

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
KATEDRA MECHANIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace řešení nosné konstrukce bytového objektu
s využitím vibroizolačního systému

Autor:

Bc. Zdeněk STRAKA

Vedoucí práce:

Ing. Luděk VEJVARA, Ph.D.

Studijní program:

B3607

Stavební inženýrství

Studijní obor:

FAV/3607T050/1

STA

Akademický rok:

2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeněk STRAKA**
Osobní číslo: **A19N0064P**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavitelství**
Téma práce: **Optimalizace řešení nosné konstrukce bytového objektu s využitím vibroizolačního systému**
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

Zásady pro vypracování

1. Shromáždění údajů o řešení současných bytových domů.
2. Poznatky a postupy k použití vibroizolačních systémů na stavbách.
3. Ukázka řešení nosné konstrukce a vibroizolace u konkrétního objektu.
4. Důsledky úprav konstrukce pro vibroizolační řešení u pozemního objektu.

Rozsah diplomové práce: **min. 80 stran**
Rozsah grafických prací: **práce skládající se z výkresů a textových částí**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

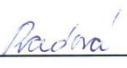
Seznam doporučené literatury:

1. Dostupná dokumentace objektu.
2. Podklady výrobců stavebních materiálů a vibroizolačních materiálů.
3. Platné normy – pro statiku – eurokódy EC 1 až EC 8, ČSN EN 206.

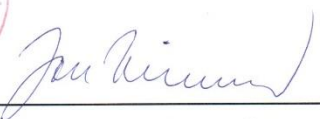
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **1. července 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **6. ledna 2021**





Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka



Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 1. července 2020

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: „Optimalizace řešení nosné konstrukce bytového objektu s využitím vibroizolačního systému“ vypracoval samostatně, s odborným dohledem vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Luďkovi Vejvarovi Ph.D. za jeho čas, ochotu a cenné rady, které vedly k vytvoření této závěrečné práce. Také chci poděkovat odborným konzultantům této diplomové práce, tedy Ing. Michalu Novákovi a Ing. Janu Kubátovi, Ph.D., za odborné rady a nápomoc. V neposlední řadě děkuji pracovníkům katedry mechaniky, zvláště oddělení stavitelství, za získání potřebných znalostí. Děkuji své rodině a přítelkyni za podporu, trpělivost a důvěru, kterou do mě vložili během studia. Děkuji Janě Nakládalové za gramatickou korekturu.

V Plzni dne

.....

podpis autora

Anotační list diplomové práce

AUTOR	Příjmení Bc. Straka	Jméno Zdeněk			
STUDIJNÍ OBOR	FAV/3607T050/1 STA – Stavitelství / Stavební inženýrství				
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení Ing. Vejvara, Ph.D.	Jméno Luděk			
PRACOVIŠTĚ	ZČU – FAV – KME				
DRUH PRÁCE	Diplomová				
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace řešení nosné konstrukce bytového objektu s využitím vibroizolačního systému				
FAKULTA	Aplikovaných věd	KATEDRA	KME	ROK ODEVZDÁNÍ	2021

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce obsahuje základní a rozšířené předpoklady pro návrh a provádění nosných konstrukcí betonových a zděných ve stavebních objektech bytových se zabudovaným vibroizolačním systémem.
KLÍČOVÁ SLOVA	Vibroizolační systém, bytový dům, nosná konstrukce, betonové konstrukce, zděné konstrukce, výztuž, statický výpočet, vibrace, ochrana proti hluku, ochrana proti vibracím

Summary of diploma sheet

AUTHOR	Surname Bc. Straka	Name Zdeněk			
FIELD OF STUDY	FAV/3607T050/1 STA – Building Structures / Civil Engineering				
SUPERVISOR	Surname Ing. Vejvara, Ph.D.	Name Luděk			
INSTITUTION	ZČU – FAV – KME				
TYPE OF WORK	Diploma				
TITLE OF THE WORK	Optimization of the solution of the supporting structure of the residential building using the vibration isolation				
FACULTY	Faculty of Applied Sciences	DEPARTMENT	Mechanics	SUBMITTED IN	2021

BRIEF DESCRIPTION	The thesis contains basic and extended prerequisites for the design and implementation of supporting structures of concrete and brick in residential buildings with built-in vibration isolation system.
KEY WORDS	Vibration isolation system, apartment building, supporting structure, concrete structures, brick structures, reinforcement, static calculation, vibration, noise protection, vibration protection

Předmluva

Téma diplomové práce jsem si zvolil v návaznosti na řešení vibroizolačního systému a nosné konstrukce reálného bytového domu, na jehož návrhu jsem se podílel v rámci své praxe, kterou jsem absolvoval ve firmě VEJVARA PROJEKT s.r.o. Zpracování projektové dokumentace stavebně konstrukční části probíhalo od března 2020 do října 2020 na úrovni projektové dokumentace k provádění stavby. Během vypracování projektové dokumentace byly ověřeny dvě dispoziční varianty vycházející z architektonického návrhu a dokumentace pro povolení stavby. Generálním projektantem byla firma Ofstone s.r.o., dodavatelem vibroizolačního systému byla mezinárodní společnost CDM Group se sídlem v Belgii.

Během řešení stavebního objektu bylo nutné několikrát upravovat konstrukční systém stavby nebo jeho části v návaznosti na požadavky stanovené dodavatelem ložisek vibroizolačního systému. Bylo také nutné zohlednit ekonomické požadavky investora, dispoziční řešení generálního projektanta a limity stanovené normami, stavebním úřadem a dotčenými orgány.

Užití vibroizolačního systému na stavebním objektu vycházelo z předchozího stupně stavební dokumentace – Dokumentace pro stavební povolení, ve které byla navržena prvotní izolace proti vibracím vyvozených přiléhající železniční tratí. Prvotní navržené řešení z plošné vibroizolace nebylo dostatečné pro zamezení šíření technické seizmicity, a proto byl návrh nově upraven ve vyšší úrovni stavební dokumentace. Použití pasivního vibroizolačního systému si vyžádalo kompletní revizi a úpravu nosné konstrukce.

Požadavky kladené dodavatelem vibroizolačního systému byly pro nosnou konstrukci zásadní a významně ovlivnily výslednou podobu nosného systému. Mezi základní nároky vibroizolačních ložisek na navazující konstrukce řadíme: geometrické osazení ložisek, přenos svislých sil, přenos vodorovných sil, požární ochranu, hydroizolace, stlačení vibroizolačních ložisek, kontrolovatelnost a servis ložisek. Speciální důraz byl kladen na kvalitu provedení betonových konstrukcí s rovinností 1 mm/m^2 .

Ve stavebním objektu bylo nutné vyřešit rozdílné sednutí bytového domu a samostatné výtahové šachty z důvodu použití různých vibroizolačních systémů. Musel být také vypracován plán provádění a uložení konstrukce schodiště, který zohledňoval výsledné dosednutí konstrukce. Konstrukce byla rozdělena na spodní stavbu a nadzemní podlaží, které od sebe byly navzájem odděleny vibroizolačním řezem.

Téma šíření vibrací je zajímavé nejen z pohledu komplexního řešení konstrukce stavebních objektů, ale také z hlediska vlivů působících na lidské zdraví a právních ustanovení týkajících se ochrany před hlukem a vibracemi.

V moderní výstavbě jsou kladeny zvýšené nároky na komfort bydlení i z hlediska ochrany před vibracemi a hlukem, které jsou způsobeny každodenním užíváním jednotlivého stavebního objektu i provozem kolem něj. Předpokládáme častější použití vibroizolačních systémů ve stavebních projektech z důvodu komfortu bydlení, ale také kvůli nové výstavbě v místech se zvýšenou technickou seizmicitou, jakou jsou například brownfieldy.

Obsah

Předmluva	8
Obsah.....	9
Seznam ilustrací a grafů.....	14
Seznam tabulek.....	17
Seznam použitých zkratk.....	18
Seznam použitých symbolů.....	19
Seznam použitých termínů	21
1 Úvod a cíle diplomové práce	22
2 Materiálové řešení konstrukcí	23
2.1 Beton.....	23
2.1.1 Charakteristika materiálu	23
2.1.2 Pevnostní třídy betonu	27
2.1.3 Vlivy prostředí	28
2.1.4 Výztuž.....	29
2.2 Zdivo	30
2.3 Ocel.....	31
2.4 Dřevo.....	32
2.5 Další materiály	33
3 Konstrukční systémy	34
3.1 Konstrukční systémy podle prostorového uspořádání svislých nosných prvků 34	
3.1.1 Podélný konstrukční systém	35
3.1.2 Příčný konstrukční systém.....	35
3.1.3 Obousměrný konstrukční systém.....	36
3.2 Konstrukční systém podle typu svislých nosných prvků	37
3.2.1 Sloupový konstrukční systém (skelet).....	37
3.2.2 Stěnový konstrukční systém	39

3.2.3	Kombinované konstrukční systémy	39
3.3	Konstrukční systémy podle provedení nosných konstrukcí	40
3.3.1	Monolit	40
3.3.2	Prefabrikát	40
3.3.3	Kombinovaný systém.....	41
4	Vibrace	42
4.1	Popis vlnění.....	42
4.1.1	Harmonické vlnění	42
4.1.2	Šíření vlnění v prostoru.....	44
4.1.3	Přenos energie vlněním	50
4.1.4	Útlum vlnění v prostředí	52
4.2	Vznik vibrací	53
4.2.1	Přírodní zdroje vibrací.....	53
4.2.2	Technická seizmicita.....	56
4.3	Šíření vibrací	58
4.4	Měření vibrací	60
4.4.1	Veličiny vibrací.....	61
4.4.2	Snímače vibrací	62
4.4.3	Analýza měřených signálů vibrací	64
4.4.4	Legislativní požadavky.....	64
4.5	Vliv vibrací na konstrukce.....	64
4.6	Vliv vibrací na člověka	68
4.7	Opatření pro zmenšení dynamické odezvy	70
4.7.1	Přeladění	70
4.7.2	Pohlcovače kmitání (vibroizolační systémy)	70
4.7.3	Zvětšení útlumu	71
5	Vibroizolační systémy.....	71

5.1	Pasivní vibroizolační systémy	72
5.1.1	Vibroizolační desky a ložiska z pružných materiálů	72
5.1.2	Mechanické pružiny a kombinace systému pružina-tlumič	75
5.1.3	Lanové izolátory a izolátory ze subtilních ocelových profilů	75
5.1.4	Lisované a lepené pryžové/elastomerové izolátory a úchyty	76
5.1.5	Desková vrstvená vibroizolační ložiska	76
5.1.6	Harmonický absorbér	77
5.1.7	Pneumatické a vzduchové vibroizolátory	78
5.1.8	Vibroizolátory záporné tuhosti	78
5.1.9	Porovnání pasivních vibroizolačních řešení	79
5.2	Aktivní vibroizolační systémy	80
6	Rozbor konstrukce a návrhu řešeného bytového domu	81
6.1	Konstrukční systém stavby	81
6.2	Základy	83
6.3	Stěny a sloupy v podzemním podlaží	84
6.3.1	Stěny podzemního podlaží	84
6.3.2	Sloupy podzemního podlaží	85
6.4	Vjezdová rampa	86
6.5	Stropní konstrukce nad podzemním podlažím	86
6.6	Svislé nosné konstrukce 1.NP	87
6.7	Vodorovné nosné konstrukce nad 1.NP až 4.NP	87
6.8	Svislé nosné konstrukce 2.– 4.NP	87
6.9	Schodiště	88
6.10	Izolace hluku a vibrací	88
6.11	Materiály	90
6.12	Využití	90
6.13	Zatížení	91

7	Návrh vibroizolačního systému bytového domu	94
7.1	Technická specifikace, požadavky a návrh CDM-CHR	94
7.1.1	Technická specifikace CDM-CHR.....	94
7.1.2	Požadavky a osazování CDM-CHR.....	95
7.1.3	Návrh vibroizolačních ložisek CDM-CHR	98
7.2	Technická specifikace a požadavky vibroizolace CDM-RAFT.....	105
7.3	Technická specifikace a provedení CDM-FLOAT	106
8	Kritická místa konstrukce vzniklá použitím vibroizolačního systému a architektonickým návrhem.....	106
8.1	Stěny.....	106
8.2	Sloupy	109
8.3	Hlavice sloupů s náběhem	111
8.4	Výtah.....	111
8.5	Schodiště	112
8.6	Otvory.....	113
8.7	Zesílení pod a nad ložiskem.....	115
8.8	Zarážka	116
8.8.1	Stěna	117
8.8.2	Průvlak.....	119
8.8.3	Typová zarážka z desky dle CDM	120
8.9	Průvlaky P1 a P3.....	120
8.9.1	Průvlak P1	123
8.9.2	Průvlak P3	125
9	Dynamické vlastnosti řešeného objektu	126
9.1	Vlastní tvary a vlastní frekvence konstrukce (Modální analýza).....	126
9.2	Návrh úpravy vibroizolačního řešení při vzniku poruch	128
10	Ekonomické důsledky optimalizace konstrukce.....	129

11	Optimalizační principy pro navrhování konstrukcí	133
12	Závěr	135
13	Reference	137
14	Seznam použitého softwaru	142
15	Seznam příloh	142

Seznam ilustrací a grafů

Obrázek 1: Hmotnostní podíl složek betonu; (1)	23
Obrázek 2: Vztah mezi poměrným přetvořením a napětím v betonu (redukce válcovou pevností) při různých rychlostech namáhání; podle (2).....	24
Obrázek 3: Statický a dynamický pracovní diagram: A) měkké oceli, B) konstrukční oceli; dynamický průběh zobrazen plnou čarou; (2)	32
Obrázek 4: Poměr k_d dynamické ku statické pevnosti jedlového dřeva na době t_F ; podle (7)	33
Obrázek 5: Konstrukční systém: A) Podélný; B) Příčný; C) Obousměrný kombinovaný; (Autor)	34
Obrázek 6: Panelová soustava – T 06B – příčný konstrukční systém; (Autor).....	36
Obrázek 7: Konstrukční systémy: A) Sloupový (skelet), B) stěnový, C) Kombinovaný; (Autor).....	37
Obrázek 8: Typické tvary kontrolovaných obvodů; (5).....	38
Obrázek 9: Bytový dům v New Yorku (USA) – stěnový konstrukční systém; (Autor)	39
Obrázek 10: Celistvost konstrukce a uložení prefabrikovaných prvků; (8)	40
Obrázek 11: Doporučené provádění spojů prefabrikovaných prvků; (8).....	41
Obrázek 12: Filigránový stropní panel; (9)	41
Obrázek 13: Šíření vlnění: A-kulová vlna, B-rovinná vlna; (11)	45
Obrázek 14: Znázornění Heygensova principu šíření vlnění; (11).....	48
Obrázek 15: Šíření vlnění kolem překážky a otvorem: A) překážka/otvor jsou menší než vlnová délka vlnění, B) překážka/otvor jsou větší než vlnová délka vlnění; (11)	48
Obrázek 16: Lom vlnění; (12).....	49
Obrázek 17: Seismické oblasti ČR podle Eurokódu; (13).....	53
Obrázek 18: Registrace seismického pohybu: Záznam zrychlení otřesu; integračně určená rychlost a výchylka; (14)	55
Obrázek 19: Hluková mapa 2017 – Praha; (15)	57
Obrázek 20: Šíření technické seizmicity podložím; (16).....	59
Obrázek 21: Schéma a zobrazení piezoelektrického akcelerometru; (18)	63
Obrázek 22: Hodnoty logaritmického dekrementu útlumu výchylky pro stavební konstrukce a jejich jednotlivých prvků; podle (20) a (2)	67
Obrázek 23: Vlastní frekvence částí lidského těla; (21).....	68

Obrázek 24: Sluchové pole s vyznačeným prahem slyšitelnosti; (23).....	69
Obrázek 25: Schéma použití gumového izolátoru u nádrží s pískem a betonovým potěrem pro snížení vlivu vodorovných vibrací v budově s tkalcovskými stavby; (17)	71
Obrázek 26: Schéma pasivní vibroizolace; podle: (25)	72
Obrázek 27: Způsoby uložení pružných vibroizolačních desek: A) plošné, B) liniové, C) bodové; (26)	73
Obrázek 28: Bodově umístěná vibroizolace z pružných desek (Sylodyn); (27)....	73
Obrázek 29: Uložení vibroizolační desky Sylodyn HRB-HS na hlavici sloupu; (28)	74
Obrázek 30: Příčná tahová napětí v tlačенých stycích; (4)	74
Obrázek 31: Pružinová vibroizolační ložiska umístěna samostatně a v ocelovém boxu; (29), (30).....	75
Obrázek 32: Lanový izolátor; (31)	76
Obrázek 33: Hmotnostní tlumič budovy Tchaj-pej 101; (32).....	77
Obrázek 34: Izolátory záporné tuhosti: a) Izolátor nulové tuhosti s předpjatými horizontálními pružinami, b) Komplexní izolátor negativní tuhosti umožňující redistribuci tuhosti a tlumení, c) 3D vizualizace komplexního izolátoru; (34).....	78
Obrázek 35: Čelní pohled na řešený bytový dům, generováno statickým softwarem; (Autor)	81
Obrázek 36: Zadní pohled na řešený bytový dům, generováno statickým softwarem; (Autor)	82
Obrázek 37: Etapy betonáže základové desky v podzemním podlaží a stropních desek v nadzemních podlažích, hranice betonáže zobrazeny tečkovaně; (Autor).....	84
Obrázek 38: Provedení styku pilota-hlavice-deska-sloup; (Autor).....	86
Obrázek 39: Dvoustupňová vibroizolace dle původního návrhu z DSP; (38)	88
Obrázek 40: Deskové vibroizolační ložisko CDM-VHS; (39)	89
Obrázek 41: Graf závislosti deformace na zatížení pružiny CDM-CHR 3,5 Hz se zobrazenými hodnotami pro návrhové zatížení 73,6 kN, zatížení mezního stavu použitelnosti 100 kN a mezního stavu únosnosti 124,25 kN; podle (40)	95
Obrázek 42: Řez uložením pružinových ložisek CDM-CHR; (41).....	97
Obrázek 43: Failsafe systém s železobetonovými bloky, pružiny CDM-CHR, Nanterre (Francie); (29).....	98

Obrázek 44: Schéma rozmístění vibroizolačních ložisek CDM-CHR a označení větrných zarážek; (Autor)	100
Obrázek 45: Schéma rozmístění a stlačení vibroizolačních ložisek (celkové sednutí, sednutí základů, stlačení ložisek); (Autor)	104
Obrázek 46: Elastomerové rohože CDM-RAFT; (42)	105
Obrázek 47: CDM-FLOAT; (43)	106
Obrázek 48: Řez stěnou W03 ve vykonzolované části se schematickým uložením vibroizolačních ložisek; (Autor)	107
Obrázek 49: Posouzení stěny W03; (Autor)	108
Obrázek 50: Posouzení sloupu SL 01 před úpravou; (Autor)	110
Obrázek 51: Schéma vložení prvků Halfen HSC do hlavice sloupu; (Autor)	111
Obrázek 52: Umístění CDM-FLOAT a CDM-RAFT ve výtahové šachtě; řešení BOX-IN-BOX; (Autor)	112
Obrázek 53: Průběh trajektorií a výkres tvaru stěny W01 s umístěním vibroizolačních ložisek; (Autor)	114
Obrázek 54: Průběh příčných tahových napětí v centricky zatíženém prvku; (5)	115
Obrázek 55: Schéma provedení výztuže pod ložiskem; (Autor)	116
Obrázek 56: Schéma lemovací výztuže u zazubení stěny; (Autor)	117
Obrázek 57: Provedení větrné zarážky v ozubu stěny; (Autor)	118
Obrázek 58: Provedení větrné zarážky v průvlaku P1; (Autor)	119
Obrázek 59: Zarážka dle typového detailu společnosti CDM; (29)	120
Obrázek 60: Původní půdorys 1.PP s vyosenými sloupy a deskovými větrnými zarážkami; (Autor)	121
Obrázek 61: Stávající půdorys 1.PP se srovnanými sloupy a rozšířeným suterénem; (Autor)	122
Obrázek 62: Smykové síly a ohybový moment na průvlaku P1 s původně vyosenými sloupy; (Autor)	123
Obrázek 63: Smykové síly a ohybový moment na stávajícím průvlaku P1; (Autor)	123
Obrázek 64: Posouzení kritického řezu průvlaku P1; (Autor)	124
Obrázek 65: Posouzení únosnosti průvlaku P3; (Autor)	125
Obrázek 66: Vlastní frekvence konstrukce; (Autor)	126
Obrázek 67: Protokol o výpočtu; vlastní tvary; (Autor)	127
Obrázek 68: Předpokládané investiční náklady BD Perucká; (44)	129

Obrázek 69: Schéma rozmístění pilot; A – původní varianta, B – revize; (45) ... 130

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rychlosti namáhání betonu v MPa.s ⁻¹ ; podle (2)	25
Tabulka 2: Charakteristiky betonu v MPa podle ČSN EN 1992-1-1; (5)	28
Tabulka 3: Dynamická zatížení stropů a stěn lidskou činností; podle (14) ve spolupráci s Ústavem teoretické a aplikované mechaniky ČSAV v roce 1972	58
Tabulka 4: Konstanta α_z absorpce energie v zemině; podle (14)	60
Tabulka 5: Příklady hladin akustického tlaku; podle: (22).....	69
Tabulka 6: Porovnání pasivních vibroizolačních systémů v závislosti na použití a odstíňovaných frekvencích; podle: (36).....	79
Tabulka 7: Sumarizované hodnoty charakteristického zatížení; (Autor).....	93
Tabulka 8: Technické parametry pružin CDM-CHR; podle (29)	94
Tabulka 9: Tabulka zatížení a deformací bodových ložisek CDM-CHR; (Autor)	102
Tabulka 10: Tabulka zatížení a deformace liniových ložisek CDM-CHR; (Autor).....	103
Tabulka 11: Odhad průměrné hmotnost výztuže v železobetonových konstrukcích; (Autor)	131
Tabulka 12: Úspora na materiálu konstrukce; (Autor)	132

Seznam použitých zkratk

TZB	technická zařízení budov (vzduchotechnika, elektroinstalace atd.)
BD	bytový dům
RD	rodinný dům
VZT	vzduchotechnika a klimatizace
PD	projektová dokumentace
DSP	dokumentace pro stavební povolení
DPS	dokumentace pro provedení stavby
HPL	vysokotlaký laminát
PP	podzemní podlaží
NP	nadzemní podlaží
HPL	vysokotlaký laminát
ŽB	železobeton

Seznam použitých symbolů

f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku	MPa
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku	MPa
f_{ctd}	návrhová pevnost betonu v tahu	MPa
$f_{ctk0,05}$	charakteristická pevnost betonu v tahu (dolní 5% kvantil)	MPa
γ_c	materiálový součinitel betonu	-
α_{cc}	součinitel zohledňující dlouhodobé účinky způsobu zatěžování na pevnost betonu v tlaku	-
α_{ct}	součinitel zohledňující dlouhodobé účinky způsobu zatěžování na pevnost betonu v tahu	-
Ω_0	netlumená vlastní frekvence	s^{-1}
k	tuhost pružiny	$N.m^{-1}$
m	hmotnost	kg
K	matice tuhosti uvažované konstrukce	-
M	matice hmotnosti uvažované konstrukce	-
R	vlastní tvar kmitání	-
r	vlastní tvar kmitání příslušný k vlastní frekvenci	-
$\bar{\sigma}_v$	redukovaná válcová pevnost	MPa
$\bar{\sigma}$	napětí	MPa
ε	poměrné přetvoření	-
k_d	poměr dynamické ku statické pevnosti dřeva	-
t_F	doba zatěžování dřeva	s
d	tloušťka desky	m
u_1	kontrolovaný obvod	m
f	frekvence	Hz
T	perioda	s
λ	vlnová délka	m
c	rychlost šíření vlnění	$m.s^{-1}$
ω	úhlová frekvence	$rad.s^{-1}$
v_a	akustická rychlost	$m.s^{-1}$
u	výchylka	m
r	poloměr, vzdálenost od zdroje vlnění	m
t	čas	s
a_a	akustické zrychlení	$m.s^{-2}$
k	vlnový vektor (v kapitole 4)	$rad.m^{-1}$
K	modul objemové pružnosti	Pa^{-1}
ρ	hustota	$kg.m^{-3}$
G	modul pružnosti ve smyku	Pa
μ	Poissonovo číslo	-
Z_0	vlnový odpor	R
E_k	časově proměnná kinetická energie	J

v_{ef}	efektivní rychlost	$m \cdot s^{-1}$
E_a	celková akustická energie	J
P_a	akustický výkon	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
I_a	akustická intenzita	$W \cdot m^{-2}$
α	koeficient zeslabení	m^{-1}
$u_{mo}; A_0$	amplituda vlnění u zdroje	m
I_{a0}	akustická intenzita vlnění u zdroje	$W \cdot m^{-2}$
M	magnitudo	M
A	amplituda	m
α_z	pohlcování energie v zemině	-
du	logaritmický dekrement útlumu výchylky	-
$G_{k,j}$	charakteristické zatížení stálé	N; N.m; N.m ⁻¹ ; N.m ⁻²
$\gamma_{G,j}$	bezpečnostní součinitel charakteristického zatížení	-
$Q_{k,i}$	charakteristické zatížení proměnné	N; N.m; N.m ⁻¹ ; N.m ⁻²
$\gamma_{Q,i}$	bezpečnostní součinitel proměnného zatížení	-
P	charakteristické zatížení předpětím	N; N.m; N.m ⁻¹ ; N.m ⁻²
γ_P	bezpečnostní součinitel předpětí	-
$\psi_{0,i}$	kombinační součinitel proměnného zatížení	-
$\psi_{1,i}$	kombinační součinitel časté hodnoty zatížení	-
$\psi_{2,i}$	kombinační součinitel kvazistálé hodnoty zatížení	-
ξ	redukční součinitel	-
A_d	návrhová hodnota mimořádného zatížení	
A_{Ed}	návrhová hodnota seizmického zatížení	N; N.m; N.m ⁻¹ ; N.m ⁻²
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi	N.m ⁻²
C_e	součinitel expozice	-
C_t	tepelný součinitel	-
μ_i	tvárový součinitel zatížení sněhem	-

Seznam použitých termínů

- Duktilita** – schopnost deformace materiálu před dosažením meze pevnosti (přetvořitelnost/tažnost/houževnatost)
- Brownfield** – nevyužívaná nemovitost často zchátralá bez možnosti uvedení do původního stavu, která ztratila původní účel; jedná se o pozůstatky průmyslových, zemědělských, vojenských, rezidenčních území
- Bílá vana** – betonová konstrukce základů spodní stavby nahrazující funkci hydroizolačního souvrství, je omezen vznik a velikost trhlin, je předepsaná hloubka pronikání vody
- Epicentrum** – místo na zemském povrchu nad místem vzniku zemětřesení (hypocentrum)
- Hypocentrum** – místo pod zemským povrchem ve kterém přímo vzniká zemětřesení
- Akustický řez** – myšlená rovina určující hranici mezi akusticky izolovanou částí konstrukce a částí neizolovanou (vystavenou vibracím)
- Failsafe systém** – bezpečnostní systém při selhání primárního řešení
- Vibroizolace** – izolace proti vibracím vytvářející akustický řez

1 Úvod a cíle diplomové práce

Použití vibroizolačních systémů u stavebních objektů velkého významu, jako jsou koncertní sítě, stadiony, nemocnice, výzkumná centra a další, není v současné době neobvyklé. S rostoucí potřebou hustější obytné a administrativní zástavby v území se zvýšenými hodnotami vibrací stoupá i množství objektů standardního významu, které je nutné opatřit izolací proti vibracím a hluku. V budoucnu je předpokládán nárůst počtu provádění takovýchto objektů, jejichž návrh je specifický a jeho problematika není zatím všeobecně rozšířena.

Téma závěrečné práce jsem si zvolil po absolvování praxe, jejímž obsahem byl návrh nosné konstrukce a vibroizolačního systému bytového domu, kdy jsem si chtěl rozšířit vědomosti o možnostech použití dalších typů vibroizolačních systémů.

Celý proces návrhu nosné konstrukce byl velmi rozmanitý a ilustroval snahy investora-developera o ekonomickou úsporu a iniciativu architekta o zachování vizuálního a dispozičního provedení. V průběhu návrhu bylo přistoupeno k různým kompromisům, jak ze strany statika, architekta, tak i ze strany investora. Použití vibroizolačního systému výrazně ovlivnilo návrh nosné konstrukce a kladlo zvýšené požadavky na lokální provedení betonových konstrukcí.

Cílem práce je představit možná konstrukční řešení bytového domu s vibroizolačním systémem, se zvláštním důrazem na provedení betonových konstrukcí v kritických místech v závislosti na zvoleném vibroizolačním řešení a důsledky, které z něj plynou. Dále je třeba posoudit chování konstrukcí a materiálů vystavených vibracím, stanovit vlivy vibrací na člověka a určit možná řešení odstínění nežádoucích vibrací. V rámci návrhu vibroizolačního řešení bude provedena optimalizace nosného systému a posouzen její ekonomický vliv.

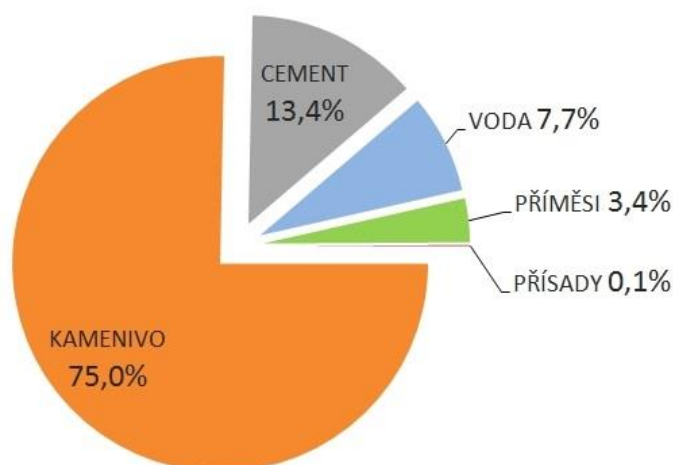
V diplomové práci jsou použity výpočtové metody (příhradová analogie, metoda konečných prvků, modální analýza a další).

2 Materiálové řešení konstrukcí

2.1 Beton

2.1.1 Charakteristika materiálu

Beton je široce využívaný stavební materiál skládající se z pěti základních komponent, kterými jsou kamenivo, cement, voda, příměsi a přísady.



Obrázek 1: Hmotnostní podíl složek betonu; (1)

Smícháním cementu a vody dochází k exotermické chemické reakci – hydrataci, při níž vznikají tvrdé mikrostruktury vyplňující prostor mezi jednotlivými zrny kameniva. Zaplnění mezer vede k postupnému tvrdnutí a tuhnutí betonu. Proces zrání betonu trvá od iniciace chemické reakce po celou dobu životnosti konstrukce. Za standardních podmínek pro provádění betonových konstrukcí, dochází k vytvrdnutí betonu na požadovanou pevnost za 28 dní od realizace dané konstrukce, během kterých je výrazně doporučeno provádět ošetřování betonu.

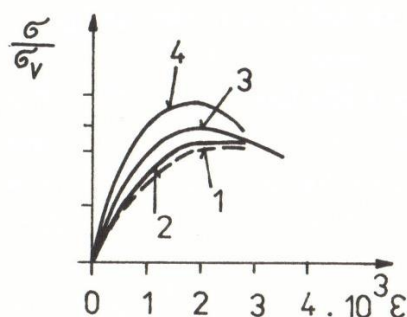
Nejvýznamnější vlastností betonu je vysoká pevnost v tlaku umožňující výstavbu rozsáhlých konstrukcí s většími rozpory za použití menších nosných profilů, oproti dřevěným a cihelným konstrukcím. Beton se vyznačuje vysokou trvanlivostí, nehořlavostí a vysokou tepelně akumulací kapacitou zajišťující tepelnou stabilitu objektu.

Jedná se však o křehký materiál s velmi nízkou pevností v tahu odpovídající 1/20 až 1/10 pevnosti tlakové. Při návrhu tlačných konstrukcí bez vzniku tahových oblastí nebo s tahovým napětím nižším, než je mez pevnosti betonu v tahu, lze betonovou konstrukci provést bez tahové výztuže. Prostý beton je hojně navrhován pro základové konstrukce jako jsou základové pasy a patky menších stavebních objektů. Dále lze beton využít pro tlačné konstrukce masivních profilů jako jsou pilíře a opěrné zdi. Beton se vyznačuje nízkou duktilitou, kvůli které jsou betonové konstrukce náchylné na pokles základových konstrukcí.

Při návrhu betonových konstrukcí je nutné zohlednit technologický postup provádění a různé stáří jednotlivých částí betonové konstrukce. Vlivem smršťování betonu vznikají na rozhraní staré a nové konstrukce výrazná napětí, která vedou ke vzniku trhlin v betonu. Riziko vzniká především pro vodotěsné základové konstrukce.

Obecně lze tvrdit, že fyzikální vlastnosti betonu jsou závislé na základních vzájemně se ovlivňujících faktorech:

- Použitý cement
- Zrnitost kameninové směsi
- Množství vody
- Ošetření při tuhnutí a tvrdnutí
- Stáří betonu
- Mikrotrhliny a trhliny



Obrázek 2: Vztah mezi poměrným přetvořením a napětím v betonu (redukce válcovou pevností) při různých rychlostech namáhání; podle (2)

Tabulka 1: Rychlosti namáhání betonu v MPa.s⁻¹; podle (2)

Označení křivky (rychlostní stupeň)	Rychlost namáhání (MPa.s ⁻¹)
1	0
2	0,00197
3	0,1173
4	26,72

Obrázek 2 zobrazuje vztah mezi poměrným přetvořením a napětím σ v betonu (redukovaným válcovou pevností σ_v) při různých rychlostech namáhání v (MPa.s⁻¹) podle (2). Z grafu vyplývá, že se stoupající rychlostí roste modul pružnosti i pevnost betonu, ale naopak se snižuje poměrné přetvoření a beton se stává křehčím.

Fyzikální vlastnosti betonových konstrukcí jsou do nezanedbatelné míry určeny také stářím betonu, které může ovlivnit chování konstrukce a měnit její dynamickou odezvu. Indikačním ukazatelem poruch konstrukce je snižující se frekvence odezvy konstrukce v čase. Snížení frekvence může být způsobeno: menší tuhostí, větší hmotností, vznikem poddajných kloubů, změnami v podloží atd. Důsledky změn v konstrukci mohou být fatální, a proto je nutné dynamicky zatížené konstrukce periodicky kontrolovat.

Snížení tuhosti betonových konstrukcí nastává v důsledku:

- Degradace betonu
- Dotvarování betonu
- Trhlinek (oslabení průřezu)
- Změn okrajových podmínek

2.1.1.1 Prostý a slabě vyztužený beton

Za konstrukci z prostého a slabě vyztuženého betonu považujeme takovou konstrukci, v níž se nepředpokládá primární přenos vnitřních sil vloženou výztuží. Nedochozí ke vzniku tahového napětí ve výztuži vlivem stálého a užitného zatížení.

Prosté betony lze provádět ze všech pevnostních tříd v závislosti na mezních návrhových stavech. Dolní hranice pevnostní třídy pro prosté betony není legislativně stanovena. Použití prostého betonu eliminuje požadavky na ochranu výztuže proti vlivům prostředí.

2.1.1.2 Železobeton

Železobetonové konstrukce jsou provedeny z betonu s vloženou nosnou výztuží, která se spolupodílí na přenosu vnitřních sil v průřezu. Profil je primárně uvažován se vznikem tahového napětí v ocelové výztuži. V nosném profilu dochází ke vzniku tahové zóny pouze v místě vložené tahové výztuže, která díky tvarovému provedení a dostatečnému zakotvení přebírá kladná napětí. Ve většině případů nedochází k překročení tahové pevnosti betonu a s ním spojeným rozvojem trhlin v tahově namáhané části průřezu. Pokud dochází ke vzniku trhlin v betonu, přebírá betonářská výztuž tahové síly a při správném návrhu nedochází k jejich dalšímu rozvoji a oslabení průřezu, které by za určitých podmínek vedlo ke snížení únosnosti a kolapsu. Při návrhu železobetonových konstrukcí je nutné posoudit i mezní stav použitelnosti, který je významně ovlivněn prováděním konstrukce, pružnými deformacemi a plastickými deformacemi. „Plastické deformace jsou trvalé a nelze je z konstrukce odstranit. Trvalé deformace jsou způsobeny dlouhodobým stálým zatížením, dotvarováním, ale také částečným smrštěním vzniklým hydratací a karbonatací.“ (3)

Jako konstrukční železobeton, pro bytové stavební objekty nacházející se v kategorii S4 s informativní návrhovou životností 50 let, lze dle legislativních předpisů použít pouze betony pevnostní třídy C20/25 a vyšší. Nejnižší možnou pevnostní třídu betonu v konstrukci, tzv. indikativní pevnostní třídu, stanovujeme podle stupně vlivu prostředí.

Právě konstrukce ze železobetonu jsou často navrhovány v oblastech se zvýšeným seizmickým zatížením. Kombinace oceli a betonu umožňuje při poruchách konstrukce vzniklých seizmickou zátěží redistribuci sil a přenos zatížení jinými částmi konstrukce. Budovy ze železobetonu dosahují v tomto ohledu vyšší odolnosti vůči kolapsu.

2.1.1.3 Předpjatý beton

Speciální disciplínou betonových konstrukcí jsou železobetonové konstrukce z předpjatého betonu, kdy jsou do nosného profilu vnášeny tlakové síly pomocí předpjaté výztuže. Předpjetí působí proti silám vznikajícím zatížením konstrukce a zvětšuje tlačnou zónu průřezu. Dochází k navýšení únosnosti prvku a ke zmenšení celkové deformace konstrukce.

Navrhování konstrukcí z předpjatého betonu má svá vlastní specifika s významnými odlišnostmi oproti navrhování konstrukcí z prostého nebo železového betonu. Předpjatých betonů se využívá především pro mostní konstrukce, nosníky velkých rozpětí a pro velkorozponové prefabrikované panely nebo panely s větším zatížením. Předpjaté konstrukce vyžadují detailní návrh jak pro postup provádění, tak pro jednotlivé zatěžovací kombinace. U bytových domů se předpjaté konstrukce zpravidla nevyskytují.

2.1.2 Pevnostní třídy betonu

Základní pevnostní a deformační charakteristiky jsou definovány v normě ČSN EN 1992-1-1. Pevnost betonu je stanovena na základě zkoušek a zatříděna do pevnostních tříd podle charakteristické válcové tlakové pevnosti (5 %) f_{ck} nebo krychelné pevnosti $f_{c,cube}$ podle ČSN EN 206+A1.

Návrhová pevnost betonu v tlaku je definována vztahem 2.1 převzatým z (4).

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

2.1

kde: f_{cd} – návrhová pevnost betonu v tlaku
 α_{cc} – součinitel zohledňující dlouhodobé účinky způsobu zatížení na pevnost v tlaku
 f_{ck} – charakteristická pevnost betonu v tlaku
 γ_c – materiálový součinitel betonu

Návrhová pevnost betonu v tahu je definována vztahem 2.2 převzatým z (4).

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05} / \gamma_c$$

2.2

kde: f_{ctd} – návrhová pevnost betonu v tahu
 α_{ct} – součinitel zohledňující dlouhodobé účinky a způsob zatížení na pevnost betonu v tahu
 $f_{ctk0,05}$ – charakteristická pevnost betonu v tahu (5% kvantil)

Tabulka 2: Charakteristiky betonu v MPa podle ČSN EN 1992-1-1; (5)

Parametr	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck,cube}$	15	20	25	30	37	45	50	55	60
f_{cm}	20	24	28	33	38	43	48	53	58
f_{cd}	8,0	10,67	13,33	16,67	20,00	23,33	26,67	30,00	33,33
f_{ctm}	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk,0.05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
f_{ctd}	0,73	0,87	1,00	1,20	1,33	1,47	1,67	1,80	1,93
E_{cm}	27000	29000	30000	31000	33000	34000	35000	36000	37000
$\epsilon_{c1}[\text{‰}]$	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,25	2,30	2,40	2,45
f_{bd} dobré podmínky	1,65	1,95	2,25	2,70	3,00	3,30	3,75	4,05	4,35
f_{bd} špatné podmínky	1,16	1,37	1,58	1,89	2,10	2,31	2,63	2,84	3,05
$f_{yd}/f_{cd}^*)$	54,35	40,75	32,62	26,08	21,74	18,64	16,30	14,49	13,04
Poměrné deformace betonu v tlaku $\epsilon_{cu1} = \epsilon_{cu2} = \epsilon_{cu3} = 0,35\%$, $\epsilon_{c2} = 0,2\%$, $\epsilon_{c3} = 0,175\%$, $n=2$ *) platí pro B500									

2.1.3 Vlivy prostředí

Pro konstrukce s nosnou ocelovou výztuží je nutné stanovit stupeň vlivu prostředí na betonovou konstrukci, který výrazně ovlivňuje rychlost snižování pH v betonu. U betonu v okolí výztuže nového betonu se hodnoty pH pohybují v rozmezí 12-13, tedy výrazně zásadité, hovoříme o tzv. pasivaci výztuže. Zásadité prostředí vytváří nepříznivé podmínky pro vznik a rozvoj koroze. Časovým působením vnějších vlivů dochází k degradaci betonu a k postupnému snižování hodnoty pH v betonu. Vzniká kyselé prostředí s $\text{pH} < 7$, které podporuje korozi nosné výztuže a dochází ke snižování únosnosti. Ocelové profily výztuže chřadnou a zvětšují svůj objem. Vlivem koroze výztuže může docházet k propisování korodované výztuže do vrstev omítek a k odlupování krycích vrstev betonové výztuže.

Vlivy prostředí rozdělujeme na:

- X0 – bez nebezpečí koroze nebo narušení
- XC – koroze vlivem karbonatace
- XD – koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody
- XF – působení mrazu a rozmrazování
- XM – koroze vlivem mechanického působení – obrus
- XA – chemické působení

Na základě stupně vlivu prostředí se určuje tzv. indikativní třída betonu. Jedná se o minimální třídu betonu, kterou lze použít pro daný typ konstrukce s danou návrhovou životností. Dále se stanoví minimální krytí ocelové výztuže.

2.1.4 Výztuž

Ocelová výztuž v betonových konstrukcích je primárně navrhována jako tažená a je ukládána do míst s předpokládanými zónami vzniku tahových napětí. Výztuž je tvarově provedena tak, aby spolupůsobila s betonem a zajišťovala přenos vnitřních sil z betonové části průřezu do ocelové výztuže. Betonářská výztuž může zajišťovat návrhové únosnosti průřezů pouze v případě, že jsou splněny konstrukční požadavky, především se jedná o požadavky na stykování a kotvení výztuže.

Ve stavebnictví se pro betonářskou ocel využívají oceli B500A, B500B a B500C s charakteristickou pevností v tahu 500 MPa. Písmena A, B a C značí duktilitu. V pozemních stavbách se standardně navrhují konstrukce z oceli s vyšší duktilitou typu B a C, které umožňují v konstrukci uvažovat s redistribucí momentů. „Pro seizmické oblasti je doporučeno využívat oceli s vysokou schopností přetvárnosti typu C.“ (6) Výztuže A s nízkou duktilitou se nedoporučují používat, nevykazují před náhlým kolapsem konstrukce výrazné poruchy a deformace. Konstrukce z výztuže B500A lze realizovat při zohlednění specifických konstrukčních zásad pro daný typ výztuže, které vedou k jejímu naddimenzování.

2.2 Zdivo

Častým a tradičním materiálem pro provádění konstrukcí je zdivo. Zdivo se skládá ze zdicích prvků kamenných, nepálených, pálených, vápeno-pískových, betonových nebo pórobetonových s maltou ve spárách. Zdicí prvky ukládáme na malty tradiční, lehké nebo malty pro tenké spáry. Vazba zdiva spolu s kombinací zdicích prvků a malty společně tvoří výsledné statické vlastnosti zdiva. Obecně se doporučuje provádět promaltování ložných i styčných spár.

V současnosti se na trhu vyskytují zdicí systémy, kde je malta nahrazena zdicí pěnou, tento způsob zdění není vhodný pro složitější stavební objekty, pro rozsáhlé objekty nebo pro stavby nacházející se ve složitých základacích poměrech. Zdění na pěnu také není zohledněno normou ČSN EN 1996-1-1+A1.

Typickou vlastností zdiva je jeho nízká duktilita a náchylnost na poškození křehkým lomem vznikající nepřesným geometrickým provedením. Zdivo je vysoce nehomogenní materiál.

U složitých konstrukcí, konstrukcí ve složitých základových poměrech a u konstrukcí nacházejících se v seizmických oblastech se doporučuje provést zdivo vyztužené, dále je vhodné v nárožích a ve styčných nosných zdí provést vybetonování výplňovým betonem.

Ze zkoušek a zkušeností s prováděním zděných konstrukcí vyplývá, že pro dynamicky namáhané konstrukce je vhodné provádět sepnutí stropních konstrukcí pomocí železobetonových věnců nebo lépe vytvořit tuhou stropní monolitickou konstrukci.

Zděné konstrukce jsou náchylné na více faktorů: pokles základových konstrukcí, nadměrné průhyby, dynamické zatížení atd., které mohou vést ke vzniku poruch a vad, kterým často nelze zabránit. Pokud samostatná zděná konstrukce není schopna přenést vnitřní síly bez vzniku poruch, je nutné jí doplnit o další konstrukce z jiných materiálů např. železobetonu.

V případě, že zděné konstrukce jsou závislé na chování ostatních částí konstrukce (výplňové zdivo, zděná nástavba a další), je nutné, aby nezděná část byla provedena v dostatečné tuhosti tak, že deformace a vnitřní síly z primární nosné konstrukce nebudou v nadměrné míře ovlivňovat konstrukce zděné.

2.3 Ocel

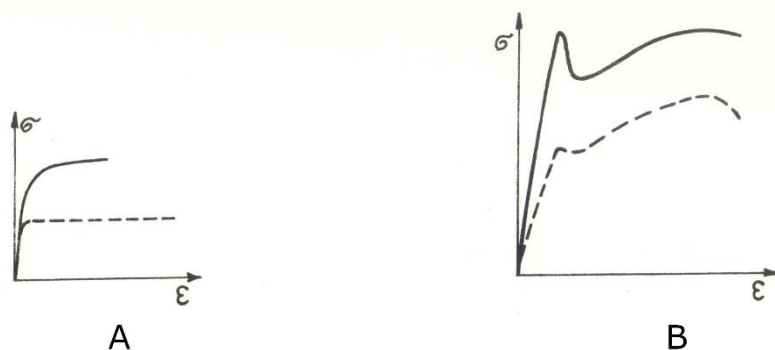
Ocelové konstrukce se u nás obecně nevyužívají pro návrh obytných nebo administrativních objektů. Naopak jsou hojně využívány pro návrh ocelových hal jak průmyslových, tak hospodářských. Ocel je svou podstatou homogenním duktilním materiálem a v závislosti na návrhu může poskytovat dostatečnou rezervu v plastické oblasti na působení mimořádných zatížení. Ocelové konstrukce jsou velmi náchylné na vysoké teploty a vykazují tudíž nízkou požární odolnost. Zvýšení požární odolnosti lze provést pomocí obkladů nebo nátěrů. U významných konstrukcí jsou navrhovány speciální hasicí systémy zvyšující požární bezpečnost objektu. Ocel je náchylná ke korozi a je žádoucí provést protikorozi ochranu všech jejích částí, včetně styků. U styků je nutné omezit možnost jejich prokluzu.

Ocelové konstrukce jsou skládány z jednotlivých ocelových prvků (prutů). V návrhu je nutné dbát na vzpěrnou délku ocelových prutů a zajistit je proti vzpěru, vybočení a klopení. Proti účinkům vodorovných sil využívají ocelové konstrukce systémů zavětrování provedeného z ocelových táhel nebo vloženou tuhou deskovou konstrukcí.

Při návrhu ocelové konstrukce je nutné provedení dílenské dokumentace i pro menší stavby. Je nutné brát zřetel na možnosti provedení jednotlivých styků a jejich působení (tuhost styku, vznik excentricit, krouticích momentů atd.). V návrhu je nutné definovat detailní provedení styku (svařovaný, šroubovaný). U šroubovaných styků se určuje pevnostní třída šroubů, kde nejčastěji navrhujeme šrouby pevnostní třídy 8.8. Při realizaci ocelové konstrukce je nutné postupovat podle navržených technologických postupů zahrnujících očištění a ochranu konstrukce.

V praxi se nejčastěji využívá pevnostní třída oceli S 235, na trhu se však objevují i oceli pevnostních tříd S 275, S 355 a S 450.

Ocelové konstrukce vykazují vůči konstrukcím z jiných materiálů velmi nízkou schopnost útlumu vibrací.



Obrázek 3: Statický a dynamický pracovní diagram: A) měkké oceli, B) konstrukční oceli; dynamický průběh zobrazen plnou čarou; (2)

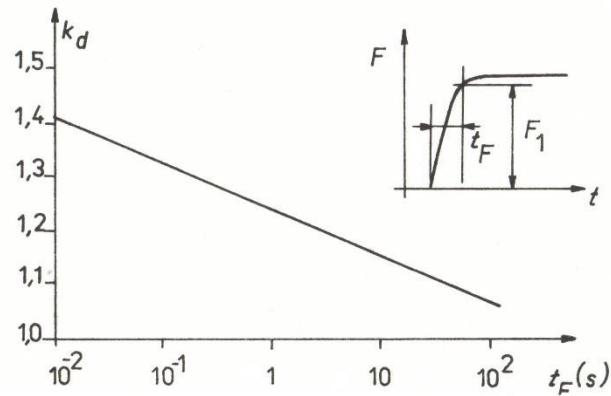
Obrázek 3 zobrazuje pracovní diagram dynamický a statický pro ocel měkkou a konstrukční. Plná čára zobrazuje dynamický průběh. Z průběhu je patrné, že rychlý nárůst namáhání měkkých ocelí přispívá ke zvýšení meze kluzu i pevnosti. Dynamický ráz při zkoušce byl proveden při rychlosti rázu 60 až 70 ms⁻¹. Při zvyšování rychlostí namáhání se mez kluzu blíží k mezi pevnosti. Ke spojení obou mezí může dojít při ještě vyšších rychlostech namáhání, kdy dochází přímo ke křehkému lomu bez vzniku plastické deformace.

2.4 Dřevo

Dřevěné konstrukce jsou složeny z jednotlivých dřevěných prvků (prutů). Spojení prutů je provedeno pomocí tesařských styků (sraz, plátování, lípnutí, zapuštění, čepování, přeplátování, karpování, osedlání atd.) nebo pomocí vložených ocelových prvků. Ocelové prvky mohou vytvořit tužší styk schopný do určité míry přenášet momentové síly. U specifických styků dřevěných konstrukcí je nutné brát v potaz možnost otláčení materiálu a následnou možnost prokluzu styku.

Dřevo je extrémně nehomogenní materiál, jehož fyzikální vlastnosti se mění se směrem rostlých vláken. Jedná se o hořlavý organický hygroskopický materiál.

Pro stavební účely používáme dřevo z listnatých i jehličnatých stromů. Nejčastěji používanou třídou pevnosti dřeva je C24. V konstrukcích velkých rozpětí se často využívají dřevěné prvky z lepeného dřeva, které mohou dosahovat lepších pevnostních parametrů než dřevo rostlé.



Obrázek 4: Poměr k_d dynamické ku statické pevnosti jedlového dřeva na době t_F ; podle (7)

Obrázek 4 zobrazuje poměr dynamické ku statické pevnosti jedlového dřeva a jasně z něj vyplývá, že dynamická pevnost dosahuje vyšších hodnot než pevnost statická, především při působení zatížení v krátkých časových úsecích – rázech.

2.5 Další materiály

Pro konstrukce staveb nebo jejich části lze využívat i další materiály (např. hliník) nebo kompozity výše jmenovaných materiálů. U bytových domů a staveb obdobného rozsahu se tato materiálová řešení nevyužívají, a proto nejsou v této práci více řešeny.

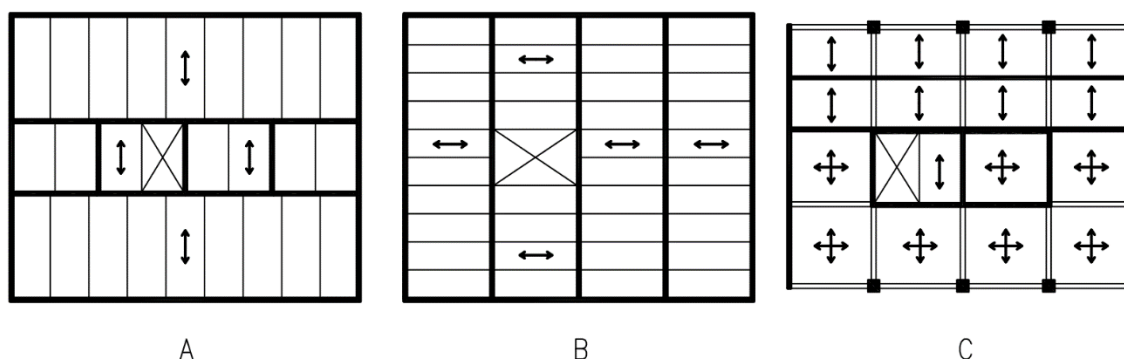
3 Konstrukční systémy

Konstrukční systémy klasifikujeme podle různých hledisek. Základními faktory třídění jsou prostorové uspořádání svislých nosných prvků, typ svislých nosných prvků a technologické provedení nosných konstrukcí. Konstrukční systém spolu se zvolenými materiály významně ovlivňují celkový proces návrhu a dimenzování. Je nutné zmínit, že v současné době se využívají různé typy konstrukčních systémů a jejich kombinace, které se vzhledem k funkčním, architektonickým, technologickým a dalším požadavkům mohou kombinovat a měnit v rámci jednotlivých podlaží budovy nebo jen v jednotlivých částech podlaží.

Z hlediska statiky, trvanlivosti a ekonomiky je pro stavbu vhodné volit konstrukční systémy s průběžnými konstrukčními prvky, jejichž osy na sebe přímo navazují a svým uspořádáním tvoří dostatečné ztužení konstrukce. V textu se zaměříme pouze na betonové konstrukční systémy.

3.1 Konstrukční systémy podle prostorového uspořádání svislých nosných prvků

Konstrukční systémy jsou klasifikovány podle orientace svislých nosných konstrukcí. Geometrické uspořádání svislých nosných prvků předurčuje směr uložení stropních konstrukcí. Z hlediska prostorového uspořádání rozlišujeme 3 základní typy konstrukčních systémů: podélné, příčné a obousměrné konstrukční systémy. Jednotlivé typy se mohou v rámci budovy, podlaží i jejich částí měnit a kombinovat. Všechny typy konstrukčních systémů jsou v současnosti navrhovány a prováděny.



Obrázek 5: Konstrukční systém: A) Podélný; B) Příčný; C) Obousměrný kombinovaný; (Autor)

3.1.1 Podélný konstrukční systém

Jedná se o systém hojně používaný v minulosti zejména pro zděné stavby. Nosné stěny jsou orientovány v podélném směru budovy, stropní konstrukce jsou uloženy kolmo na stěny. Prostory mezi nosnými prvky nazýváme trakty. Budovy dále dělíme podle počtu traktů na: jednotrakt, dvoutrakt, třítrakt atd. Obrázek 5-A zobrazuje podélný stěnový systém – třítrakt se stropní konstrukcí z prefabrikovaných panelů.

Výhodou podélného systému je vysoká dispoziční variabilita vnitřních prostor. Nevýhodou je malý počet otvorů v obvodových podélných stěnách, které byly zpravidla prováděny v malých rozměrech tak, aby nadbytečně neoslabovaly svíslé nosné konstrukce. Při provádění podélného systému je nutné zajistit dostatečnou tuhost obvodových podélných stěn proti zatížení vodorovnými silami vyvozených větrem. Při stavebních úpravách vnitřních stěn se musí zohlednit umístění otvorů v jednotlivých podlažích tak, aby byla zajištěna dostatečná tuhost objektu, nedocházelo k bodovému přetěžování základových konstrukcí a byla zajištěna dostatečná štíhlost stěn.

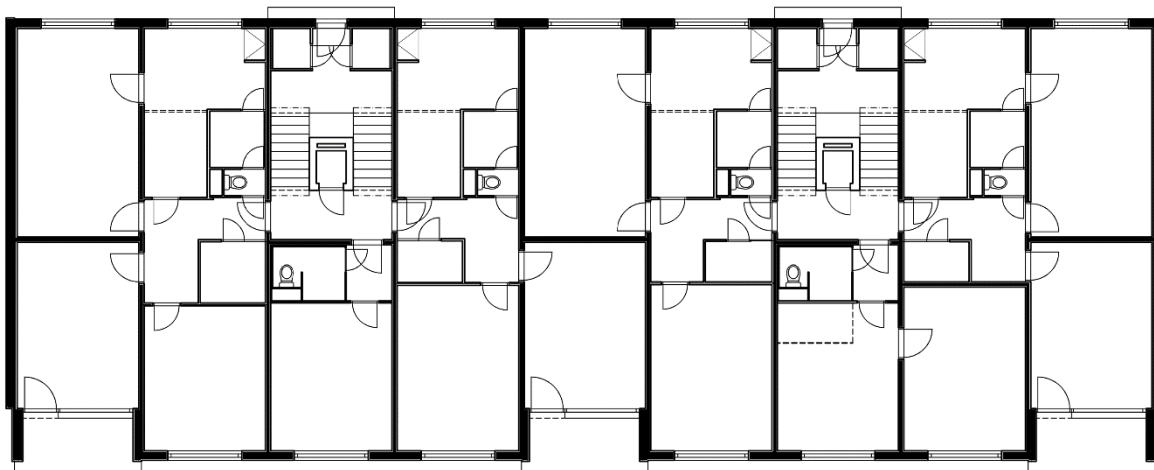
Typickými představiteli podélného systému jsou prvorepublikové zděné bytové domy s dřevěnými stropy a sedlovou nebo valbovou střechou. Původní dřevěné stropy byly postupně nahrazovány prefabrikovanými železobetonovými panely nebo monolitickými jednosměrně pnutými deskami.

3.1.2 Příčný konstrukční systém

V příčném konstrukčním systému jsou nosné prvky orientovány příčně k délce budovy. Stropní konstrukce jsou kladeny kolmo na svíslé konstrukce. Prostory mezi svíslými nosnými konstrukcemi nazýváme travé. Obrázek 5-B zobrazuje příčný konstrukční systém s prefabrikovaným panelovým stropem.

Výhodou příčného konstrukčního systému je jeho celková tuhost, subtilnější konstrukce, velké stavební otvory v podélných obvodových stěnách, dělicí funkce a unifikace jednotlivých prvků stavebního objektu, která umožňuje prefabrikaci a rychlé provádění stavby. Nevýhodou je nízká variabilita dispozičního řešení, menší světlá rozpětí, hloubka místností, oslabení nosných prvků prováděním drážek a rozvodů.

Typickými představiteli příčných konstrukčních systémů jsou prefabrikované panelové soustavy prováděné od 50. let 20. století. Příčné konstrukční systémy jsou hojně využívány i v současné době, především pro bytové domy.



Obrázek 6: Panelová soustava – T 06B – příčný konstrukční systém; (Autor)

3.1.3 Obousměrný konstrukční systém

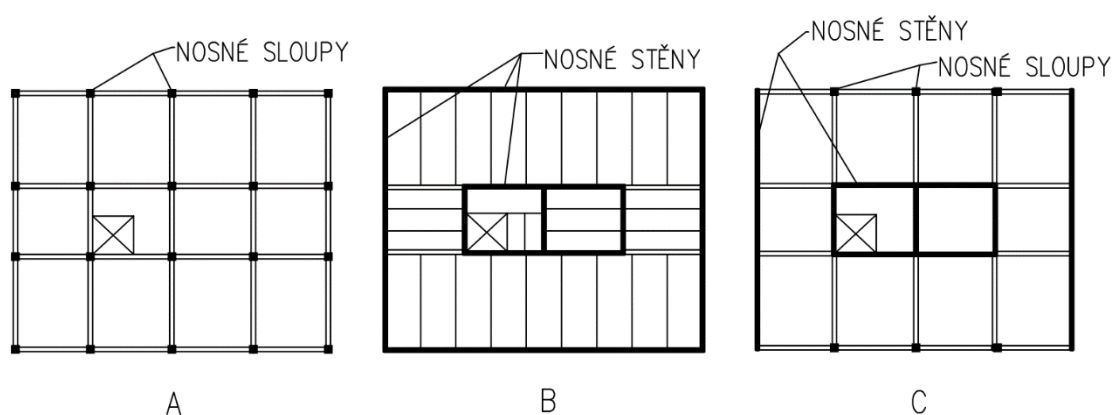
U obousměrného konstrukčního systému jsou zatěžovány příčné i podélné svíslé nosné prvky. Stropní konstrukce jsou tvořeny především železobetonovými obousměrně pnutými deskami. Konstrukční systém má velkou prostorovou tuhost.

Obousměrný konstrukční systém umožňuje kombinovat stěnové a rámové skeletové systémy. Obousměrné systémy umožňují provádění dispozičně variabilních prostor. Jsou kladeny větší požadavky na umístění rozvodů TZB.

Obrázek 5-C zobrazuje využití obousměrného systému v kombinaci se systémem podélným.

3.2 Konstrukční systém podle typu svislých nosných prvků

Dalším kritériem pro rozdělení konstrukčních systémů jsou typy použitých svislých nosných prvků. Základními svislými nosnými prvky jsou sloupy a stěny, které jsou často doplněny dalšími nosnými konstrukcemi: průvlaky, hlavice sloupů a další, které lokálně nebo globálně přispívají k tuhosti konstrukce, únosnosti a menším deformacím. Mimo níže zmiňované konstrukční systémy stěnové, sloupové a kombinované lze u budov technicky náročných nebo u budov značného významu nalézt i konstrukční systémy speciální (zvláštní) vyplývající z účelu stavebního objektu. Mezi zvláštní konstrukční systémy řadíme například tzv. superkonstrukce.



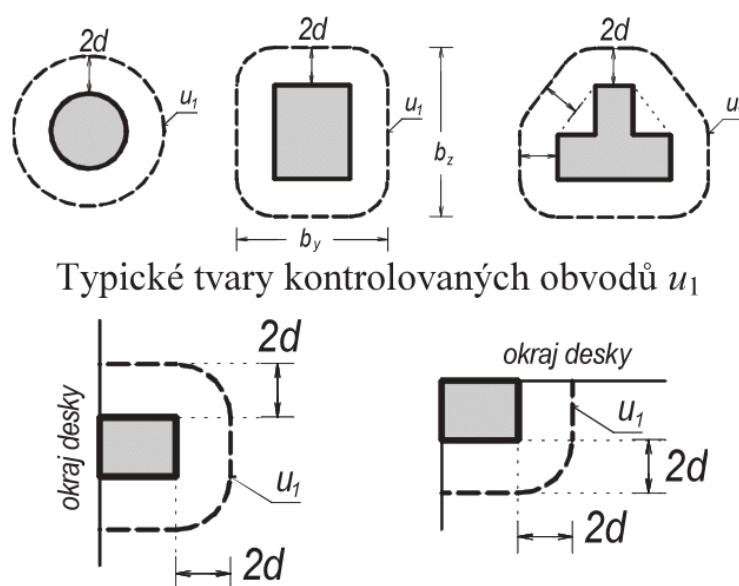
Obrázek 7: Konstrukční systémy: A) Sloupový (skelet), B) stěnový, C) Kombinovaný; (Autor)

3.2.1 Sloupový konstrukční systém (skelet)

Primárními nosnými prvky skeletových konstrukcí jsou sloupy, které však nejsou schopny zajistit dostatečnou tuhost objektu proti účinkům vodorovných sil, proto jsou konstrukce doplněny tuhými ztužujícími jádry, které se zpravidla nachází kolem prostorů vertikální komunikace. Dalším vhodným ztužujícím prvkem jsou vložené stěny ve vybraných částech konstrukce. Účinnost ztužidel stoupá s jejich vzdáleností od středu budovy. U sloupových konstrukčních systémů jsou předpokládány vyšší hodnoty průhybů stropních konstrukcí, jejichž důvodem je nižší tuhost. Způsob provedení nosné konstrukce ovlivňuje statické schéma, které zvyšuje statické požadavky na jednotlivé prvky konstrukce. U sloupových prefabrikovaných konstrukcí se zvětšuje hodnota účinné délky, která vede ke snížení únosnosti profilu.

3.2.1.1 Konstrukční systém sloupový – deskový (bezprůvlakový)

U deskových sloupových systémů jsou stropní desky přímo podporovány sloupy. Jedná se o lokální podepření s vyšší koncentrací vnitřních sil a napětí. Místa kolem sloupů je nutné samostatně posoudit. Obrázek 8 zobrazuje kritická místa desek v podporách a jejich blízkém okolí. Kromě ohybových momentů dochází k výraznému růstu smykových sil, které mohou vést k tzv. protlačení. V okolí podpor stropní konstrukce je nutné provést konstrukční opatření vedoucí k navýšení únosnosti v těchto místech. Deskový sloupový systém často vyžaduje použití stropních desek s vyšším stupněm vyztužení a s větší tloušťkou.



Typické tvary kontrolovaných obvodů u_1

Obrázek 8: Typické tvary kontrolovaných obvodů; (5)

d – tloušťka desky, u_1 – kontrolovaný obvod

3.2.1.2 Konstrukční systém sloupový – hlavicový (hřibový)

Nosné stropní desky jsou podpírány systémem hlavic umístěných na sloupech, které zvětšují kontaktní plochu mezi sloupem a deskou. Dochází ke snížení koncentrace vnitřních sil v desce. Je omezen vliv posouvajících sil. Hlavice sloupů lze provádět železobetonové (monolitické i prefabrikované), železobetonové s vloženým ocelovým prvkem nebo ocelové.

3.2.1.3 Konstrukční systém sloupový – rámový (průvlakový)

Průvlaky u skeletové konstrukce vytváří systém rámu, které zvyšují tuhost budovy a předurčují pnutí stropních konstrukcí. Klazení průvlaků může být podélné, příčné nebo obousměrné. Umístění průvlaků v konstrukci má vliv na vedení rozvodů TZB.

3.2.2 Stěnový konstrukční systém

Stěnové konstrukční systémy jsou hojně užívané pro většinu stavebních objektů. Jedná se o historicky prověřené konstrukční systémy využívané dodnes. Stěnový systém je často navrhován pro bytové domy, kde nosné stěny plní i funkci dělicí. Umístění stěn má významný vliv na vedení rozvodů TZB. Stěnové systémy mají obecně vyšší tuhost a jsou odolnější vůči nestabilitě podloží.



Obrázek 9: Bytový dům v New Yorku (USA) – stěnový konstrukční systém; (Autor)

3.2.3 Kombinované konstrukční systémy

V moderní výstavbě se hojně využívá kombinace sloupových a stěnových konstrukčních systémů. Použití obou systémů je často podmíněno využitím jednotlivých částí budov.

Typickým příkladem je rozpor v dispozičním řešení podzemního podlaží s garážemi a obytných nadzemních podlaží. Garáže jsou řešeny jako kombinovaný systém s vnitřními sloupy a obvodovými stěnami. Nadzemní podlaží jsou provedena jako stěnový systém. V řešení konstrukce je nutné vyřešit změnu konstrukčních systémů v jednotlivých podlažích. Je možné použít masivní průvlaky, stěnové nosníky nebo jejich kombinaci.

3.3 Konstrukční systémy podle provedení nosných konstrukcí

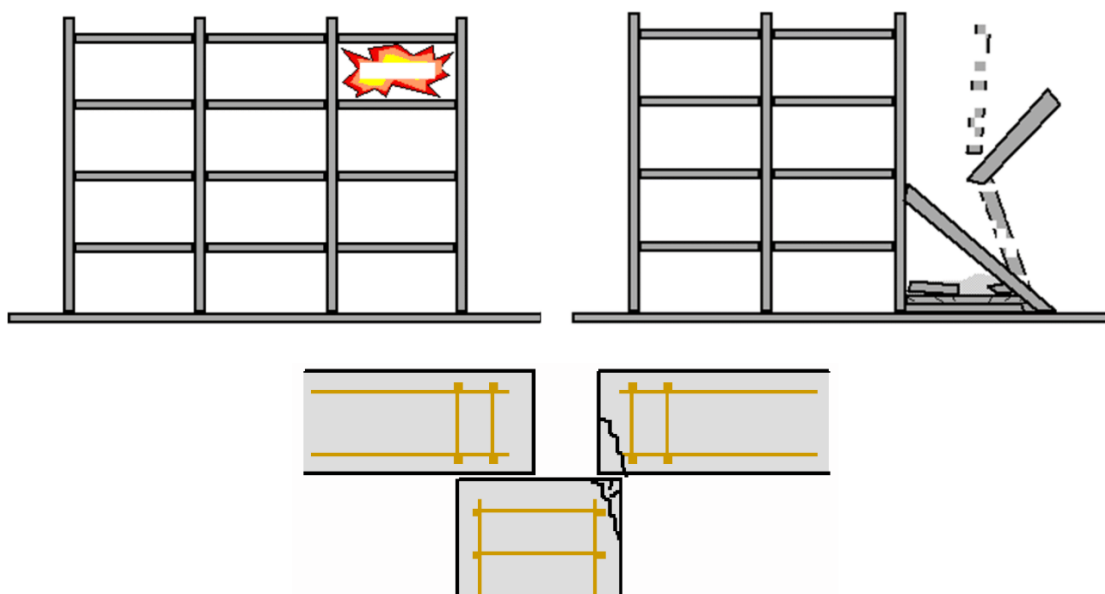
3.3.1 Monolit

Monolitické konstrukce vytváří jeden spojitý celek s tuhými styky.

Výhoda monolitu je jeho tuhost, estetický vzhled, trvanlivost a spolehlivost. Mezi nevýhody řadíme dlouhý a náročný technologický postup zahrnující provedení a odstranění bednění, mokrý proces, provádění výztuže, zvibrování betonové směsi, ochrana betonu, zrání betonu, ošetření pracovních spár a technologická návaznost. Kvalita provedených konstrukcí je závislá na mnoha faktorech: kvalita betonové směsi, křivka kameniva, vodní součinitel, provedení betonové směsi, ošetřování betonu, kvalita bednění, počasí a další.

3.3.2 Prefabrikát

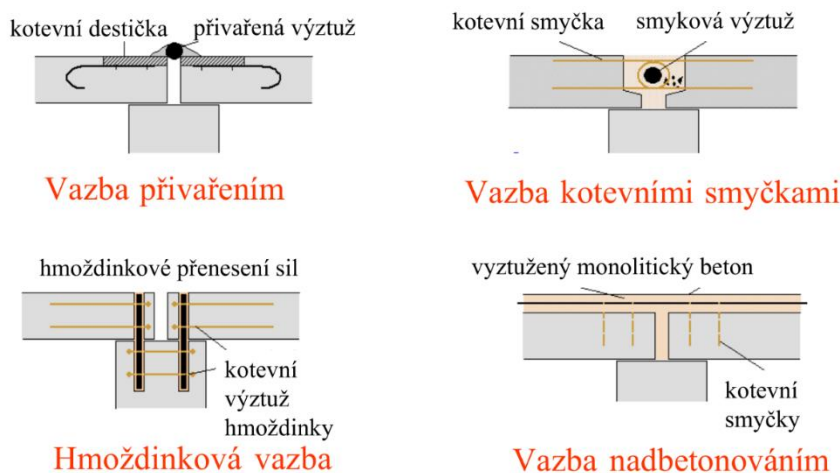
Prefabrikované konstrukce jsou složeny z jednotlivých prvků vyhotovených před zahájením výstavby ve specializovaných výrobnách. Spoje v konstrukci nedosahují tuhosti monolitického provedení.



Obrázek 10: Celistvost konstrukce a uložení prefabrikovaných prvků; (8)

Mezi klady řadíme odstranění nebo výrazné omezení mokrých procesů na stavbě, kvalitu provedení, nezávislost na počasí, životnost jednotlivých prvků, nižší krytí nosné výztuže, subtilnější profily, absenci bednění, rychlost výstavby a možnost předpětí. Nevýhodami jsou netuhé styky konstrukcí, problematické spoje, nároky na osazování prvků konstrukce, uložení prvků, ochrana proti požáru a celistvost konstrukce.

Obrázek 11 zobrazuje standardní provádění spojů u prefabrikovaných dílů stavebního objektu. Spoje musí být navrženy s dostatečnou robustností tak, aby byla zajištěna celistvost konstrukce vůči účinkům požáru a výbuchu.



Obrázek 11: Doporučené provádění spojů prefabrikovaných prvků; (8)

3.3.3 Kombinovaný systém

Kombinovaný systém využívá předností monolitických i prefabrikovaných konstrukcí. U bytových domů se standardně kombinují nosné monolitické konstrukce s doplňkovými prefabrikovanými prvky pro schodiště, výtahové šachty a balkóny.

U stavebních objektů se také využívají prefa-monolitické konstrukce. Prefabrikované prvky plní funkci výplňových konstrukcí a bednění, které se po betonáži podílí na únosnosti díky spolupůsobení jednotlivých částí průřezu. Představiteli prefa-monolitických konstrukcí mohou být filigránové a skládané trámečkové stropy. Ve ztížených prostorových podmínkách jako jsou proluky jsou prováděny i filigránové stěny.



Obrázek 12: Filigránový stropní panel; (9)

4 Vibrace

„Vibracemi rozumíme kmitavý pohyb konstrukce (periodický, náhodný) kolem rovnovážné, statické polohy.“ (10)

Obecně klasifikujeme tři druhy vlnění podle směru šíření: podélné, příčné a povrchové (Rayleighovo).

4.1 Popis vlnění

O vlnění mluvíme při šíření kmitání prostorem.

Perioda vlnění – T

Označuje nejkratší dobu, za kterou se bod dostane do výchozí polohy. Jednotkou je sekunda (s).

Frekvence – f

Jedná se o obrácenou hodnotu periody. Udává počet cyklů periodického děje za jednotku času. Frekvence je vyjádřena vztahem 4.1. Jednotkou je hertz (Hz).

$$f = \frac{1}{T}$$

4.1

kde: f – frekvence
 T – perioda

Vlnová délka – λ

Definuje vzdálenost, kterou vlnění překoná za dobu jedné periody. U harmonického vlnění ji lze znázornit pomocí vzdálenosti vrcholů vlnové funkce (peak-peak). Vlnovou délku lze určit pomocí vztahu 4.2. Jednotkou je metr (m).

$$\lambda = c \cdot T$$

4.2

kde: λ – vlnová délka
 c – rychlost šíření vlnění v daném prostředí (ms^{-1})

4.1.1 Harmonické vlnění

Vlnění, jehož průběh v čase lze popsat pomocí funkcí sinus a cosinus. Více současně působících harmonických vlnění lze od sebe rozeznat pomocí Fourierovy transformace.

Úhlová frekvence – ω

Skalární veličina popisující průběh harmonického vlnění. 4.3 je rovnice úhlové frekvence. Jednotkou je $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

4.3

kde: ω – úhlová frekvence

Akustická rychlost – v_a

Udává rychlost změny výchylky elementu v čase. Rovnice 4.4 popisuje akustickou rychlost. Jednotkou jsou $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$v_a(r, t) = \frac{\partial u(r, t)}{\partial t}$$

4.4

kde: v_a – akustická rychlost
 u – výchylka
 r – poloměr
 t – čas

Akustické zrychlení – a_a

Popisuje změnu akustické rychlosti elementu v čase. Akustické zrychlení charakterizuje rovnice 4.5. Jednotkou je $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

$$a_a(r, t) = \frac{\partial v_a(r, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(r, t)}{\partial t^2}$$

4.5

kde: a_a – akustické zrychlení

Vlnová rovnice ve 3D

Netlumené vlnění musí splňovat vlnovou rovnici 4.6. Pokud lze pro dané prostředí vlnovou rovnici sestavit, vlnění se prostředím šíří.

$$\nabla^2 u(r, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad 4.6$$

kde: ∇^2 – Laplaceův operátor – rovnice 4.7

$$\nabla^2 u(r) = \frac{\partial^2 u(r)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(r)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u(r)}{\partial z^2} \quad 4.7$$

4.1.2 Šíření vlnění v prostoru

4.1.2.1 Popis šíření vlnění a základní veličiny

Vlnoplocha

Místa v prostoru, do nichž vlnění dospělo za stejný časový úsek. Vlnoplochy se navzájem neprotínají. Obecně jsou zobrazeny vlnoplochy s posunem o vlnovou délku. Výchytky na vlnoploše jsou v homogenním prostředí shodné velikosti.

Paprsek vlnění

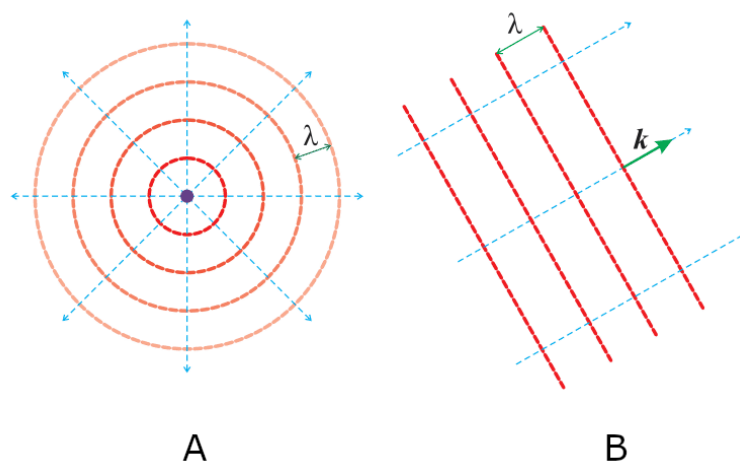
Jedná se o přímku kolmou k vlnoploše určující směr šíření vlnoplochy.

Kulová vlna

Od zdroje vlnění v homogenním izotropním prostředí urazí vlnění stejnou vzdálenost za stejný čas. Dochází ke vzniku kulových vlnoploch, kdy zdroj vlnění je jejich středem. Obrázek 13: Šíření vlnění: A-kulová vlna, B-rovinná vlna; .
Obrázek 13-A schematicky zobrazuje kulovou vlnu.

Rovinná vlna

V dostatečně velké vzdálenosti od zdroje vlnění je průměr kulových vln natolik velký, že ve vztažném úseku vlny lze kružnicový průběh nahradit přímkovým. Hovoříme o rovinném vlnění. Obrázek 13-B zobrazuje šíření rovinné vlny.



Obrázek 13: Šíření vlnění: A-kulová vlna, B-rovinná vlna; (11)

Vlnový vektor – k

Vlnový vektor je veličinou udávající směr šíření vlny. Velikost vlnového vektoru je dána vztahem 4.8. Jednotkou je $\text{rad}\cdot\text{m}^{-1}$.

$$k = \frac{\omega}{c}$$

4.8

Rovnice harmonické kulové vlny

V homogenním izotropním prostředí lze kulovou vlnou popsat pomocí rovnice 4.9.

$$u(r, t) = \frac{u_m}{r} \sin(\omega t - kr)$$

4.9

kde: u_m – amplituda vlnění
 r – vzdálenost od zdroje vlnění

Rovnice harmonické rovinné vlny

Rovinnou vlnu lze v homogenním izotropním prostředí popsat vztahem 4.10 a zjednodušeným vztahem 4.11.

$$u(\mathbf{r}, t) = u_m \cdot \sin(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) \quad 4.10$$

kde: $\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}$ – fáze vlny

Pokud má vlnový vektor \mathbf{k} stále stejný směr, je možné natočit globální souřadnicovou osu tak, aby osa x směřovala ve směru \mathbf{k} . Rovnici 4.10 lze následně zapsat pomocí vztahu 4.11.

$$u(x, t) = u_m \cdot \sin(\omega t - k \cdot x) = u_m \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad 4.11$$

Fáze vlny

Udává vztah výchylky v daném čase a místě vzhledem k výchozímu času a místu. Fáze vlny je definována vztahem 4.12.

$$\begin{aligned} \omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} &= \text{konst.} \\ \omega t - kr &= \text{konst.} \end{aligned} \quad 4.12$$

Fázový posun – φ

Pokud se zdroj vlnění nenachází v počátku nebo pokud má zdroj jiný fázový posun, je třeba tuto skutečnost zohlednit pomocí fázového posunu.

Fáze vlny se zohledněným fázovým posunem pro rovnici harmonické kulové vlny 4.9:

$$\omega t - kr + \varphi \quad 4.13$$

Fáze vlny se zohledněným fázovým posunem pro rovnici harmonické rovinné vlny 4.10:

$$\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \varphi \quad 4.14$$

Fáze vlny se zohledněným fázovým posunem pro zjednodušenou rovnici harmonické rovinné vlny 4.11:

$$\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) + \varphi$$

4.15

Akustická rychlost a akustické zrychlení rovinné harmonické vlny

Akustická rychlost rovinné harmonické vlny s využitím rovnice 4.4:

$$v_a(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = \omega u_m \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = v_m \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

4.16

Akustické zrychlení rovinné harmonické vlny s využitím rovnice 4.5:

$$a_a(x, t) = \frac{\partial v_a(x, t)}{\partial t} = -\omega^2 u_m \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = -a_m \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = -\omega^2 u(x, t)$$

4.17

Z rovnic 4.16 a 4.17 vyplývá, že v_a je vůči u posunuta ve fázi o $\pi/2$, také lze vyčíst, že a_a je vůči u v protifázi, tedy posunuta o π .

Interference vlnění

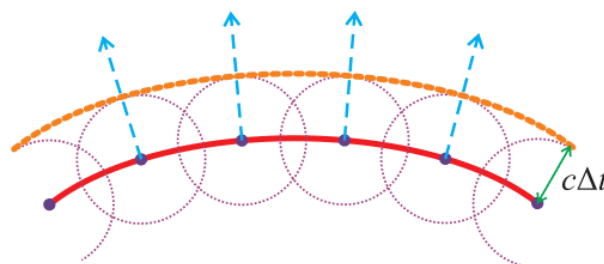
Pokud v prostoru dochází k šíření více vlnění, je celková výchylka u určena součtem dílčích výchylek u_i , tento postup nazýváme jako princip superpozice a hovoříme o tzv. interferenci vlnění. Výpočet výsledné výchylky je určen vztahem 4.18. Pokud skládáním vlnění dojde ke zvýšení amplitudy jedná se o konstruktivní interferenci, naopak při menší výsledné amplitudě dochází k destruktivní interferenci.

$$u(r, t) = \sum_{i=1}^n u_i(r, t)$$

4.18

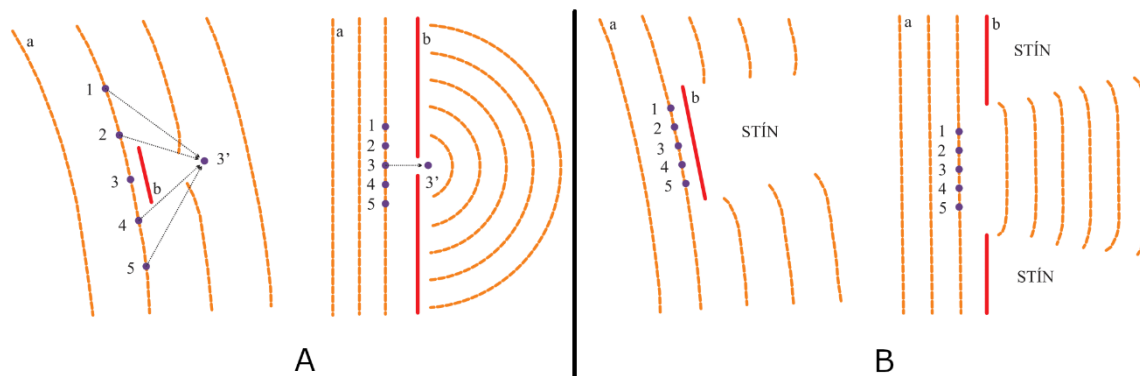
4.1.2.2 Heygensův princip

Jedná se o představu popisující šíření vlnění. Předpokladem je, že krajní body šíření vlny se stávají novým zdrojem elementárního vlnění a tvoří vlastní vlnoplochy. Obálka těchto malých vlnoploch tvoří výslednou vlnoplochu. Tento princip byl následně zpřesněn francouzským fyzikem Augustinem-Jeanem Fresnelem.



Obrázek 14: Znárodnění Heygensova principu šíření vlnění; (11)

Je nutné podotknout, že při uvažování Heygensova principu se na výsledné výchylce nové vlnoplochy podílí jen malá část původní vlnoplochy – tzv. účinná část vlnoplochy. Pomocí účinné části vlnoplochy lze popsat ohyb vlnění u překážek. Velikost účinné části vlnoplochy a vlnové délky vlnění je totožná.



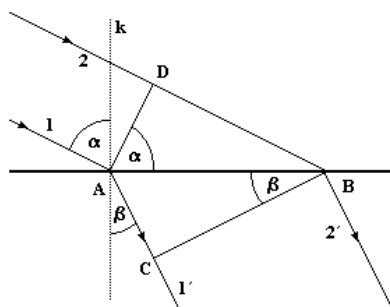
Obrázek 15: Šíření vlnění kolem překážky a otvorem: A) překážka/otvor jsou menší než vlnová délka vlnění, B) překážka/otvor jsou větší než vlnová délka vlnění; (11)

4.1.2.3 Odraz a lom vlnění

Vycházíme z fyzikálních zákonů, kdy úhel dopadu je roven úhlu odrazu.

Pro lom vlnění platí, že při průchodu dvou prostředí dochází ke změně směru šíření vlnění v závislosti na rychlosti šíření vlnění v obou prostředích.

Zákon lomu: „Poměr sinu úhlu dopadu k sinu úhlu lomu je pro daná dvě prostředí konstantní a rovná se poměru rychlostí vlnění v obou prostředích. Lomený paprsek zůstává v rovině dopadu.“ (12)



Obrázek 16: Lom vlnění; (12)

4.1.2.4 Rychlost šíření vlnění

Rychlost šíření vlnění – c

4.19 uvádí obecný vztah pro rychlost šíření vlnění v homogenním izotropním prostředí. Jednotkou jsou $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

4.19

kde: K – modul objemové pružnosti
 ρ – hustota prostředí

Rychlost šíření vlnění v pevné látce

V pevných látkách vznikají dva druhy vlnění – podélné a příčné. Podélné vlnění vyvozuje normálové napětí ve směru deformace látky, tečné napětí vzniká v důsledku příčných vlnění. Šíření vlnění v pevných látkách je popsáno vztahy 4.20 a 4.21.

Rychlost šíření vlnění v pevné látce v podélném směru (longitudinální):

$$c_l = \sqrt{\frac{G(2 - 2\mu)}{\rho(1 - 2\mu)}}$$

kde: G – modul pružnosti ve smyku
 μ – Poissonovo číslo

4.20

Rychlost šíření vlnění v pevné látce v příčném směru (transverzální):

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

4.21

4.1.3 Přenos energie vlněním

Akustický tlak – p_a

Molekuly daného prostředí kmitají a v místě své polohy vyvozují tlakové změny, mluvíme o akustickém tlaku popsáném vztahem 4.22. Jednotkou akustického tlaku je Pascal ($\text{Pa} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$).

$$p_a(x, t) = -K \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad 4.22$$

Akustický tlak pro sinové vlnění z rovnice 4.11:

$$p_a(x, t) = -K \frac{\partial}{\partial x} \left[u_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] = K u_m \frac{\omega}{c} \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = p_m \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad 4.23$$

Vlnový odpor – Z_0

Charakterizuje vlnové vlastnosti daného prostředí. Pro vzduch je za normálních podmínek $Z_0 = 400 \text{ R}$. Jednotkou je rayl ($\text{R} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

$$Z_0 = \frac{p_m}{v_m} \quad 4.24$$

Časově proměnná kinetická energie – E_k

Elementu o hmotnosti m uděluje rychlost v_a časově proměnnou kinetickou energii vyjádřenou vztahem 4.25. Rovnice 4.26 udává střední hodnotu kinetické energie.

$$E_k(t) = \frac{1}{2} m v_a^2(t) \quad 4.25$$

$$\langle E_k(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T E_k(t) dt = \frac{1}{2} m \frac{1}{T} \int_0^T v_a^2(t) dt = \frac{1}{2} m v_{ef}^2 \quad 4.26$$

Efektivní rychlost – v_{ef}

„Efektivní rychlost udává konstantní rychlost, při níž by měla částice prostředí střední kinetickou energii rovnající se časové střední hodnotě kinetické energie při dané proměnné akustické rychlosti.“ (11) Efektivní rychlost je popsána vztahem 4.27 a jednotkou je $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_a^2(t) dt}$$

4.27

Celková akustická energie – E_a

Jedná se o sumu středních mechanických energií všech elementů. Jednotkou je joule ($\text{J} = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$). Celková akustická energie je charakterizována pomocí 4.28.

$$E_a = \int_V \rho v_{ef}^2 dV = \int_V w_a dV = \int_V \frac{dE_a}{dV} dV$$

4.28

kde: w_a – objemová hustota akustické energie

Akustický výkon – P_a

Udává míru přenosu energie vlněním a je střední hodnotou výkonu přenášeného vlněním. Jednotka je $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}$.

$$P_a = SZ_0 v_{ef}^2$$

4.29

kde: S – plocha

Akustická intenzita – I_a

Jedná se o plošnou hustotu akustického výkonu udávanou v jednotkách $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

$$I_a = \frac{dP_a}{dS} = Z_0 v_{ef}^2 = w_a c$$

4.1.4 Útlum vlnění v prostředí

Každý reálný oscilátor vykazuje tlumení. Předpokládáme relativní pokles amplitudy, který je úměrný přírůstku vzdálenosti podle vztahu 4.30. Útlum vlnění v prostředí je způsoben především vnitřním třením a přeměnou kinetické energie v jiný druh energie.

$$-\frac{du_m}{u_m} = \alpha dx \quad 4.30$$

kde: α – koeficient zeslabení (m^{-1})

Pokles amplitudy se vzdáleností:

$$u_m = u_{m0} \cdot e^{(-\alpha x)} \quad 4.31$$

kde: u_{m0} – amplituda vlnění u zdroje

Tlumená rovinná harmonická vlna:

$$u_{x,t} = u_{m0} \cdot e^{(-\alpha x)} \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad 4.32$$

Akustická intenzita tlumené vlny:

$$I_a(x) = I_{a0} \cdot e^{(-2x\alpha)} \quad 4.33$$

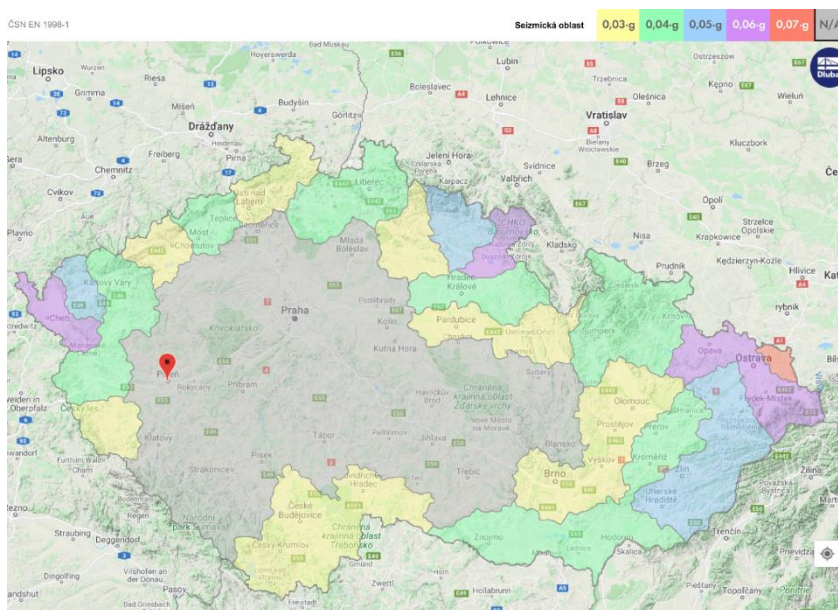
kde: I_{a0} – akustická intenzita vlnění u zdroje

4.2 Vznik vibrací

Vznik vibrací může být způsoben buď přírodními jevy, nebo s činností člověka a jejími důsledky.

4.2.1 Přírodní zdroje vibrací

Největším přírodním zdrojem vibrací je pohyb litosférických desek, který může v oblastech jejich zlomů způsobit zemětřesení. Vibroizolační systémy navržené pro izolaci staveb proti účinkům zemětřesení neplní primárně funkci ochrany proti hluku, mají plnit primárně funkci ochrannou, která zajišťuje ochranu osob a stabilitu objektu. V technických normách jsou specifikovány oblasti se zvýšenou tektonickou činností. Pro zemětřesné oblasti jsou sestaveny hodnoty referenčního špičkového zrychlení podloží. Obrázek 17 zobrazuje seizmické oblasti ČR podle ČSN EN 1998–1.



Obrázek 17: Seizmické oblasti ČR podle Eurokódu; (13)

Pro oblasti se zvýšeným rizikem seizmické aktivity jsou pro jednotlivé konstrukce sestaveny speciální technologické a konstrukční požadavky ovlivňující návrh stavebního objektu.

V závislosti na vzdálenosti od místa vzniku zemětřesení se mění i charakter vlnění:

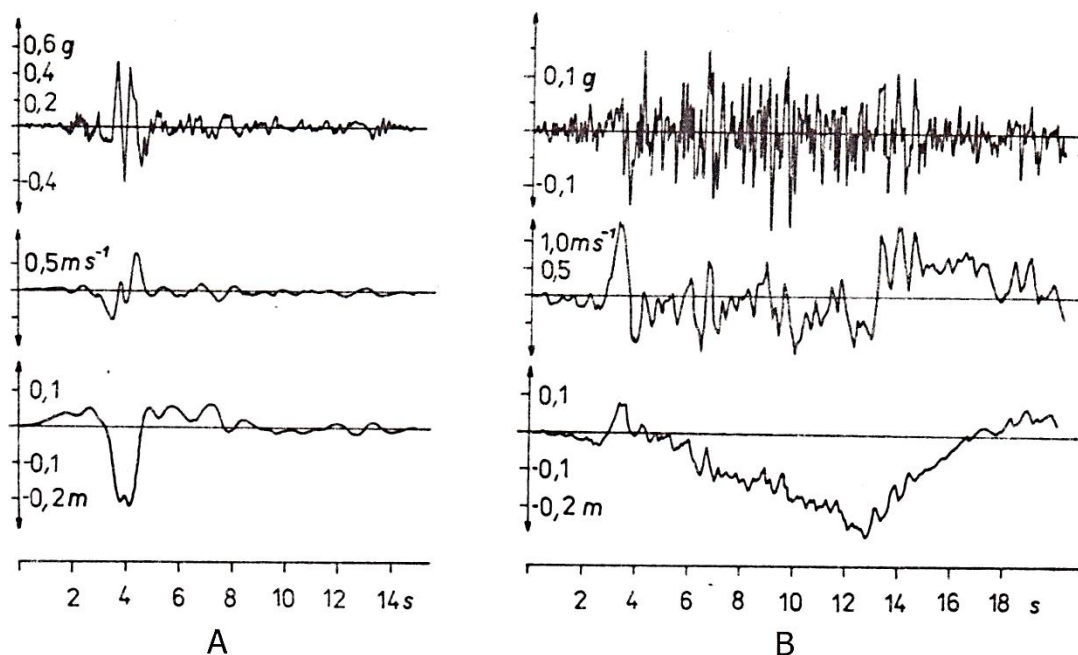
- a. Objekty nacházející se v místě epicentra (nad hypocentrem) jsou namáhány především svislou složkou pohybu, převládají vyšší frekvence, doba otřesu je krátká
- b. Objekty vzdálenější od epicentra jsou vystaveny účinkům vodorovných složek pohybu s vyšší amplitudou a nižší frekvencí, doba otřesu se prodlužuje spolu se vzdáleností od epicentra

Otřesy svou délkou trvají od několika vteřin do jedné minuty. Po prvotním zpravidla silnějším otřesu se v rámci několika hodin i dní objevují dodatečné otřesy. I přes nižší intenzitu následných otřesů často dochází k vyšším destrukčním účinkům, neboť zemětřesení působí na konstrukce oslabené a poničené prvním otřesem. Obrázek 18 zobrazuje registr záznamu pohybu při krátkém a delším otřesu v Kalifornii.

Na charakteru frekvence a amplitudy se také podílí geologický profil daného místa. Některé vrstvy mohou při zemětřesení rezonovat. V rizikových oblastech je nutné zjistit co nejvíce parametrů o skladbě geologického profilu a průběhu typického otřesu v daném místě.

Složky vodorovného pohybu mohou při zemětřesení dosahovat hodnot 0,3 až 0,5 násobku gravitačního zrychlení, ve výjimečných případech jsou tyto hodnoty ještě vyšší. U silných zemětřesení se vyskytuje frekvence pohybující se kolem 1 Hz a níže. Jsou však zaznamenávány případy s frekvencí 5 až 10 Hz.

Intenzita měření zemětřesení může být stanovena více způsoby. Objektivním ukazatelem je množství uvolněné energie pohybující se v rozmezí 10^{14} až 10^{18} joulů (Nm). Tento postup hodnocení však není z praktického hlediska vhodný, neboť neřeší projevy zemětřesení na zemském povrchu, proto byla vytvořena Richteroва stupnice, kde je intenzita zemětřesení popsána tzv. Richterovým magnitudem. Magnituda M je definována pomocí vztahu 4.34, kdy je přesně definovaný seizmograf pořízený ve vzdálenosti 100 km od epicentra. Richteroва stupnice má 10 stupňů, kdy zemětřesení o síle 5 a více jsou pro konstrukce nebezpečná. Existují i další metody zabývající se měřením intenzity zemětřesení, které jsou založeny například na hodnocení následků zemětřesení.



Obrázek 18: Registrace seizmického pohybu: Záznam zrychlení otřesu; integračně určená rychlost a výchylka; (14)

A – krátký otřes (Parkfield, Kalifornie, 27.6.1966, magnituda 5,6),

B – delší otřes (Taft, Kalifornie, 21.7.1952, magnituda 7,7)

Definice magnitudy:

$$M = \log A$$

4.34

Dalšími zdroji přírodních vibrací mohou být účinky větru, sesuvy podloží, vibrace související s vodotečemi, pády nejrůznějších objektů, náraz meteoritu a další. Jedná se o účinky mimořádné, které se v běžné praxi neposuzují. Výjimku tvoří dynamické účinky větru u vybraných konstrukcí, u kterých mohou výrazně ovlivnit použitelnost a stabilitu konstrukce.

4.2.2 Technická seizmicita

Jako technickou seizmicitu označujeme vibrace způsobené lidskou činností nebo jejími důsledky.

Pro návrh stavebních objektů se často využívají hlukové mapy. Spolu s nimi jsou na základě akustického měření vytvořeny akustické studie, které spolu s normami specifikují akustické požadavky na konstrukce. Zároveň jsou také posouzeny vlivy nové výstavby na stávající okolí.

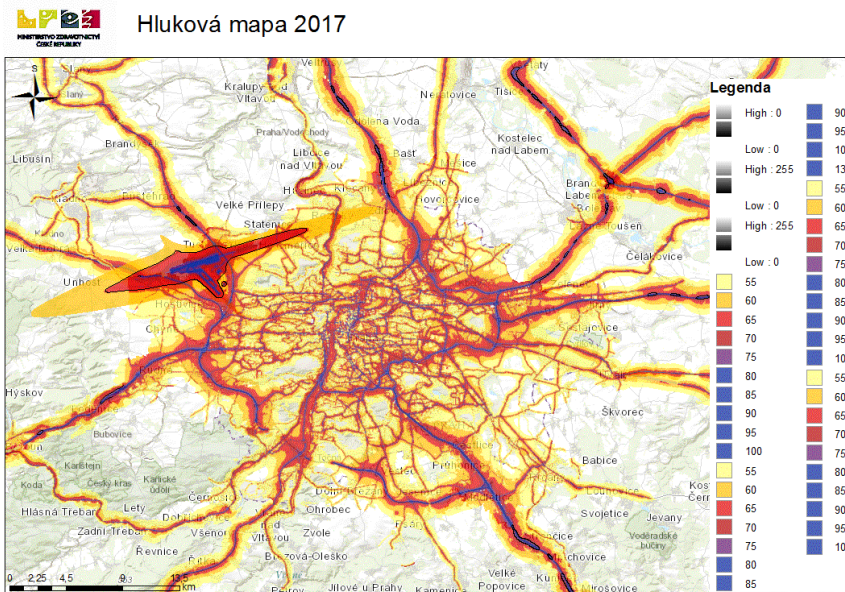
Stavební objekty jsou nejčastěji zatíženy technickou seizmicitou přenášenou zemskými vrstvami, dochází však i k přenosu vlnění vzduchem, které působí na obvodový plášť budovy. Při šíření zeminou dochází k namáhání objektů především vodorovnou složkou pohybu vlnění, neboť svislá složka se rychle utlumuje. Přirozeně tlumené jsou i vysoké frekvence, které jsou svým dosahem omezeny. Při frekvencích nad 50 Hz nestíhají vzniknout plastické deformace vzhledem k rychlé změně směru působení napětí. Nízkofrekvenční otřesy mají na konstrukce větší destruktivní účinek než frekvence vysoké.

4.2.2.1 Technická seizmicita – doprava

Návrhy a posouzení stavebních objektů jsou často ovlivněny nejvýznamnějším zdrojem technické seizmicity – dopravou. Dopravou vznikají vibrace, které vedou ke vzniku nežádoucího hluku a vibrací v konstrukci. Jedná se o dopravu silniční, železniční i podzemní. V ojedinělých případech je nutné řešit i vliv dopravy letecké.

4.2.2.2 Technická seizmicita – technický provoz a výroba

Technické provozy jsou nezanedbatelným zdrojem technické seizmicity ovlivňující své okolí a tím kvalitu života. Z důvodu snížení negativních vlivů technické seizmicity z výrobních a průmyslových objektů jsou již v územním plánu naprojektována území určená pro výstavbu stavebních objektů vyvozujících zatížení v podobě technické seizmicity.



Obrázek 19: Hluková mapa 2017 – Praha; (15)

V ojedinělých případech může docházet k umístění průmyslových objektů do jiných než vyznačených průmyslových zón. V takovém případě je povinností provozovatele objektu se zdrojem technické seizmicity omezit šíření vibrací do okolí v dostatečné míře tak, aby byly splněny stanovené hygienické limity. Provedená opatření musí být v souladu se zákonem č. 258/200 Sb. o ochraně veřejného zdraví a s nařízením vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb.

Při umístění nového objektu do prostoru se zvýšenou technickou seizmicitou je naopak povinností navrhnout opatření na ochranu před hlukem a vibracemi v rámci projektové dokumentace. K umístění objektu do míst s nevyhovujícími limity vibrací a hluku může docházet vlivem změny územního plánu, nedůslednou projektovou dokumentací, novou zástavbou v místě se změněným účelem (revitalizace brownfieldu) apod.

4.2.2.3 Technická seizmicita – provoz objektu

Ke vzniku technické seizmicity přispívá i užívání a provoz objektu, včetně jeho vybavení a technického zázemí. Typickými zdroji vnitřní technické seizmicity jsou systémy vzduchotechniky, výtah a lidská činnost.

Tabulka 3: Dynamická zatížení stropů a stěn lidskou činností; podle (14) ve spolupráci s Ústavem teoretické a aplikované mechaniky ČSAV v roce 1972

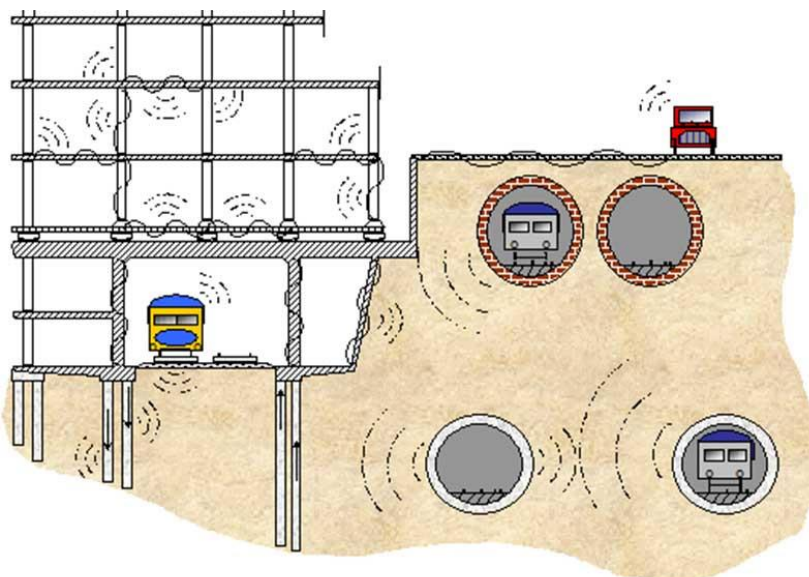
Činnost	Hmotnost předmětu (kg)	Délka dráhy (m)	Amplituda síly F_{dyn} (N)
Seskok sounož, gumový podešev	75	0,47	5170–6250
Seskok sounož, tvrdý podešev	75	0,47	8000
Nášlap jednou nohou při chůzi	75	-	9600
Úder pěstí ve vzdálenosti 0,9 m	-	-	4100
Předmět o hmotnosti 1kg vodorovně vržený ze vzdálenosti 1m	1	1	3250

4.2.2.4 Technická seizmicita – těžební průmysl

Významným zdrojem technické seizmicity jsou také exploze v těžebním průmyslu. Vzhledem k významným vlivům na životní prostředí jsou těžební prostory často situovány do oblastí bez zástavby.

4.3 Šíření vibrací

Rychlost a charakter šíření vibrací od zdroje závisí na prostředí, kterým procházejí. V homogenním prostředí je rychlost šíření vibrací konstantní. Šíření vln popisujeme pomocí vlnoploch. Vibrace se na Zemi šíří všemi prostředími. Dynamický charakter materiálu může zeslabit nebo zesílit úroveň vibrací. Rozhraní materiálových souvrství za určitých podmínek přispívá k odrazu vibrací, k tomuto jevu často dochází v půdě, kde se od skalních masivů a hladiny podzemní vody vibrace odrážejí. Obrázek 20 schematicky popisuje šíření vibrací v prostoru.



Obrázek 20: Šíření technické seizmicity podloží; (16)

V místě zdroje vibrací je nejvýraznější svislá složka pohybu, naopak s rostoucí vzdáleností od zdroje technické seizmicity vzrůstá vliv složek vodorovných. Přibližný vztah 4.35 popisuje šíření technických otřesů podloží v závislosti na schopnosti jednotlivých druhů zeminy absorbovat energii. Tabulka 4 udává hodnoty součinitele α_z pro jednotlivé druhy zemin, lze tvrdit, že s rostoucí hodnotou α_z roste i schopnost tlumení daného prostředí, tedy přeměnu energie kinetické na jinou formu.

$$A_l = A_{l_0} \sqrt{\frac{l_0}{l}} e^{-\alpha_z(l-l_0)}$$

4.35

kde: A_l – počítaná amplituda kmitání povrchu území
ve vzdálenosti l
 A_{l_0} – amplituda ve vzdálenosti l_0
 α_z – pohlcování energie v zemině ($\alpha_z = 0$ pro ideálně
pružné prostředí nepohlcující energii)

Tabulka 4: Konstanta α_z absorpce energie v zemině; podle (14)

Druh zeminy	α_z (m^{-1})	ČSN 73 1001
Bahnité zeminy	0	
Jemnozrnné písky a písčité hlíny, zeminy nasycené vodou	0,03 až 0,04	S1 až S4
Jílovitý písek s konzistencí měkkou až pevnou	0,03 až 0,05	S5, F3, F5, F7
Hlíny s konzistencí měkkou až pevnou	0,04 až 0,06	F3, F7
Jílovitý písek a hlíny s konzistencí tvrdou	0,08 až 0,10	F3, F7, S5
Skalní a poloskalní horniny	0,10 až 0,13	R1 až R6
Zvodnělé štěrky	0,01 až 0,015	G1 až G4

4.4 Měření vibrací

Vibrace se vyjadřují pomocí dráhy, rychlosti nebo zrychlení. Pro harmonický pohyb je možné mezi sebou jednotlivé veličiny převádět, pokud je známá frekvence a amplituda. Vibrace jsou měřeny pomocí sofistikovaných měřicích soustav. Je kladen velký důraz na správné provedení měření s vhodně zvolenou měřicí soustavou, umístění měřicích senzorů a na výslednou interpretaci a vyhodnocení výsledků. Měřicí soustavy jsou poměrně drahá zařízení s možností měřit jednotlivé veličiny vibrací.

Matematicky probíhá popis harmonického signálu pomocí rovnic 4.36, 4.37 a pomocí kolmých složek rovnicí 4.38:

$$f(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad 4.36$$

$$f(t) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad 4.37$$

$$f(t) = a \cdot \cos(\omega t) + b \cdot \sin(\omega t) \quad 4.38$$

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

$$a = A \cdot \sin \varphi$$

$$b = A \cdot \cos \varphi$$

4.4.1 Veličiny vibrací

Vibrace mohou být popsány pomocí výchylky, rychlosti nebo zrychlení vztahy 4.39, 4.40 a 4.41. Pokud se jedná o harmonické vlnění, lze jednoduchým způsobem přepočítávat jednotlivé veličiny mezi sebou.

V praxi může být chování konstrukce popsáno výpočtovým modelem, ale velmi často se přistupuje k experimentálnímu měření k ověření skutečného chování konstrukce.

Podle Pirnera (17) „jsou experimentem v úlohách dynamiky obvykle zjišťovány:

- Vlastní tvary kmitání a příslušné vlastní frekvence
- Amplitudy vynuceného kmitání, rychlost, zrychlení pohybu
- Rezonanční křivky
- Dynamický součinitel
- Časový průběh napjatosti nebo deformace (u stochastických jevů rozptyl, výkonové nebo vzájemné spektrální hustoty atd.)
- Logaritmický dekrement útlumu výchylky
- Mechanické vlastnosti materiálu skutečné konstrukce při dynamickém namáhání atd.“

Podle Pirnera (17) lze „Dynamické zkoušky skutečných konstrukcí dělit podle druhu buzení:

- Dokmitávání po počáteční statické výchylce (náhlé uvolnění) nebo po impulzu raketovým motorem nebo úderem břemene
- Vynucené kmitání způsobené budičem (harmonické buzení, náhodné buzení, buzení metodou sweep), nebo lidskou silou
- Vynucené kmitání způsobené okolním neklidem (od silniční nebo kolejové dopravy průmyslových otřesů nebo od větru)“

Rovnice popisující výchylku

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t) \tag{4.39}$$

Rovnice popisující rychlost

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = A\omega \cdot \cos(\omega t) \tag{4.40}$$

Rovnice popisující zrychlení

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cdot \sin(\omega t) \tag{4.41}$$

4.4.2 Snímače vibrací

4.4.2.1 Snímače dráhy

Nejčastěji se využívá principu vířivých proudů. Je měřena statická mezera mezi hrotem snímače a povrchem. Snímače jsou bezdotykové. Vyžadují pevný držák, který nebude kmitat a tím ovlivňovat výsledek měření, proto není tento typ snímačů vhodný pro měření vibrací v budovách, kde těchto podmínek nelze jednoduše dosáhnout. Možným řešením je například použití izolačních stolů s aktivním vibroizolačním systémem. Využívají se ve strojírenství pro měření posuvů a teplotních dilatací rotoru a statoru a jako snímače regulátoru otáček.

4.4.2.2 Snímače rychlosti

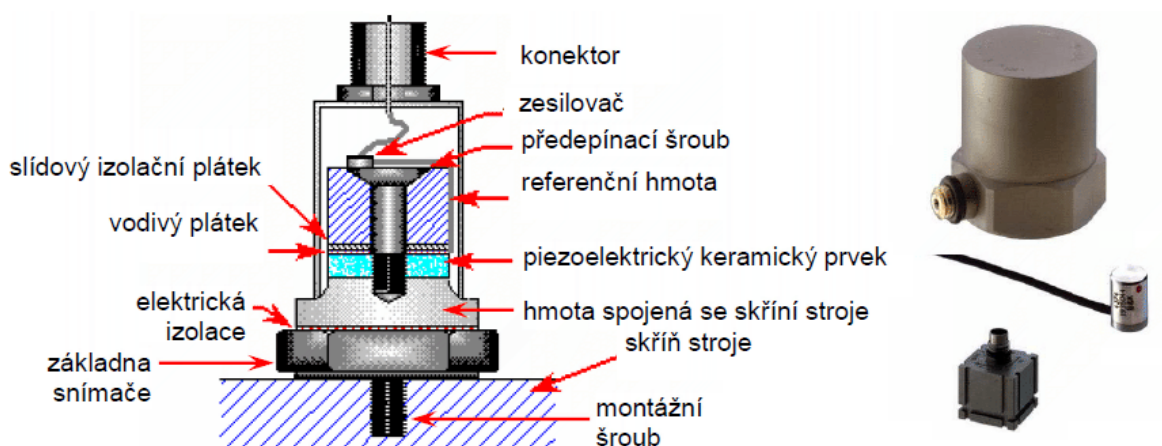
Jedná se o elektrodynamické snímače, které až na výjimky nemají lineární charakteristiku. Ke generování dostatečně silného signálu nepotřebují zesilovače a oproti akcelerometrům dosahují lepších výsledků pro nízké frekvence z hlediska šumu.

Rychlost lze měřit také pomocí laserových vibrometrů založených na Dopplerově jevu. Jedná se o bezdotykovou metodu vhodnou pro materiály, u nichž není možná instalace kontaktních snímačů. Výsledky mohou být zobrazeny ve 3D.

4.4.2.3 Snímače zrychlení (akcelerometry)

Akcelerometry patří k nejčastěji využívaným snímačům vibrací. Na trhu se vyskytuje široký výběr různých typů.

Nejpoužívanějšími jsou snímače založené na piezoelektrickém jevu – snímače PE/EIPE. Při mechanickém namáhání piezoelektrického materiálu dochází ke generování elektrického náboje. Akcelerometr se volí na základě několika požadavků: citlivost a maximální měřitelné zrychlení, frekvenční rozsah, počet měřitelných os, teplota, vlhkost, magnetické pole, rozměry snímače, upevnění snímače, šum v pozadí, cena a další. Pro měření lze využít jednoosé akcelerometry, tříosé akcelerometry nebo lze umístit více jednoosých akcelerometrů.



Obrázek 21: Schéma a zobrazení piezoelektrického akcelerometru; (18)

Dále se využívají snímače „micro electron mechanical systém“ tzv. MEMS s kapacitním nebo odporovým měřením, kdy snímač měří tíhové zrychlení.

Rovnice dynamické rovnováhy sil působících na hmotu snímače:

$$m\ddot{x} + 2m\omega_b(\dot{x} - \dot{u}) + C(x - u) = 0$$

4.42

4.4.3 Analýza měřených signálů vibrací

Nejčastěji se využívá tzv. Rychlá Fourierova transformace – „Fast Fourier Transformation – FFT“. Jedná se o analýzu periodického časového signálu, který je složen z mnoha frekvencí. Algoritmus výpočtu umožňuje značné zrychlení výpočtu oproti ostatním výpočetním metodám.

4.4.4 Legislativní požadavky

- ČSN 73 2044:1983 – Dynamické zkoušky stavebních konstrukcí
- ČSN 73 0032:1977 – Výpočet stavebních konstrukcí zatížených dynamickými účinky strojů
- ČSN 73 0036:1975: Seizmická zatížení staveb
- ČSN 73 0040:1996 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva
- Nařízení vlády č. 88/2004 Sb. – O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

4.5 Vliv vibrací na konstrukce

Při působení dynamické síly na konstrukci dochází k rozkmitání (oscilaci) konstrukce. Každá konstrukce má vlastní dynamické charakteristiky, které ovlivňují její odezvu na budící dynamické síly. Základní veličinou popisující chování konstrukce vůči dynamickému namáhání je tzv. vlastní frekvence určená dle vztahu 4.43. Mezi další sledované dynamické vlastnosti konstrukcí řadíme odezvu, tvar kmitu a tlumení.

Pro odezvu konstrukce platí, že čím tužší je konstrukce, tím rychlejší je odezva konstrukce (aktivace vnitřních sil) bez setrvačnosti. Odezva tuhé konstrukce na dynamické zatížení je téměř totožná jako její reakci na zatížení statické.

Netlumená vlastní frekvence:

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

4.43

kde: k – tuhost pružiny
 m – hmotnost objektu
 Ω_0 – vlastní netlumená frekvence

Tuhost pružiny:

$$k = \frac{F}{\Delta l}$$

4.44

kde: F – síla
 Δl – změna délky

Dynamické zatížení konstrukce může být buď deterministické, nebo stochastické. Deterministickým dynamickým zatížením popisujeme známý průběh zatížení, lze ho tedy v čase popsat a zopakovat. Naopak děje stochastické jsou děje náhodné, které je obtížné přesně definovat z hlediska časového průběhu a jejich hodnoty jsou určeny pomocí pravděpodobnostních metod.

Nadměrné vibrace konstrukce způsobují vznik hluku v místnostech. Při překročení prahu vnímání jsou vibrace konstrukce vnímány i lidským tělem, které negativně reaguje – více v kapitole 4.6.

V krajních případech může dojít k rezonanci celé konstrukce nebo jednotlivých částí. Rezonance je stav, kdy budicí dynamická síla vyvozuje kmitání konstrukce s frekvencí nalézající se v tzv. rezonančních frekvencích, které jsou blízké vlastní frekvenci konstrukce. Dochází k výraznému zvýšení výchylek konstrukce (růst amplitudy), které mohou vést ke vzniku a rozvoji poruch a vad. Rezonance konstrukce je velmi nebezpečným jevem ovlivňujícím její použitelnost a stabilitu.

„Z hlediska mechaniky konstrukcí lze úlohu o nalezení vlastních frekvencí a vlastních tvarů netlumeného kmitání charakterizovat jako obecný problém vlastních čísel popsany rovnicí 4.45 podle (19).

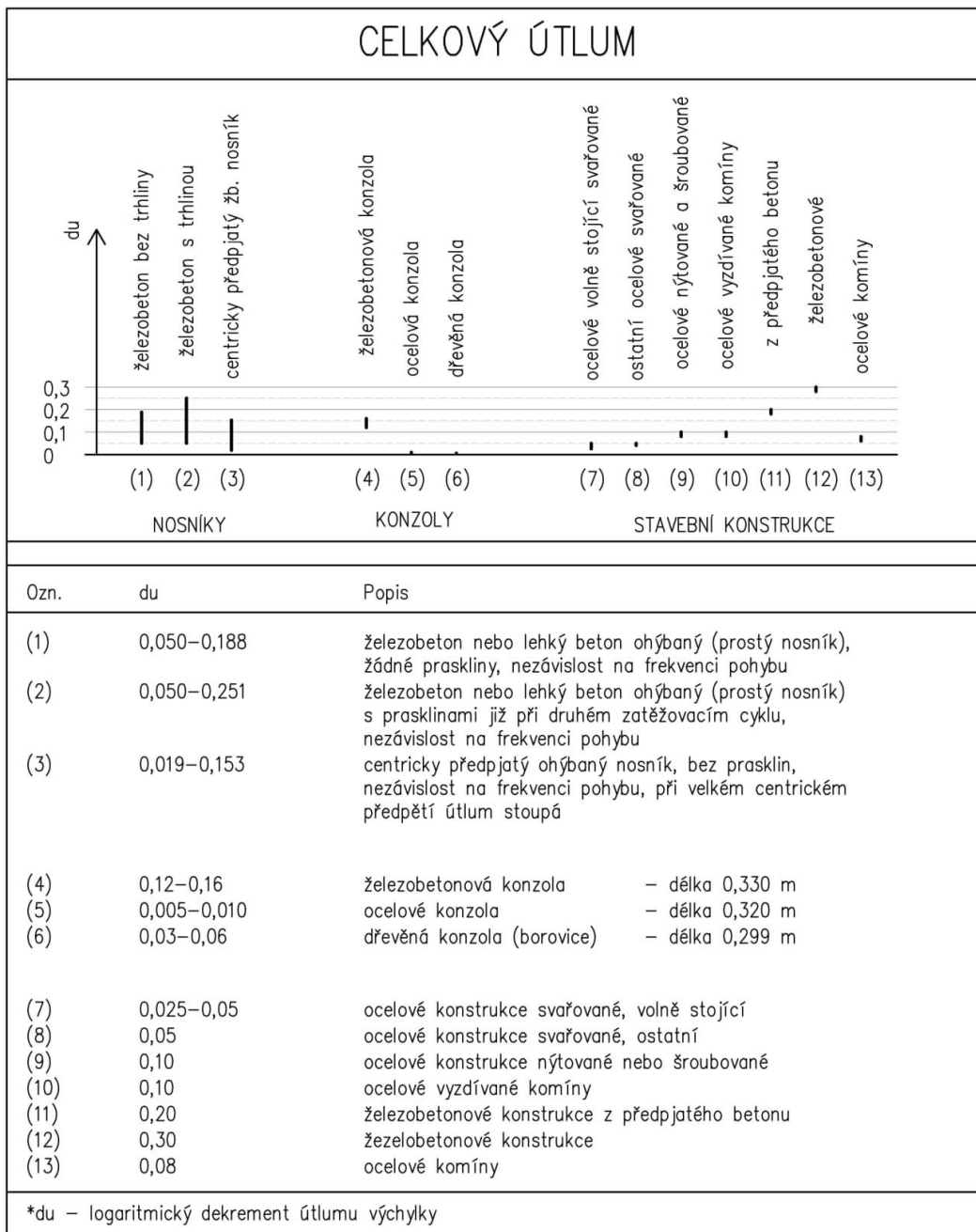
$$(K - \omega^2 M)r = 0$$

4.45

kde: K – matice tuhosti

M – matice hmotnosti uvažované konstrukce

R – vlastní tvar kmitání příslušný k vlastní frekvenci



Obrázek 22: Hodnoty logaritmičeského dekrementu útlumu výchylky pro stavební konstrukce a jejich jednotlivých prvků; podle (20) a (2)

U stavebních objektů nemusí být rozhodující frekvence ani velikost amplitudy, ale také délka a počet opakovacích cyklů namáhání konstrukce, které vedou k únavě materiálu, postupnému rozvoji trhlin, změnám tuhosti konstrukce, a tedy k celkovému snížení životnosti objektu.

4.6 Vliv vibrací na člověka

Požadavek na míru vibrací vychází ze schopnosti člověka vibrace vnímat. Jsou stanoveny hygienické limity maximálních vibrací v závislosti na typu budovy, jejím účelu, denní době, délce trvání vibrací apod. Ideálního stavu dosahujeme při frekvencích pohybujících se pod prahem vnímání člověka.



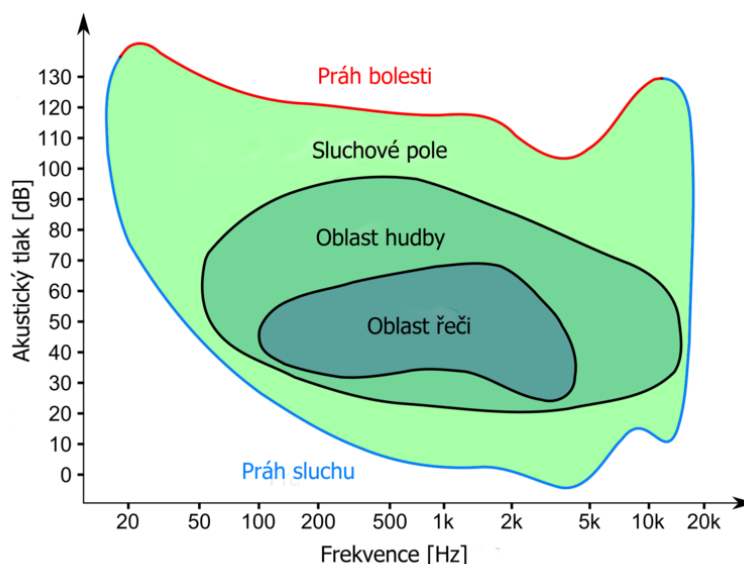
Obrázek 23: Vlastní frekvence částí lidského těla; (21)

Poloha lidského těla a jeho styčná plocha se zdrojem vibrací výrazně ovlivňují účinek vibrací na člověka. Důležitým faktorem je také orientace těla v závislosti na směru šíření a působení vibrací. Vibrace mohou působit nejen na tlakové receptory, ale při zvýšených hodnotách i na sluchové ústrojí. V určitých situacích lze vibrace a jejich projevy pozorovat pouhým okem – pohyb vybavení místnosti (okna, květiny atd.). Ochrana před vibracemi se zaměřuje především na pracovní prostředí, kde jsou vibrace z výrobních strojů přímo přenášeny na končetiny člověka, je kladen význam na ochranu rukou a těhotných žen. V obytných budovách jsou vibrace především zdrojem hluku v místnostech. Pro jednotlivé typy místností a budovy jsou stanovené hygienické limity hladin akustického tlaku v závislosti na délce působení a denní době.

Tabulka 5 a Obrázek 24 zobrazují slyšitelné zvukové spektrum, se zohledněním hladiny akustického tlaku a frekvence.

Tabulka 5: Příklady hladin akustického tlaku; podle: (22)

Akustický tlak p (Pa)	Akustická intenzita I (W/m ²)	Hladina akustického tlaku L (dB)	Příklad prostředí, ve kterém se vyskytuje
60	10	130	práh bolesti
2	10 ⁻²	100	diskotéka
0,2	10 ⁻⁴	80	rušná ulice
0,02	10 ⁻⁶	60	kancelář
0,002	10 ⁻⁸	40	obývací pokoj
0,0002	10 ⁻¹⁰	20	ložnice v noci
0,00002	10 ⁻¹²	0	práh slyšení



Obrázek 24: Sluchové pole s vyznačeným prahem slyšitelnosti; (23)

Systémové účinky vibrací na lidský organismus podle (24):

- Snížení pozornosti, zhoršené a zpomalené vnímání, pokles motivace, snížení pracovní výkonnosti, celková únava
- Omezená schopnost adaptace na intenzivní vibrace, rozmrzelost
- Rušení při duševní činnosti, přesné práci a spánku
- Prvotní podnět k psychickým, psychosomatickým a neurotickým potížím
- Kinetóza (nevolnost, blednutí) pro vertikální vibrace o kmitočtu < 0,5 Hz

Předpisy týkající se měření a vlivu vibrací a hluku na lidský organismus:

- Zákon č. 258/2000 Sb. – Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. – Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Metodický návod pro měření a hodnocení hluku a vibrací v pracovním prostředí, Věstník MZ ČR č. 11/2017
- ČSN ISO 2631-1 – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Část 1: Všeobecné požadavky
- ČSN ISO 2631-2 – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Část 2: Nepřerušované vibrace a rázy v budovách

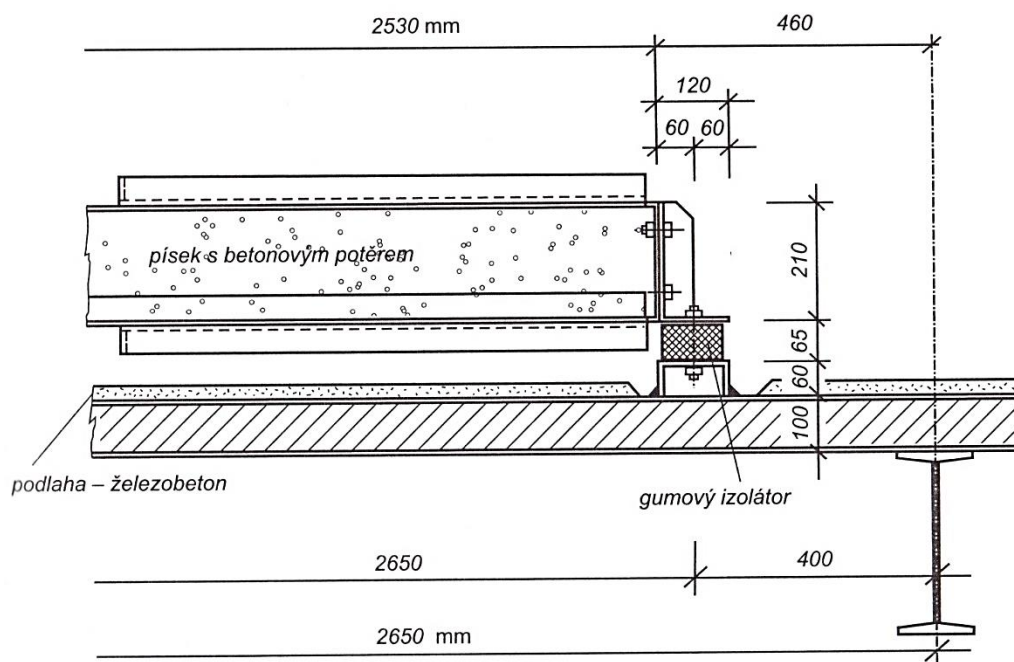
4.7 Opatření pro zmenšení dynamické odezvy

4.7.1 Přeladění

V případech, kdy budicí frekvence vyvoluje rezonanční frekvence budovy se snažíme o změnu jedné z frekvencí. Budicí frekvenci často nemůžeme ovlivnit. Z rovnice 4.43 pro výpočet plyne, že pokud chceme zvětšit hodnotu vlastní frekvence o 10 %, je nutné zvýšit tuhost o 21 % nebo zmenšit hmotnost o 17 %. Do určité míry lze vlastní frekvenci konstrukce ovlivnit změnou tuhosti podpor, dodáním podpor, doplněním ztužení, zavětrováním apod.

4.7.2 Pohlcovače kmitání (vibroizolační systémy)

Obecným principem pohlcovačů kmitání je snaha konstrukci rozhábat v protifázi proti budicí síle a tím vyloučit účinek sil budicích. Blíže jsou vibroizolační systémy popsány v kapitole 5.



Obrázek 25: Schéma použití gumového izolátoru u nádrží s pískem a betonovým potěrem pro snížení vlivu vodorovných vibrací v budově s tkalcovskými stavy; (17)

4.7.3 Zvětšení útlumu

Ke zvětšení útlumu se mohou používat hydraulické tlumiče, laděné tlumiče, hydraulické vzpěry ztužení, kombinace více systémů, aktivní tlumiče atd.

5 Vibroizolační systémy

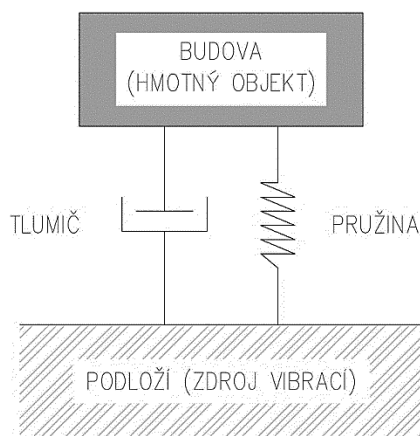
Vibroizolace má za úkol v konstrukci vytvořit separační vrstvu, tzv. akustický řez, který je tvořen prvky vibroizolačního systému se specifickými dynamickými vlastnostmi snižujícími přenos vibrací do konstrukce. Typ vibroizolace se určuje na základě měření vibrací, dynamických vlastností, konstrukčního systému a hmotnosti konstrukce, hygienických požadavků a účelu budovy. Návrh vibroizolačního systému je úzce spojen s návrhem konstrukce a s možnostmi provedení. Návrh je také omezen požadavky na kontrolovatelnost, požární odolnost, hydroizolace a další. Výběr vibroizolačních prvků provádí zpravidla dodavatel vibroizolačního systému.

Na trhu se vyskytuje mnoho firem dodávajících vibroizolační systémy, často s mezinárodním polem působnosti. Nabízené vibroizolace fungují na obdobných fyzikálních principech, které jsou blíže popsány v kapitolách 5.1 a 5.2. I přes obdobné principy fungování nelze jednotlivé prvky, bez podrobného návrhu a posouzení, zaměňovat, neboť každý prvek má úzce vymezené možnosti aplikace.

Vibroizolační systémy různých výrobců nejsou zpravidla kompatibilní, je to způsobeno především odlišnými deformacemi při stejných hodnotách zatížení a odlišným spektrem tlumených frekvencí.

5.1 Pasivní vibroizolační systémy

K pasivním vibroizolačním systémům řadíme takové prvky, které znemožňují přenos vibrací od zdroje vibrací do konstrukce nebo je do dostatečné míry tlumí pouze svou konstrukcí a dynamickými vlastnostmi použitých materiálů. Pasivní vibroizolace nalézají v budovách širokou škálu uplatnění, kdy jsou využívány pro izolaci celé konstrukce od podloží nebo od jednotlivých zdrojů vibrací uvnitř konstrukce, jako jsou systémy výměny vzduchu, tělocvičny, pračky atd.



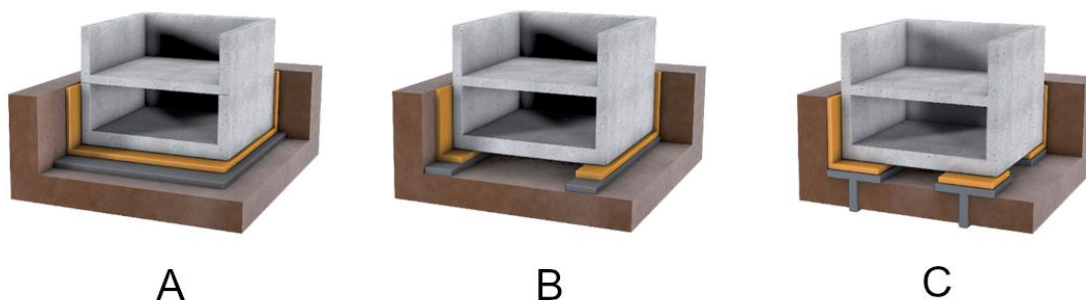
Obrázek 26: Schéma pasivní vibroizolace; podle: (25)

Obrázek 26 popisuje schéma pasivní vibroizolace. Mezi zdrojem vibrací a hmotným objektem se nalézá vibroizolační ložisko skládající se z pružiny, s danou vertikální tuhostí k , a z tlumiče. Funkci tlumiče může ve vibroizolačním systému plnit i pružinový prvek, vzniká tedy jednodušší systém s jedním funkčním tlumícím prvkem.

5.1.1 Vibroizolační desky a ložiska z pružných materiálů

Vibroizolační systém sestávající ze soustav pružných desek tvořící separační vrstvu mezi podložím a nosnou konstrukcí je nejjednodušším řešením pro stavební konstrukce. Vibroizolace z pružných desek klade relativně nízké požadavky na technologické provádění a údržbu oproti ostatním vibroizolačním systémům, ale vykazují nižší efektivnost tlumení a odstínění vibrací nízkých frekvencí.

Pružné desky tvoří vrstvu, která je vložena mezi zdvojené nosné železobetonové konstrukce. Horní betonová nosná konstrukce tvarově kopíruje nosnou betonovou konstrukci podkladní. Řešení označujeme jako „box in box“. Prvky vibroizolačního systému mohou být umístěny v předepsaném rastru nebo jednoduše po celé ploše v závislosti na odborném návrhu.



Obrázek 27: Způsoby uložení pružných vibroizolačních desek: A) plošné, B) liniové, C) bodové; (26)

Stavební objekt je zpravidla navržen jako plošně založený na základové desce, v některých případech lze využít i kombinaci hlubinného založení na pilotách s omezeným sednutím a masivní železobetonové základové desky. Ve druhém případě dochází k větším lokálním namáháním, kdy jsou vibroizolační ložiska umístěna v místech svislých tlakových sil.

Spodní stavba bývá zpravidla navržena jako konstrukce bílé vany.

Plošné pružné vibroizolační desky se využívají pro tlumení lokálních vibrací v konstrukci, které vznikají v prostorech tělocvičen, tanečních sálů, výtahových šachet apod. Často se pružné desky využívají pro odstínění vibrací z heliportů.



Obrázek 28: Bodově umístěná vibroizolace z pružných desek (Sylodyn); (27)

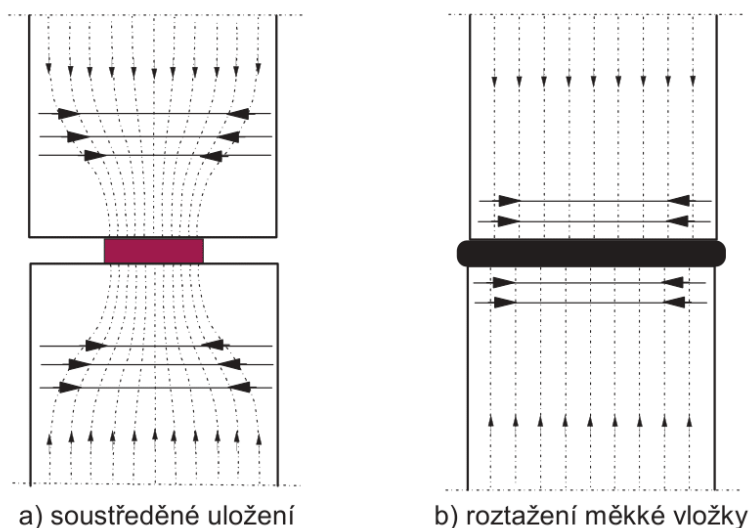
Pružné desky mohou být využity i lokálně pro vytvoření akustického řezu mezi spodní a horní stavbou s ložisky umístěnými na stěnách a sloupech. Princip je obdobný jako při použití mechanických pružin v kapitole 5.1.2. Vložení pružné desky však klade na betonové konstrukce zvýšené nároky z hlediska vzniku příčných tlakových sil v betonové konstrukci (viz. Obrázek 30).



Obrázek 29: Uložení vibroizolační desky Sylodyn HRB-HS na hlavici sloupu; (28)

Podle technických specifikací výrobce (28) je těžké ložisko Sylodyn HRB-HS schopné přenést zatížení 6000 kN/m^2 .

Pro tento typ vibroizolačních systémů jsou používány pružné materiály na bázi elastomerů, pryže, korku, laminátů a hutných pěnových materiálů. Některé systémy kombinují více druhů materiálu pro dosažení lepších výsledků útlumu.



Obrázek 30: Příčná tahová napětí v tlačенých stycích; (4)

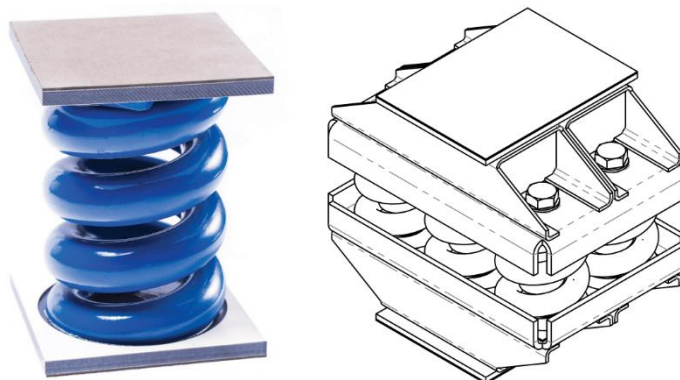
5.1.2 Mechanické pružiny a kombinace systému pružina-tlumič

Mezi nejpoužívanější vibroizolační systémy řadíme vibroizolační ložiska skládaná z mechanických pružin. Vyznačují se širokou škálou použitelnosti u stavebních objektů jako celku i jednotlivých částí. Své místo našly pružinové izolátory i ve strojírenství, kdy jsou celá strojní zařízení osazena na ocelový rošt uložený na vibroizolátory.

Pružinová ložiska jsou ve stavebních konstrukcích používána k izolaci základových konstrukcí, výtahových šachet, strojních zařízení, systému vzduchotechniky apod.

Ložiska mohou být osazena jednotlivě, liniově nebo skupinově v místech lokálních zatížení. U liniových a rozměrných staveb mohou být ložiska osazována v systémových předepjatých ocelových boxech omezující vliv rozdílných deformací jednotlivých částí konstrukce způsobené procesem postupné výstavby.

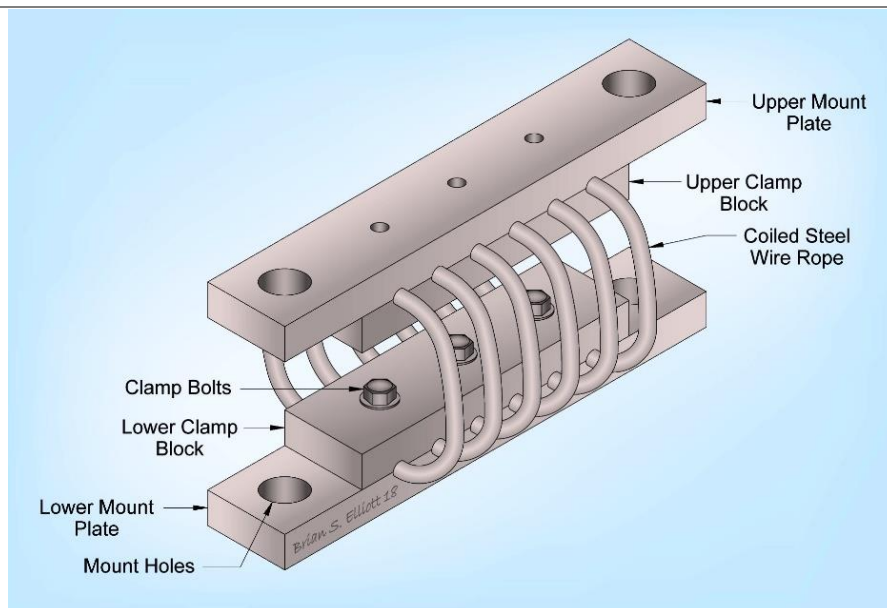
U speciálních případů mohou být pružinová vibroizolační ložiska kombinována s deskami pružných materiálů v závislosti na požadovaném tlumení.



Obrázek 31: Pružinová vibroizolační ložiska umístěna samostatně a v ocelovém boxu; (29), (30)

5.1.3 Lanové izolátory a izolátory ze subtilních ocelových profilů

Vibroizolační systém sestávající se ze dvou ohybově tuhých desek, které jsou od sebe děleny mohutnými ohýbanými ocelovými lany. Tento systém vykazuje vysokou odolnost vůči rázovým vlnám ve všech směrech, je proto využíván především ve strojírenství nebo jako ochrana budov před účinky zemětřesení. V konstrukci vibroizolátoru mohou být lana nahrazena subtilními ocelovými profily, často se využívá obdélníkových průřezů.



Obrázek 32: Lanový izolátor; (31)

Na trhu se také vyskytují kombinované vibroizolační systémy lanového izolátoru s vloženou mechanickou pružinou.

5.1.4 Lisované a lepené pryžové/elastomerové izolátory a úchyty

Jedná se o vibroizolační systém používaný především ve strojírenství, kde je jeho hlavní funkcí tlumit vibrace strojního zařízení nebo rázů.

Velmi často se jedná o ložisko složené ze dvou do sebe zapadajících prvků, kdy je jeden prvek vsunut do druhého. Nosné prvky ložisek jsou provedeny z oceli a jsou obaleny tlustou vrstvou pryže, která tvoří styčnou plochu a plní funkci vibroizolace.

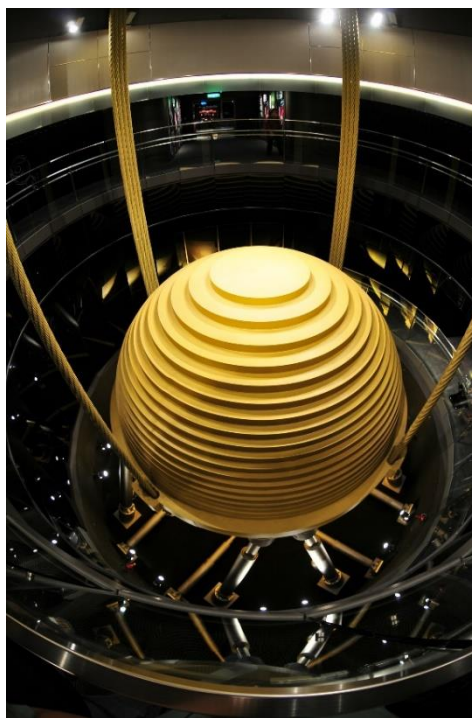
5.1.5 Desková vrstvená vibroizolační ložiska

Tento typ ložisek je složen z velkopřůměrových ocelových desek, mezi které jsou vloženy elastomerové pláty. Souvrství jsou kotvena do ocelových patek připevněných do nosné konstrukce. Ložiska vykazují nízkou horizontální tuhost a vysokou schopnost pružného přetvoření. Použitím vhodných izolačních ložisek lze snížit vlastní frekvenci budovy. Vlastnosti tohoto systému výrazně omezují přenos energie a vibrací z podloží do konstrukce, čehož se využívá především u významných konstrukcí a staveb nacházejících se v geologicky aktivních oblastech. Nemocnice jsou častým zástupcem stavebních objektů s integrovaným systémem proti účinkům zemětřesení. Obdobný typ vibroizolačních ložisek je používán u mostních konstrukcí

5.1.6 Harmonický absorbér

Specifickým vibrozolačním systémem jsou harmonické absorbéry, tzv. hmotnostní tlumiče, které svým umístěním v konstrukci a svou hmotností snižují celkové výkmity (amplitudu) konstrukce způsobené harmonickými vibracemi a tím zajišťuje stabilitu objektu. Mezi harmonické absorbéry lze také řadit tzv. pohlcovače (kyvadlové, kulové, kapalinové), které fungují na obdobném fyzikálním principu – kmitají jinou frekvencí než konstrukce a při součtu funkcí frekvencí dochází k útlumu.

Hmotnostní tlumiče jsou používány ve stavebních objektech zatížených zemětřesením, mechanickým zatížením velkých konstrukcí (stadiony), zatížením větrem a další.



Obrázek 33: Hmotnostní tlumič budovy Tchaj-pej 101; (32)

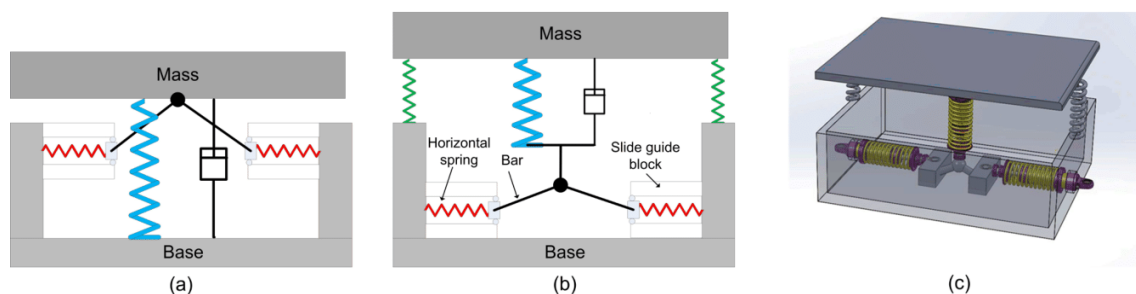
Obrázek 33 zobrazuje provedení hmotnostního tlumiče u budovy Tchaj-pej 101 na Tchaj-wanu. „Mrakodrap se nachází v oblasti s výskytem tajfunů a častých zemětřesení, proto byl stavební objekt opatřen hmotnostním tlumičem umístěným v úrovni 88. až 92. patra. Tlumič váží 660 tun a má průměr 5,5 m.“ (33) Tlumič ve tvaru koule je zavěšen na ocelových laněch a je podpírán pneumatickými písty, které při výkmitech budovy zpomalují rychlost kmitání závaží tím způsobem, že začíná kmitat v opačné fázi. V součtu frekvencí dochází k omezeným výkmitům budovy.

5.1.7 Pneumatické a vzduchové vibroizolátory

Jedná se o vibroizolační řešení s použitím měchů nebo cylindrů (válců) se stlačeným vzduchem. Ve vibroizolátorech je vytvořeno více vzduchových komor, které fungují jako „vzduchové pružiny“. Pneumatické vibroizolace dosahují nízkých frekvencí a vysoké účinnosti tlumení i při relativně vysokých hodnotách zatížení. Tento typ vibroizolačního řešení se nejčastěji používá pro velká strojírenská zařízení a pro citlivá laboratorní zařízení jako jsou optická měřicí zařízení, kdy jsou izolovány pracovní desky přístroje. Nevýhodou tohoto systému je neustálé připojení kompresoru zajišťujícího optimální tlak v systému, proto jsou nevhodné pro izolaci nosných konstrukcí u stavebních objektů z hlediska stálosti, trvanlivosti a bezpečnosti.

5.1.8 Vibroizolátory záporné tuhosti

Vibroizolátory záporné tuhosti, tzv. negative-stiffness isolators, řadíme k pasivním vibroizolačním systémům s velmi vysokou hodnotou útlumu vibrací vhodnou pro laboratorní zařízení. Jedná se o soustavu složenou ze systémově zapojených pružin a tlumičů. Horizontální pružiny jsou předpjaté a pomocí šikmých prutů vyvozují svislou sílu v konstrukci prvku, která následně působí proti vertikálním pružinám – záporná tuhost. V praxi se využívají různé komplexní soustavy v závislosti na požadované přesnosti a účinnosti. Mezi nejjednodušší soustavu vyvozující zápornou tuhost řadíme vzpěradlo, kdy prvky vzpěradla tvoří předpjaté pružiny. Klasickým příkladem vibroizolačního prvku s negativní tuhostí užívaném pro laboratorní měření je tzv. „Six-DOF Single-Isolator systém“ – vibroizolační ložisko s šesti stupni volnosti.



Obrázek 34: Izolátory záporné tuhosti: a) Izolátor nulové tuhosti s předpjatými horizontálními pružinami, b) Komplexní izolátor negativní tuhosti umožňující redistribuci tuhosti a tlumení, c) 3D vizualizace komplexního izolátoru; (34)

„Těleso se zápornou tuhostí při nulové deformaci je na vrcholu energetického kopce, stačí malý posun kterýmkoliv směrem a vložená energie se začne měnit na kinetickou a posun bude narůstat, dokud se systém nedostane do energetického údolí, kde se stabilizuje. Toto je důvod, proč se v přírodě materiály se zápornou tuhostí prakticky nevyskytují – velmi rychle ztrácí stabilitu a ustalují se ve stabilní podobě s kladnou tuhostí.“ (35)

Vibroizolátory negativní tuhosti se pro stavební objekty nevyužívají vzhledem k technické a finanční náročnosti. Systémy mají kvůli své komplexnosti sníženou návrhovou živostnost a zvyšuje se pravděpodobnost poruchy.

5.1.9 Porovnání pasivních vibroizolačních řešení

Tabulka 6: Porovnání pasivních vibroizolačních systémů v závislosti na použití a odstíněných frekvencích; podle: (36)

Typ pasivní vibroizolace	Použití	Odstíněné frekvenční spektrum
Vibroizolační desky a ložiska z pružných materiálů	Budovy, strojírenství,	6 ~ 40 Hz
Mechanické pružiny a kombinace systému pružina-tlumič	Budovy, strojírenství, čerpadla, kompresory, automobily	3 ~ 9 Hz
Lanové izolátory a izolátory ze subtilních ocelových profilů	Strojírenství, automobily, letectví, budovy	10 ~ 40+ Hz
Lisované a lepené pryžové/elastomerové izolátory a úchyty	Strojírenství, automobily, letectví	10 ~ 20+ Hz
Desková vrstvená vibroizolační ložiska	Budovy, rozsáhlé konstrukce	Nízké, zemětřesné frekvence
Harmonický absorbér	Budovy, letectví, strojírenství	Používané pro velmi nízké frekvence
Pneumatické vzduchové vibroizolátory	Těžké průmyslové stroje, optická zařízení	1,5 ~ 3 Hz rozsáhlé systémy lze optimalizovat až na 0,5 Hz
Vibroizolátory záporné tuhosti	Elektronové mikroskopy, citlivé přístroje, optické a laserové přístroje, kryogenní systémy	0,17 ~ 2,5 Hz

5.2 Aktivní vibroizolační systémy

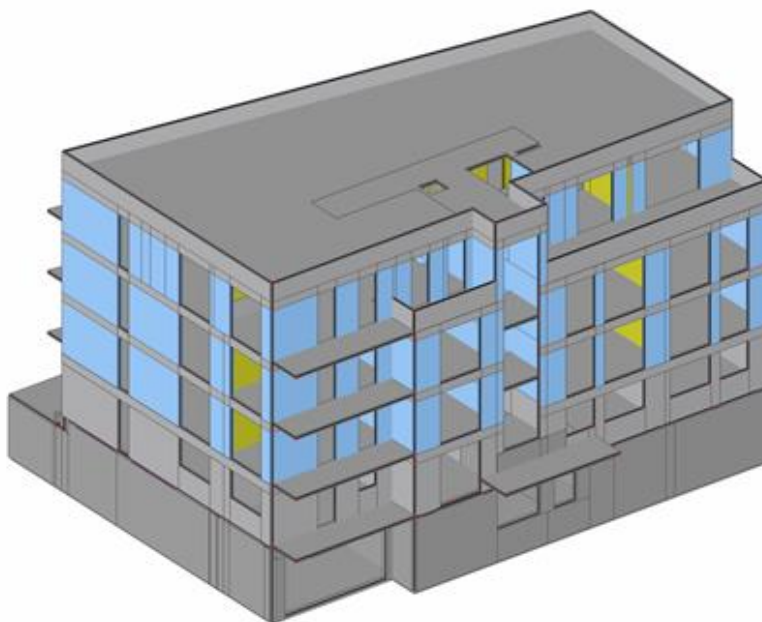
Aktivní vibroizolační systémy mají za úkol znemožnit přenos vibrací od zdroje vibrací do konstrukce pomocí prvků, které je v reálném čase měří, vyhodnocují a podnikají akce k jejich potlačení.

Aktivní izolátory se obecně skládají z pružiny a řídicího obvodu. Řídicí obvod je složen z měřicího zařízení se senzorem (piezoelektrický akcelerometr), řadiče a pohonné jednotky. Zrychlení při vibraci je řídicím obvodem zpracováno, zesíleno a elektromagnetická pohonná jednotka vytvoří vibraci s opačnou fází. Dochází k výraznému útlumu vibrací. Tento princip se aplikuje ve velmi citlivých laboratorních zařízeních a v automobilovém průmyslu u systémů aktivního potlačení hluku.

V praxi se využívají kombinace pasivní a aktivní vibroizolace, tzv. polo-aktivní izolace, které spotřebují méně energie než čistě aktivní vibroizolační systémy a dosahují lepších hodnot útlumu než pasivní vibroizolační ložiska.

6 Rozbor konstrukce a návrhu řešeného bytového domu

V následujících kapitolách a podkapitolách je řešen rozbor konstrukčního řešení BD Perucká se zahrnutím souvislostí z hlediska architektonického, dispozičního, akustického, statického a dalších.



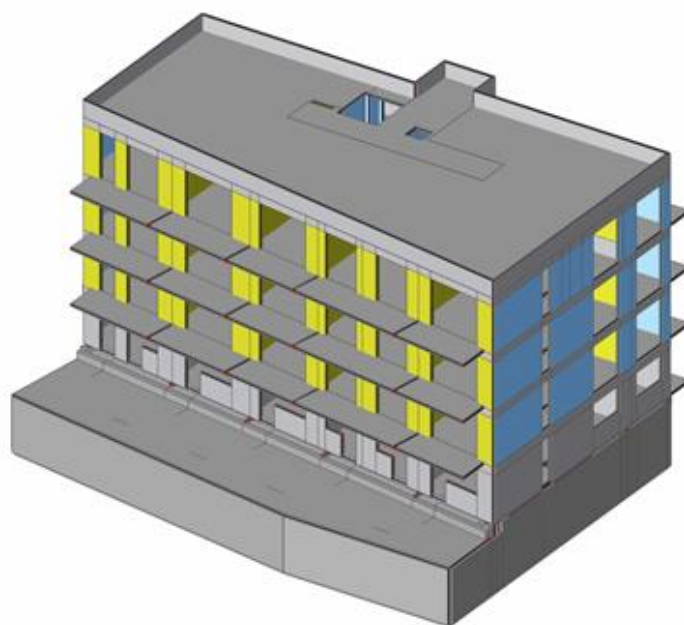
Obrázek 35: Čelní pohled na řešený bytový dům, generováno statickým softwarem; (Autor)

6.1 Konstrukční systém stavby

Jedná se o stavební objekt s jedním podzemním podlažím a se čtyřmi podlažími nadzemními. Nadzemní podlaží ustupují vůči podlaží podzemnímu. Půdorysný tvar budovy je lichoběžníkový. Půdorysné rozměry bytového domu jsou 26,14 x 20,58 m. Nadzemní část má rozměry 26,14 x 15,18 m. K objektu jsou přes ISO nosníky firmy Schöck-Wittek připevněny prefabrikované balkóny. V části nad 3.NP jsou vytvořeny terasy ustupujícího 4.NP. Vstup do objektu je chráněn vykonzolovanou monolitickou markýzou s ISO nosníkem.

Podzemní podlaží je řešeno jako kombinovaný konstrukční systém s vnitřními sloupy, ztužující jádro ze železobetonových smykových stěn je provedeno kolem komunikačních a skladových prostor, obvodové stěny jsou monolitické, tloušťky 300 mm. Spodní a horní stavba jsou od sebe konstrukčně odděleny vloženým vibroizolačním systémem skládající se z pružinových vibroizolátorů systému CDM, konkrétně se jedná o typ CDM-CHR (viz Obrázek 31), který je v částech z důvodů

konstrukčních a akustických požadavků doplněn o elastomerové rohože CDM - RAFT. Vibroizolační řešení vytváří separační vrstvu mezi spodní a horní stavbou, která zamezuje pevnému spojení obou konstrukčních částí, vytváří akustický řez a klade zvýšené požadavky na betonové konstrukce. Přenos vodorovných sil z horní do spodní konstrukce je primárně řešen horizontální tuhostí pružin, jako sekundární pojistný systém jsou v konstrukci vytvořeny tzv. větrné zarážky, které jsou založeny na principu ozubů. Horní stavba je převážně řešena jako příčný nosný stěnový systém. Součástí železobetonové desky nad 1.PP jsou masivní železobetonové průvlaky zajišťující tuhost konstrukce a uložení na sestavy vibroizolačních ložisek. Průvlaky jsou navrženy ve velkých dimenzích i z hlediska dispozičního řešení, kdy osové umístění některých hlavních nosných prvků 1.PP a 1.NP není shodné a dochází ke vzniku nepřímého podepření. V 1.NP jsou některé stěny provedeny jako stěnové nosníky. Výtahová šachta je monolitická s uložením na elastomerové desky CDM-FLOAT. Ramena schodišť jsou prefabrikovaná, s výjimkou ramena mezi vstupní mezipodestou a 1.NP. Monolitické rameno schodiště je provedeno po dokončení hrubé stavby poté, co dojde k předpokládanému stlačení pružin vibroizolačního systému a nebudou tak do ramena vnášeny extrémní síly plynoucí z dotvarování konstrukce během výstavby. Podesty jsou monolitické.



Obrázek 36: Zadní pohled na řešený bytový dům, generováno statickým softwarem; (Autor)

Část podzemního podlaží půdorysně přesahuje rozměry horní stavby a její strop je zatížen pochozími zelenými terasami.

Podzemní podlaží je provedeno v monolitu s funkcí bílé vany. Základová deska je provedena v tloušťce 350 mm. Monolitický strop nad 1.PP je proveden v tloušťce 300 mm a je ve dvou částech výškově uskočen. V místě vjezdu je stropní konstrukce provedena v tloušťce 250 mm. První nadzemní podlaží je provedeno jako monolitické, stěny druhého a vyšších nadzemních podlaží jsou zděné z vápenopískových cihel. Stropní konstrukce nadzemních podlaží jsou tvořena monolitickou deskou tloušťky 200 mm v prostorech bytových jednotek a tloušťky 220 mm na chodbách z důvodu vyššího výpočtového zatížení. Tloušťky nosných zdí nadzemních podlaží jsou 200 a 240 mm. Příčky jsou provedeny z vápenopískových cihel v mocnostech 70, 115 a 150 mm.

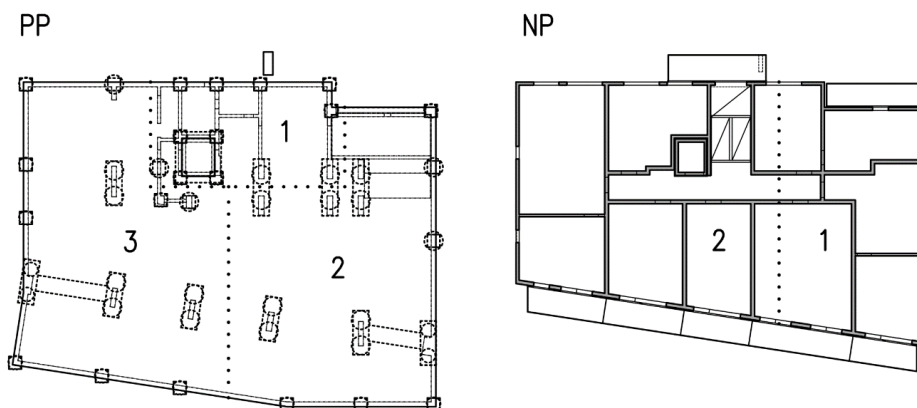
6.2 Základy

Celý objekt bytového domu je hlubinně založen na velkopřůměrových plovoucích pilotách. Návrh vychází z podrobného IGHG průzkumu. Navržené průměry pilot jsou 880 a 1180 mm s délkami od 7,00 do 11,50 m. Návrh pilot nebyl součástí zpracovávané části PD, a proto není v rámci diplomové práce podrobně rozebrán. Pro návrh pilot bylo požadováno maximální přípustné sednutí základů 10 mm při uvažování charakteristické kombinace, tak aby nebyl nadměrně ovlivněn statický výpočtový model – nerovnoměrné sednutí konstrukce může vést nejen ke změně vnitřních sil a deformaci konstrukce, ale také ke změně tuhosti jednotlivých vibroizolačních ložisek a způsobit nepředpokládanou redistribuci sil na tužší části podpěrné konstrukce.

Z důvodu vyplaveného materiálu vrtu, který částečně znehodnotil betonovou směs, byly hlavy pilot odpikovány, opatřeny armokošem a bedněním. Následně byla provedena monolitická hlavice. V případě dvojice pilot byla místo hlavice vytvořena masivní převázka. Hlavice a převázky pilot byly provedeny z důvodu vzniku velkých lokálních smykových sil a ohybových momentů.

Pokud by došlo k nadměrnému poklesu hlubinných základů, předpokládáme zapojení základové desky do roznášení vnitřních sil a stabilizaci poklesu. Základová deska je provedena v tloušťce 350 mm z betonu C30/37 s odolností proti vnějším vlivům XC3 a CF2. Pojížděná vrstva bude provedena ze stěrky s odolností XD1.

Bílá vana bude provedena s krystalizační příměsí PERMACRETE. Základová deska je v exponovaných místech doplněna smykovou armaturou. Základová deska bude provedena na podkladní beton tloušťky 100 mm, na který bude umístěna kluzná vrstva z 2xPE folie.



Obrázek 37: Etapy betonáže základové desky v podzemním podlaží a stropních desek v nadzemních podlažích, hranice betonáže zobrazeny tečkovaně; (Autor)

Betonáž pilotových hlavic a základové desky bude prováděna v jednotlivých etapách. Obrázek 37 zobrazuje jednotlivé etapy betonáže prováděné v rozmezí minimálně tří týdnů. Pracovní spáry budou provedeny jako vodotěsné s vloženými prvky zajišťujícími jejich dotěsnění. V místech prostupů budou použity chráničky potrubí s expanzními pásy.

6.3 Stěny a sloupy v podzemním podlaží

6.3.1 Stěny podzemního podlaží

Obvodové suterénní stěny jsou provedeny v tloušťce 300 mm v technologii bílé vany. Vodorovná výztuž suterénních stěn je zhuštěna do výšky 1,00 m nad základovou desku z důvodu rozdílného stáří základové desky a suterénních stěn. V tomto styku bude docházet ke vzniku vázaného smrštění, které by v nedostatečně vyztuženém průřezu vedlo k přenosu vysokých tahových napětí ve výztuži a způsobilo nadlimitní rozvoj trhlin narušující hydroizolační schopnost stěn. V pracovní spáře je umístěn průběžný těsnicí prvek a expanzní pásek. Do výšky 0,50 m bude proveden epoxidový nátěr doplňující odolnost XD1. Pro konstrukce bílé vany je doplněn o krystalizační složku PERMACRETE. Beton suterénních stěn je navržen v pevnosti C30/37 XC3 a XF2. Některé stěny jsou opatřeny hlavicí s náběhy, tato konstrukční úprava vychází z nutnosti osazení sady

vibroizolačních ložisek. V suterénních stěnách jsou navrženy svislé spáry s těsnicími prvky určující vznik řízené trhliny od smrštění betonu. V některých suterénních stěnách jsou provedeny ozuby – „větrné zarážky“ sloužící k přenosu vodorovných sil horní stavby do základových konstrukcí. V místě zarážek jsou vloženy vibroizolační rohože CDM-RAFT.

Ostatní suterénní stěny, které neplní funkci bílé vany, jsou provedeny v tloušťkách 200 a 240 mm. Pro tyto tloušťky je v místech uložení vibroizolačních ložisek použita doplňková ocelová deska tloušťky 20 mm. Bližší specifikace uložení vibroizolátorů a jejich požadavky na betonové konstrukce jsou specifikovány v kapitole 8.7.

6.3.2 Sloupy podzemního podlaží

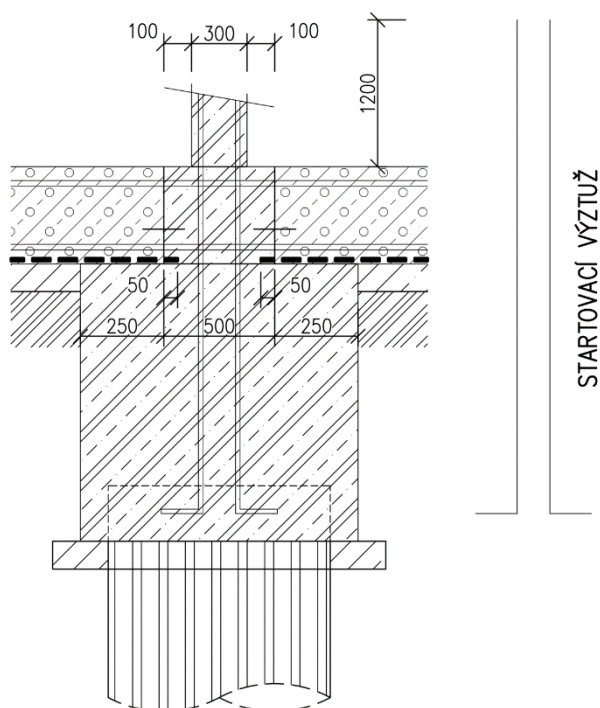
Sloupy jsou uloženy do hlavic pilot nebo do jejich propojovacích prahů. Obrázek 38 zobrazuje provedení sloupu vzhledem k navazujícím konstrukcím a udává technologický postup provádění:

- betonáž pilot + technologická přestávka
- provedení základových hlavic/převázek + technologická přestávka
- betonáž podkladního betonu + technologická přestávka
- uložení kluzné vrstvy z 2x PE folie
- etapizovaná betonáž základové desky s vynecháním 100 mm kolem sloupů, osazení těsnicích plechů Aquafin CJ5
- technologická přestávka minimálně 14 dní
- dobetonování sloupů včetně vynechané mezery 100 mm kolem sloupů

Sloupy jsou provedeny s cílem dosažení maximální tuhosti blížící se svou tuhostí k vetknutí. Sloupy jsou provedeny v šířkách 300, 350 a 430 mm. Sloupy jsou provedeny z betonu C30/37 XC3 a XF2. Do výšky 0,50 m je proveden epoxidový nátěr doplňující odolnost XD1. Epoxidový nátěr je nutné průběžně obnovovat. Použitím doplňkového nátěru byla snížena betonová krycí vrstva betonářské výztuže a mohly být zvoleny subtilnější profily nosných konstrukcí, podle dispozičních požadavků. Některé sloupy jsou opatřeny hlavicemi z důvodu nutnosti osazení sad vibroizolačních ložisek. V hlavicích sloupů jsou použity prvky Halfen HSC. Z důvodu osazení vibroizolačních ložisek na hlavice sloupů je nutné ve statickém výpočtu uvažovat železobetonový sloup jako konzolu, v mezních případech lze uvažovat i s částečnou stabilizační schopností vibroizolačních ložisek, která vychází z jejich horizontální tuhosti.

6.4 Vjezdová rampa

V 1.PP bude provedena šikmá monolitická rampa tloušťky 200 mm, která bude uložena na sekundární doplňkové stěny. Stěny vystupují ze základové desky. Rampa a desky budou oddílatovány vůči hlavním svislým nosným konstrukcím bytového domu. Konec rampy bude opatřen smykovými trny. Pro vjezdovou rampu bude použit železobeton C35/45 s odolnostmi proti vnějším vlivům XC4, XF3 a XD3.



Obrázek 38: Provedení styku pilota-hlavice-deska-sloup; (Autor)

6.5 Stropní konstrukce nad podzemním podlažím

Konstrukce stropu nad předsazenou částí podzemního podlaží tvořící terasy bytů 1.NP je monoliticky spojena s obvodovými stěnami a vnitřními sloupy. Součástí desky tloušťky 250 mm jsou monolitické průvlaky vystupující 280 mm pod spodní hranu stropní desky. Průvlaky jsou opatřeny náběhy v místě uložení na sloupy z důvodu zajištění tužšího spojení a snadnějšího umístění výztuže.

Stropní konstrukce v obytné části je tvořena deskou v tloušťce 300 mm se zeslabením na 250 mm a s výškovou změnou v místě vjezdu. Součástí železobetonové desky jsou masivní průvlaky zajišťující dostatečnou tuhost konstrukcí horní stavby. Masivní průvlaky také umožňují půdorysné osazení sad vibroizolačních ložisek a odolávají lokálním smykovým silám. Z desky je vyvedena startovací výztuž pro stěnové nosníky a další navazující konstrukce.

6.6 Svislé nosné konstrukce 1.NP

Svislé nosné konstrukce v 1.NP jsou provedeny jako monolitické v tloušťkách 200 a 240 mm. Některé stěny jsou provedeny jako stěnové nosníky. Prostorová tuhost je zajištěna kolmou návazností stěny a vyztuženými monolitickými styky.

Atypickou konstrukcí je nosná stěna ramena schodiště. Stěna má proměnnou tloušťku od 200 do 350 mm s nejtlustší částí u paty stěny. Ze stěny vystupuje šikmé žebro umožňující osazení schodišťového ramena. Ve stěně je proveden stavební otvor, který ji oslabuje. Na stěně jsou osazena vibroizolační ložiska a stěna tak staticky funguje jako konzola. Proto je spodní část stěny provedena ve větších dimenzích.

6.7 Vodorovné nosné konstrukce nad 1.NP až 4.NP

Všechny stropní konstrukce jsou provedeny jako monolitické s rozdílnou tloušťkou. V prostorách bytových jednotek jsou navrženy v tloušťce 200 mm a v komunikačních částech bytového domu v tloušťce 220 mm. Monolitické desky budou prováděny po etapách (viz Obrázek 37). Po obvodu stavebního objektu bude z betonové desky spuštěno železobetonové žebro zasahující 320 mm pod stropní desku a bude tak vytvářet překlady stavebních otvorů, bude také plnit funkci pozedního věnce a snižovat vzpěrnou délku zdiva. Šířka žebra je 200 mm.

Nosné konstrukce balkónů budou provedeny jako monolitické prefabrikované s tloušťkou 180 až 200 mm. Balkony budou kotveny do stropní konstrukce pomocí ISO nosníku typu Schöck ISOKORB K80 M – CV30 – V8 – H200 s tloušťkou izolace 80 mm.

Střešní deska (deska nad 4.NP) bude mít po svém obvodu provedenou monolitickou atiku tloušťky 180 mm a výšky 320 mm nad desku.

6.8 Svislé nosné konstrukce 2.– 4.NP

Svislé nosné konstrukce podlaží nad 1.NP budou provedeny jako zděné z vápenopískových cihel systému VAPIS v tloušťkách 200 a 240 mm na maltu pro tenké zdění. Styčné spáry budou provedeny jako pero-drážka. V exponovaných místech jsou promaltovány i styčné spáry. Styky zdiva jsou doplněny vodorovnými nerezovými pásky.

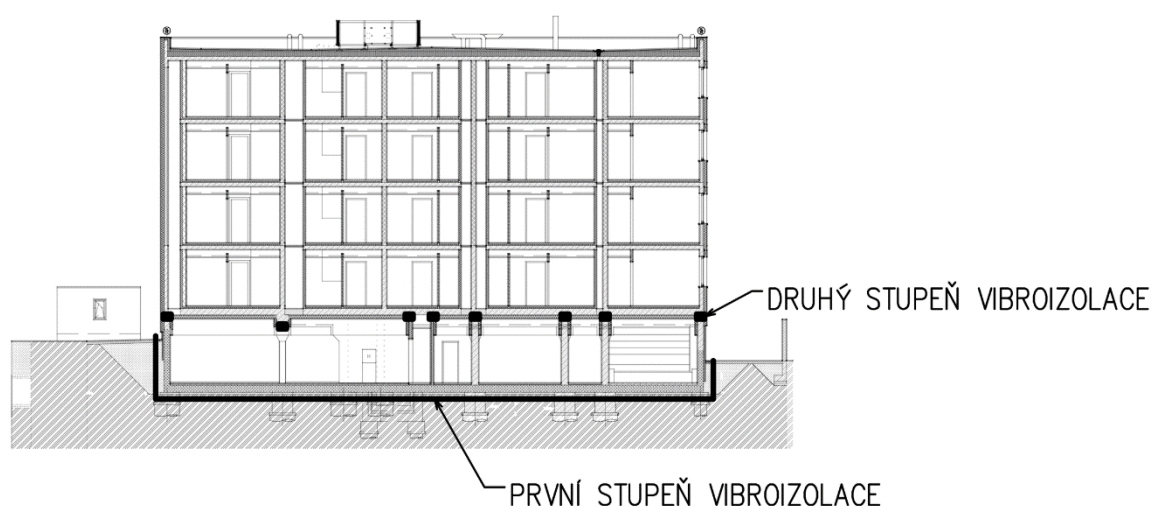
Ve 4.NP je provedena stěna s rozdílným půdorysným umístěním oproti 3.NP a bude pod ní provedeno železobetonové žebro vystupující nad desku nad 3.NP. Žebro bude výšky 500 mm nad desku.

6.9 Schodiště

Schodiště se bude sestávat z monolitických podest tloušťky 200 mm a prefabrikovaných schodišťových ramen s tloušťkou desky 140 mm. Výjimku tvoří rameno mezi vstupní podestou a 1.NP, které bude provedeno jako monolitické až po dosednutí dokončené hrubé stavby. Schodišťová ramena budou na podesty osazeny na ozub opatřený prvkem kročejového útlumu, konkrétně Tronsolí Shöck F tloušťky 10 mm. Mezi schodišťovými rameny a svislými nosnými konstrukcemi bude provedena nevyplněná mezera šířky 50 mm.

6.10 Izolace hluku a vibrací

V původním návrhu ochrany proti hluku a vibracím byla navržena jednostupňová plošná vibroizolace z vrstvených elastomerových desek CDM-VHS s ocelovými pláty (viz Obrázek 40). Po provedení akustických měření se ovšem plošná jednostupňová izolace ukázala jako nedostatečná z hlediska přenosu vibrací z železniční a silniční dopravy. V akustickém posouzení (37) je navrženo doplnění druhého stupně vibroizolace skládající se z pružinových ložisek společnosti GERB. Obrázek 39 zobrazuje původní návrh dvoustupňové izolace objektu proti vibracím.



Obrázek 39: Dvoustupňová vibroizolace dle původního návrhu z DSP; (38)

Dvoustupňová izolace je z hlediska významu budovy velmi nákladnou úpravou, proto specializovaná firma CDM navrhla využít jednostupňový vibroizolační systém z pružinových ložisek, které jsou schopny odstínit nadlimitní vibrace, neboť pracují v jiném frekvenčním spektru než pružiny společnosti GERB.

Ve stavebním objektu je použit vibroizolační systém od firmy CDM, který je řešen jednostupňovou vibroizolací skládající se z pružinových ložisek CDM-CHR (viz Obrázek 31). Ve specifických místech, jako jsou větrné zarážky a stěny výtahové šachty, jsou použity doplňkové elastomerové rohože CDM-RAFT a pro dno výtahové šachty jsou zvolena desková elastomerová ložiska CDM-FLOAT.

Odstranění prvního plošného stupně izolace odstraňuje nutnost zdvojení základové desky a efektivně tím snižuje náklady na provedení stavby. Použití pružinových ložisek klade zvýšené nároky na místa jejich uložení a rozděluje stavbu na dvě konstrukčně a hlukově oddělené části, kde podzemní podlaží je z velké části využito pro parkovací stání a ve zbylých částech je umístěno technologické vybavení objektu s navazujícími skladovými prostory. Nadzemní podlaží jsou hlukově a vibračně odstíněna a slouží jako obytné místnosti.



Obrázek 40: Deskové vibroizolační ložisko CDM-VHS; (39)

Ložiska CDM-FLOAT pro výtahovou šachtu jsou navržena dodavatelem vibroizolačního systému na základě dodaných hodnot zatížení dna výtahové šachty. Celkové předpokládané stlačení elastomerových ložisek tvoří 11-12 mm. Rozměr navržených ložisek je 87x87x50 mm v celkovém počtu 42.

Pružinová ložiska CDM-CHR mají podle provedeného statického návrhu předpokládané stlačení 24 mm v kvazistálé kombinaci zatížení. Pružiny jsou rozměrů 165x165x25 mm. Dle požadavků specializované firmy jsou použity dva typy pružin. Typ A (double) skládající se ze dvou pružin, kdy do větší pružiny shodné

s typem B je vložena pružina menší a typ B (simple) s jednou pružinou. Použití dvojice pružin umožňuje zvýšení únosnosti vibroizolačního ložiska o 24,8 % a v případě sad více ložisek dochází ke snížení celkového počtu ložisek v sadě a tím pádem ke zmenšení potřebné půdorysné plochy pro uložení na hlavice sloupů. Dochází ke snížení vyložení hlavic, zmenšení náběhů a ke koncentraci zatížení do menší plochy v ose zatížení.

Pro uložení vibroizolačních ložisek bylo vytvořeno kladečské schéma vycházející ze statického návrhu. Pro ložiska uložená na stěny s tloušťkou rovnou 250 mm a menší je nutné pod ložisko vložit čtvercovou ocelovou desku tloušťky 20 mm z oceli S235 s hranou rovnající se tloušťce stěny. Dojde tak k rovnoměrnému zatížení stěny a bude snížen účinek lokálního zatížení a deformace betonu. Použití ocelové desky bylo doporučeno pro osazení všech ložisek. Ocelové desky budou chráněny pomocí čtyř vrstev nátěru a budou přivařeny k ocelové výztuži. Poloha desek bude geometricky ověřena. Pro rektifikaci desek je možné použít rektifikačních prvků, je možné také použít spojky výztuže Halfen – MBT.

Pokud by nebyla použita ocelová deska, dojde ke vzniku trhlin mezi nezatíženou částí betonové stěny a lokálně zatíženým betonem pod osazovací deskou. Došlo by také ke vzniku neošetřených příčných tahových napětí v betonu.

6.11 Materiály

V návrhu jsou uvažovány betony pevnostních tříd C25/30 a C30/37. Vápenopískové zdivo je charakteristické pevnosti 12,080 N/mm². Použitá betonářská výztuž B500B. Konstrukční ocel je S 235 JR.

6.12 Využití

Stavební objekt bytového domu je v nadzemních podlažích určen k bydlení. Podzemní podlaží slouží z části jako garáže pro osobní automobily, část bude sloužit jako skladovací prostory a část bude zajišťovat technickou obsluhu a provoz objektu. V celém objektu jsou vytvořeny komunikační prostory mezi jednotlivými patry a bytovými jednotkami.

6.13 Zatížení

Přehled kombinací zatížení pro posouzení jednotlivých konstrukcí podle normových požadavků stanovených v ČSN EN 1990 je uveden níže. Kombinace pro návrh vibroizolačních ložisek jsou sestaveny podle standardů výrobce vibroizolačního systému.

Základní návrhová kombinace zatížení (6.10):

$$\sum_{j \geq 1} (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

6.1

Alternativní návrhové kombinace zatížení (6.10a; 6.10b):

$$\sum_{j \geq 1} (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

6.2

$$\sum_{j \geq 1} (\xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

6.3

Charakteristická kombinace zatížení (6.14b) pro nevratné mezní stavy:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

6.4

Častá kombinace zatížení (6.15b) pro vratné mezní stavy:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

6.5

Kvazistálá kombinace zatížení (6.16b) pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

6.6

Kombinace zatížení pro mimořádné návrhové situace (6.11b):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \quad 6.7$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \quad 6.8$$

Kombinace zatížení pro seizmické návrhové situace (6.12b):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \quad 6.9$$

Kombinace pro návrh vibroizolačního systému (Acoustic design load – ADL):

Acoustic design load 1 – ADL1:

$$0,9 \cdot \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} Q_{k,i} \right) \quad 6.10$$

Acoustic design load 2 – ADL2:

$$1 \cdot \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \frac{1}{3} \cdot \sum_{i > 1} Q_{k,i} \quad 6.11$$

Hodnoty dílčích součinitelů zatížení a kombinací (γ , ψ) se stanovují na základě ČSN EN 1991 a přílohy A1. Hodnoty dílčích materiálových součinitelů se stanovují podle ČSN EN 1992 až ČSN EN 1999.

Hodnoty zatížení jsou stanovené podle ČSN EN 1991-1-1 a podle hodnot udávaných výrobcí materiálů.

Tabulka 7: Sumarizované hodnoty charakteristického zatížení; (Autor)

STÁLÁ ZATÍŽENÍ		
Ozn.	Popis	kN/m ²
S 01	Střešní konstrukce s kačirkem	1,14
S 02	Střecha výtahové šachty z povlakové izolace	0,37
S 03	Podlahy balkonů – lehčí varianta	1,20
S 04	Terasa bytu ve 4.NP	1,26
S 06	Terasa bytů v 1.NP	1,23
S 07	Zatavněná terasa pochozí	5,14
S 08	Zatavněné terasy – okraj s kačirkem	4,15
S 09	Koupelny – keramická dlažba	2,02
S 10	Podlaha koupelny v 1.NP včetně podhledu garáží	2,32
S 11	Podlaha schodišťového ramena	0,48
<i>Poznámka: skladby jsou uvažovány bez hmotností nosných železobetonových konstrukcí</i>		
Ozn.	Popis	kN/m
K 01	Atika	4,34
K 02	Žebro terasy 1.NP	3,34
K 03	Atika terasy 1.NP	2,25
K 04	Parapet 1030 mm Vapis 240 mm	5,36
K 05	Parapet 1930 mm Vapis 240 mm	10,05
K 06	Příčka 2850 mm Porotherm AKU 11,5	4,47
K 07	Příčka 2850 mm Vapis 70 mm	5,13
K 08	Příčka 2850 mm Vapis 115 mm	7,04
K 09	Příčka 2850 mm Vapis 150 mm	9,69
K 10	Stěna 2870 mm Vapis 200 mm	12,63
K 11	Stěna 2870 mm Vapis 240 mm	14,92
K 12	Stěna 1800 mm Vapis 200 mm	7,92
K 13	Stěna 1030 mm Vapis 200 mm	5,36
VS	Stěna 17900 mm výtahové šachty 200 mm železobetonová	89,50
PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ		
Ozn.	Popis	kN/m ²
A	Užitné zatížení - kategorie A – stropy	1,50
	Užitné zatížení - kategorie A – schodiště, chodby, balkony	3,00
	Užitné zatížení - kategorie A – střešní údržba	0,75
S	Zatížení sněhem, oblast Praha $s_k=0,7$ kPa, $C_e=1$, $C_t=1$, $\mu_i=0,8$ (uvažována i hodnota s návějí)	0,56
V	Tlak větru	0,67; 0,64; -0,40; -0,35
D	Zatížení automobilovou dopravou osobními automobily (skupina 1a)	3,00

7 Návrh vibroizolačního systému bytového domu

7.1 Technická specifikace, požadavky a návrh CDM-CHR

7.1.1 Technická specifikace CDM-CHR

V projektu jsou použita pružinová ložiska pro odstínění budicích frekvencí 3,5 Hz. Vlastní frekvence jedné cívky pružiny se pohybuje kolem 322 ± 20 Hz. Pružina je z obou stran osazena do desek z vysokotlakého laminátu tloušťky 3, 5 nebo 10 mm. Vinutí pružin je velmi pozvolné a je ukončeno vodorovným seříznutím, kdy je pružina opřena o desku více jak $2/3$ svého obvodu. Tímto je zajištěno dostatečné roznesení sil do kladeční desky a její působení v ose pružiny. Osazovací desky jsou opatřeny protiskluznou vrstvou.

Výška ložiska je 203 ± 5 mm. Půdorysný rozměr podkladní desky z vysokotlakého laminátu činní 165×165 mm. Hmotnost jednoho pružinového ložiska je až 17 kg.

V projektu jsou použity dva typy pružin, a to větší 73600N (typ B - simple) a menší 18500N. V navrženém kladečském schématu jsou použita ložiska složená z typu 73600N a 18500N, kdy pružina menšího průměru je vložena do pružiny průměru většího. Složené ložisko je označeno jako typ A - double.

Tabulka 8: Technické parametry pružin CDM-CHR; podle (29)

Veličina	Označení pružinového ložiska		
	73600N B - simple	18500N	73600N+18500N A - double
Vertikální tuhost (N/mm)	3676	912	4588
Horizontální tuhost (N/mm)	3284	181	3465
Návrhová únosnost (kN)	73,60	18,50	92,10
Mezní stav použitelnosti (kN)	100,00	25,00	125,00
Mezní stav únosnosti (kN)	124,25	42,32	166,57

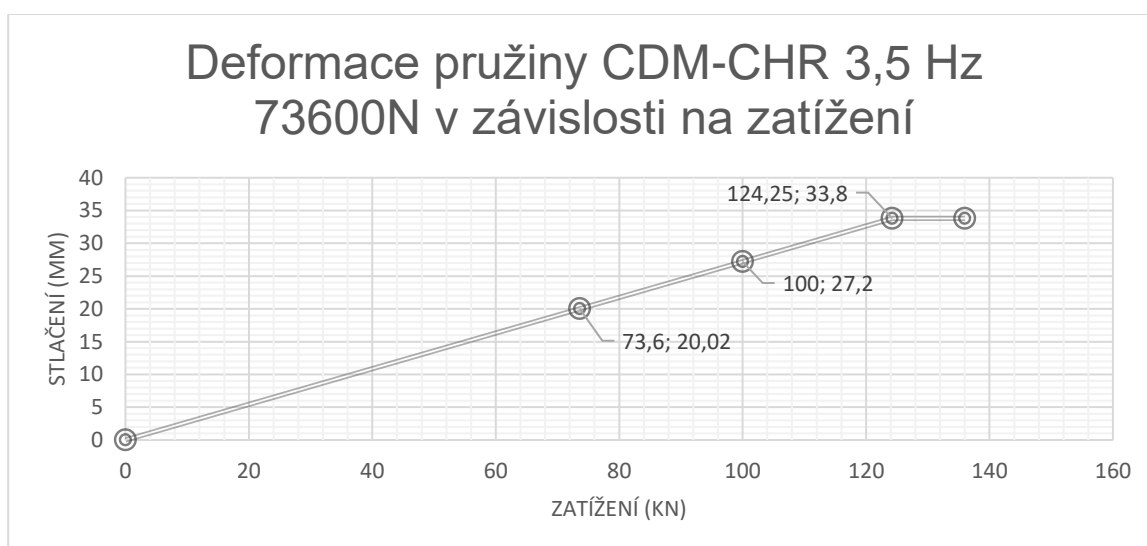
Sednutí pružin bylo v projektu původně požadováno cca 20 mm, ale podle požadavků firmy CDM v průběhu optimalizace návrhu bylo nastaveno výpočtové sednutí, pro kvazistálou kombinaci zatížení, na hodnotu $24 \pm 1,5$ mm.

Kvazistálá kombinace zatížení podle ČSN EN 1990 v obecné a zjednodušené formě dle standardů firmy CDM:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} (\Psi_{2,i} \cdot Q_{ki}) = 1,00 \cdot G + 0,33 \cdot Q$$

7.1

Při návrhu navazujících konstrukcí (hydroizolace, požární ochrana atd.) je nutné uvažovat s postupným stlačováním pružin v průběhu výstavby. Během užívání může docházet k částečné změně stlačení pružiny, dle výpočtu je předpokládáme změnu $\pm 0,2$ mm v závislosti na užívání objektu.



Obrázek 41: Graf závislosti deformace na zatížení pružiny CDM-CHR 3,5 Hz se zobrazenými hodnotami pro návrhové zatížení 73,6 kN, zatížení mezního stavu použitelnosti 100 kN a mezního stavu únosnosti 124,25 kN; podle (40)

7.1.2 Požadavky a osazování CDM-CHR

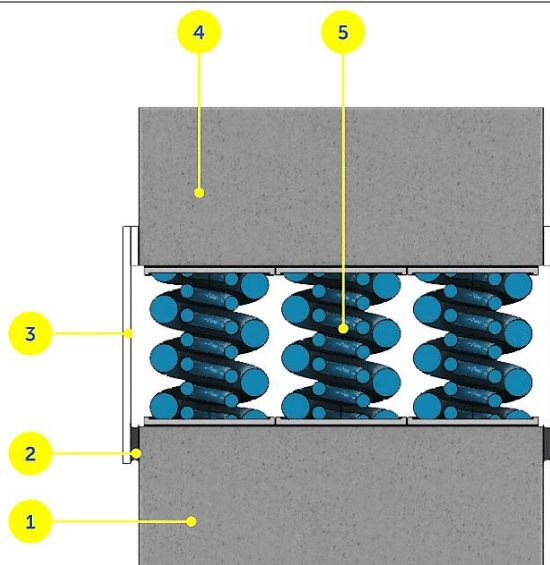
Výrobce vibroizolačních ložisek klade zvýšené nároky na kvalitu provedení betonových konstrukcí. Je stanoven požadavek rovinnosti 0,1 % odpovídající nerovností 1 mm/m. Před osazením ložisek je nutné povrch vyčistit od prachu a dalších nečistot.

Při umístění ložisek pod zeminou je nutné zajistit funkční hydroizolační souvrství, zajištění zeminy proti vyboulení směrem k ložiskům a zajistit protipožární ochranu respektující dilatace konstrukce. Z konstrukčního hlediska je ochrana ložiska proti vybočení zeminy zajištěna pomocí svisle spuštěné římsy ze stropu 1.PP před ložiska s dostatečně velkou mezerou zajišťující nedosednutí konstrukce horní stavby po maximálním stlačení pružin. Od spodní hrany vibroizolačních ložisek až nad úroveň terénu musí být uložena vibroizolační rohož CDM-RAFT tak, aby nedocházelo k přímému kontaktu zeminy s konstrukcí nad rovinou akustického řezu.

Horní HPL deska ložiska slouží jako ztracené bednění. Mezery mezi deskou a bednicími dílci je nutné utěsnit pomocí tmelu, který předepíše dodavatel vibroizolačního systému. V průběhu betonáže budou ložiska opláštěna PVC folií zajišťující neznečištění pružin a zachování jejich ochranné povrchové antikoroziční úpravy.

Při manipulaci s ložisky je vyžadována manipulace pouze s uchycením za pružinu, nesmí být nesena za HPL desku.

Protipožární ochrana má být dle výrobce provedena s odolností 120 minut, avšak záleží na požárních požadavcích každého jednotlivého stavebního objektu, kdy může požadovaná požární odolnost dosahovat i vyšších hodnot. Požární opláštění musí zajišťovat netuhé spojení tak, aby byl vyloučen přenos nežádoucích vibrací do horní konstrukce – vznik akustického mostu. Zároveň musí požární ochrana být schopna reagovat na rozdílné hodnoty stlačení pružiny v důsledku změn užitného zatížení. Obrázek 42 schematicky zobrazuje uložení a ochranu vibroizolačních pružin.



Obrázek 42: Řez uložením pružinových ložisek CDM-CHR; (41)

- 1 – spodní stavba (stěny, sloupy)
- 2 – pružné uložení protipožární ochrany se schopností odolávat stlačení pružiny
- 3 – protipožární opláštění
- 4 – horní stavba (průvlak, deska)
- 5 – pružina vibroizolačního ložiska (typ A – double)

Pro případ nepředpokládané ztráty únosnosti ložisek je možné v konstrukci vytvořit tzv. failsafe systém (systém pro případ selhání), který může v případě selhání některých konstrukčních prvků nahradit původní nosnou funkci vibroizolačních ložisek. Failsafe systém se navrhuje například pro případ požáru, kdy nelze plně spoléhat na protipožární opláštění, nebo pro nečekané přetížení konstrukce. Failsafe systém může být tvořen:

- Ocelovými nebo železobetonovými bloky vystupujícími ze spodní konstrukce. Bloky budou umístěny ve staticky významných místech na stěnách samovolně nebo mohou být umístěny i mezi ložiska. Při aktivaci failsafe systému dochází ke ztrátě vibroizolační schopnosti (viz Obrázek 43).
- Elastomerovými bloky umístěnými vedle pružin nebo v jejich středech. Při dosednutí na tyto bloky dochází k částečnému zachování izolační schopnosti. V některých případech jsou elastomerové bloky do konstrukce úmyslně vkládány a aktivovány pro dosažení vyššího stupně tlumení horní konstrukce.

V řešeném objektu není failsafe systém proveden. Nepředpokládá se významné riziko selhání navrženého řešení, ani z prostorového hlediska není možné vytvořit takový systém bez ohrožení horní konstrukce.



Obrázek 43: Failsafe systém s železobetonovými bloky, pružiny CDM-CHR, Nanterre (Francie); (29)

Výrobce systému si vyžaduje právo na periodické prohlídky a kontrolu pružinových vibroizolačních ložisek v rozmezí 5 až 10 let.

Vibroizolační ložiska jsou chráněna proti vniknutí vody a jsou opatřena antikorozií vrstvou. Protipožární ochrana musí být navržena tak, aby nedocházelo k akumulaci vodního kondenzátu v prostoru pružin. V takovém případě by mohl být vytvořen akustický most a snížena funkčnost vibroizolačních ložisek.

7.1.3 Návrh vibroizolačních ložisek CDM-CHR

Návrh konstrukce byl proveden na 3D modelu ve statickém softwaru Scia Engineer. Některé konstrukce byly následně ověřeny zjednodušenými výpočty a náhradními modely.

V modelu byly využity hodnoty zatížení z kapitoly 6.13 a materiálové charakteristiky z kapitoly 6.11. Geometrie modelu vychází z dodaných podkladů (38).

Hlubinné založení objektu na plovoucích pilotách bylo ve výpočtovém modelu zohledněno pomocí bodových podpor s pružnou svislou složkou. Pružinová vibroizolační ložiska byla nahrazena dvěma tuhými ocelovými sloupky s kloubovým

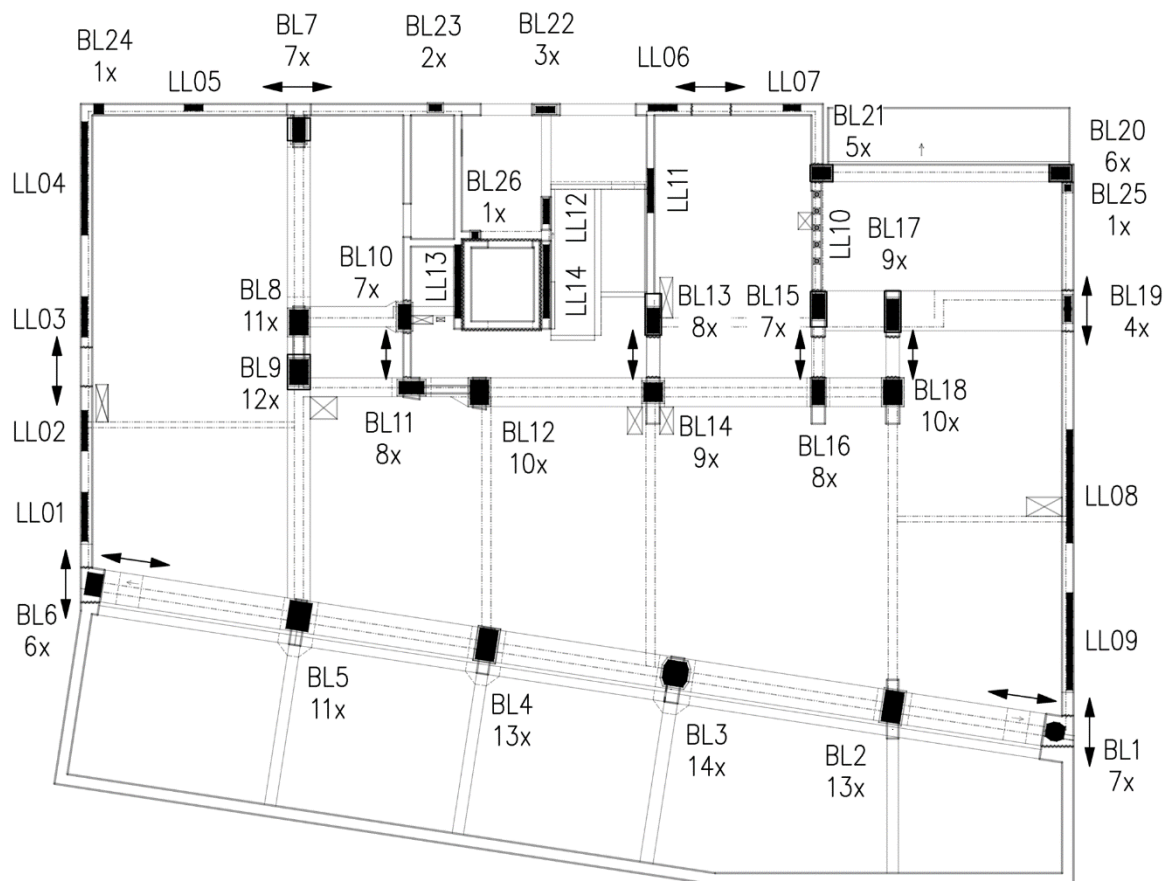
zakončením a vloženou pružinou na horním sloupku. Pružina měla vertikální i horizontální tuhost dle technické specifikace, případně jejich násobku v závislosti na požadovaném počtu ložisek a jejich deformaci. Byly použity dva ocelové sloupky pro snadné odečítání deformace spodní stavby a horní konstrukce.

Styky betonových konstrukcí byly modelovány jako vetknuté. Vyzděné konstrukce byly ve svislých spárách od betonových konstrukcí zcela odděleny a vodorovné spáry mezi zděnou stěnou a monolitickým stropem byla modelována kloubovým uložením. Ve výpočtu je zamezeno vzniku tahových napětí ve zděných konstrukcích.

Umístění vibroizolačních ložisek respektuje návaznosti horní a spodní stavby tak, aby nedocházelo k vnášení nadbytečných napětí do konstrukce a je do maximální míry optimalizována distribuce svislých sil – jsou vyladěné trajektorie napětí v konstrukci. Geometricky se konkrétně jedná o umístění ložisek:

- mimo stavební otvory 1.NP
- v místech koncentrace svislých zatížení
- pod stěny 1.NP
- pod průvlaky nad 1.PP
- mimo plochu desky

Po vytvoření funkčního modelu dochází k iteračnímu procesu usilujícímu o rovnoměrné sednutí hlubinných základů a rovnoměrnému stlačení vibroizolačních ložisek. Pro sednutí základů uvažujeme přípustnou výpočtovou hodnotu rozdílů sednutí v rozdílu $\pm 0,5$ mm, pro návrh plovoucích pilot byla nastavena maximální hodnota rozdílů sednutí 10 mm, které je ošetřeno zapojením základové desky do roznesení zatížení. U ložisek je povolený výpočtový rozdíl stlačení $\pm 1,5$ mm.



Obrázek 44: Schéma rozmístění vibroizolačních ložisek CDM-CHR a označení větrných zarážek; (Autor)

Zkrácený postup návrhu vibroizolačních ložisek CDM-CHR:

- i. vytvoření statického 3D modelu podle výkresových podkladů
- ii. nastavení materiálů
- iii. úprava okrajových podmínek
- iv. vytvoření podpor s odhadovanou zkušební tuhostí
- v. vytvoření pružných spojení (modelování pružin vibroizolace)
- vi. úprava styků a návazností
- vii. zadání zatížení, tvorba kombinací
- viii. úprava nastavení výpočtu (hustota sítě, počet dílců na prutu,...)
- ix. výpočet
- x. hodnocení výsledků a kontrola správnosti, úprava/oprava modelu
- xi. iterační úpravy tuhostí podpor a pružin podle průběžných opakovaných výpočtů konstrukce
 - a. úprava tuhosti podpor (tuhost pilot) – opakovaně
 - b. úprava tuhosti pružin (tuhost vibroizolace) – opakovaně
 - c. úprava tuhosti podpor
 - d. úprava tuhosti pružin -> zatížení na piloty
- xii. vložení půdního profilu
- xiii. vložení plošných pružných podpor
- xiv. úprava tuhosti pružin – opakovaně -> výsledné síly na pružiny
- xv. ruční ověření deformací, tuhostí a počtu pružin z navržených sil
- xvi. ošetření kritických míst betonových konstrukcí

Ve výpočtu je zahrnuto i výpočtové zatížení větrem (obdélníkové i lichoběžníkové zatížení). Zatížení větrem nemá významný vliv na velikost svislé složky zatížení vibroizolačních ložisek (tlak na ložiska). Síly od větru byly použity pro ověření horizontální deformace ložisek, zjištění působících vodorovných sil na hlavice sloupů (zatížení momentem) a ke stanovení sil působících v místech větrných zarážek.

Výsledky plynoucí z ručního výpočtu (Tabulka 9 a Tabulka 10) sestaveného na základě tabulky zatížení a výsledky stlačení vibroizolačních ložisek získaných ze 3D statického modelu (Obrázek 45) lze označit za shodné. Model lze označit za validovaný. Ověření modelu bylo provedeno také pomocí nelineárního výpočtu, který udával dostatečně shodné výsledky.

Tabulka 9: Tabulka zatížení a deformací bodových ložisek CDM-CHR; (Autor)

Bodové ložisko	MSÚ 1,35G+1,5Q (kN)	Char. komb. 1,0*(G+Q) (kN)	Stálé char. 1,0*G (kN)	Užitné char. 1,0*Q (kN)	ADL 1 0,9*(G+Q) (kN)	ADL 2 1,0G+0,33Q (kN)	Navržený počet ložisek DOUBLE	Navržený počet ložisek B SIMPLE	Tuhost vertikální (MN/m)	Tuhost horizontální (MN/m)	Zatížení (kN)	Deformace ADL 2 (mm)
BL01	1 078	788	692	96	709	724,00	7		32,116	24,255	724,00	22,54
BL02	2 098	1 533	1 349	184	1 390	1 410,00	13		59,644	45,045	1410,00	23,64
BL03	2 279	1 666	1 467	198	1 500	1 533,00	14		64,232	48,510	1533,00	23,87
BL04	2 091	1 529	1 348	181	1 376	1 410,00	13		59,644	45,045	1410,00	23,64
BL05	1 790	1 309	1 156	153	1 179	1 207,00	11		50,468	38,115	1207,00	23,92
BL06	984	720	636	83	648	664,00	6		27,528	20,790	664,00	24,12
BL07	1 126	825	740	84	742	768,00	7		32,116	24,255	768,00	23,91
BL08	1 753	1 283	1 146	138	1 155	1 191,00	11		50,468	38,115	1191,00	23,60
BL09	1 895	1 386	1 235	152	1 248	1 286,00	12		55,056	41,580	1286,00	23,36
BL10	1 110	812	724	89	732	753,00	7		32,116	24,255	753,00	23,45
BL11	1 275	933	829	104	840	863,00	8		36,704	27,720	863,00	23,51
BL12	1 592	1 165	1 035	130	1 049	1 078,00	10		45,880	34,650	1078,00	23,50
BL13	1 303	953	848	105	858	883,00	8		36,704	27,720	883,00	24,06
BL14	1 493	1 092	978	121	983	1 011,00	9		41,292	31,185	1011,00	24,48
BL15	1 125	823	733	90	741	763,00	7		32,116	24,255	763,00	23,76
BL16	1 303	954	849	106	859	883,00	8		36,704	27,720	883,00	24,06
BL17	1 431	1 048	932	114	943	971,00	9		41,292	31,185	971,00	23,52
BL18	1 615	1 181	1 050	131	1 063	1 094,00	10		45,880	34,650	1094,00	23,84
BL19	633	463	412	51	417	429,00	4		18,352	13,860	429,00	23,38
BL20	943	690	616	75	921	640,00	6		27,528	20,790	640,00	23,25
BL21	807	590	528	63	531	549,00	5		22,940	17,325	549,00	23,93
BL22	393	287	258	30	259	268,00	3	3	11,028	9,852	268,00	24,30
BL23	263	192	173	20	173	179,00	2	2	7,352	6,568	179,00	24,35
BL24	128	94	84	9	84	88,00	1	1	3,676	3,284	88,00	23,94
BL25	127	93	83	10	84	86,00	1	1	3,676	3,284	86,00	23,39
BL26	131	86	85	10	86	89,00	1	1	3,676	3,284	89,00	24,21
							185	8			min	22,54
											průměr	23,75
											max	24,48

Tabulka 10: Tabulka zatížení a deformace liniových ložisek CDM-CHR; (Autor)

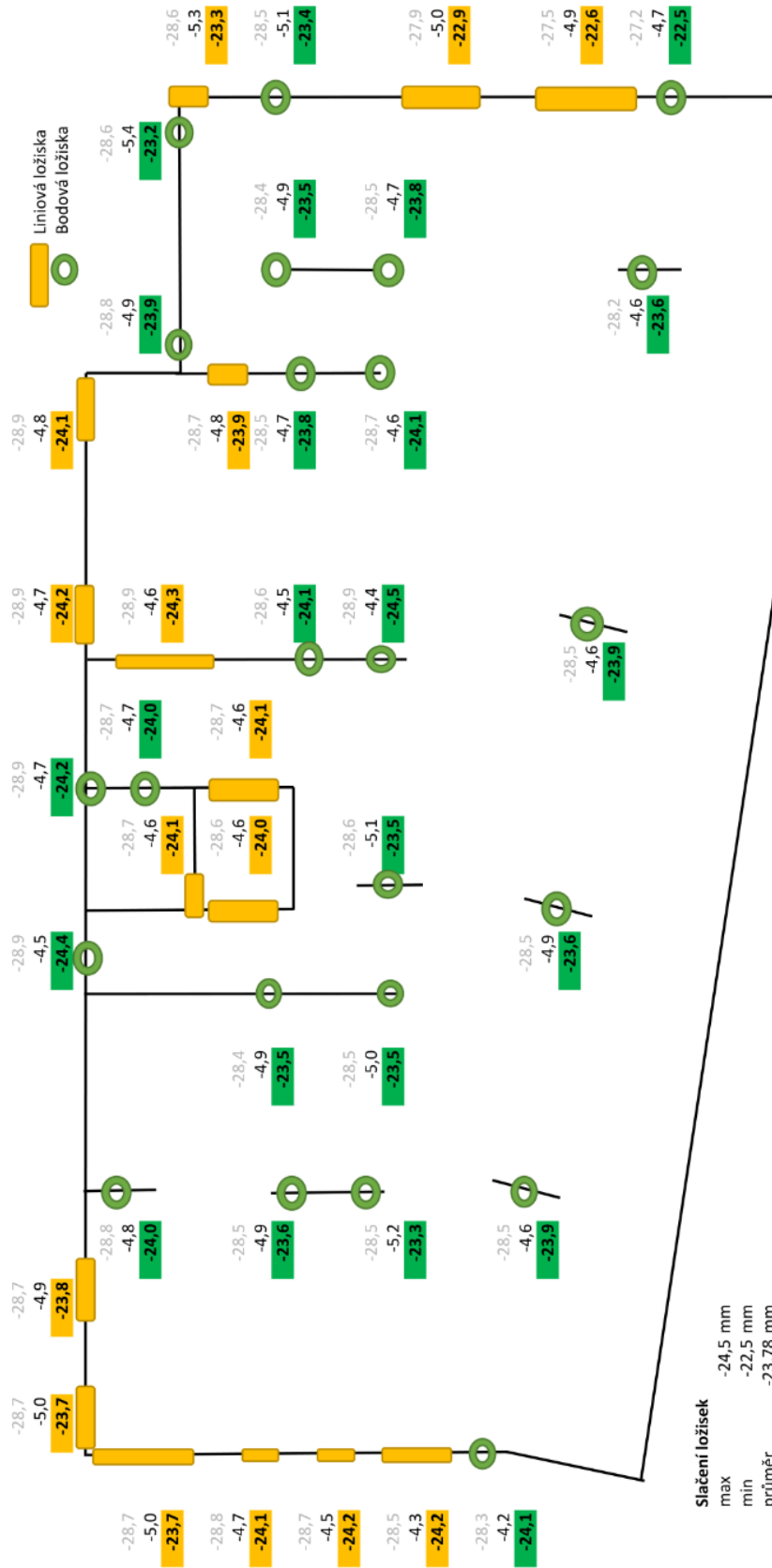
Liniové ložisko	MSÚ 1,35G+1,5Q (kN/m)	ADL 2 1,0G+0,33Q (kN/m)	Výpočtová délka zatížení (m)	Navržený počet ložisek A DOUBLE	Navržený počet ložisek B SIMPLE	Tuhost (kN/mm)	Zatížení vypočtené z délky (kN)	Deformace ADL 2 (mm)
LL01	351,33	237,60	1,500		4	14,70	356,40	24,24
LL02	438,73	297,53	1,200		4	14,70	357,04	24,28
LL03	435,00	295,73	1,200		4	14,70	354,88	24,13
LL04	340,00	231,74	3,290	7		32,12	762,44	23,74
LL05	779,52	532,67	0,495		3	11,03	263,67	23,91
LL06	652,82	444,99	0,802		4	14,70	356,88	24,27
LL07	435,83	296,93	0,600		2	7,35	178,16	24,23
LL08	332,55	224,70	3,290	7		32,12	739,27	23,02
LL09	322,60	217,06	2,880	6		27,53	625,14	22,71
LL10	367,91	249,95	2,200	5		22,94	549,90	23,97
LL11	263,62	179,36	1,500		3	11,03	269,04	24,40
LL12	789,94	536,97	0,660		4	14,70	354,40	24,10
LL13	220,95	149,83	2,360		4	14,70	353,60	24,05
LL14	222,00	150,51	2,360		4	14,70	355,20	24,16

min
průměr
max

Celkový počet ložisek:

- A DOUBLE: 210 ks
- B SIMPLE: 44 ks

Obrázek 45: Schéma rozmístění a stlačení vibroizolačních ložisek (celkové sednutí, sednutí základů, stlačení ložisek); (Autor)



7.2 Technická specifikace a požadavky vibroizolace CDM-RAFT

Elastomerová rohož CDM-RAFT je určena pro provádění plošných izolací budov proti přenosu vibrací z exteriéru, vzniklých především dopravou. Tento typ vibroizolace se používá také jako doplňková izolace konstrukčního systému v atypicky prováděných místech (např. větrné zarážky, ozuby průvlaků, stěny výtahové šachty atd.). Obrázek 46 vyobrazuje vibroizolaci CDM-RAFT.

Rohože jsou vyráběny v několika různých tuhostech a tloušťkách. Přesný typ pro jednotlivé instalace navrhuje odborná firma. CDM-RAFT odstiňuje přirozené frekvence pohybující se kolem 10 Hz.

Při provádění konstrukce, především konstrukcí betonových, musí být zajištěna ochrana vibroizolačních rohoží proti přímému kontaktu s mokřými procesy a s betonovou směsí. CDM-RAFT je částečně nasákavý materiál a jeho zvýšená vlhkost a možná změna struktury vlivem chemikálií z betonové směsi mohou vést ke zhoršení až ztrátě, vibroizolační schopnosti.

V konstrukci bytového domu je vibroizolační rohož umístěna v místech:

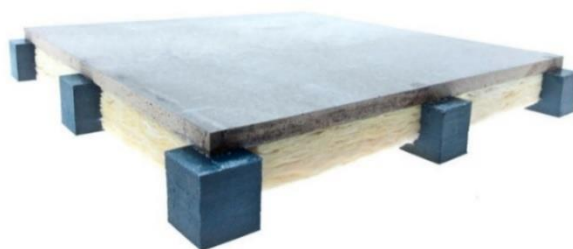
- Větrné zarážky (tloušťka rohože 30 mm)
- Ozuby průvlaků (tloušťka rohože 30 mm)
- Mezera mezi výtahovou šachtou a svislými nosnými konstrukcemi (tloušťka rohože 50 mm)



Obrázek 46: Elastomerové rohože CDM-RAFT; (42)

7.3 Technická specifikace a provedení CDM-FLOAT

Pro izolaci vibrací z výtahové šachty je použit vibroizolační systém CDM-FLOAT, který se skládá z elastomerových ložisek umístěných mezi základovou deskou a dnem výtahové šachty. Na ložiska je umístěna deska CETRIS tloušťky 20 mm s ochranou proti zvlhnutí, která bude vytvářet ztracené bednění pro provedení železobetonové desky dna výtahové šachty o tloušťce 250 mm. Obrázek 47 zobrazuje systém CDM-FLOAT.).



Obrázek 47: CDM-FLOAT; (43)

8 Kritická místa konstrukce vzniklá použitím vibroizolačního systému a architektonickým návrhem

Tato kapitola nastiňuje řešení problémů vzniklých použitím vibroizolačního systému v konstrukci. Dále jsou také zohledněny architektonické, dispoziční a technické požadavky, kvůli kterým byly některé nosné konstrukce upraveny.

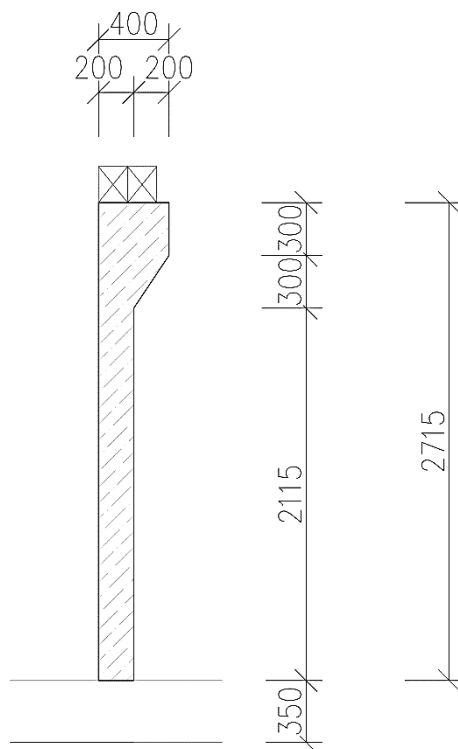
8.1 Stěny

Stěny podzemního podlaží nejsou monoliticky spojeny s horní stavbou, jsou vetknuty do základové konstrukce. Ze statického hlediska se na stěnu pohlíží jako na konzolu. Jelikož se jedná o konstrukci bílé vany s požadavkem na omezenou velikost trhlin (0,05-0,2 mm), bylo konstrukci nutné detailně posoudit.

Vzhledem k horizontální tuhosti ložisek dochází k přenosu vodorovných sil, a tedy i k namáhání sloupů smykem. Vodorovné síly působící v hlavici sloupu vyvozují ve stěně ohybový moment, který je z hlediska návrhu nezanedbatelný.

Ložiska jsou na hlavu stěny umístěna většinou centricky a dochází ke vzniku tlakového namáhání. V některých případech jsou v konstrukci umístěna ložiska excentricky a dochází k namáhání momentem. Při návrhu stěn je také nutné zohlednit normový požadavek týkající se vlivu geometrických imperfekcí.

Imperfekce mohou v konkrétním případě vzniknout nedbalým provedením železobetonových stěn nebo nesprávným osazením vibroizolačních ložisek. Excentrické uložení ložisek vede ke vzniku výrazného ohybového momentu.



Obrázek 48: Řez stěnou W03 ve vykonzolované části se schematickým uložením vibroizolačních ložisek;
(Autor)

Stěna W03 je v části navržena s vykonzolovanou hlavicí, na které jsou osazena vibroizolační ložiska. Výslednice svislých složek zatížení z vibroizolačních ložisek je mimo osu stěny a vnáší do tenké stěny významný ohybový moment.

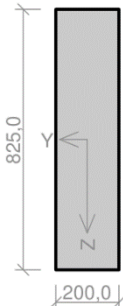
Zatížení ohybovým momentem z excentrického zatížení je 98,91 kN a tvoří 69,6 % celkového ohybového momentu zatěžujícího průřez. Konstrukce je malé tloušťky 200 mm. Stěna je zatížena kombinací momentu, smyku a tlaku. Využití průřezu je vysoké, dosahuje hodnoty 86,3 %. Pro konkrétní případ je doporučeno rozšíření stěny, alespoň lokální, neboť nelze zajistit symetrické osazení ložisek, ani nelze provést zlepšit únosnost stěny zvýšením procenta vyztužení, neboť množství výztuže se blíží maximálním přípustným hodnotám.

Kritický řez dílce "W 03" (2,715m)

Vstupní data

Typ prvku: stěna
Prostředí: XC3, XF2
Délka dílce: 2,72m

Průřez



Materiály

Beton: C 30/37

$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$; $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$; $E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$

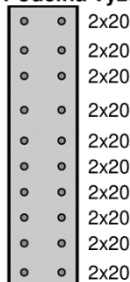
Ocel podélná: B500B

$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Ocel příčná: B500

$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Podélná výztuž



Výsledky

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Stěna (celková výztuž):

$\rho_s = 0,0381 \geq \rho_{s,min} = 0,002 \Rightarrow$ **Vyhovuje**

$\rho_s = 0,0381 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow$ **Vyhovuje**

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,min} = 1\,571 \text{ mm}^2$

Posouzení mezního stavu únosnosti

č.	Název	N_{Ed}	M_{Edy}	M_{Edz}	V_{Edz}	V_{Edy}	Posouzení
		N_{Rd}	M_{Rdy}	M_{Rdz}	V_{Rdz}	V_{Rdy}	
		[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	
1	Zat. případ 1	-1118,85 -5813,27	13,06 → 13,92 16,63	142,12 → 183,02 212,12	34,33 155,93	4,81 21,85	Vyhovuje

Mezní stav únosnosti **VYHOVUJE**

Celkové posouzení - Průřez **VYHOVUJE**

Obrázek 49: Posouzení stěny W03; (Autor)

Konstrukce je provedena v malé tloušťce vlivem dispozičních požadavků (parkovací prostory) a vedení vzduchotechniky. Požadavkům statika na zvětšení tloušťky stěny, které byly podloženy statickým výpočtem, generální projektant a investor nevyhověli.

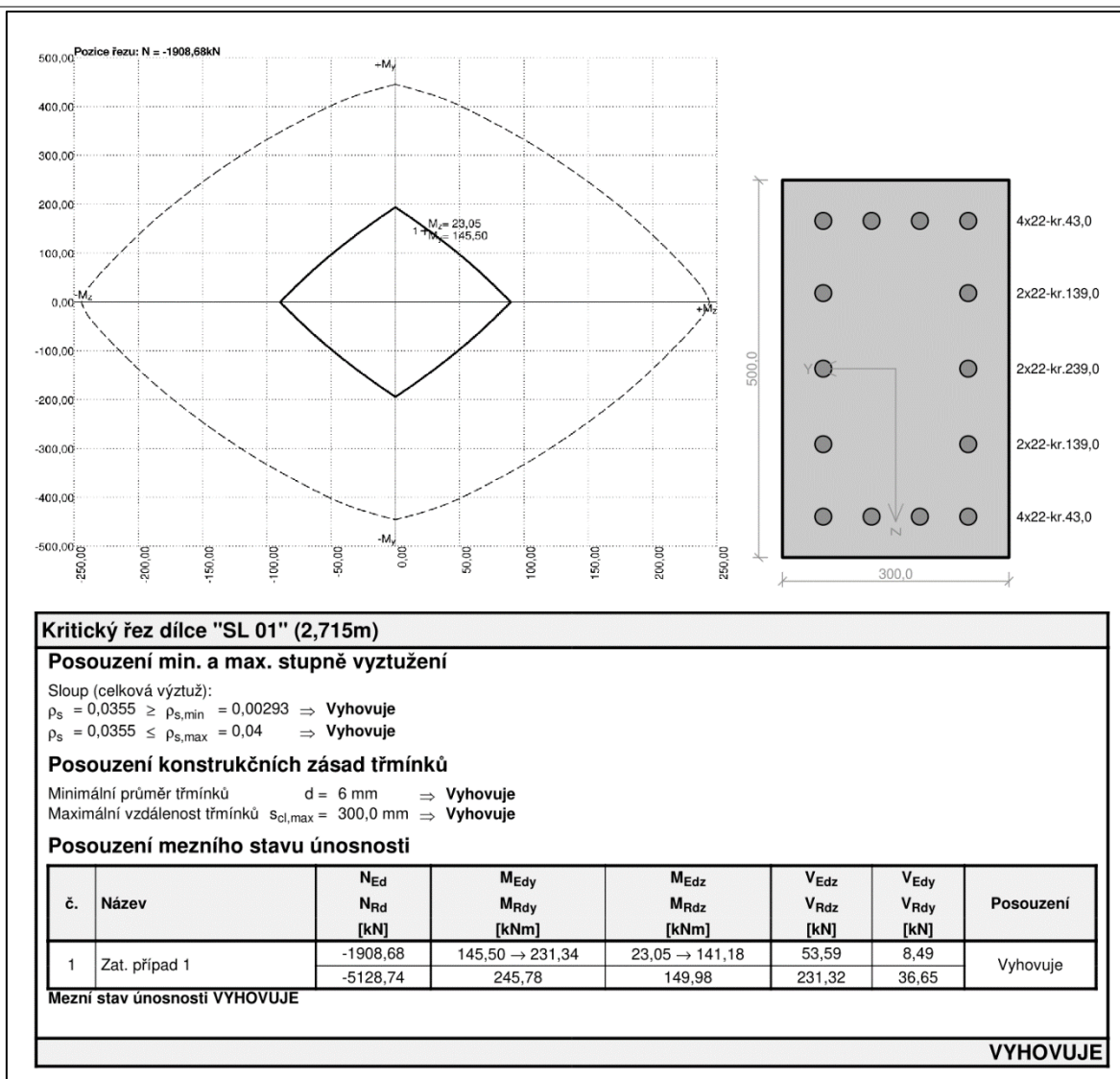
8.2 Sloupy

Sloupy jsou vetknuty do základové desky. Na hlavicích sloupů jsou umístěna vibroizolační ložiska. Na sloupy je ze statického hlediska nahlíženo jako na konzolový nosník, jako jejich koeficient pro výpočet vzpěrné délky uvažujeme hodnotu 2. Ve stavebním objektu se vyskytuje několik sloupů s rozšířenou hlavicí opatřenou náběhy pro uložení sad vibroizolačních ložisek.

Sloupy jsou zatíženy silami přenášenými přes vibroizolační ložiska: tlakem, smykem a momentem. Dále se ve výpočtu uvažuje s excentricitou svislého zatížení, které vyvozuje druhotné zatížení momentem.

Pro posouzení sloupů jsou uvažovány jejich redukované průřezy. K redukci průřezu je přistoupeno z důvodu umístění těžiště sady vibroizolačních ložisek. Pro délku průřezu je uvažována dvojnásobná délka vzdálenosti od těžiště ložisek k okraji sloupu. Umístění těžiště ložiska na sloup mělo u některých sloupů významný vliv na velikost redukovaného výpočtového průřezu a na celkovou únosnost sloupu. Konkrétně byl tento problém identifikován u sloupu SL01.

Obrázek 50 zobrazuje geometrii a posouzení sloupu SL 01 s redukovaným průřezem před statickou úpravou. Těžiště sady vibroizolačních ložisek se nachází 250 mm od okraje sloupu, proto je uvažován průřez délky 500 mm. Tento průřez je využit z 94,1 %. Z hlediska konstrukční složitosti stavby dílec nedisponuje velkou rezervou a bylo přistoupeno k jeho úpravě. Únosnost průřezu výrazně roste se zvětšením jeho délky. Po úpravě sloupu na průřez 300x550 mm je jeho využití na přijatelné hodnotě 85,1 %. Sloup nebylo možné z dispozičního hlediska protáhnout tak, aby byla zachována poloha těžiště sady vibroizolačních ložisek, proto bylo přistoupeno k posunutí této sady od okraje sloupu a výpočtový redukovaný průřez sloupu bylo možné zvětšit na požadovanou hodnotu. Posunutím ložisek došlo ke vzniku větších smykových sil v průvlaku P3. Dimenzování průvlaku P3 je řešeno v kapitole 8.9.

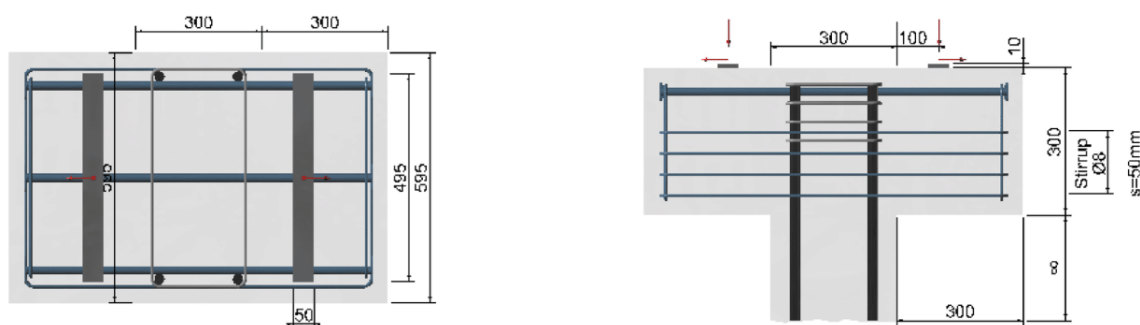


Obrázek 50: Posouzení sloupu SL 01 před úpravou; (Autor)

V průběhu návrhu byl investorem iniciován požadavek o zeštíhlení některých konstrukcí zahrnující sloupy. Na základě statických posudků a významu konstrukce pro celou stavbu byla u sloupů zachována minimální tloušťka 300 mm, vybrané sloupy byly rozšířeny na 350 mm.

8.3 Hlavice sloupů s náběhem

Pokud jsou sloupy opatřeny hlavicí s náběhem, je hlavice provedena jako symetrická, se symetrickým uložením vibroizolačních ložisek a symetrickým zatížením. Jedná se o krátkou konzolu. Masivní vyztužení hlavice sloupu neumožňuje vložení dostatečného množství ocelových profilů výztuže, které by dokázaly pojmout vnitřní síly. Do konstrukce jsou vloženy ocelové prvky Halfen HSC přenášející tahové zatížení.



Obrázek 51: Schéma vložení prvků Halfen HSC do hlavice sloupu; (Autor)

Tvar hlavy prvku Halfen HSC nahrazuje kotevní délku výztuže a umožňuje provedení krátkých betonových prvků. Prvky HSC nevyžadují vznik tlačeného betonového styčnicku. Systém je certifikovaný a ověřený na únosnost výztuže Halfen HSC i na otlacení betonu při zachování vzdáleností jednotlivých prvků, třídy betonu a dalších požadavků výrobce systému.

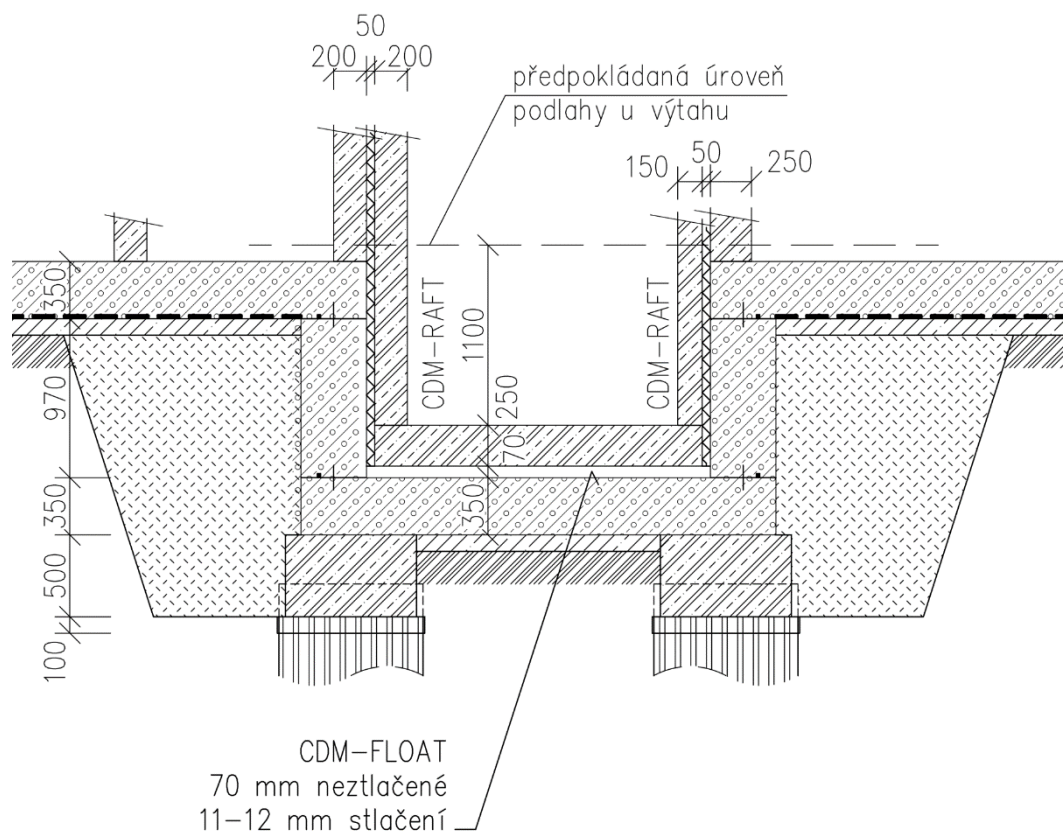
Hlavice je také doplněna o smykovou výztuž, která není ve schématu zobrazena.

8.4 Výtah

Základová deska bude v místě výtahové šachty snížena a bude osazena na čtveřici pilot. Provedení výtahové šachty v zapuštěné části základové desky výrobce označuje jako řešení BOX-IN-BOX (viz Obrázek 52).

V desce dna výtahové šachty bude proveden otvor o průměru 150 mm umožňující kontrolovatelnost ložisek a zároveň jím bude možné odčerpávat vodu v případě jejího zatečení do prostoru výtahové šachty. Pokud by byl prostor s ložisky zaplněn vodou, došlo by ke ztrátě izolační schopnosti ložisek. Návrh umístění ložisek

výtahové šachty byl sestaven odbornou firmou na základě zadaných zatížení. Výška systému před stlačením je 50+20 mm, stlačení je předpokládáno 11-12 mm.



Obrázek 52: Umístění CDM-FLOAT a CDM-RAFT ve výtahové šachtě; řešení BOX-IN-BOX; (Autor)

Návrh vibroizolačního souvrstí výtahu je plně záležitostí specializované firmy. V průběhu návrhu byla změněna tuhost i počet ložisek. Původní sednutí výtahové šachty bylo uvažováno 4-5 mm, následně byla zvolena ložiska menší tuhosti, která uvažují stlačení 11-12 mm. Rozdílné sednutí konstrukce bytového domu vůči sednutí výtahové šachty musí být na stavbě ošetřeno upraveným technologickým postupem provádění jednotlivých částí konstrukce.

8.5 Schodiště

Návrh schodiště bytového domu se liší vůči standardnímu návrhu zohledněním dosednutí horní konstrukce v průběhu výstavby, při níž roste celková hmotnost stavebního objektu. I schodiště musí být rozděleno akustickým řezem a nepřenášet vibrace ze spodní stavby.

Rameno deskového schodiště nemůže být přímo osazeno na vibroizolační pružinová ložiska, neboť nemá dostatečnou hmotnost, aby dokázalo stlačit alespoň jedno ložisko na požadovanou hodnotu cca 24 mm, která je shodná se sednutím ostatních konstrukcí. Při osazení na jedno ložisko by také došlo k nestabilitě konstrukce vlivem bodové podpory. V místě ozubu na podestu 1.NP by vznikaly poruchy v podlahovém souvrství.

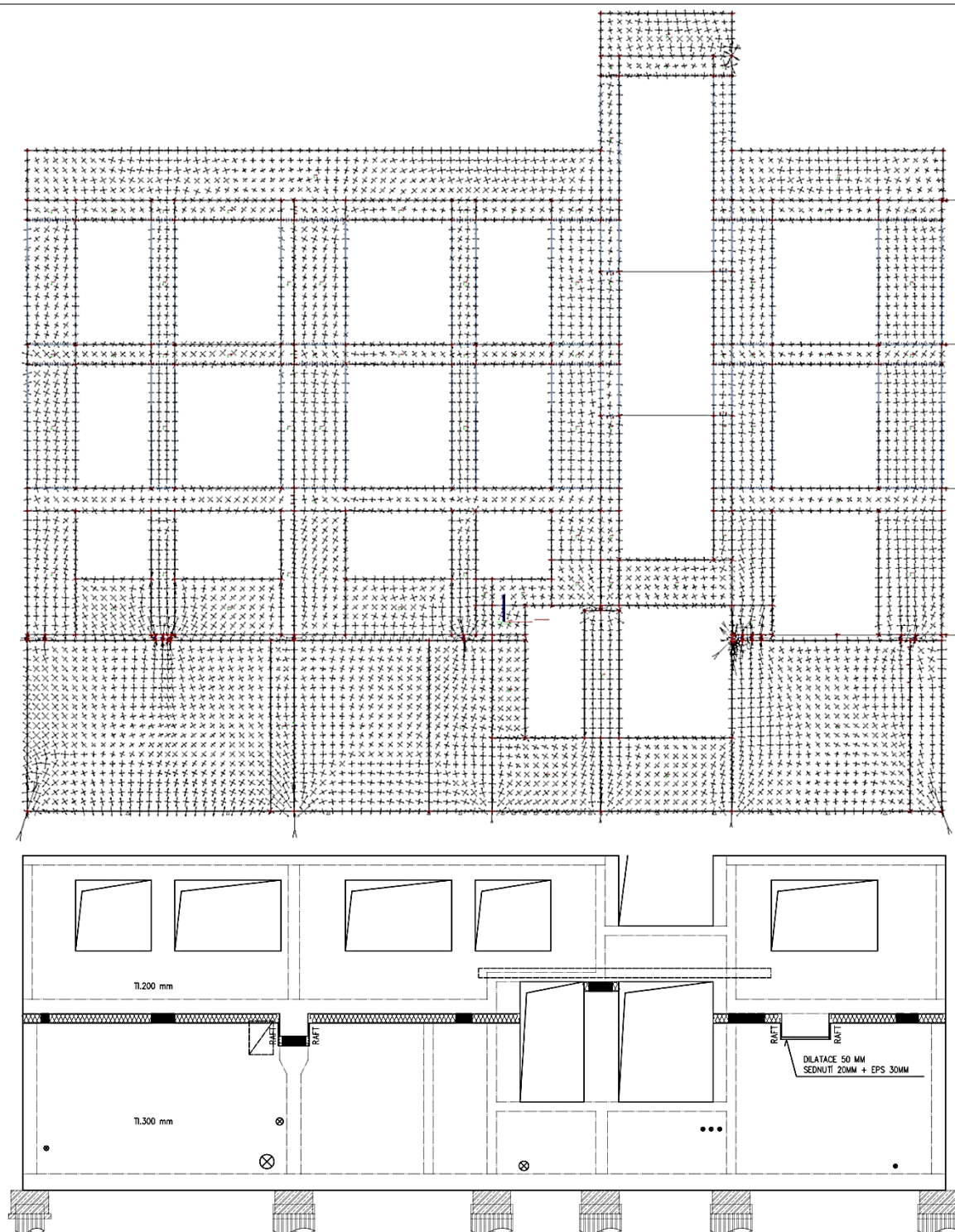
Dodavatel vibroizolačního systému nestanovuje přesné provedení schodiště v místě vibroizolačního řezu a navržené řešení nerozporoval.

Podesty a mezipodesty jsou v celém stavebním objektu řešeny jako monolitické. Schodišťová ramena jsou provedena jako prefabrikovaná, s výjimkou ramena spojující vstupní podestu a podestu 1.NP. Rameno bude provedeno až po dosednutí celé konstrukce, bude osazeno na ozuby přiléhajících podest přes Schöck Tronsoli Typu F tloušťky 10 mm. Uložení a tvar ramena zajišťují jeho natočení ramena v případě různého zatížení konstrukce proměnným zatížením.

8.6 Otvory

Půdorysná poloha stavebních otvorů je ve většině podlaží stejná a ve stěnách vznikají nosné pilíře s koncentrovaným napětím. Poloha průběžných stěn a meziokenních pilířů geometricky předurčuje místa uložení vibroizolačních ložisek. V monolitickém 1.NP jsou stavební otvory provedeny s parapety i bez nich, a proto nelze ložiska umísťovat v místech stavebních otvorů, neboť nelze zajistit jejich dostatečnou ohybovou tuhost. Docházelo by k deformacím a poruchám parapetů a desky nad 1.PP.

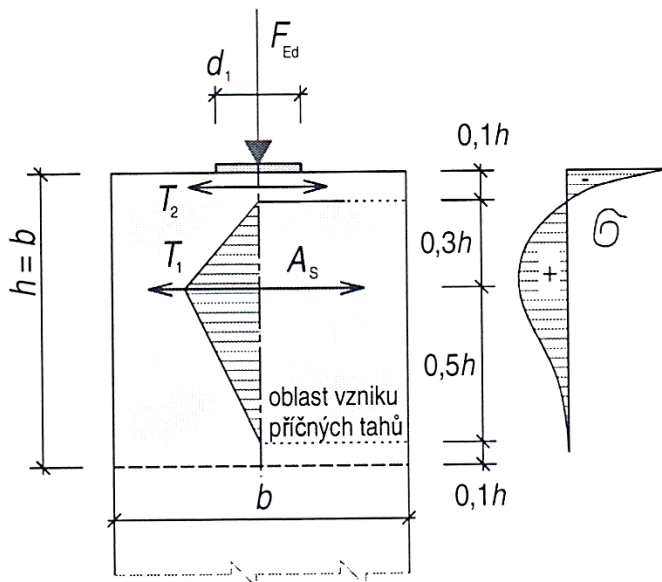
Ložiska vibroizolačního systému byla umístěna mimo stavební otvory a v konstrukci byly optimalizovány průběhy trajektorií hlavních napětí. Tato optimalizace umožnila nižší stupeň vyztužení stropní desky a parapetů a omezila vznik přidružených napětí.



Obrázek 53: Průběh trajektorií a výkres tvaru stěny W01 s umístěním vibroizolačních ložisek; (Autor)

8.7 Zesílení pod a nad ložiskem

Uložení ložiska na stěnu a jeho následné zatížení iniciuje v železobetonové konstrukci vznik příčných tahů, které mohou vést k roztržení konstrukce.



Obrázek 54: Průběh příčných tahových napětí v centricky zatíženém prvku; (5)

Vstupní hodnoty pro výpočet příčného tahu při centrickém zatížení stěny:

$$\begin{aligned} F_{ed} &= 200 \text{ kN} \\ b &= 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m} \\ h &= 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m} \\ d_1 &= 165 \text{ mm} = 0,165 \text{ m} \end{aligned}$$

Příčný tah T_1 , podle (5):

$$T_1 = 0,25 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{b}\right) \cdot F_{Ed} = 22,5 \text{ kN}$$

8.1

Příčný tah T_2 v líci prvku – konstrukční vyztužení, podle (5):

$$T_2 = 0,1 \cdot F_{Ed} = 20,0 \text{ kN}$$

8.2

Konstrukční zásady, podle (5):

$$T_1 = 0,25 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{h}\right) \cdot F_{Ed} \geq 0,1 \cdot F_{Ed} = T_2$$

8.3

Posouzení konstrukčních zásad dle 8.3:

$$22,5 \text{ kN} \geq 20,0 \text{ kN} \text{ Vyhovuje}$$

Návrh konstrukční výztuže proti příčným tahům v líci stěny z 2Ø8 mm:

$$N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = A \cdot f_{yd} = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 4,35 \cdot 10^8 = 43,5 \text{ kN}$$

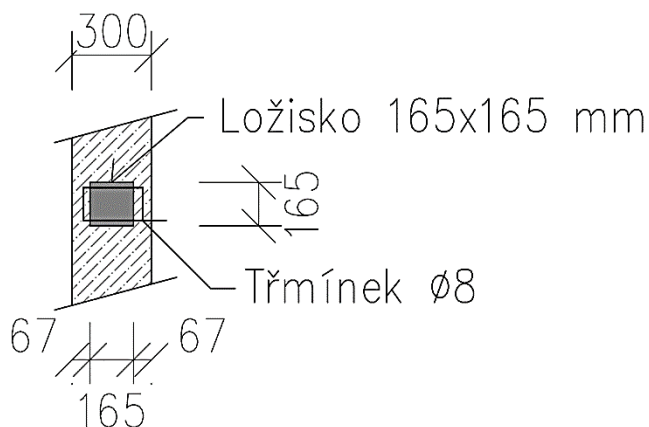
8.4

Posouzení navržené výztuže:

$$N_{Pl,Rd} \geq T_1$$

$$43,5 \text{ kN} \geq 22,5 \text{ kN}$$

Návrh výztuže vyhovuje. Pod a nad každým ložiskem bude proveden 2x třmínek profilu 8 mm ve výšce síly T_1 a T_2 (viz Obrázek 55). Pod každým ložiskem budou probíhat celkem 4 vodorovné profily třmínku.



Obrázek 55: Schéma provedení výztuže pod ložiskem; (Autor)

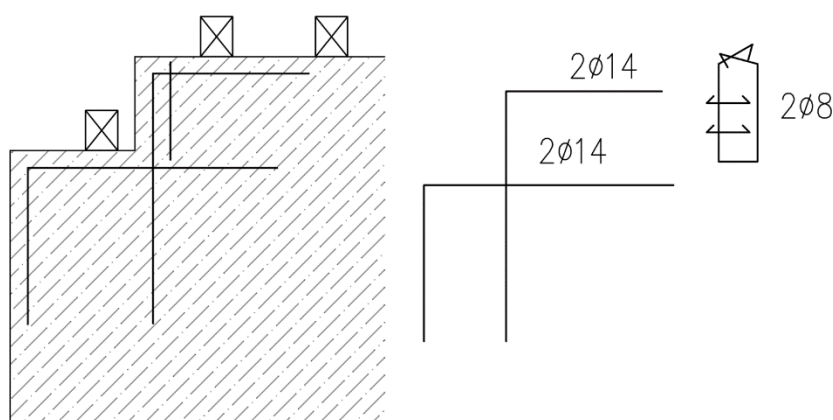
8.8 Zarážka

Zajištění přenosu vodorovných sil z horní stavby do konstrukce suterénu je zajištěno pomocí horizontální tuhosti vibroizolátorů a pomocí větrných zarážek. Zarážky v konstrukci jsou provedeny jako ozuby ve stěně nebo jako rozšíření průvlatku se zaražením o masivní pilíř. V kapitole 0 je typický detail větrné zarážky od firmy CDM, který však nebyl v řešené konstrukci použit, ale byl využit k sestavení ekonomicky a staticky příznivějšího řešení.

Při působení vodorovných sil na horní konstrukci bude docházet k horizontální deformaci vibroizolačních ložisek, pokud bude překročena přípustná mez jejich posunu, začnou se na přenosu vodorovných sil v konstrukci spolupodílet větrné zarážky. Zarážky se budou opírat o ozub v suterénní stěně, který bude opatřen vibroizolační rohoží CDM-RAFT v tloušťce 30 mm. Rohož bude mít dostatečnou tuhost pro odolání tlakovému namáhání a zároveň bude plnit funkci izolace proti vibracím. Díky ozubům bude zatížení suterénní stěny probíhat ve směru její osy.

8.8.1 Stěna

V místě větrných zarážek (stěnové ozuby) vzniká dle výpočtu maximální návrhové zatížení osamělou silou 186 kN, které je menší než posuzovaná hodnota 200 kN v místě vibroizolačního ložiska (viz kapitola 8.7). Výztuž proti vzniku příčných tahů bude provedena obdobně ze stejných profilů.

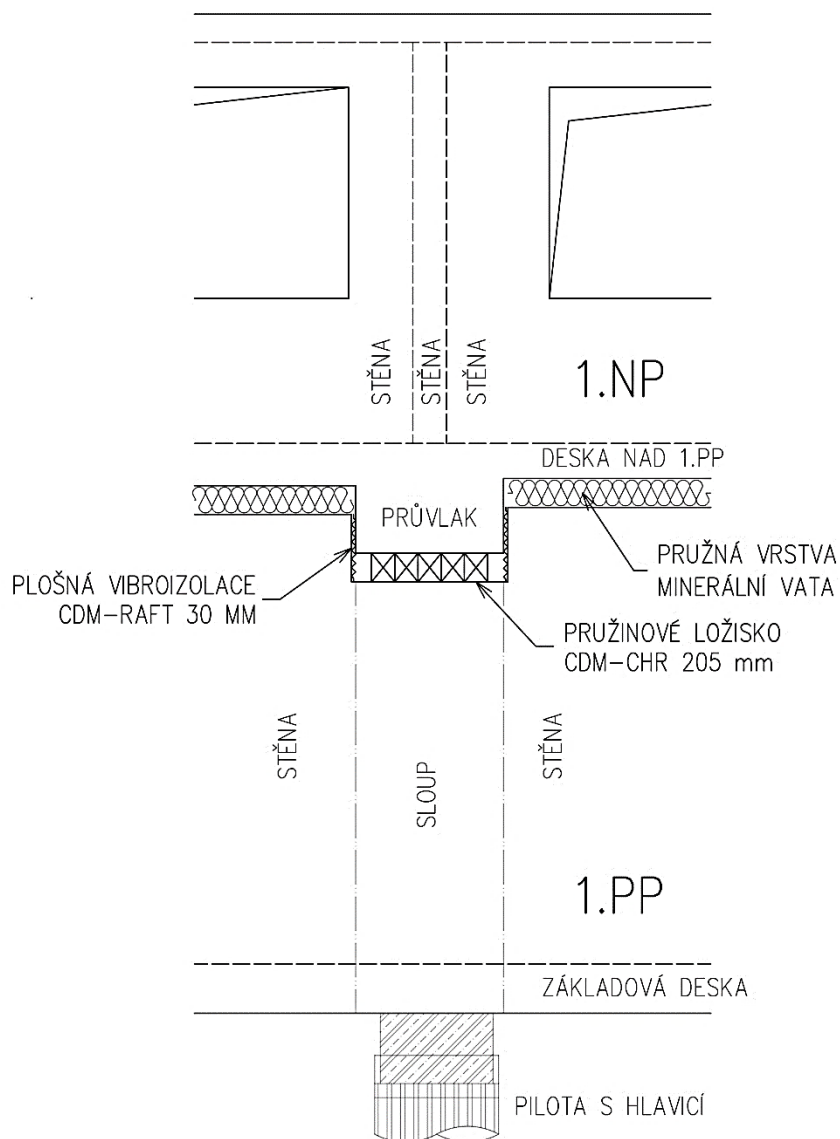


Obrázek 56: Schéma lemovací výztuže u zazubení stěny; (Autor)

Rohy zazubení budou z konstrukčního hlediska opatřeny doplňkovou lemovací výztuží. V místě koutů je doporučeno vložit 2x šikmý profil výztuže.

Ozuby ve stěně jsou provedeny tak, aby umožňovaly vertikální pohyb budovy, bez dosednutí na betonové konstrukce. Vodorovná výplň ozubů a stěny mimo vibroizolační ložiska jsou provedena z měkkého materiálu (minerální vlna), který zamezuje vzniku akustického mostu.

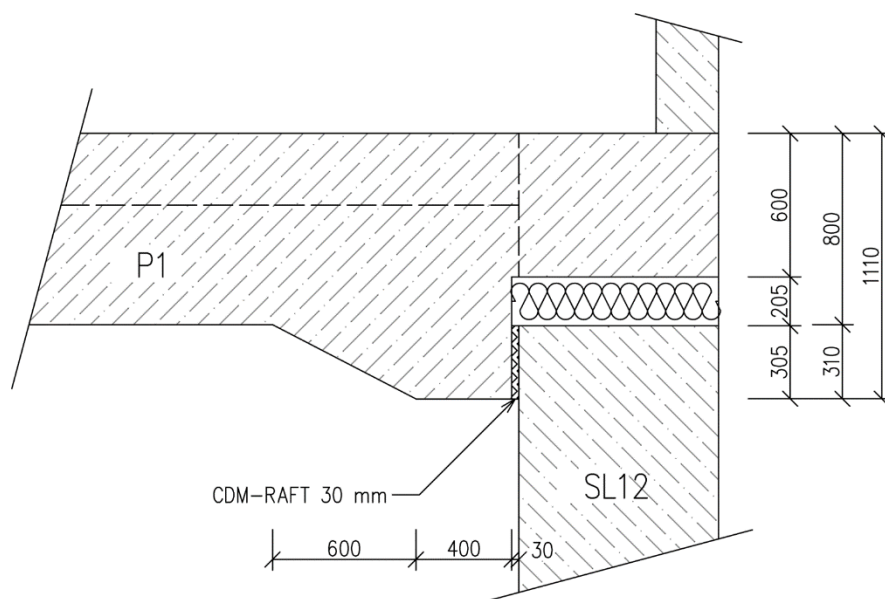
Obrázek 57 zobrazuje provedení ozubu větrné zarážky ve stěně s využitím průvlatu. Ve vybraných místech konstrukce se průvlatk nenachází, je proveden spuštěný ozub z horní stěny. Pod ozubem stěny bude umožněna dilatace.



Obrázek 57: Provedení větrné zarážky v ozubu stěny; (Autor)

8.8.2 Průvlak

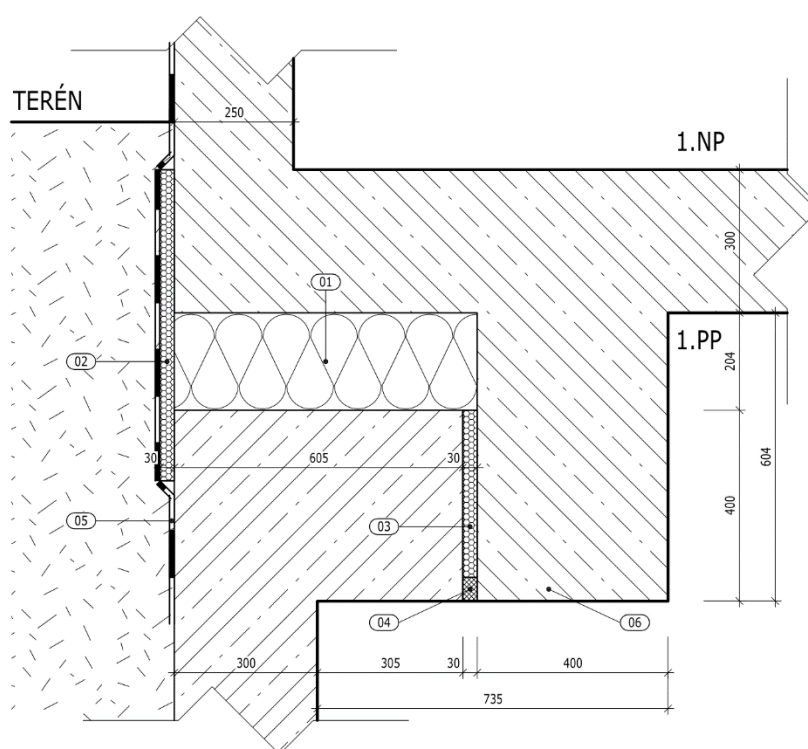
V konstrukci se ve dvou místech nachází větrná zarážka vycházející z průvlatu P1. Průvlak je proměnného průřezu. Zarážka se opírá do masivního pilíře suterénu v obvodové stěně a je tedy zajištěna dostatečná tuhost suterénní stěny. Průvlak je navržen dostatečně masivní tak, aby byla zajištěna jeho dostatečná ohybová tuhost a aby mohl při zatížení nedocházet k jeho nadměrné deformaci. Šířka průvlatu P1 je 850 mm. Díky velké styčné ploše v místě zarážky dochází ke snížení hodnoty tlakového namáhání betonu.



Obrázek 58: Provedení větrné zarážky v průvlatu P1; (Autor)

8.8.3 Typová zarážka z desky dle CDM

Společnost CDM dodala schéma provedení typové větrné zarážky. Ze stropní desky nad 1.PP je spuštěn průvlak, který se v případě zatížení opírá o rozšířenou hlavici suterénní stěny. Toto řešení nebylo v projektu použito. Řešení navržené dodavatelem systému klade zvýšené požadavky na stropní desku nad 1.PP, do které je lokálně vnášen liový moment. Také je zatížena suterénní stěna momentem a smykem. Pokud by se za zarážkou měla nacházet vibroizolační ložiska, není možné provádět jejich kontrolu. Tento typ zarážek byl použit v původním návrhu (viz Obrázek 60).



Obrázek 59: Zarážka dle typového detailu společnosti CDM; (29)

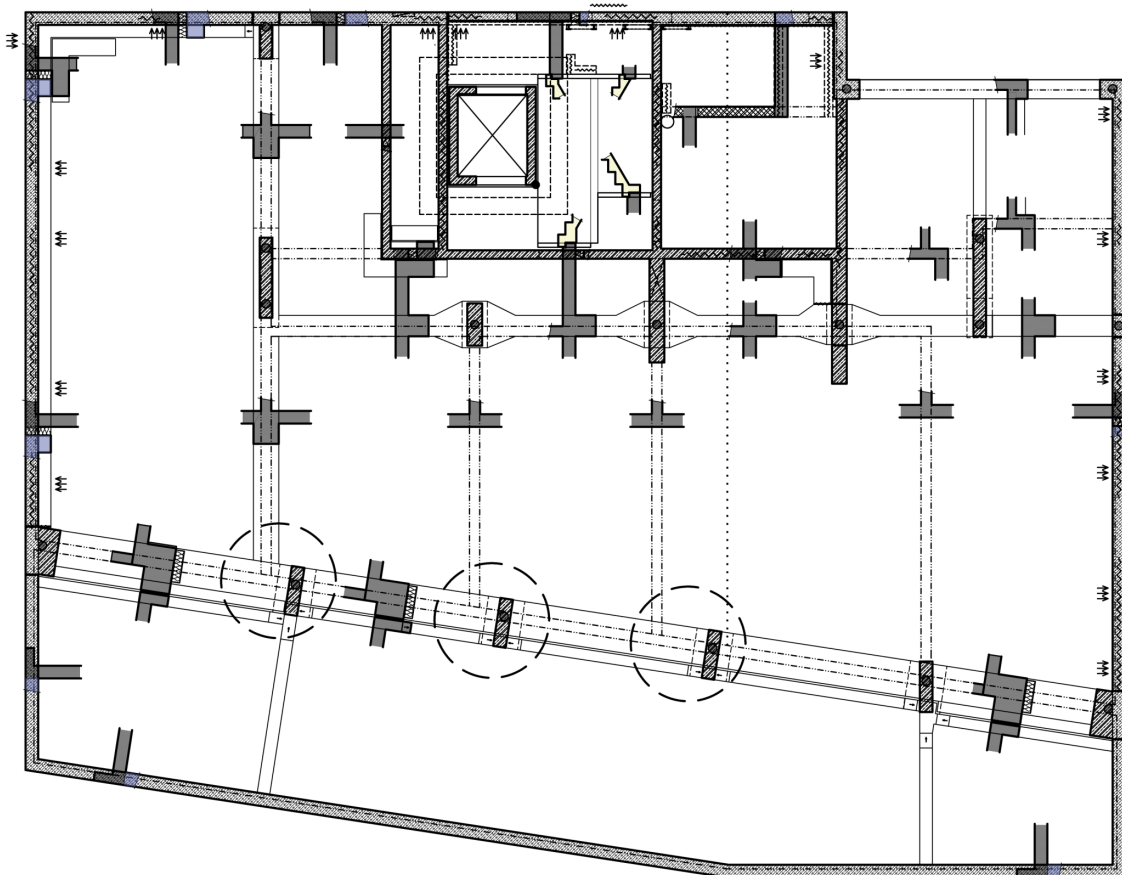
8.9 Průvlaky P1 a P3

Návrh průvlaků je výrazně ovlivněn množstvím vibroizolačních ložisek v sadě umístěné pod průvlakem. Velikost ložiska definuje potřebnou půdorysnou plochu pro uložení a tím určuje minimální šířku průvlaku.

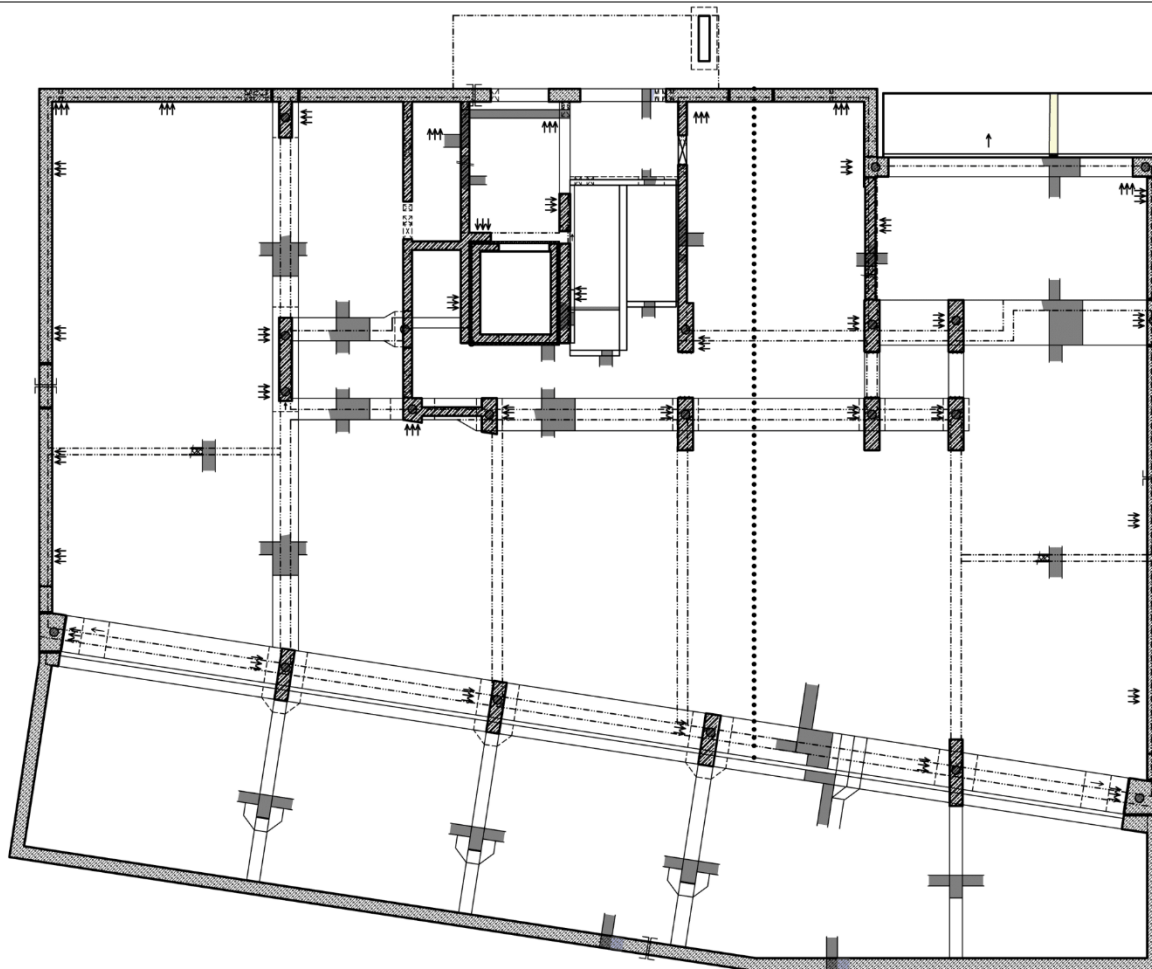
Dalším výrazným faktorem návrhu průvlaku je konstrukční řešení celého objektu. Nejvýznamnějším prvkem je vyosení svislých nosných konstrukcí horní stavby vůči svislým nosným konstrukcím suterénu. Průvlaky musí zajišťovat dostatečně tuhé podepření stěn a stěnových nosníků, proto byly zvoleny masivní profily průvlaků.

Vyosení nosných konstrukcí způsobuje v průvlacích vznik velkých smykových sil a ohybových momentů. Smykové síly není možné zachytit pouze použitím třmíneků, je nutné do průvlaků vložit řadu ohybů.

V průběhu návrhu bylo statikem navrženo rozšíření podzemní části pod terasou za účelem srovnání os svislých nosných konstrukcí, nebo alespoň zmenšení jejich vyosení, při zachování počtu parkovacích míst. V původním návrhu bylo uvažováno s celkem třemi vyosenými průvlaků. Ve finálním návrhu je částečně vyosen pouze jeden sloup. Výška průvlaků P1 byla snížena z 980 mm na 800 mm.



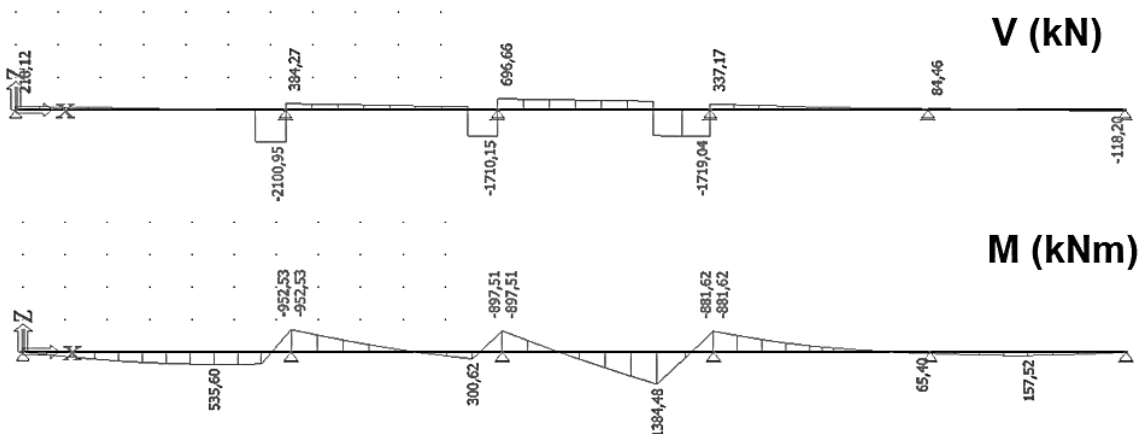
Obrázek 60: Původní půdorys 1.PP s vyosenými sloupy a deskovými větrnými zarážkami; (Autor)



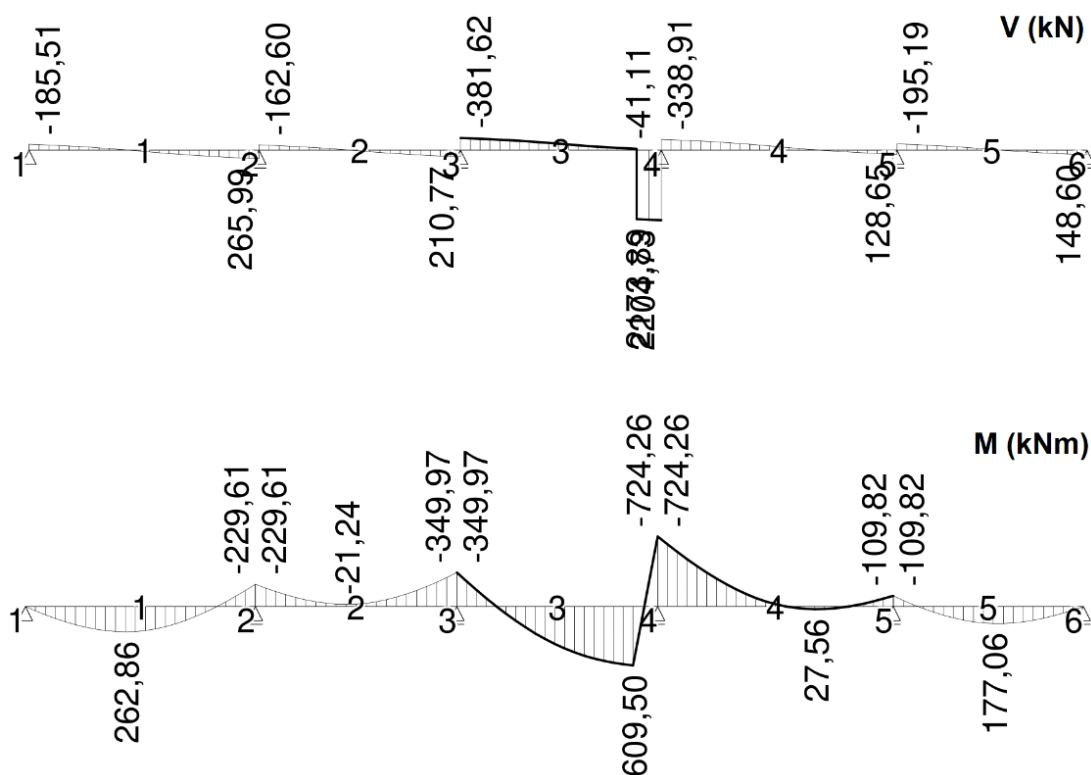
Obrázek 61: Stávající půdorys 1.PP se srovnanými sloupy a rozšířeným suterénem; (Autor)

8.9.1 Průvlak P1

Jedná se o průvlak průřezu L podpírající šikmou obvodovou stěnu. Šířka průřezu je 850 mm, výška je 800 mm. V jednom místě je průvlak osazen mimostředně na sloup (viz Obrázek 61).

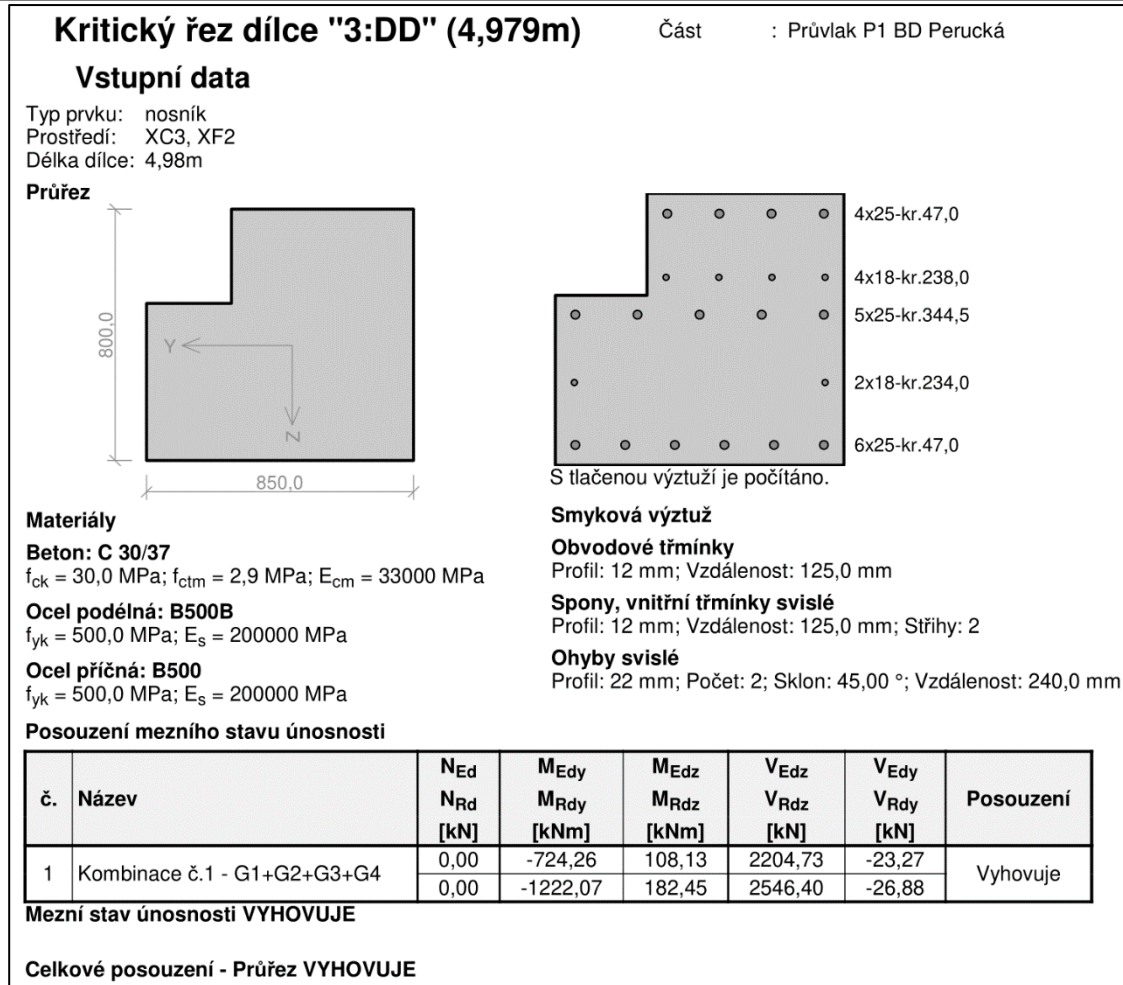


Obrázek 62: Smykové síly a ohybový moment na průvlaku P1 s původně vyosenými sloupy; (Autor)



Obrázek 63: Smykové síly a ohybový moment na stávajícím průvlaku P1; (Autor)

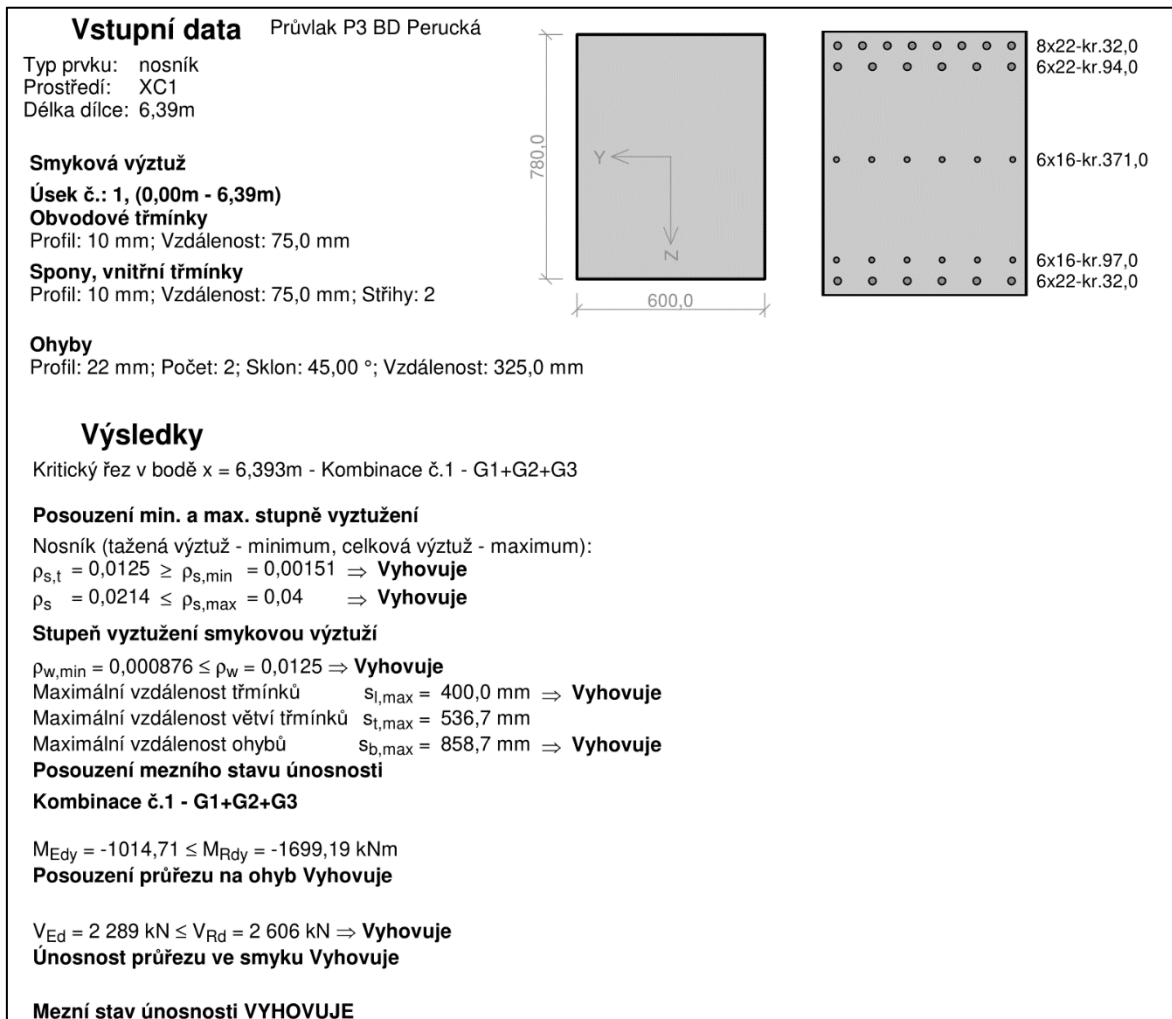
Po osazení svislých nosných konstrukcí nad sebe došlo ke snížení rozhodujícího ohybového momentu z 1385 kNm na 609,5 kNm, odpovídajícímu 44 %. Díky této úpravě bylo možné snížit výšku průvlaku.



Obrázek 64: Posouzení kritického řezu průvlaku P1; (Autor)

8.9.2 Průvlak P3

Průvlak P3 je příčný, navazující na průvlak P1. Nosník je zatížen mimo podpěrná vibroizolační ložiska a vznikají velké momentové a smykové síly. Průvlak je méně masivní oproti průvlaku P1, ale je hustě vyztužený. Stejně jako u průvlaku P1 je vyžadována velká ohybová tuhost. Průvlaku částečně pomáhá v přenosu zatížení stěnový nosník umístěný nad průvlakem.



Obrázek 65: Posouzení únosnosti průvlaku P3; (Autor)

9 Dynamické vlastnosti řešeného objektu

9.1 Vlastní tvary a vlastní frekvence konstrukce

(Modální analýza)

Na konstrukci byla provedena modální analýza informativně určující výpočtové vlastní frekvence konstrukce. Dále byly zjištěny vlastní tvary konstrukce. Ve výpočtu bylo ověřeno množství vykmitané hmoty – 98,02 % a 93,32 %. Bylo vykmitáno více než 90 % hmoty objektu a byl splněn normový požadavek.

N	f [Hz]	omega [1/s]	omega^2 [1/s^2]	T [s]
Kombinace hmot : CM1				
1	1,51	9,47	89,72	0,66
2	1,65	10,38	107,70	0,61
3	2,57	16,16	261,11	0,39
4	3,08	19,33	373,62	0,33
5	3,23	20,31	412,52	0,31
6	3,70	23,25	540,61	0,27
7	8,33	52,36	2741,65	0,12
8	10,96	68,84	4739,08	0,09
9	11,41	71,68	5138,70	0,09
10	13,54	85,08	7237,98	0,07
11	13,92	87,47	7650,13	0,07
12	14,80	92,98	8645,43	0,07
13	15,56	97,78	9560,22	0,06
14	16,57	104,08	10832,59	0,06
15	16,91	106,25	11290,11	0,06
16	17,19	107,99	11662,25	0,06
17	17,90	112,46	12646,76	0,06
18	20,41	128,22	16441,10	0,05
19	20,45	128,48	16506,74	0,05
20	21,40	134,47	18083,38	0,05
Kombinace hmot : CM2				
1	1,50	9,45	89,31	0,66
2	1,65	10,36	107,32	0,61
3	2,57	16,14	260,48	0,39
4	3,07	19,31	372,82	0,33
5	3,23	20,29	411,81	0,31
6	3,70	23,24	540,09	0,27
7	8,32	52,27	2732,43	0,12
8	10,95	68,82	4736,76	0,09
9	11,39	71,57	5122,34	0,09
10	13,54	85,07	7237,16	0,07
11	13,92	87,45	7647,13	0,07
12	14,79	92,92	8634,28	0,07
13	15,53	97,55	9515,53	0,06
14	16,54	103,90	10794,47	0,06
15	16,90	106,19	11277,17	0,06
16	17,06	107,20	11492,49	0,06
17	17,90	112,45	12644,56	0,06
18	20,41	128,22	16440,07	0,05
19	20,42	128,30	16461,12	0,05
20	21,37	134,30	18035,53	0,05

Obrázek 66: Vlastní frekvence konstrukce; (Autor)

Suma hmot			
[kg]	X	Y	Z
Kombinace skupin hmot 1	3601311.04	3601311.04	3601414.46

Souč. participace tvaru									
Režim	Omega [rad/s]	Perioda [s]	Frekv. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot	Wxi_R / Wxtot R	Wyi_R / Wycelk R	Wzi_R / Wzcelk R
1	9.4722	0.6633	1.5075	0.0944	0.4457	0.0000	0.3068	0.0393	0.0000
2	10.3780	0.6054	1.6517	0.5551	0.0847	0.0000	0.0603	0.1919	0.0033
3	16.1595	0.3888	2.5719	0.0007	0.0000	0.0003	0.0000	0.0009	0.6548
4	19.3299	0.3250	3.0765	0.0004	0.0003	0.7560	0.0032	0.0025	0.0003
5	20.3111	0.3093	3.2326	0.0965	0.0034	0.0015	0.0008	0.4701	0.0002
6	23.2516	0.2702	3.7006	0.0001	0.2248	0.0017	0.2380	0.0052	0.0000
7	52.3623	0.1200	8.3337	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0003	0.0152
8	68.8430	0.0913	10.9567	0.0024	0.0084	0.0566	0.0690	0.0059	0.0000
9	71.6868	0.0876	11.4093	0.0045	0.0014	0.0103	0.0142	0.0003	0.0001
10	85.0788	0.0739	13.5407	0.0029	0.0008	0.0000	0.0031	0.0249	0.0005
11	87.4676	0.0718	13.9209	0.0046	0.0040	0.0002	0.0008	0.0501	0.0017
12	92.9836	0.0676	14.7988	0.0014	0.0756	0.0426	0.1028	0.0002	0.0001
13	97.7793	0.0643	15.5621	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000	0.0004	0.0001
14	104.0828	0.0604	16.5653	0.0060	0.0348	0.0260	0.0182	0.0055	0.0003
15	106.2581	0.0591	16.9115	0.0034	0.0409	0.0719	0.1196	0.0024	0.0014
16	107.9951	0.0582	17.1880	0.0000	0.0052	0.0043	0.0114	0.0010	0.0000
17	112.4611	0.0559	17.8987	0.2052	0.0009	0.0052	0.0001	0.1735	0.0090
18	128.2266	0.0490	20.4079	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
19	128.4823	0.0489	20.4486	0.0018	0.0021	0.0018	0.0015	0.0134	0.0000
20	134.4784	0.0467	21.4029	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
				0.9802	0.9332	0.9788	0.9500	0.9879	0.6871

Obrázek 67: Protokol o výpočtu; vlastní tvary; (Autor)

Počet frekvencí: 20
 Metoda: Lanczos
 Ohybová teorie: Mindlin
 Typ výpočtového modelu: Standardní pomocí vylepšeného redukovaného systému (IRS)

9.2 Návrh úpravy vibroizolačního řešení při vzniku poruch

Pro objekt jsou stanoveny periodické kontroly vibroizolačních ložisek v rozmezí 5 let. V rámci těchto kontrol bude ověřován i stav nosných konstrukcí a případně provedeny jejich úpravy. Dynamický stav konstrukce lze v čase ověřit změřením vlastní frekvence konstrukce, která by měla s postupem času a s degradací konstrukce klesat.

Pokud se v průběhu užívání stavby vyskytnou problémy s nefunkčností vibroizolačního řešení, je nejvhodnější se obrátit na dodavatele vibroizolačního systému. Ten zhodnotí stav systému a určí kritická místa, která by měla být příčinou problému. Může se jednat jak o nepředpokládané události – malá míra tlumení vibroizolačních pružin, materiálové poruchy, změna tuhosti konstrukce způsobená stářím, porucha konstrukce vzniklá mimořádným zatížením, tak i o špatné provedení, špatný návrh nebo zanedbanou údržbu.

Tlumení pružin lze zvýšit například pomocí vložení doplňkových elastomerových ložisek, snížením hmotnosti konstrukce nebo zvýšením tuhosti.

Oprava funkčnosti konstrukce má být vždy provedena na základě měření, posouzení a návrhu způsobilou osobou.

10 Ekonomické důsledky optimalizace konstrukce

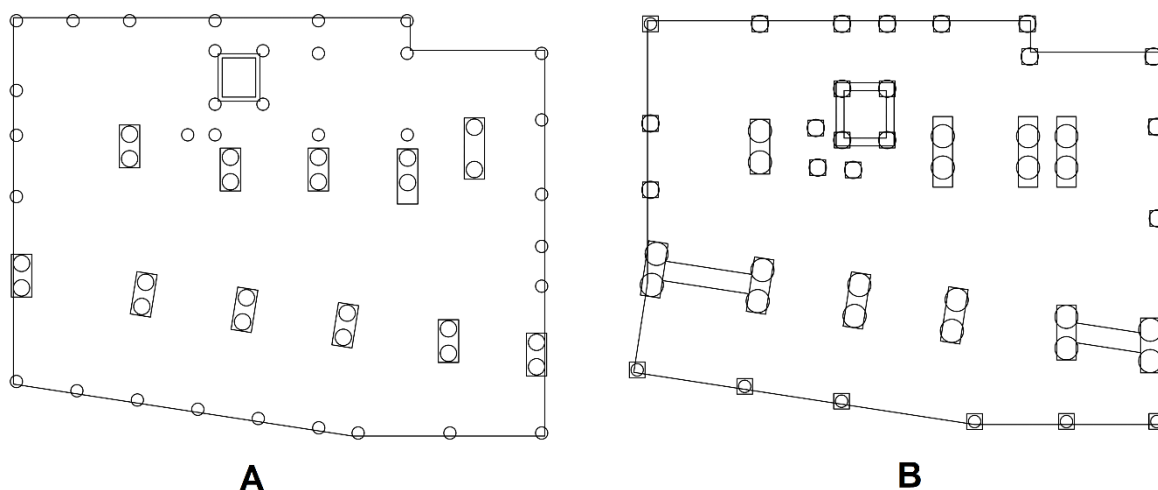
V průběhu návrhu byly upraveny některé nosné části konstrukce bytového domu vedoucí k ekonomické optimalizaci, která byla vyžádána především investorem. V následujícím hodnocení jsou zohledněny ekonomické aspekty vybraných provedených úprav konstrukce.

cenyzaprojekty.cz		NÁKLADY STAVEB, CENY PROJEKTOVÝCH A INŽENÝRSKÝCH PRACÍ, CENY PROFESÍ - 2020	
Výpočet předpokládaných investičních nákladů novostaveb na základě průměrných jednotkových cen ve stavebnictví			
Zdroj cenových ukazatelů pro r. 2020: RTS, a.s.			
Základní informace			
Název stavby	BD Perucká	Číslo zakázky	
Zpracovatel	Zdeněk Straka	Datum	4. 1. 2021
Poznámka	DP Straka		
Druh stavby			
	Obor 803 - Budovy pro bydlení		
	Skupina 803.5 - Domy bytové netytové		
Investiční náklady - budova			
Jednotková cena	6 930 Kč		
Obestavěný prostor - průměrná jednotková cena	4 485 m ³		
Obestavěný prostor - zvýšená jednotková cena	1 878 m ³	navýšení o 20%	
Obestavěný prostor - snížená jednotková cena	0 m ³	snížení o 20%	
	Standard Střední		
Investiční náklady	46 698 000 Kč		
Další finanční parametry			
Vedlejší rozpočtové náklady	7%		
Rezerva	10%		
Ostatní náklady	0 Kč	Zdůvodnění	
Úspora po zadávacím řízení	0%		
Souhrn investičních nákladů			
Investiční náklady bez DPH	54 637 000 Kč		
Sazba DPH	15%		
Investiční náklady včetně DPH	62 832 549 Kč		

Obrázek 68: Předpokládané investiční náklady BD Perucká; (44)

Tabulka 12 udává dosaženou úsporu na materiálu konstrukce. Jednotkové ceny jsou stanoveny podle dokumentu: „Indexy cen stavebních prací, indexy cen stavebních děl a indexy nákladů stavební výroby – čtvrtletní časové řady – 3. čtvrtletí 2020“ uveřejněného na webových stránkách Českého statistického úřadu.

Nejvýraznější položkou je odstranění zdvojení základové monolitické desky (položka číslo 1), která byla odstraněna spolu s dvoustupňovou vibroizolací. Druhou výraznou položkou je snížení počtu a délky pilot, související s úpravou dispozice konstrukce a z revidovaného statického výpočtu s předchozí znalostí konstrukce.



Obrázek 69: Schéma rozmístění pilot; A – původní varianta, B – revize; (45)

Použití vibroizolačního řešení zvýšilo stupeň vyztužení betonových konstrukcí v průměru o 25,2 %.

Tabulka 11: Odhad průměrné hmotnosti výztuže v železobetonových konstrukcích; (Autor)

Ozn.	Konstrukce	Hmotnost výztuže v 1 m ³ (kg/m ³)		Porovnání (%)
		Standardní objekty	BD Perucká	
1	Stropní desky	160	200	+25,0
2	Stropní deska nad suterénem	180	250	+38,9
3	Základová deska	180	250	+38,9
4	Průvlaky masivní	300	400	+33,3
5	Průvlaky	260	300	+15,4
6	Stěnové nosníky	200	250	+25,0
7	Stěny suterénní obvodové	200	250	+25,0
8	Stěny v 1.NP	180	200	+11,1
9	Převázky a hlavice pilot	250	350	+40,0
10	Sloupy v 1.PP	320	400	+25,0
11	Schodiště	200	200	0,0
12	Výtahová šachta	160	200	+25,0
Ø	Průměrný přírůstek vyztužení			+25,2

Tabulka 12: Úspora na materiálu konstrukce; (Autor)

Číslo Položka	Množství	Jednotka	Jednotková cena	Úspora
1 Zrušení zdvojené základové desky (odstranění dvojstupňového vibrozolačního systému)				
Betonová deska	300,68	m3	3 180,00 Kč	956 150 Kč
$0,3*((31,63*26,06)-(6,6*1,6)+0,5*(2,55*16,6)+(9,45*2,56))$				
Výztuž (200 kg/m3)	60,14	t	32 005,00 Kč	1 924 628 Kč
2 Změna typových zarážek (průvlak z desky) na ozubové				
Betonová zarážka	3,25	m3	3 175,00 Kč	10 332 Kč
$(1,1*2+0,8+0,625+1,14)*(0,4*0,605)+(11,57+4,8+1,14)*(0,3*0,4)$				
Výztuž (250 kg/m3)	0,81	t	31 860,00 Kč	25 921 Kč
3 Zmenšení průvlaku P1				
Průvlak P1	2,31	m3	3 175,00 Kč	7 335 Kč
$(0,85*0,18*15,1)$				
Výztuž (400 kg/m3)	0,92	t	31 860,00 Kč	29 442 Kč
4 Zmenšení tloušťky terasy 300 -> 250 mm				
Deska terasy nad 1.PP	6,13	m3	3 590,00 Kč	22 019 Kč
$0,05*((4,82*17,58)+(3,4*9,24)+(0,5*9,24*1,41))$				
Výztuž (250 kg/m3)	1,53	t	34 881,00 Kč	53 484 Kč
5 Zmenšení tloušťky atiky 200 -> 180 mm				
Atika	1,31	m3	3 175,00 Kč	4 173 Kč
$0,02*0,8*(10,23+12,13+2,55+2,97+1,6+11,04+15,18+26,45)$				
Výztuž (180 kg/m3)	0,24	t	31 860,00 Kč	7 538 Kč
6 Vápenopískové stěny 2. až 4. NP 240 -> 200 mm				
Vápenopískové stěny	447,92	m2	124,00 Kč	55 542 Kč
$(2,85+2,85+2,53)*(12,77+19,54+1,5+15,175+5,44)$				
7 Železobetonové stěny 1.NP 240 - 200 mm				
Stěna	6,20	m3	3 315,00 Kč	20 568 Kč
Výztuž (200 kg/m3)	1,24	t	33 011,00 Kč	40 963 Kč
8 Změna zábradlí balkonů				
Zábradlí betonové	3,68	m3	3 175,00 Kč	11 679 Kč
$(0,15*0,85*28,85)$				
Výztuž (160 kg/m3)	0,59	t	31 860,00 Kč	18 751 Kč
9 Tvarová optimalizace balkonů				
Balkon	1,26	m3	3 590,00 Kč	4 509 Kč
Výztuž (200 kg/m3)	0,25	t	34 881,00 Kč	8 762 Kč
10 Zmenšení pilíře SL 07				
Pilíř SL 07	0,58	m3	3 835,00 Kč	2 217 Kč
$2,89*(0,83*0,63)$				
Výztuž (400 kg/m3)	0,23	t	31 379,00 Kč	7 255 Kč
11 Změna stěn kolem schodiště železobeton -> VPC				
Stěny železobetonové	17,69	m3	3 835,00 Kč	
$0,2*9,45*(3,35+0,285*2+5,44)$			67 842,68 Kč	
Výztuž (200 kg/m3)	3,54	m3	33 011,00 Kč	
			116 795,56 Kč	
Stěny vápenopískové	88,45	m2	896,00 Kč	105 385 Kč
$9,45*(3,35+0,285*2+5,44)$			-79 252,99 Kč	
12 Snížení počtu pilot				
Piloty betonové	74,00	m	2 974,00 Kč	220 076 Kč
Výztuž	1,35	t	32 085,00 Kč	43 315 Kč
ÚSPORA ZA POLOŽKU 1 - Deska				2 880 778 Kč
ÚSPORA ZA POLOŽKU 12 - Piloty				263 391 Kč
ÚSPORA ZA POLOŽKY 2 AŽ 11				435 874 Kč
ÚSPORA ZA POLOŽKY 2 AŽ 12				699 265 Kč
CELKOVÁ ÚSPORA NA MATERIÁLU				3 580 044 Kč

Celková cena objektu bez DPH je vyčíslena na 54 637 000 Kč. Ušetřené náklady za materiál spojené s optimalizací konstrukce, podle statického posouzení, činí 699 265 Kč, tedy 1,28 % z celkových investičních nákladů. Při započtení dalších úprav (Tabulka 12) činí celková úspora na materiálu 3 580 044 Kč, tedy 6,55 % z celkových investičních nákladů.

11 Optimalizační principy pro navrhování konstrukcí

Optimalizaci konstrukce je ze statického a ekonomického hlediska doporučeno provádět pomocí unifikace prvků a rozmístění jednotlivých nosných konstrukcí v návaznostech a modulu. Obecně je doporučeno v sousedních polích dodržovat stejná, případně velmi obdobná rozpětí s rozdílem do $\pm 25\%$ (např.: pro rozpětí 5 m má sousední pole nejméně 4,0 m). Konstrukční systém horní stavby by měl co nejlépe respektovat modulovou síť a návrh spodní stavby, jehož ráz je nejčastěji udáván mimo jiné také dopravním řešením a parkovacími stáními.

Snahy o zlepšení ekonomické bilance často nelze provádět v prostorách vertikální komunikace a v prostorách společných. Tím se myslí vynechání stěn kolem schodiště a výtahu. Tyto prostory je doporučeno již v rámci architektonických studií a návrhů provádět dostatečně rozměrné s odpovídající prostorovou rezervou pro následné úpravy způsobené změnami konstrukčního systému. Také je doporučeno v rámci prvotního návrhu schodiště zhodnotit možnosti jeho statického působení a provedení. Snahy o následné úpravy schodišťového prostoru vnášejí do konstrukce nové významné požadavky na možnosti statického provedení, které jsou často limitované normovými akustickými požadavky. S prostorem schodiště také úzce souvisí umístění výtahové šachty, možnosti jejího ztužení a přerušení akustických mostů s konstrukcemi navazujícími. Nevhodné umístění schodiště a limitované možnosti jeho uložení vedou k zesilování podpůrných konstrukcí – doplňkové průvlaky, zesilování stropních desek, zesilování podest.

V navržené konstrukci je použito několik výškových úrovní, kdy vstup do objektu je situován na mezipodestu mezi 1.PP a 1.NP. Toto řešení vyžaduje zvýšení úrovně stropu nad 1.PP v místě nástupu do výtahu. Další změna výškové úrovně desky nad 1.PP je provedena nad vjezdem do garáží. Změna výškové úrovně stropních desek přináší částečné zmenšení tuhosti v úrovni hlavní stropní roviny, které v rámci celé konstrukce není významné, přináší však prodražení stavby z důvodu zvýšených požadavků na provedení detailu, a především nutnost etapového provádění této části, které vede rovněž k termínovému prodloužení.

V objektu jsou provedeny některé stěny s odsazením, konkrétně v ose C a D. V ose C jsou stěny výrazně zazubeny a nelze jejich nosnou funkci uplatnit pro návrh stěnových nosníků. Proto jsou v konstrukci provedeny masivní průvlaky s dostatečnou ohybovou tuhostí a omezenou deformací, které nahrazují funkci

stěnového nosníku. Půdorysné zazubení stěny vytváří asymetrické uložení na průvlak a vede ke vzniku torzního momentu v průvlakem. V ose D by bylo vhodné protáhnout podélnou stěnu tak, aby byla průběžná na celou délku konstrukce a zmenšila tak rozpětí desek v obou krajních polích. Výrazným zjednodušením celé konstrukce by bylo uspořádání příčných stěn horní a spodní poloviny do jednoho rastru a učinit je průběžnými. Celkové zvýšení tuhosti konstrukce přispívá k její odolnosti vůči vibracím.

V případě použití vhodně umístěných stěn by bylo možné uvažovat pouze použití stěnových nosníků. Průvlak nad 1.PP by mohly být z konstrukce zcela odstraněny. Zůstaly by pouze hlavice vystupující z desky pro její lokální zesílení proti smykovým silám v místě uložení sad vibroizolačních ložisek.

Nepravoúhlé konstrukce obecně vedou ke zvýšeným nákladům a kladou také rozdílné statické požadavky na konstrukci. V řešené konstrukci jsou do spodní šikmé stěny, podporované masivním průvlakem, uloženy stěnové nosníky.

Kvůli geometrickému provedení mají nosníky rozdílnou délku vedoucí k jejich rozdílným tuhostem a k nerovnoměrnému roznašení zatížení v jednotlivých částech konstrukce. Zkosení také přispívá k nestandardním účinkům od zatížení větrem.

Prostupy pro instalace by vždy měly být vedeny v místech konstrukce, která jsou pro ně ze statického hlediska vhodná. Umístění šachet větších rozměrů by měl s architektem určovat statik. Šachty vytváří otvory ve stropních deskách, které při nevhodném umístění vedou ke vzniku nadměrných lokálních smykových sil. V posuzované konstrukci je umístění otvorů v desce nad 1.PP limitováno prostorovými požadavky umisťovaných skupin vibroizolačních ložisek.

V průběhu návrhu konstrukce byl generálním projektantem vznešen požadavek na provádění drážek v železobetonových konstrukcích. Také byl předložen návrh na osazení elektrických rozvaděčů do subtilních pilířů stěn spodní šikmé stěny. Těmto požadavkům nebylo statikem vyhověno, neboť by došlo k výraznému lokálnímu oslabení nosných konstrukcí, které není legislativně ošetřeno a umožněno ve smyslu ČSN EN 1992-1-1. Také by došlo ke ztrátě krycí vrstvy betonářské výztuže.

12 Závěr

Nejsnadnější a nejefektivnější optimalizace nosné konstrukce lze dosáhnout správným geometrickým rozmístěním nosných prvků a zajištěním jejich průběžnosti celou konstrukcí. Rozmístění prvků v konstrukci má významný vliv na celkovou cenu stavebního díla. U tohoto konkrétního díla byl vliv nejzřetelnější u návrhu rozmístění pilot. Návrh nosné konstrukce je vždy do určité míry ovlivněn architektonickými, funkčními a ekonomickými požadavky, které musí respektovat zásady statického návrhu. Pro dynamicky namáhané konstrukce je vhodné volit konstrukce navržené dle osového rastru s co nejvyšší mírou symetrie.

Konstrukce zatížená vibracemi lze realizovat ze všech standardně používaných materiálů, je ovšem nutné provést zabezpečení jednotlivých částí konstrukce tak, aby nedocházelo v kritických místech k poruchám a degradaci stavebního objektu. Volba materiálu je určena především účelem budovy.

Použití vibroizolačních systémů v konstrukcích mění jejich statické schéma, lokálně i globálně ovlivňuje chování konstrukce a zvyšuje nároky na stupeň vyztužení betonových konstrukcí. Po vložení vibroizolačních ložisek do konstrukce dochází ke vzniku akustického řezu, který rozděluje konstrukci na dva celky – horní a spodní stavbu. Obě takto vzniklé části konstrukce se chovají staticky odlišně vůči původnímu řešení, a proto dochází i k rozdílnému přenosu vnitřních sil v konstrukcích.

Vibroizolační systémy kladou nejen statické, ale i provozní požadavky, kterým je nutné vyhovět. Umisťování ložisek vibroizolačních systémů je vázáno na navazující konstrukce a mělo by respektovat geometrické rozmístění nosných prvků.

Pro statický výpočet je vždy nutné zajistit dostatečné podklady a technickou specifikaci vibroizolačních systémů, kde kromě vertikální tuhosti hraje významnou roli i tuhost horizontální.

Správným návrhem konstrukce je zajištěna nejen finanční úspora, ale je především zachována trvanlivost a odolnost konstrukce.

Shrnutí:

- Byla sestavena možná materiálová a konstrukční řešení
- Byly charakterizovány vibrace a jejich specifikace a důsledky
- Byla provedena rešerše vibroizolačních systémů, jejich použití a důsledků
- Byl proveden rozbor bytového domu a popsán postup optimalizace
- Byla určena kritická místa nosného systému plynoucí z vložení vibroizolace
- Byly zjištěny základní dynamické vlastnosti řešeného objektu
- Byl proveden návrh a optimalizace kritických míst
- Bylo provedeno ekonomické zhodnocení statických úprav

Doporučení dalšího rozboru konstrukce

Pro další rozbor konstrukce navrhuji provést studii proveditelnosti failsafe systému a posoudit jeho vliv na navržené konstrukce. Dále je vhodné zaměřit se na provedení stavebních detailů kolem vibroizolačních ložisek, konkrétně na provádění hydroizolačního souvrství a požárního obkladu (ochrany).

13 Reference

1. **Svaz výrobců Betonu.** Složení betonu - složky betonu. *ebeton.cz*. [Online] 8. Listopad 2020. [Citace: 9. Listopad 2020.] <https://www.ebeton.cz/pojmy/slozeni-betonu-slozky-betonu>.
2. **Koloušek, Vladimír.** *Stavebné konštrukcie namáhané dynamickými účinkami*. Bratislava : SVTL, 1967.
3. **Hela, Rudolf.** Vliv technologie betonu na některé vady. *tzb-info.cz*. [Online] 2. Únor 2015. [Citace: 10. Listopad 2020.] <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/12279-vliv-technologie-betonu-na-nektere-vady>.
4. **Český normalizační institut.** ČSN EN 1992-1-1. *ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. místo neznámé, Česká republika : Český normalizační institut, Listopad 2006.
5. **Šmejkal, Jiří.** *Železobetonové konstrukce I: příklady*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2015.
6. **Šmejkal, Jiří a Procházka, Jaroslav.** Betonářská výztuž - Evropské trendy. *Statika Plzeň*. [Online] Květen 2008. [Citace: 10. Listopad 2020.] http://statika-plzen.cz/wp-content/uploads/2014/01/BETON_5-08_Vyztuz.pdf.
7. **Makovička, D., a další.** *Výpočet stavebních konstrukcí zatížených dynamickými účinky strojů - Komentář k ČSN 73 0032*. Praha : autor neznámý, 1980.
8. **Kloknerův ústav.** Kloknerův ústav. *klok.cvut.cz*. [Online] 02 2016. [Citace: 15. Listopad 2020.] http://www.klok.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/NK2_Betkon_11.pdf.
9. **Prefa Brno a.s.** Stropní panely Filigran. *prefa.cz*. [Online] Prefa Brno a.s. [Citace: 15. Listopad 2020.] <https://www.prefa.cz/wp-content/gallery/Stropan%C3%AD-panely-Filigran/panely-filigran-01.jpg>.
10. **Kroft, Roman a Krystek, Jan.** *Přednášky předmětu EXM2*. Plzeň : ZČU, NTIS, Západočeská univerzita v Plzni, 2020. Experimentální mechanika 2.
11. **Pajdarová, Andrea Dagmar.** *Akustika - Mechanické vlnění (přednášky k předmětu KFY/FYSV)*. [Dokument PDF] Plzeň : ZČU, 2016.

12. **Reichl, Jaroslav a Všeticka, Martin.** Lom vlnění :: MEF. *fyzika.jreichl.com*. [Online] Encyklopedie fyziky, 2020. [Citace: 2020. Prosinec 2020.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/185-lom-vlneni>.
13. **Dlupal Software.** Seizmické oblasti České republiky podle Eurokódu. *dlupal.com*. [Online] Dlupal Software s.r.o., 2020. [Citace: 16. Listopad 2020.] <https://www.dlupal.com/cs/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim/zemetreseni-csn-en-1998-1.html#¢er=49.81977757827681,15.427208523437503&zoom=8&marker=50.2748156957656,12.68611965625>.
14. **Pirner, Miroš, a další.** *dynamika stavebních konstrukcí, technický průvodce svazek 33*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989.
15. **Ministerstvo zdravotnictví České republiky.** Hlukové mapy 2017. *geoportal.mzcr.cz*. [Online] Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2017. [Citace: 16. Listopad 2020.] <https://geoportal.mzcr.cz/SHM/>.
16. **Institution of Civil Engineers.** Base isolated buildings for controlling groundborne vibration: Towards a performance based design approach, London. *Institution of Civil Engineers*. [Online] Institution of Civil Engineers, 29. Březen 2017. [Citace: 21. Listopad 2020.] <https://www.ice.org.uk/ICEDevelopmentWebPortal/media/Events/Lectures/groundborne-vibrations.jpg?ext=.jpg>.
17. **Pirner, Miroš a Fischer, Ondřej.** *Dynamika ve stavební praxi*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87438-18-3.
18. **Vojáček, Antonín.** Měření vibrací pro diagnostiku opotřevení strojů. *automatizace.hw.cz*. [Online] HW server s.r.o, 2015. Únor 2015. [Citace: 29. Listopad 2020.] <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diagnostiku-opotrebeni-stroju.html>.
19. **Fine spol. s.r.o.** Vlastní kmitání I Statika I FIN EC I Online nápověda. *fine.cz*. [Online] Fine spol. s.r.o., 2020. [Citace: 27. Listopad 2020.] <https://www.fine.cz/napoveda/finec/cs/vlastni-kmitani-01/>.

20. **Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.** ČSN 73 0035. *ČSN 73 0035: Zatížení stavebních konstrukcí.* místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1987. 10841.

21. **Matoušek, Oldřich, Baumruk, Jaroslav a Málek, Bohuslav.** vibrace.pdf. *bozpinfo.cz.* [Online] 1998. [Citace: 27. Listopad 2020.] <https://www.bozpinfo.cz/sites/default/files/obsah/super-obsah/metodicke-listy/soubory/vibrace.pdf>.

22. **Kaňka, Jan.** Intenzita zvuku - decibel - TZB-info. *stavba.tzb.info.cz.* [Online] Stavební fakulta ČVUT Praha, 2020. [Citace: 28. Listopad 2020.] <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/216-intenzita-zvuku-decibel>.

23. **Thehappyv.** Soubor:Sluchové pole - Graf.png - WikiSkripta. *wikiskripta.eu.* [Online] Wikimedia Foundation, 1. Prosinec 2013. [Citace: 2020. Listopad 28.] https://www.wikiskripta.eu/w/Soubor:Sluchov%C3%A9_pole_-_Graf.png.

24. **Jandák, Zdeněk.** Posuzování vibrací v komunálním prostředí. *docplayer.cz.* [Online] 2018. [Citace: 27. Listopad 2020.] <http://docplayer.cz/106765901-Posuzovani-vibraci-v-komunalnim-prostredi.html>.

25. **Marekich.** File:Passivb1.svg - Wikipedia. *en.wikipedia.org.* [Online] Wikipedia Foundation, 28. Zář 2012. [Citace: 26. Listopad 2020.] Wikipedia Foundation.

26. **Getzner Werkstoffe GmbH.** Effective soundproofing insulation for buildings. *Getzner Werkstoffe GmbH.* [Online] Getzner Werkstoffe GmbH. [Citace: 23. Listopad 2020.] <https://www.getzner.com/en/applications/construction/structural-dynamics/elastic-shielding-of-buildings>.

27. **Industriellenvereinigung Vorarlberg.** IV - Vorarlberg - Schwingungsschutz für 170 t prazisionmaschine. *Industriellenvereinigung Vorarlberg.* [Online] Industriellenvereinigung Vorarlberg, 9. Zář 2015. [Citace: 23. Listopad 2020.] https://vorarlberg.iv.at/media/filer_public/ff/24/ff241035-0bc8-4c58-803f-e168f952a5b6/2205-print300.jpg.

28. **RRG INDUSTRIE TECHNIK GMBH.** Sylodyn® HRB-HS | Hochbelastbare Lager. *rrg.de.* [Online] RRG INDUSTRIE TECHNIK GMBH. [Citace: 23. Listopad

2020.] https://www.rrg.de/wp-content/uploads/2020/03/Sylodyn-HRB-HS_Pfeiler.png.

29. **CDM**. CDM-CHR I CDM I Making your world a quieter place. *cdm.eu*. [Online] CDM, 2020. [Citace: 26. Listopad 2020.] <https://cdm.eu/solution/cdm-chr/>.

30. —. *Výkres tvaru: CDM-CHR-BOX-435-B6_800_RevA*. [Dokument] Reutenbeek : CDM, 2017. CDM-CHR-BOX-435-B6-6-6.

31. **Elliott, Brian**. File:Isolation Mount - Coiled Cable.jpg. *commons.wikimedia.org*. [Online] Wikipedia Foundation, 19. Únor 2018. [Citace: 23. Listopad 2020.] https://en.wikipedia.org/wiki/Vibration_isolation#/media/File:Isolation_Mount_-_Coiled_Cable.jpg.

32. **riNux**. DSC_0019 I riNux I Flickr. *flickr.com*. [Online] 24. Září 2008. [Citace: 24. Listopad 2020.] <https://www.flickr.com/photos/rinux/2884587805/in/photostream/>.

33. **Wikimedia Foundation**. Tchaj-pej 101 - Wikipedie. *cs.wikipedia.org*. [Online] Wikimedia Foundation, 14. Říjen 2020. [Citace: 24. Listopad 2020.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Tchaj-pej_101.

34. **Antoniadis, Ioannis, a další**. Hyper-damping properties of stiff and stable linear oscillator with a negative stiffness element. *nottingham-repository.worktribe.com*. [Online] 13. Únor 2015. [Citace: 24. Listopad 2020.] <https://nottingham-repository.worktribe.com/output/753864>.

35. **Šupčík, Ondřej**. mech.fsv.cvut.cz. *FSv CVUT: katedra mechaniky*. [Online] 2012. [Citace: 24. Listopad 2020.] https://mech.fsv.cvut.cz/wiki/images/e/ed/Bazant_2012_supcik.pdf.

36. **Wikimedia Foundation**. Vibration isolation - Wikipedia. *en.wikipedia.org*. [Online] Wikimedia Foundation, 30. Říjen 2020. [Citace: 27. Listopad 2020.] https://en.wikipedia.org/wiki/Vibration_isolation.

37. **Stěnička, Jan**. Vibroizolace obytného domu Perucká č. 4394/35 vůči železniční trati na Praze 2. *Vibroizolace obytného domu Perucká*. Praha : Jan Stěnička, 2019.

38. **Trachta, Karel, Duchoň, Jan a Jirman, Tomáš.** Projektová dokumentace pro povolení a provádění stavby BD Perucká. *PD BD Perucká*. Praha : Offstone s.r.o., 2020.
39. **CDM.** CDM-VHS I CDM I Making your world a quieter place. *cdm.eu*. [Online] CDM, 2020. [Citace: 26. Prosinec 2020.] <https://cdm.eu/solution/cdm-vhs/>.
40. —. CDM-CHR Technická specifikace. *CDM-CHR*. Overijse : CDM, 2019.
41. —. CDM-CHR Instalační manuál. *CDM-CHR*. Overijse : CDM, 2019.
42. **Delta-L b.v.** CDM-RAFT. *Delta-L*. [Online] Delta-L b.v. | CDM Nederland, 2020. [Citace: 26. Prosinec 2020.] <https://delta-l.nl/oplossingen/akoestische-opleggingen-trillingsdempers/cdm-raft/>.
43. **CDM.** CDM-MACHINE-FLOAT. *cdm.eu*. [Online] CDM, 2020. [Citace: 28. Prosinec 2020.] <https://cdm.eu/solution/cdm-machine-float/>.
44. **Záruba, Ivan.** Ceny za projekty. *cenyzaprojekty.cz*. [Online] cenyzaprojekty.cz, 2021. [Citace: 4. Leden 2021.] <https://www.cenyzaprojekty.cz/naklady.html>.
45. **Křelina, Tomáš.** D 1.2.2 - Základové konstrukce - pilotové založení. *BD Perucká*. Stříbro : KSI Plzeň s.r.o., 2020. 26-05/2020.
46. **Meggitt SA.** CA306 piezoelectric accelerometer | Viro-meter by Meggitt Sensing. *catalogue.meggittsensing.com*. [Online] Meggitt SA, 2017. [Citace: 29. Listopad 2020.] <https://catalogue.meggittsensing.com/vibration-sensors-ca-ce-cv-pv-se-and-ve/ca306.html>.
47. **Procházka, J. a kol.** *Navrhování betonových konstrukcí 1 prvky z prostého a železového betonu*. Praha : ČBS, 2005.

14 Seznam použitého softwaru

Fin EC – studentská licence na klíči 1646/1

GEO5 – studentská licence na klíči 1646/1

Scia engineer – studentská licence č. 155143

Microsoft Office 365 – vlastník: Zdeněk Straka

Cadkon+ Architecture – vlastník: Zdeněk Straka

Halfen HSC

GIMP – licence GNU GPL

15 Seznam příloh

- Výkresy tvaru: půdorysy – původní podklad (VEJVARAPROJEKT s.r.o.)
- Výkresy tvaru: vybrané sloupy – původní podklad (VEJVARAPROJEKT s.r.o.)
- Výkresy tvaru: vybrané stěny – autor
- Architektonicko-stavební výkresy: půdorysy, řezy, pohledy – původní podklad (OFSTONE s.r.o.)
- Vnitřní síly v deskách - autor
- Vnitřní síly v průvlacích - autor
- Síly na vibroizolační ložiska - autor
- Trajektorie hlavních napětí ve vybraných stěnách - autor
- Posouzení konstrukcí: desky, stěny, sloupy, průvlaky, hlavice sloupu – autor
- Technické listy VAPIS – původní podklad (Vapis stavební hmoty s.r.o.)
- Brožura: Building base isolation – původní podklad (CDM)