

VLIVY VIBRACÍ A ZPŮSOBU PROVEDENÍ PRŮMYSLOVÉ DRÁTKOBETONOVÉ PODLAHY NA JEJÍ PORUŠITELNOST

Doc. Ing. Daniel Makovička, DrSc. (1)
Ing. Daniel Makovička (2)

- (1) České vysoké učení technické v Praze, Kloknerův ústav; Šolínova 7, 166 08 Praha 6; tel.: 224 353 856, fax: 224 353 511; e-mail: makovic@klok.cvut.cz; web: www.cvut.cz.
- (2) Statika a dynamika konstrukcí; Šultysova 170, 284 01 Kutná Hora; tel.: 608 029 251; fax: 235510987; e-mail: d.makovicka@worldonline.cz; web: www.makovicka.cz.

Anotace:

V drátkobetonové konstrukci podlahy výrobní haly textilního závodu se vyskytly trhliny. Protože vlastní konstrukce podlahy byla nová, poškození trhlinami bylo přičítáno na vrub dynamickým účinkům textilních strojů. To byl důvod pro změření úrovně vibrací podlahy. Příspěvek v návaznosti na výsledky měření vibrací se zabývá posouzením možnosti vzniku trhlin v podlahové konstrukci ve srovnání s její ohybovou únosností, včetně doporučení pro řešení konstrukcí tohoto typu. Příspěvek je zaměřen na specifika odezvy konstrukce, předcházení vzniku trhlin a z nich plynoucí doporučení pro navrhování.

1. Popis konstrukce

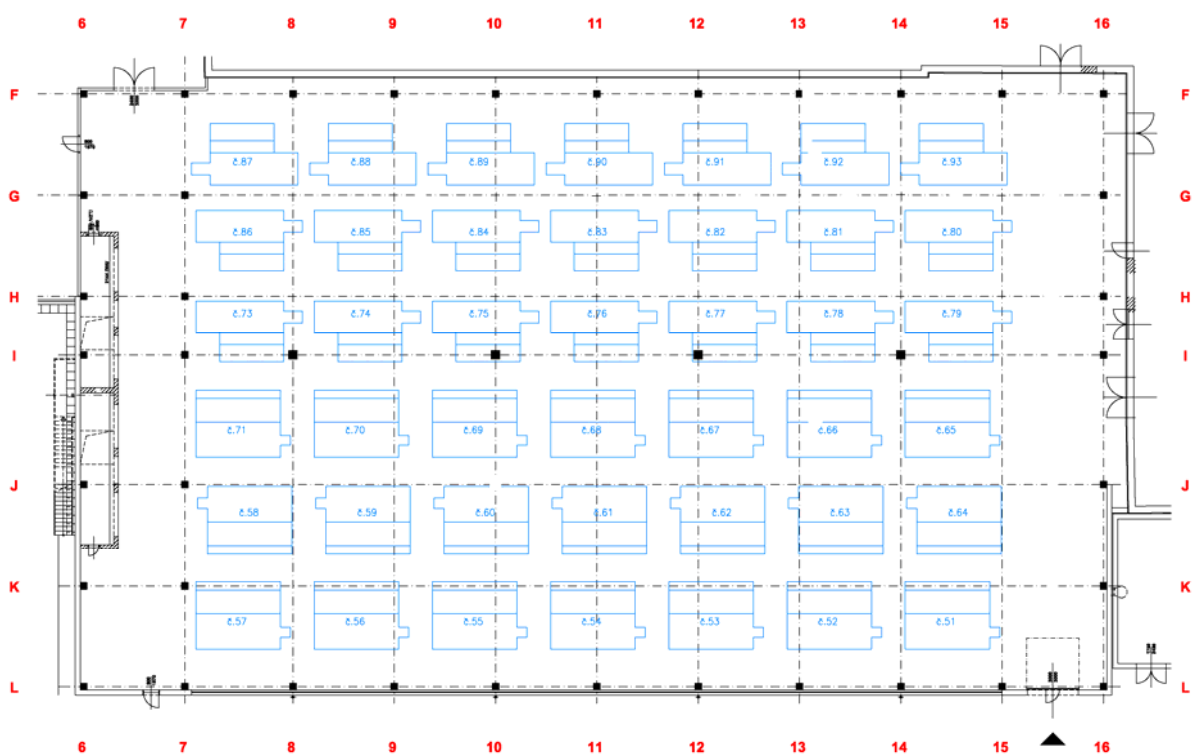
Podlahová konstrukce ve výrobní hale tkalcovny je ve stáří přibližně necelý rok od svého vybudování. Výrobní hala je železobetonová halová přízemní nepodsklepená konstrukce. Na podlaze haly jsou uloženy tkalcovské stavy (obr.1). Při provozu těchto stavů dochází k vibracím, které se šíří podlahou do okolí.

Podlahová konstrukce je provedena jako drátkobetonová deska, tloušťky 180 mm z betonu B 30. Drátkobetonová deska je uložena na podklad opatřený foliovou izolací včetně geotextilie. Podkladní podloží před zhutněním vykazovalo podle geologických podkladů deformační modul $E_{def1} \approx 18$ MPa a po jeho zhutnění mělo být dosaženo $E_{def2} \geq 45$ MPa. Podle projektu měla být zatížitelnost této podlahy 50 kN/m^2 . Složení a provedení drátkobetonové podlahy bylo předepsáno dávkováním výztuže Dramix RL 45/50 na 20 kg/m^3 betonové směsi. Betonová podlaha byla od pevných svislých konstrukcí (sloupů haly a obvodových stěn oddilátována mirelonem. Povrchová úprava byla provedena vsypem Panbex F 2 s následným vyhlazením. Ihned po vyhlazení byl povrch zastříkán uzavíracím postřikem proti vysychání. Dilatační řezy měly být podle projektu provedeny co nejdříve, jak to dovolí povrchová pevnost betonu se vsypem.

2. Vznik a charakter trhlin v podlaze

Hala byla postupně zaplňována stavy ve směru od oken do nitra haly. Nejprve byly provozovány první dvě řady stavů, které byly umístěny rovnoběžně s obvodovou zdí haly

v blízkosti oken. První trhliny v podlaze se objevily pouze v části haly, vzdálenější od oken, přibližně mezi osami sloupů F-I (obr.1) již při tomto počátečním rozmístění stavů, tedy v místech, kde ještě podlaha nebyla zaplněna stavy. Po úplném zaplnění haly se stav trhlin v podstatě nezměnil. Trhliny v podlaze jsou jednak rovnoběžné se sloupovými řadami a to v obou vodorovných směrech (obr.2). Mimo tyto trhliny rovnoběžné se sloupovými řadami se v podlaze vyskytují diagonální trhliny, které se rozebíhají od sloupů haly, stěn nebo strojů do stran. Diagonální trhliny, obdobné jako se vyskytují v hale tkalcovny, se zpravidla vytváří v místech, kde se vyskytují problémy se sedáním podloží. Protože vlastní nosnou konstrukci podlahy tvoří drátkobetonová deska tloušťky 180 mm, uložená na ztuhlém podloží, nelze vyloučit, že na vzniku tohoto typu trhlin se podílela rovněž nedostatečná ohybová únosnost podlahové desky (v desce není kromě drátků, žádná ohybová výztuž). K sedání podloží pod deskou mohlo dojít při jeho nedostatečném ztuhnutí, případně zamokření při provádění podlah ap.



Obr.1 Půdorys výrobní haly

I při kvalitně ztuhnutém podloží nelze sedání při statickém přetížení podlahy (hmotou tkalcovských stavů) vyloučit. Proto je požadována jistá ohybová tuhost desky (podlahy), aby tyto deformace od sedání deska bez vzniku výraznějších trhlin přenesla. Výztuž podlahové desky v betonu náhodně rozptýlenými drátky je z hlediska ohybového namáhání desky nedostatečná a podlahová pouze drátkobetonová deska bez doplňující měkké výztuže (např. sítěmi) se při ohybu chová jako prostý beton (potvrzeno zkouškami řešitelů na jiných stavbách).

Dilatační spáry jsou v podlahové desce rozmístěny převážně v osách sloupů. Trhliny v podlahové desce, rovnoběžné s dilatačními spárami, se vyskytují přibližně ve střední části rozdilovaných desek podlahy. Tato skutečnost svědčí buď o tom, že dilatační spáry nebyly proříznuty včas na počátku tvrdnutí betonu podlahy, nebo že dilatační spáry jsou provedeny ve velkých roztečích, nebo že proříznutí dilatačních spár je mělké. Sedání podkladu podlahy

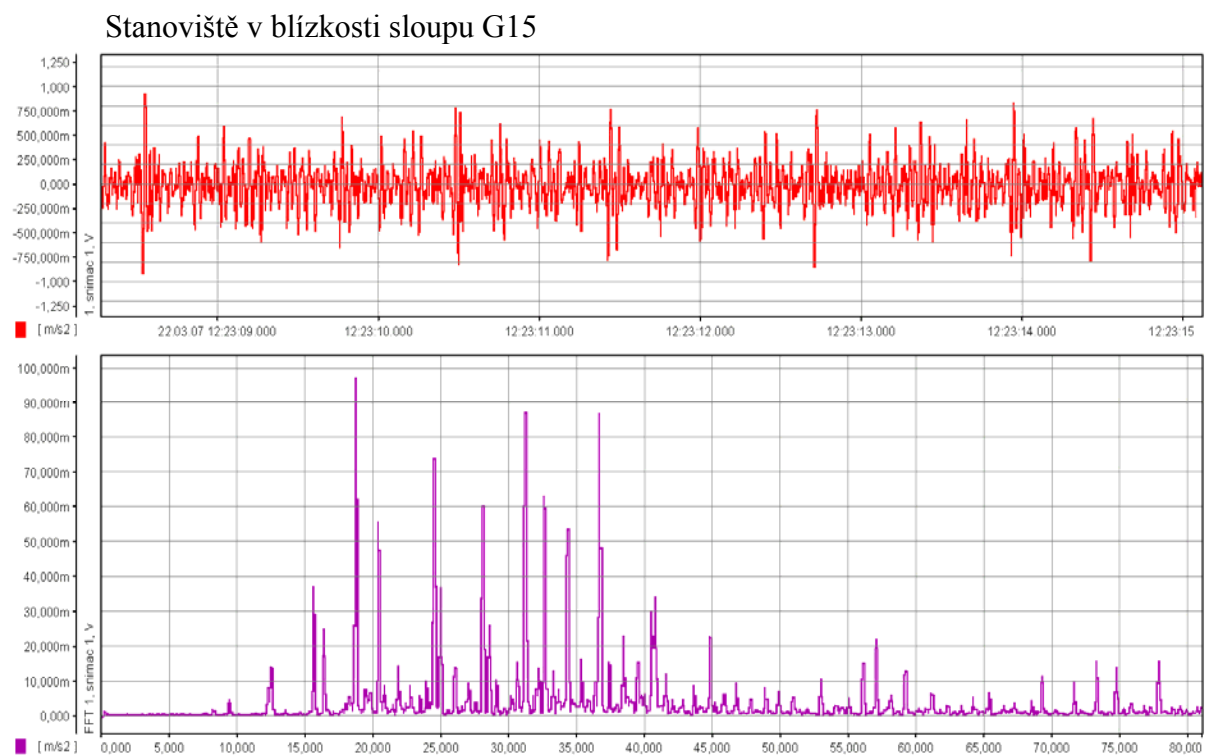
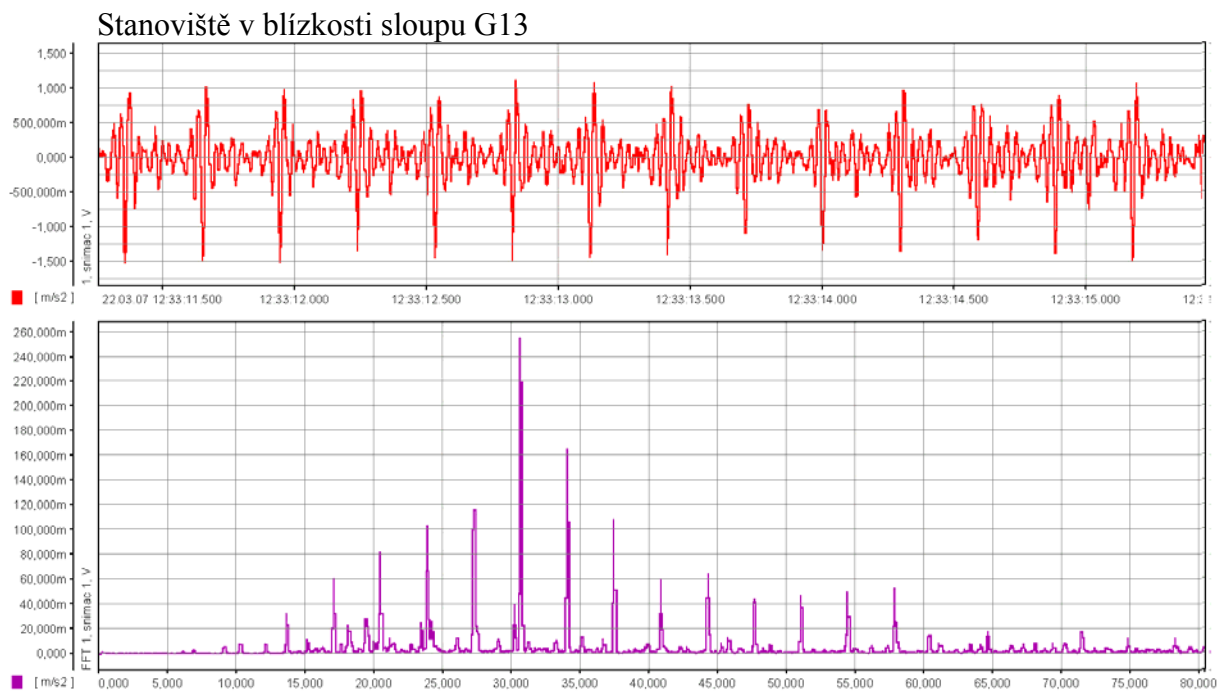
napomáhá vytvoření případných trhlin od nedostatečného rozdilování (co do kvality dilataci i jejích rozmístění).



Obr.2 Trhliny v podlaze v mezisloupových pruzích 15–16



Obr.3 Měřené stanoviště v blízkosti dilatační spáry (řada 13 podle obr.1)



Obr.4 Časové průběhy vertikálních vibrací na podlaze haly a jejich frekvenční spektra

Jak již bylo uvedeno, trhliny vznikly nejprve v místech, kde při zahájení užívání ještě tkalcovny stavy nebyly osazeny. Tato skutečnost svědčí o tom, že nejpravděpodobnější příčinou vzniku trhlin je sedání podkladu desky v důsledku nedostatečného ztuhnutí na počátku užívání konstrukce. Ze zkušenosti je známé, že sedání stavebních konstrukcí je přibližně z 90% ukončeno do cca 3 let po výstavbě. Je tedy pravděpodobné, že stávající trhliny, pokud byly způsobeny sedáním, se dále již po této době rozevírat nebudou.

3. Úroveň vibrací podlahy

Cílem provádění měření vibrací na podlaze pod tkalcovskými stavy bylo posouzení úrovně vibrací, kterými je tato podlaha zatížena, tak aby bylo možné zvážit, zda příčinou vzniku trhlin v drátkobetonové desce podlahy byly, nebo jsou tyto vibrace. Měřená stanoviště byla zvolena v sloupových i mezisloupových pruzích, tak aby byla zjištěna úroveň kmitání jak v blízkosti trhlin v podlaze, tak v části podlah bez trhlin. Na obr.4 jsou uvedeny charakteristické záznamy vybraných vertikálních vibrací, které jsou dominantní ve srovnání s horizontálními vibracemi. Z naměřených záznamů ve zrychleních kmitání bylo vypočteno FFT spektrum (Fast Fourier Transformation) v Hanningově okně ve frekvenčním intervalu od 0 Hz do 200 Hz (vyneseno na obr.4 pouze do 80 Hz ... frekvenční složky nad 80 Hz jsou ve srovnání s nižšími frekvenčními složkami výrazně nižší). Z hlediska významnosti pro posuzování stavební konstrukce je významný frekvenční interval přibližně právě do 80 Hz [10], [11].

Největších hodnot špičkových výkmitů zrychlení vertikálně bylo naměřeno v blízkosti dilatační spáry a sice 1589 až 1575 mm/s² (v řadě 13 podle obr.1). Dominantní frekvence kmitání při těchto výkmitech byla $f = 31$ Hz. Tyto vibrace jsou již značně vysoké a nebylo se co divit, že byly majitelem výrobní haly považovány za příčinu poruch stavební konstrukce podlahy.

Pro posouzení nebezpečnosti těchto vibrací vzhledem ke stavební konstrukci lze vyjít z kritérií norem ČSN 73 0032 [3], [4], nebo normy pro technickou seismicitu ČSN 73 0040 [5]. Pro posuzování vibrací se používá zrychlení kmitání (zpravidla pro nízkofrekvenční vibrace do 10 Hz), nebo rychlost kmitání pro vibrace zpravidla nad 10 Hz. Pro převod zrychlení kmitání a_{peak} na rychlost kmitání v_{peak} lze použít přibližný vzorec (platí přesně pro harmonické kmitání):

$$v_{\text{peak}} = a_{\text{peak}} / (2 \pi \cdot f) = 1589 / (2 \pi \cdot 31) = 8,16 \text{ mm/s.}$$

Pro odhad možnosti vzniku poruch podlahy, lze použít normu ČSN 73 0040 [5]. Tato norma platí pro seismické buzení od technické seismicity, tedy pro vibrace, jež se číří od účinků strojů (nebo jiných technických zdrojů) do okolí. Jestliže aplikujeme tuto normu pro posuzovanou podlahu, lze zatřídit betonovou desku podlahy podle úvodních poznámek této zprávy konzervativně do třídy D (prostý beton) podle tab.9 normy. (Jestliže připustíme, že drátkobeton je mírně kvalitnější než prostý beton, pak kritérium pro vznik poruch umožňuje větší vibrační zatížení – tedy v duchu normy na rozhraní tříd D a E).

Kritériem pro vznik poruch je podle [5] efektivní hodnota rychlosti kmitání. Pro převod špičkové hodnoty kmitání v_{peak} na efektivní hodnotu kmitání v_{ef} (platí přesně pro harmonické kmitání) lze použít přibližný vzorec:

$$v_{\text{ef}} = 0,707 v_{\text{peak}} = 0,707 \cdot 8,16 = 5,77 \text{ mm/s.}$$

Podle ČSN 73 0040 [5], tab.10, lze uvažovat (nelze vyloučit) možnost vzniku poruch v konstrukci (betonu podlahy), pokud zjištěné efektivní rychlosti kmitání dosáhnou:
pro třídu D ... 40 mm/s, nebo pro třídu E ... 60 mm/s.

Tab.10 normy [5] uvádí, že 5% objektů je poškozeno, jestliže efektivní rychlosti kmitání dosáhnou hodnot:

pro třídu D ... 80 mm/s, nebo pro třídu E ... 100 mm/s.

Z porovnání zjištěné hodnoty efektivní rychlosti maximálně 5,8 mm/s s výše uvedenými normovými hodnotami je zřejmé, že zjištěné hodnoty rychlosti kmitání jsou přibližně na jedné desetíně hodnot efektivních rychlostí, při kterých by ke vzniku trhlin od působení vibrací mohlo dojít. Z porovnání míst s masivním vznikem trhlin v podlaze s naměřenými intenzitami vibrací vyplývá:

- a) v místě vzniku masivních trhlin v podlaze mezi sloupovými pruhy F–G, 15–16 dosahují vibrace intenzitu špičkových výkmitů zrychlení mezi 86 až 100 mm/s², tedy cca 15krát méně, než bylo naměřeno v okolí dilatační spáry (1575 až 1589 mm/s²);
- b) tkalcovský stav 64, umístěný mezi řadami J–K, 14–15 má dost výrazné dynamické účinky pravděpodobně vzhledem ke svému opotřebení. Vibrace v okolí tohoto stavu dosahují špičkových výkmitů zrychlení 790 až 821 mm/s², tedy přibližně 10krát více než na podlaze s trhlinami mezi sloupovými pruhy F–G, 15–16 a přesto se zde trhliny v podlaze nevytvořily.

Z výše uvedeného porovnání i podle normových kritérií je zřejmé, že dominantní příčinou vzniku trhlin v podlaze nebyly vibrace od tkalcovských stavů, ale zřejmě sedání podloží. Nutno však konstatovat, že při nedokonalé zhutněném podloží podlahové desky v některých částech haly, mohly vibrace od instalovaných strojů i v části haly ještě bez osazených strojů, urychlit sedání podloží podlah a vytvoření trhlin v těchto místech, při relativně nízké úrovni vibrací. Tedy v tomto smyslu vliv vibrací na vznik trhlin v podlahové desce byl až druhotný.

4. Doporučení pro navrhování

Umístění finální drátkobetonové desky podlahy bezprostředně na betonové mazanině na zhutněném podloží, včetně mezilehlé izolace proti vlhkosti a geotextilie je zřejmě značně riziková konstrukce. Toto konstrukční řešení je velmi citlivé na jakékoliv pohyby v podloží, ať již statické (sedání) nebo dynamické. Drátkobetonové desky jsou zřejmě velmi dobrým řešením pro snižování vlivu dotvarování betonu, ale rozhodně nejsou dostatečně ohybové, ani tahově únosné pro přenesení změn, které nastávají v jejich podkladu. Jsou tedy velmi citlivé na sednutí podkladu, na změnu tuhosti podkladu v blízkosti podpodlahových kanálků (pro vedení rozvodu sítí, vytápění apod.), dále v místech kde podlaha překrývá patky sloupů atd., právě proto, že drátkobetonová deska bez další výztuže se chová jako deska z prostého betonu. Je tedy vhodné finální desku drátkobetonové podlahy pokládat na podkladní železobetonovou desku, vyztuženou sítěmi zpravidla při obou površích, tak aby tato podkladní deska přenesla ohybová namáhání.

V případě průmyslových podlah, tedy v místech, kde se mohou vyskytovat vibrace od instalované technologie, nebo v místech, kde je nutno uvažovat s přejezdy manipulačních vozíků, nebo jiného typu dopravy, by ohybové vyztužení podlahové konstrukce nemělo chybět.

5. Závěr

Návrh a provádění podlahových konstrukcí není jednoduchá záležitost, právě proto, že bývá tato problematika často podceňována a v projektu chybí ocenění vlivu teplot, vlivu pojezdu manipulačních vozíků přes nerovnosti podlah (dilatačních spár), vlivu různých vlastností podkladu (nedostatečného zhutnění, provlhnutí, setřesení apod.) pod finální vrstvou podlahy a konečně i vlivu technologie výstavby a ošetřování betonových podlah po betonáži.

Technologie drátkobetonů je v současnosti velmi populární. Jedná se o konstrukce současné – přesto z hlediska přenesení tahových napětí v betonu v důsledku ohybu vrstvy na poddajném podkladu, nebo při přejezdu vozíků, při teplotním zatížení apod. se drátkobeton chová jako prostý beton. Také umístění výztužných sítí v blízkosti střednice vrstvy je z hlediska únosnosti vrstvy v ohybu nevýznamné a nemůže zabránit vzniku trhlin v desce podlahy.

Cena ať již projektových prací nebo prováděcích prací je zpravidla nízká, chyby v projektu nebo v provedení podlah jsou zpravidla neopravitelné a je nutné poškozené vrstvy vybourat a nahradit novými samozřejmě za cenu dalších nákladů a nepříjemností pro projektanta, stavební firmu i investora.

V místech, kde podlahy jsou namáhány vibracemi, bývá často přisuzováno poškození podlahy trhlinami těmito vibracím. Z uvedeného příkladu je zřejmé, že důvodem pro potrhání podlahy zpravidla nejsou vibrace, ale nedostatečná ohybová tuhost podlahové konstrukce, která bez porušení není schopna přenést deformace svého podkladu. Samozřejmě vibrace od instalovaných technologií deformace podkladu urychlují a tak poškození nedostatečně ohybově tuhé drátkobetonové desky se objeví relativně velmi brzo po výstavbě.

Z příkladu podlahy tkalcovny vyplývá, že trhlinám v této podlaze se dalo zabránit vhodně vyztuženou podkladní deskou, pokud by byla navržena, i při reálném nebezpečí nedodržení zásad pro ztuhnutí podloží a jeho dlouhodobou deformační stabilitu.

Poděkování

Práce na této problematice byla podporována grantovým projektem GAČR 103/06/1521 „Spolehlivost a rizika konstrukcí v extrémních podmínkách“. Autoři si dovoľují touto cestou vyslovit grantové agentuře za její podporu svůj dík.

Literatura

- [1] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí.
- [2] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí. Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [3] ČSN 73 0032 Výpočet stavebních konstrukcí zatížených dynamickými účinky strojů, 1978.
- [4] Makovička, D., Bohdanecký, V., Novák, P., Tůma, J.: Výpočet stavebních konstrukcí zatížených dynamickými účinky strojů, ÚNM, Praha 1980.
- [5] ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva.