

Zkoušky odolnosti proti vnitřnímu obloukovému zkratu v transformačních stanicích a rozvodnách

Illo-Frank PRIMUS, Jan BÍLEK, Jaroslav HAVLÍK

Téma účinků vnitřního obloukového zkratu na rozváděče vysokého napětí a prostory pro rozvodná zařízení zaměstnává odborníky již mnoho let. Trend vyrábět stále kompaktnější rozváděče a umísťovat je do stále menších, a tím levnějších objektů vedl ke zvyšujícím se nárokům na bezpečnost těchto zařízení při vnitřním obloukovém zkratu. Výrobci rozváděčů a dodavatelé stavebních objektů provedli velké množství zkoušek na vnitřní obloukový zkrat, takže dnes máme k dispozici bohaté zkušenosti.

Již v dosavadních ustanoveních – mimo jiné DIN VDE 0101, DIN VDE 0670, díl 6, dodatek (AA) [1], a rovněž ČSN EN 61330 – jsou stanoveny obecné pokyny pro prevenci a snižování nebezpečí vyvolaných vnitřními obloukovými zkraty. Podle těchto předpisů musí být rozváděče zhotovovány tak, aby byla zajištěna velmi dobrá ochrana obsluhujících osob, a jejich provedení a instalace musí zaručovat, že ani v případě poruchy nedojde k ohrožení osob v jejich bezprostřední blízkosti.

Tab. 1. Kategorie budov a příslušné velikosti obestavěného prostoru pro rozváděče vn

Druh budovy	Budova stanice		Budova rozvodny	
	obsluha zvenku, bez možnosti vstupu; prefabrikovaná	obsluha zevnitř, možnost vstupu; prefabrikovaná	prefabrikovaná	zhotovená na místě
Objem prostoru s rozváděčem vn [m ³]	2 až 4	5 až 80	63 až 900	
Půdorys prostoru s rozváděčem vn [m ²]	0,9 až 1,7	1,8 až 25	20 až 150	
Objem budovy [m ³]	6,6 až 15	16 až 81	75 až 2 000	
Půdorys budovy [m ²]	4 až 7	6 až 28	22 až 300	
Převážná hmotnost [kN]	85 až 125	126 až 450	180 až 500	

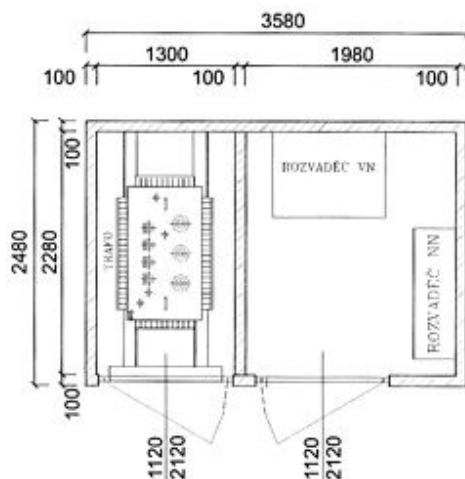
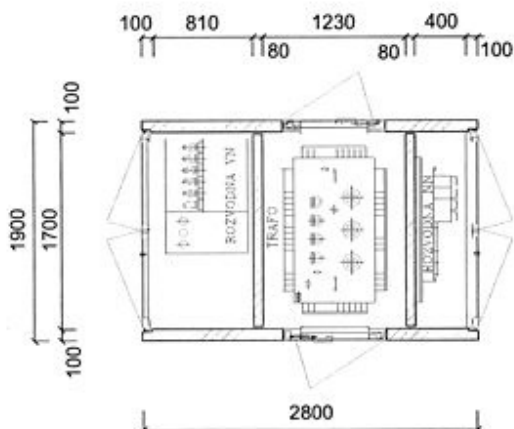
V našich podmínkách je konstrukce budov stanic upravena normou ČSN EN 61330. Blokované transformovny vn/nn, která nejen uvádí doporučení k omezení účinků vnitřních poruch a postupy při testování těchto účinků, ale předepisuje i zkoušky oteplení, zkoušky stupně krytí, zkoušky odolnosti

proti mechanickému namáhání atd. V této normě se prefabrikovanými stanicemi rozumějí také objekty umístěné zcela nebo částečně pod zemí a budovy montované z několika částí.

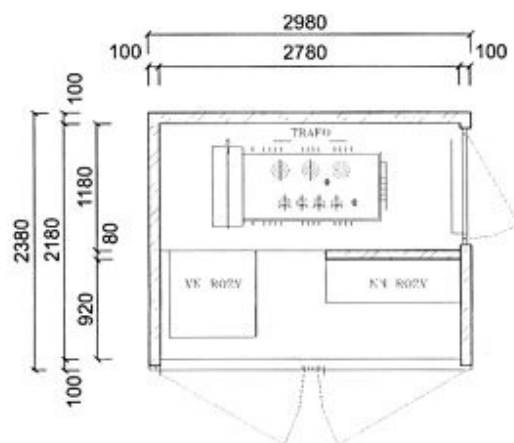
Objekty pro transformační stanice a konfigurace zařízení

Budovy stanic lze rozdělit do čtyř kategorií, popsaných v tab. 1. Typické půdorysy kompaktních stanic bez možnosti vstupu osob ukazuje obr. 1. Nahoře je uvedena kompaktní distribuční stanice UK 1700. Jiný typ – stanice UK 3024, přístupná pouze zepředu (na obrázku dole) – splňuje požadavky na větší rozsah zařízení vysokého a nízkého napětí a hodí se i pro instalaci do předzahradek. Na půdorysech jsou znázorněny i typické konfigurace zařízení.

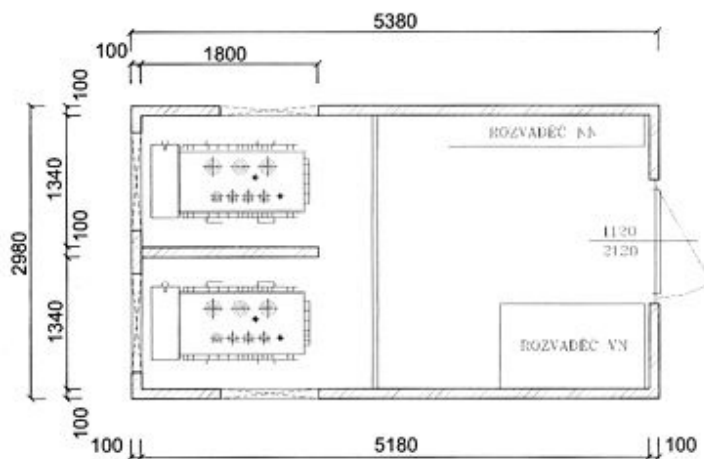
Stanice s možností vstupu osob pro energetické rozvodné podniky nebo průmyslové závody lze dělit na různé typy podle počtu místností (obr. 2).



Obr. 2. Typické stanice s možností vstupu osob s jednou a dvěma místnostmi



Obr. 1. Typické půdorysy a umístění zařízení u stanic bez možnosti vstupu osob



Větší (zde neuvedené) průmyslové stanice mají obecně více transformátorů do 630 kVA, popř. také velké transformátory do 2 500 kVA a větší vysokonapěťové a nízkonapěťové rozváděče. Odpovídajícím způsobem u nich rostou také hodnoty objemu obestavěného prostoru.

U budov rozvoden se rozlišuje provedení s rozvodným zařízením vn s dvojitými nebo jednoduchými přípojnými. Délka rozvodny může být až 23 m, šířka rozvodny se řídí typem rozváděče a je 3 až 7 m.

Účinky vnitřního obloukového zkratu a požadavky na budovu

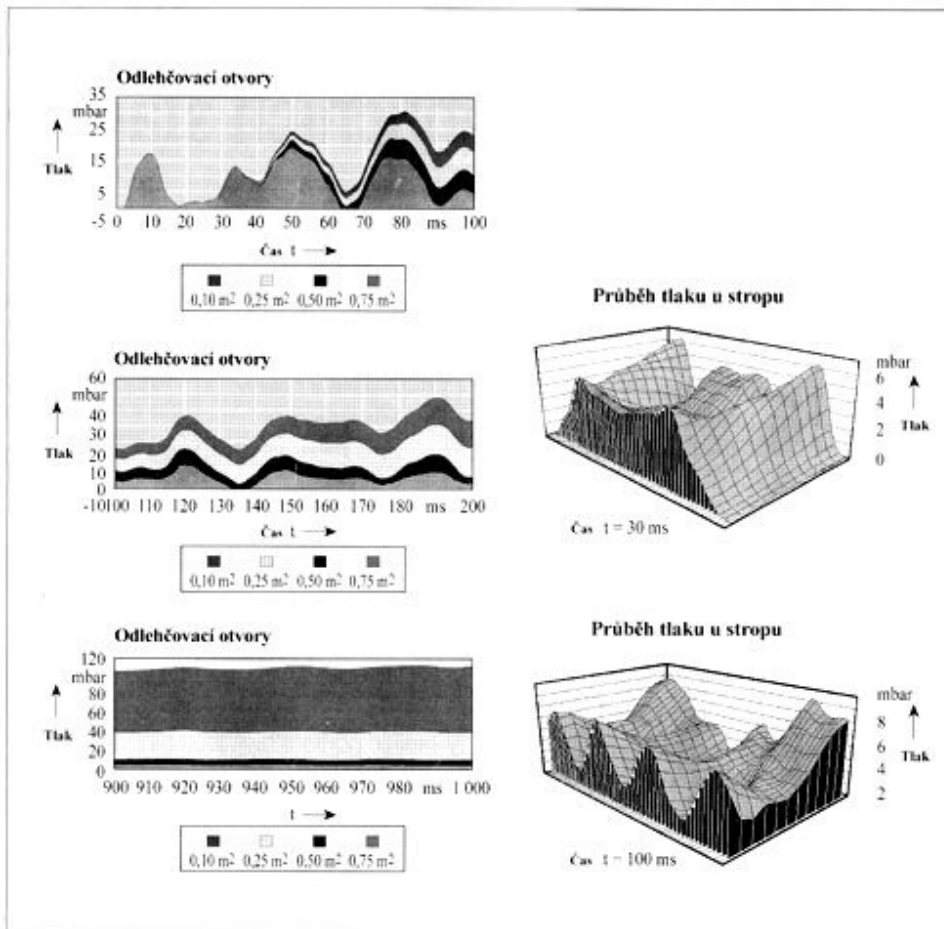
Pro odolnost budovy proti vnitřnímu obloukovému zkratu (dále jen zkratu) má význam především mechanické a tepelné namáhání.

Pro obsluhující personál i pro náhodného chodce je důležité, aby nebyl zraněn, ať už účinky tlakové vlny nebo výronem horkých plynů.

Stavební části transformačních stanic a rozvoden by v případě zkratu neměly popraskat, neměly by začít hořet ani by z nich neměly odlétávat uvolněné části. Nikdo by neměl být poraněn v důsledku působení tlakové vlny ani výronu horkých plynů, nepovolným osobám by měl být trvale zamezen přístup k zařízení – jak před událostí, tak po ní, vstup oprávněných osob by měl být možný bez jakýchkoli omezení i po zkratu a mělo by být možné uvést stavbu do původního stavu s vynaložením co nejmenších nákladů, pokud možno bez přerušování provozu.

Aby se vyhovělo těmto požadavkům, je třeba pro stavby a jejich komponenty použít stabilní a ohnivzdorné konstrukce s dostatečnou pevností v tlaku. Ohnivzdornost je při vysokých teplotách, které mohou v objektu vzniknout, nejlépe zaručena použitím nehořlavých stavebních materiálů třídy A podle DIN 4102. To je splněno, pokud se – tak jako u zde uvedených stanic – jako konstrukční materiál použije beton, ocel nebo hliník. Výjimku tvoří odklopné dřevěné desky mezipodlah a komponenty elektrického zařízení. Dřevěné mezipodlahy jsou z několikanásobně vrstvené a klížené překližky s malou rychlostí hoření. Protože zkrat při zkoušce netrvá déle než 1 s, je i při jejím použití zajištěna dostatečná ohnivzdornost.

Hůře zvládnutelné než požární odolnost jsou unikající horké plyny a tlaková vlna. Popisem těchto událostí v rozváděčích se zabývají práce [2] až [9]. Průběh tlaku v rozváděčích izolovaných vzduchem nebo plynem SF₆ se velmi liší. Zatímco v rozváděčích se vzduchovou izolací je maximální tlak dosaženo již po 10 až 20 ms a



Obr. 3. Účinek odlehčovací otvorů a typický průběh tlaku u stropu místnosti

tento tlak obvykle nepřekročí hodnotu 300 až 500 mbar, tlak v kompaktních rozváděčích v pouzdře s izolací SF₆ dosahuje hodnot výrazně vyšších, a to 2,5 až 6 bar, a až po výrazně delší době – přibližně 80 až 900 ms, kdy je uvolněn přes průřeznou membránu do budovy.

Po dosažení maximálního tlaku v nádobě rozváděče (fáze komprese) nastává fáze expanze, fáze emise a tepelné fáze, při nichž ohřátý vzduch nebo ohřátý plyn proudí z tělesa rozváděče do místnosti.

Uvolněním tlaku v nádobě rozváděče se zvyšuje tlak v rozvodně, a to v závislosti na objemu rozvodny a na ploše otvorů pro uvolnění tlaku ve stěnách budovy. Velikost první tlakové špičky v rozvodně na této ploše závislá není. Poté v rozvodně vznikne tlak tím vyšší, čím menší je objem rozvodny a čím menší jsou její otvory pro uvolnění tlaku.

Z průběhu závislosti tlaku na čase a místě (obr. 3) vyplývá, že v prvních 50 až 70 ms nelze zjistit téměř žádný rozdíl této závislosti na ploše otvorů pro uvolnění tlaku a že průběh tlaku má výrazné výkyvy. V dalším časovém úseku 100 až 200 ms již lze pozorovat pokles hodnot tlaku u objektů s otvory o velikosti 0,75 m² i 0,5 m². U men-

ších otvorů, o velikosti 0,25 m², se tlak ustálí na hodnotě asi 30 mbar. U nejmenších otvorů, o velikosti 0,1 m², však tyto hodnoty tlaku s časem stále rostou.

Dále je třeba konstatovat, že do 200 ms nebo i déle se projevuje silné dynamické namáhání. Účinky dynamického namáhání lze pozorovat na trojrozměrném grafu průběhu tlaku u stropu stanice. Při tomto namáhání mají vibrační síly účinek podobný např. účinkům zemětřesení.

F. Pigler [5] uvádí pro budovy odolné proti zkratu při použití cihlové stěny o tloušťce 24 cm s cementovou maltou a pečlivým napojením obvodových stěn a stropů maximální přípustný tlak v místnosti 3 až 10 mbar (tab. 2).

Cihlové stěny s výztuží mohou krátkodobě vydržet tlak až 25 mbar a prefabrikované díly až 50 mbar. Jako důkaz slouží pokus, při kterém stěna z plných vápenopískových cihel spojených maltou popraskala při tlaku 26 mbar po 65 ms. Rozhodující pro mez přípustného tlakového zatížení jsou podle [5] většinou konstrukce obvodových stěn. Stěny z monolitického betonu mohou v závislosti na tloušťce a armování vydržet ještě vyšší tlak. S možnostmi prefabrikovaných systémových konstruk-

Tab. 2. Hodnoty přípustného tlaku ve stanicích a prostorech s rozváděči v závislosti na jejich konstrukci

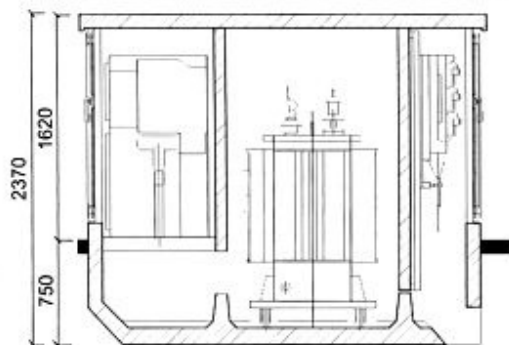
Druh stěny	Přípustný tlak v místnosti [mbar]
cihlová stěna (masivní cihly, dutinové cihly, pórobeton)	3 až 10
cihlová stěna s výztuží	25
prefabrikované betonové panely	50
monolitický beton	≥70
konstrukce prostorových buněk z betonu	160

ci, které jsou dnes známy, se však podařilo u monolitických konstrukcí prostorových betonových buněk dosáhnout vyšší odolnosti v tlaku, než uvádí [5]. Při zkouškách odolnosti proti zkratu v kompaktních stanicích (bez možnosti vstupu osob) byly prokazatelně naměřeny hodnoty tlaku uvnitř stanice 750 mbar pod rozváděčem, u rozvodu a transformačních stanic s možností vstupu osob v obslužné chodbě 90 až 160 mbar a v kabelovém prostoru až 210 mbar při objemu např. 9 m³ a velikosti otvoru pro uvolnění tlaku 0,25 m².

Zvládnutí účinků zkratu, výběr materiálů a konstrukce staveb

V průběhu doby byla v souvislosti se zkouškami odolnosti proti vnitřnímu obloukovému zkratu vyvinuta řada koncepcí, které snižují škodlivé vlivy na budovy a zaručují bezpečnost obsluhy a chodců.

Na příkladu stanice bez možnosti vstupu osob (dále jen kompaktní stanice) nyní popíšeme opatření ke zvládnutí účinků zkratu. Základní koncepcí všech stavebních prvků pro budovy stanic a rozvodů je prostorová buňka z monolitického betonu, jejíž podlaha a čtyři stěny se vyrábějí metodou zvonového lití vcelku, bez pracovních spár. Buňka je doplněna samostatně položenou železobetonovou střešní deskou. Monolitická bezspárová konstrukce s armovací-



Obr. 4. Kompaktní stanice bez možnosti vstupu osob, odolná proti vnitřnímu obloukovému zkratu

mi sítěmi vedenými průběžně přes hrany tělesa propůjčuje buňkám zvlášť vysokou tuhost, která je ještě znásobena skříňovým účinkem zesíleným přidávkou výztuží.

U kompaktních stanic je třeba zvládnout působení tlakové vlny a horkých plynů na velmi krátké dráze. To umožňuje konstrukce buněk z monolitického betonu a princip uvolnění tlaku, který je u všech kompaktních stanic podobný, jak ukazuje obr. 4.

Rozváděč vysokého napětí je upevněn na dostatečně dimenzovanou konstrukci mezipodlahy. Mezipodlaha úplně uzavírá kabelový prostor pod rozváděčem. Desky podlahy jsou závorami upevněny k nosným profilům. Při odtakování rozváděče, ať už z nádoby nebo z prostoru kabelových koncovek, se tlak odvádí dolů, do kabelového prostoru. Odtud se tlaková vlna a horké plyny dostanou speciálním otvorem o velikosti asi 0,25 m² do transformátorové komory a odtud větracími otvory ven. V otvoru betonové přepážky je několikastrvrstvá kovová mříž, která značně zchladí plyny unikající do transformátorové komory, čímž dojde ke snížení účinku tlaku. V transformátorové komoře se horké plyny znovu zchladí na chladicích žebrech, povrchu transformátoru a stěnách a při výstupu děrovaným plechem větracích prvků ven již jejich teplota a tlak neohrožují bezpečnost chodců.

Příští článek bude věnován stanicím s možností vstupu osob a velkým rozvodnám.

Literatura

- [1] DIN VDE 0670, díl 6 (1994); IEC 298 (1990): Metallgekapselte Wechselstromanlagen für Nennspannungen über 1 kV bis einschliesslich 52 kV.
- [2] GRAF, D.: Druckentwicklung beim Störlichtbogenfall in Schaltanlagen und Schaltanlagegebäuden, Referat auf der Betonbau-GmbH-Informationstagung im Auftrag der Consulectra-Unternehmensberatung GmbH Hamburgische Elektrizitätswerke AG, 1987.
- [3] DRIESCHER, A., HOLLMANN, F., HÖRCHENS, H.: Störlichtbögen und deren Beherrschung in Mittelspannungs-Netzstationen mit Lastschaltanlagen, Elektrizitätswirtschaft, 91, 1992, č. 26, s. 1753-1759.
- [4] FALTIN, C., HAUER, H., EBERHARD, R.: Ein neues Programm zur Berechnung der Druckbeanspruchung von Gebäuden im Störlichtbogenfall, e&i, 110, 1993, č. 4, s. 201-208.
- [5] FIGLER, F.: Druckbeanspruchung der Schaltanlagenräume durch Störlichtbögen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 26, 1976, č. 3, s. 94-98.
- [6] KINDLER, H., SHELS, W.: Systematische Untersuchung zur Störlichtbogensicherheit von Schaltfeldern und Schaltanlagen, Tech. Mitteilungen AEG-Telefunken, 65, 1975, č. 1/2, s. 24-34.
- [7] FOHRMANN, F., HAUKE, R., SCHLÜTER, B.: Druckverlauf und Energieumsatz bei inneren Lichtbögen in Luft und SF₆, etz, 114, 1993, č. 11, s. 704-707.
- [8] SCHUMACHER, M., PIETSCH, G., DULLNI, E.: Zum Druckanstieg in Gebäuden bei Störlichtbögen in Innenraum-Schaltanlagen, Elektrizitätswirtschaft, 93, 1994, č. 22, s. 1347-1353.
- [9] DIRKS, R.: Elektrische Fehler und Schadensverläufe in SF₆-isolierten Mittelspannungs-Lastschaltanlagen, Elektrizitätswirtschaft, 85, 1986, č. 7, s. 280-284.

Dr.-Ing. Illo-Frank Primus je technický ředitel Betonbau GmbH Waghäusel (SRN), Ing. Jan Bílek je jednatel Betonbau, s. r. o., Praha, Ing. Jaroslav Havlík je vedoucí oddělení marketingu elektro Betonbau, s. r. o., Praha.