



DOPADY SILNÉHO ZEMĚTŘESENÍ NA NUSELSKÝ MOST A JEHO OKOLÍ

Dana PROCHÁZKOVÁ

IMPACTS OF GREAT EARTHQUAKE ON THE NUSLE BRIDGE AND ITS VICINITY



ENVIRONMENTAL POLICY TOOLS '2017

ABSTRAKT

ČLÁNEK JE ZAMĚŘEN NA BEZPEČNOST LIDÍ A VYBRANÉHO PRVKU KRITICKÉ INFRASTRUKTURY, KTERÝM JE DŮLEŽITÝ MOST. METODAMI RIZIKOVÉHO INŽENÝRSTVÍ URČUJE DOPADY SILNÉHO ZEMĚTŘESENÍ NA KONKRÉTNÍ MOST A JEHO OKOLÍ, A PLÁN ŘÍZENÍ RIZIK PRO PŘÍPAD VELKÉHO ZEMĚTŘESENÍ.

KLÍČOVÁ SLOVA: bezpečnost; riziko; zemětřesení; významný most; dopady; plán řízení rizik

ABSTRACT

THE PAPER IS DIRECTED TO SAFETY OF HUMANS AND ELEMENT OF CRITICAL INFRASTRUCTURE THAT IS IMPORTANT BRIDGE. BY APPLICATION OF METHODS OF RISK ENGINEERING THERE ARE DETERMINED THE IMPACTS OF GREAT EARTHQUAKE ON REAL BRIDGE AND ITS VICINITY; AND RISK MANAGEMENT PLAN FOR CASE OF GREAT EARTHQUAKE.

KEY WORDS: safety; risk; earthquake; important bridge; impacts; risk management plan

1. ÚVOD

Práce se zabývá problémy bezpečnosti vybrané dopravní stavby, která patří do kritické infrastruktury. Nuselský most je z dopravního hlediska velmi významnou stavbou. Vzhledem k situování do Nuselského údolí je součástí důležité dopravní tepny hlavního města Prahy spojující Karlov s Pankrácem. Je unikátní nejen svým nadčasovým designem, ale také využitím. Vrchní část mostu využívá automobilová doprava, uvnitř mostu je tubus pro provoz metra. Kvůli velké dopravní vytíženosti a geografické poloze by v případě výskytu velké pohromy došlo k rozsáhlým nepříjemným dopadům na chráněná aktiva. Práce využívá konceptu integrální bezpečnosti, což znamená, že se zaměřuje na celý soubor chráněných aktiv, která jsou důležitá pro plynulý a bezpečný život obyvatel. Mezi chráněná aktiva patří životy a zdraví lidí, bezpečí lidí, majetek, veřejné blaho, životní prostředí a infrastruktura a technologie [1].

2. INTEGRÁLNÍ BEZPEČNOST A KRITICKÁ INFRASTRUKTURA

Integrální bezpečnost je koncept, který zajišťuje bezpečí a udržitelný rozvoje entity, u které je několik nesouměřitelných aktiv. V daném pojetí se nelze zaměřovat pouze na jedno chráněné



aktivum, nýbrž na celý soubor aktiv, která jsou důležitá pro člověka. Do souboru je nutno zařadit lidské životy a zdraví, majetek, veřejné blaho, infrastrukturu a technologie a v neposlední řadě také v posledních letech hodně diskutované životní prostředí [2]. Proto je také třeba nahlížet na problém jako na celek a nezaměřovat se pouze na opatření, která by chránila pouze jedno aktivum, protože by to mohlo mít nepříjemný dopad na ostatní aktiva, a tím by se také zvyšovalo riziko celého systému. V moderním pojetí se předpokládá, že systém je otevřený, a tudíž jsou možné interakce samotného systému s jeho okolím.

Bezpečnost otevřeného systému lze charakterizovat jako nástroj člověka, kterým zajišťuje svoji ochranu proti vnitřním i vnějším pohromám, které působí na systém, a zároveň zajišťuje, že systém neohrožuje své okolí ani za svých kritických podmínek. Řízení integrální bezpečnost z pohledu člověka, který řídí, ovládá nebo provozuje systém, je proces dynamický a zaměřuje se jak na vnitřní proměnné podmínky systému, tak i vnější proměnné podmínky v okolí systému [2].

Pojem infrastruktura má svůj původ v 19 století a slovo pochází z Francie. Obecně se jedná o množinu položek, které propojují strukturální prvky systému, a které udržují celý systém pohromadě. V dnešní době rozlišujeme infrastrukturu umělou, to znamená vytvořenou člověkem (šedá) a infrastrukturu v přírodním prostředí (zelená) [2].

V České Republice je pojem veřejná infrastruktura definován ve stavebním zákoně č. 183/2006 Sb. takto [2]:

- Dopravní infrastruktura – stavby pozemních komunikací, drah, vodních cest, letišť a s nimi souvisejících zařízení.
- Technická infrastruktura – vedení a stavby a s nimi provozně související zařízení technického vybavení, například vodovody, vodojemy, kanalizace, čistírny odpadních vod, stavby a zařízení pro nakládání s odpady, trafostanice, energetické vedení, komunikační vedení, veřejné komunikační sítě a elektronické komunikační zařízení.
- Občanské vybavení, kterým jsou stavby, zařízení a pozemky sloužící například pro vzdělávání a výchovu, sociální služby a péči o rodiny, zdravotní služby, kulturu, veřejnou správu a ochranu obyvatelstva.
- Veřejné prostranství zřizované nebo užívané ve veřejném zájmu.

Význam infrastruktury nespočívá jen ve veřejném zařízení, ale i v jeho správě, údržbě a rozvoji, který souvisí se společenskými požadavky, aby usnadnil dopravu lidí a zboží, poskytl pitnou vodu i vodu k technickému použití, bezpečně nakládal s odpady, poskytl energii nebo přenášel informace.

V obecném smyslu je infrastruktura skupina národohospodářských odvětví, které zajišťují předpoklady pro celkový rozvoj ekonomiky. Do ní patří zejména budování dopravního a spojového systému, energetických zdrojů, vodohospodářských zařízení, bytů, škol, zdravotnictví, výzkumných institucí apod. V pojetí se dále infrastruktura dělí na sociální (zdravotnictví, školství, výzkum) a ekonomickou (dopravní nebo energetický systém) [2].

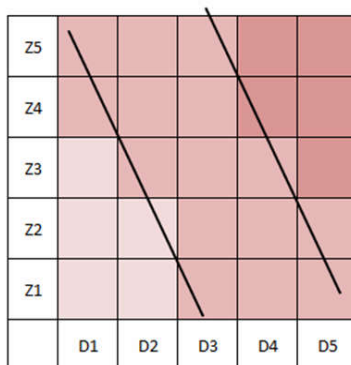
Z výše uvedených důvodů jsou infrastruktura a technologie jedním ze základních chráněných aktiv v lidském systému. Na základě vývoje a vzniku systému systémů, ve kterém docházelo k propojování různých infrastruktur, se zvyšovaly požadavky na odolnost vůči pohromám [2].

Kritická infrastruktura je taková infrastruktura v daném území, která je velmi důležitá pro chod území a zároveň je velmi zranitelná od očekávaných pohrom. Určuje se na základě metod multikriteriální analýzy, například pomocí matice kritičnosti.

Matice kritičnosti porovnává zranitelnost infrastruktury vůči očekávaným pohromám v území s důležitostí infrastruktury. Jde o míru stavu, ve kterém infrastruktura selže, přestane fungovat, nebo bude fungovat nesprávně. Zpravidla se vytvoří matice, kde je třeba ohodnotit jak osu kritičnosti, tak osu důležitosti. Je možné přistupovat k hodnocení slovně (zanedbatelné, malé, střední, vysoké, velmi vysoké) nebo číselně (1-5, kde 5 označuje nejvyšší míru zranitelnosti a kritičnosti). Příklad matice je vidět na obrázku 1, kde „Z“ označuje zranitelnost a „D“ označuje důležitost infrastruktury. Kritičnost

je územne špecifická vlastnosť, to znamená, že v niektorom území môže u stejnej infraštruktúry íť o KI a v inom území to tak íť nemusí [3].

Z obrázku 1 vyplýva, že v sektore ľavom je kritičnosť prijateľná, v sektore pravom je kritičnosť neprijateľná a v prostrednom podmínečne prijateľná, t. j. vyžaduje sa príprava a provedenie odezvy.



Obr. 1 - Matice kritičnosti [3]

3. CHARAKTERISTIKY ZEMĚTŘESENÍ A JEJICH DOPADY NA MOSTY

Zemětřesení je jednou z přírodních pohrom, která od určité velikosti mívá kritický dopad na infrastrukturu, obyvatelstvo nebo technologie. Ačkoliv v ČR nedochází často k otřesům, které jsou lidmi pocíťovány, v oblasti kritické infrastruktury je však nutné brát je v potaz. Pro zajištění bezpečí dané oblasti je třeba dodržovat několik kroků [4]: nasbírat lokální data o zemětřesení; zhodnotit dopad vyvolaný zemětřeseními ve sledované lokalitě; nasbírat data o zranitelnosti příslušných oblastí; vyhodnotit rizika vyvolaná zemětřesením na základě nasbíraných dat o zranitelnosti; zajistit správné řízení rizik vycházející z předešlé analýzy; připravit inženýrské řešení pro danou oblast; monitorovat situaci a v případě nutnosti aplikovat připravená nápravná opatření.

Výskyt zemětřesení, místo, čas vzniku a velikost dopadů závisí na vlastnostech území. Důležité jsou vlastnosti a parametry území, na základě kterých je možné určit zranitelnost aktiv [4]. U zemětřesení je klasifikace velikosti zemětřesení založena jak na měření energie, tak na určení intenzity podle velikosti dopadů na člověka, objekty, zařízení a území. K takto určené intenzitě ve stupních MSK-64 přiřazujeme pro potřeby inženýrů nejpravděpodobnější horní odhad zrychlení (tabulka 1) [5]. Vztahy mezi intenzitou a zrychlením se v průběhu let různými způsoby upravovaly. V době výstavby Nuselského mostu byl dle MSK-64 vypočítán odhad zrychlení pohybu podloží dle tabulky 1, t. j. bylo zvažováno zrychlení rovné $1.76 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ a nebyl brán v potaz příspěvek od zemětřesení k celkovému zatížení.

Tab. 1 - Klasifikace zemětřesení dle intenzity a zrychlení [6]

Stupeň intenzity	Zrychlení pohybu podloží dle MSK-64	Klasifikace zemětřesení
5°	$a = 0.12 - 0.25 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$	Dostí silné zemětřesení
6°	$a = 0.25 - 0.50 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$	Silné zemětřesení
7°	$a = 0.50 - 1.00 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$	Velmi silné zemětřesení

Z tabulky 1 vyplývá, že platí přímá úměrnost mezi intenzitou a zrychlením; vztah však není lineární.

Silné zemětřesení vždy poškodí objekty a infrastruktury, které jsou vytvořené běžnými stavebními postupy. Podle práce [7] zemětřesení Loma Prieta v roce 1989 se vyznačilo tím, že pobořilo téměř všechny mosty na dálnicích v Kalifornii, která je nejaktivnější seismickou zónou v USA.

Kalifornie patří ke kolébce seismického inženýrství, protože v průběhu krátkého časového období se zde vyskytla katastrofální zemětřesení, a to v roce 1857 a 1906, a jejich dopady byly tak silné, že odborníci vyčíslili škody řádově na 400 milionů USD. Proto je nyní nutné počítat se zemětřesením při výstavbě občanských a průmyslových objektů na celém světě. Pro přesnou identifikaci zemětřesení je nutná mezinárodní spolupráce a výměna dat. V Nevadě se nachází mezinárodní světové seismologické centrum (NEIS), kde jsou schraňována všechna data o zemětřeseních zaznamenaných na hlavních seismických stanicích světa. Česká republika disponuje třemi takovými stanicemi, a to v Průhonicích, Kašperských Horách a v Praze.

Na základě [5-7] je třeba konstatovat, že dosavadní poznatky o seismické problematice neumožňují s dostatečným předstihem spolehlivě předpovídat dobu, místo a intenzitu zemětřesení. Je však možné provádět preventivní opatření, zvýšit připravenost na pohromu a připravit odezvu proti ničivým následkům. Jedná se především o vhodnou výstavbu objektů a výchovu obyvatelstva [6].

Velmi silné zemětřesení v Kalifornii v roce 1989 neponičilo jaderné elektrárny, ale poškodilo významné mosty BayBridge a Cypress Street Viaduct, obrázek 2, což způsobilo největší ztráty na lidských životech. V důsledku pohromy došlo ke zpřísnění standardů při započítání seismického ohrožení při výstavbě mostů [7].



Obr. 2 - Most Cypress Street Viaduct po zemětřesení v Kalifornii v roce 1989 [8]

V České Republice nehrozí katastrofální zemětřesení, je však nutné brát v potaz i menší zemětřesení, která mohou vyvolat velké škody a ztráty na lidských životech [6].

4. DATA O NUSELSKÉM MOSTU

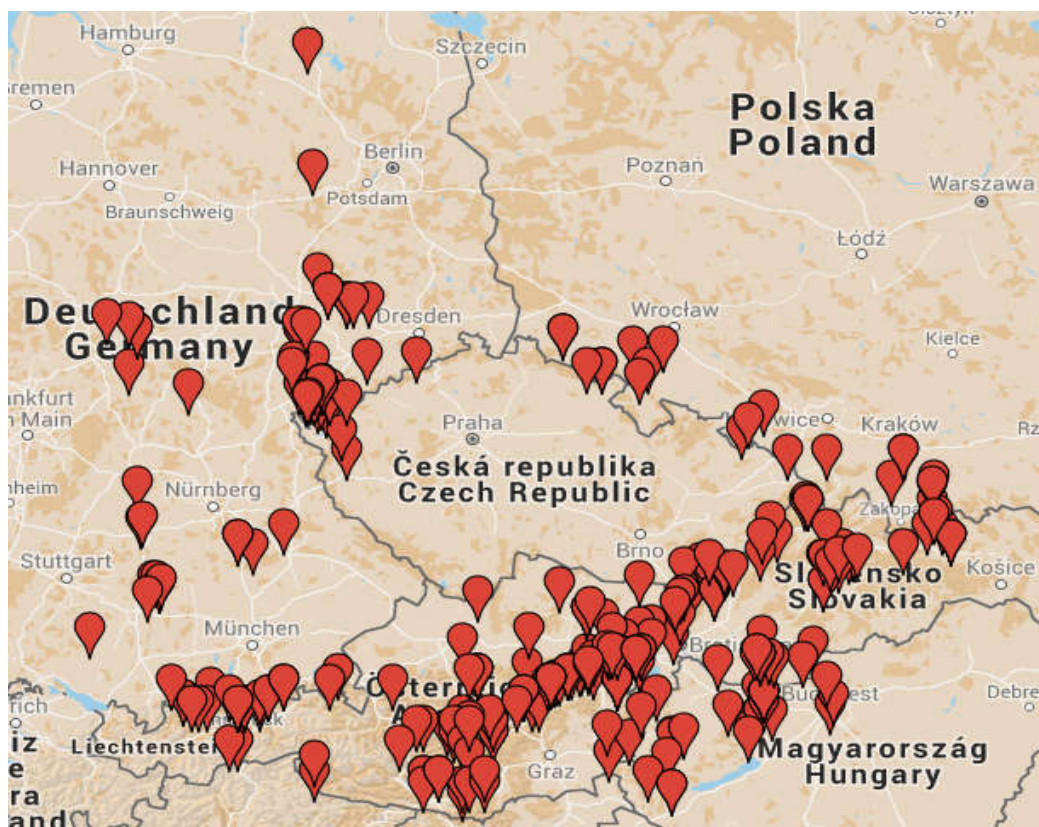
Nuselský most je svou délkou 485 metrů jednou z nejvýznamnějších dopravních staveb hlavního města Prahy. O propojení centra města s novými osídlenými celky na Pankráci se hovořilo již v druhé polovině 19. století. První návrh na přemostění navrhl již v roce 1903 inženýr Jaroslav Marjanko, na kterého navázali o patnáct let později inženýr Stanislav Bechyně s architektem Bohumírem Kozákem. Po více než čtyřiceti letech, v roce 1965, byl položen základní kámen mostu. Se samotnou výstavbou se začalo až o dva roky později [9,10].

V roce 1970 započaly zátěžové zkoušky. První z nich, statické, probíhaly pomocí 66 tanků T55 a 3000 tun štěrkopísku. Dynamické zatěžkávací zkoušky probíhaly až v roce 1974, tedy rok po otevření mostu. Raketové motory měly za úkol rozkmitat mostovku, která se měla otevřít provozu metra (obrázek 3). Kvůli zkoušce musel na minutu pražský rozhlas pozastavit vysílání, protože byl zjištěn vliv vysílání na kmit železobetonové výztuže [9,10].



Obr. 3 - Dynamická zkouška Nuselského mostu [9]

Pro data o zemětřesení je výchozím materiálem katalog [13]. Předmětný katalog, obsahuje zemětřesení z regionu, který lze pomocí souřadnic vyjádřit jako obdélník ohraničený body 46.7 – 51.5°N, 11 – 24°E, což odpovídá oblasti zahrnující střední Evropu a okolí. Katalog obsahuje data o zemětřesení z období od roku 456 do roku 1996 a ke každému záznamu je uveden čas, místo vzniku a intenzita v MSK-64. Epicentra relevantních zemětřesení jsou na obr. 4.



Obr. 4 - Oblasti zemětřesení, ve kterých se mohou vyskytnout jevy, které mohou způsobit škody na Nuselském mostě [14]

Pro stanovení dopadů velkého zemětřesení na Nuselský most a jeho okolí bylo nejprve spočteno seismické ohrožení mostu [14] a poté metodou What, If [15] stanoveny dopady.



5. DOPADY EXTRÉMNIHO ZEMĚTŘESENÍ

Hodnoty seismického ohrožení, tj. hodnoty intenzit zemětřesení, spočtené v práci [14], jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 – Výsledné hodnoty očekávaných intenzit zemětřesení

Hodnota největší očekávané intenzity zemětřesení v epicentru	Hodnoty největší očekávané intenzity se započítaným útlumem, tj. v místě sledovaného mostu
10.125°	5.1°
10.458°	5.4°
10.708°	5.7°
10.875°	5.8°
10.937°	5.9°
10.979°	5.9°

Dle [13] bylo při stavbě bráno v úvahu zrychlení rovné $1.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, tj. podle tehdejších norem nebyl brán v potaz příspěvek od zemětřesení k celkovému zatížení. Postupem doby došlo ke změně, a hodnotám intenzit byly přiřazeny vyšší hodnoty zrychlení. Dle práce [16] je dle současných norem přiřazena hodnota $3.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, což je hodnota podstatně vyšší, než byla zvažována v době výstavby mostu.

Je nutné brát v potaz současný požadavek Eurokódu [16], že již od 5° MSK-64 se musí brát v celkovém zatížení příspěvek od seismického zatížení. Dle [13] dostaneme pro intenzitu zemětřesení 5.8° hodnotu zrychlení rovné $2.47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, což je vyšší než hodnota zrychlení $1.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, na kterou byl most stavěn. Z pohledu dnešního poznání je zřejmé, že most není tak odolný, jak je třeba dle současných normativních požadavků. I když připustíme jisté bezpečnostní rezervy, technické úpravy a modernizace mostu, tak je stejně třeba počítat s příslušným rizikem, a proto provádíme metodu WhatIf pro identifikaci dopadů mostu při silném zemětřesení, tj. vyšším než 6.5° MSK-64.

Na obrázku 5 je znázorněno rozložení aktiv v oblasti pod Nuselským mostem, která jsou ohrožena poškozením nebo prolomením mostu; v tabulce 3 je jejich výčet.

Tab. 3 - Výčet chráněných aktiv pro oblast pod Nuselským mostem

1	park Folimanka	9	GPS centrum Garmin
2	potok Botič	10	kancelářská budova
3	sportovní aréna Folimanka	11	kancelářská budova
4	dětské hřiště	12	Sport bar Time
5	benzinová pumpa Agip	14	kancelářská budova Folimanka
6	podchod pod železniční tratí	15	penzion Beta
7	tramvajová dráha	16	Parkoviště
8	železniční dráha	17	Parkoviště

V tabulke 4 jsou dopady velkého zemětřesení vyvolané bezprostředně po jeho zasažení. Tabulka 5 obsahuje dopady po šesti hodinách a tabulka 6 obsahuje dopady způsobené po třech dnech.

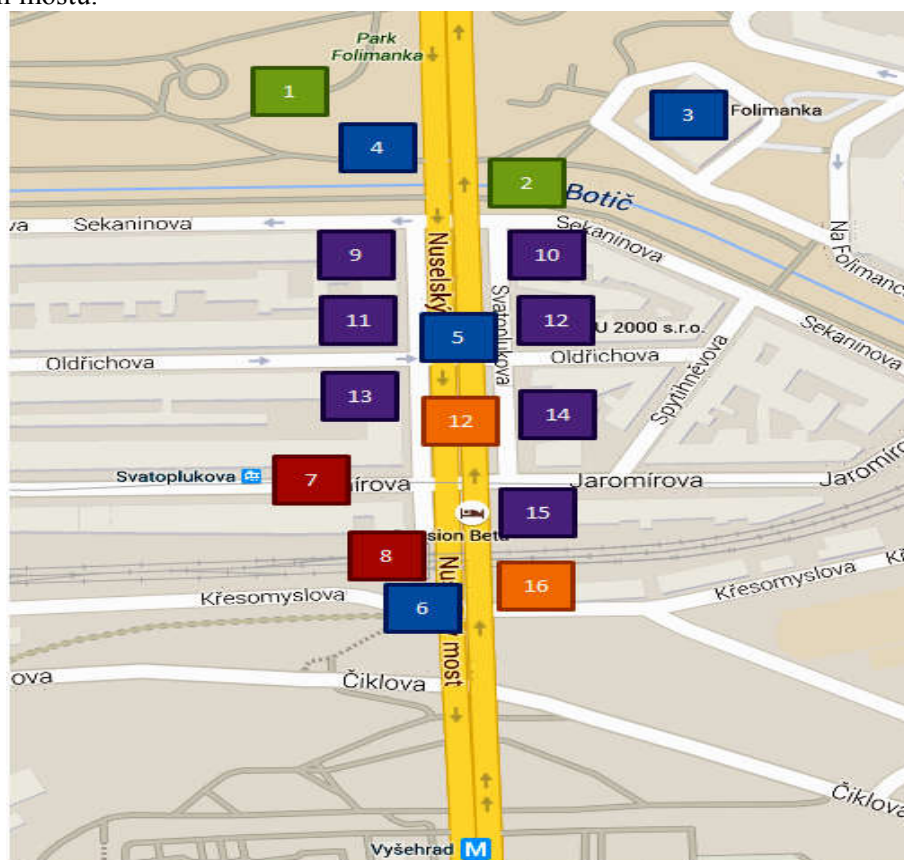
Z tabulky 4 vyplývá, že zemětřesení způsobí vysoké škody na životech a zdraví lidí nacházejících se na mostě a v jeho bezprostředním okolí. Především pod mostem bude situace kritická. Nejčastějšími příčinami úmrtí budou zasažení uvolněnými částmi mostu a předměty nacházející se na něm.

Z pohledu bezpečí lidí a veřejného blaha bude hrát velkou roli panika a stres, které postihnou svědky události. Pod mostem se nachází benzínová pumpa, kde hrozí nebezpečí výbuchu, požáru a rozptýlu nebezpečných látek, sídlí zde firmy a restaurace, v provozu jsou dvě větší parkoviště. Ztráty na majetku budou převážně v této oblasti velmi vysoké. V přímém poškození v souvislosti s poškozením životního prostředí budou park Folimanka a potok Botič.

Vzhledem k tomu, že Nuselský most představuje páteční dopravní tepnu Prahy, je velmi pravděpodobné, že dojde k omezení hromadné i osobní dopravy. Přerušena bude doprava nejen na mostě (metro, automobily), ale také pod ním, kde se nachází tramvajová a železniční trať. Kongesce budou vznikat po celém území hlavního města.

Z tabulky 5 vyplývá, že po šesti hodinách dojde k nárůstu počtu mrtvých a zhoršení zdravotního stavu u zraněných především z důvodu složité přístupnosti zavalených oblastí. Situace bude nejkritičtější pod mostem. Dojde k plnému uvědomění si situace u svědků události, které může mít za následek jejich psychické zhroucení. Stres z dřívější události se bude postupně šířit do celého města.

K dalšímu poškození na majetku může dojít domino efekty, a to především v souvislosti s benzínovou pumpou a narušením statiky mostu či přilehlých domů. Přetrvávat budou problémy s hromadnou i osobní dopravou, dojde však ke stanovení objízdných tras a tím k postupnému zlepšování se situace. Může dojít k úhynu fauny a flóry nacházející se v potoce Botič a ke kontaminaci půdy v okolí mostu.



Obr. 5 - Území postižené prolomením mostu při extrémním zemětřesení s vyznačenými chráněnými aktivy



Tab. 4 - Dopady spôsobené veľkým zemetresením pro 0 hodin [14]

Chránené aktívum	Možné dopady
Životy a zdraví ľudí	- úmrtí alebo vážne zranění osob vyvolané selháním mostu (vážným poškozením až prolomením) - ztráty na životech či poranění v důsledku dopravní havárie v bezprostřední blízkosti mostu - poranění nebo úmrtí obyvatel zasažených uvolněnými částmi mostu, především v místech dětského hřiště, sportovní arény Folimanky a dalších budovách v oblasti pod mostem - úmrtí nebo vážne zranění osob v důsledku výbuchu čerpací stanice nacházející se pod Nuselským mostem
Bezpečí lidí	- panika, stres, šok ze zemetřesení nebo havárie - psychické zhroucení u obyvatel poškozených oblastí
Majetek	- poškození majetku osob nacházejících se na mostě nebo v jeho okolí (auta na přilehlých parkovištích, čerpací stanice, budovy nacházející se pod mostem) - poškození samotného mostu nebo přilehlé silnice - poškození objektů pod mostem zasažených úlomky padajícími z poškozeného až prolomeného mostu
Veřejné blaho	- neklid mezi občany, narušení veřejného pořádku
Životní prostředí	- devastace parku Folimanka nacházejícího se pod mostem - zamoření ovzduší prachem - přímé znečištění potoka Botiče v důsledku napadaných úlomků a unikajících látek z blízké čerpací stanice
Infrastruktury a technologie	- přerušení provozu metra a automobilové dopravy na mostě a v přilehlých oblastech - přerušení tramvajové a železniční dopravy nacházející se pod mostem - vznik kongescí přilehlých dopravních obslužností - narušení elektrického vedení, porušení objektů v bezprostřední blízkosti

Tab. 5 - Dopady způsobené zemetřesením pro 6 hodin [14]

Chránené aktívum	Možné dopady
Životy a zdraví lidí	- nárůst počtu úmrtí a zranění vyvolaných postupným selháváním mostu - úmrtí či zhoršení zdravotního stavu osob na mostě a v jeho okolí z důvodu nedostatku zdravotnického personálu a léků - kritická situace bude především v oblasti pod mostem, kde se nachází občanská vybavenost (kancelářské budovy, Sport bar Time, penzion Beta), sportovní hala Folimanka a dětské hřiště - uvěznění přeživších v podchodu nacházejícím se pod mostem, které může zvýšit počet úmrtí - hrozba udušení nebo zhoršeného dýchání u osob uvězněných v sutinách - v letních měsících zvýšená pravděpodobnost dehydratace a v zimních měsících riziko podchlazení,
Bezpečí lidí	- plné uvědomění si závažnosti situace - prohloubení pocitu beznaděje - obavy o budoucnost - stres z probíhající evakuace - nástup vandalizmu v obchodech, restauracích a obytných domech nacházejících se v přilehlé oblasti mostu - obava z možné exploze čerpací stanice
Majetek	- rabování nebo poškození majetku způsobené kriminální činností v přilehlé oblasti mostu - nárůst škod na majetku zapříčiněný domino efektem (například postupný únik paliva z čerpací stanice může v kombinaci s poškozením elektrického



	vedení vést k požáru)
Veřejné blaho	- vzrůstající nejistota a obavy z budoucnosti - přerušení významné dopravní tepny a s tím spojené komplikované vypořádání - nedostatek prostředků a sil pro obnovu - občanské nepokoje spojené s přerušením linky C pražského metra a železniční a tramvajové trati nacházející se pod mostem
Životní prostředí	- kontaminace půdy, podzemních vod a ovzduší zapříčiněná velkým počtem dopravních nehod a čerpací stanicí - zvýšení hluku v oblasti objízdných tras - kontaminace potoku Botič a jeho povodí (Hostivařská přehrada) a s tím spojený úhyn fauny a flory
Infrastruktury a technologie	- přetrvávající problém s nedostatkem elektrické energie v poškozené oblasti - přerušení významné dopravní tepny a s tím spojené komplikované vypořádání s přesměrováním dopravy - kongesce - kolaps hromadné dopravy - velké vytížení nouzových služeb (policie, hasiči, záchranná služba) - narušení plynového potrubí a vodovodů

Tab. 6 - Dopady způsobené zemětřesením pro 3 dny [14]

Chráněné aktivum	Možné dopady
Životy a zdraví lidí	- úmrtí v nemocnici v důsledku vážných poranění - přetrvávající dýchací problémy obyvatel v přilehlých oblastech - problémy se zásobováním, především pitnou vodou a léky - zvýšení pravděpodobnosti dopravních nehod vyvolaných zahuštěním dopravy (zejména kamionové) na objízdných trasách - zhoršení hygienické situace (výskyt krys, narůstající odpad)
Bezpečí lidí	- stále přetrvávající pocit bezraděje - ohrožení bezpečí lidí v důsledku zvýšené kriminality v postižené oblasti
Majetek	- ztráta zisku obchodů a restaurací z důvodu výpadku zásobování a úbytku zákazníků - dodatečné narušení statiky budov na poškozeném území, které vedou k částečné či úplné demolici - zhoršení stavu pozemních komunikací na objízdných trasách - přetrvávající stav rabování a krádeží
Veřejné blaho	- zhoršení životní úrovně obyvatel žijících na objízdných trasách - přetrvávající obtíže s dopravní obslužností postižených oblastí - pokračují obavy obyvatel o budoucnost
Životní prostředí	- hromadící se odpad v poškozené oblasti jako následek ztížené dopravní obslužnosti - přetrvávající problém s kontaminací ovzduší, půdy, podzemních vod a Botiče
Infrastruktury a technologie	- stále přetrvávající problém s nedostatkem elektrické energie v poškozené oblasti - přetížení oblastí objízdných tras - kongesce - pokračující obtížná situace se zásobováním a dopravní obslužností postiženého místa

Z tabulky 6 vyplývá, že situace bude závažná také po třech dnech od události. Ke ztrátám na životech bude docházet výhradně v nemocnicích v důsledku závažných poranění. Dojde ke zhoršení hygienické situace v okolí mostu, a to kvůli ztížené dopravní obslužnosti daného místa a přetrvávajícím problémům s dodávkou elektrické energie do poškozené oblasti. Postižená oblast bude také místem častého rabování a zvýšené kriminality. Objízdné trasy budou přetížené, což zapříčiní nárůst stresu mezi obyvateli.



6. NÁVRH OBECNÝCH OPATŘENÍ PRO ZVLÁDNUTÍ NOUZOVÉ SITUACE

Výsledky uvedené v kapitole 5 ukazují, že může dojít k nepříjemným dopadům na chráněná aktiva. Proto je třeba provést určitá opatření. Výčet obecných opatření je v tabulce 7.

Tab. 7 - Obecná opatření pro zvládnutí dopadů extrémního zemětřesení [14]

Očekávané nepříjemné dopady	Opatření
Uvolnění částí mostu	- technická opatření ochranného charakteru - včasné varování - rychlá reakce nouzových služeb - zabezpečení rozletu trosk
Stres a panika	- plán komunikace s veřejností
Výbuch benzinové pumpy	- technická opatření ochranného charakteru - rychlá odezva - zabránění šíření požáru
Přerušení dopravy	- technická opatření - zajištění náhradní dopravní obslužnosti
Zvýšená kriminalita	- nasazení městské policie pro udržení veřejného pořádku

Z tabulky 7 vyplývá, že pro zemětřesení je velkou hrozbou porušení statiky mostu a uvolnění částí mostu. Je třeba provést technická opatření k zrychlení obnovení stability mostu. Pro snížení ztrát a škod pomůže též včasné varování obyvatel na mostě a pod ním. Lidé budou panikařit. Proto je nutná příprava veřejné správy na to, že v případě výbuchu benzinové pumpy pod mostem, a s tím spojeného požáru a rozptýlu nebezpečných látek je třeba rychle zajistit ukrytí lidí.

Zcela jistě dojde k přerušení dopravy na mostě a v jeho okolí, a to jak dopravy silniční tak železniční. Musí být připraven plán náhradní dopravy a jasně stanovené objízdné trasy. Je třeba počítat s tím, že po výskytu velké pohromy bude zvýšená kriminalita.

U každého rizika je třeba stanovit pravděpodobnost výskytu v dané oblasti a navrhnout opatření pro zmírnění. Plán řízení rizik pro případ výskytu velkého zemětřesení je uveden v tabulce 8.

Tab. 8 - Plán řízení rizik pro případ zemětřesení

Oblast rizika	Popis rizika	Pravděpodobnost výskytu	Opatření na zmírnění rizika
Organizace odezvy	Velké časové zpoždění nouzových služeb (IZS)	Malá	1. Pravidelné cvičení IZS 2. Příprava a trénink speciálních plánů dle charakteru dopadů zemětřesení
Veřejná správa	Velké časové zpoždění v realizaci varování (selhání veřejného rozhlasu, sirén, apod.)	Malá	1. Příprava a trénink speciálních plánů pro případ zemětřesení 2. Připravený text k provedení varování 3. Pravidelné testování rozhlasu 4. Varování hluchých obyvatel
Špatná reakce veřejné správy	Zpožděná evakuace	Malá	1. Zajistit výcvik veřejné správy 2. Pravidelně procvičovat součinnost veřejné správy a IZS 3. Zajistit pravidelné kontroly obecních úřadů, zda jsou připraveny na evakuace, tj. zda mají smlouvy na objekty, do kterých provedou evakuaci nebo autobusy kterými provedou evakuaci. 4. Zajistit informovanost obyvatel.



Personální	Ztráta zkušených pracovníků odchodem do zahraničí	Malá	1. Nabídka perspektivního zaměstnání 2. Finanční a firemní benefity
Selhání zpravodajských služeb	Podcenění možnosti teroristického útoku	Malá	1. Pravidelná kontrola činností zpravodajských služeb, zda jsou efektivní nebo ne.

7. ZÁVĚR

Základní funkcí státu je zajistit bezpečí chráněných veřejných aktiv a udržitelný rozvoj státu. Bezpečnost dopravy i kritické dopravní infrastruktury je velmi zásadní, protože doprava uspokojuje základní potřeby obyvatelstva, tj. přemísťování lidí a hmotných statků. Uvedená funkce je zásadní při kritických situacích, protože je třeba dostat záchranáře, materiál a techniku pro zvládnutí zásahu do postiženého místa, a zároveň evakuovat lidi z postiženého místa.

Nuselský most patří k nejvýznamnějším dopravním stavbám v Praze a v případě velkého zemětřesení by mohlo dojít k nepříjemným dopadům na chráněná aktiva. V bezprostředním okolí mostu byla provedena rekognoskace terénu s cílem vymezit konkrétní kritická místa, která by v případě pohromy byla nejvíce postižena. Na základě provedené analýzy byly stanoveny dopady na životy a zdraví lidí, majetek, veřejné blaho, životní prostředí, bezpečí lidí a technologie a infrastrukturu pro případ velkého zemětřesení.

Výsledky práce [14] ukazují, že je třeba se v praxi zabývat řízením bezpečnosti Nuselského mostu a provést opatření a činnosti vedoucí k zajištění objektu. Z dopravního hlediska musí být připraven plán náhradní dopravy a jasně stanovené objízdné trasy.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Analýza a řízení rizik*. Praha: České vysoké učení technické 2011, 405 p. ISBN 978-80-01-04841-2.
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Bezpečnost kritické infrastruktury*. Praha: České vysoké učení technické 2012, 318 p. ISBN 978-80-01-05103-0.
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. Praha: České vysoké učení technické 2013, 223 p. ISBN 978-80-01-05245-7.
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Bezpečnost složitých technologických systémů*. Praha: České vysoké učení technické 2015, 208 p. ISBN 978-80-01-05771-1.
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Rizika spojená s pohromami a inženýrské postupy pro jejich zvládnutí*. Praha: České vysoké učení technické 2013, 234 p. ISBN 978-80-01-05479-6.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Seismické inženýrství na prahu třetího tisíciletí*. Ostrava: SPBI, 2007, 325p. ISBN 978-80-7385-022-7.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D., DEMJANČUKOVÁ, K.: *Earth quakes, Hazards and Principles for Trade-off with Risks*. Plzeň: University of West Bohemia, 2012, 215p. ISBN 978-80-261-0170-3.
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D.: Zemětřesení v Kalifornii. *Vesmír*. 1990, 3.
- [9] Encyclopedie Britannica. *San Francisco - Oakland Earthquake of 1989*. 2015. <http://www.britannica.com/event/San-Francisco-Oakland-earthquake-of-1989>.
- [10] ARATON, H.: The New York Times. *When the Earth Shook and the Series Stood Still*. http://www.nytimes.com/2014/10/26/sports/baseball/when-the-earth-shook-and-the-series-stood-still.html?_r=0.
- [11] Jamrtal. *Historie projektu*. 2012. <http://www.jamrtal.com/nuselsky-most/#!>.
- [12] DAHINTER, K.: *Nuselský most - 40 let od uvedení do provozu*. 2014. <http://www.earch.cz/cs/architektura/nuselsky-most-40-let-od-uvedeni-do-provozu>.



- [13] Semecký, A.: *Ústní sdělení*. Technická správa komunikací hl. m. Prahy, 2014-10-20.
- [14] PROCHÁZKOVÁ, D., ŠIMŮNEK, P.: *Fundamental Data for Determining Seismic Hazard for Localities in Central Europe*. Praha: Ústav mezinárodních vztahů, 1998, 132 p. ISBN 80-238-2661-1.
- [15] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. Praha: České vysoké učení technické 2011, 369 p. ISBN 978-80-01-04842-9.
- [16] ČR: ČSN EN. *Eurokód 8: navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení*. Část 1: Obecná pravidla, seismická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ADRESA AUTORKY

Doc. RNDr. Dana PROCHÁZKOVÁ, PhD., DrSc.,
ČVUT v Praze, fakulta dopravní, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, Česká republika
e-mail: prochazkova@fd.cvut.cz

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.