



EXPERIMENTALLY VERIFICATION OF THE SEISMIC WAVE ATTENUATION EXCITED BY THE HEAVY LOAD DROP

L. Pečínka*, J. Malý*, D. Procházková**, P. Šimůnek***

Summary: *Impact of the military or civil aircraft on the containment of nuclear power plants of new generation shall be solved mandatory as the part of the Final Safety Analysis Report. Up to now unsolved problem is the aircraft drop in the vicinity of NPP. In this case exist two basic questions*

- amount of excited artificial seismic energy,
- damping coefficient of excited seismic energy.

These problems have been solved theoretically and experimentally in Nuclear Research Institute Rež plc. Theoretical part is based on the law of energy conservation and zero approximation of ray theory. In the experimentally part the artificial seismic event have been excited using helicopter Mi 8 and the fall of two cubes 1x1x1m and one octahedron with approximately same dimensions from the heights 125 m resp. 300. Consequently the conversion coefficient and damping coefficient have been evaluated.

1. Úvod

Náraz vojenského nebo civilního letadla do kontejnmentu jaderné elektrárny musí být povinně řešen v Předprovozní bezpečnostní zprávě, po jejímž odsouhlasení dává státní dozor souhlas se zahájením fyzikálního spouštění. Dosud neřešenou událostí jsou účinky technické seismicity vyvolané pádem letadla do blízkého okolí elektrárny. Tímto problémem jsme se teoreticky i experimentálně zabývali v Ústavu jaderného výzkumu Řež a.s. v programovém projektu MPO ČR, ID č. FT-TA4/083.

2. Systém základních rovnic

Vychází se ze zákona o zachování energie ve tvaru

$$dW = dV + dK + dJ \quad (1)$$

kde dW znamená energii uvolněnou v jednotkovém objemu za čas dt , dU je změna vnitřní energie, dK změna kinetické energie a dJ je vykonaná práce.

Energie vyzařených seismických vln je zahrnuta v členu dJ .

* Ing. Ladislav Pečínka, CSc.: Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.; 250 68 Husinec-Řež, čp. 130; tel.: +420 266 172 610; fax: +420 220 940 519; e-mail: pel@ujv.cz

* Ing. Jan Malý: Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.; Vyskočilova 3/741; tel.: +420 241 006 420; fax: +420 241 006 797; e-mail: maly@egp.cz

** Doc., RNDr. Dana Procházková, DrSc, Univerzita J.A.Komenského, Roháčova 89, 130 00 Praha 3; tel.: +420 267 199 061; e-mail: dr.Prochazkova.Dana@seznam.cz

*** RNDr. Pavel Šimůnek, CSc., Energoprůzkum Praha s.r.o., Pod svahem 757/11, 147 00 Praha 4 – Bráník; tel.: +420 244 460 068, e-mail: energopruckum@volny.cz

Celkovou energii seismických vln E_0 lze vyjádřit vztahem

$$E_0 = \int_0^{\tau} \int_S \varepsilon d S d t \quad (2)$$

kde S je plocha, kterou protéká energie z místa dopadu tělesa, τ je čas po který energie protéká a ε znamená tok energie, pro který platí vztah

$$\varepsilon = e \mathbf{v} d \Omega \quad (3)$$

kde e je hustota energie, \mathbf{v} postupná rychlost vlny a $d \Omega$ průřez paprskové trubice.

Pro hustotu energie platí vztah

$$e = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (4)$$

kde v je okamžitá rychlost. V nulovém přiblížení paprskové teorie je posunutí částice \mathbf{u} v prostoru dáno vztahem

$$\mathbf{u} = A e^{i\omega(t-\tau)} \mathbf{n} \quad (5)$$

kde A je amplituda posunutí, \mathbf{n} je jednotkový vektor, ω kruhová frekvence a τ čas dopadu tělesa. Pro okamžitou rychlost \mathbf{v} platí tudíž vztah

$$\mathbf{v} = i \omega A e^{i\omega(t-\tau)} \mathbf{n} \quad (6)$$

Je tedy zřejmé, že absolutní hodnota okamžité rychlosti je dána vztahem

$$v = |\mathbf{v}| = \omega A \quad (7)$$

Okamžitou hustotu energie e dostaneme dosazením (7) do (4). Platí tedy

$$e = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 \quad (8)$$

a odtud dosazením do (3)

$$e = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 v d \Omega \quad (9)$$

což lze ještě upravit do tvaru ($\omega = 2\pi/T$)

$$\varepsilon = 2\pi^2 \rho \frac{A^2}{T^2} v d \Omega \quad (9a)$$

Za zjednodušeného předpokladu, že seismické vlny se šíří v homogenním poloprostoru a že jde o sférické šíření seismických vln s exponenciálním úbytkem seismické energie se vzdáleností, dostaneme pro energii vztah

$$E = 2\pi^{-3} \rho r^2 t \frac{A^2}{T^2} v e^{+kr} \quad (10)$$

kde r je vzdálenost a k je koeficient tlumení. Pro superpozici harmonických vln lze tudíž psát

$$E = 2\pi^2 \rho r^2 e^{-\beta r} \int \mathbf{v} \frac{A^2}{T^2} d t \quad (11)$$

Z této rovnice tudíž plyne, že pro určení eventuálních škod na zařízení JE je třeba znát

- velikost vybuzečné seismické energie,
- útlum seismické energie se vzdáleností od místa dopadu.

Pro vyhodnocování experimentu je zapotřebí znát nárazovou dynamickou sílu \mathbf{f} a dobu působení nárazu Δt . Dle [1] platí tyto vztahy

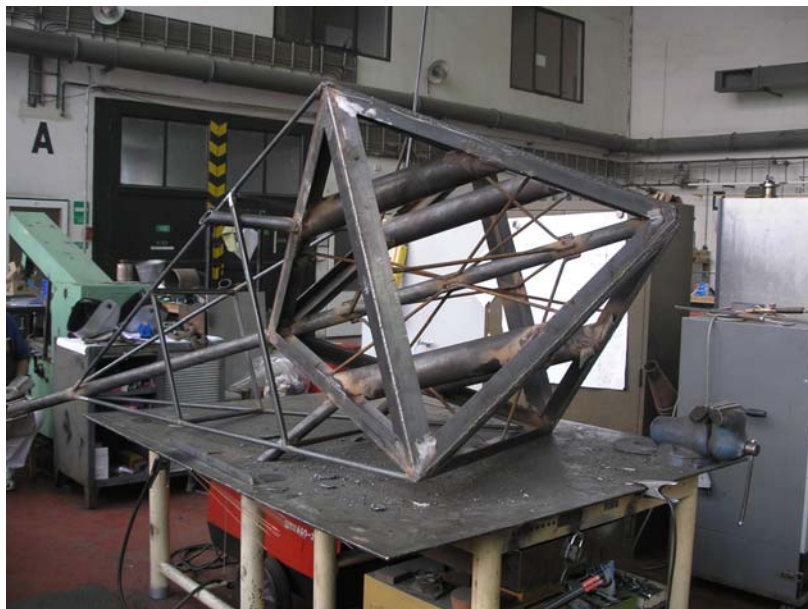
$$F = \mathbf{v} \sqrt{k m} \quad \Delta t = \sqrt{m/K} \quad (12)$$

kde m je hmotnost tělesa a k ekvivalentní tuhost pružného tělesa.

3. Experimenty

Experimenty se skládaly z

- i) návrhu a výroby dvou betonových krychlí o rozměrech cca $1 \times 1 \times 1$ m s vnitřní ocelovou konstrukcí a jednoho osmistěnu o přibližně týchž rozměrech. Na Obr. 1 je zobrazena fáze výroby ocelové konstrukce osmistěnu a na Obr. 2 konečný tvar osmistěnu.



Obr. 1: Ocelová konstrukce osmistěnu



Obr. 2: Hotový osmistěn

- ii) pádové zkoušky v lokalitě Hosín (cca 20,5 km od JE Temelín). Použita byla helikoptéra Mi 8, pádové výšky byly 125 m pro krychli a osmistěn a 300 m pro druhou krychli. Tělesa byla zavěšena na laně s automaticky ovládaným úchytem. použito bylo 5 snímačů, umístěných ve spirále



Obr. 3: Krychle po dopadu, pádová výška 125 m



Obr. 4: Odpovídající deformace povrchu



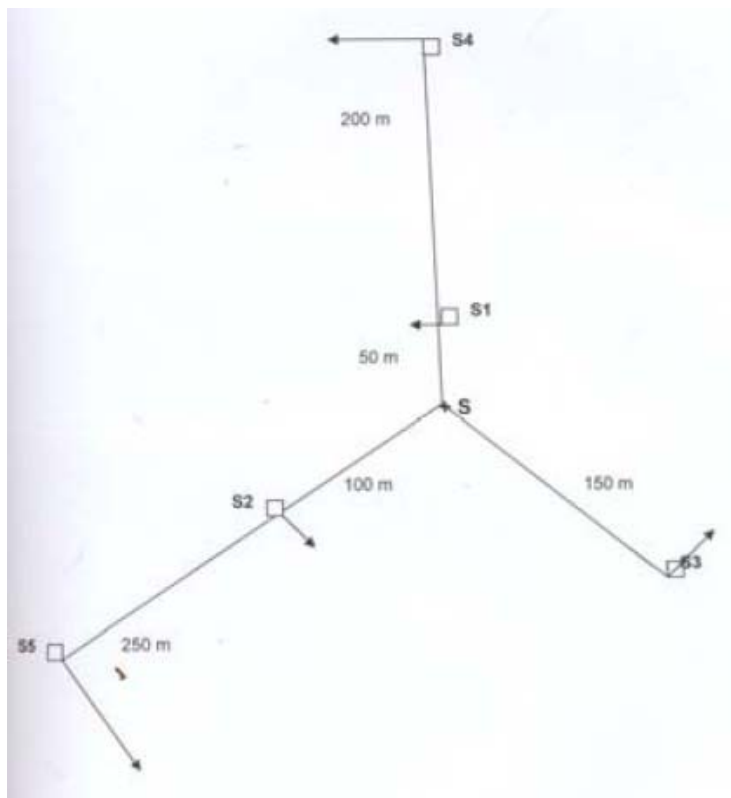
Obr. 5: Osmistěn po dopadu, pádová výška 125m



Obr. 6: Odpovídající deformace povrchu



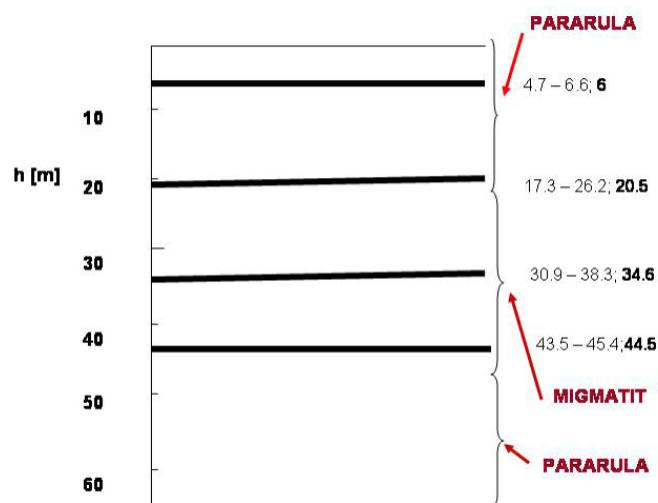
Obr. 7: Deformace povrchu po dopadu krychle, pádová výška 300 m



Obr. 8: Umístění snímačů



Obr. 9: Pohled na snímač S4



Obr. 10: Tektonické zóny v místě experimentu

4. Vyhodnocení experimentů

V závěru kapitoly 2 bylo stanoveno, že výsledkem experimentu musí být

- i) podklady pro výpočet uvolněné seismické energie,
- ii) součinitel útlumu seismických vln.

ad i) Množství uvolněné seismické energie se určuje na základě „součinitele konverze“ C , definovaného vztahem

$$C = \frac{\text{seismická energie}}{\text{celková energie}} \quad (13)$$

kde totální energie = $m g h$ (h je výška pádu) a seismická energie se určí ze vztahu nárazová síla (rovnice (12)) $\times A_0$, kde A_0 je amplituda v místě nárazu. Vypočtené hodnoty C jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: Vypočtené hodnoty konverze v lokalitě Hosín

Experiment	A_{OF} [m]	A_0 [m]	Impacting force [N]	Seismic energy [J]	Total energy [J]	Conversion coefficient [-]
Cube, h = 125 m	0.00772	0.0109	(4.1 ÷ 7.4) E+7	(4.5 ÷ 8.1) E+5	3.07 E+6	0.15 ÷ 0.26 0.21 MEAN
Octaheder, h = 125 m	0.0402	0.0057	(4.1 ÷ 7.4) E+7	(2.3 ÷ 4.2) E+5	3.07 E+6	0.08 ÷ 0.14 0.11 MEAN
Cube, h = 300 m	0.0288	0.041	(6.4 ÷ 11.5) E+7	(2.6 ÷ 4.7) E+6	7.36 E+6	0.35 ÷ 0.64 0.5 MEAN
			11.1 E+7	4.6 E+6		0.63

ad ii) Při stanovení součinitele útlumu β jsme vycházeli z normy [2], tj. ze vztahu

$$A = A_0 D^{-\alpha} e^{-\beta D} \quad (14)$$

kde A je amplituda podloží v epicentrální vzdálenosti D . Výsledky vyhodnocení jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2: Vypočtené součinitele útlumu β

Experiment	A_{OF} [m]	α	β
Cube, h = 125 m	0,00772	2	0,0138
Octaheder, h = 125 m	0,00402	2	0,0046
Cube, h = 300 m	0,02880	2	0,0090
Mean values		2	0,0091

5. Závěr

Výsledky experimentů lze formulovat takto

- geologie podloží byla stabilní a shodná s podložími JE Temelín,
- vypočtený součinitel útlumu $\beta = 0,0091$ je menší v porovnání s normou [2],
- součinitel konverze C je proměnný v intervalu $C \in \langle 0.11; 0.63 \rangle$. Zajímavé je, že závisí na tvaru tělesa a výšce pádu. Přijatá hodnota $C = 0.7$ je dostatečně konzervativní.

Literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-7 (730035): Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-7: Obecné zatížení – Mimořádná zatížení, ČNI 2007
- [2] ČSN 730040: Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva, ČNI 1996