

projektant
Projektíl architekti s.r.o.
Malátova 13
150 00 Praha 5
hlavní architekt
Ing. arch. Adam Halíř

projektant části dokumentace
RECOC s.r.o.
Seydlerova 2451
158 00 Praha 5
vypracoval
Matěj Smutek
kontroloval
Ing. Miloslav Smutek PhD.
odpovědný projektant
Ing. Miloslav Smutek PhD.

objednatel
Obec Líbeznice
Mělnická 43
250 65, Líbeznice
IČO 002 40 427

projekt
**PAVILON PRVNÍHO
STUPNĚ ZÁKLADNÍ
ŠKOLY V LÍBEZNICÍCH**
Měšická
250 65, Líbeznice

stupeň dokumentace
Dokumentace pro provedení stavby

část dokumentace
Dokumentace objektů

stavební objekt
SO01 Pavilon základní školy

profesní část
Stavebně konstrukční část

datum
31.7.2014

měřítko

počet formátů
17 x A4

revize
00

geodetické údaje
Souřadnicový systém JTSK
Výškový systém BpV
±0,000 = 226,650

jméno přílohy
STATICKÝ VÝPOČET

stupeň
DPS paré

stavební objekt
SO 01

kód profese
KST

část . číslo výkresu
D.1.1.2.3



S.R.O. - STATICKÁ KANCELÁŘ

Projektová dokumentace pro provedení stavby Podrobný statický výpočet

Stavba:

Základní škola Líbeznice

Investor:	Obecní úřad Líbeznice Líbeznice Okr. Praha - východ
Objednatel:	PROJEKTIL ARCHITEKTI, s.r.o. Malátova 13 150 00 Praha 5
Zpracovatel:	RECOC s.r.o. Seydlerova 2451/8 158 00 Praha 13
Autoři:	Ing. Miloslav Smutek, Ph.D.

1 Obsah

1	Obsah	2
2	Soubor použitých norem a literatury:	3
2.1	Řada norem ČSN	3
2.2	Řada norem ČSN EN	3
2.3	Technická pravidla České betonářské společnosti ČSSI	3
2.4	Řada Evropských norem a jejich teoretických zdrojů	3
3	Použité podklady a literatura	4
4	Použité programy	4
5	Charakteristika konstrukce	4
5.1	Charakteristika nosné konstrukce	4
5.2	Základová deska	4
5.3	Nosné stěny	4
5.4	Stropní konstrukce	5
6	Výpočtový model	5
6.1	Výpočetní program	5
6.2	Celkové modely	5
7	Uvažovaná zatížení	6
8	FEM výpočet	6
8.1	RENEX	6
8.1.1	Charakteristika programu	6
8.1.2	Použité prvky	6
8.1.3	Použití programu	7
8.1.4	Dělení na konečné prvky	7
8.1.5	Souřadnicové systémy	8
8.1.6	Interakce s podložím	8
8.1.7	Zatížení a jejich kombinace	8
8.1.8	Algoritmus dimenzování skořepinových prvků	9
8.1.9	Hromadné posudky tyčových prvků	10
9	Zatěžovací stavy a jejich kombinace	11
9.1	Kombinace podle metodiky EN 1990:2004	11
9.2	Názvy zatěžovacích stavů a kombinací v programu RENEX 3D	13
9.3	Uživatelsky definované kombinace	14
10	Materiálové charakteristiky	15
10.1	Betony podle ČSN EN 1992-1-1	15
10.2	Měkká výztuž podle ČSN EN 1992-1-1	15
10.3	Předpínací výztuž podle ČSN EN 1992-1-1, DIN 10458-1:2001-07	15
11	Závěr	16

2 Soubor použitých norem a literatury:

2.1 Řada norem ČSN

ČSN 73 1201:2010 Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

2.2 Řada norem ČSN EN

ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [změny A1,A2,Z1,Z2,Z3,Z4](#)

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 Z1,Z2,Z3,Z4,Z5; NA ed. A](#)

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem – [oprava 1,3.3; změny Z1,Z2,Z3; ed. 2, NA ed. A, změna A1](#)

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 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 Z1,Z2; ed. 2, NA ed. A](#)

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](#)

2.3 Technická pravidla České betonářské společnosti ČBSI

01 Statické výpočty, 1. Vydání 2006

2.4 Řada Evropských norem a jejich teoretických zdrojů

PrEN 1992-1 (Final draft) Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for

CEB-FIP Model Code 1990

CEB-FIB Model Code 2010 – First Complete Draft

3 Použité podklady a literatura

- [1] Architektonicko-stavební řešení, PROJEKTIL ARCHITEKTI, 07.2014
- [2] Podrobný inženýrsko-geologický průzkum,
- [3] FEM, principy a praxe metody konečných prvků, Kolář, V., Němec, I., Kanický, V. a navazující manuály k programům NEXX.
- [4] ČSN P ENV 1992-1-1, část 1.1., čl. A 2.9, str 334-338
- [5] Manuál k programu RENEX3D, RECOC s.r.o., 2013
- [6] Navrátil, J., Předpjaté betonové konstrukce, CERM 2008
- [7] Betonové konstrukce (pro cvičení v 7. semestru P), Vovec Bohumír, Jendele Milan, Filipová Jitka, Ediční středisko ČVUT, Praha 6, Zikova 4, 1990
- [8] Výpočet konstrukcí z předpjátého betonu, Zůda Karel, SNTL Praha, 1958
- [9] Předpjaté betonové konstrukce, Navrátil Jaroslav, Akademické nakladatelství CERM, 2008
- [10] Uživatelský a teoretický manuál programu RENEX3D, verze 7.01, RECOC, s.r.o., 05.2012
- [11] Studie nového modelu podloží staveb, Kolář, V., Němec, I., Academia Praha 1986

4 Použité programy

Programy RENEX - © FEM consulting Brno s.r.o., RECOC s.r.o.,
Preprocesory a postprocesory RECOC-BETON - © RECOC s.r.o.,

5 Charakteristika konstrukce

5.1 Charakteristika nosné konstrukce

Nosnou konstrukci novostavby tvoří základová deska, nosné stěny v radiálním směru a stropní deska.

5.2 Základová deska

Základová deska je navržena v tloušťce 300 mm. Půdorysně má tvar mezikruží s vnějším poloměrem cca 40 m a vnitřním cca 21,5 m. Deska je založena na hutněné pláni a hutněné vrstvě pěnoskla.

5.3 Nosné stěny

Nosné stěny jsou orientovány radiálně ve víceméně pravidelném rastru. Stěny mají tloušťku 200 mm a proměnnou výšku sledující sklon střechy. V oblasti větších místností není rastr pravidelný, ale koresponduje s dispozicemi.

5.4 Stropní konstrukce

Stropní konstrukce je navržena v tloušťce 250 mm. Její půdorysný tvar je opět mezikružím, ale s tím, že vnitřní a vnější kružnice nejsou centrické. Vnější poloměr je stejný jako u základové desky cca 40 m, ale vnitřní pouze 14,5 m. Excentricita je 1,75 m. Stropní deska je ve spádu směrem k vnějšímu okraji, tvoří tedy v prostoru přímkovou plochu, jejímiž řídicími křivkami jsou obě zmíněné kružnice. Po vnějším i vnitřním obvodu je stropní skořepina lemována nahoru obrácenými žebry, které tvoří současně atiky. V radiálním směru jsou nad skořepinu navržena radiální žebra v podstatě navazující na nosné stěny, které vynášejí vnitřní část konstrukce. Ty jsou lokálně posíleny žebrem v tangenciálním směru a dvě budou dodatečně předeprnuta tak, aby konstrukce vyhověla i z hlediska mezních stavů použitelnosti, zejména s ohledem na dlouhodobé dotvarování betonu. Stropní konstrukce je prolomena řadou světlíků čtvercového půdorysu. Ty jsou obdobně lemovány nahoru obrácenými žebry tvořícími současně atiky.

6 Výpočtový model

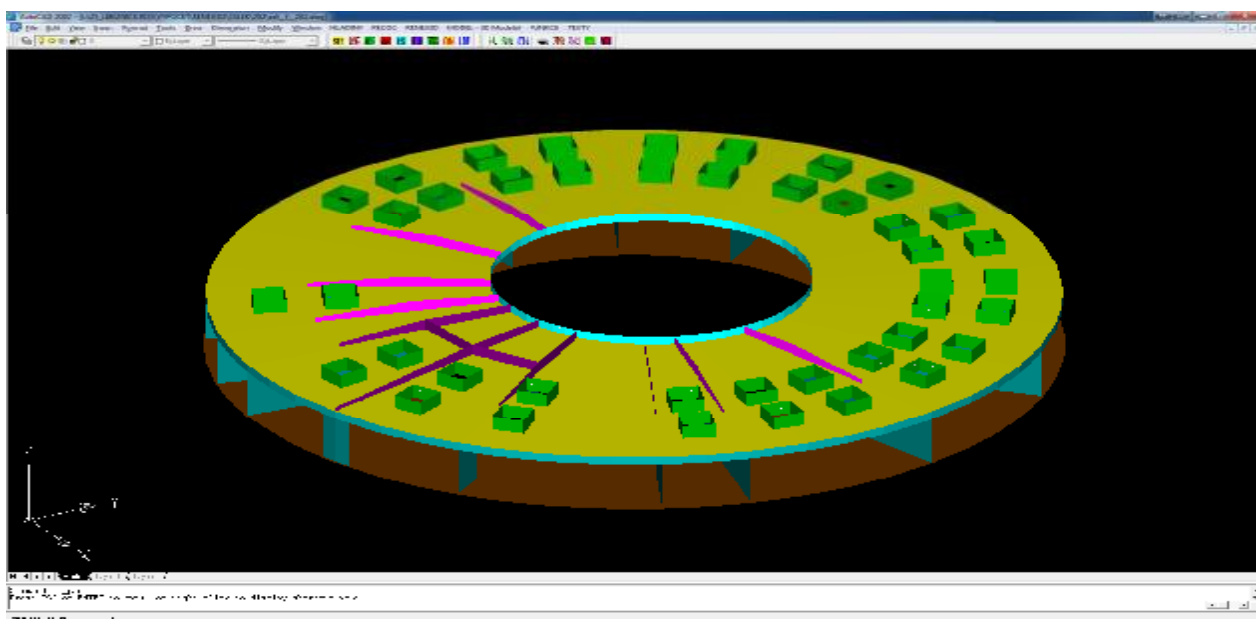
6.1 Výpočetní program

Výpočty nosné konstrukce byly provedeny metodou konečných prvků (Finite Element Method) programem RENEX3D. Bližší viz kapitola 8.

Výpočty byly provedeny na celkovém modelu konstrukce. Byly použity 1D prvky (pro trámy a sloupy) a 2D skořepinové prvky pro modelování stropních desek a stěn.

6.2 Celkový modely

Celkový model konstrukce modeluje provozní stavy budovy ve stádiu užívání. Opisy vstupních dat výpočtu, jako jsou fyzikální parametry jednotlivých konstrukcí, geometrie konstrukce a její zatížení, jsou uvedeny v samostatné příloze. Model konstrukce uvažuje interakci mezi základovou půdou a budovou.



7 Uvažovaná zatížení

Zatížení jsou uvažována podle podkladů převzatých z [1] a z příslušných norem ČSN EN 1991-1-1 až 1991-1-7. Přehled zatížení je uveden v příloze tohoto výpočtu.

8 FEM výpočet

8.1 RENEX

8.1.1 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 matematických 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 lecčem 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 popsaných 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.

8.1.2 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 popsánými 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.

Pokud se týče matematického aparátu, odkazujeme zájemce na [3].

8.1.3 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 vyvozuje, 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 předpínací 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 bricku (modelování dvojskel apod.) a prvky pro modelování cihelného zdiva.

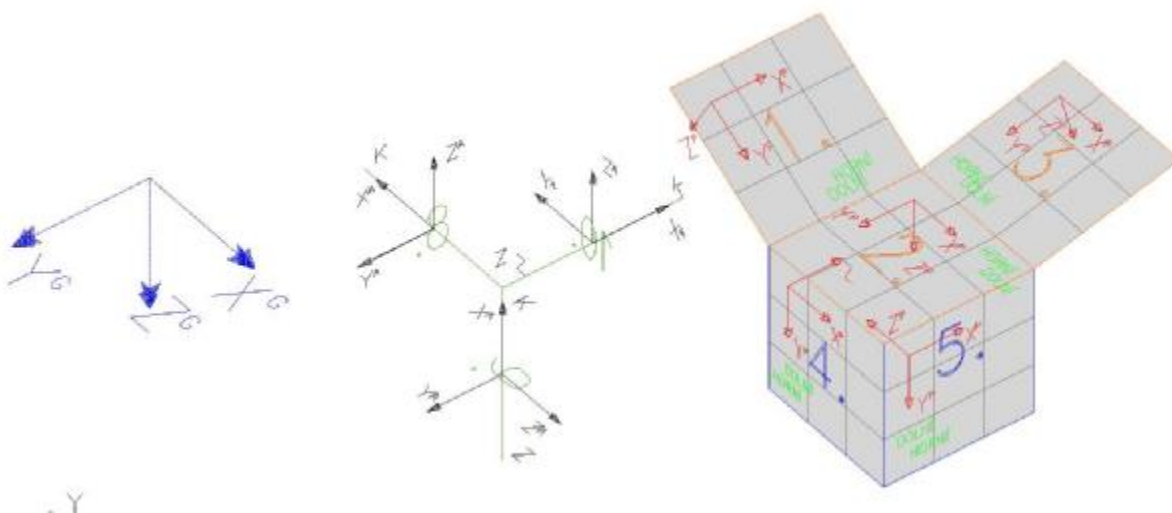
8.1.4 Dělení na konečné prvky

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 bricků 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.

8.1.5 Souřadnicové systémy



Konstrukce je modelována v globálním souřadnicovém systému – X^G , Y^G , Z^G , na obrázku vlevo. Pro každý prutový prvek je zaveden axiální systém – X^A , Y^A , Z^A , na obrázku uprostřed. Plošné prvky mají souřadnicový systém planární – X^P , Y^P , Z^P , na obrázku vpravo. Definice a konvence jsou patrné z obrázku.

8.1.6 Interakce s podloží

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 [3] a [3], případně 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.

8.1.7 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 nepodkrajují 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 užitného zatížení automaticky generovány dva systémy šachovnicového zatížení a čtyři systémy zatížení v pruzích.

Kombinace (obalové plochy zatěžovacích stavů) vystihují nejneprůzračnější 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.

8.1.8 Algoritmus dimenzování skořepinových prvků

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

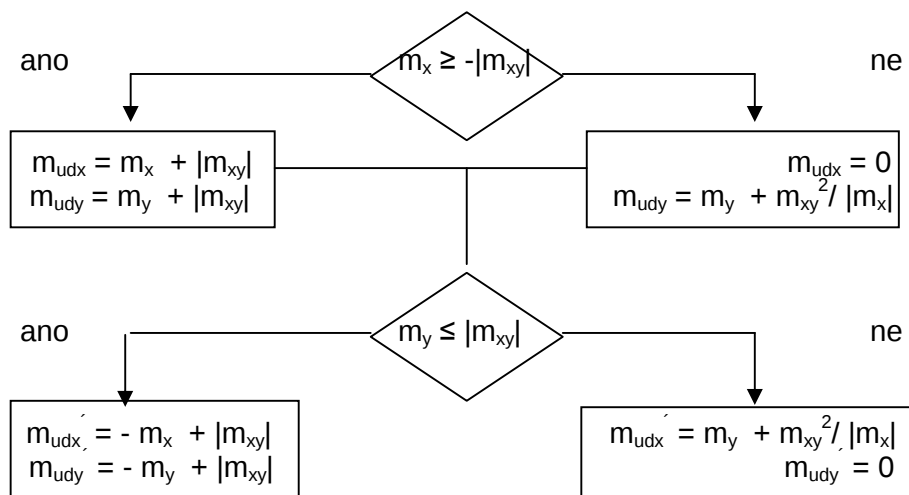
Na základě výpočtu vnitřních sil příslušné kombinace (jedná se o obalové plochy, tedy i kombinace z kombinací) jsou vypočteny vnitřní síly $(n_x, n_y, q_{xy}, m_x, m_y, m_{xy}, q_x, q_y)^P$. První trojice popisují membránovou resp. rovinnou napjatost, další tři ohyb a kroucení v desce a poslední dvě příčný smyk. Z těchto vnitřních sil jsou podle algoritmu uvedeného v [4] 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 vysláním 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 dle [4]:



Požadované výpočtové momenty lze určit také z rovnic:

$$\begin{aligned} m_{ux} &= m_x + g |m_{xy}| \\ m_{uy} &= m_y + (1/g) |m_{xy}| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{ux'} &= -m_x + g' |m_{xy}| \\ m_{uy'} &= -m_y + (1/g') |m_{xy}|, \end{aligned}$$

přičemž g a g' 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:

$$-(m_{udx} - m_x)(m_{udy} - m_y) + m_{xy}^2 \leq 0$$

$$m_x \leq m_{udx}$$

$$m_x \geq -m_{udx}$$

$$-(m_{udx} + m_x)(m_{udy} + m_y) + m_{xy}^2 \leq 0$$

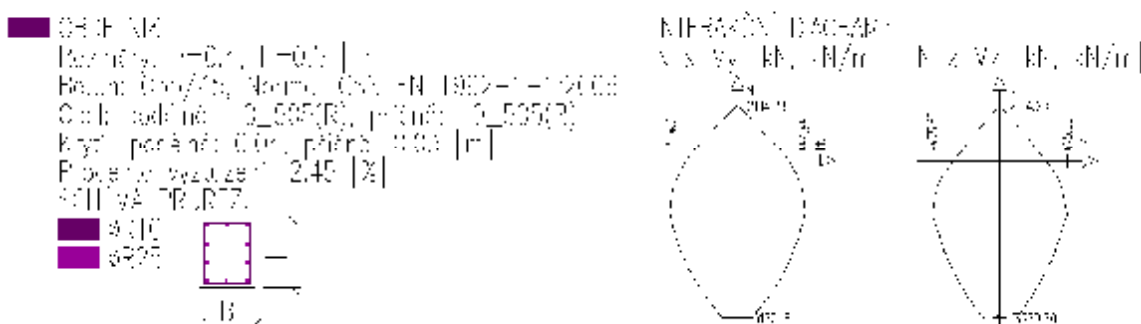
$$m_y \leq m_{udy}$$

$$m_y \geq -m_{udy}$$

8.1.9 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.

Využití vlastností: interakční diagram [-]



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

Numerické hodnoty je možno exportovat z výpočtu do souboru *definice_kombinace.cvs*. 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	Nx	My	Mz	typBodu	Nx1	My1	Mz1
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 markoprvku; 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 Zatěžovací stavy a jejich kombinace

9.1 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)

$$1,1G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5Q_{k,1};0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i};0\}$$

(výraz 6.10)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d) Charakteristická

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

e) Častá

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

f) Kvazistálá

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

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
y_0	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
y_1	součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
y_2	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

Zatížení	y_0	y_1	y_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 $\leq$ 30kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy; 30kN< tíha vozidla $\leq$ 160kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0,7	0,2	0
Zatížení sněhem, stavby umístění H>1000m n. m.	0,7	0,5	0,2
Zatížení sněhem, stavby umístění H $\leq$ 1000m n. m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem	0,6	0,2	0
Zatížení teplotou (ne od požáru)	0,6	0,5	0

9.2 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 γ_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_O	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*

9.3 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:

G00 VLASTNÍ TÍHA

U____STALE1

U____STALE2

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____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:

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

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

10 Materiálové charakteristiky

Ve výpočtech jsou použity následující fyzikálně mechanické vlastnosti materiálů.

10.1 Betony podle ČSN EN 1992-1-1

Značka	EN 206	f_{cm} [MPa]	f_{ctm} [Mpa]	E_{cm} [Gpa]	γ [kg/m ³]
C20/25	C20/25	28,0	2,20	29,0	2500
C25/30	C25/30	33,0	2,60	30,5	2500
C30/37	C30/37	38,0	2,90	32,0	2600
Poissonova konstanta		0,2	Součinitel tepelné roztažnosti		$10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$

10.2 Měkká výztuž podle ČSN EN 1992-1-1

Značka	f_{yk} [MPa]	f_{yd} [Mpa]	E_s [Gpa]
B 500	500,0	434,8	200
B 550	550,0	478,3	200
KARI	490,0	426,1	200

10.3 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
St1570/1770	15,7	1770	1539	200
St1670/1860	15,7	1860	1617	200
St1570/1770	15,5	1770	1539	200
St1570/1770	15,3	1770	1539	200

11 Závěr

Nosná konstrukce byla navržena a posouzena v intencích souboru platných norem ČSN. Z hlediska provádění betonových konstrukcí a jejich tolerancí se předpokládá užití 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 nosná konstrukce, tak jak je navržena, vyhovuje ustanovení platných norem jak z hlediska mezních stavů únosnosti, tak z hlediska mezních stavů použitelnosti. Současně je navržena s ohledem na maximální možnou hospodárnost a z toho vyplývajícího vlivu na životní prostředí.

V Praze dne 24.07.2014



Ing. Miloslav Smutek, Ph.D.
Autorizovaný inženýr
pro statiku a dynamiku
ČKAIT 0003778

Příloha 1: Opis vstupních hodnot a vybrané výstupy ze statického výpočtu