



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



ELEKTROTECHNIKA PRO FBI

učební text

Jan Dudek

Ostrava 2012

Recenze: Ing. Jan Vaňuš, Ph.D.
Ing. Aleš Oujezdský, Ph.D.

Název: Elektrotechnika pro FBI
Autor: Jan Dudek
Vydání: první, 2010
Počet stran: 63
Náklad: 20

Studijní materiály pro studijní obor technika požární ochrany, bezpečnost osob a majetku
fakulty bezpečnostního inženýrství
Jazyková korektura: nebyla provedena.

Určeno pro projekt:

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Název: Personalizace výuky prostřednictvím e-learningu

Číslo: CZ.1.07/2.2.00/07.0339

Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava

Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Jan Dudek

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2563-2

OBSAH

1. BEZPEČNOSTNÍ TECHNIKA STROJŮ	7
1.1. Rizika u strojních zařízení	7
1.2. Princip řízení rizika	9
1.3. Požadavky na funkci a přístroje SRP/CS	14
1.4. Nouzové zastavení.....	18
1.5. Ocenění rizika, stanovení požadované úrovně vlastností PL	20
1.6. Volba kategorie SRP/CS, ovlivňující veličiny	24
1.7. Kategorie bezpečnostních částí ovládacího systému.....	27
Další zdroje, použitá literatura	33
CD-ROM	33
Klíč k řešení	33
2. OCHRANA PŘED BLESKEM	35
2.1. Úvod	35
2.2. Definice přepětí, definice blesku, popis chování blesku	37
2.3. Princip řízení rizika	42
2.4. Vnější systém LPS.....	45
2.5. Vnitřní systém LPS	54
2.6. Ochrana elektrických a elektronických systémů ve stavbách	56
Další zdroje, použitá literatura	59
CD-ROM	60
Klíč k řešení	61

POKYNY KE STUDIU

Elektrotechnika pro FBI

Pro předmět Elektrotechnika pro FBI, 3. semestru jste obdrželi studijní balík obsahující

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol
- harmonogram průběhu semestru a rozvrh prezenční části
- rozdělení studentů do skupin k jednotlivým tutorům a kontakty na tutorů
- kontakt na studijní oddělení

Prerekvizity

Pro studium této kapitoly se nepředpokládá absolvování žádného předmětu, pouze účast na přednáškách a porozumění probírané látce v předmětu elektrotechnika. Předpokládají se středoškolské znalosti fyziky zejména pak elektřiny a magnetismu.

Cílem předmětu

je seznámení se základními pojmy bezpečnostní techniky strojů. Po prostudování modulu by měl student být schopen orientace v normativních dokumentech zabývajících se bezpečnostní technikou strojů při budoucím samostudiu pro výkon bezpečnostního technika.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studia oborů technika požární ochrany, bezpečnost osob a majetku studijního programu Fakulty bezpečnostního inženýrství, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity. Zejména je toto skriptum vhodné pro studenty předmětu Základní elektrotechnické předpisy, resp. Předpisy a nařízení v elektrotechnice Fakulty elektrotechniky a informatiky.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden **čas** potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat ...
- definovat ...
- vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



VÝKLAD

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



Shrnutí pojmů 1.1.

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky 1.1.

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úlohy k řešení 1.1.

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v databázové praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.



KLÍČ K ŘEŠENÍ

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek výše jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Úspěšné a příjemné studium s touto učebnicí Vám přeje autor výukového materiálu

Jan Dudek

1. BEZPEČNOSTNÍ TECHNIKA STROJŮ

1.1. Rizika u strojních zařízení



Čas ke studiu: 4 minuty



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- objasnit pojem nebezpečí, riziko, stroj resp. strojní zařízení
- vyjmenovat některá z rizik a zdrojů nebezpečí



Výklad

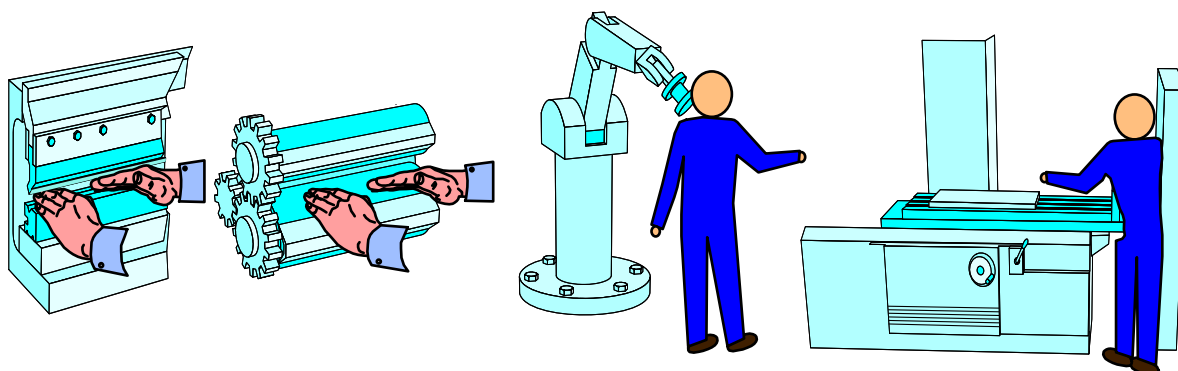
□ Zdroje rizik a nebezpečí, definice termínů

Stroje resp. strojní zařízení jsou zdroji mnoha druhů **nebezpečí**. Nebezpečím rozumíme potenciální zdroj škody (úrazu). Termín nebezpečí může být blíže určen tak, aby byl definován jeho původ (mechanické nebezpečí, elektrické nebezpečí) nebo druh potenciální škody (úraz elektrickým proudem, nebezpečí říznutí, otravy, požáru).

Termínem **škoda** rozumíme zranění nebo poškození zdraví, případně hmotné škody nebo škody na životním prostředí. V tomto textu budeme termínem škoda rozumět především zranění nebo poškození zdraví.

Pojmem **riziko** rozumíme kombinaci pravděpodobnosti vzniku škody a stupně závažnosti škody. Podle zdroje nebezpečí rozeznáváme mechanická rizika (např. na obr. 1.1.), elektrická rizika (např. zkrat, úraz elektrickým proudem), fyzikální a chemická rizika (např. poleptání, popálení).

Strojem resp. strojním zařízením rozumíme sestavu propojených částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna se pohybuje, s příslušnými ovládacími částmi stroje, řídicími a silovými obvody, které jsou vzájemně spojeny pro konkrétní aplikaci, zejména pro zpracování, úpravu, přemísťování a dopravu materiálu.



Obr. 1.1. Příklady mechanických rizik, zleva řezné a tržné rány, zachycení a smáčknutí, náraz a přitlačení



Shrnutí pojmů 1.1.

nebezpečí

škoda

riziko

stroj, strojní zařízení



Otázky 1.1.

1. Objasněte pojmy nebezpečí, škoda, riziko s důrazem na jejich souvislosti (příčiny a důsledky).

1.2. Princip řízení rizika



Čas ke studiu: 15 minut



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- objasnit princip řízení rizika
- vyjmenovat základní funkce a princip bezpečnostních ovládacích systémů stroje



Výklad

□ Zjednodušená podstata řízení rizika

Pojmem riziko se prakticky ve všech případech myslí pravděpodobnost vzniku nebezpečné události a její závažnost (velikost škody). Je to kombinace dvou faktorů. Řízením rizik se rozumí přijímání ochranných opatření a to jak technických tak organizačních k odstranění těchto rizik. Rozeberme si analýzu a řízení rizik na následujícím příkladu.

Příkladem může být například úraz obsluhy horizontální vrtačky zasažením od odletujícího předmětu. Riziko tohoto úrazu je při absenci krytů velmi vysoké, prakticky při každé činnosti s vrtačkou. Je neetické vyčíslit nenávratné poškození zraku v korunách, ale trvalé následky jsou velice vážné. Je tedy jednoznačně nepřijatelné provozovat vrtačku s odstraněnými kryty, osobami bez zkušeností a proškolení.

Přijmeme-li technické opatření ve formě montáže krytu, organizační opatření tj. vrtačku bude obsluhovat pouze osoba s patřičnými zkušenostmi je riziko poškození zraku přijatelné. Jak je patrné, riziko nelze vždy úplně odstranit, bylo by to nákladné nebo nemožné. Hovoříme zde o tzv. **zbytkovém riziku**, jehož velikost je všeobecně přijatelná.

Jak je patrné lze při řízení rizika přijmout různá ochranná opatření. V zásadě existují dvě skupiny těchto opatření:

- opatření realizována uživatelem - **Organizační opatření** - se týkají výběru a odborné elektrotechnické kvalifikace pracovníků provádějících činnost na strojním zařízení.
- opatření realizována konstruktérem - **Technická opatření** - mají vyloučit nebo podstatně snížit riziko úrazu způsobené strojním zařízením, která svým provedením, volbou a umístěním nemusí být vždy naprosto bezpečná.

Koexistence obou těchto opatření může významnou měrou snížit riziko úrazu při provozování strojních (týká se jak elektrických rizik, z nichž je nejvýznamnější riziko úrazu elektrickým proudem, tak i např. mechanických rizik při provozu točivých elektrických strojů).

Opatření realizovaná konstruktérem (opatření zabudovaná v konstrukci, technická opatření) mohou být mechanická opatření jako například pevné kryty, ale i obvody SRP/CS, jak bude rozebráno níže.

Ne všechny kryty jsou pevné, v zařízení mohou být i kryty, u nichž vzniká potřeba jejich otevření (dveře), dále obvody nouzového zastavení, blokování pohonů, dvouruční ovládání, kontrola ventilů a doběhů u hydraulických částí. Tyto obvody musí být spojeny s vyhodnocovací logikou stroje, která při detekci nebezpečného stavu stroj zastaví, případně neumožní jeho spuštění. Tyto obvody (dříve nazývány bezpečnostními logickými obvody) se nazývají SRP/CS (safety related parts of control systems – bezpečnostní části ovládacích systémů stroje).

Posouzení rizik stroje dle ČSN EN 1050: 2001

Strana 2 z 2

Stroj: **Horizontální vrtačka**Typové označení: **AAAAA**Výrobce: **Novák, spol. s r. o.**

Existenční fáze	Ruční provoz bez krytů	
Nebezpečí číslo	1.8	Popis Mechanické riziko vymrštění části
Nebezpečný prostor	Prostor v blízkosti rotujícího vřetena	
Popis nebezpečí	V uvedeném prostoru hrozí úraz při uvolnění řezného plátku frézy, nebo části nástroje nebo od odletujících špon.	

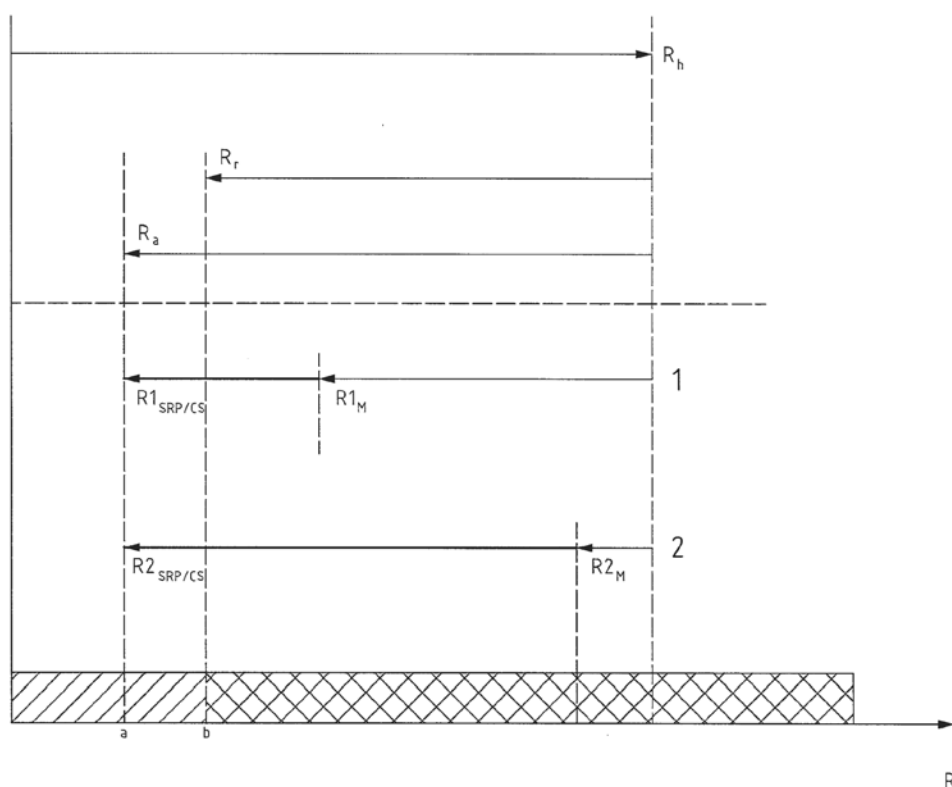
Riziko před opatřením		
6	Závažnost možného poškození zdraví:	Středně těžké
	Doba pobytu v nebezpečném prostoru:	Často
	Možnost vyvarování se rizikové situace:	Sotva možné
	Pravděpodobnost vzniku rizikové situace:	Velká
Opatření:	POM	Projektové omezení mechanických rizik
Pracovní prostor stroje byl doplněn o blokováný kryt obsluhy s vyhodnocením bezpečnosti v kategorii 3. Obsluha tento kryt může otevřít jen za klidu stroje, stroj nelze při otevřeném krytu spustit do otáček. Okolí stroje je částečně chráněno vymezením pracovního prostoru stroje obvodovým ohrazením		
Riziko po opatření		
1	Závažnost možného poškození zdraví:	Lehké
	Doba pobytu v nebezpečném prostoru:	Občas
	Možnost vyvarování se rizikové situace:	Za určitých podmínek možné
	Pravděpodobnost vzniku rizikové situace:	Střední
Zbýlé riziko	Ne ☐ uvedeno v návodu k používání ☐ užití ochranných pomůcek ☐ poučení obsluhy	
Závěr	Vyhovuje	

Zpracoval
Podpis

Ing. L. Chadima

dne

Obr. 1.2. Příklad karty posouzení rizika (podle dnes již neplatné EN 1050)



Legenda

R_h	pro specifickou nebezpečnou situaci, riziko před použitím ochranných opatření
R_r	požadované snížení rizika ochrannými opatřeními
R_a	skutečné snížení rizika dosažené ochrannými opatřeními
1	řešení 1 – důležitá část snížení rizika dosažená jinými ochrannými opatřeními než jsou SRP/CS (např. mechanická opatření), malá část snížení rizika vlivem SRP/CS
2	řešení 2 – důležitá část snížení rizika vlivem SRP/CS (např. světelnou clonou), malá část snížení rizika vlivem jiných ochranných opatření než jsou SRP/CS (např. mechanická opatření)
3	dostatečné snížení rizika
4	nedostatečné snížení rizika
R	riziko
a	zbytkové riziko získané řešeními 1 a 2
b	dostatečně snížené riziko
$R_{1SRP/CS}$, $R_{2SRP/CS}$	snížení rizika dosažené bezpečnostní funkcí pomocí SRP/CS
R_{1M} , R_{2M}	snížení rizika dosažené jinými ochrannými opatřeními než jsou SRP/CS (např. mechanická opatření)

POZNÁMKA Další informace o snížení rizika viz ISO 12100.

Obr. 1.3. Přehled procesu snížení rizika pro každou nebezpečnou situaci

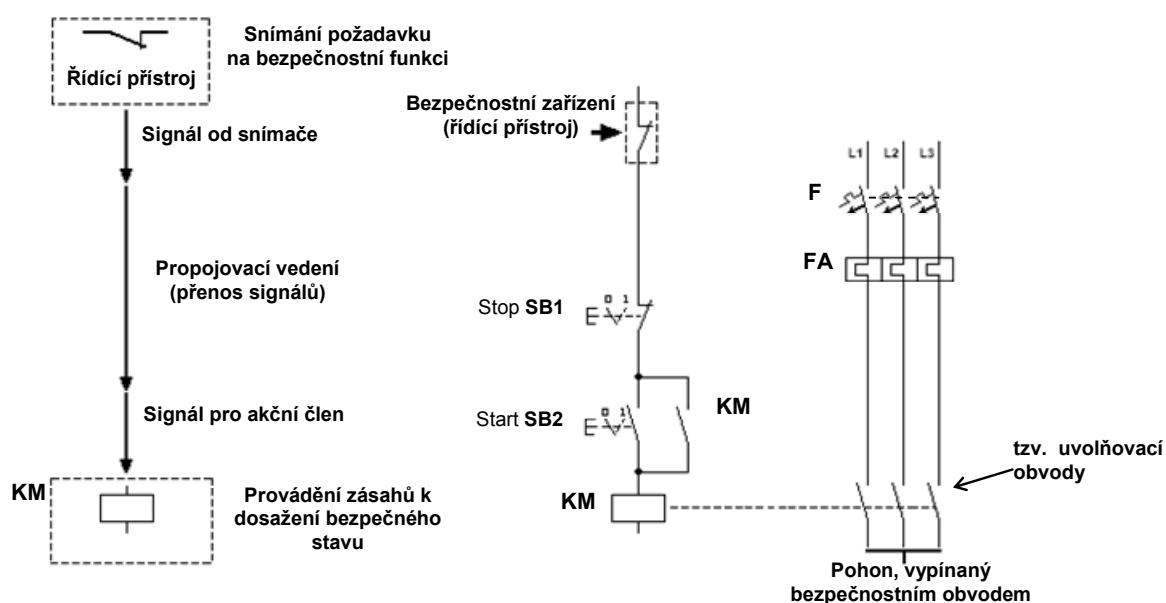
□ Funkce SRP/CS

Termínem SRP/CS (safety related parts of control systems) „bezpečnostní části ovládacích systémů“ (dříve bezpečnostní logické obvody - BLO) jsou označovány obvody řídicího systému, určené k zajišťování bezpečnostních funkcí. Hlavním smyslem jejich použití v řídicím systému stroje je dosažení vyšší (zvýšené) úrovně ochrany proti možnému ohrožení osob, zařízení, nebo výrobního procesu.

Mezi bezpečnostní funkce strojů patří např. tyto funkce:

- nouzové vypnutí (NV),
- nouzové zastavení (NZ) (kategorie 0, 1),
- blokování pohonů nebezpečných pohybů v závislosti na:
 - poloze ochranných krytů (s jištěním nebo bez jištění),
 - signálech od optoelektronických bezpečnostních ochranných zařízení,
- kontrola dvouručního ovládacího zařízení,
- kontrolu ventilů a doběhu u hydraulických a mechanických lisů apod.

Základní struktura SRP/CS je zjednodušeně znázorněna na obr. 1.4., včetně příkladu zapojení. Řídicí přístroj (např. tlačítko, lankový spínač, mechanický polohový vypínač, optoelektronické bezpečnostní ochranné zařízení apod.) snímá požadavek na bezpečnostní funkci a při jeho vzniku, vyvolá přestavení kontaktů přístroje - vstupní signál pro vykonání bezpečnostní funkce.



Obr. 1.4. Struktura jednoduchého SRP/CS a příklad jeho elektrického zapojení; kategorie B, (1)

Signál od řídicího přístroje je přes propojovací vedení přenesen na akční člen (např. relé, stykač, elektromagneticky ovládaný ventil apod.), který provádí zásah, vedoucí k dosažení bezpečného stavu zařízení.



Shrnutí pojmů 1.2.

SRP/CS

opatření realizována uživatelem/ konstruktérem (technická/ organizační opatření)

zbytkové riziko



Otázky 1.2.

2. Co dělat, jestliže po aplikaci technického (a organizačního) opatření je výsledné riziko pořád nepřijatelné?
3. Co to je pojem zbytkové riziko. Proč se vůbec zbytkové riziko při řízení rizik připouští?

1.3. Požadavky na funkci a přístroje SRP/CS



Čas ke studiu: 15 minut



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- objasnit princip redundance a různosti SRP/CS
- popsat základní požadavky na přístroje SRP/CS
- rozlišit a pochopit pojem nucené vedení kontaktů a nucené rozpínání kontaktů



Výklad

□ Princip redundance a různosti pro zvýšení odolnosti

Základní struktura jednoduchého SRP/CS je na obr. 1.4. U schématu na obr. 1.4. je zřejmé, že v bezpečnostní technice obvykle uvažované závady, např. přemostění kontaktu řídicího přístroje (zkratem v propojovacím vedení), svaření kontaktů nebo mechanické selhání akčního členu, mají za následek ztrátu bezpečnostní funkce obvodu, to znamená, že při požadavku na bezpečnostní funkci nemůže být zařízení v důsledku závady uvedeno do bezpečného stavu.

Zvýšení odolnosti SRP/CS vůči závadám je možné například použitím speciální vyhodnocovací jednotky, tzv. bezpečnostního modulu, který je zapojen mezi řídicí přístroj a akční člen. Bezpečnostní modul reaguje na vstupní signál od řídicího přístroje, vyvolává výstupní signál pro akční člen, detekuje a vyhodnocuje závady v SRP/CS a kontroluje sám sebe, buď spojitě (průběžně) nebo nespojitě (při periodicky prováděném testu).

Ke splnění méně náročných požadavků postačuje SRP/CS s jedním kanálem (jeden řídicí přístroj, jeden vstupní signál, jeden bezpečnostní modul, jeden akční člen).

Splnění více náročných požadavků vyžaduje použití principů redundance a různosti. Termín „redundance“, v doslovném překladu „nadbytečnost“, je nutné chápat, jako použití více než jednoho prvku (obvykle dvou) pro zajištění jedné funkce a jedná se vlastně o stoprocentní zálohování. To v praxi znamená např. použití dvou snímačů polohy, dvou vyhodnocovacích obvodů a případně i dvou akčních členů (stykačů).

Princip různosti spočívá v použití dvou kanálů, každý pracující na jiném principu (např. hydraulický a elektrický). Výhoda spočívá v tom, že některé chyby se nemusejí při využití kanálu s jiným principem přenosu/zpracování informací projevit.

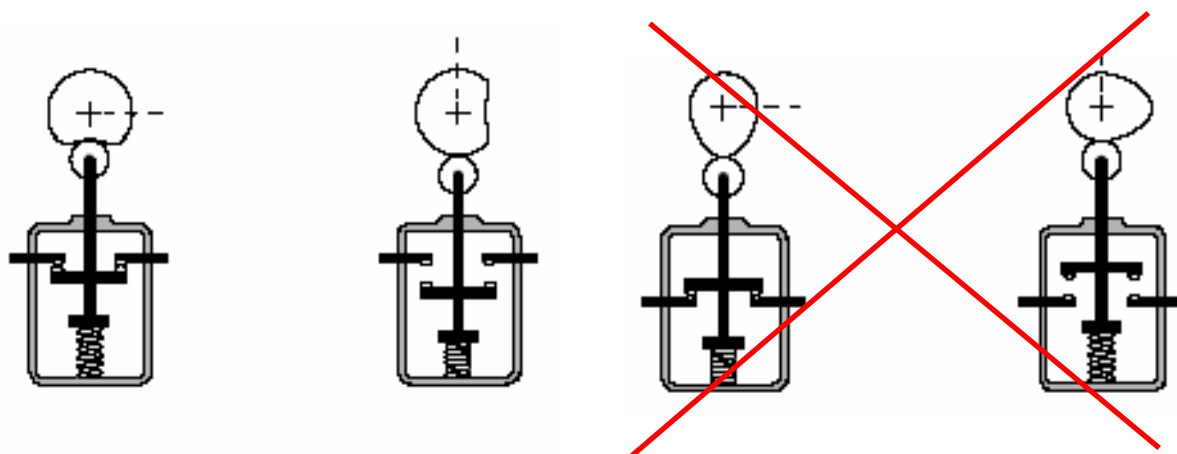
Při návrhu SRP/CS je nutno velmi dobře uvážit, zda je nezbytně nutná úplná redundance (zdvojení) všech částí obvodu, neboť by to vedlo k neúměrnému zvýšení nákladů na realizaci zařízení, což určitě není smyslem příslušných bezpečnostních předpisů a norem.

Za bezpečnostní část řídicího systému lze považovat jak kterýkoliv přístroj, zapojený v SRP/CS, tak SRP/CS jako celek. Výsledná bezpečnostní úroveň celého obvodu je dána vlastnostmi části, která je nejméně odolná proti závadám. Jsou-li tedy v SRP/CS zapojeny dvě bezpečnostní části, přičemž jedna z nich splňuje vyšší požadavky, druhá jen požadavky nižší, vyhoví takový obvod jako celek pouze nižším požadavkům.

□ Požadavky na mechanické ovládací přístroje

U mechanicky ovládaných řídicích přístrojů s kontaktním výstupem pro SRP/CS je požadována pozitivní vypínací funkce kontaktů, jinak také označovaná jako **nucené rozpínání**. Při nuceném rozpínání dochází k oddělení kontaktů v přímém důsledku stanoveného pohybu ovládače, který je na kontakty přenášen pevnými součástmi a nesmí záviset na pružinách.

Přístroje s nuceným rozpínáním kontaktů označují značkou:

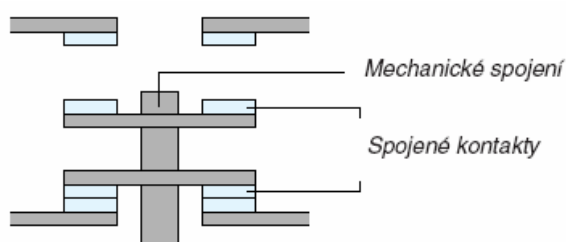


Obr. 1.5. Nucené rozpínání kontaktů – pozitivní vypínací funkce

Nucené rozpínání kontaktů je nutné jako prostředek proti např. dynamickému svaření kontaktů. Lze se oprávněně domnívat, že přímým zapůsobením síly (nezávislé na směru pružiny) lze kontakty od sebe odtrhnout. Rozpínací funkce pro bezpečnostní obvody je důležitá proto, aby při náhodném přerušení přívodního vodiče nedošlo ke ztrátě bezpečnostní funkce (u rozpínacího kontaktu se stroj zastaví, zatímco u spínacího kontaktu stroj nebude možno zastavit a bude dál pracovat).

□ Požadavky na bezpečnostní relé a stykače

Termín nucené rozpínání kontaktů“ nesmí být zaměňován s termínem „**nucené vedení kontaktů**“. U spínacích přístrojů s nuceným vedením kontaktů (mechanickým spojením kontaktů) je speciální mechanickou konstrukcí zaručeno, že po celou dobu životnosti přístroje a za žádných okolností (tedy ani při závadě přístroje) nedojde k současnému spojení pracovních a klidových kontaktů. Toto je nutné například u stykačů, které mají v pomocných kontaktech zabudovány zpětnovazební okruhy (tj. obvody, které informují o stavu stykače – zapnut, vypnut).



Obr. 1.6. Nucené vedení kontaktů u stykače

Bezpečnostní relé, popř. stykače - spínače s nuceným vedením kontaktů, nemají přepínací kontakty a zásadně se u nich používají samostatné kontaktní páry pro pracovní i klidové kontakty, přičemž jednotlivé kontaktní páry jsou umístěny v oddělených komorách relé. Tím je dosaženo kvalitního izolačního oddělení jednotlivých párů kontaktů, na které je pak možné připojovat různá napětí.

SRP/CS určené ke splnění požadavků vyšších kategorií dle normy, vyžadují zpětnou vazbu mezi akčním členem SRP/CS a bezpečnostním modulem. V případě, že je akčním členem stykač, musí mít i tento přístroj nucené vedení kontaktů a do zpětnovazebního obvodu se zapojuje jeho klidový kontakt. Pokud by byl použit „obyčejný“ stykač, bez nuceného vedení kontaktů, ztrácí použití bezpečnostního modulu smysl

□ Bezpečnostní moduly

Bezpečnostní moduly jsou logické jednotky určené pro použití v SRP/CS a slouží k zajišťování konkrétních bezpečnostních funkcí. Podle provedení mohou být v provedení:

- elektromechanickém (kontaktní -reléové, stykačové);
- elektronickém (obsahují procesorové systémy a bezkontaktní výstupy);
- sdruženém (obsahují bezkontaktní řídicí systém a kontaktní výstupy)ů
- integrovaném v programovatelných řídicích systémech (PLC).

Jakákoliv závada uvnitř samotného bezpečnostního modulu musí být detekována automatickou kontrolou a zásadně nesmí být příčinou ztráty bezpečnostní funkce obvodu. To znamená, že např. v případě bezpečnostního modulu, který je určen pro zajišťování bezpečnostní funkce nouzového zastavení, musí tedy závada uvnitř modulu buď vyvolat funkci nouzového zastavení, popřípadě, pokud vzniklá závada nebrání aktivaci bezpečnostní funkce řídicím přístrojem, musí být detekována při periodickém testu funkce bezpečnostního obvodu, přičemž až do doby odstranění závady musí být znemožněno nové uvedení strojního zařízení do provozu.

Elektromechanické provedení bezpečnostního modulu obsahuje několik speciálních relé s tzv. nuceným vedením kontaktů, vzájemně propojených osvědčeným způsobem, který využívá principů redundance a různosti.

□ Další prvky SRP/CS

Dále existuje velmi rozsáhlý sortiment přístrojů pro aplikace v BLO řídicích systémech. Od řídicích přístrojů, tj. ručně ovládaných tlačítkových, popřípadě lankových spínačů pro nouzové vypnutí (zastavení), polohových spínačů pro kontrolu mezních poloh nebo polohy ochranných krytů (s jištěním a bez jištění) a aktivních optoelektronických bezpečnostních ochranných zařízení pro ochranu prstů nebo rukou obsluhy, popřípadě pro ochranu přístupu do nebezpečných prostorů, přes akční členy, tj. zejména stykače s nuceným vedením kontaktů, až po vyhodnocovací jednotky (bezpečnostní moduly nebo také bezpečnostní kombinace) pro nejrůznější bezpečnostní funkce.

Bezpečnostní moduly lze použít také v kombinaci s programovatelnými automaty (PLC), konstruovanými, ověřenými a certifikovanými pro použití v BLO. PLC těchto typů mohou zajišťovat všechny funkce stroje, včetně bezpečnostních. Při posuzování shody, před uvedením stroje nebo strojního zařízení do provozu, musí být použity postupy, vyžadující povinnou účast autorizované osoby. Standardní PLC nejsou z hlediska bezpečnostní techniky, považovány za vyhovující a vhodné pro použití v bezpečnostních úlohách.



Shrnutí pojmů 1.3.

nucené vedení kontaktů, pozitivní vypínací funkce (nucené rozpínání)

bezpečnostní modul

princip redundance, princip různosti



Otázky 1.3.

4. Proč se v SRP/CS využívají obvody využívající více kanálů (princip redundance)?
5. Proč musí být spínače v SRP/CS s pozitivní vypínací funkcí? Proč jsou rozpínací?

1.4. Nouzové zastavení



Čas ke studiu: 10 minut



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vyjmenovat druhy zastavení strojního zařízení
- popsat další požadavky na funkci nouzového zastavení



Výklad

□ Druhy zastavení strojního zařízení

Funkce zastavení (STOP) jsou u strojů rozděleny do tří kategorií (ČSN EN 60204-1 ed.2):

Kategorie 0 - neřízené zastavení - nouzové vypnutí - tj. zastavení pohybu stroje vypnutím přívodu energie do pohonů stroje, přičemž jsou v činnosti brzdy a mechanické přístroje určené k zastavení.

Kategorie 1 - řízené zastavení - bezpečnostním vypnutím, tj. zastavení pohybu stroje jakmile řídicí systém přijme povel k zastavení, přičemž výkonové části stroje zůstanou během procesu zastavování pod napětím. Poté je přívod energie k akčnímu členu zastaven.

Kategorie 2 - řízené zastavení, při kterém akční členy řídicího systému zůstávají pod napětím.

Nouzové zastavení nebo nouzové vypnutí stroje je jednou z nejčastějších funkcí SRP/CS. Rozdíl mezi nouzovým zastavením kategorie 1 a nouzovým vypnutím kategorie 0 spočívá v tom, že při nouzovém vypnutí jsou okamžitě vypnuty všechny přívody elektrické energie, zatímco při nouzovém zastavení kategorie 1 jsou během zastavování akční členy (motory, měniče) pod napětím.

Nouzové vypnutí (NV) – kategorie 0

Nouzové vypnutí má být zajištěno tam, kde:

- ochrany před nebezpečným dotykem živých částí se dosahuje pouze umístěním mimo dosah nebo zábranami (např. s vodiči, přípojnými apod.), nebo
- existuje možnost jiných nebezpečí nebo poškození způsobených elektřinou.

Nouzové zastavení (NZ)

Nouzové zastavení musí **fungovat buď jako zastavení kategorie 0 nebo jako zastavení kategorie 1.**

Výběr kategorie nouzového zastavení závisí na výsledcích hodnocení rizika stroje.

□ Další požadavky na SRP/CS funkce nouzového zastavení

Kromě požadavků na zastavení, jsou na funkci nouzového zastavení kladeny následující požadavky:

- Musí být nadřazena všem ostatním funkcím a činnostem ve všech režimech.
- Napájení ovládacích částí stroje, které mohou způsobit **nebezpečný stav** (nebezpečné stavy), musí být buď okamžitě přerušeno (**zastavení kategorie 0**), nebo musí být řízeno tak, aby byl nebezpečný pohyb zastaven co nejrychleji (**zastavení kategorie 1**), aniž by vznikla jiná nebezpečí.

- Reset (návrat do výchozího stavu), nesmí vyvolat opětné spuštění.
- Jakmile se ovládací prvek funkce NZ nebo NV přestane ovládat, musí být působení tohoto povelu zachováno (aretace), dokud nedojde k ručnímu resetování (výchozí stav).
- Obnovení povelu nesmí znovu spustit strojní zařízení, ale pouze umožnit nové spuštění.
- Nesmí být možné znovu připojit, popř. spustit strojní zařízení, dokud nejsou znovu nastaveny všechny povely k NV, popř. k NZ.
- Tlačítko nouzového vypnutí je-li použito musí být červené, s hříbkem musí mít funkci aretace (tj. po stisknutí zůstane v sepnuté poloze) musí být rozpínací s pozitivní vypínací funkcí a je-li to možno musí být na žlutém reflexním podkladu.

POZNÁMKA: NZ a NV jsou u stroje doplňující ochranná opatření, která nejsou primárními prostředky omezení rizika proti nebezpečím (např. zachycení, zapletení se, úraz elektrickým proudem nebo popálení).



Shrnutí pojmů 1.4.

Nouzové zastavení kategorie 1

Nouzové zastavení kategorie 0



Otázky 1.4.

6. Kdy je vhodnější u strojního zařízení (stroje) použít nouzové zastavení kategorie 1 a proč? Vyjmenujte praktický příklad.

1.5. Ocenění rizika, stanovení požadované úrovně vlastností PL



Čas ke studiu: 25 minut



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat postup při identifikaci mezních hodnot stroje a zdrojů nebezpečí
- objasnit význam parametru úrovně vlastností - PL
- umět zjednodušeně převést rizika strojních zařízení na požadovanou úroveň vlastností



Výklad

□ Identifikace mezních hodnot stroje a zdrojů nebezpečí

Posouzení rizika začíná tzv. určením mezních hodnot strojního zařízení s přihlédnutím ke všem fázím životnosti strojního zařízení. Musí se brát v potaz jednak užívání stroje - provozní režimy stroje, užívání stroje (charakter obsluhy, pohlaví, fyzické schopnosti, informace), prostor ve kterém je stroj užíván, životnost zařízení, předpoklady na údržbu.

Důležitým požadavkem je kromě výše zmíněných i předpokládané použití a předvídatelné nesprávné použití. V případě rutinních prací je nutno předvídat, že obsluha (z neznalosti nebo snahy zrychlit a zjednodušit proces) bude mít tendenci obcházet ochranná opatření a správné pracovní postupy (nezavírat blokovací kryty, spouštět zařízení pro dvouruční ovládání jednou rukou, vyřadit části SRP/CS z provozu).

Příklad identifikace nebezpečí:

Dále je jako příklad popsáno použití odhadu rizika (podle EN ISO 14121-1,-2 resp. EN ISO 12100 -1) a následné stanovení kategorie požadavků podle ČSN EN ISO 13849-1 při návrhu některých elektrických řídicích obvodů obráběcího stroje s řízením CNC, který je určen pro rotační obrábění kovů za studena a umožňuje činnost v obráběcím nebo seřizovacím režimu, přičemž vkládání, upínání a vyjímání obrobků jsou ruční.

V automatickém pracovním cyklu (při obráběcím režimu) je ručně vložen a upnut obrobek, potom je spuštěn automatický naprogramovaný navazující cyklus obrábění a po jeho skončení je obrobek opět ručně vyjmut. Při navoleném seřizovacím režimu může obsluha provádět seřízení (např. programování, zkoušení a ručně řízenou nenavazující činnost) pro následný proces obrábění. Běžná obsluha popsaného obráběcího stroje je velmi jednotvárnou a monotónní činností, a jestliže by nebyla přijata žádná bezpečnostní ochranná opatření ke snížení rizika, bylo by velmi pravděpodobné, že dříve či později dojde k úrazu, např. vlivem nepozornosti, únavy apod. (statisticky je prokázáno, že na asi tisíc správných úkonů připadá jeden úkon chybný).

Zdrojem největšího rizika jsou pohyblivé části stroje, které se přímo zúčastňují pracovního procesu, a na ochranu obsluhy před převážně mechanickými nebezpečími, jejichž příčinou jsou nebezpečné pohyby, musí být použita vhodná bezpečnostní ochranná opatření, přednostně technického charakteru, tj. bezpečnostní ochranná zařízení. Proto je nutné na stroji přesně vymezit všechny prostory v blízkosti pohyblivých částí, tzv. nebezpečné prostory, a v nich identifikovat všechna jednotlivá nebezpečí.

Pro dosažení větší srozumitelnosti je dále jako jediný nebezpečný prostor uvažován hlavní pracovní prostor stroje, ve kterém se nacházejí např.:

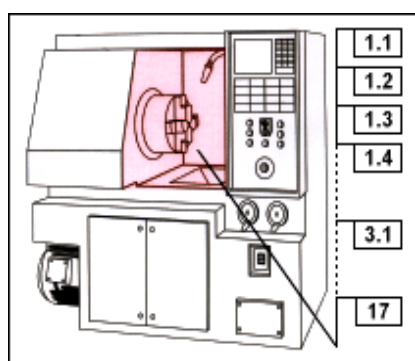
- otáčející se obrobkové vřeteno s upínacím zařízením,

- nástroje pohybující se v několika osách,
- revolverová nástrojová hlava atd.

V tomto nebezpečném prostoru je možné identifikovat množství jednotlivých nebezpečí, jejichž příčinou jsou pohyblivé části stroje tak, jak je uvedeno na obr. 1.7.

V pracovním prostoru stroje lze identifikovat i další nebezpečí, která sice nejsou způsobována pohyblivými částmi, je však nutné je uvažovat při volbě bezpečnostních ochranných zařízení. Příčinou těchto nebezpečí jsou např. třísky (nebezpečí říznutí, píchnutí, popálení), chladicí kapalina (nebezpečí vznikající stykem se škodlivými kapalinami nebo vdechováním mlh, par a plynů, biologické a mikrobiologické nebezpečí, jestliže nastane rozklad kapaliny), emitovaný hluk (nebezpečí poškození sluchu) atd. výčet opět není úplný.

Vymezení nebezpečných prostorů a identifikování dílčích nebezpečí v těchto prostorech je nutné dokumentovat. Jeden z nejjednodušších způsobů, jak splnit tento požadavek, je znázorněn na obr. 1.7.



- 1.1 **nebezpečí stlačení (rozdrcení)** prstů, části ruky, mezi pevnou a pohyblivou částí stroje
 1.2 **nebezpečí stříhu (ustřížení)** prstů, části ruky, mezi pevnou a pohyblivou částí stroje
 1.3 **nebezpečí říznutí (uříznutí)** prstů, části ruky, v průběhu pohybu nástroje (ale také o třísky)
 1.4 **nebezpečí navinutí** volných částí oděvu, vlasů na rotující části stroje ...
 3.1 **nebezpečí popálení** prstů, ruky, obličeje o horké nástroje, třísky nebo obrobek ...
 17 **nebezpečí způsobené vymrštěním předmětů, částí zlomených nástrojů nebo roztrženého obrobku**

Obr. 1.7. Identifikace nebezpečí u strojního zařízení

□ Definice úrovně vlastností PL

Je zřejmé, že čím vyšší budou rizika od jednotlivých částí vyšší, tím vyšší budou nároky na opatření realizovaná SRP/CS. Spolehlivost SRP/CS systémů (nároky na opatření) lze vyjádřit pomocí úrovně vlastností PL (performance level).

Úroveň vlastností PL představuje diskretní úroveň kurčení schopností bezpečnostních částí ovládacích systémů k vykonávání bezpečnostní funkce. Tyto úrovně jsou v normě (ČSN EN ISO 13849-1) definovány ve formě pravděpodobnosti nebezpečné poruchy za hodinu.

PL	Průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu [1/h]
a	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6} < 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6} < 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7} < 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8} < 10^{-7}$

Tab. 1.1. Úrovně vlastností PL

Požadované úrovně vlastností PL_r představuje úroveň, při které bylo dosaženo pro každou bezpečnostní funkci požadovaného snížení rizika.

Pro každou zvolenou bezpečnostní funkci, která je vykonávána bezpečnostními částmi ovládacího řídicího systému musí být tedy určena a zadokumentována PL_r .

Určení PL_r je výsledkem posouzení rizika a týká se rozsahu snížení rizika, které má být dosaženo bezpečnostními částmi řídicího systému.

Odhad rizikovosti strojních zařízení lze provádět např. dle ČSN EN ISO 14121 i pomocí grafické tabulky s následným bodovým ohodnocením (0 až 10 bodů) úrovně rizikovosti dle 4 kvalitativních parametrů (závažnost poranění **S**, doba pobytu **F**, možnost vyvarování a pravděpodobnost výskytu **P**).

□ Převod rizika do požadované úrovně vlastností PL_r

V případě ocenění požadované úrovně vlastností PL se může postupovat podle zjednodušeného stromu, který je znázorněn na obr. 1.8. Vstupují do něj následující parametry:

S – závažnost možného zranění:

S1 – lehká zranění s přechodnými následky (odřenin, pohmožděniny, řezné rány bez komplikací);

S2 – těžké úrazy a zranění s trvalými následky (komplikace, amputace, smrt);

F – četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí:

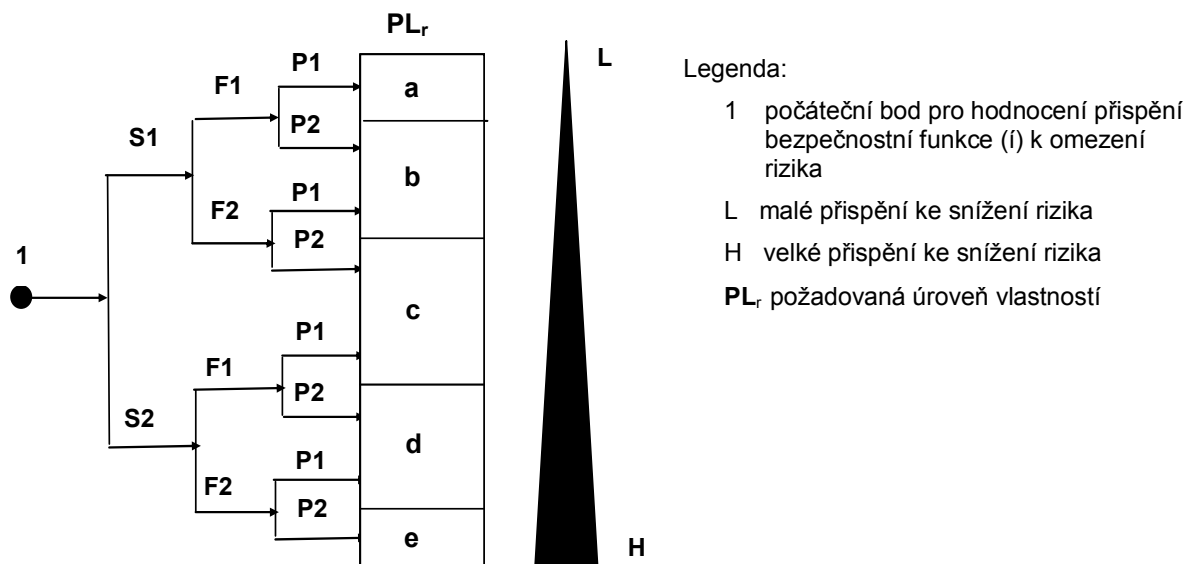
F1 - vystavení čas od času;

F2 - často nebo nepřetržitě (pravidelné činnosti);

P – možnost vyloučení nebezpečí:

P1 – existuje reálná možnost vyloučení úrazu nebo snížení jeho účinků (identifikace a následná signalizace rizika);

P2 - neexistuje žádná možnost vyloučení nebezpečí.



Obr. 1.8. Graf rizika pro určení požadované úrovně vlastností PL_r pro bezpečnostní funkci

Je zřejmé, že čím větší je požadovaný rozsah snížení rizika bezpečnostními částmi ovládacího systému, tím vyšší musí být PL_r .

V našem příkladu uvažovaného obráběcího stroje se předpokládá jako ochranné opatření montáž dveří s blokovacím zařízením, které nedovolí spuštění stroje jestliže jsou dveře otevřeny. Pokud obsluha při činnosti stroje otevře dveře, bude vydán povel k zastavení stroje. Zjednodušeným odhadem podle grafu na obrázku 1.8. lze určit požadovanou úroveň vlastností PL_r SRP/CS. Pro tento odhad je zapotřebí kvantifikovat parametry S, F a P.

Závažnost možného zranění při vniknutí do nebezpečného prostoru lze hodnotit jako S2 (hrozí zde amputace prstů, nebo ruky obsluhy).

Protože obsluha vniká do nebezpečného prostoru často (za účelem výměny obrobku), je četnost/ doba vystavení nebezpečí častá (parametr F2).

Klasifikovat možnost vyhnout se nebezpečí vyžaduje značné zkušenosti z praxe. Vzhledem k rizikům vymrštění části obrobku lze volit parametr P2.

Zjednodušený graf ukazuje, že SRP/CS musí mít požadovanou úroveň vlastností e.



Shrnutí pojmů 1.5.

Performance level (PL) – úroveň vlastností



Otázky 1.5.

7. Pro požadované úrovně vlastností $PL = e$ se požaduje průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy 10^{-8} - 10^{-7} za hodinu. Zkuste objasnit co to znamená, jak to lze jinak interpretovat.

1.6. Volba kategorie SRP/CS, ovlivňující veličiny



Čas ke studiu: 15 minut



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- objasnit pojem střední doba do nebezpečné poruchy - $MTTF_d$
- objasnit pojem diagnostické pokrytí - DC
- z hodnot $MTTF_d$ a DC pro požadovanou úroveň PL zvolit kategorii SRP/CS



Výklad

□ Střední doba do nebezpečné poruchy každého kanálu $MTTF_d$

Po určení kategorie požadované úrovně vlastností (což znamená jak často dojde k výskytu nebezpečné poruchy) se volí kategorie bezpečnostních ovládacích částí řídicího systému (SRP/CS). Tato kategorie bezpečnostní ovládací části řídicího systému (SRP/CS) souvisí s vlastní konstrukcí ovládacích částí (hlavně s redundancí jednotlivých kanálů a schopností detekovat závady příp. být imunní vůči těmto závadám).

Je zřejmé, že volba komponent může významnou měrou ovlivnit výskyt nebezpečné poruchy (a tedy i úroveň vlastností). Kvalitní komponenty, které jsou montovány podle osvědčených postupů a bezpečnostních zásad a jsou například předimenzovány mohou v praxi vykazovat vyšší spolehlivost i při využití jen jednoho kanálu než nekvalitní komponenty u nichž je v některých částech provedeno zdvojení (princip redundance).

Míru kvality jednotlivých komponent a celého kanálu vyjadřuje střední doba do nebezpečné poruchy $MTTF_d$. Vyšší hodnota u celého kanálu než 100 let se neuvažuje, protože bezpečnost závisí i na jiných aspektech, stejně jako nemá smysl projektovat stroj se střední dobou do nebezpečné poruchy kratší než 3 roky, protože to by v praxi znamenalo, za rok by 33 procent všech systémů selhalo.

$MTTF_d$	
Označení doby	Rozsah doby
Krátká	3 roky $\leq MTTF_d < 10$ roků
Střední	10 roků $\leq MTTF_d < 30$ roků
Dlouhá	30 roků $\leq MTTF_d < 100$ roků

Tab. 1.2. Střední doba do nebezpečné poruchy kanálu

Určení hodnot $MTTF_d$ jednotlivých součástí (pokud nejsou udány výrobcem) a odhad DC jednotlivých funkcí a modulů je možno provést odhadem nebo výpočtem podle metod a postupů uvedených v ČSN EN ISO 13849-1.

Pozn. Ne každá porucha musí být nebezpečná, výrobci někdy uvádějí $MTTF$, což je střední doba do poruchy. Pokud tento parametr použijeme jako $MTTF_d$ je vzniklá chyba na straně bezpečnosti.

□ Diagnostické pokrytí DC

Některé SRP/CS jsou schopny za provozu a/nebo při periodickém testu odhalit závadu kanálu. K tomu napomáhá cyklické testování a princip redundance. Samotná redundance (tedy zdvojení) bezpečnostních součástí k odhalení někdy nestačí. SRP/CS musí být vybaveny logikou, která je schopna v provozu nebo při cyklickém testování závadu odhalit. Množství takto odhalených závad vzhledem ke všem možným závadám je vyjádřeno parametrem diagnostického pokrytí DC.

DC	
Označení	Rozsah
Žádné	DC < 60 %
Nízké	60 % ≤ DC < 90 %
Střední	90 % ≤ DC < 99 %
Vysoké	99 % ≤ DC

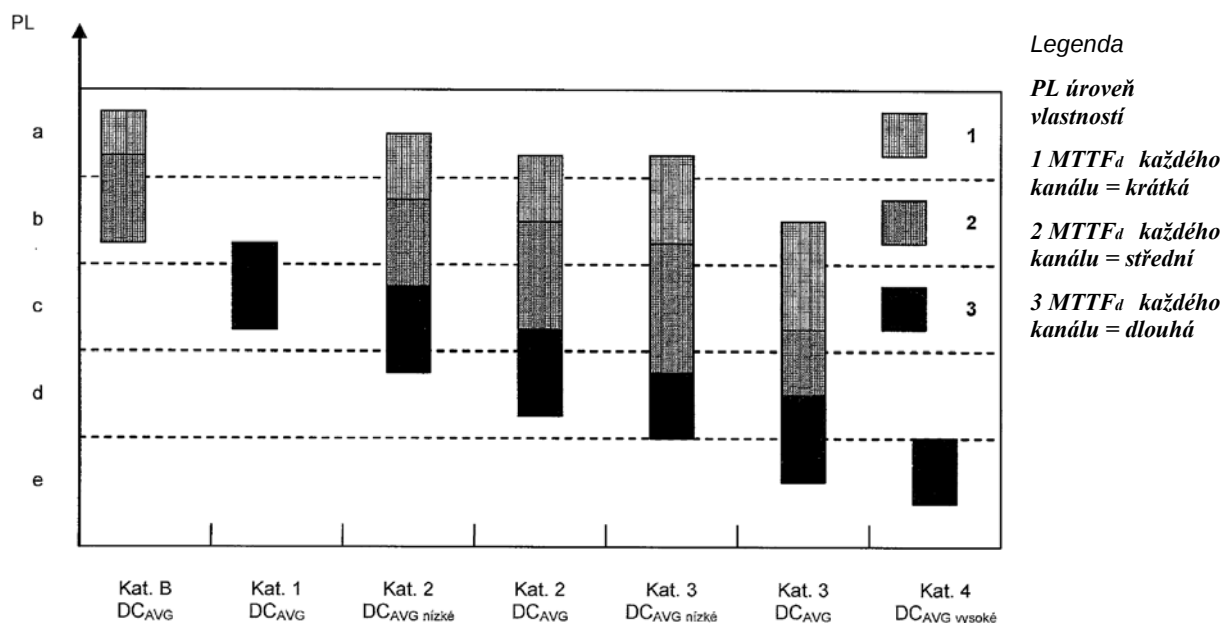
Tab. 1.3. Diagnostické pokrytí DC

□ Poruchy se společnou příčinou CCF

Vyšší kategorie (kategorie, které mají schopnost detekovat ať už při provozu nebo při cyklických zkouškách závadu) musí navíc být konstruovány tak, aby byl vyloučen vznik poruchy se společnou příčinou (common cause failure). Jedná se o poruchy různých objektů, vyplývajících z jedné události, kde tyto poruchy nejsou vzájemným důsledkem každé z nich – např. při výskytu přepětí může dojít ke zničení vícero částí systémů stroje a toto může vést k vzniku nebezpečné situace. Opatření proti poruchám se společnou příčinou je dáno konstrukcí SRP/CS.

□ Volba kategorie bezpečnostního ovládacího systému (SRP/CS)

Vztah mezi úrovní vlastností PL, střední dobou do nebezpečné poruchy $MTTF_d$ a střední hodnotou diagnostického pokrytí DC_{AVG} je uveden na obr. 1.9.



Obr. 1.9. Vztah mezi kategoriemi, DC_{avg} , $MTTF_d$, každého kanálu a PL

Z obrázku 1.9. plyne, že v případě jednokanálového SRP/CS kategorie 1 je nejvyšší dosažitelná úroveň vlastností c. Pokud potřebujeme úroveň vlastností e (náš příklad obráběcího stroje) musíme volit mezi kategorií 4 a kategorií 3 se střední dobou do nebezpečné poruchy každého kanálu dlouhou a středním stupněm diagnostického pokrytí (nutno u SRP/CS ověřit výpočtem podle EN ISO 13849-1).



Shrnutí pojmů 1.6.

Performance level (PL) – úroveň vlastností



Otázky 1.6.

8. Jak a proč ovlivňuje střední doba do nebezpečné poruchy ($MTTF_d$), diagnostické pokrytí (DC) a kategorie ovládacích částí systému hodnotu PL úrovně vlastností ?

1.7. Kategorie bezpečnostních částí ovládacího systému



Čas ke studiu: 35 minut



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vyjmenovat druhy přepětí, objasnit škodlivost pro elektrická zařízení
- popsat vznik, chování a důležité parametry bleskového výboje
- definovat třídy LPL a důvod jejich členění, definovat pojem poloměr valící se koule



Výklad

□ Kategorie SRP/CS

Kategorie bezpečnostních částí ovládacího systému stanovují jejich požadované chování vzhledem k odolnosti proti závadám a jejich následnému chování v podmínce závady, kterého je dosaženo konstrukčním uspořádáním částí, detekcí závady a/nebo jejich spolehlivostí.

Kategorie jsou základními parametry používanými k dosažení specifické úrovně vlastností (*PL*). Bezpečnostní části ovládacího systému musí být provedeny podle jedné nebo více z pěti kategorií (B,1,2,3,4).

Volbu kategorie pro SRP/CS ovlivňují následující zmíněné faktory:

- snížení rizika, které má být dosaženo bezpečnostní funkcí, ke kterému část přispívá;
- požadované úrovně vlastností (*PL_r*);
- použité technologie;
- rizika, které vznikají v případě závady (závad) v této části;
- možnosti vyloučení závady (závad) v této části (systematické závady);
- pravděpodobnosti výskytu závady (závad) v této části a relevantní parametry;
- střední doba do nebezpečné poruchy (*MTTF_d*);
- diagnostické pokrytí (*DC*);
- poruše se společnou příčinou (*CCF*) v případě kategorií 2, 3 a 4.

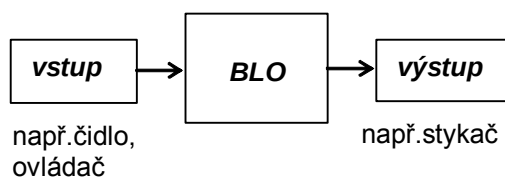
Každá bezpečnostní část ovládacího systému musí odpovídat požadavkům relevantní kategorie. Pro bezpečnostní části ovládacího systému, která se odchyluje od stanovených architektur musí být proveden podrobný výpočet, aby bylo možné prokázat splnění požadované úrovně vlastností *PL_r*.

□ Kategorie B

Kategorie B je základní kategorie určena jen pro bezpečnostní části ovládacího systému relativně bezpečných strojů. Výskyt závady zde může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce.

Ke splnění požadavků stačí dodržovat základní bezpečnostní pravidla pro navrhování řídicích obvodů a používat vhodné přístroje vyhovující svým provedením daným vnějším vlivům.

Maximální dosažitelná úroveň vlastností $PL = b$.



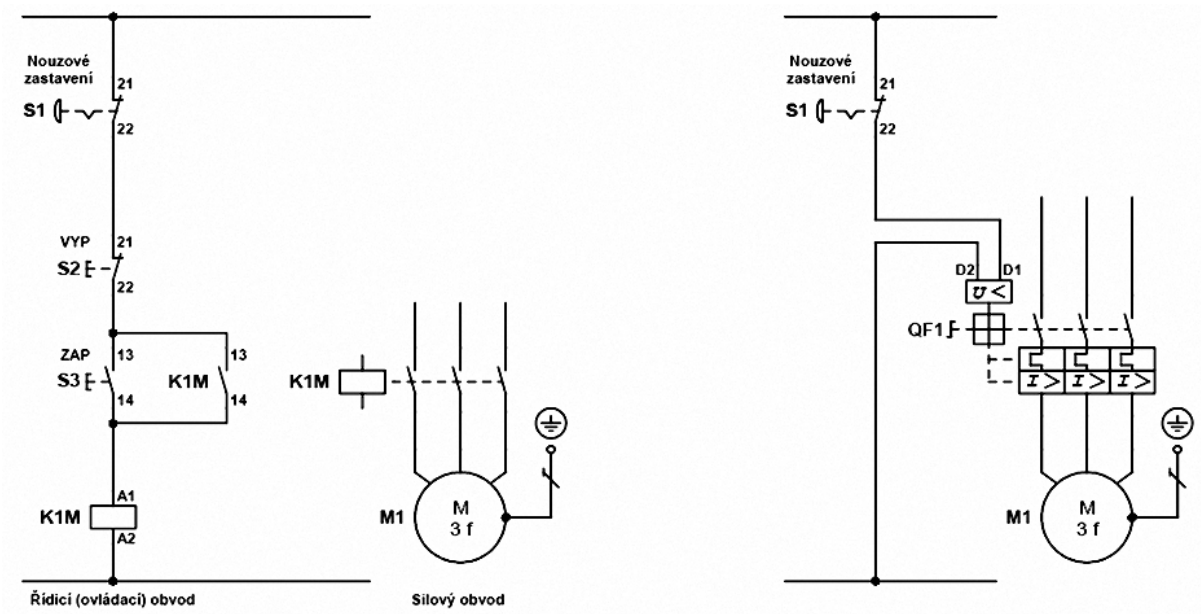
Obr.1.10. Stanovená architektura pro kategorii B

Střední doba do nebezpečné poruchy $MTTF_d$ může být krátká až střední. Příklad jednoduchého ovládacího systému stroje kategorie B je uveden na obrázku 1.10.

□ Kategorie 1

Kategorie 1 musí splňovat stejné požadavky jako pro kategorii B s tím, že pravděpodobnost výskytu závady je menší. Tato kategorie se má přednostně používat i u relativně málo nebezpečných strojů. Vyšší odolnosti proti závadám ve srovnání s kategorií B lze dosáhnout použitím osvědčených součástí a bezpečnostních zásad (např. uložení propojovacího vedení do ochranné konstrukce (snížení pravděpodobnosti mechanického poškození vedení a následného přemostění rozpínacího kontaktu řídicího přístroje) nebo předimenzováním stykače, který plní funkci akčního členu - snížení pravděpodobnosti svaření silových kontaktů).

Závada může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce obvodu, přičemž střední doba do nebezpečné poruchy $MTTF_d$ je zde dlouhá (delší než u kategorie B), v důsledku toho je ztráta BF méně pravděpodobná. Stanovená architektura je shodná s kategorií B.



Obr. 1.11. Struktura ovládacího systému pro splnění požadavků kategorie 1 (nebo B), příklad jeho zapojení do obvodu pohonu

□ Kategorie 2

Kategorie 2 musí splňovat stejné požadavky jako pro kategorii B a musí být dodrženy osvědčené bezpečnostní zásady kat.1. Dále se vyžaduje, aby bezpečnostní funkce byla ovládacím systémem stroje pravidelně kontrolována ve vhodných intervalech, přičemž délka intervalu závisí na druhu a použití stroje.

Při výskytu jednotlivé závady sice může dojít ke ztrátě bezpečnostní funkce obvodu mezi kontrolami, ale při pravidelné kontrole musí být závada detekována.

Pravidelnou kontrolou je periodický test funkčnosti ovládacího systému stroje prováděný obvykle vypnutím a opětným zapnutím napájecího napětí, případně je-li to nezbytné i při iniciování jakékoliv nebezpečné situace, např. před spuštěním nového cyklu. Minimální interval pro kontrolu musí být uveden v technické dokumentaci stroje, pokyny pro provádění testu musí být součástí návodu na používání, a obsluha musí být prokazatelně poučena o tom, jak je požadováno postupovat.

Pokud ovládací systém stroje detekuje při testu závadu některé části ovládacího systému stroje, např. svaření silových kontaktů stykače - akčního členu, musí být zabráněno opětnému spuštění stroje, není-li to možné (spečení kontaktů stykače) musí být iniciována výstraha.

Je zřejmé, že tento požadavek je možné zajistit jediné použitím speciální vyhodnocovací jednotky (obvodu), která je zařazena mezi řídicí přístroj pro snímání požadavku na bezpečnostní funkci a akční člen, který bezpečnostní funkci provádí. Velmi důležitý je obvod **zpětné vazby**, umožňující kontrolu akčního členu (stykač musí mít nucené vedení kontaktů) prostřednictvím tlačítka ZAP/RESET a vnitřní logiky vyhodnocovací jednotky (obvodu), neboť po připojení napájecího napětí lze vyhodnocovací jednotku uvést do aktivního stavu pouze uzavřením obvodu zpětné vazby stisknutím tlačítka ZAP/RESET (RESET po odstranění poruchy).

Pokud je detekována závada akčního členu (stykače), např. svaření silových kontaktů, nelze vyhodnocovací jednotku „nastartovat“.

Výpočet střední doby do nebezpečné poruchy ($MTTF_d$) a průměrného diagnostického pokrytí (DC_{avg}) by měl uvažovat pouze bloky funkčního kanálu (tj. vstupy, výstupy a logiku) a nikoliv bloky zkušebního zařízení.

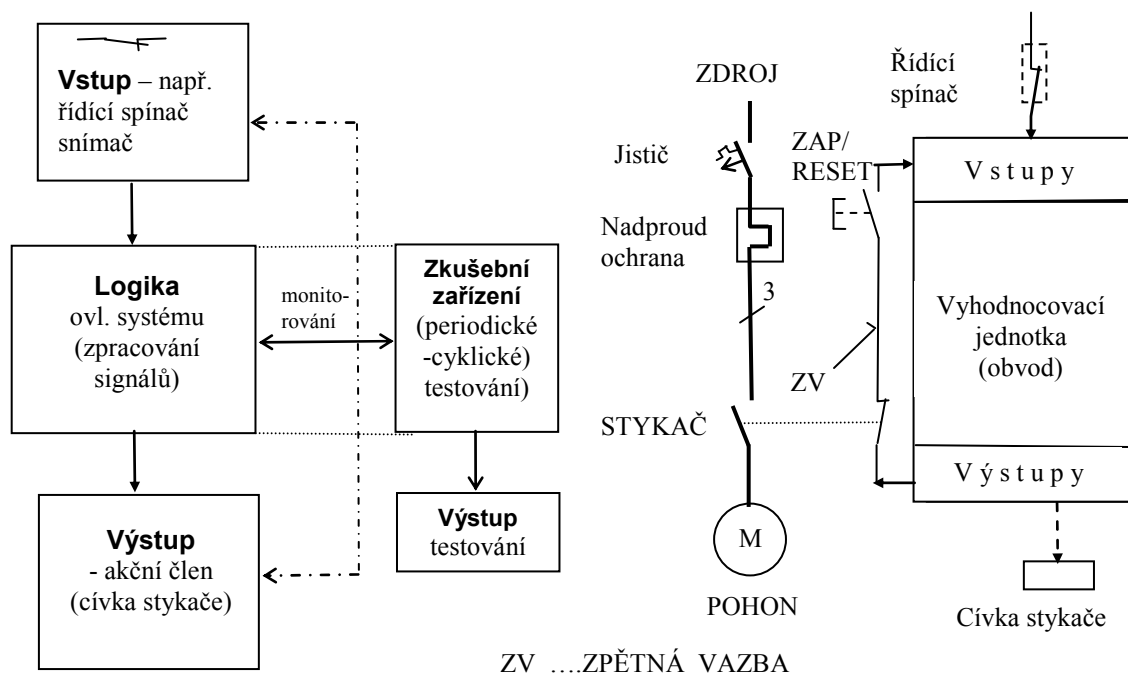
Průměrné diagnostické pokrytí (DC_{avg}) všech bezpečnostních částí ovládacího systému včetně detekce závady, musí být alespoň nízké.

Maximální dosažitelná úroveň vlastností $PL = d$.

Střední doba do nebezpečné poruchy $MTTF_d$ musí být v závislosti na požadované úrovni vlastností PL_r krátká až střední.

Vyhodnocovací jednotka je při testu schopná kontrolovat jen ty části ovládacího systému, které během testování mění stav, tj. svoje vnitřní obvody a připojený akční člen. Pokud dojde k přemostění kontaktu řídicího spínače (např. zkratem na svorkách, nebo na přívodním vedení), není řídicí systém schopen závadu detekovat ani v případě, že je funkce systému kontrolována aktivací řídicího spínače (např. stisknutím ručně ovládaného tlačítka, přestavením bezpečnostního ochranného zařízení apod.), neboť pro detekování závady ve vstupním obvodu nemá vyhodnocovací jednotka dostatek informací.

Jen obsluha stroje je při pravidelné kontrole bezpečnostní funkce schopná zjistit závadu řídicího spínače, (zařízení nereaguje na vstupní signál) a záleží jen na uvážení obsluhy, jaký další postup zvolí. V ideálním případě obsluha uvede stroj do bezpečného stavu vypnutím hlavního vypínače. Pravděpodobnost vzniku závady ve vstupním obvodu lze snížit uložením propojovacího vedení mezi vyhodnocovací jednotkou a řídicím spínačem tak, aby nemohlo dojít k jeho mechanickému poškození a umístěním řídicího spínače tak, aby nemohl být jednoduchým způsobem vyřazen z činnosti (např. přemostěním kontaktu).



Obr. 1.12. Struktura ovládacího systému pro splnění požadavků kategorie 2, příklad jeho zapojení do obvodu pohonu

□ Kategorie 3

Kategorie 3 musí splňovat stejné požadavky jako pro kategorii B a musí být dodrženy osvědčené bezpečnostní zásady kat. 1. Chování systému dovoluje, aby:

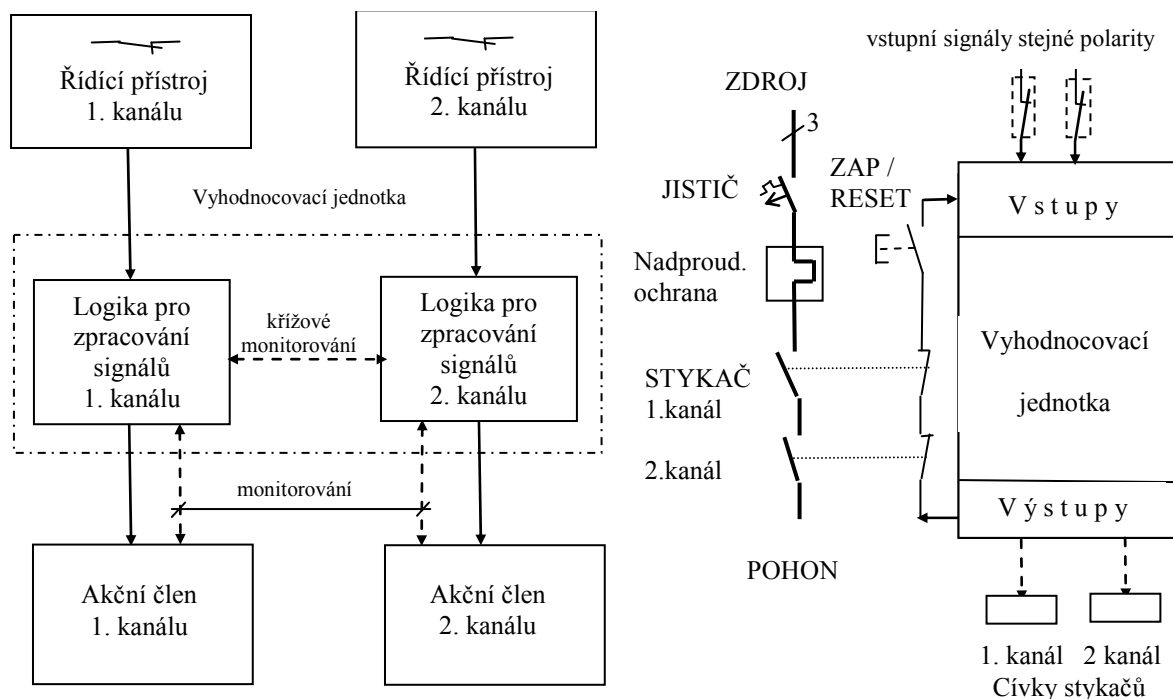
- při výskytu jednotlivé závady v jakékoliv bezpečnostní části ovládacího systému byla vždy zajištěna bezpečnostní funkce;
- některé, ale ne všechny, závady byly detekovány;
- nahromadění nedetekovaných závad může vézt ke ztrátě bezpečnostní funkce.

Předpokladem pro splnění požadavků kategorie 3 je opět použití speciální vyhodnocovací jednotky a využití principů redundance a roznosti při návrhu bezpečnostního ovládacího systému jako celku.

Průměrné diagnostické pokrytí (DC_{avg}) všech bezpečnostních částí ovládacího systému včetně detekce závady, musí být alespoň nízké.

Střední doba do nebezpečné poruchy $MTTF_d$ všech kanálů musí být v závislosti na požadované úrovni vlastností PL_r krátká až dlouhá.

Kompletní zdvojení řídicích spínačů, včetně jejich ovládačů je vhodné (dokonce žádoucí) u bezpečnostních spínačů pro kontrolu polohy bezpečnostních ochranných zařízení (ochranných krytů, dveří apod.). Je však nesmyslné zdvojení ovládačů u ručně ovládaných tlačítek, např. pro nouzové vypnutí nebo zastavení, které by k větší bezpečnosti obsluhy jistě nepřispělo, spíše naopak. V tomto případě stačí opatřit jeden řídicí spínač (tlačítko pro NZ) dvěma rozpínacími kontakty (musí být použity dvě oddělené rozpínací jednotky), které jsou s vyhodnocovací jednotkou systému spojeny dvěma samostatnými kanály (teoreticky by vedení obou kanálů měla být uložena odděleně).



Obr. 1.13. Struktura ovládacího systému pro splnění požadavků kategorie 3 a příklad jeho zapojení do obvodu pohonu

Při obdobné úvaze o akčním členu (ovládací cívice stykače) je zřejmé, že redundance je nutná hlavně u kontaktové části stykače, neboť jakákoliv závada na vedení k cívice (zkrat mezi vodiči, přerušení vedení) má za následek vypnutí akčního členu, tedy uvedení zařízení do bezpečného stavu. Jako redundantní akční člen je tedy možné použít např. dva stykače, jejichž silové kontakty jsou zapojeny v sérii a cívky paralelně. Princip rozdílnosti vyžaduje, aby stykače byly např. od dvou různých výrobců nebo alespoň různě dimenzované.

Řídicí systém stroje musí být schopen detekovat jak závadu na kterémkoliv akčním členu (stykače musí mít nucené vedení kontaktů), tak závadu na kterémkoliv řídicím spínači (v kterémkoliv vstupním kanálu), neboť vyhodnocovací jednotka dostává redundantní informace o stavu kontaktu řídicího spínače. Samozřejmým předpokladem pro splnění požadavků je samočinná vzájemná kontrola logiky pro zpracování signálů kanálu jedna a logiky pro zpracování signálů kanálu dva uvnitř vyhodnocovací jednotky. Samočinná kontrola celého BLO proběhne vždy při aktivování řídicího přístroje tlačítkem ZAP/RESET.

Vzhledem k tomu, že vstupní signály mají stejnou polaritu, řídicí systém není schopen detekovat příčný zkrat mezi oběma vstupními kanály. Pokud tedy dojde k přemostění řídicího přístroje v kanálu jedna a navíc vznikne příčný zkrat mezi oběma kanály, je závada kanálu jedna přenesena do kanálu dva a dojde ke ztrátě bezpečnostní funkce obvodu vlivem nahromadění nedetekovaných závad (obvod není schopen plnit bezpečnostní funkci). BLO kategorie 3 nevyžadují kontrolu příčného zkratu v obvodu startovacího tlačítka ZAP/RESET.

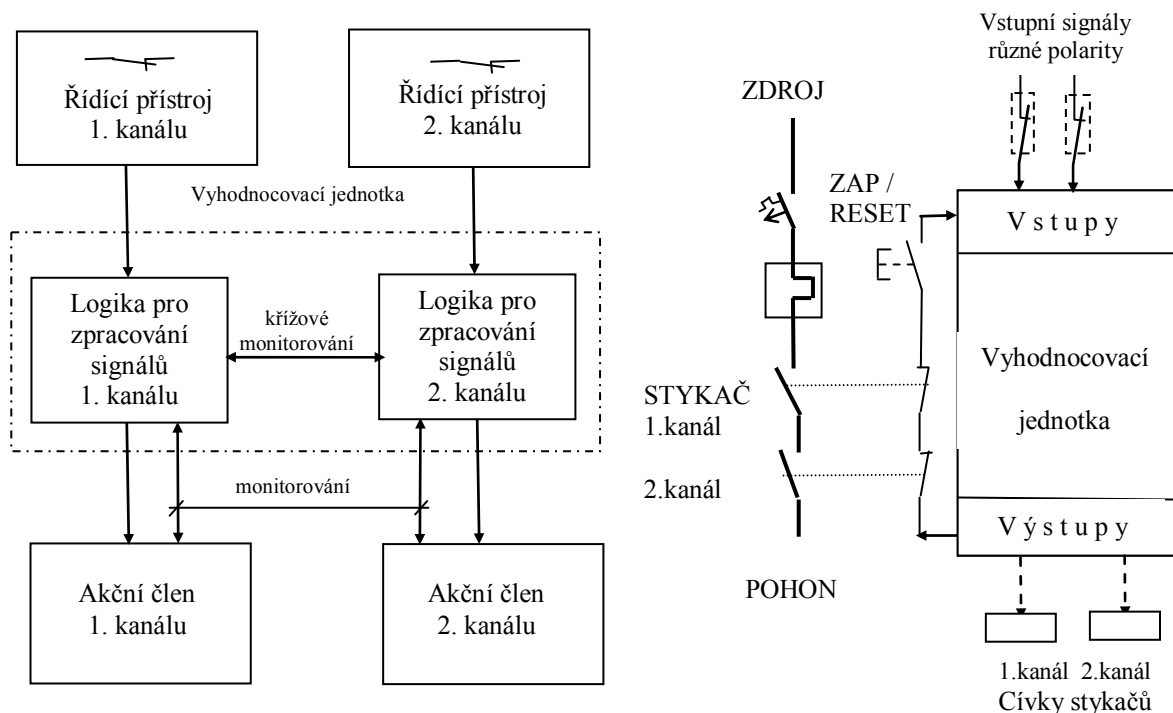
□ Kategorie 4

Pro kategorie 4 platí, že velmi tvrdé požadavky mohou splnit jen takové bezpečnostní části ovládacího systému, ve kterých jsou všechny závady detekovány dostatečně včas, aby bylo zabráněno ztrátě bezpečnostní funkce, přičemž při výskytu jakýchkoliv závad musí být bezpečnostní funkce obvodu vždy zachována. Nahromadění nedetekovaných závad nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce.

Průměrné diagnostické pokrytí (DC_{avg}) všech bezpečnostních částí ovládacího systému včetně detekce závady, musí být vysoké.

Střední doba do nebezpečné poruchy $MTTF_d$ všech kanálů musí být v závislosti na požadované úrovni vlastností PL_r dlouhá.

Základní zapojení bezpečnostního obvodu pro kategorii 4 vychází ze zapojení pro kategorii 3 (obr. 4), obsahuje však některá „vylepšení“, odstraňující nedostatky kategorie 3.



Obr. 1.14. Typická struktura systému pro splnění požadavků kategorie 4, příklad jeho zapojení do obvodu pohonu

Vstupní signály mají různou polaritu, takže řídicí systém je schopen detekovat příčný zkrat mezi oběma kanály (např. při použití různých napětíových potenciálů pro napájení vstupních obvodů dojde při vzniku příčného zkratu k přetavení přeřazené pojistky, což bezpečnostní obvod vyhodnotí jako požadavek na bezpečnostní funkci a uvede zařízení do bezpečného stavu).

Kategorie 4 rovněž požaduje, aby byl detekován také příčný zkrat v obvodu tlačítka ZAP/RESET, tj. přemostění tlačítka. Splnění tohoto požadavku je možné za předpokladu, že vstupní obvod vyhodnocovací jednotky, na který je připojeno tlačítko ZAP/RESET, reaguje až na sestupnou hranu vstupního signálu. V případě, že jsou na místě vyhodnocovací jednotky použity bezpečnostní moduly, musí být v provedení kontrolovaný start.



Shrnutí pojmů 1.7.

Kategorie SRP/CS



Otázky 1.7.

9. Vypište základní vlastnosti a požadavky na kategorii B, 1, 2, 3 a 4.
10. Z obr. 1.9. vyplývá, že SRP/CS kategorie 1 může dosahovat lepší úrovně vlastností PL než některá řešení pomocí kategorie 3. Kdy k tomu dojde, proč k tomu dojde, zdůvodněte.



Další zdroje, použitá literatura

- [1] ČSN EN ISO 13849 – 1
- [2] ČSN EN ISO 14121 – 1, ČSN EN ISO 12100 – 1, ČSN EN 60204 – 1.
- [3] Hlinovský, J.: Posuzování rizika při projektování elektrických zařízení strojů, odborný časopis Elektro 4/2002, 5/2002, 6/2002, FCC Public, ISSN 1210-0889



CD-ROM

Na přiloženém disku CD ROM naleznete praktický postup měření uzemnění objektů jako doplňující informace k probírané látce. Dále na disku CD – ROM naleznete postupy při revizích a kontrolách elektrických spotřebičů třídy ochrany I a II a postup při ověřování proudových chráničů s reziduálním proudem 30 mA a 300 mA, tyto postupy si studenti prezenční formy sami prakticky vyzkouší v laboratorních cvičeních.



Klíč k řešení

Odpovědi na otázky, výsledky řešení úloh, nápovědy, návody k řešení složitých projektů ap.

- O. 1 Objasnění pojmů viz kap. 1.1. Nebezpečí je zdrojem úrazu (škody), tedy škoda vznikne jako důsledek existence nebezpečí a náhody. Nebezpečí je příčina, škoda je důsledek. Riziko je kombinací pravděpodobnosti vzniku škody a její výše (tj. stupeň poškození, závažnost úrazu).
- O. 2 Musí se aplikovat další technická nebo organizační opatření. Jejich aplikace je cyklická do doby, než dojde k žádoucímu snížení rizika. Technická opatření (opatření zabudovaná v konstrukci) jsou spolehlivější a mají přednost před opatřeními organizačními (tj. opatřeními realizovanými uživatelem).
- O. 3 Zbytkové riziko je riziko, které jsme ochotni připustit. Eliminovat rizika úplně může být nemožné (mohlo by to znamenat např. nepoužívat elektrickou energii) nebo by opatření byla neúměrně nákladná, což není smyslem bezpečnostních předpisů.
- O. 4 Redundance (tedy zdvojení) obvodů SRP/CS nebo jejich částí se provádí za účelem zvýšení spolehlivosti těchto částí. Je rozhodně mnohem méně pravděpodobné, že dojde k poruše např. obou koncových spínačů realizující bezpečnostní funkce.
- O. 5 Pozitivní vypínací funkce se používá pro to, aby docházelo k přímému působení síly na

kontakty. Pokud dojde ke svaření kontaktů nemusí pružina odtlačit kontakt. Rovněž při odpadnutí, zlomení pružiny by spínač byl neschopen provozu.

Rozpínací kontakty jsou upřednostňovány proto, že při přerušení vodiče dochází k zastavení stroje. Rovněž při poruše spínače bude pravděpodobnější stav spínače rozepnut, což zastaví stroj, případně znemožní opětovné spuštění. Pokud se používají spínací kontakty, tak jako druhé (princip různosti), kdy jeden spínač je rozpínací a druhý spínací.

- O. 6 Kategorie zastavení stroje závisí z hodnocení rizik. Nouzové vypnutí (kategorie 0) není vhodné s ohledem na mechanická rizika např. u okružních pil, kde odpojením od napájení riziko amputace nebo pořezání přetrvává do zastavení řezného kotouče. Zde je vhodnější řízené zastavení kategorie 1. Jestliže naopak budou převládat elektrická rizika (úraz elektrickým proudem) je logicky nouzové vypnutí (kategorie 0) vhodnější.
- O. 7 Hodnoty 10^{-7} nebezpečných poruch za hodinu zní samozřejmě při prvotním náhledu jako science fiction. Ovšem uvážíme – li dobu užívání stroje jako 20 let, 8 hodin denně 5 dní v týdnu pak za rok pracuje stroj 2080 hodin, za 20 let 41600 hodin. Pravděpodobnost nebezpečné poruchy za 20 let je tedy $41600 * 10^{-7}$ což je 0,00416. Jinak řečeno u jednoho z 240 strojů dojde ke vzniku nebezpečné poruchy, která může vyvolat škodu (např. smrtelný úraz). To už je hodnota pochopitelná a akceptovatelná.
- O. 8 Čím vyšší spolehlivost použitých komponent, tím nižší poruchovost. Proto lze konstatovat, že vyšší hodnota $MTTF_d$ vede k vyšší úrovni vlastností PL. Diagnostické pokrytí znamená zda porucha a kolik procent poruch bude detekována řídicím systémem. Pokud vzniklá porucha bude detekována, nedojde ke vzniku nebezpečného stavu.
- O. 9 Viz popis kategorií v kap. 1.7.
- O. 10 Jestliže by se jednalo o **jednoduchý** obvod, u něhož použijeme spolehlivě odzkoušené části SRP/CS (s vysokou dobou $MTTF_d$) pak může opravdu dojít k tomu, že stejná spolehlivost (tedy PL – performance level) bude dosažitelná u **složitého** systému s mnoha komponenty s krátkou nebo střední dobou $MTTF_d$, kde bude navíc nízké nebo střední diagnostické pokrytí (procento odhalených poruch). U stejně složitých obvodů k tomu nejspíš nedojde.

2. OCHRANA PŘED BLESKEM

2.1. Úvod



Čas ke studiu: 0,1 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat počátky ochrany před bleskem
- vyjmenovat současné normy týkající se ochrany před bleskem
- popsat hlavní rozdíl v přístupu oproti předchozí normě

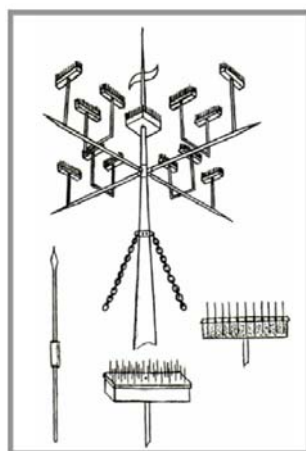


Výklad

□ Historie

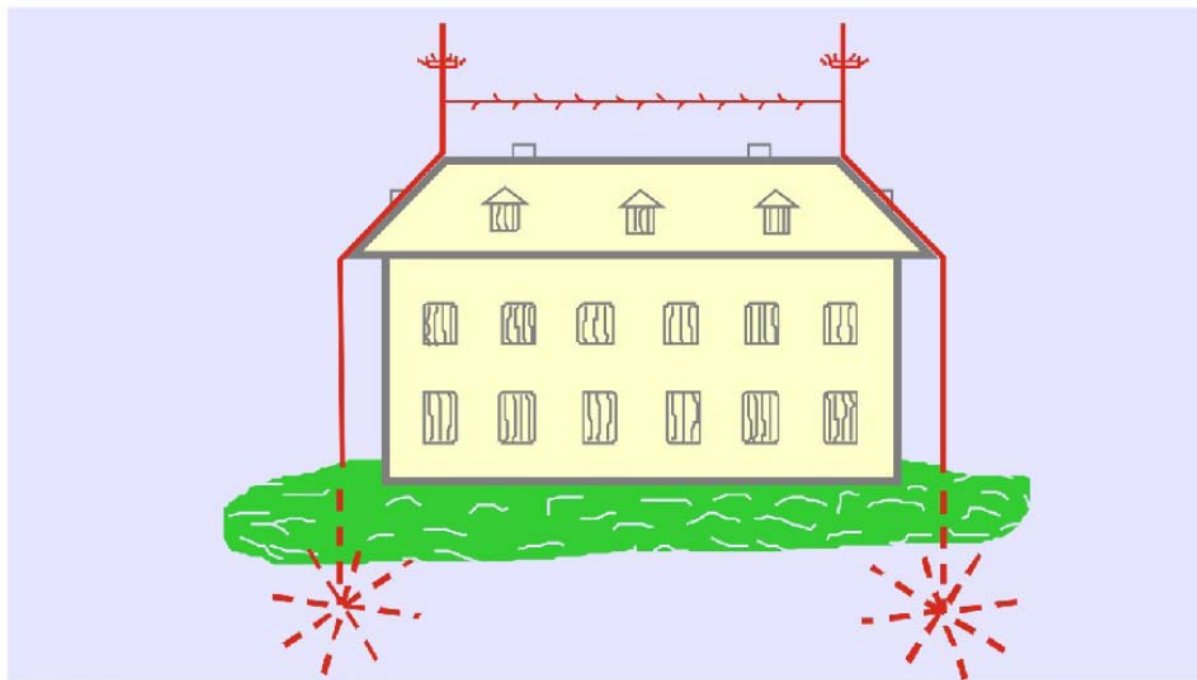
Zcela na začátku oboru ochrany před bleskem jsou dvě velmi důležitá jména: Prokop Diviš (1696 - 1765) a Benjamin Franklin (1706 - 1790). Diviš předpokládal, že několik set hrotů na koruně hromosvodu bude vysávat elektřinu z mraků, a tím zabrání výbojům blesků. Přímětický hromosvod plnil dle dnešních znalostí blesku funkci jímače se svody zakončenými na zemnicí soustavě, tvořené zakopanými kovovými kužely. Železná konstrukce na dřevěném stožáru, „machina meteorologica“, byla 42 m vysoká a byla spojena řetězy s železnými kužely zakopanými do země, byl to první uzemněný hromosvod.

Benjamin Franklin, uznávaný vynálezce hromosvodu, zastával zpočátku podobný názor jako Prokop Diviš, jak vyplývá z dopisu obchodníkovi Collinsonovi r. 1749: „Na základě svých pokusů jsem dospěl k přesvědčení, že hroty mohou zajistit bezpečnost domů, lodí, věží, kostelů apod. před úderem blesku. Jestliže budou dřevěné nebo kovové koule umístěné na špici korouhvice, na tyčích a stožárech, nahrazeny železnou tyčí 8 nebo 10 stop dlouhou, zaostřenou v hrot, pozlacenou proti zrezivění a budou elektrický oheň odvádět z mraků klidně, aniž by se mohl přiblížit natolik, aby udeřil“.



Obr. 2.1. Hlava Divišova hromosvodu v Přímětících podle původního Divišova nákresu

V roce 1753 již Franklin přidával k první vlastnosti i druhou, „chránit budovu před škodou, jestliže nastane do tyče úder blesku“. I v konečném popisu hromosvodu píše Franklin v r. 1767: „Tedy jímač buď zabráni úderu z mraku, nebo když nastane úder, odvede jej bezpečně z budovy.“ Druhý Franklinův požadavek, kladený na hromosvod, se stal rozhodující pro praktickou ochranu běžných objektů s dnešním provedením hromosvodu.



Obr. 2.2. G.Ch. Lichtenberg ochrana objektu rok 1778

□ Současný stav ochrany budov před bleskem a srovnání s nedávnou minulostí

V současné době je na základě zkoumání úroveň ochrany před bleskem na vyšší úrovni. Podstata ochrany je ovšem prakticky nezměněna. Od listopadu 2006 platí pro ochranu před bleskem nový soubor norem EN 62305, který svým komplexním pojetím na vysoké odborné úrovni staví konstrukci a projekci ochran před bleskem na úroveň samostatného odvětví elektro projekce. Do února 2009 bylo možno projektovat hromosvody podle národní normy ČSN 34 1390 z r. 1969, která do uvedeného data platila souběžně s novým souborem EN 62305.

Norma ČSN 34 1390 byla ve své době na vysoké odborné úrovni. V této normě ovšem nebyla zapracována vnitřní ochrana před bleskem. Důvodem je fakt, že v dané době nebylo tak časté rozšíření citlivých elektronických systémů jako je tomu dnes. Norma svým pojetím jen velmi málo rozlišovala rozdíly v koncepci ochran před bleskem podle charakteru a využití chráněné stavby a de-facto přesně předepisovala koncepci řešení. Pro svou jednoznačnost a relativní strohost (65 stran) byla mnohými projektanty a montážními organizacemi využívána až do doby svého zániku v únoru 2009 (a leckdy i po něm).

Není účelem ani cílem této kapitoly podat vyčerpávající obsah nové normy na ochranu před bleskem, ale poukázat na nové pojetí ochran před bleskem.

2.2. Definice přepětí, definice blesku, popis chování blesku



Čas ke studiu: 0,4 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vyjmenovat druhy přepětí, objasnit škodlivost pro elektrická zařízení
- popsat vznik, chování a důležité parametry bleskového výboje
- definovat třídy LPL a důvod jejich členění, definovat pojem poloměr valící se koule



Výklad

□ Pulzní přepětí

Přepětí je napětí, které přesahuje nejvyšší hodnotu provozního napětí v elektrickém obvodu.

Pulzní přepětí je krátkodobé přepětí, trvající řádově nanosekundy až milisekundy. Patří mezi nejvýraznější a nejškodlivější projevy elektromagnetické interference (rušivých vlivů) a ohrožuje zvláště elektronické zařízení obsahující polovodičové součásti. Pulzní přepětí podle původu rozlišujeme na:

- atmosférická přepětí (LEMP – *Lighting ElektroMagnetic Pulse*);
- spínací přepětí (SEMP – *Switching ElektroMagnetic Pulse*);
- přepětí vzniklá při výbojích statické elektřiny (ESD – *ElektroStatic Discharge*);
- přepětí způsobená nukleárními výbuchy (NEMP–*Nuclear ElektroMagnetic Pulse*).

Atmosférická přepětí (LEMP) jsou nejnebezpečnější a jsou vyvolaná především bourkami s výboji blesku. Pojem LEMP zahrnuje elektromagnetické účinky bleskového proudu a účinky elektromagnetických polí. Tyto účinky zahrnují jednak plné resp. dílčí bleskové proudy, provázené přepětím, jednak elektromagnetické pole, které v důsledku může vyvolat v blízkých elektrických zařízeních indukované přepětí.

Škodlivost přepětí spočívá v tom, že každá elektronická součástka resp. každá část elektrické instalace a zařízení má definované tzv. jmenovité impulsní výdržné napětí. Při překročení tohoto napětí již izolace není schopna plnit svoji funkci a dochází k tzv. průrazu izolace což prakticky znamená zničení dané součásti zařízení a jeho vyřazení z provozu.

Tato přepětí vznikají při úderech blesku jako důsledek elektromagnetických vazeb a jsou způsobena především rychlým nárůstem a poklesem bleskového proudu.

□ Vznik blesku

Blesky vznikají převážně při bourkách podle vzniku se rozlišují:

- **bouřky z tepla**, kdy se v určitém místě země zahřívá intenzivním slunečním zářením a ohřáté vrstvy vzduchu nad povrchem země jako lehčí stoupají vzhůru;
- **bouřky frontální**, při nichž následkem postupu studené fronty vytlačuje studený vzduch teplý vzduch směrem nahoru;

- **bouřky orografické**, při nichž jsou teplé vrstvy teplého vzduchu následkem terénního vyvýšení vytlačovány větrem vzhůru.

Při úderu blesku v dané oblasti dochází k vyrovnání potenciálů mezi mrakem a zemí. Rozdíl potenciálů mezi mrakem a zemí může činit až desítky MV. V přírodě vznikají negativní a pozitivní výboje podle polarit mraků. Z mraku sestupuje tzv. vůdčí výboj (leader) blesku a ze země (resp. hran exponovaných objektů) vstřícný výboj (streamer). Dojde-li ke spojení leaderu a streameru vytvoří se vodivý kanál pro průchod bleskového proudu. Dlouhodobým měřením bylo zjištěno, že cca 50% úderů blesků se skládá jen z jednoho (prvního) výboje a cca 50% úderů blesků je složeno z prvního a následujících výbojů (obr.3.) V přírodě se nejčastěji vyskytují negativní sestupné bleskové výboje.



Obr.2.3. Tvary bleskového proudu

Z hlediska hromosvodní ochrany před bleskem mají nejdůležitější význam bleskové výboje, které mohou vznikat mezi mrakem a zemí. Mezimrakové výboje mají obecně z hlediska nutné ochrany nižší význam.

První výboj blesku je charakteristický vlnou bleskového proudu 10/350 μ s o vrcholové hodnotě, která může činit až hodnoty 200 kA. Tento parametr bleskového proudu je důležitý pro energetické dimenzování jímací soustavy – návrh průřezu dle daného materiálu. Tento výboj je také důležitý pro dimenzování ekvipotenciálního pospojování proti blesku – instalace svodičů přepětí SPD typu 1.

Oblast dlouhého výboje je důležitá především z hlediska oteplení svodů a spojů, které mohou být namáhány až 400 A po dobu 0,5 s. Nebudou – li dodrženy hodnoty pro přechodové odpory spojů, může dojít v důsledku tohoto průchodu k nebezpečnému oteplení vodičů a spojů a následkem toho požár hořlavých sousedních materiálů stavby.

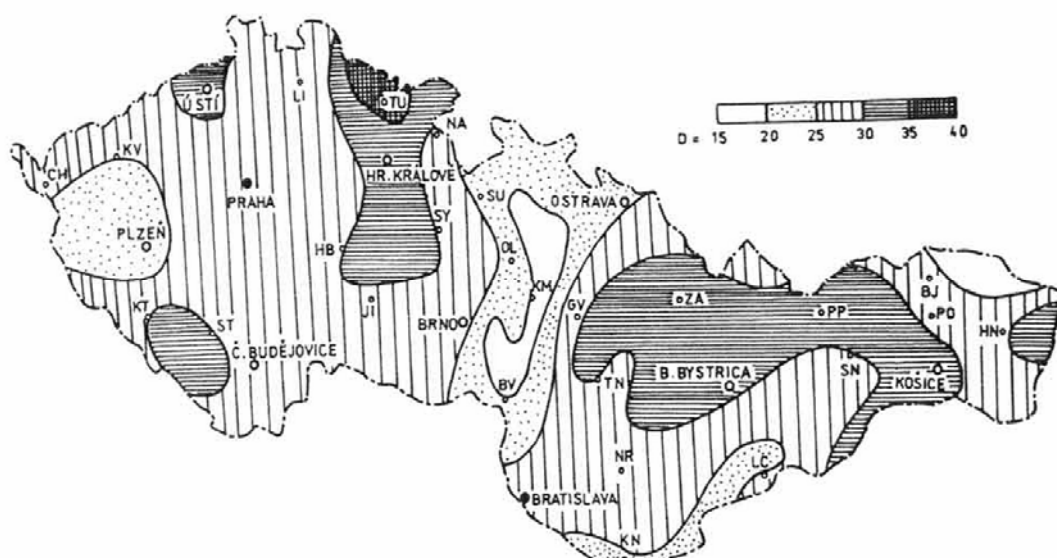
Následné výboje nejsou nebezpečné svými amplitudami, ale především strmostí čela nárůstu proudu, což může vyvolat indukovaná přepětí v přírodních vedeních ke koncovým zařízením.

Průměrný roční počet N nebezpečných událostí způsobených úderem blesku ovlivňující chráněný objekt závisí na bouřkové činnosti v kraji, kde se objekt nachází a na jeho fyzikálních vlastnostech. Všeobecně se přijímá, že se při výpočtu počtu N násobí hustota úderů blesků do země N_g ekvivalentní sběrnou plochou objektu při uvažování činitelů korekce na fyzické vlastnosti objektu.

Hustota úderů blesků do země N_g je počet úderů blesku na km^2 za rok. Tuto hodnotu lze získat z mapy rozložení úderů blesků do země v mnoha světových oblastech.

$$N_g = 0,1 \cdot T_d,$$

kde T_d je počet bouřkových dnů za rok (který může být získán z izokeraunické mapy).



Obr. 2.4. Původní izokeraunická mapa ČR a SR bouřkových dní (1970)

□ Chování blesku

Pro návrh ochrany před bleskem je často zapotřebí znát pravděpodobná místa úderu blesku a tato místa adekvátně chránit. Všechny používané metody určení zjednodušeně předpokládají, že okolo čela výboje se elektromagnetické pole šíří rovnoměrně v kulových plochách o shodné intenzitě víceméně homogenním prostředím až do okamžiku vzájemné reakce blesku a jímací soustavy. Intenzita elektromagnetického pole bleskového výboje je přímo úměrná vrcholové hodnotě proudu a tomu odpovídá i předpokládaný dosah vzájemné reakce čela bleskového výboje s jímáčem. Účinný dosah elektromagnetického pole určitého blesku je uvažován jako poloměr kulové plochy bleskové koule, tj. pro maximální uvažovaný blesk s vrcholovým proudem 200 kA je poloměr bleskové koule roven 313 m. Poloměr bleskové koule lze stanovit vztahem (1). Při uvažování minimální vrcholové hodnoty bleskového proudu je poloměr bleskové koule roven 20 m.

$$r = 10 \cdot I^{0,65}, \quad (1)$$

kde

r je poloměr valící se koule [m]

I je vrcholový proud blesku [kA]

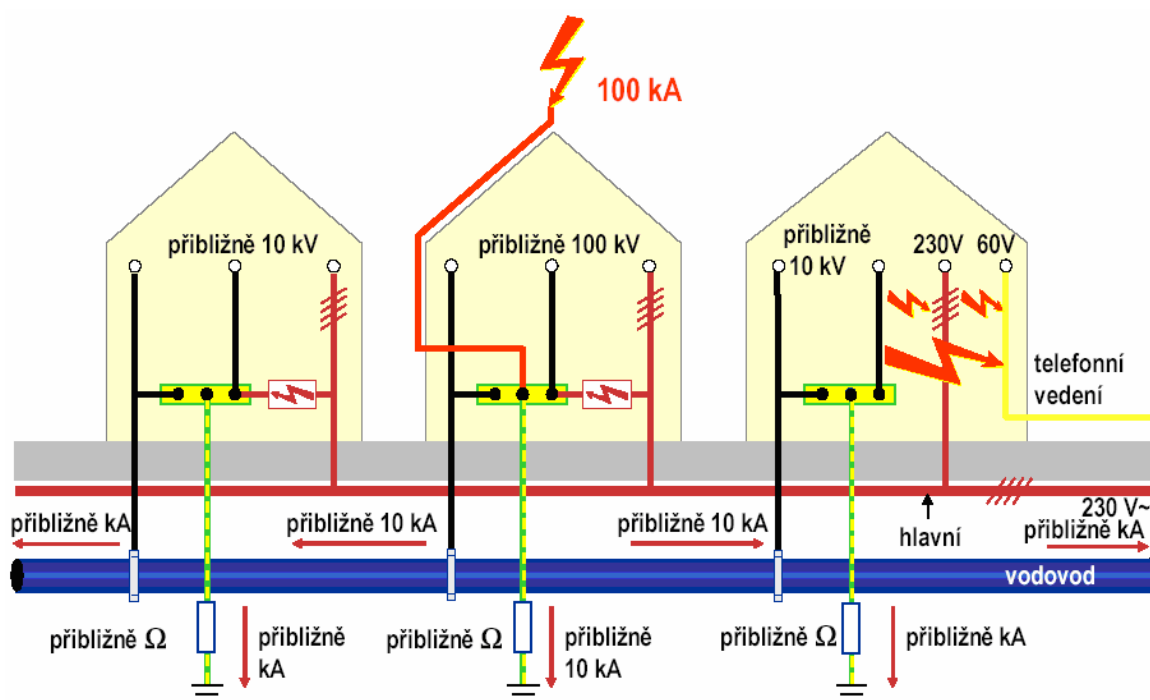
Přestože se jedná o zjednodušení chování skutečného blesku, statisticky tento předpoklad vystihuje zjištěné chování blesku nejpřesněji ze všech teorií. Metoda návrhu jímací soustavy převalením bleskové koule přes chráněný objekt tzv. metoda valící se koule je nejuniverzálnější a je považována za nejpřesnější metodu návrhu jímací soustavy.

Po úderu blesku do jímací soustavy budovy je tento sváděn jednotlivými svody do země. Je třeba si uvědomit, že na svodech je proti potenciálu země v této chvíli napětí proti potenciálu země úměrné velikosti proudu a rychlosti nárůstu bleskového proudu. Tato napětí dosahují desítek kV a mohou

způsobit přeskok na jiné kovové části (a iniciovat požár) nebo úraz dotykovým resp. krokovým napětím, je-li osoba v blízkosti svodu.

Samotný bleskový proud neteče, jak bychom chtěli, pouze do země. Jeho chování by se dalo přirovnat k povodňové vlně. Teče všemi možnými směry kovovými uzemněnými částmi. Jen maximálně cca 50 % proudu teče přímo uzemněním do země, zbylý proud teče přes hlavní ochrannou přípojnici do vodiče PE resp. PEN napájecí sítě, část proudu teče kovovým vodovodním potrubím.

Stará norma ČSN 34 1390 řešila vnější ochranu před bleskem, ale neřešila již dokonale ochranu vnitřní. Při přímém úderu blesku do budovy ovšem v souladu s výše popsaným dochází k zavlečení dílčího bleskového proudu do stavby. Tento proud ve svém důsledku způsobí nárůst napětí na částech protékáných proudem. Toto napětí přesahuje jednotky kV a může poškodit instalaci a připojené zařízení v budovách.



Obr. 2.5. Princip šíření bleskového a dílčího bleskového proudu po kovových instalacích

□ Třídy LPL

Rozložení parametrů bleskového proudu je spojitě podle Gaussovy křivky. Blesky s amplitudou proudu nad 200 kA se v našich zeměpisných šířkách vyskytují jen zřídka. U některých staveb by bylo neekonomické navrhovat systém ochrany před bleskem na nejvyšší resp. nejnižší předpokládaný bleskový proud. (Velký proud znamená vyšší průřezy vodičů, vyšší ohřev vodičů, vyšší nároky na pospojování a provedení svodičů přepětí – SPD, malý proud znamená naopak malý poloměr valící se koule a z toho plynoucí hustou jímací síť.) Proto je definována tzv. hladina ochrany před bleskem LPL. Ta je vztažena k pravděpodobnosti, že maximální, resp. minimální parametry bleskového proudu nebudou překročeny. (U LPL I je to 99 %, LPL II – 98 %, LPL III a IV – 97 %).

První krátký výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	I	kA	200	150	100	
Náboj krátkého výboje	Q_{short}	C	100	75	50	
Specifická energie	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Časové parametry	T_1/ T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10/350			
Následný krátký výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	I	kA	50	37,5	25	
Střední strmost	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Časové parametry	T_1/ T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0,25/100			
Dlouhý výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj dlouhého výboje	Q_{long}	C	200	150	100	
Časové parametry	T_{long}	s	0,5			
Výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj výboje	Q_{flash}	C	300	225	150	

Tab.2.1. Maximální uvažované parametry bleskového proudu v závislosti na LPL

Kritéria zachycení			LPL			
	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Minimální vrcholový proud	I	kA	3	5	10	16
Poloměr valící se koule	r	m	20	30	45	60

Tab.2.2. Minimální uvažované parametry bleskového proudu v závislosti na LPL



Shrnutí pojmů 2.2.

Přepětí nazýváme jakékoliv napětí vyšší než je nejvyšší hodnota provozního napětí v elektrickém obvodu.

Keraunická mapa je mapou bouřkové činnosti, je v ní vyznačen počet bouřkových dní v roce.

Poloměr valící se koule je účinný dosah elektromagnetického pole blesku, dotek valící se koule s chráněnou stavbou představuje místa potenciálního úderu blesku.

Třídy LPL jsou hladiny ochrany před bleskem, jedná se o rozmezí parametrů bleskového proudu, které nebude s jistou pravděpodobností překročeno-



Otázky 2.2.

1. Proč při definici tříd LPL a návrhu ochrany před bleskem zohledňujeme maximální i minimální uvažované parametry bleskového proudu ?
2. Objašněte, proč při úderu blesku do budovy může dojít k poškození i okolních budov.

2.3. Princip řízení rizika



Čas ke studiu: 0,3 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- objasnit vztah mezi příčinou poškození, škodou a ztrátou při úderu blesku
- definovat pojem riziko a objasnit jak se vypočte dílčí riziko
- popsat metodu návrhu ochran před bleskem metodou řízení rizika a zdůvodnit její výhody



Výklad

□ Příčiny, škody a ztráty při úderu blesku

Bleskový proud je základní příčinou poškození. Podle místa úderu blesku se rozlišují následující příčiny poškození:

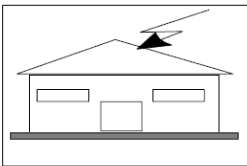
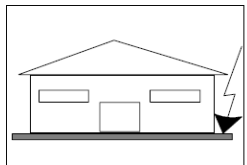
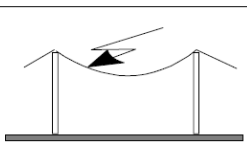
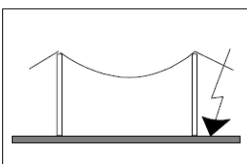
- S1: Údery do stavby. Stavba je schopna svést blesky do vzdálenosti $3H$ od stavby, kde H je výška stavby. Jímací soustavou, ale mnohdy i uzemňovacím přívodem a vnitřními sítěmi tečou plné nebo dílčí bleskové proudy.
- S2: Údery v blízkosti stavby. Uvažován je dosah 250 m od stavby. Na kovových částech vnitřních instalací se indukují přepětové špičky, které mohou ohrozit elektronická zařízení.
- S3: Údery do inženýrských sítí. Tyto údery mohou způsobit průtok dílčích bleskových proudů vnitřními instalacemi.
- S4: Údery v blízkosti inženýrských sítí. Uvažuje se opět dosah cca 250 m od sítě. Po vedení se šíří naindukovaná přepětová vlna, která může způsobit škodu na připojených elektronických zařízeních.

Tyto příčiny poškození mohou způsobit některé následujících škod.

- D1: Úraz živých bytostí v důsledku dotykových nebo krokových napětí nebo přeskočku bleskového proudu na postiženou osobu.
- D2: Hmotná škoda. Tím je míněn požár, výbuch, poškození instalace.
- D3: Porucha vnitřních systémů. Touto poruchou se myslí především poškození elektronických zařízení jako televizory, modemy, počítače, zabezpečovací a požární signalizace.

Zmíněné škody (a jejich kombinace) mohou způsobit následující ztráty. Ztrátu lze vnímat jako důsledek škody:

- L1: Ztráty na lidských životech (v důsledku úrazu elektrickým proudem, uhoření osob, ušlapáním při vzniku paniky nebo např. v nemocnici při pouhé poruše přístrojů na ARO).
- L2: Ztráty na veřejných službách (výpadek napájení, porucha telekomunikační sítě, výpadek dodávek vody, plynu tepla atd.).
- L3: Ztráty na kulturním dědictví – zničení kulturní památky (kostel, skanzen, hrad).
- L4: Ztráty ekonomické hodnoty – souvisí s hodnotou stavby, jejím užíváním, obsahem stavby.

Místo úderu	Příčina poškození	Stavba		Inženýrská síť	
		Typ škod	Typ ztráty	Typ škod	Typ ztráty
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4	D2 D3	L'2, L'4 L'2, L'4
	S2	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4		
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ¹⁾ , L2, L4	D2 D3	L'2, L'4 L'2, L'4
	S4	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4	D3	L'2, L'4
¹⁾ Pouze pro stavby s nebezpečím výbuchu a pro nemocnice nebo jiné stavby, kde porucha vnitřních systémů bezprostředně ohrožuje lidské životy. ²⁾ Pouze pro nemovitosti, kde mohou být ztráty na zvířatech.					

Obr. 2.6. Příčiny poškození, typ škod a typ ztráty

□ Výpočet rizika

Pro výpočet rizika je nutno znát jednotlivá dílčí rizika. Tato dílčí rizika souvisejí s typem škody příčinou poškození. Jednotlivá dílčí rizika se spočítají podle vzorce (2).

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X, \quad (2)$$

kde

N_X je počet nebezpečných událostí za rok (údery do stavby, sítě nebo vedle stavby, sítě),

P_X je pravděpodobnost poškození stavby (tedy že dojde k přeskoku, průrazu izolace atd.),

L_X jsou následné ztráty (míněno že přeskok, průraz vyvolá požár, úraz, poruchu atd.).

Je vhodné si uvědomit, že tento systém umožňuje „ušít“ chráněné stavbě na míru nejvhodnější systém ochrany na základě této podrobné analýzy dílčích rizik. Např. riziko úderů blesku do malého domku obklopeného většími objekty je relativně malé, není proto třeba navrhovat systém ochrany před bleskem LPS na vysoké úrovni (v extrémním případě není třeba vůbec), zatímco riziko úderu blesku do dlouhého napájecího vedení sloužícího k zásobování elektřinou je vysoké a je nutno nainstalovat svodiče bleskových proudů (např. zmíněný malý dům). Druhým extrémem je např. prostor s nebezpečím výbuchu, kde je jakékoliv jiskření velice nebezpečné a je třeba komplexně zvážit a instalovat ochranná opatření.

□ Podstata řízení rizika

Riziko je definováno jako hodnota a pravděpodobných ročních ztrát na osobách a majetku způsobených bleskem, vztažených k celkové hodnotě (osob a majetku). Je technicky obtížné ne-li nerealizovatelné toto riziko zcela eliminovat. V praxi se spokojíme s opatřeními, která v důsledku toto riziko sníží pod tzv. přípustné riziko (maximální akceptovatelná hodnota rizika pro objekt) s tím, že toto výsledné riziko je tzv. zbytkové riziko.

Princip řízení rizika je jednoduchý. Pro nechráněný objekt se spočtou jednotlivá dílčí rizika a z nich se stanoví výsledná hodnota příslušného rizika. Podle velikosti jednotlivých složek se pro eliminaci nejvyšších dílčích rizik uvažuje s instalací ochranného opatření (LPS – tedy systém ochrany před bleskem - v podstatě hromosvod a svodiče bleskových proudů, stínění vodičů, pospojování, ochrana před naindukovaným přepětím v důsledku blízkého úderu blesku, opatření při kladení kabelů).

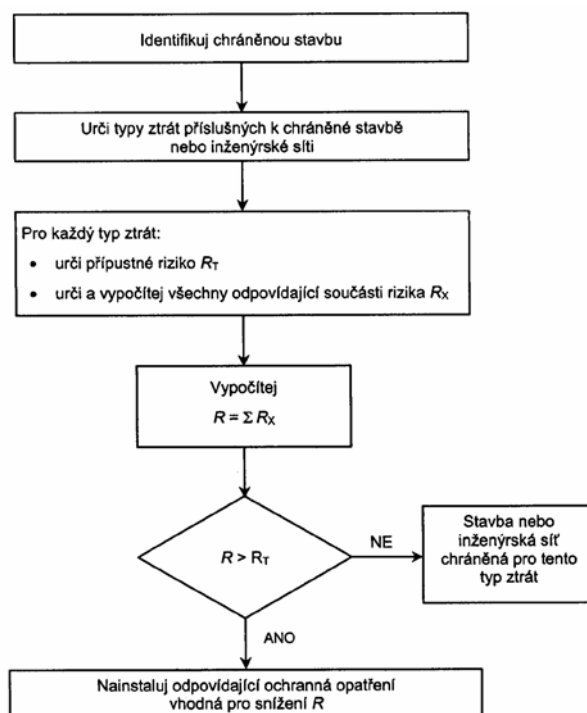
Pro objekt s nainstalovaným ochranným opatřením se spočtou opět dílčí a celkové riziko. Pokud je výsledné riziko nižší než přípustné riziko, považuje se objekt za dostatečně chráněn před bleskem. Pokud ne, zvolí se další ochranné opatření a výpočet se provede opět.

Typické hodnoty přípustného rizika R_T jsou uvedeny v tabulce 3.

<i>Typy ztrát</i>	$R_T (y^{-1})$
Ztráty na lidských životech nebo trvalé úrazy	10^{-5}
Ztráta veřejné služby	10^{-3}
Ztráta kulturního dědictví	10^{-3}

Tab. 2.3. Typické přípustné hodnoty rizika R_T

I když se hodnota ztrát R_T může zdát nesmyslná protože jeden mrtvý v budově za 100.000 let je málo, lze tuto hodnotu interpretovat i tak, že za rok ve 100.000 budovách dojde pravděpodobně k jednomu smrtelnému úrazu vlivem úderu blesku.



Obr. 2.7. Princip řízení rizika



Shrnutí pojmů 2. 3.

Riziko je definováno jako hodnota a pravděpodobných ročních ztrát na osobách a majetku způsobených bleskem, vztažených k celkové hodnotě (osob a majetku).

Škoda je mimořádná událost, nebezpečná situace, v kontextu vlivem úderu blesku, která je příčinou vzniku ztráty.

Ztráta je zničení materiální hodnoty, kulturní památky, úraz živé bytosti. Kromě ztrát na lidských životech (etické hledisko) je hodnota ztrát vyjádřitelná v penězích.

Přípustné riziko je maximální hodnota rizika, kterou je možno pro daný objekt tolerovat.



Otázky 2. 3.

3. Objasněte jak je možné, že při přímém úderu blesku do stavby (příčina S1) a vzniku hmotné škody D2 může dojít ke ztrátám L1, L2, L3 a L4.
4. Oproti předchozí normě ČSN 341390 je možné vynechat při ochraně před bleskem vnější LPS (tedy hromosvod). Kdy to je možné a proč?

2.4. Vnější systém LPS



Čas ke studiu: 0,4 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- objasnit pojem LPS a LPL, popsat z čeho se LPS skládá
- vyjmenovat druhy jímacích soustav a popsat metody jejich návrhu v praxi
- popsat metodu návrhu ochran před bleskem metodou řízení rizika a zdůvodnit její výhody
- vyjmenovat druhy zemničů, popsat druhy uzemnění systému LPS
- vyjmenovat používané materiály pro LPS
- definovat dostatečnou vzdálenost s pro elektricky izolovaný LPS



Výklad

□ Objasnění pojmu LPS

Zkratka LPS znamená *Lightning protection systém*, tedy systém ochrany před bleskem. Tento systém se skládá z vnějšího systému LPS a vnitřního systému LPS. Vnější systém LPS se skládá z jímáče, svodů a uzemnění. Jedná se tedy o hromosvod v klasickém pojetí.

Vnitřní systém ochrany před bleskem (vnitřní LPS) se skládá z ekvipotenciálního pospojování proti blesku a/nebo elektrické izolace hromosvodu (vnějšího LPS). Do tohoto systému se zahrnují i zmíněné svodiče přepětí SPD (surge protective device).

Oproti staré normě ČSN 34 1390, která popisovala vnější ochranu před bleskem je nutné dnes instalovat vnější i vnitřní ochranu současně, to znamená kromě hromosvodu instalovat i svodiče bleskových proudů. Důvody jsou popsány v kap. 1.2.

Systém LPS lze vyhotovit ve čtyřech třídách – LPS I – LPS IV. Jestliže je potřeba chránit budovu požadovanou ochrannou úrovní před bleskem LPL, musí být třída systému ochrany před bleskem LPS stejná nebo vyšší (příklad - pro požadovanou LPL II vyhoví LPS II a LPS I).

□ Vnější LPS

Funkce vnější ochrany před bleskem jsou tyto:

- zachycení přímého úderu blesku do objektu jímací soustavou;
- bezpečné svedení bleskového proudu do uzemňovací soustavy systémem svodů;
- rozvedení bleskového proudu v zemi uzemňovací soustavou.

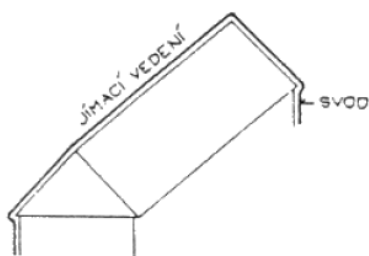
Hromosvod je tvořen:

- jímací soustavou;
- svody;
- uzemněním.

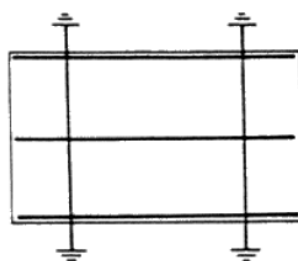
□ Jímací soustava

Pravděpodobnost, že bleskový proud vnikne do stavby bude podstatně snížena vhodným návrhem jímací soustavy. Jímací soustava může být vytvořena vzájemnou kombinací následujících částí:

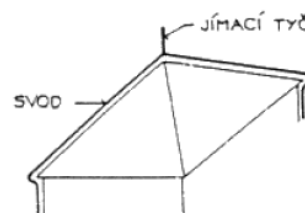
- tyče (včetně samostatně stojících stožárů);
- zavěšená lana;
- mřížové vodiče.



Obr. 1 Hřebenová soustava

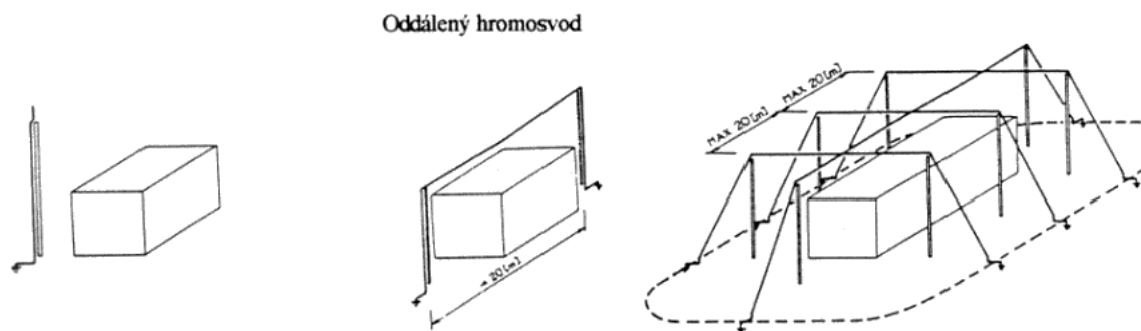


Obr. 2 Mřížová soustava



Obr. 3 Tyčový hromosvod

Obr. 2.8. až 2.10. Jímací soustavy uchycené k chráněné stavbě



Obr. 4 Stožárový hromosvod

Obr. 5 Závěsový hromosvod

Obr. 6 Klecový hromosvod

Obr. 2.11. až 2.13. jímací soustavy, které nejsou v kontaktu s chráněnou stavbou

Pozn. I jímací soustava uchycená k chráněné stavbě může být izolována od chráněné stavby, což znamená prakticky izolovaný vnější LPS, který byl kdysi z technických důvodů realizován pouze jako jímací soustavy, které nejsou v kontaktu v chráněnou stavbou - tedy oddálený hromosvod.

Jímací soustava by měla být umístěna na rozích budov, na horních částech podle jedné nebo více následných metod. Přípustné metody pro stanovení umístění jímací soustavy jsou:

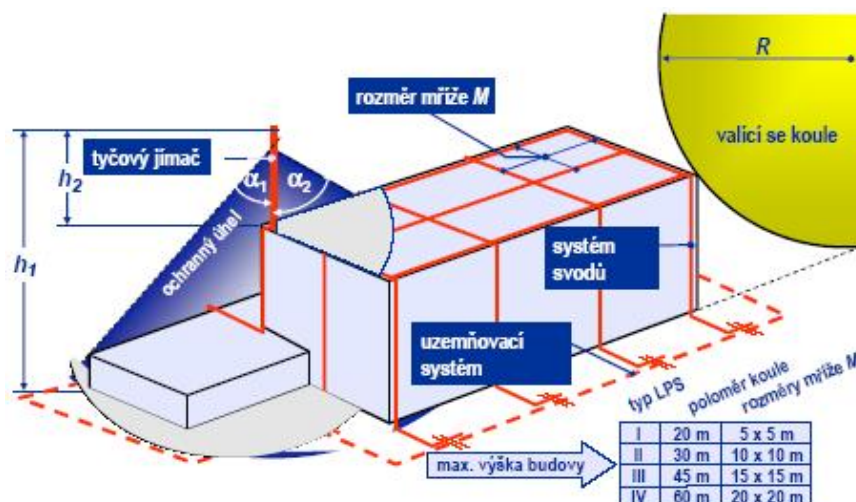
- **metoda valící se koule;**
- **metoda ochranného úhlu;**
- **metoda mřížové soustavy.**

Všechny tyto tři metody lze kombinovat v rámci návrhu jednoho objektu.

Tabulka stanovení ochranných prostorů pro poloměr valící se koule, ochranného úhlu a mřížové soustavy dle typu LPS:

Třída LPS	Poloměr valící se koule r (m)	Velikost ok w (m)	Ochranný úhel α (°)
I	20	5 x 5	
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Tab. 2. 4. Vztah mezi třídou LPS, poloměrem valící se koule, ochranným úhlem a velikostí ok mříživé soustavy



Obr. 2.14. Princip návrhu jímací soustavy metodou ochranného úhlu, mřížové soustavy a valící se koule

Metody stanovení ochranných prostorů jímací soustavy:

Metoda valící se koule je nejuniverzálnější projekční metodou, která je doporučena pro geometricky komplikované příklady. Poloměr valící se koule simuluje vstřicný výboj ze země nebo z jímací soustavy proti vřdicímu výboji, který sestupuje z mraku.

Metoda mřížové soustavy může být použita univerzálně, nezávisle na výšce a tvaru střechy objektu. Jímací soustava musí být umístěna pokud možno na vnějších hranách objektu. Kovová atika může být použita jako náhodný jmač, splňuje-li podmínky dimenzování.

Metoda ochranného úhlu je odvozena od metody valící se koule a je vhodná pro budovy s jednoduchými tvary. Ochranný úhel tyčového jmače je závislý na třídě LPS (ochranné úrovni) a na výšce chráněného objektu. Jímací vedení, jímací tyče, oka a dráty by měly být navrženy tak, aby všechna zařízení a konstrukční části, které jsou součástí chráněného objektu, ležely v ochranném prostoru jímací soustavy.

Provedení jímací soustavy u objektu s neoddáleným hromosvodem může být realizováno následujícími způsoby:

- pokud střecha není z hořlavého materiálu, může být jímací soustava položena na střeše objektu;
- je-li střecha z lehce hořlavého materiálu, musí být dodržena vzdálenost mezi jímacím vedením a materiálem střechy. Dostatečná vzdálenost je minimálně 10 cm.

□ Svody

Soustava svodů musí především bleskový proud zachycený jímací soustavou bezpečně odvést do uzemňovací soustavy. Typickou rozteč mezi svody uvádí ČSN EN 62305-3 v tabulce 4. Aby se snížila pravděpodobnost škod způsobených bleskem, který poteče LPS je nutno rozmístit svody tak, aby mezi místem úderu a zemí:

- bylo více paralelních drah proudu,
- délka dráhy byla co možná nejkratší,
- podle vzdálenosti kovových částí od svodu bylo buď provedeno ekvipotenciální pospojování (připojení ke svodu) nebo striktně dodržet dostatečnou vzdálenost od svodu.

Typické vzdálenosti mezi svody jsou uvedeny v tabulce 5.

Třída LPS	Obvyklé rozteče svodů (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tab. 2. 5. Obvyklé rozteče svodů podle třídy LPS

□ Uzemnění

Důležitými kritérii uzemnění jsou jeho tvary a rozměry tak, aby došlo k rozdělení bleskového proudu do země a byla zmenšena nebezpečná přepětí. Všeobecně se doporučuje zemní odpor nižší než 10Ω .

Rozlišují se dva základní druhy uzemnění.

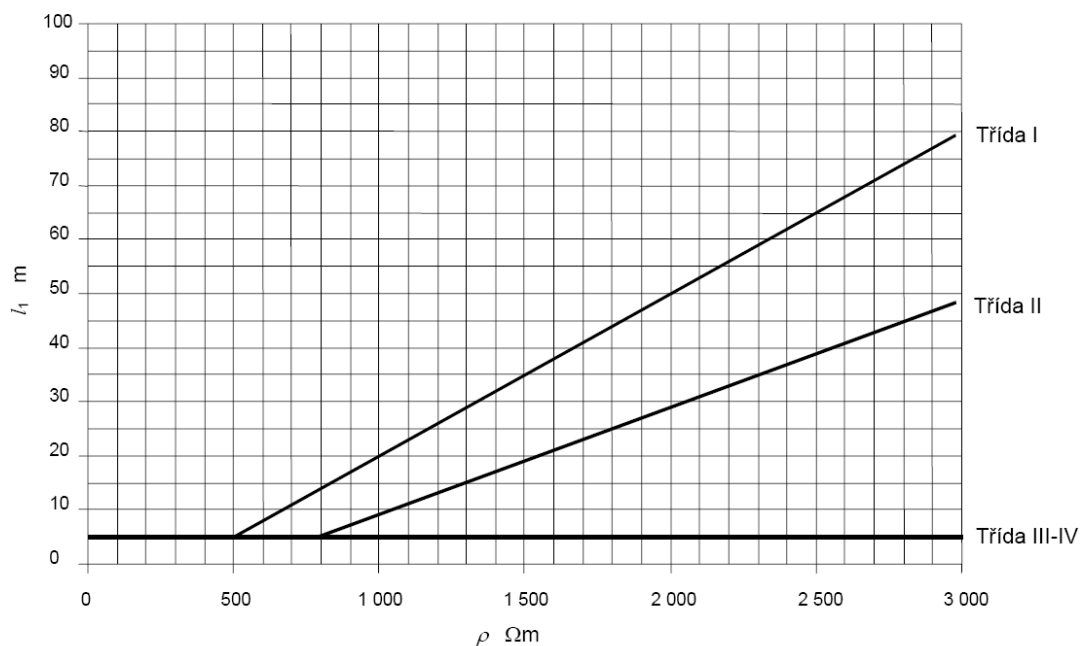
- Uspořádání Typ A

Toto uspořádání se skládá z vodorovného nebo svislého zemniče, instalovaného vně chráněné stavby, který je spojen s každým svodem. Minimální počet zemničů jsou dva. Minimální délka zemniče l_1 je závislá na třídě LPS a rezistivitě půdy ρ ($\Omega \cdot m$). Minimální délka nemusí být dodržena, je-li zemní odpor uzemnění menší než 10Ω .

Minimální délka každého zemniče je

- l_1 pro vodorovný zemnič,
- $0,5 \cdot l_1$ pro svislý (tyčový) zemnič.

Minimální délka zemniče se určí z následujícího grafu:



l_1 - délka zemniče (m), ρ - rezistivita půdy ($\Omega \cdot m$),
Třída LPS III a LPS IV nejsou závislé na rezistivitě půdy ρ .

Obr. 2.15. Minimální délky zemničů s ohledem na třídu LPS a rezistivitu půdy

- Uspořádání Typ B

Toto uspořádání sestává buď z **okružního zemniče vně objektu**, nebo ze **základového zemniče**. U tohoto zemniče nesmí být střední poloměr r_e plochy, která je odvozena od okružního nebo základového zemniče menší než l_1 , kde l_1 je délka zemniče dle Typu A.

$$r_e = \sqrt{\frac{A}{\pi}}, \quad (3)$$

kde A (m^2) je plocha vytvořená obvodem okružního nebo základového zemniče.

$$r_e \geq l_1, \quad (4)$$

Je-li požadovaná hodnota l_1 větší, než odpovídající hodnota r_e , musí být dodatečně instalován vodorovný nebo svislý zemnič. Skutečná délka pro vodorovný zemnič je

$$l_r = l_1 - r_e \quad (5)$$

a pro svislý (tyčový) zemnič je

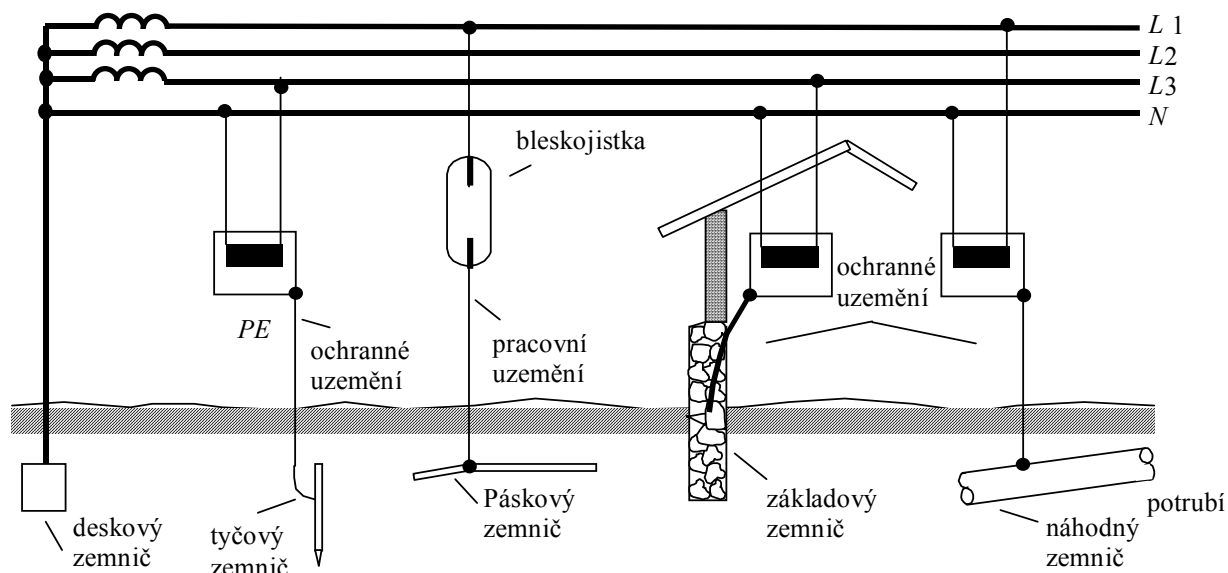
$$l_v = \frac{(l_1 - r_e)}{2}. \quad (6)$$

Počet dodatečných zemničů nesmí být menší, než počet svodů.

Zemnič Typ A musí být uložen v zemi minimálně 0,5 m pod povrchem mimo chráněný objekt a pokud možno co nejrovnoměrněji rozdělen. Zemnič Typ B by měl být uložen v hloubce minimálně 0,5 m v zemi a ve vzdálenosti asi 1,0 m od vnějších zdí objektu.

Jako náhodného zemniče by mělo být přednostně použito vzájemné spojené ocelové armování v základovém betonu nebo jiné podzemní části z kovu.

Příklady zemničů:



Obr. 2.16. Typy používaných zemničů a druhy uzemnění

□ Materiál LPS

Svody stejně jako jímací soustava a uzemnění mají za úkol svést plné resp. dílčí bleskové proudy. Proto (a to i s ohledem na mechanickou a korozní odolnost) jsou minimální rozměry svodů (a částečně i jímačů) uvedeny v tab. 6. Z hlediska snášenlivosti nesmí být měď ve styku s FeZn ani Al součástmi. Totéž platí i pro umístění tj. měď by neměla být nad hliníkem nebo ocelí (voda vymílá měděné špony).

materiál	tvar	minimální průřez (mm ²)	poznámka
měď	pásek drát lano	50 50, 200 ¹⁾ 50	min. tloušťka 2 mm Ø 8 mm min. Ø každého drátu 1,7 mm
hliník (resp. slitina AlMgSi)	pásek drát lano	70 (50) 50, 200 ¹⁾ 50	min. tloušťka 3 mm Ø 8 mm min. Ø každého drátu 1,7 mm
pozinkovaná ocel	pásek drát lano	50, 200 ¹⁾ 50 50	min. tloušťka 2,5 mm Ø 8 mm min. Ø každého drátu 1,7 mm
nerezová ocel (V2A, V4A)	pásek drát lano	50 50, 200 ¹⁾ 70	min. tloušťka 2 mm Ø 8 mm min. Ø každého drátu 1,7 mm

200¹⁾ – použití jen pro jímací tyče

Tab. 2. 6. Materiál a minimální rozměry svodů a jímačů

materiál	provedení	minimální rozměry			poznámka
		tyčový zemnič	zemnicí vodič	deskový zemnič	
měď	lano		50 mm ²		min. Ø každého drátu 1,7 mm
	drát		50 mm ²		Ø 8
	pásek		50 mm ²		min. tloušťka 2 mm
	drát	Ø 15 mm			
	trubka	Ø 20 mm			min. tloušťka stěny 2 mm
	deska			500 x 500	min. tloušťka 2 mm
ocel	pozinkovaný drát	Ø 16 mm	Ø 10 mm		
	pozinkovaná trubka	Ø 25 mm			min. tloušťka stěny 2 mm
	pozinkovaný pásek		90 mm ²		min. tloušťka 3 mm
	pozinkovaná deska			500 x 500	min. tloušťka 3 mm
nerez ocel	drát	Ø 15 mm	Ø 10 mm		
	pásek		100 mm ²		min. tloušťka 2 mm

Tab. 2. 7. Materiál a rozměry vodičů uzemňovací soustavy

Pro uzemnění se prakticky v ČR používá s ohledem na korozi následujících materiálů.

- Pro uložení v zemi je doporučována nerezová ocel V4A, resp. pro plné uložení v zemi pozinkovaná ocel,
- Pro plné uložení v betonu ocel, pozinkovaná ocel a nerezová ocel třídy V4A a měď.

Není doporučováno užití mědi v zemi a pozinkované oceli na přechod beton – půda.

Hliník a jeho slitiny nesmí být užity pro uzemňovací soustavu.

❑ Elektrická izolace vnějšího LPS

Při průchodu plného nebo dílčího bleskového proudu systémem LPS dochází na tomto vodiči k nárůstu napětí oproti ostatním k LPS nepřipojeným kovovým částem. Aby se zabránilo nebezpečnému jiskření mezi systémem LPS a vodivými součástmi stavby je v principu možné buď tyto části vodivě spojit se systémem LPS (tím dochází k vyrovnání potenciálů) nebo dodržet tzv. dostatečnou vzdálenost od všech vzájemně spojených částí LPS.

Vztah pro určení dostatečné vzdálenosti je uveden v rovnici (7).

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l, (7)$$

kde koeficient

k_i je závislý na zvolené třídě LPS;

k_c závislý na bleskovém proudu, který protéká svody;

k_m závislý na materiálu elektrické izolace;

l délka v metrech podél jímací soustavy nebo délka svodů od bodu, u kterého by měla být zajištěna dostatečná vzdálenost, až k nejbližšímu vyrovnání potenciálů.

Hodnoty koeficientu k_i , k_m , k_c jsou uvedeny v tabulkách 8 – 10.

třída LPS	k_i
I	0,08
II	0,06
III a IV	0,04

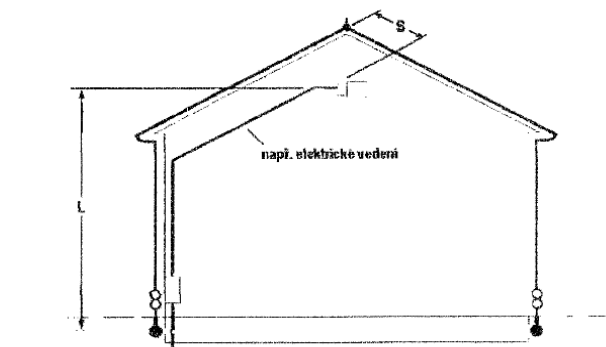
materiál	k_m
vzduch	1
beton, cihla	0,5

typ jímací soustavy	počet svodů n	k_c	
		zemnič typu A	zemnič typu B
samostatný jimač	1	1	1
dráty nebo lana	2	0,66	0,5 – 1
mřížová soustava	4 a více	0,44	0,25
mřížová soustava	4 a více, spojeny vodorovným okružním vedením	0,44	1/n – 0,5

Tab. 2. 8. – 10. Koeficienty k_i , k_m , k_c pro určení dostatečné vzdálenosti

Pozn. V dnešní době jsou k dispozici vodiče HVI s vysokonapětovou izolací, které zaručují izolaci na úrovni dostatečné vzdálenosti 45 resp. 70 cm ve vzduchu a tudíž mohou být v kontaktu s kovovými částmi stavby.

Příklad použití vzdálenosti „s“ pro ochranu uvnitř stavby:



Obr. 2.17. Příklad použití dostatečné vzdálenosti s proti nebezpečnému jiskření uvnitř stavby



Shrnutí pojmů 2.4.

LPS je systém ochrany před bleskem, skládá se z vnějšího LPS a vnitřního LPS. Vnější LPS je to co chápeme v klasickém pojetí jako hromosvod, vnitřní LPS je ekvipotenciální pospojování a nebo izolace.

Metoda valící se koule je metoda návrhu jímací soustavy převalením bleskové koule (koule jejíž body dotyku se zemí resp. chráněnou stavbou vyjadřují pravděpodobná místa úderu blesku) přes chráněný objekt

Dostatečná vzdálenost je vzdálenost vnitřních kovových instalací od svodů, při které je nepravděpodobný přeskok z kovové části svodu (vodiče vnější LPS) na tuto kovovou instalaci. Nekontrolovatelný přeskok může nastat při nedodržení této vzdálenosti a způsobit požár nebo výbuch.



Otázky 2.4.

5. Popište princip návrhu jímací soustavy metodou valící se koule, ochranného úhlu a mřížové soustavy.
6. Vyjmenujte materiály používané pro LPS (ve vzduchu – tj. jímač a svod a v zemi).
7. Napište vztah pro výpočet dostatečné vzdálenosti s včetně objasnění významu jednotlivých koeficientů.
8. Nakreslete používané typy zemničů.

2.5. Vnitřní systém LPS



Čas ke studiu: 0,2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- objasnit podstatu vnitřního LPS a způsobu zabránění nebezpečnému jiskření
- pochopit podstatu a význam ekvipotenciálního pospojování



Výklad

□ Podstata vnitřního LPS

Vnitřní LPS musí zabránit nebezpečným jiskřením uvnitř chráněné stavby, které mohou být způsobené průtokem dílčího bleskového proudu ve vnějším LPS, ale také v jiných vodivých částech stavby. Nebezpečná jiskření mohou vznikat mezi vnějším LPS a jinými součástmi jako:

- kovovými instalacemi (vodovod, topení, plyn, vzduchotechnika);
- vnitřními systémy (sítě datové, sítě nízkého napětí, sítě požárních a zabezpečovacích systémů);
- vnějšími vodivými částmi a vedeními připojenými ke stavbě;

Těmto nebezpečným jiskřením může být zabráněno:

- ekvipotenciálním pospojováním;
- elektrickou izolací (popsáno v minulé kapitole).

□ Ekvipotenciální pospojování proti blesku

Vyrovnání potenciálů se dosáhne vzájemným propojením LPS s

- kovovými částmi stavby;
- kovovými instalacemi;
- vnějšími vodivými částmi a vedeními připojenými ke stavbě.

V podstatě je toto pospojování totožné s hlavním pospojováním v domě, které je prováděno jako prostředek pro zamezení úrazu elektrickým proudem. Oproti ochrannému pospojování jsou zde dva rozdíly:

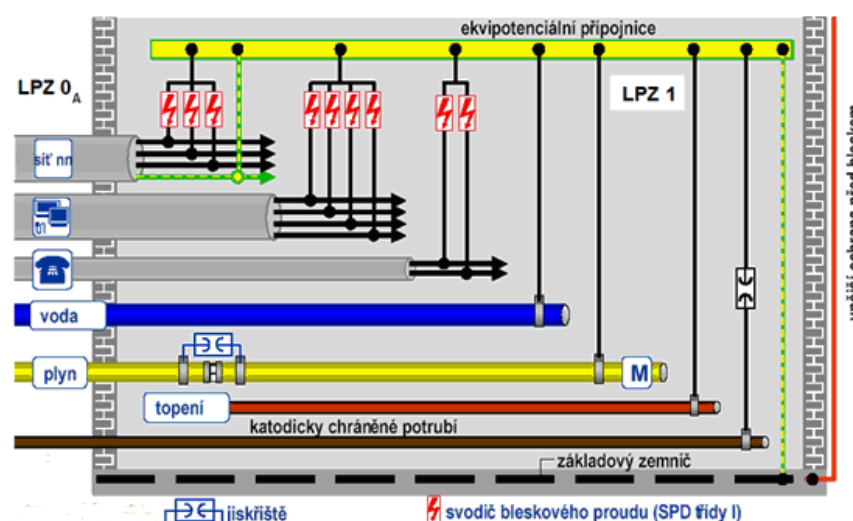
- Průřezy vodičů se liší od průřezů uváděných v normě na uzemnění a PE vodiče (ČSN 33 2000 – 5 – 54 ed.2).
- Do sféry ekvipotenciálního pospojování se zahrnují všechny kovové části a vodiče, avšak pospojování musí být funkční jen při úderu blesku.

Druhý uvedený požadavek rozebereme podrobněji. Připojení všech vodičů na přípojnicí pospojování by logicky vyvolalo zkrat napájecí sítě. Rovněž u některých částí nemusí být žádoucí, aby pospojování fungovalo trvale s ohledem na odolnost elektrolytické koroze a jiné požadavky např. vývod plynu z budovy. Proto se mezi datové event. fázové vodiče vnitřních systémů (sítě nn, sítě datové) popř.

mezi nevodivou spojku potrubí, spojení uzemnění atd. vkládá prvek s nižší izolační hladinou výdržného napětí – svodič přepětí, který lze chápat jako nejslabší místo, kde k přeskoku a s tím související vyrovnání potenciálu dojde. Je lepší připustit průchod proudu svodičem přepětí, který je-li správně navržen, je reverzibilní tj. schopen násobné funkce, než nechat proud prohořet instalaci ve stěně event. v elektrickém zařízení, což následně vede k jeho destrukci.

Po zapůsobení činnosti svodiče přepětí se tedy všechny vodiče sítě dostanou prakticky na stejný potenciál (prakticky lišící se o pracovní napětí jiskřiště). Tudíž mezi nimi nedojde k nekontrolovatelným přeskokům. Takto instalovaný systém je schopen zabránit nebezpečnému jiskření, které může iniciovat požár nebo výbuch, popř. pravděpodobnost úrazu dotykovým event. krokovým napětím.

Pro funkci svodičů přepětí se v tomto případě používají svodiče bleskových proudů třídy I, které jsou nejčastěji realizovány jako uzavřená jiskřiště nebo varistorové svodiče přepětí. Tyto svodiče musí být schopny opakovaně vést dílčí bleskové proudy (desítky kA) aniž by podlehly destrukci.



Obr. 2.18. Ekvipotenciální pospojování vnitřního systému LPS

Minimální rozměry vodičů, které spojují mezi sebou různé sběrnice vyrovnání potenciálů nebo uzemňovací soustavu jsou uvedeny v tab. 11, minimální rozměry vodičů, které spojují mezi sebou vnitřní kovové instalace se sběrnicemi vyrovnání potenciálů jsou uvedeny v tab. 12.

třída LPS	materiál	průřez (mm ²)
I - IV	měď	14
	hliník	22
	ocel	50

Tab. 2. 11. Rozměry vodičů pro spojení ekvipotenciálních přípojníc mezi sebou a uzemňovací soustavou

třída LPS	materiál	průřez (mm ²)
I - IV	měď	5
	hliník	8
	ocel	16

Tab. 2. 12. Rozměry vodičů pro spojení ekvipotenciálních přípojníc s kovovými instalacemi



Shrnutí pojmů 2.5.

Ekvipotenciální pospojování lze chápat jako vyrovnání potenciálů (pospojování) LPS s kovovými částmi stavby, kovovými instalacemi a kovovými vodivými částmi připojenými ke stavbě.



Otázky 2.5.

9. Z výše uvedených informací odvoďte co se stane, nedojde – li k ekvipotenciálnímu spojení fázových vodičů napájecí sítě přes SPD (svodič přepětí), po úderu blesku do budovy.

2.6. Ochrana elektrických a elektronických systémů ve stavbách



Čas ke studiu: 0,2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vyjmenovat možnosti způsobů ochrany elektronických systémů ve stavbách
- klasifikovat druhy svodičů přepětí a charakterizovat jejich použití
- pochopit účel členění zón ochran před bleskem



Výklad

□ Principy ochrany

Pokud nad rámec výše uvedených ochran je nutno zabezpečit ochranu elektrických nebo elektronických systémů ve stavbách (např. počítačů, dat, datových ústředn, přístrojů monitorujících popř. podporujících životní funkce pacienta) je nutno zabezpečit komplexní ochranu před přepětím.

Přepětí vzniká v důsledku přímého nebo blízkého průchodu plného nebo dílčího bleskového proudu jednak jako úbytek na vodiči v důsledku průchodu tohoto proudu jednak jako naindukované napětí na smyčkách tvořených vodiči v důsledku rychlé změny elektromagnetického pole. Tato přepětí vznikají ve vzdálenosti až 250 m od místa úderu blesku viz kap. 1.3.

Systém ochrany před tímto přepětím jsou navíc k funkčnímu systému LPS následující:

- omezení intenzity magnetického pole vzdáleností od vodičů, které vedou plný event. dílčí bleskový proud, případně rozdělení bleskového proudu do více paralelních drah (nižší pole);
- omezením intenzity magnetického pole stíněním stavby, např. stíněním stavby popř. části stavby nebo stíněním vodičů event. chráněného elektronického zařízení;
- opatření při trasování kabelů k omezení velikosti smyček (čím větší smyčka tím větší přepětí se v ní naindukují);
- pro napájecí sítě a přívodní vodiče k chráněným zařízením potom instalace víceúrovňové ochrany před přepětím.

Jak je patrné z výše uvedeného nelze rozhodně ochranu před přepětím chápat jako pouhou instalaci svodičů přepětí na chráněné vodiče.

□ Svodiče přepětí

Svodiče přepětí se vyrábějí ve 3 třídách.

Třída I je určena jako součást LPS a slouží k svodu bleskových proudů, jedná se nejčastěji o SPD v provedení jiskřiště. Výhodou jiskřiště jsou stálé parametry, nevýhodou je delší doba reakce.

Třída II se instaluje pro ochranu běžných spotřebičů, je schopna svádět pouze dílčí bleskové proudy avšak je zpravidla na rozdíl od třídy I rychlejší. Většinou se jedná o varistorové SPD.

Třída III je potom určena k ochraně citlivých elektronických zařízení. Jedná se o varistor v kombinaci s plynovou bleskojistkou a vysokofrekvenčním filtrem.



Obr. 2.19. Svodiče přepětí typu I, II, a III.

Při montáži je nutno dodržet pokyny výrobce svodičů přepětí. Jedná se především o vzdálenost svodičů od sebe, dodržení výrobcem doporučených konfigurací a event. povinnost instalovat oddělovací tlumivku mezi svodiče. Rovněž z důvodu koordinace není vhodné bez předchozího ověření výpočtem kombinovat svodiče různých výrobců příp. typy, jenž nejsou určeny pro společnou instalaci.

Svodiče přepětí se instalují na rozhraní jednotlivých zón ochrany před bleskem.

□ Zóny ochrany před bleskem

Z hlediska ochrany před přepětím jsou ve stavbě definovány zóny ochrany před bleskem. Zóna je definována z hlediska přímého a nepřímého účinku blesku (atmosférického přepětí – LEMP). Rozeznáváme tyto zóny ochrany před bleskem:

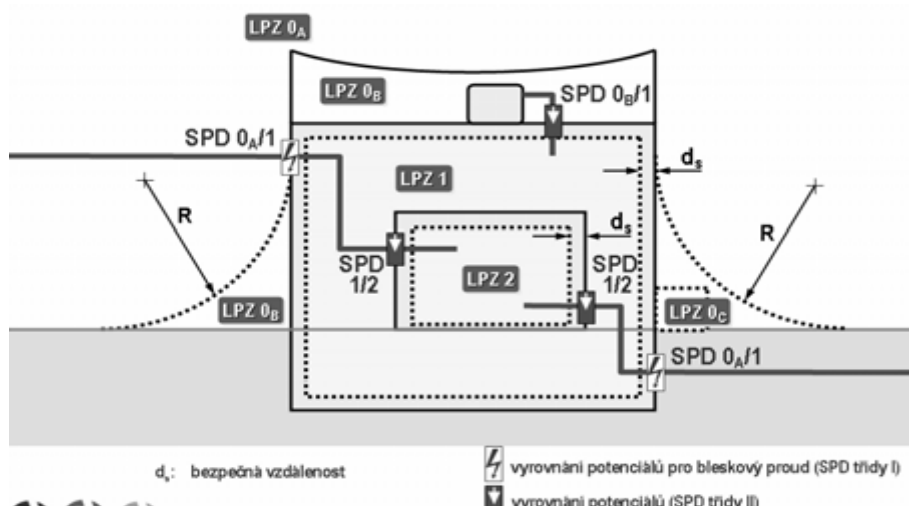
- LPZ 0 _A	Vnější nechráněný prostor mimo objekt. Zóna, ve které je ohrožení způsobeno přímým úderem blesku a plným elektromagnetickým polem. Vnitřní zóny jsou namáhány plným impulzním bleskovým proudem.
- LPZ 0 _B	Vnější prostor chráněný jímacím zařízením hromosvodu a prostor u vnějších zdí objektu, terasy a nižší střeby. Zóna chráněna před přímým úderem blesku, ale kde ohrožení je způsobeno plným elektromagnetickým polem. Vnitřní systémy mohou být namáhány dílčími impulsními bleskovými proudy.
- LPZ 1	Vnitřní prostor za vnějšími zdmi a pod střeby objektu. V zóně není možný přímý úder blesku, elektromagnetické pole bleskových výbojů je tlumené. Útlum je závislý na tloušťce a materiálu zdí, na materiálu a velikosti ok Faradayovy klece tvořené hromosvodem, uzemněním, vodiči potencionálního vyrovnání.
- LPZ 2	Vnitřní prostor místností a chodeb u vnitřních stěn objektu. V zóně není možný přímý

	úder blesku, elektromagnetické pole je tlumené. Útlum je závislý na materiálu a stínění vnitřních stěn.
- LPZ 3	Prostor uvnitř kovových skříní elektrických zařízení, prostor uvnitř odstíněných místností.

Tab. 13. Zóny ochrany před bleskem

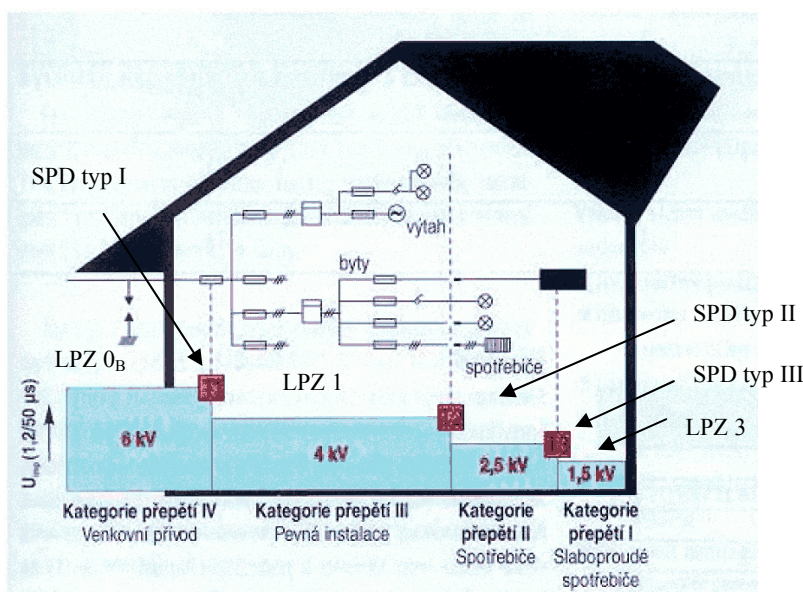
Na hranicích každé jednotlivé zóny musí být zřízena ekvipotenciální přípojnice a stínící opatření.

Zóny ochrany před bleskem (LPZ) jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr. 2.20. Definice zón ochrany před bleskem

Z hlediska uvažovaných přepětí platí, že svodiče přepětí se instalují na hranici zón ochrany před bleskem. Na hranici zóny LPZ 0B a LPZ 1 se instaluje svodič třídy I, na hranici zón LPZ 1 a LPZ 2 se instaluje svodič třídy II, na hranici LPZ 2 a LPZ 3 se instaluje svodič třídy III. Velikost nejvyšších uvažovaných přepětí a jeho omezení na hranicích zón je patrné na obr. 14.



Obr. 2.21. Uvažované maximální hladiny přepětí pro síť 3*400 V pro jednotlivé zóny ochrany před bleskem

Jednotlivé zóny se liší jednak velikostí uvažovaného přepětí, kterým bude chráněné zařízení vystaveno, jednak hodnotou intenzity magnetického pole v dané zóně. Snížení této intenzity je v zásadě možné, jak již bylo popsáno v úvodu kap. 1.6. stíněním části stavby, zvýšením vzdálenosti od míst průchodu dílčího bleskového proudu, stíněním chráněného zařízení a/nebo napájecích kabelů. Teprve poté za předpokladu dodržení všech výše zmíněných zásad lze hovořit o ucelené koncepci ochrany citlivých elektronických systémů před přepětím.



Shrnutí pojmů 2.6.

Svodiče přepětí prvky s nelineární V-A charakteristikou (jejich odpor není konstantní). Fungují tak, že po překročení určité hodnoty přepětí buď de-facto vyzkratují chráněné vodiče (jiskřiště – svodiče spínající přepětí) nebo začnou propouštět proud při dalším již malém nárůstu napětí (varistory – svodiče omezující napětí).

Zóny ochran před bleskem - LPZ jsou členěním objektu a jeho okolí podle velikosti předpokládaného přepětí a intenzity magnetického pole po úderu blesku. Hranice těchto zón jsou zpravidla hranice, kde se mění stínění stavby (ocelové stínění, armování) vzdálenost od svodů. Vedení propustující těmito zónami musí být buď stíněná a uzemněná nebo opatřena svodiči přepětí.



Otázky 2.6.

10. Proč nestačí pro ochranu elektronického zařízení instalovat poblíž chráněného zařízení svodič přepětí třídy III ?
11. Může být citlivé elektronické zařízení poškozeno vlivem úderu blesku i když není připojeno žádné vnitřní síť ?



Další zdroje, použitá literatura

- [1] Hájek, J., Šamanský, D.: První elektronická Knížka, verze 2.0, www.kniska.eu
- [2] TNI 34 1390, Ochrana před bleskem, komentář k souboru EN 62305, ČNI, 12-2008
- [3] ČSN EN 62305 – 1 (12/2006) Ochrana před bleskem, část 1 – Obecné principy
- [4] ČSN EN 62305 – 2 (12/2006) Ochrana před bleskem, část 2 – Řízení rizika
- [5] ČSN EN 62305 – 3 (12/2006) Ochrana před bleskem, část 3 – Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života
- [6] ČSN EN 62305 – 4 (12/2006) Ochrana před bleskem, část 4 – Elektrické a elektronické systémy ve stavbách



CD-ROM

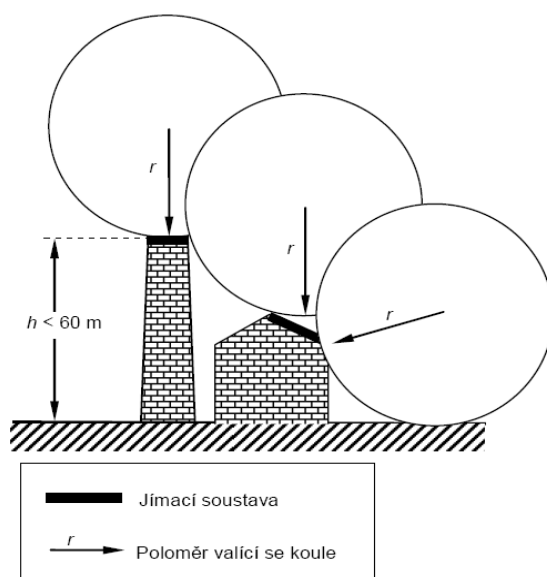
Na přiloženém disku CD ROM naleznete praktický postup měření uzemnění objektů jako doplňující informace k probírané látce. Dále na disku CD – ROM naleznete postupy při revizích a kontrolách elektrických spotřebičů třídy ochrany I a II a postup při ověřování proudových chráničů s reziduálním proudem 30 mA a 300 mA, tyto postupy si studenti prezenční formy sami prakticky vyzkouší v laboratorních cvičeních.



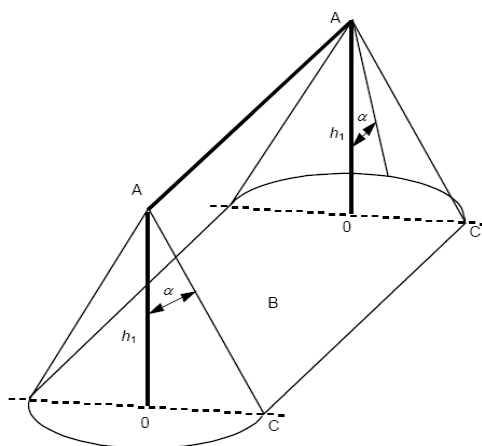
Klíč k řešení

Odpovědi na otázky, výsledky řešení úloh, nápovědy, návody k řešení složitých projektů ap.

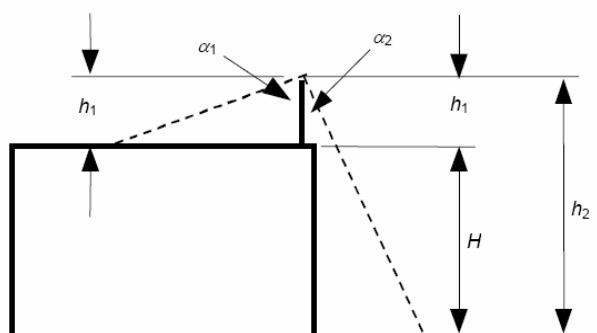
- O. 1 Maximální parametry bleskového proudu je nutné zohlednit z důvodu dimenzování součástí LPS (ochran před bleskem), vysoký proud způsobuje vyšší ohřev materiálů, zvětšuje úbytky napětí a zvyšuje riziko nebezpečného jiskření
Minimální proud je uvažován z důvodu návrhu jímací soustavy. Čím nižší proud chceme systémem LPS zachytit, tím hustší síť jímáčů potřebujeme (viz poloměr valící se koule).
- O. 2 Úder blesku do budovy může poškodit sousední budovy jedním ze dvou důvodů – tím „méně“ nebezpečným je elektromagnetické pole vyvolané průchodem bleskového proudu vnějšími součástmi LPS (hromosvodu), tím druhým častějším důvodem je zavlečení přepětí a dílčího bleskového proudu skrze inženýrské sítě (nejčastěji napájení nízkého napětí a datové a kabelové sítě) do sousední budovy, viz obr. 5.
- O. 3 Při úderu blesku do stavby a následném vzniku požáru (příčina S1, škoda D2) může jednak shořet (ne)chráněný objekt – to je logicky ztráta L4, pokud se jedná o památkově chráněnou stavbu (kostel, zámek) pak dojde se zničením stavby zároveň ke ztrátě kulturních hodnot L3, pokud stavba slouží k zásobování obyvatel elektrickou energií (rozvodna), vodou nebo plynem dojde ke ztrátě služeb veřejnosti L2 a pokud se v budově zdržují lidé, kteří následkem požáru event. výbuchu zahynou dojde ke ztrátě L1.
- O. 4 Metoda řízení rizika umožňuje optimálně konfigurovat jednotlivá ochranná opatření pro stavbu. Podstatou této metody je dosažení nižšího celkového rizika než je hladina tzv. přípustného rizika R_T . Pokud je stavba malých rozměrů v oblasti s relativně nízkou bouřkovou činností je riziko úderu blesku do stavby relativně malé. Mnohem vyšší riziko škod je pro úder do inženýrské sítě (příčina S3 a S4), ojedinele tedy je možné dosáhnout dostatečné ochrany pouze tzv. ekvipotenciálním pospojováním a instalací svodičů bleskových proudů. (Viz. ČSN EN 62305 – 2, příloha H, příklad H1.)
- O. 5 Na níže uvedených obrázcích je princip návrhu jímací soustavy metodou
a) valící se koule pro skupinu staveb, b) ochranného úhlu pro závěsový nebo hřebenový hromosvod, c) ochranného úhlu v blízkosti hran objektu, d) mřížovou soustavu.



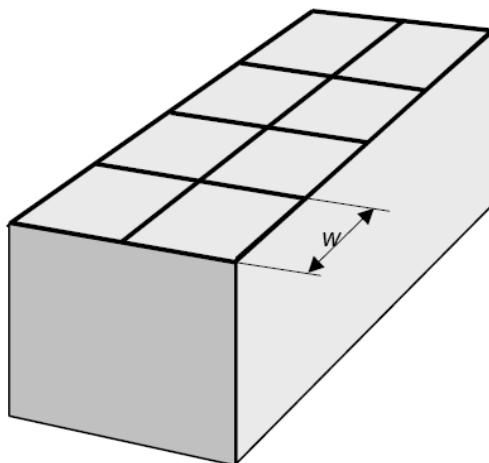
Obr. a)



Obr. b)



Obr. c)



Obr. d)

- O. 6 Viz materiál LPS v příslušné kapitole
- O. 7 Ve vztahu pro výpočet dostatečné vzdálenosti figurují koeficienty k_i , který zohledňuje maximální proud blesku (je závislý na třídě LPL), čím vyšší bleskový proud, tím větší bude i potřebná dostatečná vzdálenost, dále koeficient k_c , který zohledňuje poměrné rozložení bleskového proudu do svodů, čím více svodů a rovnoměrněji rozložený bleskový proud, tím nižší proud teče každým jednotlivým svodem, koeficient k_m zohledňuje vliv materiálů, nejlepší izolaci poskytuje vzduch, naopak beton nebo cihla vzhledem ke zbytkové vlhkosti prakticky zdvojnásobují přeskokové vzdálenosti. Posledním členem je délka svodu l od vyšetřovaného místa do místa ekvipotenciálního pospojování (uzemnění objektu). Čím vyšší je délka části svodu, tím vyšší je i odpor a indukčnost daného úseku a tím vyšší je i úbytek napětí na svodu. Proto s délkou svodu roste přímo úměrně i dostatečná vzdálenost.
- O. 8 Viz článek uzemnění v kap. 1.4.
- O. 9 Úder blesku vyvolá úbytek napětí na svodech (částech LPS), ne všechny proudy je odveden uzemněním do země, cca 50 % proudu teče přes hlavní ochrannou přípojnicí do vodiče PE resp. PEN a tento proud teče tímto vodičem do napájecí sítě. Tento proud, jehož velikost jsou jednotky až desítky kA vyvolá úbytek napětí (rozdíl napětí) v jednotkách kV což je ovšem více než izolační hladina vodiče PE vůči fázovým vodičům (pracovní napětí je 230 V AC). Proto dojde s vysokou pravděpodobností k průrazu izolace. Další následky (vytrhání vedení ze zdi, odpaření vedení, požár) jsou odvislé od dalších faktorů, které přesahují rámec rozebírané problematiky.
- O. 10 Svodič přepětí třídy III sice vyniká rychlou reakcí a účinně omezuje přepětí, ale není konstrukčně stavěn na průchod dílčích bleskových proudů, navíc se zpravidla instaluje co nejblíže chráněnému zařízení, což v praxi vedle destrukce daného svodiče znamená zavlečení bleskového proudu dovnitř do budovy a po budově. Je navíc vysoce pravděpodobné, že dojde i k poškození napájecího vedení.
- O. 11 Bohužel ano, i když toto není tak časté. Důvod je, že ač zařízení není připojeno k síti (tedy vystaveno vlivu přepětí ze sítě) důsledkem blízkého úderu blesku a průchodu dílčích bleskových proudů svody vzniká silné elektromagnetické pole. Toto pole na smyčkách vodičů indukuje napětí, které může přesáhnout impulsní výdržné napětí vnitřních součástek. Riziko tohoto poškození roste s velikostí smyčky (délka, plocha antény, délka vodičů k čidlům, senzorům atd.)

Rejstřík

bezpečnostní modul.....	15
bezpečnostní relé	15
diagnostické pokrytí.....	24
Dostatečná vzdálenost.....	52
Ekvipotenciální pospojování.....	55
identifikace nebezpečí.....	19
kategorie SRP/CS.....	24, 26
kategorie zastavení strojního zařízení.....	17
Keraunická mapa.....	40
LPS	52
Metoda valící se koule.....	52
nebezpečí.....	7
nouzové vypnutí	17
nouzové zastavení.....	17
nucené rozpínání	14
nucené vedení kontaktů	14
opatření realizována konstruktérem.....	9
opatření realizována uživatelem	9
organizační opatření	9
Poloměr valící se koule	40
princip redundance.....	13
princip různosti	13
Přepětí	40
Přípustné riziko	44
riziko	7
Riziko	44

SRP/CS.....	11
stroj, strojní zařízení.....	7
střední doba do nebezpečné poruchy	23
Svodiče přepětí	58
škoda	7
Škoda.....	44
technická opatření.....	9
Třídy LPL	40
úroveň vlastností PL	20
zbytkové riziko	9
Zóny ochran před bleskem - LPZ.....	58
Ztráta	44