STANOVENIE ÚČINKOV EXPLÓZIE NA OKOLIE – NÁVRH SOFTVÉROVÉHO NÁSTROJA

Zuzana Zvaková[1)] Lucia Figuli[2)] Ladislav Mariš[3)]

ABSTRAKT
Príspevok je zameraný na návrh programu pre výpočet a hodnotenie účinkov tlakovej vlny vznikajúcej pri explózii vybraných výbušnín, na osoby a objekty v okolí explózie. Návrh je založený na známych matematických vzťahoch, vyjadrujúcich maximálny tlak vznikajúci pri explózii a hodnotách tlaku s prislúchajúcim popisom poškodení objektu alebo ľudského zdravia pri pôsobení takéhoto zaťaženia. Návrh slúži na zjednodušenie a urýchlenie výpočtov pri posudzovaní vplyvu výbuchu na okolie.

Kľúčové slová: Explózia, tlaková vlna, hodnotenie účinkov tlakovej vlny.

ABSTRACT
The paper is focused on the design of the program for the blast effect calculation and assessment of its impact on people and compounds. Program is based on the known mathematical models reflecting the maximum pressure of the explosion. The Detona software contains values of the building components resistance and the human body resistance too. The draft of the DETONA program is designed to simplify and accelerate calculations for assessment of the blast effect.

Key words: Explosion, blast wave, assessment of the shock wave impact.

[1]) Zuzana Zvaková, Ing. Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Ul.1.mája 32, 010 26, Žilina, tel.: 041/513 6670, Zuzana.Zvakova@fbi.uniza.sk
[2]) Lucia Figuli, Ing., PhD. Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Ul.1.mája 32, 010 26, Žilina, tel.: 041/513 6615, Lucia.Figuli@fbi.uniza.sk
[3]) Ladislav Mariš, Ing. Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Ul.1.mája 32, 010 26, Žilina, tel.: 041/513 6668, Ladislav.Maris@fbi.uniza.sk

1 ÚVOD

Terorizmus, organizovaný zločin a iná protizákonná činnosť sa vyznačujú tým, že prostriedkom ich páchania sú v mnohých prípadoch výbušniny a nástražné výbušné systémy. Výbušniny majú v činnosti namierenej proti spoločnosti širokú škálu uplatnenia. Môžu byť prostriedkom na zastrašovanie a šírenie paniky, je možné použiť ich na prekonanie systému ochrany objektu, najmä mechanických zábranných prostriedkov, poškodenie chráneného záujmu alebo jeho úplné zničenie a tiež môžu byť použité s cieľom zlikvidovať osoby alebo vážne poškodiť ich zdravie. Dnes, viac ako kedykoľvek v minulosti sa dostáva do popredia potreba chrániť osoby a objekty pred účinkami explózie. Pozornosť je upriamovaná najmä na objekty osobitnej dôležitosti, objekty kritickej infraštruktúry a ostatné stavby, najmä tie v ktorých sa zdržiava väčšie množstvo osôb. Dôvodom sú možnosti použitia výbušnín, dostupnosť prostriedkov a postupov na výrobu niektorých druhov výbušnín spoločne s vývojom bezpečnostnej situácie.

Jednou z možností ochrany pred účinkami explózie je ich skúmanie vo vzťahu k referenčnému objektu a na základe zistení návrh opatrenia, ktoré zvyšujú mieru ochrany objektu. Nami navrhovaný program predstavuje rýchlu a jednoduchú možnosť zistenia a hodnotenia tlakového účinku explózie na osoby a objekty v jej okolí.

2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRE VYTVORENIE NÁVRHU SOFVÉROVÉHO NÁSTROJA

Základom pre vytvorenie uvedeného softvérového nástroja, je poznanie vplyvu explózie na objekty v jej okolí a možnosti ich zisťovania. Najviac deštruktívny charakter má tlakový účinok explózie. Škody, ktoré spôsobuje tlak generovaný výbuchom sú rôzneho charakteru. Pre naše potreby sme ich rozdelili do dvoch skupín, škody spôsobené na ľudskom organizme a škody spôsobené na budovách.

Tlakový účinok explózie sa na ľudskom organizme prejavuje v podobe troch základných kategórií poranení. Vplyvom rázových vĺn vznikajú *primárne zranenia*, kedy dochádza k poškodeniu orgánov naplnených vzduchom. Zasiahnuté sú pľúca, gastrointestinálny trakt a stredné ucho, dochádza k pľúcnej barotraume, prasknutiu ušného bubienka, poškodeniu stredného ucha, krvácaniu v brušnej dutine a poškodeniu očí. Zasiahnutím organizmu črepinami od výbuchu vznikajú *sekundárne poranenia*, podobného charakteru ako strelné a tržné rany. *Terciárne zranenia* vznikajú v dôsledku odhodenia a pádu, resp. nárazu človeka do pevnej prekážky. Sú to zlomeniny, amputácie, zatvorené a otvorené poškodenia mozgu. [1] Zranenia spôsobené rázovou vlnou nazývame blast syndrome. V Tabuľka 1 uvádzame v intervaloch hodnoty tlaku a jeho pôsobenie na ľudský organizmus. Tieto hodnoty vychádzajú z doterajšieho výskumu v uvedenej oblasti a vychádzajú z [2][3][8][9][10].

Tabuľka 1 Pôsobenie tlakovej vlny na ľudský organizmus

Tlak (kPa)	Účinok na ľudský organizmus
<0;1,3)	Bez zranení.
<1,3;10)	Vznik zranení z črepinového účinku explózie.
<10;16,5)	Vznik ľahkých zranení od pôsobenia tlakovej vlny. Pád stojacich osôb a vznik zranení spôsobených pádom, poškodenie ušných bubienkov.
<16,5;43,5)	Vznik stredne ťažkých a ťažkých zranení od pôsobenia tlakovej vlny. Prasknutie ušných bubienkov a poškodenie pľúc.
<43,5;100)	Pravdepodobnosť úmrtia od priameho pôsobenia tlakovej vlny 1%
<100;141)	Pravdepodobnosť úmrtia od priameho pôsobenia tlakovej vlny 50%
<141; ∞)	Pravdepodobnosť úmrtia od priameho pôsobenia tlakovej vlny 100%

V dôsledku explózie sa šíri pod povrchom terénu seizmická vlna, ktorej vlastnosti sú ovplyvnené obsahom podzemnej vody, obsahom vzduchu v póroch, stupňom stmelenia hornín a pod. [11] Seizmická vlna, tak ako aj tlaková vlna šíriaca sa vzduchom, spôsobuje poškodenia zasiahnutých objektov a v dôsledku jej pôsobenia môže dôjsť k zasypaniu osôb. Takéto zranenia nazývame crush syndrome.

Pre stanovenie rozsahu škôd spôsobeného vplyvom explózie na okolité objekty je potrebné poznať reakciu jednotlivých stavebných konštrukcií a ich prvkov na zaťaženie tlakom od explózie. V súčasnosti je známych viacero zdrojov [2][3][7][8][9][10] uvádzajúcich rozsah škôd, vzniknutých na stavebných prvkoch a konštrukciách, pri ich vystavení tak špecifickému zaťaženiu, ako je tlakový účinok explózie. Zo známych hodnôt sme zostrojili nasledujúcu tabuľku (Tabuľka 2), kde v intervale uvádzame tlak a jemu zodpovedajúci rozsah poškodení.

Tabuľka 2 Pôsobenie tlakovej vlny na stavby

Max. tlak (kPa)	Popis rozsahu škôd
<0;0,5)	Na objektoch v okolí explózie nevznikajú **žiadne škody**. Dochádza k vzniku zvuku, ktorý označuje neobvyklú udalosť. Vzniká nepríjemný až hlasný hluk (do 143 dB).
<0,5;5)	Na objektoch vznikajú **škody malého rozsahu**. Charakteristické je poškodenie zasklenia rôznych stupňov až jeho rozbitie, rôzne stupne poškodení striech a tenkých priečok, deformácie a poškodenia rámov a závesov dverí a okien, vážne poškodenie až deštrukcia ľahkých priečok z poréznych materiálov a vznik menších škôd v štruktúre objektu.
<5;10)	Na objektoch vznikajú **škody stredného rozsahu**. Charakteristické je poškodenie ľahkých stavieb, vznik trhlín v murovaných priečkach, poškodenie obloženia v hlavných spojoch a vážne škody železobetónových stropných dosiek.
<10;20)	Na objektoch vznikajú **značné škody**. Charakteristické je zrútenie ľahkých drevených konštrukcií, vytrhnutie dverí zo zárubní a okien z rámov, čiastočné zrútenie múrov a striech budov, čiastočné poškodenie stavieb prízemnej zástavby rodinných domov, poškodenie betónových a škvarobetónových stenových nevystužených panelov a vznik trhlín v nosných prvkoch murovaných konštrukcií.

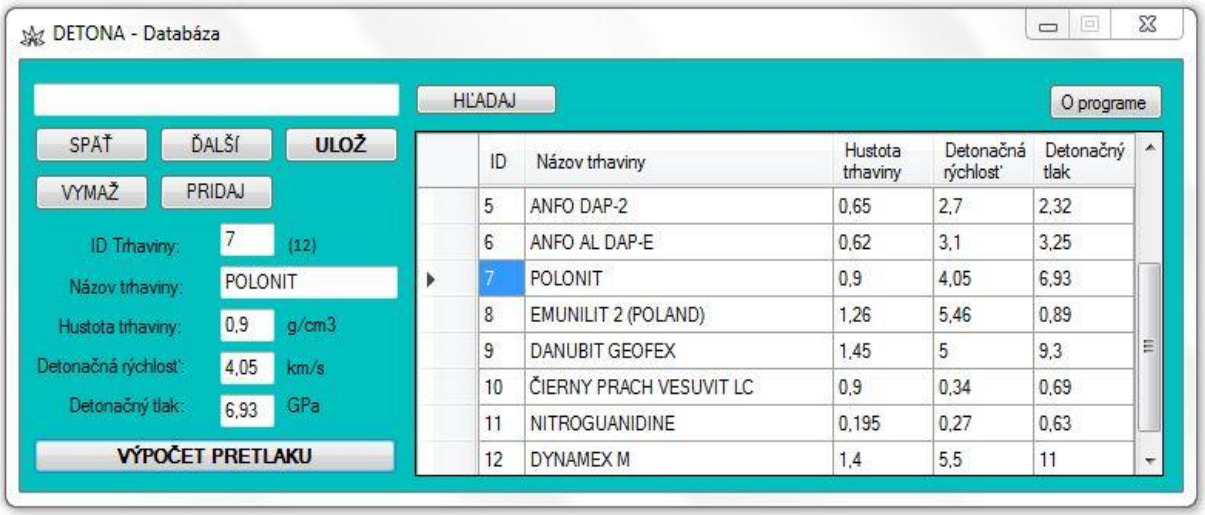
Max. tlak (kPa)	Popis rozsahu škôd
<20;50)	Na objektoch vznikajú **veľké škody.** Charakteristické je značné poškodenie mestských viacpodlažných stavieb, poškodenie vnútorných ľahkých priečok, pád drevených telefónnych stĺpov, narušenie oceľového rámu budovy a jeho oddelenie od základov, pád nenosných priečok, vážne poškodenia nosných prvkov murovaných konštrukcií a prepadnutie striech, poškodenie nevystužených tehlových stien a prevrátenie naložených vlakových vagónov.
<50;90)	Na objektoch vznikajú **veľmi veľké škody**. Charakteristické je pád menej odolných kamenných, tehlových a drevených stavieb a zrútenie časti nosných prvkov murovaných konštrukcií. Poškodenie elektrickej siete a poškodenie ľahkých železobetónových stavieb, poškodenie normálnych vonkajších tehlových stien a vážne poškodenie stien a zastrešení objektov zo železobetónu alebo oceľového skeletu a vážne trhliny v murive objektov s masívnymi tehlovými stenami.
<90;150)	Na objektoch vznikajú **veľmi veľké až totálne škody.** Charakteristické je poškodenie železobetónových stien, prerazenie steny z tvárnic, deštrukcia objektov s masívnymi tehlovými a železobetónovými stenami a úplné zničenie murovaných konštrukcií. Dochádza k úplnému zničeniu stavieb s výnimkou železobetónových stavieb špeciálnej konštrukcie, vznikajú trhliny v betóne a dochádza k pádu ťažkých drevených stavieb.
<150;3052)	Dochádza k **totálnemu zničeniu objektu**. Charakteristické je poškodenie železobetónových stavieb špeciálnej konštrukcie, poškodenie oceľových mostov, ťažké poškodenie až zrútenie masívnych železobetónových stavieb a prerazenie železobetónovej steny.

Pri výpočte pretlaku vznikajúceho pri explózii softvérový nástoj pracuje s matematickými vzťahmi Henrych [4] a Kavický-Figuli [6]. Vo výpočtoch sú zavedené známe redukované charakteristiky - redukovaná hmotnosť a redukovaná vzdialenosť. Dôvodom pre zavedenie redukovaných charakteristík sú praktické skúsenosti s pôsobením výbušnín a javov vznikajúcich pri výbušných premenách. Základom tohto tvrdenia je tzv. Zákon tretej odmocniny, v ktorom sa hovorí, že ak nastane detonácia dvoch náloží v rovnakej atmosfére, vyrobených z rovnakého materiálu, rovnakého tvaru ale inej hmotnosti, tento jav vyvolá veľmi podobné rázové vlny v rovnakých redukovaných vzdialenostiach. [4]

3 STANOVENIE ÚČINKOV EXPLÓZIE NA OKOLIE – NÁVRH SOFTVÉROVÉHO NÁSTROJA DETONA

Navrhovaný program DETONA slúži na výpočet pretlaku vznikajúceho pri explózii trhaviny a stanovenie rozsahu dôsledkov explózie na osoby a objekty. Program pracuje so vstupmi uvedenými v prvej kapitole nášho príspevku (hodnoty odolnosti prvkov a matematické vzťahy). Používateľ má po spustení programu k dispozícii databázu dvanástich trhavín. Túto databázu môže používateľ ďalej upravovať podľa vlastných potrieb. Databázu je možné rozšíriť o ďalšie trhaviny alebo používateľ môže už uvedené trhaviny vymazať. V databáze (Obrázok 1) sú uvedené

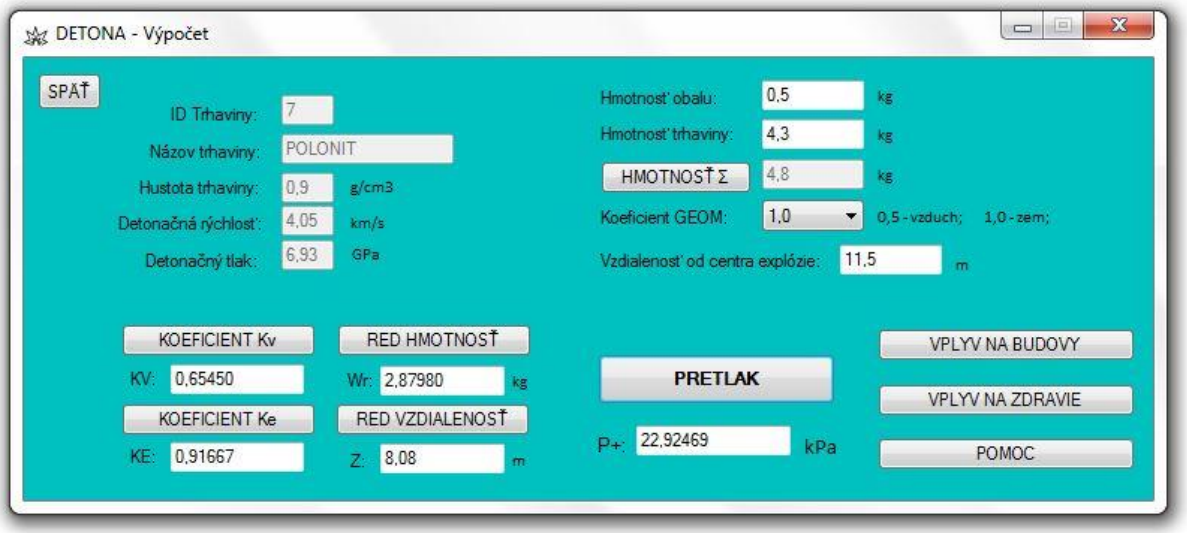
charakteristiky trhavín potrebné pre výpočet veľkosti pretlaku - detonačný tlak a hustota trhaviny.



Obrázok 1 Databáza trhavín

Po výbere konkrétnej trhaviny, v nami prezentovanom prípade uvádzame priemyselnú trhavinu POLONIT, a zvolení možnosti „výpočet pretlaku“ je používateľ v novom okne vyzvaný, aby zadal ostatné charakteristiky potrebné pri výpočte pretlaku. Tieto charakteristiky sú:

- hmotnosť obalu nálože, (kg),
- hmotnosť trhaviny, (kg),
- koeficient geometrie šírenia rázovej vlny k_G,
  - pre detonáciu vo voľnom vzdušnom priestore $k_G = 0,5$,
  - pre detonáciu na povrchu (uvažujeme povrch zeme) $k_G = 1$,
- vzdialenosť od centra výbuchu, R (m).

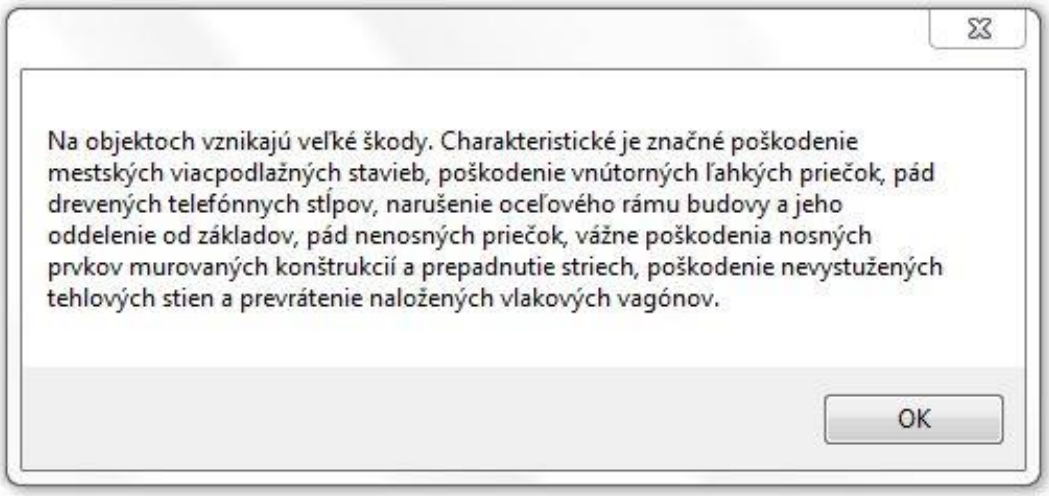


Obrázok 2 Výpočet v programe DETONA

Následne, po uvedení všetkých charakteristík potrebných pre výpočet, užívateľ postupne zistí hodnoty ostatných charakteristík potrebných k výpočtu. Týmito

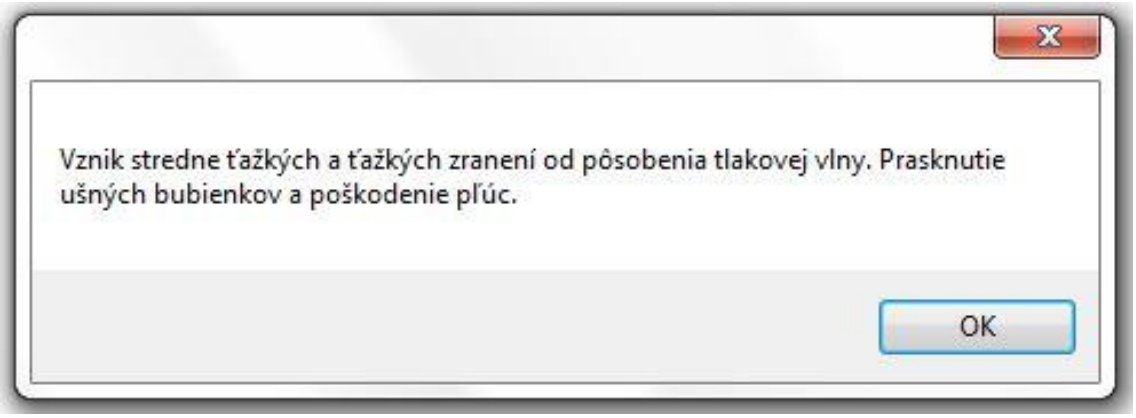
charakteristikami sú *výbuchový koeficient (k_v), koeficient tesnosti nálože (k_E), redukovaná hmotnosť (W_R) a redukovaná vzdialenosť (Z)*. Uvedené charakteristiky sú neoddeliteľnou súčasťou výpočtovým modelov a ich cieľom je zjednodušenie výpočtu a zároveň obsiahnutie javov a skutočností ku ktorým dochádza pri explózii a šírení rázovej vlny.

Výsledná hodnota pretlaku vznikajúceho pri explózii, v nami prezentovanom prípade nálože trhaviny POLONIT s hmotnosťou 4,8 kg (0,5 kg obal + 4,3 kg trhavina), umiestnenej na zemi a vo vzdialenosti 11,5 m od centra výbuchu, je 22,92469 kPa. Výberom možnosti *„vplyv na budovy“* je táto hodnota je priradená k intervalu a príslušnému poškodeniu objektu. V uvedenom prípade je hodnota priradená do intervalu <20;50) kPa, čomu prislúcha poškodenie veľkého rozsahu na budovách (Obrázok 3). Charakteristické je značné poškodenie mestských viacpodlažných stavieb, poškodenie vnútorných ľahkých priečok, pád drevených telefónnych stĺpov, narušenie oceľového rámu budovy a jeho oddelenie od základov, pád nenosných priečok, vážne poškodenia nosných prvkov murovaných konštrukcií a prepadnutie striech, poškodenie nevystužených tehlových stien a prevrátenie naložených vlakových vagónov.



Obrázok 3 Popis poškodenia budov v prezentovanom výpočte

V prípade výberu možnosti *„vplyv na zdravie“* je hodnota pretlaku priradená intervalu <16,5;43,5) kPa. Takémuto tlaku zodpovedá vznik stredne ťažkých a ťažkých zranení od pôsobenia tlakovej vlny, prasknutiu ušných bubienkov a poškodeniu pľúc (Obrázok 4).



Obrázok 4 Popis účinkov zisteného pretlaku na ľudský organizmus

4 ZÁVER

Našim cieľom bolo vytvoriť návrh pre jednoduchý nástroj, s ktorým by bolo možné zistiť a vyhodnotiť vplyv tlakového účinku explózie na osoby a objekty. Vytvorením programu sa zjednoduší a sprehľadní práca pri posudzovaní vplyvu výbuchu na okolie a určovaní dôsledkov spôsobených explóziou.

Výberom trhaviny a zadaním relevantných charakteristík nálože (hmotnosť obalu a hmotnosť trhaviny, vzdialenosť od objektu/osoby a pozícia vo vzťahu k zemi) program DETONA priradí z databázy charakteristiky potrebné pre výpočet. Použitím známych matematických vzťahov stanoví maximálny tlak pôsobiaci na objekty a osoby a priradí škody prislúchajúce intervalu, v ktorom sa vypočítaný tlak nachádza. Výsledkom je stanovisko, či dôjde k poškodeniu objektu alebo zraneniu osôb, a ak áno, tak v akom rozsahu, alebo či dôjde k usmrteniu osôb alebo úplnému zničeniu objektu.

V prvej časti príspevku sme uviedli teoretické východiská, ktoré sme pri tvorbe softvérového nástoja použili – matematické vzťahy potrebné pre výpočet maximálneho tlaku generovaného explóziou a hodnoty tlaku a im prislúchajúcim rozsahom škôd na zdraví a objektoch. Druhú časť príspevku sme venovali samotnému návrhu softvérového nástoja DETONA, konkrétne postupu práce s ním a výsledkom, ktoré je možné jeho používaním zistiť.

DETONA je zatiaľ len návrhom nástroja, ktorého databázu trhavín a ich charakteristík budeme ďalej dopĺňať a rovnako bude program rozšírený aj o ďalšie funkcie. Náš návrh je už aj v súčasnej podobe využiteľný vo vedecko–výskumnej a pedagogickej činnosti.

LITERATÚRA

[1] CDC Injury Prevention. *Explosions and Blast Injuries* [on line]. [2014-11-07]. Dostupné na: www.csc.gov/masstrauma/preparedness/primer.pdf

[2] DENKSTEIN, J. Teorie rozpojování hornin výbuchem. Pardubice : SPŠCHT, 1980.

[3] DENKSTEIN, J. Ochrana objektů před účinky havarijních výbuchů I. Vzdušné rázové vlny a vnitřní výbuch. Pardubice : Vysoká škola chemicko-technologická, katedra teorie a technologie výbušin, 1991

[4] HENRYCH, J. 1973. Dynamika výbuchu a jeho užití, Academia, Praha 1973.

[5] JANGL, Š. – KAVICKÝ, V. 2012. Ochrana pred účinkami výbuchov výbušnín a nástražných výbušných systémov. Žilina: Jana Kavická – KAVICKY, 2012. 294 s. ISBN: 978-80-971108-0-2

[6] KAVICKÝ, V. [et al.]., 2014. Analysis of the field test results of ammonium nitrate: fuel oil explosives as improvised explosive device charges In: Structures under shock and impact XIII : [13th international conference, SUSI 2014 : New Forest, United Kingdom, 3 June 2014 through 5 June 2014]. - Southampton, Boston: WITpress, 2014. - ISBN 978-1-84564-796-4. - S. 297-309.- (WIT Transactions on the Built Environment, Vol. 141. - ISSN 1746-4498).

[7] KOLOUŠEK, V. 1967. Stavebné konštrukcie namáhané dynamickými účinkami. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1967. 1005 s. 63-121-67

[8] MAKOVIČKA, D. 2010. Navrhování stavební konstrukce při zatížení tlakovou vlnou od výbuchu. ČVUT v Praze, Kloknerův ústav. Praha

[9] SKŘEHOT, P. Prevence nehod a havárií. Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti [online], 2009, roč. 2, č. 4. ISSN 1803-3687.

[10] NOVOTNÝ, M. Bezpečnostní inženýrství I. Výbuchy hořlavých plynů a par. Pardubice : VŠCHT Pardubice, 1988.

[11] ŠTEFAN, J – HLADÍK, J. a kol. 2012. Soudní lékařství a jeho moderní trendy. Grada Publishing a.s., Praha. ISBN: 978-80-247-3594-8

IGP 201401 „PROGRAM NA VYHODNOTENIE ÚČINKOV TLAKOVEJ VLNY VZNIKAJÚCEJ PRI EXPLÓZII VYBRANÝCH VÝBUŠNÍN NA OSOBY A OBJEKTY.“

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.

Titul MBA (Master of Business Administration) je celosvětově uznávaným standardem celoživotního vzdělávání mezi manažery, vedoucími pracovníky, podnikateli a pracovníky neziskových organizací a veřejné správy.

Koncept studia MBA je zaměřen na promítání teorie přímo do manažerské praxe. Lektoři jsou špičkoví manažeři a odborníci ve svém oboru a své praktické zkušenosti z reálných situací předávají studentům moderní formou výuky.

V mnoha (především mezinárodních) společnostech je titul MBA podmínkou ke kariérnímu růstu a dosažení vyšších manažerských pozic. Studium ve vzdělávacích programech MBA je určeno všem, kteří chtějí udržet krok s nejnovějšími trendy v oboru a chtějí zvyšováním svého osobního potenciálu dosáhnout dalšího kariérního postupu, lukrativnější pracovní pozice či uplatnění v některé z významných mezinárodních společností.

Studijní programy MBA jsou určeny zejména pro uchazeče s vysokoškolským vzděláním (minimálně 1 stupeň VS nebo s ukončeným profesním vzděláním v programu BBA). Z podmínky vysokoškolského vzdělání může být udělena na základě rozhodnutí vedení EUROPEAN INSTITUTU výjimka po prokázání manažerské praxe.

Výuka na EUROPEAN INSTITUTE probíhá v českém jazyce (pro zahraniční studenty AJ + RJ). Jedná se o moderní formu studia kombinující e-learning a konzultace.

Studium je rozloženo do dvou semestrů. Pro každý předmět (modul) je pro studenty připraven e-learningový kurz a konzultace. Výstupem jednotlivých modulů jsou seminární práce, v nichž studenti navrhují aplikaci získaných poznatků přímo do praxe. Vrcholem studia a podmínkou pro získání titulu MBA je vypracování závěrečné práce a její obhajoba před studijním senátem.

PROČ STUDOVAT S NÁMI

- Cenová dostupnost studia
- Přihláška bez poplatku
- Možnost rozložení financování studia až na 6 splátek
- Zahájení studijních programů 4 x do roka
- Délka studia 1 rok / 2 semestry
- Moderní e-learningový systém
- Studium v českém jazyce
- Spolupráce s předními odborníky z praxe i akademického prostředí
- Časově flexibilní studium s cílem sladit pracovní i studijní povinnosti
- Možnost individuálních konzultací s lektory
- Setkávání s odborníky z praxe, kolegy a významnými osobnostmi
- V rámci studia účast na konferencích a akcích EUI bez poplatků
- Dárky a bonusy ke studiu (všichni studenti tablet zdarma, pobyt na St. Zámku Sychrov ...)

EUROPEAN INSTITUTE
www.european-institute.cz

Informace o studiu **MBA**

Všichni studenti získají tablet ZDARMA!

Všichni studenti můžou získat romantický pobyt na Státním zámku SYCHROV!

Moderní a kvalitní studium nemusí stát statisíce!

EUROPEAN INSTITUTE
OF SECURITY AND CRISIS MANAGEMENT
Soukenická 1199/3, 110 00 Praha 1 – Nové Město
e-mail: info@european-institute.cz

Nejlepší tah
pro Váš úspěch!

EUROPEAN INSTITUTE OF SECURITY
AND CRISIS MANAGEMENT

Moderní a kvalitní studium nemusí stát statisíce!

Zahájení studijních programů 4x do roka:

1. 3. , 1. 6., 1. 9. , 1. 12.

Cena vzdělávacího programu MBA:
79.900 Kč bez DPH
(cena platí při jednorázové úhradě)

Nebo 6 splátek v částce
14.650 = 87.900 bez DPH

FINANČNÍ DOSTUPNOST STUDIA

Studium u EUROPEAN ISTITUTU je cenově dostupné navíc si lze úhradu za studium rozdělit do 6 splátek. Studium nabízí i řadu bonusů a péči o studenty i po skončení studia. Platba za studium MBA je daňově uznatelný náklad.

MODERNÍ E-LEARNINGOVÝ SYSTÉM

Studium probíhá převážně prostřednictvím moderního e-learningu. Každý student si zvolí sám, kdy a kde bude studovat. Studium v českém jazyce.

KVALITNÍ STUDIUM

Výuka je realizována prostřednictvím odborníků z praxe i akademického prostředí, kteří se Vám budou věnovat formou individuálních konzultací.

EUROPEAN INSTITUTE
www.european-institute.cz