

ZÁKLADY PROBLEMATIKY VÝBUCHU A JEJICH VLIVL NA STAVEBNÍ KONSTRUKCE

Pavel Vrba, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
pavel.vrba@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Práce pojednává o základních charakteristikách potřebných pro zorientování v problematice výbuchů a jejich vlivu na konstrukce. Jsou představeny zdroje výbuchu, dělení dle způsobu uvolnění energie, mechanizmy jakými k explozi dochází. Podrobněji je popsán hlavním destruktivním činitelem, kterým je tlaková vlna, její dělení a způsob šíření. Jsou představené některé běžně používané způsoby pro analýzu chování konstrukce při zatížení tohoto charakteru. V závěru jsou představeny některé alternativní přístupy ke stanovení rozsahu poškození způsobené tlakovou vlnou.

Cílem práce bylo sestavit ucelený přehled základních informací potřebných pro další výzkum v této oblasti. Nabyté poznatky byly využity při plnění projektu zodolnění Letiště Praha a při plnění SGS číslo SGS19/035/OHK1/1T/11.

KLÍČOVÁ SLOVA

výbuch, tlaková vlna, vzdušná rázová vlna, plastické přetvoření, rotační kapacita, dynamická analýza, stupeň volnosti

ABSTRACT

The following paper is dedicated to explosions and their impact on construction behavior. It focuses on basic properties that are essential to get a basic overview. The following variables are introduced: the sources of explosions, mechanics that cause explosions, and the differences in energy-releasing. In detail, there is explained the main destructive factor which is the pressure wave with related properties such as the way of spreading and the typology of pressure waves. Furthermore, the paper introduces the typical approaches to analyze the structure affected by the explosion. In the end, the paper focuses on alternative methods to determine the range of damage caused by the pressure wave.

The paper aimed to put together a basic overview of the essential principles which can be the basis for the next research in the presented field. The gained knowledge was used in the project of improving the defense against the threat of explosion in the Vaclav Havel Airport Prague and the ongoing work in the project of **Student Grant Competition** with the number SGS19/035/OHK1/1T/11.

KEYWORDS

Explosion, pressure wave, shock wave, plastic strain, rotation capacity, dynamic analysis, degree of freedom

1. ÚVOD

S ohledem na zvýšený důraz na ochranu zdraví a životů obyvatel a dle nedávných událostí ve světě, kdy jedním z posledních témat byla havárie v Bejrútu se problematika vlivu výbuchů na stavební konstrukce stává diskutovaným tématem. Návrh zejména strategických staveb infrastruktury by tedy měl zohledňovat i mimořádná zatížení způsobená lidským pochybením nebo zhoubným úmyslem jako jsou výbuchy, nárazy dopravních prostředků apod.

Účinky výbuchu jako je tlaková vlna nebo unášené trosky a úlomky jsou z hlediska navrhování konstrukcí mimořádným zatížením. Stanovení jejich destruktivního charakteru je velmi obtížné, a proto se často přistupuje k zjednodušení jejich popisu nebo použití empirických postupů.

Nejčastěji diskutovaným tématem, o kterém pojednává i následující příspěvek je vliv tlakové vlny vniklé od výbuchu. Tento účinek v minulosti byl a nadále je zkoumán a jeho teorie je již značně ukotvena. Nedílnou součástí výbuchu jsou pak letící projektily ať už ze samotného obalu explodujícího prvku, nebo fragmenty trosek, které s sebou tlaková vlna unáší. Tyto projektily a jejich lokální působení mají destruktivní pro křehké materiály a jsou obzvláště nebezpečné pro obyvatelstvo. Souběžným působením projektilů s tlakovou vlnou a jejich vliv na zatížení konstrukcí je předpokládán směr, jakým by se následující výzkum měl ubírat.

Tento příspěvek se zabývá úvodem do problematiky výbuchů a jejich účinku na stavební konstrukce, který je nutný k pochopení problematiky a jejímu dalšímu rozvíjení.

2. VÝBUCH

2.1. Podstata výbuchu

Jako výbuch je označován děj spojený s uvolněním značné energie během velmi krátkého časového intervalu. Uvolněná energie se obvykle šíří formou tlaku, tepla, zvuku a světla. Důsledkem výbuchu bývá poškození nebo úplné zničení blízkých konstrukcí a zařízení.

Podle druhu a původu reakce můžeme výbuchy rozdělit na jaderné, fyzikální a chemické. Stavební konstrukce jsou

* Školitel: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

nejčastěji ohrožovány výbuchem chemického původu. Ty lze dále rozdělit na: výbuch kondenzované výbušniny, výbuch plynu a výbuch prachových disperzí.

Zásadní vliv na parametry tlakových vln má také charakter prostředí, tedy zda k výbuchu dochází v otevřeném nebo uzavřeném prostoru.

2.2. Mechanismy výbuchu

Níže uvedené mechanismy jsou společné pro všechny druhy výbuchu spojené s uvolňováním chemické energie. Rozdělení je provedeno s ohledem na rychlost děje a jeho následný tlakový projev.

Deflagrace neboli explozivní hoření je mechanismus vyznačující se nižšími rychlostmi hoření a nízkými tlaky (obvykle do jednotek MPa).

Přechod mezi deflagrací a detonací je spojený s nárůstem rychlosti hoření i tlakem v čele tlakové vlny (do 1000 m.s⁻¹).

Detonací označujeme mechanismus s rychlostí tlakové vlny přesahující 1000 m.s⁻¹, která přináší okamžitý nárůst tlaku až na hodnotu desítek GPa.

2.3. Zdroje výbuchu

Jako zdroje výbuchu mohou sloužit nejrůznější hořlavé a výbušné látky, stlačené plyny nebo reakce prachových/kapalných částic v aerobním prostředí. Pro srovnání destruktivních účinků jednotlivých látek se používá tzv. TNT-ekvivalent.

2.4. Výbuch kondenzované výbušniny

Za výbušninu považujeme látku, která je schopna uvolnit obrovské množství energie formou velmi rychlé chemické reakce, a to bez ohledu na okolní podmínky. Funkce látky označované jako výbušnina není podmíněna spolupůsobením s okolím a je jí možné použít v jakémkoli prostředí (např.: anaerobní prostředí, pod vodou, v horninách a zeminách). Vytvoření tlakové vlny je obvykle zapříčiněno rozkladem látky se složitou strukturou na produkty s jednodušší strukturou a zároveň uvolnění tepelné energie.

Podle způsobu využití dělíme výbušniny do následujících čtyř kategorií. Střeliviny, třaskaviny, trhaviny, pyrotechnické složky. Třaskaviny a trhaviny zpravidla detonují, u střelivin a pyrotechnických složek je projev individuální.

2.5. Výbuch oblaku par/plynu

Tato forma výbuchu vyžaduje interakci s okolním prostředím. Nejprve musí dojít k distribuci a smíšení výbušné látky se vzduchem. Následně je nutné výbuch iniciovat. Výbuch tohoto typu je způsoben rychlým hořením promíseného oblaku, který způsobuje nárůst tlaku. Následky výbuchu oblaku plynu nebo páry jsou silně ovlivněny velikostí oblaku a okolními podmínkami (koncentrace paliva, druh paliva, interiér/exteriér).

2.6. Výbuch prachové disperze

Jedná se o exotermickou reakci, ke které dochází pouze v uzavřeném prostředí. Pro tento typ výbuchu je důležitá velikost palivového materiálu a jeho rozptýlení v prostoru. Pokud budou mít prachové částice dostatek prostoru pro hoření a zároveň dostatečně malé vzdálenosti rozestupů pro rychlý přenos hoření dojde po iniciaci hoření k náhlému urychlení procesu hoření, který vygeneruje tlakovou vlnu.

S ohledem na množství proměnných je velmi obtížné výbuchy oblaku plynu/páry a prachové disperze řídit nebo přesně analyzovat. K takovýmto výbuchům může docházet bez přímého zavinění.

3. RÁZOVÁ VLNA

3.1. Podstata tlakové vlny

Důsledkem všech výbuchů je vytvoření a následné šíření tlakové vlny. Charakteristiky tlakové vlny jako například rychlost nebo intenzita jsou ovlivněny chemickými vlastnostmi výbušniny nebo fyzikálním stavem hořlavé látky a její reakce s okolním prostředím.

Výbuch vyvolává následující projevy:

- Tlaková (rázová/spojitá) vlna vzduchu
- Rázová vlna v podloží
- Rozlet prvotních trosek/fragmentů
- Druhotné fragmenty vznikající jako produkt tlakových vln

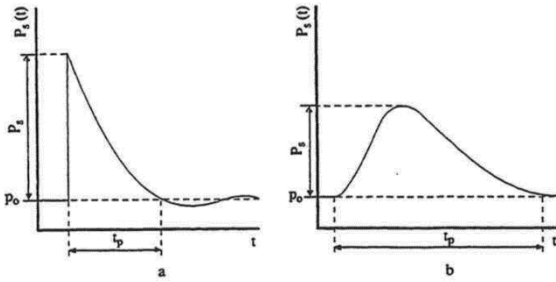
Hlavní složkou zatížení způsobeného výbuchem je šíření tlakové vlny. K šíření dochází rychlostí přesahující rychlost zvuku. Na čele rázové vlny se nachází oblast se zvýšeným tlakem vzduchu. Za čelem rázové vlny dochází naopak ke snížení tlaku vzduchu. V obou případech je změna tlaku spojena se schopností rázové vlny unášet fragmenty trosek určitými. Na čele rázové vlny se fragmenty pohybují směrem od epicentra, naopak v oblasti nižšího tlaku je možný pohyb zpět.

Tlaková vlna se z epicentra výbuchu šíří formou kulových vlnoploch. Po střetu s překážkami (celé objekty, ale také jednotlivé konstrukční prvky nebo jejich složky – materiálová nehomogenita) dochází k odrazům tlakové vlny, které její tvar následně deformují.

3.2. Vzdušná rázová a spojitá vlna

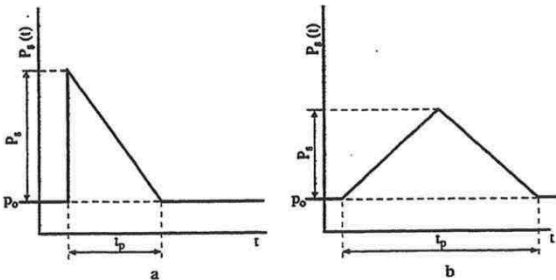
Podle rychlosti děje výbuchu je možné rozdělit rázové vlny na dvě základní kategorie.

- a) Vzdušná rázová vlna (VRV) je stav, ke kterému dochází při detonaci. Rychlost výbuchu a s tím spojeného tlaku na čele vlny je téměř okamžitá. VRV je spojována s výbuchem kondenzovaných výbušnin nebo s velmi silnými výbuchy plynů.
- b) Vzdušná spojitá vlna (VSV) k níž dochází při deflagraci. Nárůst tlaku na čele vlny je oproti VRV pozvolný. Ke spojitě vlně dochází při výbuchu plynů.



Obrázek 1: Průběhy tlaku v čase od jednotlivých tlakových vln

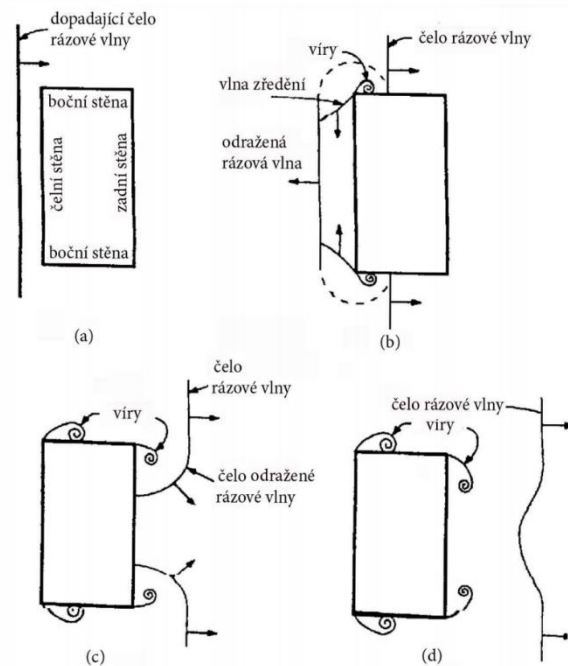
Charakter jednotlivých tlakových vln je znázorněn na grafech výše. Pro účely zjednodušených analýz se používají idealizované trojúhelníkové tvary (obrázek 2).



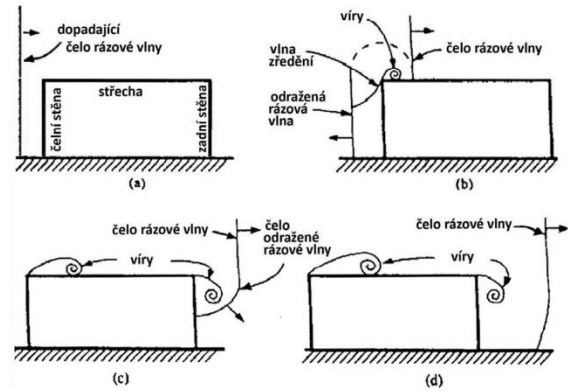
Obrázek 2: Zjednodušené průběhy tlaku v čase

3.3. Šíření tlakové vlny v otevřeném prostoru

Jak bylo již zmíněno, nárazem tlakové vlny na překážku dochází k její modifikaci. V takovém případě nezáleží pouze na časovém průběhu výbuchu, ale také na orientaci překážky a směru postupující tlakové vlny. Při kontaktu s překážkou dochází k odrazu části tlakové vlny, v zóně odrazu vzniká dynamický tlak a na hranách objektu dochází k tvorbě vírů. Jevy jsou podrobně popsány na následujících obrázcích.



Obrázek 3: Schéma narušení tlakové vlny překážkou - půdorys



Obrázek 4: Schéma narušení tlakové vlny překážkou - pohled

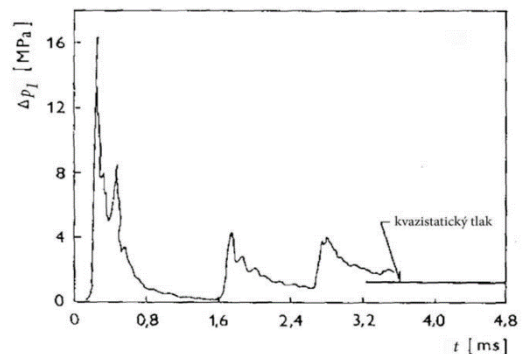
Pokud dojde k odrazu tlakové vlny, přetlak na jejím čele se zvyšuje. Nárůst přetlaku odpovídá vzdálenosti, tuhosti a materiálu zasaženého prvku. Tužší a masivnější konstrukce přebírají od dopadu a odrazu tlakové vlny větší zatížení. Naopak poddajnější materiály umožňující disipaci energie přispívají k snížení zatížení konstrukce.

Šíření tlakové lze rozdělit podle prostředí ve kterém k němu dochází na šíření v otevřeném prostoru a na šíření v částečně nebo zcela uzavřených prostorech. V případě šíření tlakových vln v otevřeném prostoru platí výše uvedené principy. Naopak u šíření v uzavřených prostorech je situace složitější.

3.4. Šíření tlakové vlny v částečně nebo zcela uzavřeném prostoru

U výbuchů v ohraničených prostorech se zásadním způsobem projevuje vliv odrazů tlakové vlny od jednotlivých prvků heterogenního prostředí. Při odrazech pak vznikají oblasti, ve kterých se účinky těchto odražených vln sčítají, což vede k lokálnímu značnému zvýšení účinků.

Po rychlé deflagraci nebo při detonaci v uzavřeném prostoru je zatížení zasažených objektů rozděleno do dvou fází. Nejprve dochází k šíření samotné tlakové vlny, jejím odrazům a interferencím s dalšími vlnami. Po zeslabení účinků rázových vln dochází k druhé fázi, kdy je objekt zatížen kvazistatickým tlakem vznikajícím od chemické reakce (vliv expanze spalín). Pokud je prostor zcela uzavřen, má přetlak dlouho trvající efekt, naopak pokud prostor umožňuje ventilaci dochází k útlumu tohoto vlivu.



Obrázek 5: Průběh tlaku od výbuchu v neventilovaných komorách

Obrázek výše popisuje průběh tlaku v neventilovaných prostorách. V porovnání s obrázkem 1 je patrná složitost popisovaného děje.

Šíření tlakové vlny v uzavřeném prostředí je komplexní děj, k jehož řešení se často používá řada zjednodušujících faktorů a empirických vzorců. Při zjednodušeném posuzování dílčích prvků konstrukce například lze za určitých podmínek použít principy šíření tlakové vlny v otevřeném prostoru (Makovička, 2009).

3.5. Projevy tlakové vlny

3.5.1. Odraz tlakové vlny

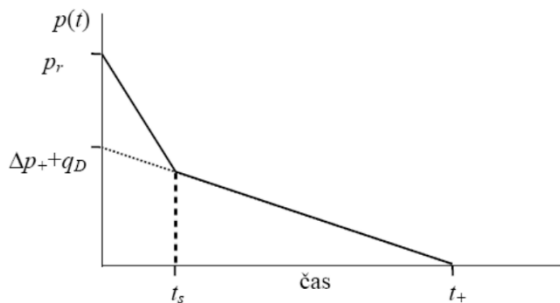
Odraz tlakové vlny má opačný směr vůči vlně dopadající. Během odrazu je povrch zatěžován přetlakem odražené vlny, který je větší než přetlak vlny dopadající. Poměr mezi těmito tlaky se nazývá odrazný koeficient.

3.5.2. Dynamický tlak

Po odrazu tlakové vlny je odrazný povrch vystaven zatížení vyplývající z vytěsnění vzduchu („explosion wind“). Dynamický tlak způsobený tímto jevem je odvislý od dopadajícího a odraženého tlaku a tvaru objektu.

3.5.3. Zatížení odrazného povrchu

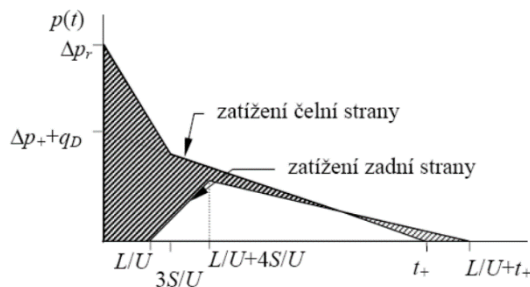
Vlivem dopadajících na odražených vln na hranách objektu se tvoří vlna zředění. Vlivem této vlny tlak na postupující (prvotní) rázové vlny klesá. Výsledné zatížení povrchu v čase lze popsat pomocí odrazného a dynamického tlaku (viz obrázek 6).



Obrázek 6: Schéma závislosti tlaku na čase pro odrazný povrch

3.5.4. Zatížení objektu

Zatížení dopadové plochy tlakové vlny bylo popsáno výše. Zatížení ostatních ploch (boky a zadní stěny) je závislé na čase a místě. S postupem obtékáním objektu tlakovou vlnou se mění okrajové podmínky tohoto děje.



Obrázek 7: Znárodnění horizontálního zatížení objektu výbuchem v čase

3.5.5. Zatížení zadní strany objektu

Po překonání objektu tlakovou vlnou vzniká na jeho zadní stěně oblast sníženého tlaku. Toto zatížení má charakter sání a jeho hodnota se odvíjí od velikosti přetlaku a rozměrech závětrné oblasti.

4. DYNAMICKÝ ANALÝZA ODEZVY STAVEBNÍ KONSTRUKCE

Zatížení tlakovou vlnou odpovídá charakteru dynamického zatížení. Jedná se o velmi rychlý děj, který je proměnný v čase, ale i místě. U výbuchů se časová změna zatížení rovná vteřinám, nebo jejich zlomkům. Vnitřní síly od této formy zatížení jsou závislé na hmotě, tuhosti a tlumení prvku.

4.1. Pohybová rovnice

Pro popis chování konstrukce z hlediska dynamiky se používá pohybová rovnice vycházející z D'Alembertova principu (jedná se o ekvivalentní vyjádření Newtonova Zákona síly), který zní: „Součet všech sil působících na těleso ve směru kmitání, včetně sil setrvačných, je roven nule.“ [Máca, 2020] Matematicky je zákon vyjádřen následující rovnicí.

$$m\ddot{u}_{(t)} + c\dot{u}_{(t)} + ku_{(t)} = F_{(t)} \quad (1)$$

Rovnice se skládá z členů:

- | | | |
|----|----------------|-------------------|
| c) | Setrvačné síly | $m\ddot{u}_{(t)}$ |
| d) | Tlumící síly | $c\dot{u}_{(t)}$ |
| e) | Vratné síly | $ku_{(t)}$ |
| f) | Vnější síly | $F_{(t)}$ |

Pro zjednodušení dynamické úlohy je vhodné využití principu diskretizace. Jedná se o náhradu systému se spojitým rozdělením hmoty na systém využívající konečný bodů se soustředěnou hmotou.

4.2. Složky pohybové rovnice

4.2.1. Hmotnost

Pro sestavení matice hmotnosti M je vhodné použití diskretizace spojitě plochy do jednotlivých vyšetřovaných hmotných bodů. Matice hmotnosti se pak skládá z jednotlivých hmot pohybujících se hmotných bodů.

Pro detailní dynamický výpočet je třeba sestavit konzistentní matici hmotnosti. S ohledem na množství proměnných ve výpočtu se připouští zjednodušení formou diagonální matice.

4.2.2. Tlumení

Hodnota tlumení C ve výpočtu ovlivňuje výsledné veličiny odezvy. Vliv může být řádový a zejména pokud se konstrukce nachází v oblasti frekvencí blízkým rezonanci. Obvykle se u stavebních konstrukcí uvažuje tlumení vizkozí, tedy úměrné rychlosti kmitání.

Pro stanovení útlumu stavební konstrukce je vhodné vyjít z experimentálního měření. Pokud taková data nejsou dostupná lze vycházet z doporučení vyplývajících z národních předpisů nebo odborné literatury popisující obdobné konstrukce. Možné je řešení analytické, avšak s přihlédnutím k množstvím proměnných jde o metodu velmi pracnou.

4.2.1. Tuhost

Matice tuhosti K se odvíjí od statických tuhostí jednotlivých prvků diskretizované soustavy. Jednotlivé prvky matice tuhosti odpovídají síle nebo momentu síly v bodě při působení jednotkové deformace nebo síly (metoda konstant poddajnosti/tuhosti).

4.3. Výpočet pohybové rovnice

Řešení pohybových rovnic je možné provádět dvěma základními způsoby:

- g) Rovnice s nulovou pravou stranou – výsledkem je stanovení hodnoty vlastního kmitání
- h) Rovnice s nenulovou pravou stranou – zohledňuje působící vnější síly (vynucené kmitání)

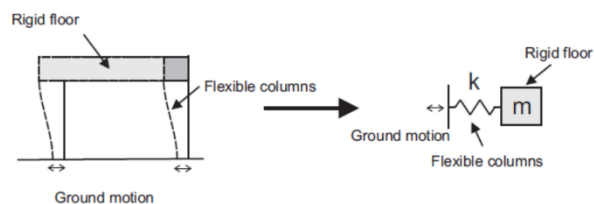
Při řešení rovnic s nulovou pravou stranou se vhodně jeví použití metody zpětné iterace s ověřením pomocí Sturmovy kontroly. Další možností je například využití řešení vycházejících z podmínky nulové hodnoty determinantu pohybové rovnice.

Pro řešení soustavy s vynuceným kmitáním je možné počítat pomocí modální analýzy, přímou integrací, energetické metody nebo řady dalších metod, které nám obor dynamických výpočtů přináší.

5. ZJEDNODUŠENÁ ŘEŠENÍ ANALÝZY KONSTRUKCE

5.1. Systém s jedním stupněm volnosti

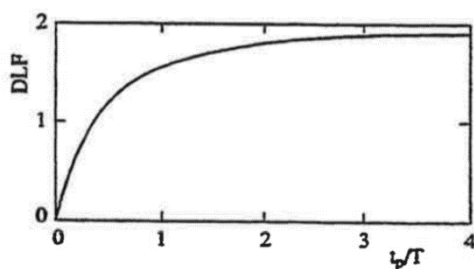
Systém s jedním stupněm volnosti (SDOF) je označení pro metodu využívající maximálního zjednodušení řešené úlohy, kdy konstrukční prvek je nahrazen jedinou hmotou M , jedinou pružinou o tuhosti K a případně jedním prvkem zajišťujícím útlum C . Stupeň volnosti zjednodušeného systému je zpravidla uvažován v místě, kde předpokládáme maximální odchylky. Výpočetní rovnice je totožná s rovnicí (1). Příklady takto zjednodušené soustavy jsou uvedeny na obrázku 7.



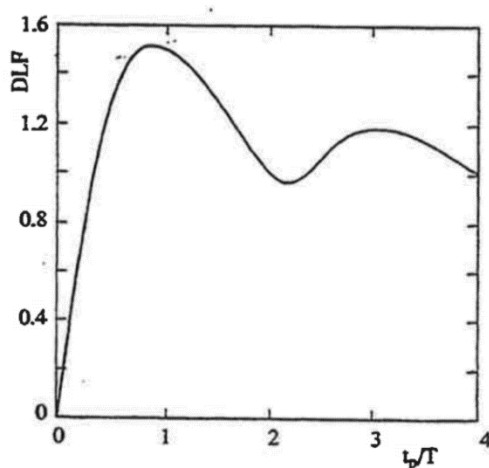
Obrázek 8: Příklad zjednodušeného popisu konstrukce pro metodu SDOF

5.2. Dynamický faktoro zatížení

Jedná se o další zjednodušující metodu výpočtu. Dynamický výpočet se převádí do formy běžného kvazistatického výpočtu formou dynamického součinitele. Maximální hodnota dynamického zatížení tlakovou vlnou je násobena dynamickým součinitelem a tím je získána hodnota pro statický výpočet. Dynamický součinitel je závislý na době trvání zatížení, respektive poměru trvání pozitivní fáze a periody vlastní frekvence. Dále pak na způsobu působení tlakové vlny (spojitá/rázová vlna). Hodnoty součinitelů mohou být pak stanoveny z následujících grafů.



Obrázek 9: Dynamický součinitel pro vzdušnou rázovou vlnu



Obrázek 10: Dynamický součinitel pro spojitou tlakovou vlnu

6. VYUŽITÍ DUKTILITY MATERIÁLU

U konstrukcí vystavených ojediněle se vyskytujícím zatížením v průběhu celé životnosti – mimořádná zatížení je možné připustit deformace nepružného charakteru. Z hlediska bezpečnosti je důležité, aby konstrukce byly schopny přednést mimořádná zatížení i za cenu trvalých deformací. Nesmí však docházet ke křehkým poruchám. Po výskytu mimořádného zatížení se předpokládá následná oprava konstrukce nebo její vyřazení z provozu.

Duktilita je schopnost konstrukce se plasticky přetvářet, aniž by došlo ke křehkému porušení. Za duktilní materiály považuje například ocel nebo dřevo. Opakem jsou materiály křehké jako jsou beton, zdivo a sklo. Ve stavební praxi se setkáváme s kombinacemi těchto materiálů (železobeton), jehož duktilita je ovlivněna použitou třídou betonu, způsobem a množstvím vyztužení. Důležitým faktorem je duktilita samotného prvku. Duktilní vlastnosti stejné konstrukce se liší podle způsobu namáhání [Makovička, 2009].

Pro konstrukce složené z duktilních i křehkých materiálů je potřeba zajistit správnou hierarchii únosnosti. Při správném návrhu nejprve musí dojít k porušení v duktilních stavech (ohyb) a až poté ve stavech křehkého porušení (smyk, osový tlak). Vhodný návrh konstrukce využívá rovnoměrného vzniku disipačních oblastí po konstrukci, která v případě extrémního mimořádného zatížení zamezí nebo alespoň oddálí kolaps konstrukce.

7. ZÁVĚR

Príspevek rešeršní formou pojednává o výbuchu, jeho zdrojích a důsledcích. Obecně jsou zde shrnuty mechanismy šíření tlakové vlny a jejich vliv na konstrukce. Dále byly uvedeny způsoby analýzy vlivu výbuchu od detailního řešení formou dynamické analýzy až k zjednodušeným řešením využívajících dynamického součinitele nebo využití systému s jedním stupněm volnosti.

Jedná se o první krok k budoucímu výzkumu autora v problematice vlivu zatížení od výbuchu a dopadajícího projektilu na konstrukce. Nabité znalosti byly v letošním roce aplikovány při práci na projektu „zoholnění Letiště Praha“. V tuto chvíli se pracuje na rozvaze, jakým konkrétním směrem se výzkum bude ubírat a z jakých experimentů by bylo vhodné vycházet.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek vznikl za finanční podpory SGS19/035/OHK1/1T/11, Českého Vysokého učení technického v Praze.

Reference

- FOGLAR, Marek, Radek HÁJEK, Radek ŠTEFAN a Jiří STÖHR. *Vyšetřování vlastností cementových kompozitů vystavených působení extrémních zatížení: experimenty, modelování, technologie*. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05892-3.
- [Makovička a Janovský, 2008] Makovička D. a Janovský B. Příručka protivýbuchové ochrany staveb, Česká technika – nakladatelství ČVUT v Praze, 2008.
- MAKOVIČKA, DrSc., Doc. Ing. Daniel a Ing. Daniel MAKOVIČKA. *Navrhování stavební konstrukce při zatížení tlakovou vlnou od výbuchu* [online], 2009
- BÍLÝ, Petr a Martin TIPKA. *Úvod do problematiky dynamiky betonových konstrukcí* [online]. Praha, 2012 [cit. 2020-09-07]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/SGS_2011/Uvod_do_problemu_dynamiky_bet_konstrukci.pdf
- MÁČA, Jiří: Dynamika stavebních konstrukcí. Kurz bakalářského studia na Fakultě stavební ČVUT v Praze, 2020. Syllaby přednášek dostupné z WWW: <https://mech.fsv.cvut.cz/cgi-bin/homeworks/student/student-identification?course=DY01>
- Methods for the determination of possible damage: to people and objects resulting from releases of hazardous materials. 1. Den Haag: Committee for the Prevention of Disasters, 1992. ISBN 90-5307-052-4.