

Projektová dokumentace pro společné povolení

D.1.2 Stavebně konstrukční řešení

D.1.2 c) Statické posouzení

Stavba:

Multifunkční sportovní a kulturní pavilon

Investor:

Veletrhy Brno, a.s.

Výstaviště 405/1

603 00 Brno

Objednatel:

Společnost Arch.Design__A PLUS.

Sochorova 23 _____ Česká 12

616 00 Brno _____ 602 00 Brno

Zhotovitel:

RECOC, spol. s r.o.

Seydlerova 2451/8

158 00 Praha 13

Projektant:

Ing. Miloslav Smutek, Ph.D.

Projektční tým:

Ing. Miloslav Smutek, Ph.D.

Ing. Hana Šeligová

1 Obsah

1	Obsah	2
2	Soubor použitých norem a literatury	3
2.1	Řada norem ČSN	3
2.2	Technická pravidla České betonářské společnosti ČBSI	4
2.3	Řada norem BS a britských předpisů.....	4
2.4	Zákony a vyhlášky.....	4
3	Použité podklady a literatura	4
4	Použité programy	5
5	Uvažovaná zatížení.....	5
6	Použité materiály	7
6.1	Betony podle ČSN EN 1992-1-1 (ČSN EN 206).....	7
6.2	Měkká výztuž podle ČSN EN 1992-1-1	8
6.3	Předpínací výztuž podle ČSN EN 1992-1-1, DIN 10458-1:2001-07	8
7	Charakteristika konstrukce	8
7.1	Základové poměry.....	8
7.2	Popis nosné konstrukce	9
7.3	Založení objektu	9
7.3.1	Pilotové založení	9
7.3.2	Základová deska	9
8	Výpočtové modely.....	9
8.1	Výpočetní program.....	9
8.2	Celkové modely	10
8.3	Dílčí modely.....	10
8.4	Rozsah dynamických výpočtů	10
8.5	Postup dynamických výpočtů.....	11
9	Výpočetní aparát – FEM výpočty	12
9.1	Program RENEX3D.....	12
9.1.1	Charakteristika programu	12
9.1.2	Použité prvky.....	12
9.1.3	Použití programu.....	13
9.1.4	Dělení na konečné prvky	13
9.1.5	Souřadnicové systémy.....	13
9.1.6	Interakce s podložím	16
9.1.7	Zatížení a jejich kombinace	16
9.2	Nelineární výpočty	16
9.2.1	Dynamické výpočty	17
9.2.2	Algoritmus dimenzování skořepinových prvků	17
9.2.3	Schémata uživatelsky definovaných průřezů.....	19
9.2.4	Hromadné posudky tyčových prvků.....	20
9.3	Programy FINE – geotechnické programy GEO 5.....	21
9.3.1	Charakteristika programu	21
9.3.2	Návrhové přístupy.....	21
9.3.3	Součinitelé výpočtu.....	21
9.3.4	Návrhová situace.....	21
9.3.5	Výpočty opěrných konstrukcí.....	21
9.3.6	Stabilitní výpočty	21
9.3.7	Výpočty základů	22
9.3.8	Výpočty pažení a zemních tlaků.....	22

9.3.9	Použití programu.....	22
9.4	Programy FINE EC	22
9.4.1	Charakteristika programu	22
10	Zatěžovací stavy a jejich kombinace	22
10.1	Kombinace podle metodiky EN 1990:2004.....	22
10.2	Zatížení příčkami.....	24
10.3	Zatížení při výpočtu tzv. bílých van.....	24
10.4	Názvy zatěžovacích stavů a kombinací v programu RENEX 3D.....	25
10.5	Uživatелеm definované kombinace	26
11	Komentář ke grafickým výstupům	27
11.1	Fyzikální vlastnosti	27
11.2	Zatížení.....	27
11.3	Výstupy – mezní stavy únosnosti (MSÚ).....	27
11.4	Výstupy – mezní stavy použitelnosti.....	27
12	Závěr	28
13	Seznam obrázků	29

2 Soubor použitých norem a literatury

2.1 Řada norem ČSN

ČSN 73 0037	Zemní a horninový tlak na stavební konstrukce – oprava 1, změna 1
ČSN 73 1201:2010	Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb
ČSN 73 2480	Provádění a kontrola montovaných betonových konstrukcí, změna Z1
ČSN EN 206+A1:2018	Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
ČSN EN 1536+A1	Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty
ČSN EN 1537	Provádění speciálních geotechnických prací – Injektované horninové kotvy
ČSN EN 1538+A1	Provádění speciálních geotechnických prací – Podzemní stěny
ČSN EN 12699:2016	Provádění speciálních geotechnických prací – Ražené piloty
ČSN EN 12063	Provádění speciálních geotechnických prací – Štětové stěny
ČSN EN 13670	Provádění betonových konstrukcí – oprava 1
ČSN EN 14080:2013	Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo - Požadavky
ČSN EN 1990	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí – oprava 1, 2, 3, 4; změny A1, Z1, Z2, Z3; NA ed. A; ed. 2
ČSN EN 1991-1-1	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb – oprava 1; změny Z1, Z2; NA ed. A
ČSN EN 1991-1-2	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru - oprava 1, 2, 3; NA ed. A
ČSN EN 1991-1-3	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem – oprava 1; změny A1, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5; NA ed. A; ed.2 - změna A1
ČSN EN 1991-1-4	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem – oprava 1, 2, 3; změny Z1, Z2, Z3; NA ed. A, - změna A1; ed.2
ČSN EN 1991-1-5	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou – oprava 1, 2; změny Z1, Z2; NA ed. A
ČSN EN 1991-1-6	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-6: Obecná zatížení – Zatížení během provádění – oprava 1, 2; změny Z1, Z2, Z3, Z4; NA ed. A

ČSN EN 1991-1-7	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení – oprava 1; změny A1, Z1; NA ed. A
ČSN EN 1992-1-1	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby – oprava 1, 2; změny A1, Z1, Z2, Z3; NA ed. A; ed.2 - změna A1, Z1
ČSN EN 1992-1-2	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru – oprava 1; změna NA ed. A
ČSN EN 1997-1	Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí. Část 1: Obecná pravidla – oprava 1; změna NA ed. A
ČSN EN 1997-2	Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí. Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy – oprava 1, 2
ČSN ISO 2394:2016	Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí.
ČSN 73 0031	Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd. Základní ustanovení pro výpočet – neplatná (nahrazena ČSN ISO 2394, ČSN EN 1990).

2.2 Technická pravidla České betonářské společnosti ČBSI

01 Statické výpočty, 1. Vydání 2006

02 Bílé vany, 2. vydání 2007 (vodonepropustné betonové konstrukce)

03 Pohledový beton, 1. Vydání 2009, revize 2018

04 Vodonepropustné betonové konstrukce (překlad německé směrnice a komentáře), 1. vydání 2015

2.3 Řada norem BS a britských předpisů

Dynamic performance requirements for permanent grandstands subject to crowd action – Interim guidance on assessment and design, The Institution of structural Engineers, The Department for Transport, Local Government and Regions, The Department for Culture, Media and Sport, November 2001

2.4 Zákony a vyhlášky

Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu v platném znění –

Vyhláška č. 499/2006 Sb., Vyhláška o dokumentaci staveb, v platném znění (Vyhláška č. 405/2017 Sb., částka 144 ze 7.12.2017 o dokumentaci staveb ve znění Vyhlášky č. 62/2013 Sb. a vyhláška č. 169/2016 Sb.)

3 Použité podklady a literatura

- [1] Architektonicko-stavební řešení, Společnost Arch.Design a A Plus, Sochorova 23, 616 00 Brno, Česká 12, 602 00 Brno; 05/2020
- [2] IG a HG průzkum; Geostar, spol. s r.o., Tuřanka 2400/111, 627 00 Brno; 01/2020
- [3] Inženýrsko-geologický průzkum; Geodril s.r.o., K Bukovinám 169/45, 635 00 Brno; 04/2020
- [4] FEM, principy a praxe metody konečných prvků, Kolář, V., Němec, I., Kanický, V. a navazující manuály k programům NEXX.
- [5] ČSN P ENV 1992-1-1, část 1.1, čl. A 2.9, str 334-338
- [6] Programy FINE – uživatelské manuály
- [7] Manuál k programu RENEX3D, RECOC, spol. s r.o., 2013
- [8] Bažant, Z.P., Baweja, S., *Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures*, Reported by ACI Committee 209, Creep and Shrinkage in Concrete

- [9] Vráblik, L., *Program pro výpočet smršťování a dotvarování betonu*
- [10] Betonové konstrukce (pro cvičení v 7. semestru P), Vovec Bohumír, Jendele Milan, Filipová Jitka, Ediční středisko ČVUT, Praha 6, Žitná 4, 1990
- [11] Výpočet konstrukcí z předpjatého betonu, Zůda Karel, SNTL Praha, 1958
- [12] Vodonepropustné betony - PERMACRETE®, TBG Metrostav, Coufal, 2012
- [13] Uživatelský a teoretický manuál programu RENEX3D, verze 7.01, RECOC, spol. s r.o., 02.2019
- [14] Modelování železobetonových skořepin s uvažováním nelineárního chování materiálu, Disertační práce, Smutek, M., VŠB TU Ostrava, 07.2006.
- [15] Pfeiffer Uwe, Die nichtlineare Berechnung ebener Rahmen aus Stahl- oder Spannbeton mit Berücksichtigung der durch das Aufreißen bedingten Achsendehnung, 2004, ISBN 3-86537-298-8.
- [16] Studie nového modelu podloží staveb, Kolář, V., Němec, I., Academia Praha 1986
- [17] Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů; Zoufal, R. a kol.; PAVUS, a.s., 2009
- [18] Jeřábek, J. 1959. Příklady dynamických výpočtů. SNTL
- [19] Kol. autorů. 11/2001. Dynamic performance requirements for permanent grandstands subject to crowd action. Institution of Structural engineers, United Kingdom

4 Použité programy

Programy RENEX - © FEM consulting Brno s.r.o., RECOC, spol. s r.o.,
Preprocesory a postprocesory RECOC-BETON - © RECOC, spol. s r.o.,
FIN - © FINE s.r.o.
Tabulkové procesory Excel, © RECOC, spol. s r.o.

5 Uvažovaná zatížení

Zatížení jsou uvažována podle podkladů převzatých z [1] a z příslušných norem ČSN EN 1991-1-1 až 1991-1-7.

Stálá zatížení byla vypočtena podle podkladu [1].

Užitná zatížení byla převzata normovými hodnotami z Tabulky 6.2(CZ), 6.8(CZ) a 6.10(CZ) ČSN EN 1991-1-1. Tíhy přemístitelných příček byly přidány do užitného plošného zatížení. Příčky, jejichž tíha na bm byla vyšší než normou stanovená hodnota, byly modelovány skutečnou tíhou liniovým zatížením. Konkrétně byly použity minimální hodnoty:

Tabulka 6.2(CZ) – Užité zatížení stropních konstrukcí, balkónů a schodišť pozemních staveb

Kategorie zatěžovaných ploch	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
kategorie A		
– stropní konstrukce	1,5	2,0
– schodiště	3,0	2,0
– balkóny	3,0	2,0
kategorie B	2,5	4,0
kategorie C		
– C1	3,0	3,0
– C2	4,0	4,0
– C3	5,0	4,0
– C4	5,0	7,0
– C5	5,0	4,5
kategorie D		
– D1	5,0	5,0
– D2	5,0	7,0

Tabulka 6.8(CZ) – Užité zatížení garáží a dopravních ploch pro vozidla

Kategorie dopravních ploch	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie F		
Celková tíha vozidla: ≤ 30 kN	2,5	20
Kategorie G		
30 kN < celková tíha vozidla ≤ 160 kN	5,0	120

NA.2.9 Článek 6.3.4.2 Střechy – Hodnoty zatížení, odstavec (1)

Pro stanovení užitných zatížení střech kategorie H se v ČR používají hodnoty z tabulky 6.10(CZ). Předpokládá se, že rovnoměrné zatížení q_k působí na ploše $A = 10$ m². Viz také 3.3.2(1).

Tabulka 6.10(CZ) – Užité zatížení střech kategorie H

Střecha	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie H	0,75	1,0

NA.2.10 Článek 6.4 Vodorovná zatížení zábradlí a dělicích stěn, odstavec (1) (tabulka 6.12)

Pro stanovení charakteristických hodnot přímkového zatížení q_k se v ČR používají hodnoty z tabulky 6.12(CZ).

Tabulka 6.12(CZ) – Vodorovná zatížení zábradlí a dělicích stěn

Zatěžované plochy	q_k [kN/m]
Kategorie A	0,5
Kategorie B a C1	1,0
Kategorie C2 – C4 a D	1,0
Kategorie C5	5,0
Kategorie E	2,0 ¹⁾
Kategorie F	viz příloha B
Kategorie G	viz příloha B

¹⁾ Tato hodnota se u užitných ploch kategorie E považuje za hodnotu minimální, podle způsobu používání se zvyšuje.

Sněhová oblast je podle ČSN EN 1991-1-3:2006 I, tedy charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 0,7$ kPa.

Větrná oblast je podle ČSN EN 1991-1-4:2007 II, tedy výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25$ m/s. Teplotní zatížení se řídí zejména Tabulkou 5.1(CZ) normy ČSN EN 1991-1-5:2005.

Tabulka 5.2(CZ) – Informativní teploty T_{out} u nadzemních částí pozemních staveb

Období	Významný vliv		Teplota T_{out} ve °C	
			S, V, SV	J, Z, JZ a H
léto	relativní pohltivost v závislosti na barvě povrchu	0,5 povrch jasně světlý	$T_{max} + 0$ °C	$T_{max} + 18$ °C
		0,7 povrch světle zbarvený	$T_{max} + 2$ °C	$T_{max} + 30$ °C
		0,9 povrch tmavý	$T_{max} + 4$ °C	$T_{max} + 42$ °C
zima			T_{min}	
POZNÁMKA Hodnoty maximální (minimální) teploty vzduchu ve stínu T_{max} (T_{min}) se pro místo stavby určí z národních map izoterm.				

Tabulka 5.3(CZ) – Informativní teploty T_{out} pro podzemní části pozemních staveb

Období	Hloubka pod úrovní terénu	Teplota T_{in} ve °C
léto	menší než 1 m	$T_6 = 10$ °C
	větší než 1 m	$T_7 = 5$ °C
zima	menší než 1 m	$T_8 = -6$ °C
	větší než 1 m	$T_9 = -3$ °C

Zatížení a jejich kombinace byly generovány dle platných norem ČSN EN 1990 a ČSN EN 1991:

- Stálé zatížení představuje vlastní tíha konstrukce automaticky generovaná programem z průřezových charakteristik a z průměrné objemové hmotnosti použitého materiálu.
- Ostatní stálé zatížení ve svislém směru je reprezentováno skladbami kompletačních konstrukcí
- Proměnná zatížení jsou rozdělena na užitná a klimatická.
- Zatížení zemním tlakem - je uvažován aktivní zemní tlak, součinitel zatížení je uvažován hodnotou $\gamma = 1,5$.
- Zatížení vztlakem při povodních

Pro dynamický výpočet jsou vlastní tíhy prvků generovány výpočtem. Bodové reakce od zatížení lavic i nosné konstrukce stropu (panely SPG) na tribunové nosníky je zpracováno tabelárně v samostatné příloze.

Ve výpočtech jsou uvažována tato zatížení (přesný rozpis uveden v jednotlivých přílohách SV):

Zatížení sedačkami na lavicích – stálé svislé $g_{1k} = 2 \text{ kN/bm}$, s excentricitou 0,5m,

Užitné zatížení – kat.C2 ($q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$), reálná hodnota pro výpočty uvažována $q_{kd} = 1,6 \text{ kN/m}^2$.

6 Použité materiály

Ve výpočtech jsou použity následující fyzikálně mechanické vlastnosti materiálů. Moduly pružnosti jsou uvažovány tabulkovými hodnotami, pokud není ve výpočtu výslovně uvedeno jinak. Pokud by se na stavbě z libovolného důvodu nepodařilo těchto teoretických hodnot dosáhnout, je nutno informovat statika a s největší pravděpodobností provést přepočet s hodnotami garantovanými dodavatelem betonové směsi.

6.1 Betony podle ČSN EN 1992-1-1 (ČSN EN 206)

Značka	EN 206	f_{cm} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	E_{cm} [GPa]	γ [kg/m ³]
C25/30	C25/30	33	2,6	31	2500

C30/37	C30/37	38	2,9	33	2600
C35/45	C35/45	43	3,2	34	2600
C40/50	C40/50	48	3,5	35	2600
C45/55	C45/55	53	3,8	36	2600
C50/60	C50/60	58	4,1	37	2600
LC20/22-1,6	LC20/22	28	2,1	23,6	1950
LC35/38-1,6	LC35/38	43	3,0	26,7	1950
Poissonova konstanta	0,2	Součinitel tepelné roztažnosti			$10 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

6.2 Měkká výztuž podle ČSN EN 1992-1-1

Značka	f_{yk} [MPa]	f_{yd} [MPa]	E_s [GPa]
B 500B	500	434,8	200
KARI	500	434,8	200

6.3 Předpínací výztuž podle ČSN EN 1992-1-1, DIN 10458-1:2001-07

Značka	Profil [mm]	f_{pk} [MPa]	f_{pd} [Mpa]	E_s [Gpa]
St1670/1860	12,9	1860	1617	195
St1670/1860	15,7	1860	1617	200

7 Charakteristika konstrukce

7.1 Základové poměry

Území Brna se rozprostírá při hranici významných geologických jednotek Českého masivu a Karpat. Zájmové území se nachází nad údolím řeky Svatky pod hranou příkré skalní stráně v území brněnské čtvrti Pisárky.

V zájmové oblasti je předkvartérní podloží tvořené slabě metamorfovanými jemnozrnnými pískovci a slepenci a neogenními vápnitými jíly, tzv. tégly. Kvartérní sedimenty jsou zastoupeny fluvialními štěrkovými a písčitými zeminami. V jejich nadloží se mohou lokálně vyskytovat jemnozrnné eolitické hlíny – spraše. Nejvyšší vrstvu tvoří antropogenní navážky různorodého charakteru, především štěrkovité a hlinité zeminy. Jejich mocnost může být až 5 m.

Zájmová lokalita leží v povodí I. řádu v povodí Dunaje, II. řádu Svatka po Jihlavu, III. řádu Svatka po Svitavu, zhruba v km 48,5 řeky Svatky.

Ustálená hladina spodní vody byla zjištěna v úrovni fluvialních terasových sedimentů zhruba v hloubce 2,9-4,3 m pod terénem. Předpokládá se zvodnění terasy s nutností čerpání spodní vody při výstavbě. Stavební jámy bude nutné těsnit nejpravděpodobněji raženou/vibrovanou larsenovou stěnou a částečně pažit s kotvením v jedné úrovni dočasnými zemními kotvami.

Geolog klasifikuje stavbu jako staticky náročnou ve složitých základových podmínkách, tedy doporučuje postupovat podle zásad 3. geotechnické kategorie v souladu s ČSN EN 1997. Založení doporučuje hlubinné na velkopřůměrových vrtaných pilotách resp. jejich skupinách, vetknutých do podložních neogenních/paleozoických sedimentů, tedy do vysoce plastických jílu (tégly) a zvětralých pískovců, délka pilot cca 10 m.

7.2 Popis nosné konstrukce

Objekt je založený plošně na základové desce podporované vrtanými velkopřůměrovými pilotami. Základová deska je navržena v tloušťce 500 mm, pod sloupy nosné prefabrikované konstrukce zesílená na 1000 mm. Základová deska má několik úrovní respektujících technické zázemí haly. Obvodové suterénní stěny jsou navrženy v tloušťce 400 mm. Všechny suterénní konstrukce jsou navrženy jako vodonepropustná konstrukce, tzv. bílá vana. Část horního líce desky je ve spádu cca 2%.

Nosnou konstrukci haly tvoří převážně železobetonový prefabrikovaný skelet. Sloupy průřezu 400/600, resp. 400/400 jsou uvažovány jako prefabrikované stykované přes ocelové šroubové botky. Sloupy kruhového průřezu jsou navrženy jako monolitické. Vodorovné stropní desky jsou složeny z trámů průřezu obráceného T v radiálním směru, obvodových ztužidel obdélníkového průřezu a předepnutých stropních panelů Spiroll, resp. Partec tloušťky 320 mm v tangenciálním směru. Stropní desky budou zmonolitněny membránou tloušťky 80 mm.

Část hlediště je tvořena radiálními tribunovými šikmými zazubenými trámy obdélníkového průřezu a v tangenciálním směru lavicovými prvky průřezu L, resp. dvojité LL nebo L s parapetem - U. Předpokládá se výroba z liaporbetonu. Prvky budou osazovány na nevyztužená neoprenová ložiska jak na tribunové nosníky, tak na sebe navzájem. Vstupy do hlediště jsou navrženy ze stěnových prvků z lehkého betonu kopírujících geometrii hlediště.

Komunikační jádra, výtahové a instalační šachty jsou navrženy z monolitického železobetonu se stěnami tloušťky 200 a 300 mm. Stropy tvoří monolitické desky, schodišťová ramena jsou navržena jako prefabrikovaná.

Část nosných železobetonových konstrukcí spodní i vrchní stavby bude provedeno v kvalitě pohledového betonu.

7.3 Založení objektu

7.3.1 Pilotové založení

Vzhledem k zastiženému geologickému profilu je založení multifunkční haly uvažováno na vrtaných velkopřůměrových pilotách, resp. jejich skupinách, vetknutých do podložních neogenních/paleozoických sedimentů, tedy do vysoce plastických jílů (tégľů) a zvětralých pískovců, délka pilot cca 10 m.

Vrtatelnost ve vyšších vrstvách I podle VP 800-2, v paleozoických pískovcích a slepencích je vrtatelnost II-III.

7.3.2 Základová deska

Základová deska je navržena v tloušťce 500, resp. 1000 mm jako vodonepropustná konstrukce a bude provedena z betonu C30/37-XA1-CI0,4. Odseparování základové desky od podkladního betonu bude zajištěno PE folií ve dvou vrstvách. Podzemní voda má podle ČSN EN 206 agresivitu třídy XA1, je však vysoce agresivní vůči ocelovým konstrukcím. Při návrhu a realizaci bude postupováno podle směrnice ČCS TP 04.

8 Výpočtové modely

8.1 Výpočetní program

Výpočty nosné konstrukce objektu multifunkčního sportovního a kulturního pavilonu byly obecně prováděny metodou konečných prvků (Finite Element Method) programem RENEX3D. Bližší viz kapitola 9.

Výpočty byly prováděny jednak na celkových modelech konstrukce, jednak na jejích výsecích. Byly použity 1D prvky (pro trámy a sloupy), 2D skořepinové prvky pro modelování stropních desek a stěn a 3D prvky (tzv. bricky) pro modelování sloupů v patrových výsecích.

8.2 Celkové modely

Celkové modely konstrukce modelují provozní stavy budovy ve stádiu užívání. Popisy vstupních dat výpočtu, jako jsou fyzikální parametry jednotlivých konstrukcí, geometrie konstrukce a její zatížení, jsou uvedeny v samostatných přílohách. Modely konstrukcí uvažují s interakcí mezi základovou půdou a budovou, rovněž tak s pružným fungováním pilot, modelovaných pružnými podporami.

8.3 Dílčí modely

Dílčí – výsekové výpočtové modely byly provedeny pro ověření základního koncepčního řešení nosné konstrukce a stanovení rozměrů hlavních prvků nosné konstrukce. Dynamickým výpočtem byly ověřovány konstrukce tribun a hlediště.

8.4 Rozsah dynamických výpočtů

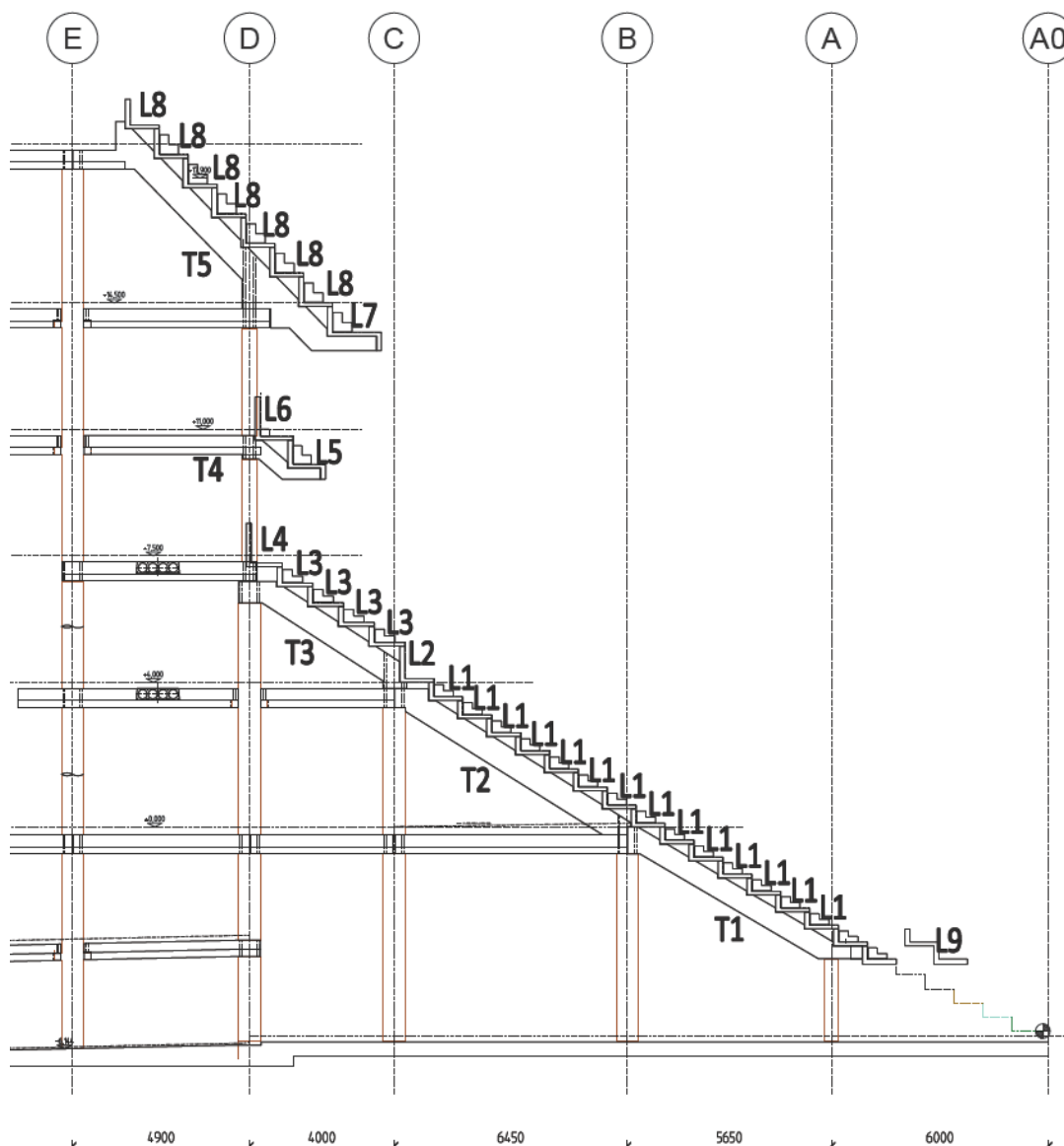
Chování konstrukce v případě dynamického zatížení bylo ověřeno dílčími dynamickými výpočty, které ověřily vlastní frekvence konstrukcí a dynamické výchylky vlivem zatížení rázem. Vlastní tvary kmitání jsou základními ukazateli pro chování konstrukcí nebo jejich částí v případě dynamického buzení, které v tomto případě může představovat skupina diváků pohybujících se synchronizovaným pohybem. Pohyb diváků je pak simulován jako rázové zatížení na dynamickou soustavu s 1 stupněm volnosti a výsledkem je dynamická výchylka, z níž lze odvodit dynamický součinitel pro posouzení průřezů v 1.MS .

Doporučené hodnoty frekvencí vlastních tvarů jsou uvažovány dle [19] takto:

Doporučená vlastní frekvence pro kmitání ve svislém směru	6Hz
Doporučená vlastní frekvence pro kmitání ve vodorovném směru	3Hz

Budící frekvence pro zatížení rázem je uvažována dle [19] takto:

Budící frekvence vlivem synchronizovaného pohybu diváků	3Hz
---	-----



Obrázek 1 Schéma příčného řezu s označením prvků konstrukce

8.5 Postup dynamických výpočtů

Rozsah a vyhodnocení dílčích výpočtů:

Výpočet	Vlastní frekvence	Zatížení rázem	Poznámka
Lavice - dolní, horní, střední	ano	ano	Skupiny navazujících lavic
Tribunové nosníky T1-T5	ano	ano	Samostatné výpočty pro každý nosník
Příčný rám	ano	ne	

Hmoty na konstrukcích byly generovány ze zadaných statických zatížení.

Podepření lavic na tribunových nosnících je uvažováno jako kloubové, prosté. Podepření tribunových nosníků je uvažováno jako kloubové, prosté. Sloupy v příčném rámu jsou uvažovány jako

vetknuté. Rámové příčle, ukládané na čelní konzoly sloupů jako kloubově uložené, příčle procházející mezi dělenými sloupy jako spojitě.

Frekvence vlastních tvarů jsou vyhodnocovány na základě podílu kmitající hmoty (participačních faktory), pro dílčí konstrukce jsou zpracovány tabelárně – viz Příloha 52.

Pohyb synchronizovaných diváků byl zjednodušeně zaveden jako opakované rázové zatížení dynamické soustavy s 1 stupněm volnosti, hmota je soustředěná do středu nosníku, případně konzoly. Výška dopadu hmoty je 10 mm u lavic, 5 mm u tribunových nosníků. Výstupem je dynamická výchylka a její porovnání s výchylkou statickou, jejich podíl stanoví dynamický součinitel, který je násobeno užitém zatížením pro návrh a posouzení průřezů v 1.MS.

9 Výpočetní aparát – FEM výpočty

9.1 Program RENEX3D

9.1.1 Charakteristika programu

Konstrukce jako celek, její dílčí části nebo části dané postupem výstavby jsou řešeny metodou konečných prvků, konkrétně programem RENEX3D. Program RENEX3D používá řešiče a matematický aparát vyvinutý Prof. Dr. Ing. Vladimírem Kolářem DrSc., doc. Ing. Ivanem Němcem CSc. a řadou dalších statických a matematiků v Dopravoprojektu Brno jako programy řady NEXX. Jeho vývoj v současné době pokračuje ve firmě FEM Consulting Brno. Řešiče jsou použity i v programech řady NEXIS, ESA a Dlubal Software. Vyznačují se značnou robustností a obrovskou numerickou stabilitou. Obstojí i ve srovnání s programy jako je ANSYS, DIANA a MARC, v lepším je dokonce předčí. Metoda konečných prvků umožňuje řešení velkých a složitých konstrukcí s prakticky libovolnými okrajovými podmínkami mj. svoji stabilitou a robustností použitých řešičů. Model používá konečné prvky v deformační variantě. Obecně lze říci, že MKP je zobecněná Ritz-Galerkinova variační metoda, užívající báze funkcí s malým kompaktním nosičem, úzce spjatým se zvoleným rozdělením řešené oblasti na konečné prvky.

Ve výpočtu jsou použity plošné 2D prvky, které v sobě zahrnují membránový a ohybový stav namáhání. Použitý model umožňuje libovolnou kombinaci popsanych 2D prvků s prvky jednorozměrnými, ale i prostorovými. Jednorozměrné, tedy prutové prvky, mohou být připojovány excentricky k střednicové rovině plošného prvku. Dále jdou použity i prvky prostorové, tzv. bricky.

9.1.2 Použité prvky

Pro systém NEXX byl nejprve vyvinut vlastní trojúhelníkový prvek s maticí tuhosti řádu 27, mající v každém vrcholu všech 6 stupňů volnosti bodu Cosseratova 2D kontinua a ve středech stran po třech stupních volnosti. Průběhy rotací jsou podél stran linearizovány. K tomuto prvku byl vyvinut plně kompatibilní 1D prvek s maticí tuhosti řádu 15, což je přirozený důsledek 6 parametrů na obou koncích a 3 parametrů ve středu prvku. Lze je klasifikovat jako statické řešení Cosseratovského modelu plošné a prutové konstrukce. V dalším vývoji byly trojúhelníkové 2D prvky nahrazeny praktičtějšími čtyřúhelníkovými při zachování šíře báze funkcí. V určitých oblastech (určité okrajové podmínky, zahušťování sítě) jsou používány oba typy prvků. Systém NEXX pracuje s deformační variantou MKP a využívá výhradně kompatibilní elementy. Pro ohyb plošných i prutových prvků je možno použít jak Kirchhoffovu tak Mindlinovu teorii. Prvky byly v poslední době doplněny o analogický prostorový prvek – brick, který je s popsany 1D a 2D prvky plně kompatibilní.

Z hlediska fyzikálních vlastností materiálů modelovaných prvků jsou úlohy řešeny jako finitní, pomocí členů matice fyzikálních konstant lze vystihnout vazby mezi napětími a deformacemi (ortotropie apod).

Pro modelování předpínací výztuže jsou použity speciální prutové prvky, které jsou k navazujícím plošným prvkům připojovány s excentricitami vyplývajícími z vertikálního trasování jednotlivých kabelů. Předpínací síla je vnášena jako poměrné přetvoření kabelu po odečtení krátkodobých ztrát (ztráty třením,

pokluzem v kotvě a relaxací lana). Jsou automaticky generovány dva stavy, jeden po vnesení předpětí do konstrukce a druhý na konci uvažované životnosti konstrukce. Tím, že jsou tyto prvky pevně spjaty se zbytkem konstrukce, reagují na její deformace zvyšováním resp. snižováním napětí v lanech. Dlouhodobé ztráty, zejména ztráty dotvarováním betonu, jsou automaticky řešeny v nelineárních modulech zohledňujících nelineární pracovní diagramy betonu a oceli a vznik a rozvoj trhlin v betonu.

9.1.3 Použití programu

Program RENEX3D je použit pro veškeré lineární i nelineární (fyzikálně i geometricky) výpočty, dále pak pro dimenzování potřebných ploch výztuže pro 2D prvky, výpočet šířky trhliny atd. V případě použití předpínací výztuže jsou doplňkové (staticky neurčité) síly, které předpjetí na konstrukci vyvoluje, přenášeny přímo z grafických programů jako samostatné zatěžovací stavy. Byl implementován samostatný prutový prvek s excentrickým připojením, který pomocí poměrného přetvoření umožňuje řešit přesně spolupůsobení betonové konstrukce s přepínací výztuží. V případě nelineárního výpočtu i včetně ztrát přetvořením konstrukce, dotvarováním atd.

Kromě výpočtů lineárních umožňuje i lineárně a fyzikálně nelineární analýzu, dynamické a stabilitní výpočty. Do systému byl implementován modul vyvinutý v RECOC, který umožňuje řešení železobetonových skořepin s uvažováním fyzikálně nelineárního chování betonového průřezu včetně vlivu dotvarování. Dále byly implementovány prvky pro výpočet sendvičových konstrukcí včetně vzdušného bríčku (modelování dvojskel apod.) a prvky pro modelování cihelného zdiva.

9.1.4 Dělení na konečné prvky

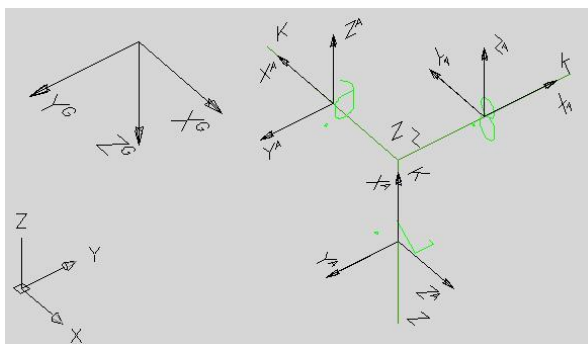
Dělení na konečné prvky se provádí automaticky generátorem. Ve výpočtech celků konstrukcí nebo jejich částí daných postupem výpočtu je základní velikost prvku jeden metr. V místech anomálií konstrukce program automaticky prvky přizpůsobuje geometrii, v místech předpokládaných lokálních zvýšení namáhání konstrukce jsou prvky zahuštěny.

Ve výpočtech subkonstrukcí a zejména konstrukcí dimenzovaných nebo řešených s ohledem na mezní stavy použitelnosti, odpovídá velikost dělení jedno až dvojnásobku tloušťky dotčených prvků. Stropní desky jsou dimenzovány na patrovém výseku. Vertikální nosné konstrukce pod i nad deskou jsou redukovány na polovinu jejich výšky a opatřeny na koncích kloubovými podporami. Jedná se pochopitelně o určité zjednodušení, ale ve většině praktických příkladů vnáší do výpočtu minimální chybu. Konstrukce, u nichž toto zjednodušení nelze použít, jsou řešeny na celkovém modelu s patřičně zjemnělou sítí konečných prvků. U patrových výseků jsou sloupy modelovány buďto pomocí bríčků, nebo je do desky vložen deskový prvek půdorysných rozměrů rovných průřezu sloupu s výrazně zvýšenou tuhostí, tak aby byla potlačena teoretická konvergence vnitřních sil k nekonečnu v lomových bodech. Tyto makroprvky neprobíhají procesem dimenzování.

Pro odladění hustoty dělení byla firmou RECOC provedena celá řada kontrolních výpočtů.

9.1.5 Souřadnicové systémy

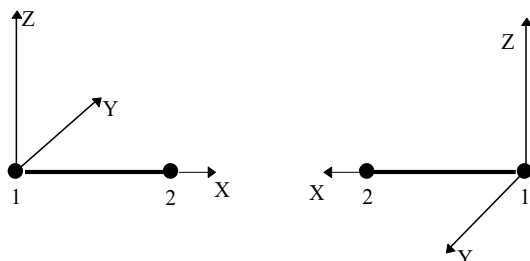
Konstrukce je modelována v globálním souřadnicovém systému – X^G, Y^G, Z^G .



Obrázek 2 Globální souřadný systém

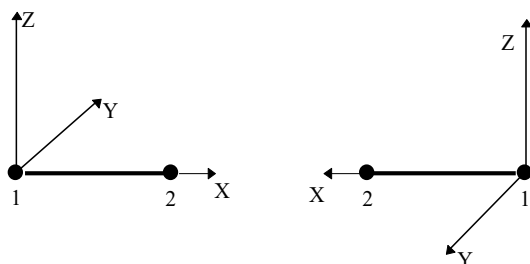
Pro každý prutový prvek je zaveden lokální souřadný systém – X^L , Y^L , Z^L . Ty jsou definovány následovně:

U vodorovného prutu rovnoběžného s globální osou X:



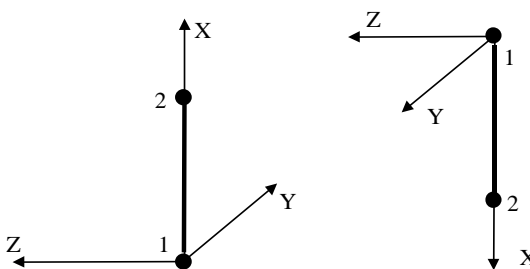
Obrázek 3 Axiální souřadný systém prutů

U vodorovného prutu rovnoběžného s globální osou Y:



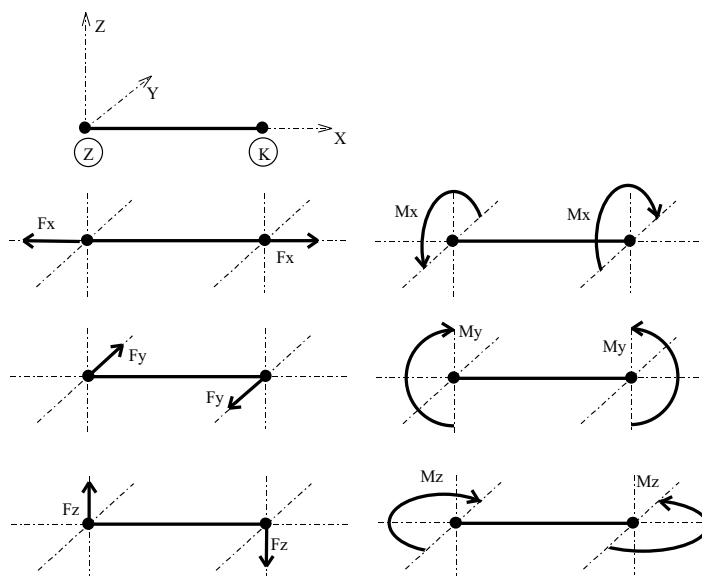
Obrázek 4 Axiální souřadný systém prutů

U svislého prutu rovnoběžného s globální osou Z:



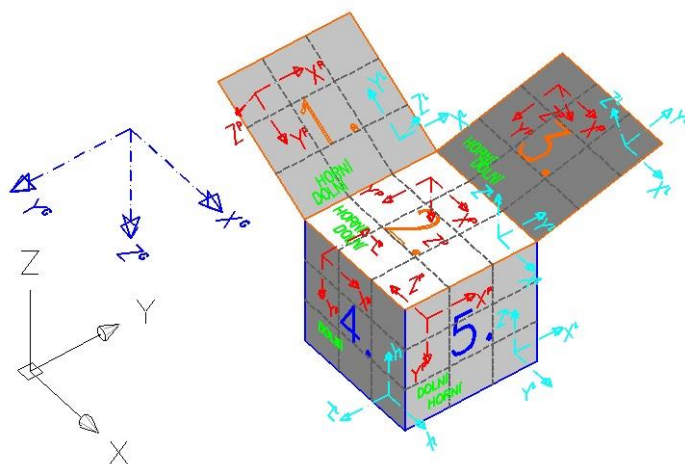
Obrázek 5 Axiální souřadný systém prutů

Z uvedeného vyplývají i konvence vnitřních sil na prutech:



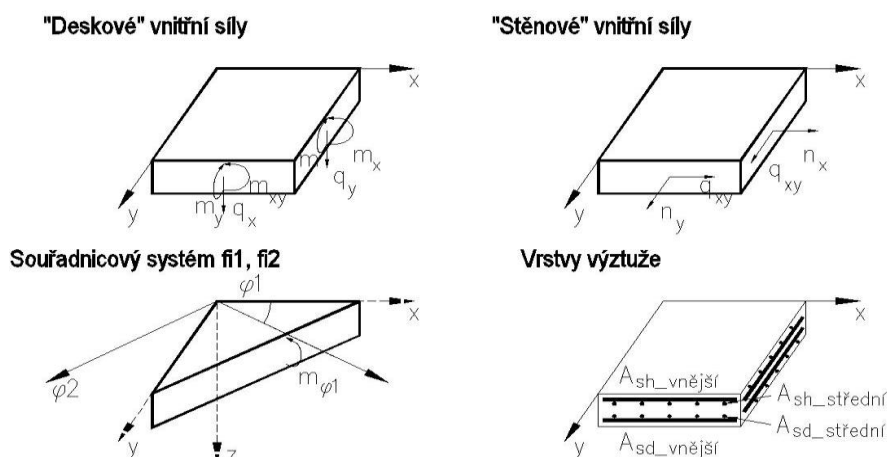
Obrázek 6 Konvence vnitřních sil na prutech

Plošné prvky mají také lokální souřadnicový systém, ten je však pomocný. Deskostěnové prvky mají další systém - planární – X^p , Y^p , Z^p , na obrázku vpravo. Definice a konvence jsou patrné z obrázku.



Obrázek 7 Souřadné systémy plošných deskostěnových prvků

Znaménková konvence a značení vnitřních sil a poloh výztuže je tato:



Obrázek 8 Konvence vnitřních sil na plošných prvcích

9.1.6 Interakce s podložím

Pro interakci se základovou půdou používá RENEX3D dvouparametrické Pasternakovo podloží. Hodnoty c_1 a c_2 jsou generovány pomocí iteračních výpočtů v souladu s postupy použitými v programu SOILIN. Bližší informace viz manuál programu SOILIN. Pilotové základy jsou modelovány pomocí pérových konstant, daných výpočtem piloty s ohledem na její sedání. V některých případech jsou modelovány kloubovými podporami. Piloty, stejně jako další geotechnické konstrukce, jsou řešeny pomocí programů FINE.

9.1.7 Zatížení a jejich kombinace

Zatížení je buďto generováno automaticky – vlastní tíha konstrukce - (v provozních hodnotách) nebo zadáváno (v provozních nebo extrémních hodnotách). Hodnoty stálých zatížení jsou počítány v tabulkovém procesoru Excel, užitná nepodkrají příslušné normové hodnoty, jejich skutečná hodnota se řídí požadavky klienta a technologů. Zatížení je možné zadávat silové plošné konstantní velikosti nebo s lineárním nárůstem, liniové a bodové silové nebo momentové a zatížení poměrnými přetvořeními.

V patrových výsecích jsou z celoplošného užitého zatížení automaticky generovány dva systémy šachovnicového zatížení a čtyři systémy zatížení v pruzích.

Kombinace (obalové plochy zatěžovacích stavů) vystihují nejnepříznivější kombinace jednotlivých zatěžovacích stavů na konstrukci nebo její části podle účelu příslušného výpočtu.

Dimenzovací programy pracují obecně s obalovou plochou kombinací.

Program umožňuje automatické generování kombinací zatěžovacích stavů definovaných symbolickými rovnicemi v EC. V ČSN EN 1990:2004, rovnice číslo (6,9a) až (6,12b) a (6,14a) až (6,16b). Bližší viz samostatná kapitola Zatěžovací stavy a jejich kombinace.

9.2 Nelineární výpočty

Systém umožňuje celou řadu nelineárních výpočtů. Je to zejména interakce vrchní stavby s podložím, kdy program doiterovává parametry zeminy v závislosti na geologických poměrech a kontaktním napětí v základové spáře včetně vyloučení tahu v ní.

Dále jsou to fyzikálně nelineární výpočty železobetonových skořepin s uvažováním pracovních diagramů betonu i oceli a s uvažováním vlivu dotvarování, rozvoje a šířky trhlin (tento modul byl vyvinut a odladěn v RECOC, spol. s r.o. ve spolupráci s FEM Consulting s.r.o. a Dlubal Software GmBh.). Systém pracuje s tzv. rozmazanými trhlami, předikuje tedy jen možnost vzniku trhliny, její případnou šířku a hloubku a výpočtovou vzdálenost. Šířka trhliny je počítána nejen podle ČSN EN 1992-1-1, ale i podle řady

dalších metodik. Tímto výpočtem je možné zjistit i namáhání betonu v průřezu, napětí v tažené i tlačené výztuži, vlivu tzv. Tension Stiffening atd.

Do modulu je implementováno i dotvarování, opět primárně podle ČSN EN 1992-1-1, ale i podle modelu B3 Prof. Z. P. Bažanta a jeho spolupracovníků.

Zdivo jako nosný materiál je také možno řešit nelineárně, a to stanovením různých tuhostí materiálu ve směrech ortotropie. Program automaticky kontroluje dosažení hlavního tahu a podle směru hlavních napětí stanovuje směry ortotropie s nulovými prvky v matici tuhosti prvku ve směru tahu.

Dále je možno řešit pruty s vyloučeným tahem či tlakem a vzdušné bricky, lana, membrány atd.

Konstrukce mohou být řešeny v deformovaném tvaru – tedy geometricky nelineárně.

Nelineární výpočty používají několik výpočtových metod, jejich popis přesahuje rámec zprávy. Jsou možné prakticky libovolné kombinace různých druhů nelinearit.

9.2.1 Dynamické výpočty

Dynamické výpočty jsou v software RENEX3D založeny na metodě rozvoje do vlastních tvarů (tzv. modální analýza). Základní úlohou je tedy řešení vlastního kmitání. Výpočtem se určují vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání.

Pro uvažování zatížení seismicitou byl výpočet vlastních tvarů konstrukce proveden pro 20 frekvencí, tak aby součet efektivních modálních hmot vlastních tvarů kmitání byl větší než 90 % celkové hmotnosti konstrukce, což se u tohoto typu konstrukce považuje za dostačující.

Při výpočtu vlastního kmitání se řeší soustava rovnic ve tvaru

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{r}} + \mathbf{K} \cdot \mathbf{r} = \mathbf{0}$$

kde \mathbf{r} je vektor posunů a pootočení uzlů ($\ddot{\mathbf{r}}$ je vektor jejich zrychlení), \mathbf{K} je matice tuhosti sestavená již při statickém výpočtu a \mathbf{M} je matice hmotnosti, sestavená při výpočtu vlastního kmitání. Řešení rovnice vlastního kmitání se provádí metodou iterace podprostoru.

9.2.2 Algoritmus dimenzování skořepinových prvků

Plošné skořepinové prvky je možno dimenzovat pomocí vestavěného dimenzovacího modulu. Postup dimenzování je následující.

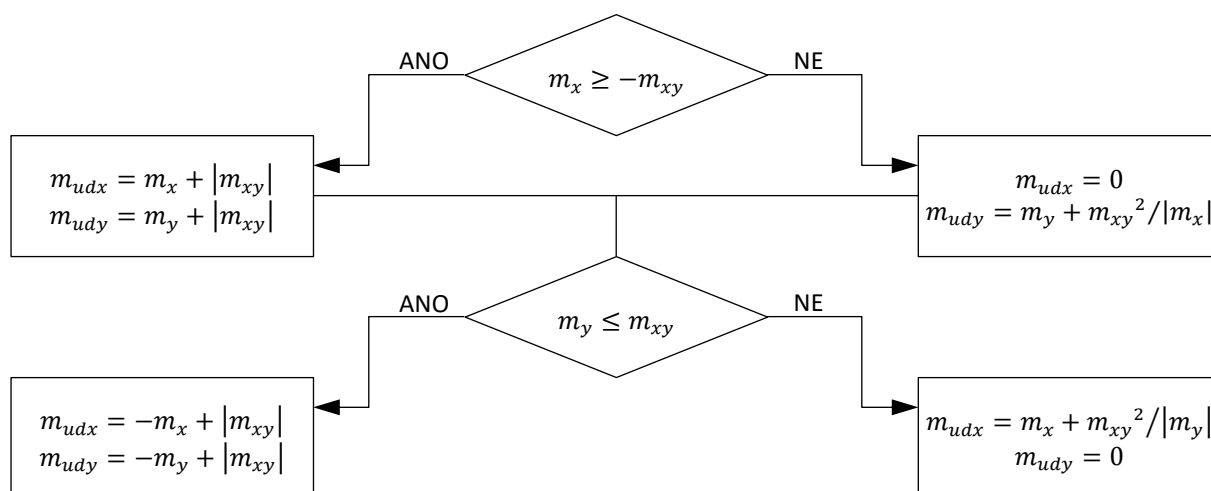
Na základě výpočtu vnitřních sil příslušné kombinace (jedná se o obalové plochy, tedy i kombinace z kombinací) jsou vypočteny vnitřní síly ($n_x, n_y, q_{xy}, m_x, m_y, m_{xy}, q_x, q_y$)^P. První trojice popisují membránovou resp. rovinnou napjatost, další tři ohyb a kroucení v desce a poslední dvě příčný smyk. Z těchto vnitřních sil jsou spočteny tzv. dimenzování vnitřní síly (pokud není směr výztuže totožný se směry planárního souřadného systému prvku, provede se nejprve transformace vnitřních sil ze systému planárního do souřadného systému definovaného směrem výztuže). Dimenzační ohybové momenty (bližší viz str. 109 a následující manuálu RENEX3D, resp. Appendix 2) jsou spočteny jak pro horní, tak dolní líc skořepiny pro oba směry výztuže. Naprosto analogicky se počítají dimenzační normálové síly v membránové části. Dále jsou zavedeny veličiny normálové síly v rovinách jednotlivých vrstev výztuže, jejich velikosti jsou spočteny podle jednoduchého statistického principu $n^P = +m/r + n/2$, resp. $n^P = -m/r + n/2$. Tyto veličiny mohou být vykresleny jako normálové síly $n_{i(j)}$, kde $i = 1, 2, 3$ značí číslo vrstvy výztuže od povrchu a $j = h, d$ pro horní a dolní povrch. Tyto normálové síly děleny pevností betonářské výztuže R_{sd} , resp. f_{yd} potom dávají plochy potřebné betonářské výztuže.

Program umožňuje vykreslit jak veškeré uvedené veličiny, tak přímo potřebné plochy betonářské výztuže v cm^2/m' , ale i v podobě počtu profilů definované oceli na běžný metr nebo rozteč vložek zadaného průměru.

Kromě ploch potřebné výztuže jsou označeny prvky, které z různých důvodů nelze dimenzovat s vypsáním důvodu. Tyto údaje je nutné brát s rezervou v místě singularit.

Popis všech algoritmů viz Appendix manuálu RENEX3d nebo teoretické manuály FEM Consultingu Brno.

Algoritmus pro výpočet vnitřních sil:



Požadované výpočtové momenty lze určit také z rovnic:

$$\begin{aligned} m_{udx} &= m_x + \gamma \cdot |m_{xy}| & m_{udx}' &= -m_x + \gamma' \cdot |m_{xy}| \\ m_{udy} &= m_y + \frac{1}{\gamma} \cdot |m_{xy}| & m_{udy}' &= -m_y + \frac{1}{\gamma'} \cdot |m_{xy}| \end{aligned}$$

přičemž γ a γ' jsou součinitele, které se volí tak, aby rovnice dávaly hodnoty mezi polovinou a dvojnásobkem hodnot určených podle vývojového diagramu.

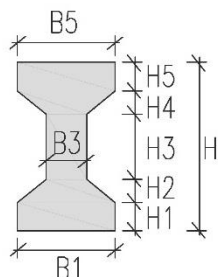
Schopnost průřezu odolávat dané kombinaci momentů je dostatečná, jsou-li splněny tyto podmínky:

$$\begin{aligned} -(m_{udx} - m_x) \cdot (m_{udy} - m_y) + m_{xy}^2 &\leq 0 & -(m_{udx} + m_x) \cdot (m_{udy} + m_y) + m_{xy}^2 &\leq 0 \\ m_x &\leq m_{udx} & m_y &\leq m_{udy} \\ m_x &\geq -m_{udx} & m_y &\geq -m_{udy} \end{aligned}$$

9.2.3 Schémata uživatelsky definovaných průřezů

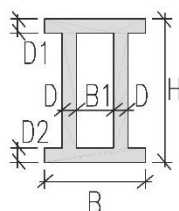
ÍČKO ZOBECNĚNÉ

H/B_{\max} ($H_5; H_4; H_3; H_2; H_1; B_5; B_3; B_1$)



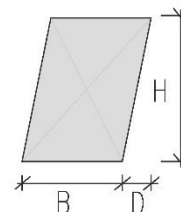
II-PROFIL

B/H ($D; B_1; D_1; D_2$)
tenkostěnný průřez



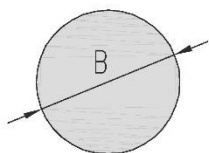
KOSODÉLNÍK

$B/H/D$



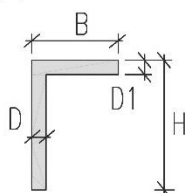
KRUH

B



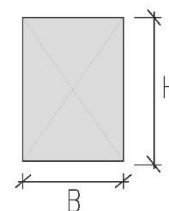
L-PROFIL

B/H ($D; D_1$)
tenkostěnný průřez



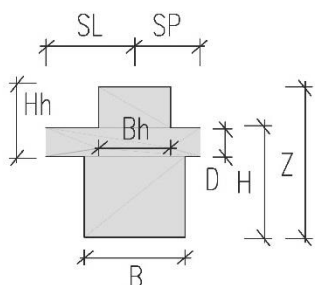
OBDELNÍK

B/H



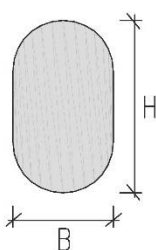
OBDELNÍK V DESCE

$B_{\max}/Z/D$ ($B_h; B/H_h; H$) [SL/SP]



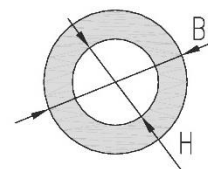
OVÁL

B/H



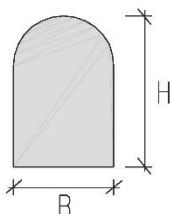
PRSTENEC

B/H



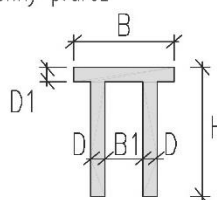
PŮLOVÁL

B/H



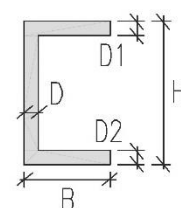
TT-PROFIL

B/H ($D; B_1; D_1$)
tenkostěnný průřez



U-PROFIL

B/H ($D; D_1; D_2$)
tenkostěnný průřez

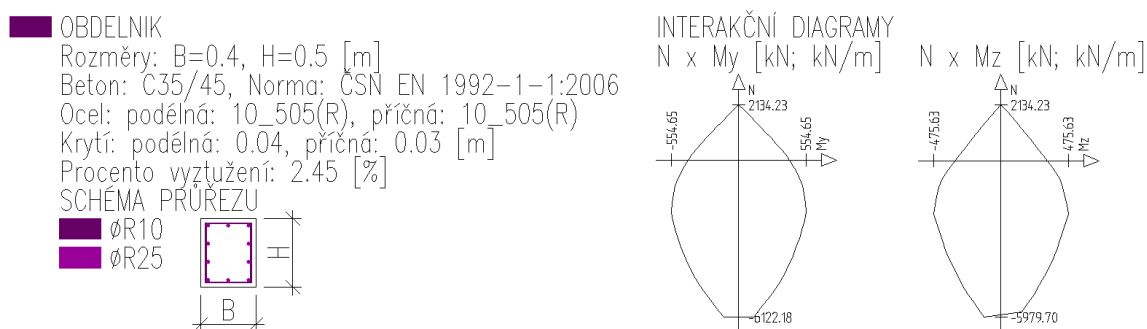


Obrázek 9 Uživatelsky tvořené průřezy

9.2.4 Hromadné posudky tyčových prvků

Železobetonové prutové prvky obdélníkového průřezu mohou být hromadně posuzovány na kombinaci vnitřních sil normálová síla + dva ohybové momenty nebo na kombinaci normálová síla a obě posouvající síly. Kromě geometrie průřezu a navrhovaného betonu jsou u těchto prvků vloženy i informace o podélné a příčné výztuži. Podle metodiky ČSN EN 1992-1-1:2006 jsou stanoveny interakční diagramy $N \times M_y$ a $N \times M_z$. Tyto informace jsou vykresleny ve vstupních údajích. Pro příslušnou normálovou sílu je stanoven průvodič z bodu $[0, 0, 0]$ bodem $[N, M_y, M_z]$ a je vyšetřován jeho průsečík s plochou obalové 3D plochy ve vztahu k vnitřním silám. Poměr průvodiče z bodu $[0, 0, 0]$ do bodu $[N, M_y, M_z]$ a z bodu $[0, 0, 0]$ do průsečíku s interakční plochou je vykreslován jako využití příslušné části tyčového prvku. Každý průřez prvku je testován na všechny možné kombinace závislých a nezávislých veličin pro veškeré stavy, které mohou nastat podle symbolických rovnic definujících jednotlivé kombinace podle ČSN EN 1990:2004, rovnice číslo (6.9a) až (6.12b) a (6.14a) až (6.16b). Využití průřezu je vykreslováno ve výstupech ze statického výpočtu, hodnota 1,00 odpovídá 100% využití. Ve výpočtu je zahrnut vzpěr.

Fyzikální vlastnosti: Interakční diagram $[-]$



Obrázek 10 Grafický výstup průřezu prutu

Výpočtové algoritmy jsou stejné, jaké jsou použity v programech FINE.

Numerické hodnoty je možno exportovat z výpočtu do souboru *definice_kombinace.csv*. Ty je možno načíst např. do procesoru Excel ve formátu:

Kombinace: "TDSTR_A_00_MSU"											
cmp = číslo makroprvku, typ Bodu: 0...krajní, 1...vnitřní, jednotky: [kN,kNm]											
cmp	x	y	z	popis	N_x	M_y	M_z	typBodu	N_{x1}	M_{y1}	M_{z1}
3896	36,44	93,05	-11,30	minNx	-4471,3	40,0	14,0	0	-3314,7	37,3	10,9
3896	36,44	93,05	-11,30	maxNx	-2706,4	-13,7	-0,5	0	-2377,3	35,1	7,9
3896	36,44	93,05	-11,30	minMy	-3203,6	-54,2	-2,1	0	-2708,7	8,1	6,8
3896	36,44	93,05	-11,30	maxMy	-3953,1	103,9	19,6	0	-2983,3	64,3	12,0
3896	36,44	93,05	-11,30	minMz	-3245,2	-50,4	-2,3	0	-2748,4	11,7	6,6
3896	36,44	93,05	-11,30	maxMz	-3911,5	100,1	19,8	0	-2943,6	60,7	12,2

V řádcích je uvedeno číslo makroprvku; tři souřadnice průřezu; nezávislá vnitřní síla; na ní závislé zbývající vnitřní síly v návrhových hodnotách; typ průřezu (koncový nebo vnitřní průřez); tytéž vnitřní síly v charakteristických hodnotách. Každý konečný prvek prutu je posuzován ve dvou krajních a pěti vnitřních bodech (prvek je rozdělen na šestiny). Tento zápis slouží pouze jako opis vstupních hodnot do posouzení.

Soubor *.csv je možno načíst i do excelovského souboru, který provede stejné hromadné posouzení v numerických hodnotách. Je zde opis vstupních údajů průřezu a výpočet bodů interakčního diagramu s přihlédnutím k vlivu vzpěru. Dále následují posudky pro všechny stavy a průřezy uvedené výše.

9.3 Programy FINE – geotechnické programy GEO 5

9.3.1 Charakteristika programu

GEO5 je soubor programů pro geotechnické výpočty, které jsou založené jak na analytických postupech, tak i na metodě konečných prvků. Programy mají stejné uživatelské rozhraní a vzájemně spolu komunikují. Každý ze samostatných programů řeší určitou geotechnickou úlohu.

GEO5 podporuje obecné posouzení pomocí Stupně bezpečnosti, obecné posouzení podle teorie Mezních stavů, posouzení podle Eurokódů EN 1997, včetně Národních příloh, posouzení podle LRFD 2003, LRFD 2012 a posouzení podle národních norem (SNIP – Rusko, GB - Čína).

Dimenzování betonových konstrukcí je prováděno podle souboru norem ČSN EN 1992.

9.3.2 Návrhové přístupy

Prvním důležitým krokem při výpočtu podle Eurokódu je volba návrhového přístupu. Všechny návrhové přístupy počítají se součiniteli redukcujícími zatížení (F – force). Tyto součinitele přenásobují veškeré síly vstupující do výpočtu.

Návrhový přístup 1 dále zavádí redukci parametrů zemin (M – materiál). Tento přístup vyžaduje provést výpočet dvakrát pro dvě návrhové situace (redukuje se buď F , nebo M) a je nutné vybrat nejhorší variantu.

Návrhový přístup 2 zavádí redukci parametrů odporu (R – resistance), která snižuje výsledné vzdorující síly (síly vzdorující, moment na překlacení ...).

Návrhový přístup 3 redukuje parametry zemin (M) a zatížení (F) současně. Rozlišuje zatížení konstrukce (STR) a geotechnické (GEO), které mají různé součinitele.

9.3.3 Součinitelé výpočtu

Programy umožňují zvolit resp. zadat dílčí součinitele výpočtu pro zvolený návrhový přístup. Program obsahuje standardní součinitele podle EN a součinitele podle zapracovaných Národních příloh - všechny součinitele je ale možné také měnit. Dílčí součinitelé výpočtu také mohou být různé pro jednotlivé návrhové situace.

9.3.4 Návrhová situace

Program zavádí návrhové situace ve smyslu EN 1990 – trvalou, dočasnou, mimořádnou a seismickou. Návrhová situace se volí vždy pro fázi budování konstrukce. Návrhová situace určuje, která sada dílčích součinitelů bude použita pro výpočet.

9.3.5 Výpočty opěrných konstrukcí

Vlastní výpočet je výrazně komplikovanější oproti tradičnímu výpočtu. Každá síla má pro různé případy porušení jiný výpočtový součinitel podle toho, zda působí příznivě resp. nepříznivě. Např. vlastní tíha zdi při výpočtu posunutí a překlacení působí příznivě, při výpočtu únosnosti základové půdy působí nepříznivě (zvyšuje napětí), ale může působit i příznivě (při větších excentricitách). Je tedy nutné provést řadu výpočtů. Aby měl uživatel kontrolu nad výpočtem, je v programech vždy zobrazena výsledná kombinace součinitelů pro jednotlivé případy porušení.

9.3.6 Stabilitní výpočty

Ve výpočtu stability svahu jsou tíhy jednotlivých proužků přenásobeny výpočtovým koeficientem, podle toho zda výsledná síla na smykové ploše působí příznivě nebo nepříznivě. U návrhových přístupů 1 a 3 jsou dále redukovány parametry zemin, u návrhového přístupu 2 pak celkový odpor na smykové ploše. Zadané přetížení je redukováno výpočtovým koeficientem jako celek.

9.3.7 Výpočty základů

V programech se dílčími součiniteli zatížení přenásobuje vlastní tíha konstrukce resp. tíha zeminy nad patkou. Zadávané návrhové zatížení tedy musí být stanoveno v souladu s EN 1990 a EN 1991. U návrhového přístupu 1 se počítá každý zatěžovací stav zvlášť s příslušnými dílčími součiniteli podle zadaného typu výpočtové kombinace.

9.3.8 Výpočty pažení a zemních tlaků

Programy počítající s celkovým zemním tlakem, přenásobují dílčím součinitelem jednotlivé složky tlaku působící na konstrukci. Základním předpokladem výpočtu je, že aktivní tlak působí jako nepříznivé zatížení, pasivní tlak pak jako zatížení působící příznivě. Jednotlivé obrazce tlaku jsou tedy přenášeny příslušným dílčím součinitelem zatížení.

9.3.9 Použití programu

Systém programů GEO5 je používán pro řešení geotechnických úloh či výpočet zemních tlaků pro následné použití v programech RENEX.

9.4 Programy FINE EC

9.4.1 Charakteristika programu

Programový systém FINE je soubor programů určených pro statické a dynamické výpočty rovinných či prostorových prutových konstrukcí a jejich dimenzování. Řada programů řeší problémy analyticky, část metodou konečných prvků. Veškeré posudky jsou prováděny v souladu s platnými ČSN EN.

10 Zatěžovací stavy a jejich kombinace

10.1 Kombinace podle metodiky EN 1990:2004

Kombinace pro ověřování mezních stavů únosnosti v trvalých a dočasných návrhových situacích dle NA ČSN EN 1990 čl. 2.4 a 2.5:

Pozn.:

Složené závorky „{ }“ představují výběrovou množinu, z níž je do kombinace vybírán vždy nejvíce nepříznivý účinek požadované veličiny.

- a) EQU – ztráta statické rovnováhy konstrukce - tab. A1.2(A)(CZ)

$$1,1G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \quad (\text{výraz 6.10})$$

$$0,9G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\}$$

- b) STR – porucha, o níž rozhoduje pevnost konstrukčního materiálu - tab. A1.2(B)(CZ) -1 (bez geotechnických zatížení)

$$1,35G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \quad (\text{výraz 6.10a})$$

$$1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\}$$

$$1,15G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \quad (\text{výraz 6.10b})$$

$$1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\}$$

- c) GEO – porucha, o níž rozhoduje odolnost základové půdy - tab. A1.2(B)(CZ), A1.2(C)(CZ) (obsahuje geotechnická zatížení)

$$1,00G_{k,j,\text{sup/inf}} + \{1,3Q_{k,1};0\} + \{1,3\psi_{0,i}Q_{k,i};0\} \quad (\text{výraz 6.10})$$

$$1,35G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1};0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i};0\} \quad (\text{výraz 6.10a})$$

$$1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1};0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i};0\}$$

$$1,15G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5Q_{k,1};0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i};0\} \quad (\text{výraz 6.10b})$$

$$1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5Q_{k,1};0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i};0\}$$

Kombinace pro ověřování mezních stavů únosnosti v seizmických návrhových situacích dle NA ČSN EN 1990 čl. 2.6:

$$G_{k,j,\text{sup/inf}} + \{\gamma_I A_{Ek}; A_{Ed}\} + \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (\text{výraz 6.12a/b})$$

Kombinace pro ověřování mezních stavů únosnosti v mimořádných návrhových situacích dle NA ČSN EN 1990 čl. 2.6:

$$\{G_{k,j,\text{sup}}; G_{k,j,\text{inf}}\} + A_d + \{\psi_{1,1}; \psi_{2,1}\}Q_{k,1} + \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (\text{výraz 6.11a/b})$$

Kombinace pro ověřování mezních stavů použitelnosti dle ČSN EN 1990 čl. A1.4, tabulka A1.4:

- d) Charakteristická

$$\{G_{k,j,\text{sup}}; G_{k,j,\text{inf}}\} + Q_{k,1} + \psi_{0,i}Q_{k,i} \quad (\text{výraz 6.14})$$

- e) Častá

$$\{G_{k,j,\text{sup}}; G_{k,j,\text{inf}}\} + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (\text{výraz 6.15})$$

- f) Kvazistálá

$$\{G_{k,j,\text{sup}}; G_{k,j,\text{inf}}\} + \psi_{2,1}Q_{k,1} + \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (\text{výraz 6.16})$$

Zatížení je ve smyslu ČSN EN podle proměnnosti v čase klasifikováno takto:

G	– stálá zatížení,
S	– geotechnická stálá,
P	– zatížení od předpětí (stálá))
Q	– proměnná zatížení
A	– mimořádná zatížení

$G_{k,j,\text{sup}}$	– horní charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení (95% kvantil)
$G_{k,j,\text{inf}}$	– dolní charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení (5% kvantil)
$Q_{k,1}$	– charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$Q_{k,i}$	– charakteristická hodnota i-tého proměnného zatížení
ψ_0	– součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_1	– součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
ψ_2	– součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy; tíha vozidla $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy; $30\text{kN} < \text{tíha vozidla} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0,7	0,2	0
Zatížení sněhem, stavby umístění $H > 1000\text{m n. m.}$	0,7	0,5	0,2
Zatížení sněhem, stavby umístění $H \leq 1000\text{m n. m.}$	0,5	0,2	0
Zatížení větrem	0,6	0,2	0
Zatížení teplotou (ne od požáru)	0,6	0,5	0

10.2 Zatížení příčkami

Zatížení příčkami je zadané plošně podle ČSN EN 1991-1-1 6.3.1.2 (8) pro lehké přemístitelné příčky s vlastní tíhou

- do 1,0 kN/m včetně hodnotou 0,5 kN/m²,
- do 2,0 kN/m včetně hodnotou 0,8 kN/m²,
- do 3,0 kN/m včetně hodnotou 1,2 kN/m².

Plošné zatížení je připočteno k hodnotě užitého zatížení uvedeného v Tabulce 6.2, resp. Tab 6.2(CZ).

Takže toto sečtené užité zatížení je společně redukováno podle Tab. A1.4 normy ČSN EN 1990.

Těžší příčky (třeba v bytech atd.) jsou zadávány podle ČSN EN 1991-1-1 6.3.1.2 (9) polohou a směrem, jinými slovy liniovým zatížením. Zatížení je uvažováno jako zatížení stálé.

Shora uvedené platí pro mezní stavy únosnosti, tedy rovnice EQU, STR a GEO (rovněž tak seismické a mimořádné návrhové kombinace).

Pro posouzení konstrukce podle mezních stavů použitelnosti je zatížení příčkami zadáno vždy jako zatížení stálé. Jedná se o rovnice pro charakteristickou, častou a kvazistálou návrhovou situaci.

10.3 Zatížení při výpočtu tzv. bílých van

Podle Technického pravidla České betonářské společnosti ČSSI číslo 04 - Vodonepropustné betonové konstrukce se konstrukce vyrobené ze železobetonu mají posuzovat na kvazistálou kombinaci, tedy podle ČSN EN 1990 rovnicí $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki}$. Protože fyzikálně nelineární výpočet je možné provádět pouze na lineární kombinaci, je tato kombinace převedena na tvar $\sum G_{kj} + 1,0 \cdot Q_1 + \sum \psi_{2i} Q_{ki}$, kde Q_1 je zatížení vyvolané tlakem vody. Hodnoty součinitelů ψ jsou pro ostatní proměnná zatížení uvažovány podle Tabulky A1.1 normy ČSN EN 1990.

Pro předpínané konstrukce má být použita častá kombinace $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$.

Výpočet je proveden na lineární kombinaci $\sum G_{kj} + P_k + 1,0 \cdot Q_1 + \sum \psi_{2i} Q_{ki}$. Tyto dva výpočty jsou prováděny na tzv. ustálenou hladinu spodní vody podle IGP nebo HGP.

Pro výpočet účinků maximální hladiny spodní vody podle závěrů inženýrsko-geologického průzkumu je použita mimořádná kombinace $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + A_d + (\psi_{11} \text{ nebo } \psi_{21}) Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$

10.4 Názvy zatěžovacích stavů a kombinací v programu RENEX 3D

Názvy zatěžovacích stavů jsou programem generovány s prefixem, který charakterizuje způsob automatického nakládání s příslušným zatěžovacím stavem v rámci symbolických rovnic podle ČSN EN.

Název zatěžovacího stavu má formát: **ABBC_jméno**

- A** – typ zatížení podle EC (G – stálá zatížení, S – geotechnická stálá, P – zatížení od předpětí (stálá), Q – proměnná zatížení, A – mimořádná zatížení)
- BB** – pořadové číslo v typu zatížení A
- C** – kategorie proměnných zatížení podle výše uvedené tabulky
- _** – oddělovací znak
- Jméno** – uživatelem definovaný název zatěžovacího stavu

Kombinace jsou generovány automaticky podle uživatelem zvolené symbolické rovnice. Název kombinace má opět automaticky generovaný prefix, který umožňuje kontrolu, o jaký typ symbolické rovnice se jedná.

Název kombinace má formát: **AABBB_C_jméno**

- AA** – typ kombinace (pro MSÚ jsou to: TD – trvalá a dočasná, MI – mimořádná, SE – seismická, pro MSP jsou to: CH – charakteristická, CA – častá, KV – kvazistálá),
- BBB** – typ porušení dle 6.4.1 jen pro MSÚ (EQU – ztráta stability, STR – porucha, kde rozhoduje pevnost materiálů, GEO – porucha nebo nadměrná deformace základové půdy, FAT – není předmětem této normy, zadává se uživatelsky – viz následující odstavec.
- _C** – postup výpočtu, používá se pouze při výpočtech pro MSÚ. U rovnic typu EQU se postupuje vždy podle tab. A1.2(A)(CZ), u kombinací typu STR_1 podle tab. A1.2(B)(CZ) výraz 6.10a a u STR_2 podle tab. A1.2(B)(CZ) výraz 6.10b, u kombinací typu GEO_1 podle tab. A1.2(C)(CZ), GEO_2 podle tab. A1.2(B)(CZ) výraz 6.10a, GEO_3 podle tab. A1.2(B)(CZ) výraz 6.10b, GEO_4 podle tab. A1.2(C)(CZ) + A1.2(B)(CZ) výraz 6.10a. Hodnoty příslušných součinitelů γ jsou uvedeny v následující tabulce. Kombinace typu MI_1 a MI_2 se liší použitím součinitelem ψ_1 nebo podle tab. A1.3(CZ) výraz 6.11a/b.

U kombinací pro MSP jsou použity znaky __.

- _** – oddělovací znak
- Jméno** – uživatelem definovaný název kombinace

	$\gamma_G -$	$\gamma_G +$	$\gamma_S -$	$\gamma_S +$	γ_Q	γ_P	γ_A
TDEQU__	1,100	0,900	1,100	0,900	1,050	1,200	-
TDSTR_1	1,350	1,000	1,350	1,000	1,500	1,200	-
TDSTR_2	1,148	1,000	1,148	1,000	1,500	1,200	-
TDGEO_1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,300	1,100	-
TDGEO_2	1,350	1,000	1,350	1,000	1,500	1,200	-
TDGEO_3	1,148	1,000	1,148	1,000	1,000	1,000	-
TDGEO_4	1,350	1,000	1,000	1,000	1,5/1,3	1,000	-

Poznámka: Symbol – značí nepříznivý účinek daného zatížení, + příznivý, Hodnota 1,148 je součinem 1,35*0,85

10.5 Uživatelem definované kombinace

Uživatelem definované kombinace mohou definovat kombinace libovolných zatěžovacích stavů a/nebo již dříve definovaných kombinací. Názvy zatěžovacích stavů

Kombinace jsou v opisu vstupních dat vypisovány v následujícím formátu (ilustrační příklad):

Výpis zatěžovacích stavů:

U___STALE1
U___STALE2
U___STALE3
U___STALE3
U___UZITNE1
U___UZITNE2
U___UZITNE3
U___UZITNE4
U___UZITNE5
U___UZITNE6

Výpis kombinací:

Kombinace: KOMB 1

Zatěžovací stav:	Součinitel	Typ	Skupina
G00 VLASTNÍ TÍHA	1,35	Stálé	
U___STALE1	1,35	Stálé	
U___STALE2	1,35	Stálé	
U___STALE3	1,35	Stálé	
U___STALE3	1.35	Stálé	
U___UZITNE1	1.50	Nahodilé	SKUPINA1
U___UZITNE2	1.50	Nahodilé	SKUPINA1
U___UZITNE3	1.50	Nahodilé	SKUPINA2
U___UZITNE4	1.50	Nahodilé	SKUPINA2
U___UZITNE5	1.50	Nahodilé	
U___UZITNE6	1.50	Nahodilé	

Poznámka: V příkladu je použit u zatěžovacích stavů prefix U___ - tedy uživatelsky kombinovaný zatěžovací stav. Ten není zpracováván předpisy podle předchozího odstavce. I tyto zatěžovací stavy mohou být označeny podle předchozího odstavce – zvyšuje to přehlednost.

Ve výpisu popsaná kombinace znamená:

Stavy označené jako stálé zatížení vstupují do kombinace vynásobené uvedeným součinitelem.

Stavy označené jako nahodilé zatížení a nezařazené do skupiny vstupují do kombinace vynásobené uvedeným součinitelem každý samostatně podle toho, zda působí nepříznivě pro definovanou veličinu – vnitřní sílu, deformaci atd.

Stavy označené jako nahodilé zatížení a zařazené do skupiny vstupují do kombinace vynásobené uvedeným součinitelem pouze tehdy, působí-li nejnepříznivěji pro definovanou veličinu – vnitřní sílu, deformaci atd. ze všech stavů ve stejné skupině. Do výsledků jde tedy maximálně jeden zatěžovací stav z definované skupiny.

Symbolickou rovnicí lze tuto kombinaci zapsat následujícím způsobem:

$$\begin{aligned} & \sum_1^3 1,3 * U_STALE_i + 1,5 * \{U_UZITNE1; U_UZITNE2; 0\} \\ & + 1,5 * \{U_UZITNE3; U_UZITNE4; 0\} + 1,5 * \{U_UZITNE5; 0\} \\ & + 1,5 * \{U_UZITNE6; 0\} \end{aligned}$$

Poznámka.: Složené závorky „{ }“ představují výběrovou množinu, z níž je do kombinace vybírán vždy jen jeden nejvíce nepříznivý účinek požadované veličiny.

11 Komentář ke grafickým výstupům

11.1 Fyzikální vlastnosti

Barevnými poli jsou zobrazeny příslušné vlastnosti. Příslušný rozměr (vlastnost) je uveden v paletě. Betony jsou uvedeny v záhlaví.

H – tloušťka prvku v m
Průřezy – je uveden geometrický tvar průřezu a rozměry v mm

11.2 Zatížení

Barevnými poli jsou zobrazeny příslušné intenzity zatížení pro dané oblasti nebo prvky v závislosti na zatěžovacích stavech. Pro každý zatěžovací stav je uvedeno samostatné schéma. Místa, kde se zatížení v daném zatěžovacím stavu nevyskytuje, jsou ponechána bez barevného označení. Velikost zatížení je uvedena v paletě v kN/m², kN/m případně kN.

11.3 Výstupy – mezní stavy únosnosti (MSÚ)

Výsledky jsou generovány lineárními výpočty.

Deformace UzG – svislá deformace v globálním souřadném systému (osa Zg směřuje dolů), údaje v mm.
Kontaktní napětí – svislé normálové napětí v základové spáře pod deskou, údaje v MPa
MxD(d) – dimenzovací moment Mx při dolním povrchu desky – viz algoritmus z odstavce 9.2.1, jsou uváděny vždy maximální a minimální hodnoty, údaje v kNm/m. MyD(d), MxD(h) a MyD(h) analogicky ve směru My a obě hodnoty u horního povrchu.
Horní vnější – staticky nutná plocha výztuže u horního líce desky ve směru číselných os, blíž k povrchu.
Horní střední – staticky nutná plocha výztuže u horního líce desky ve směru písmenných os.
Dolní vnější – staticky nutná plocha výztuže u dolního líce desky ve směru číselných os, blíž k povrchu.
Horní střední – staticky nutná plocha výztuže u dolního líce desky ve směru písmenných os.

Staticky nutná výztuž je vypočtena v závislosti na příslušném dimenzovacím momentu a analogicky určené dimenzovací normálové síle (má význam třeba při uvažování vlivu smršťování). Tato průřezová plocha výztuže zajišťuje, že průřez vyhoví z hlediska MSÚ na danou kombinaci zatížení.

V levé dolní části je vypsána kombinace zatížení včetně součinitelů zatížení a typu, pro kterou jsou výsledky publikovány.

11.4 Výstupy – mezní stavy použitelnosti

Výsledky jsou generovány nelineárními výpočty.

Deformace UzG – svislá deformace v globálním souřadném systému (osa Zg směřuje dolů), údaje v mm. Oproti hodnotě z lineárního výpočtu jsou zde zohledněny nelineární pracovní diagramy betou v tahu a tlaku a výztuže a také vznik a rozvoj trhlin v betonu.

12 Závěr

Konstrukce jsou obecně navrženy v intencích souboru platných norem ČSN. V důležitých uzlech s přihlédnutím k normám evropským. Dále jsou lokálně vzaty v úvahu další normy a doporučení CEB-FIP a FIB uvedené v kapitole 2. Z hlediska provádění betonových konstrukcí a jejich tolerancí je pak vycházeno z norem evropských (ČSN EN 206 Beton. Vlastnosti, výroba, ukládání a kritéria hodnocení a ČSN EN 13670-1 Provádění betonových konstrukcí – Část 1: Společná ustanovení).

Statický výpočet prokázal, že konstrukce, tak jak jsou navrženy, vyhovují ustanovení platných norem jak z hlediska mezních stavů únosnosti, tak z hlediska mezních stavů použitelnosti. Současně jsou navrženy s ohledem na maximální možnou hospodárnost a z toho vyplývajícího vlivu na životní prostředí.

Nejnižší rozhodující vlastní frekvence prvků bezprostředně souvisejících s tribunami jsou v rozmezí 5,3-12,36Hz, tedy oscilují kolem doporučené hodnoty 6Hz. Nejnižší frekvence 4,3Hz jsou platné pro hmoty příčlív v jednotlivých patrech uvnitř objektu, kde se nepředpokládá, že by hrozilo nebezpečí dynamického buzení.

Hodnoty dynamických součinitelů pro užité zatížení pro návrh 1.MS se pohybují v rozmezí 1,38 – 2,41.

Všechny konstrukce vykazují z hlediska dynamického namáhání potřebnou bezpečnost tak, aby v provozním stavu byly zajištěny veškeré požadavky spojené s jejich užíváním.

Nosná konstrukce **VYHOVÍ** všem příslušným ustanovením platných norem z odstavce 2.

V Praze dne 25. 6. 2020

Ing. Miloslav Smutek, Ph.D.

Autorizovaný inženýr

pro statiku a dynamiku

ČKAIT 0003778

13 Seznam obrázků

Obrázek 1	Schéma příčného řezu s označením prvků konstrukce.....	11
Obrázek 2	Globální souřadný systém.....	14
Obrázek 3	Axiální souřadný systém prutů	14
Obrázek 4	Axiální souřadný systém prutů	14
Obrázek 5	Axiální souřadný systém prutů	14
Obrázek 6	Konvence vnitřních sil na prutech	15
Obrázek 7	Souřadné systémy plošných deskostěnových prvků.....	15
Obrázek 8	Konvence vnitřních sil na plošných prvcích	16
Obrázek 9	Uživatelsky tvořené průřezy.....	19
Obrázek 10	Grafický výstup průřezu prutu	20