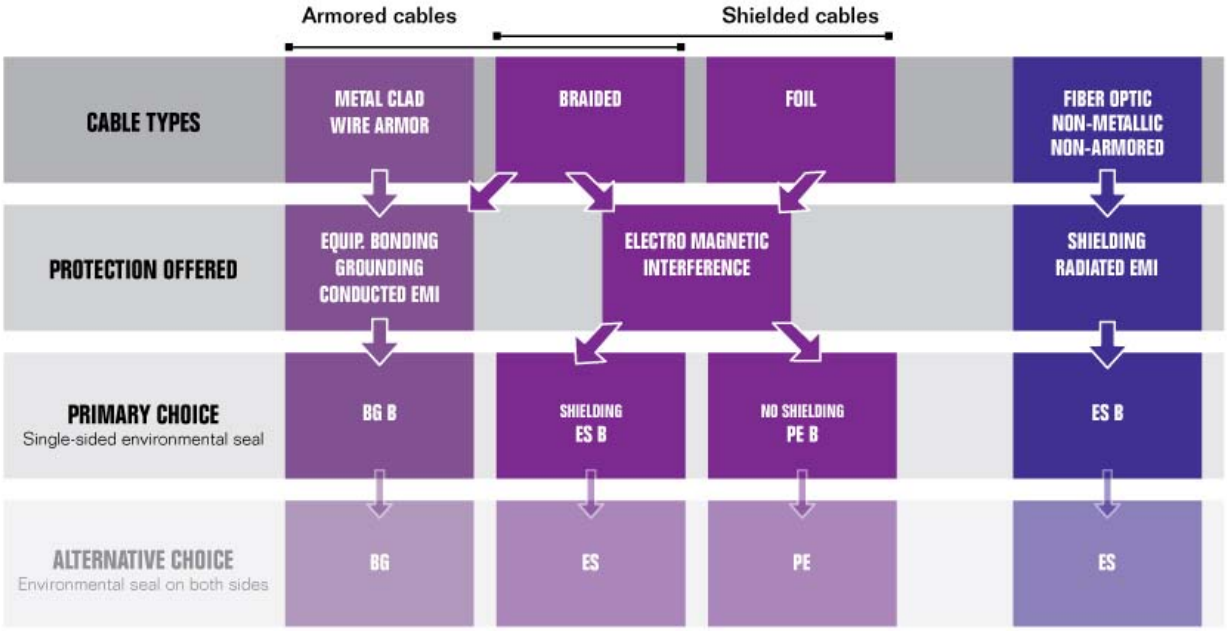
## 8.1 Správny výber tienených a armovaných káblov, ich triedenie a separovanie

Kvôli účinnej EMC ochrane je nevyhnutné, aby všetky káble boli tienené alebo armované a spĺňali všetky požiadavky na systémové **ochranné** (Cu vodič/Cu páska) alebo **funkčné** (výplet alebo fólia/ Al alebo metalizovaný polyester) uzemnenie:

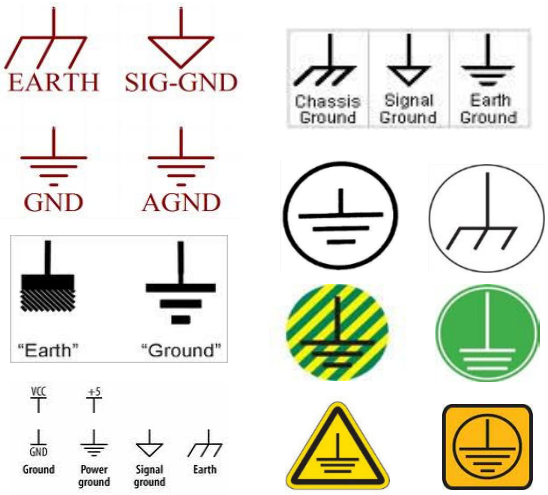
Silové a riadiace, resp. signalizačné káble musia byť **oddelené** aj v prestupe cez konštrukciu a ich tienenie či armovanie v tomto mieste dôsledne **uzemnené**.

Nesprávne vedené a neuzemnené káble

Správne vedené, triedené a uzemnené káble



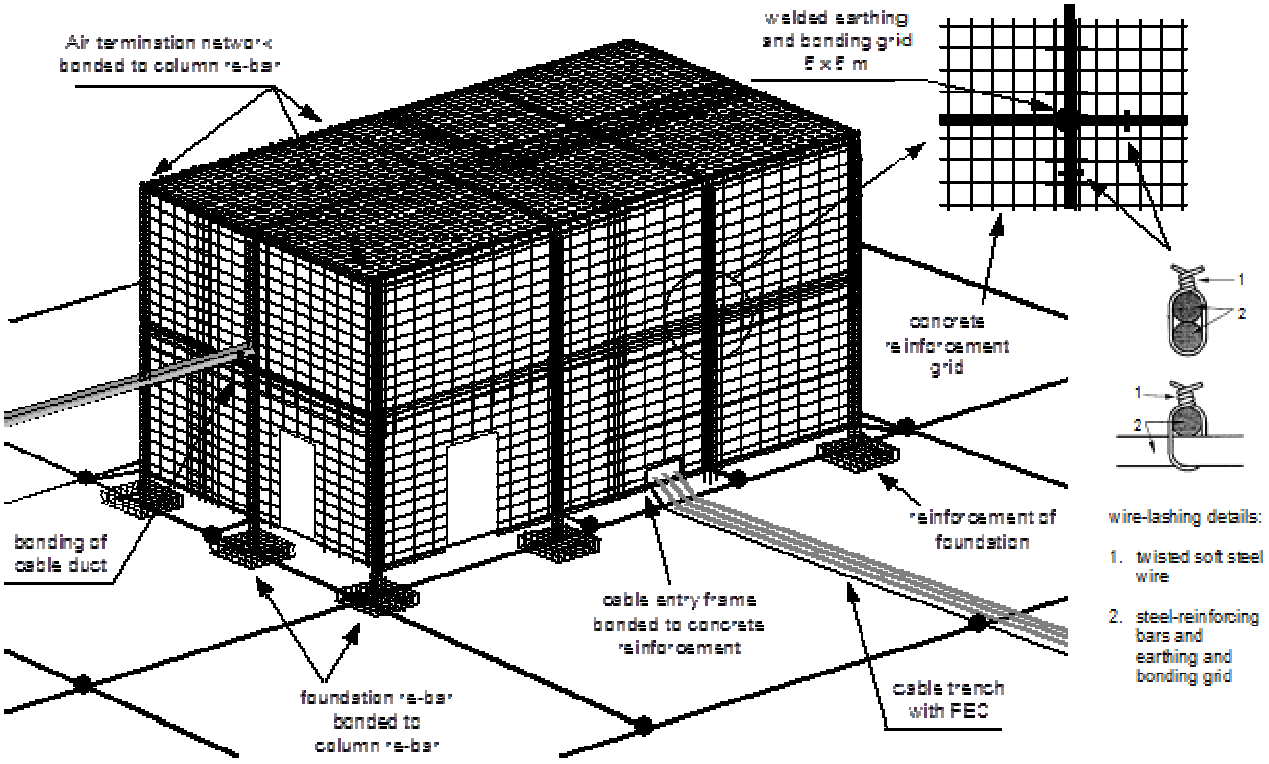
## 8.2 Uzemňovanie a spájanie v zmysle platných noriem a predpisov




- Earthing
- Grounding
- Bonding
- Equipment Grounding
- Potential Equalization
- Protective Earthing
- Safety Earth
- System Groundning
- Equipotential Bonding
- Functional earthing
- Instrument Earth

## 8.3 Faradayova klietka ako účinné systémové tienenie

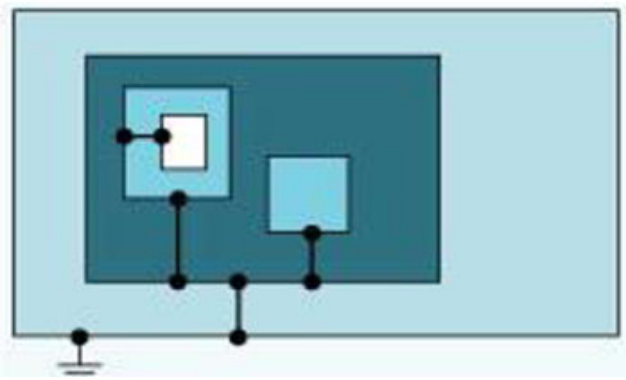
Pre vytvorenie EMC prostredia v zariadení alebo objekte je potrebné vytvoriť po celom jeho obvode tieniacu mriežku z vodivého materiálu, ktorým môže byť pletivo alebo plný vodivý materiál, napr. plech.

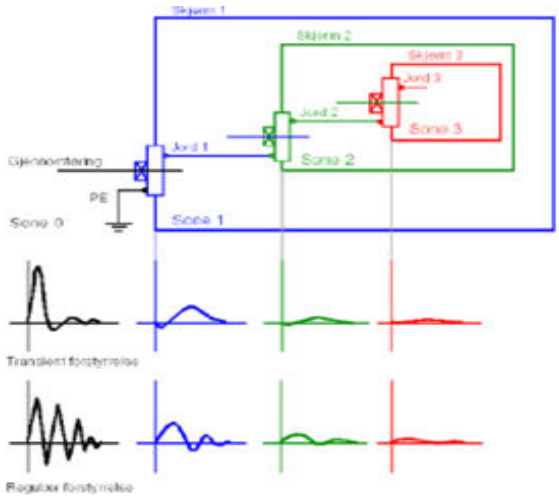



Aby takáto klietka zabezpečovala účinnú ochranu voči elektromagnetickým hrozbám, musí spĺňať niekoľko základných podmienok:

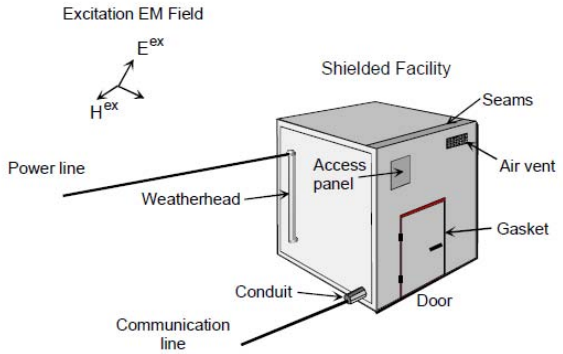
- vodivé časti mriežky musia byť vodivo spojené (napr. zvarením) a dôkladne uzemnené na viacerých miestach. Pri budovách je vhodné ako tieniacu mriežku využiť oceľové armatúry, ktoré sú vodivo pospájané až do základov

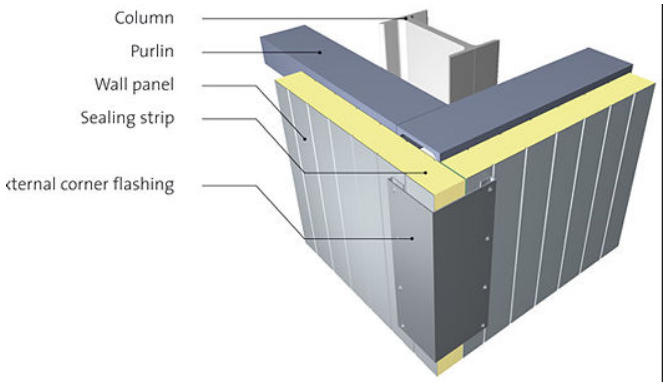
- pre dodržanie elektromagnetickej topológie je potrebné klasifikovať jednotlivé zóny prostredia podobne, ako je to pri výbušných prostrediach






- tieniaca mriežka s maximálne požadovaným otvorom musí prekrývať aj všetky otvory daného objektu (okná, dvere, vetracie otvory, ...)
- jednotlivé komponenty (dvere, okná, panely,...) musia byť vodivo prepojené sponami, vodivými tesneniami, skrutkami , ... pri dodržaní max. povolenej vzdialenosti




- podľa požadovanej účinnosti tienenia nežiadúcich elektromagnetických hrozieb optimalizovať správnu veľkosť oka tieniacej mriežky podľa tohto vzorového výpočtu:

| Material | Shielding factor SF (dB) | | w = mesh size (m) |
|---|---|---|---|
| | 25 kHz (first short strike) | 1 Mhz (subsequent strike) | (w ≤ 5 m) |
| Copper Aluminium | $20 \cdot \log (8.5/w)$ | $20 \cdot \log (8.5/w)$ | r = rod radius (m) |
| Steel | $20 \cdot \log \frac{(8.5/w)}{\sqrt{1+18 \cdot 10^{-6}/r^2}}$ | $20 \cdot \log (8.5/w)$ | $\mu_r \approx 200$ (permeability) |

**Example: Steel lattice**

| w (m) | r (m) | dB at 25 kHz | dB at 1 MHz |
|---|---|---|---|
| 0.012 | 0.0010 | 44 | 57 |
| 0.100 | 0.0060 | 37 | 39 |
| 0.200 | 0.0090 | 32 | 33 |
| 0.400 | 0.0125 | 26 | 27 |

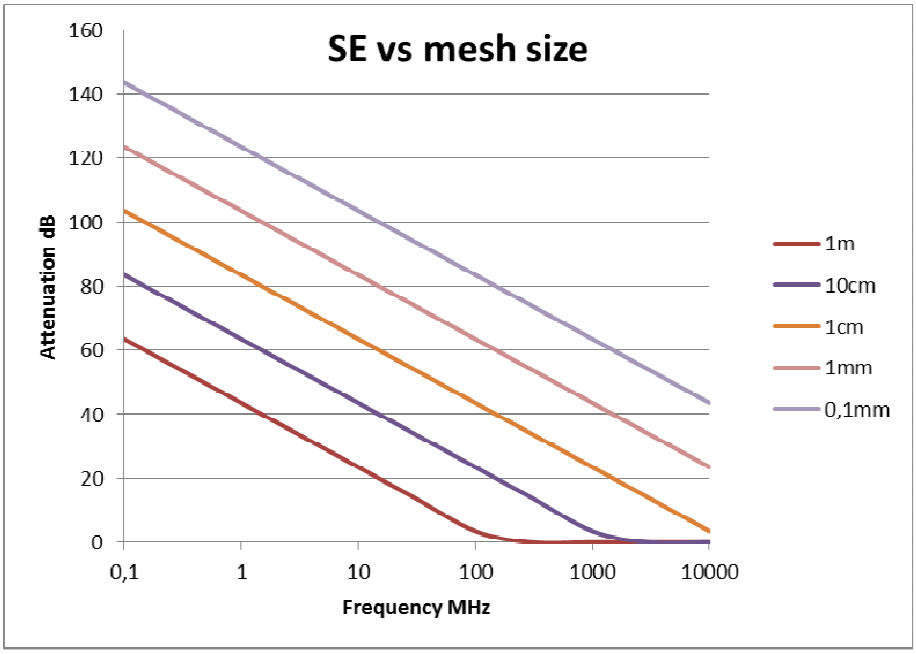
- podľa požadovanej účinnosti tienenia nežiadúcich elektromagnetických hrozieb optimalizovať správnu veľkosť oka tieniacej mriežky podľa tohto vzorového výpočtu:

| Material | Shielding factor SF (dB) | | w = mesh size (m) |
|---|---|---|---|
| | 25 kHz (first short strike) | 1 Mhz (subsequent strike) | (w ≤ 5 m) |
| Copper Aluminium | $20 \cdot \log (8.5/w)$ | $20 \cdot \log (8.5/w)$ | r = rod radius (m) |
| Steel | $20 \cdot \log \frac{(8.5/w)}{\sqrt{1+18 \cdot 10^{-6}/r^2}}$ | $20 \cdot \log (8.5/w)$ | $\mu_r \approx 200$ (permeability) |

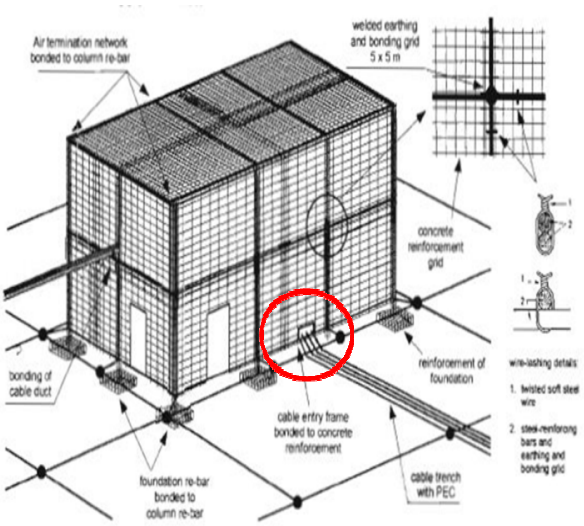
Example: Steel lattice

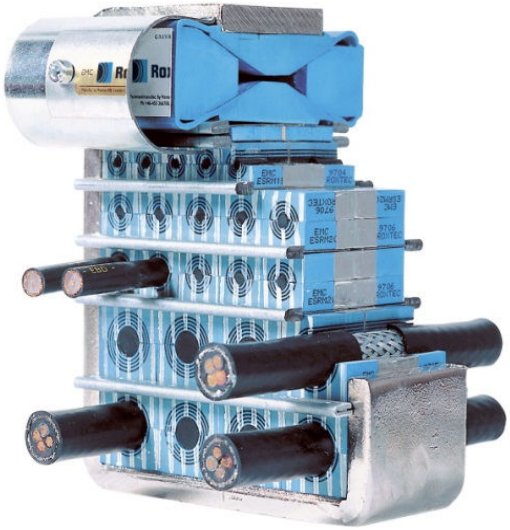
| w (m) | r (m) | dB at 25 kHz | dB at 1 MHz |
|---|---|---|---|
| 0.012 | 0.0010 | 44 | 57 |
| 0.100 | 0.0060 | 37 | 39 |
| 0.200 | 0.0090 | 32 | 33 |
| 0.400 | 0.0125 | 26 | 27 |

- alternatívne je možné voliť veľkosť oka tieniacej mriežky odčítaním z grafu lineárnej funkcie SE = 20 log (c/2gf) pre požadovanú účinnosť tienenia konkrétneho frekvenčného rozsahu:



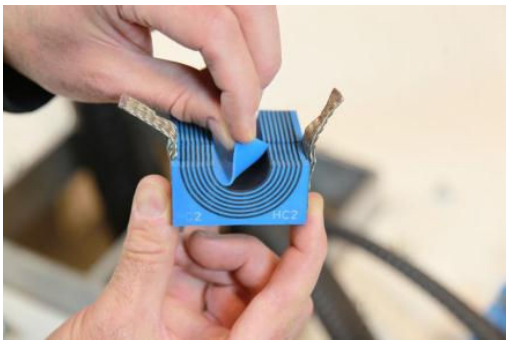
- **žiaden kovový predmet nesmie prenikať cez tieniacu mriežku bez dôkladného vodivého spojenia s ňou !!!** Funguje totiž ako anténa a všetky naindukované ruchy by sa po jeho povrchu dostávali do vnútra chráneného objektu.

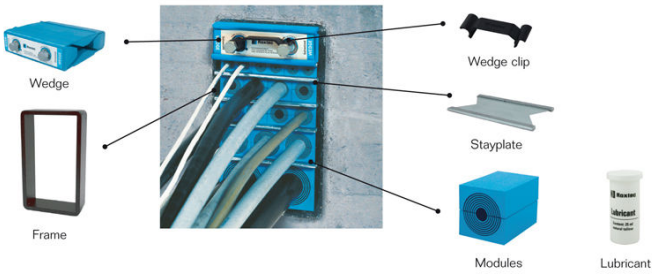


## 9. KÁBLOVÝ PRESTUP AKO KRITICKÉ MIESTO TIENIACEJ MRIEŽKY A RIEŠENIA PRE ZABEZPEČENIE EFEKTÍVNEJ A ÚČINNEJ EMC OCHRANY

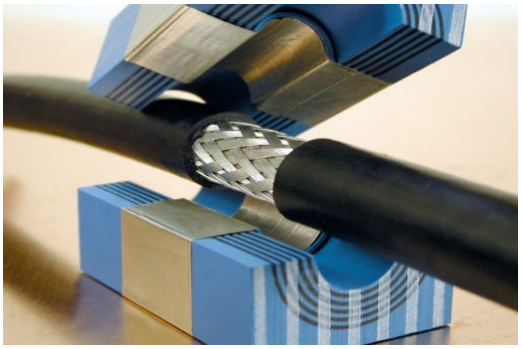
Spoľahlivé spojenie tieniaceho výpletu káblu s tieniacou mriežkou sa dá dosiahnuť tesniacim modulom zo syntetického kaučuku EPDM, ktorý sa dá vďaka odlúpiteľným vrstvám prispôsobiť na príslušný priemer vonkajšej káblovej izolácie aj tieniacemu výpletu.





Podľa požadovaných EMC vlastností sú k dispozícii moduly rôzneho typu, ako napríklad:

**Tesniaci modul typu PE**
určený pre vyrovnanie potenciálu káblových tienení (skratový prúd max. 1 kA/s)



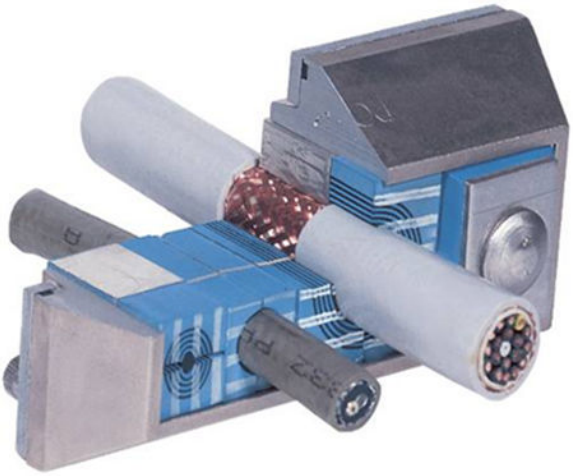
**Tesniaci modul typu ES**
určený pre tienenie voči elektromagnetických interferenciám aj pre vyrovnanie potenciálu

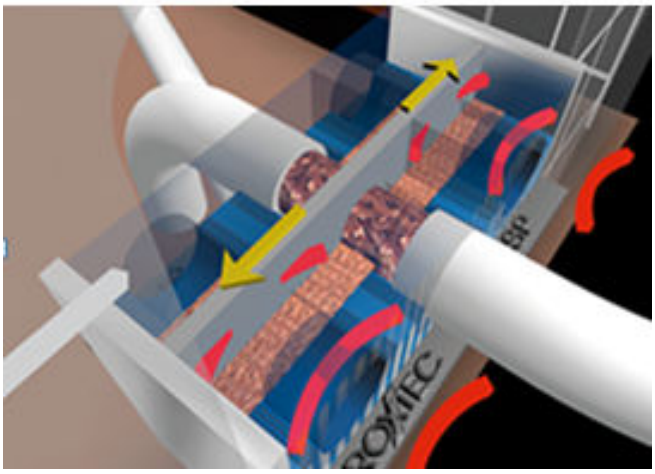
**Modul typu BG** (bonding and grounding) určený pre vyrovnanie potenciálu s odolnosťou aj voči vysokým prúdovým zaťaženiam (blesk, skraty, prepätia a pod.)

**Modul typu BG/B** (bonding and grounding) pre jednoduchšiu a rýchlejšiu montáž ak poznáme exteriérovú stranu prestupu. Obidva typy BG pre prúdové zaťaženie do 200 kA/s

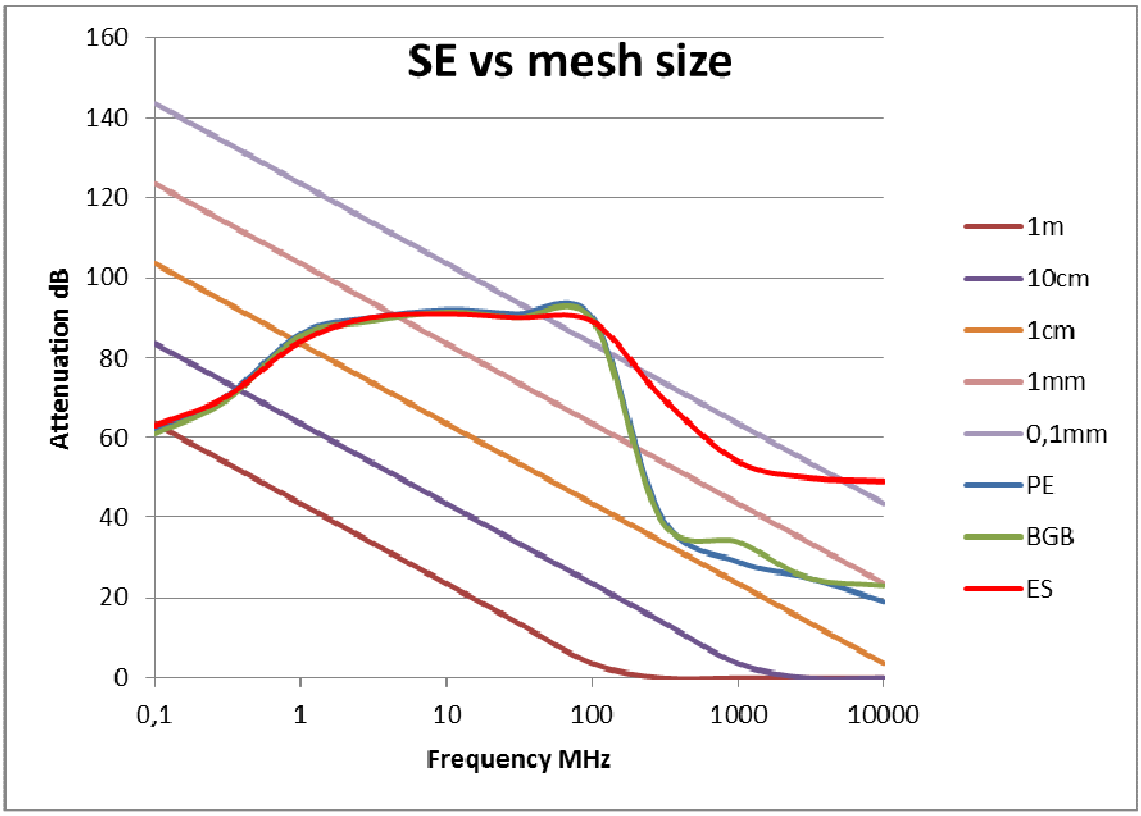
Tesniace rámy sa tieniacou mriežkou vodivo prepoja zemniacou svorkou alebo navarením:

Vďaka spoľahlivému vodivému prepojeniu a vyrovnaniu potenciálu káblov sú všetky nežiadúce interferencie a skratové impulzy zvedené do zeme. Zariadenie je tým chránené a spĺňa parametre EMC.





Účinnosť ochrany tohto systému pre jednotlivé typy modulov **BGB**, **PE** a **ES** sa dá vysledovať z grafu (napr. 60-90 dB pre rozsah 100 kHz – 300 MHz u všetkých 3 typov) :



## 10. REFERENCIE EMC APLIKÁCIÍ NA SLOVENSKU

Rozvádzačové aplikácie na zásobníkoch plynu (EMC + Ex)

Rozvodňa 400 kV SEPS Gabčíkovo

## 11. ZÁVER

Pre spoľahlivú prevádzku a bezpečnosť všetkých strategicky dôležitých objektov je potrebné zabezpečiť u nich dostatočnú ochranu EMC. Dôležité je preto urobiť si analýzu rizík a hrozieb od všetkých elektromagnetických vplyvov, ktoré v danom priestore prichádzajú do úvahy (druhy nežiadúcich interferencií a impulzov, ich intenzita a frekvenčné spektrum, atď...) a na základe výsledkov zvoliť optimálny systém tienenia chráneného zariadenia či objektu. Kriticky dôležité je pri tom:

- zvoliť správnu veľkosť oka tieniacej mriežky (Faradayovej klietky)
- dodržať všetky pravidlá pre účinné uzemnenie a ekvipotenciálne spájanie
- dbať na dôsledné prevedenie detailov pri vytváraní vodivých spojov a zatienení všetkých otvorov chráneného objektu (okná, dvere, vetracie mriežky, ...)
- používať vhodné tienené či armované káble spĺňajúce požiadavky na systémové ochranné a funkčné uzemnenie a pri trasovaní ich správne triediť a separovať

- zabezpečiť dôkladné vodivé spojenie všetkých káblov a iných kovových predmetov s tieniacou mriežkou v mieste prestupu do chráneného priestoru

Nespoliehajte sa na skutočnosť, že doteraz vám nežiadúce elektromagnetické polia či impulzy nespôsobili žiadne problémy. Keď tieto problémy nastanú, zvyčajne je už neskoro. Berte si príklad od renomovaných spoločností, ktoré si urobili kalkuláciu návratnosti investícií do EMC ochrany a napriek neustále rastúcej intenzite aj rôznorodosti prírodných aj umelých, úmyselných aj neúmyselných elektromagnetických hrozieb si tak zabezpečili vysokú bezpečnosť a spoľahlivú prevádzku svojich zariadení a tým aj pokojný spánok.

Pre ďalšie informácie Vám odporúčam pozrieť si **krátke video ukážky** na našej web stránke alebo na YouTube:

https://www.youtube.com/watch?v=UULRe9NzAn4
Roxtec protects against EMI/EMP; 0:49 min
https://www.youtube.com/watch?v=ny99ant-OVE
Roxtec BG Animation Process Industries; 0:34 min
https://www.youtube.com/watch?v=EnK21GiwRf4
Roxtec Company Presentation Movie, 3:33 min

(v **Nastaveniach** ⚙ si môžete zvoliť slovenské **Titulky**)

*Kontaktné údaje:* *Ing. Miroslav Hollý, ROXTEC CZ, s.r.o.,*
*www.roxtec.com/cz/, mholly@roxtec.sk*
*mobil: +421 914 122 214*