

Projektová dokumentace pro provádění stavby

D.1.2 Stavebně konstrukční řešení

D.1.2 b) Podrobný statický výpočet - **REVIZE 01 (aktualizace dle provedeného IGP)**

Fakultní nemocnice Brno

Výstavba gynekologicko-porodnické kliniky

Objekt SO-05

Stavebník:	Fakultní nemocnice v Brně Jihlavská 20 625 00 Brno
Objednatel:	Sdružení Budoucnost gynekologicko-porodnické kliniky ve Fakultní nemocnici Brno DOMY ARCHITECTS; LT PROJEKT; JIKA CZ
Zpracovatel:	RECOC, spol. s r.o. Seydlerova 2451/8 Praha 13, 158 00
Projektant:	Ing. Miloslav Smutek, Ph.D.
Tým:	Ing. Petra Müllerová Ing. Michaela Blahová; Ing. Milan Klášterka Ing. Tomáš Chmelík Ing. Vojtěch Ježek Ing. Lukáš Falta

Obsah

1	Soubor použitých norem a literatury	2
1.1	Řada norem ČSN	2
1.2	Technická pravidla České betonářské společnosti ČSSI	3
1.3	Zákony a vyhlášky	3
2	Použité podklady a literatura	3
3	Použité programy	3
4	Uvažovaná zatížení (DSP i RDS)	4
5	Použité materiály (DSP i RDS)	4
5.1	Betony podle ČSN EN 1992-1-1 (ČSN EN 206)	4
5.2	Měkká výztuž podle ČSN EN 1992-1-1	4
6	Charakteristika konstrukce	4
7	Výpočtový model	4
7.1	Výpočetní program – pozor – konkrétní akce	4
7.2	Výpočtový model	4
8	Základová deska	5
8.1	Podepření	5
8.2	Výpočtové modely	5
8.2.1	Lineární výpočet	5
9	Výpočetní aparát – FEM výpočty	5
9.1	Program RENEX3D	5
9.1.1	Charakteristika programu	5
9.1.2	Použité prvky	5
9.1.3	Použití programu	6
9.1.4	Dělení na konečné prvky	6
9.1.5	Souřadnicové systémy	6
9.1.6	Interakce s podložím	9
9.1.7	Zatížení a jejich kombinace	9
9.2	Nelineární výpočty	9
10	Zatěžovací stavy a jejich kombinace	10
10.1	Kombinace podle metodiky EN 1990:2004	10
10.2	Názvy zatěžovacích stavů a kombinací v programu RENEX 3D	12
10.3	Uživatelsky definované kombinace	12
11	Komentář ke grafickým výstupům	14
11.1	Fyzikální vlastnosti	14
11.2	Zatížení	14
11.3	Výstupy – mezní stavy únosnosti (MSÚ)	14
11.4	Výstupy – mezní stavy použitelnosti	14
12	Závěr	15
	Seznam příloh	16

1 Soubor použitých norem a literatury

1.1 Řada norem ČSN

ČSN 73 1201:2010	Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb
ČSN EN 206+A2:2021	Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
ČSN EN 1536+A1	Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty
ČSN EN 12699:2016	Provádění speciálních geotechnických prací – Ražené piloty
ČSN EN 13670	Provádění betonových konstrukcí – oprava 1
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 1991-1-3	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 1991-1-6	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 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 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 – opravy 1, 2
ČSN ISO 2394:2016	Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí.

1.2 Technická pravidla České betonářské společnosti ČSSI

TP 01 Statické výpočty | 1. vydání 2006

1.3 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.)

2 Použité podklady a literatura

- [01] Architektonicko-stavební řešení | JIKA-CZ, s.r.o., Ing. Jan Kočí, 03/2023
- [02] FEM, principy a praxe metody konečných prvků | Kolář V., Němec I., Kanický V. | a navazující manuály k programům NEXX.
- [03] Uživatelský a teoretický manuál programu RENEX3D, verze 7.01 | RECOC, spol. s r.o., 02.2019
- [04] Manuál k programu RENEX3D | RECOC, spol. s r.o., 2013
- [05] Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures | Reported by ACI Committee 209 | Bažant Z. P., Baweja S.
- [06] Program pro výpočet smršťování a dotvarování betonu | Vráblík L.
- [07] Výpočet konstrukcí z předpjatého betonu | Zůda Karel | SNTL Praha | 1958
- [08] Studie nového modelu podloží staveb | Kolář V., Němec I. | Academia Praha 1986
- [09] 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.
- [10] Inženýrskogeologický průzkum pro objekty GPK SO.01 a SO,05, Brno – FN Bohunice, GPK, GEOTest, Ing. Martina Bulgurovská, 10/2024

3 Použité programy

Programy RENEX
Preprocesory a postprocesory RECOC-BETON
Tabulkové procesory Excel

© FEM consulting Brno s.r.o., RECOC, spol. s r.o.,
© RECOC, spol. s r.o.,
© RECOC, spol. s r.o.

4 Uvažovaná zatížení (DSP i RDS)

Zatížení jsou převzata z norem ČSN EN 1991-1-1 až 1991-1-7.

Stálá zatížení byla vypočtena podle podkladu [01] – viz příloha tohoto výpočtu.

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.
- Proměnná zatížení – užitná:
 - plošné zatížení (údržba) – 5 kN/m²
 - zatížení od technologie dle hmotnosti zařízení

5 Použité materiály (DSP i RDS)

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.

Při posuzování starých konstrukcí je postupováno podle normy ČSN ISO 13822:2005 Zásady navrhování – Hodnocení existujících konstrukcí, Tabulky NC.1 – NC.8. Norma byla nahrazena normou ČSN ISO 13822:2014, ve které však byly tyto tabulky vypuštěny.

5.1 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]
C30/37	C30/37	38	2,9	33	2600
Poissonova konstanta		0,2	Součinitel tepelné roztažnosti		10,10 ⁻⁶ K ⁻¹

5.2 Měkká výztuž podle ČSN EN 1992-1-1

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

6 Charakteristika konstrukce

Konstrukce je základová deska pro zásobník na kapalný kyslík. Deska má obdélníkový půdorys o rozměrech 5,5 m x 3 m a tloušťku 600 mm. Založení je na základě [10] navrženo jako plošné.

7 Výpočtový model

7.1 Výpočetní program – pozor – konkrétní akce

Výpočty základové desky byly obecně prováděny metodou konečných prvků (Finite Element Method) programem RENEX3D. Bližší viz kapitola 9.

7.2 Výpočtový model

Model konstrukce modeluje provozní stav ve stádiu užívání. Opisy vstupních dat výpočtu, jako jsou fyzikální parametry konstrukce, geometrie konstrukce a její zatížení, jsou uvedeny v příloze.

Výpočtovým modelem bylo ověřeno základní koncepční řešení nosné konstrukce, byla posouzena stabilita konstrukce a byly stanoveny rozměry nosné konstrukce.

8 Základová deska

Základová deska je dimenzovaná na základě výsledků celkového výpočtového modelu.

8.1 Podepření

Na základě provedeného doplňkového IGP v místě stavby bylo založení desky navrženo finálně jako plošné, bez nutnosti použití pilot. Podloží pod základem bude nutné přehutnit na požadované parametry $E_{\text{def},2} = 40$ MPa a zároveň $E_{\text{def},2} / E_{\text{def},1} \leq 2,5$. Základovou spáru je nutné důsledně ochránit před nepříznivými klimatickými vlivy – déšť, mráz.

Pod 2D makroprvek modelující základovou desku byly zadány parametry Winkler-Pasternakovského podloží. Hodnoty pérových (Winklerovských) konstant $C1x = C2x = 2 \text{ MN/m}^3$, $C1z = 6 \text{ MN/m}^3$.

8.2 Výpočtové modely

8.2.1 Lineární výpočet

Pro výpočet vnitřních sil byl proveden lineární výpočet se shora uvedeným podepřením. Kombinace byly řešeny jednak symbolickými rovnicemi podle ČSN EN 1990, jednak uživatelsky zadanými kombinacemi. Opis kombinací je uveden v příloze č. P01.

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 staticků 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 lecčem je dokonce předčí. Metoda konečných prvků umožňuje řešení velkých a složitých konstrukcí s prakticky libovolnými okrajovými podmínkami mj. svojí stabilitou a robustností použitých řešičů. Model používá konečné prvky v deformační variantě. Obecně lze říci, že MKP je zobecněná Ritz-Galerkinova variační metoda, užívající bázeových 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 ke 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 bázeových 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 popsány 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].

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 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 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 bricku (modelování dvojskel apod.) a prvky pro modelování cihelného zdiva.

9.1.4 Dělení na konečné prvky

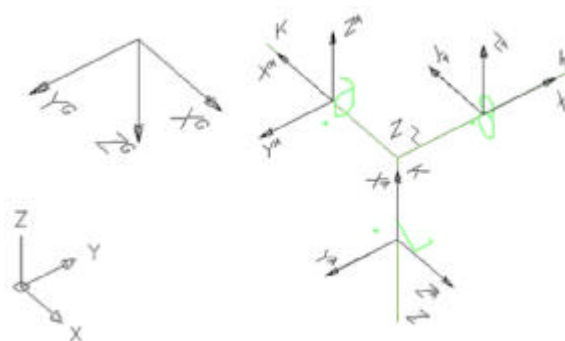
Dělení na konečné prvky se provádí automaticky generátorem. Ve výpočtech celků konstrukcí nebo jejich částí daných postupem výpočtu je základní velikost prvku jeden metr. V místech anomálií konstrukce program automaticky prvky přizpůsobuje geometrii, v místech předpokládaných lokálních zvýšení namáhání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

9.1.5 Souřadnicové systémy

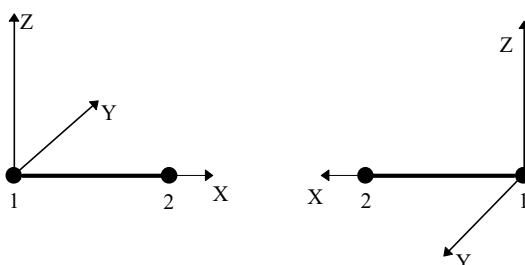
Konstrukce je modelována v globálním souřadnicovém systému – X^G , Y^G , Z^G .



Obrázek 1 Globální souřadný systém

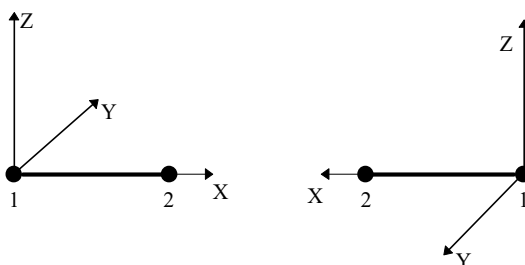
Pro každý prutový prvek je zaveden lokální souřadný systém – X^L , Y^L , Z^L . Ty jsou definovány následovně:

U vodorovného prutu rovnoběžného s globální osou X:



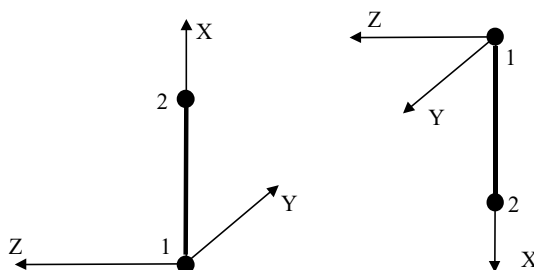
Obrázek 2 Axiální souřadný systém prutů

U vodorovného prutu rovnoběžného s globální osou Y:



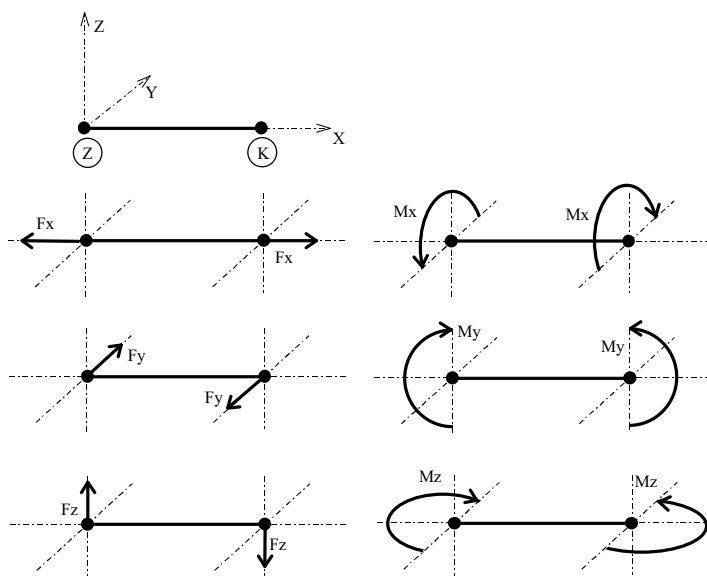
Obrázek 3 Axiální souřadný systém prutů

U svislého prutu rovnoběžného s globální osou Z:



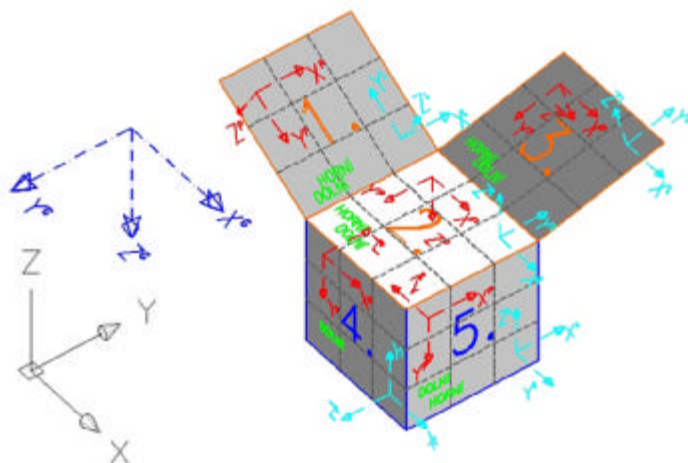
Obrázek 4 Axiální souřadný systém prutů

Z uvedeného vyplývají i konvence vnitřních sil na prutech:



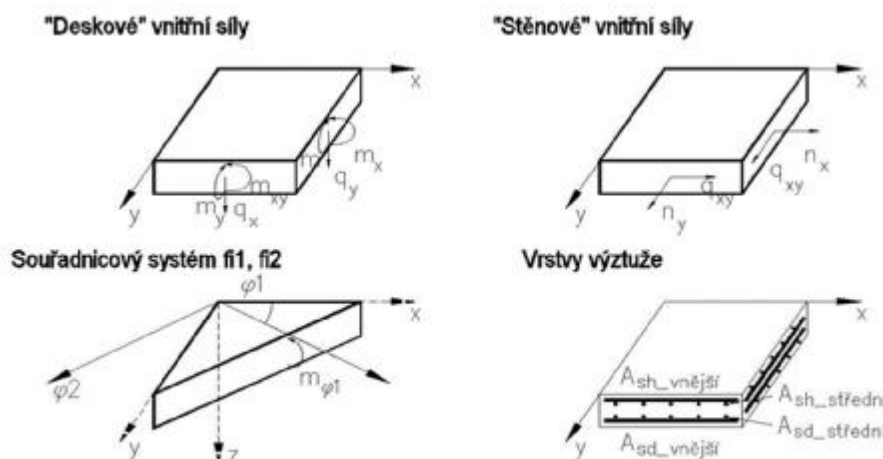
Obrázek 5 Konvence vnitřních sil na prutech

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 6 Souřadné systémy plošných deskostěnových prvků

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



Obrázek 7 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 [3], [8], [9] a [13], 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.

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 nepodkračují 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, predikuje 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., viz [14].

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 [10], [11].

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.

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:

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)
- $$\begin{aligned} &1,1G_{k,j,sup} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} && \text{(výraz 6.10)} \\ &0,9 G_{k,j,inf} + \{1,51; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned}$$
- b) STR – porucha, o níž rozhoduje pevnost konstrukčního materiálu – tab. A1.2(B)(CZ)-1 (bez geotechnických zatížení)
- $$\begin{aligned} &1,35G_{k,j,sup} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} && \text{(výraz 6.10a)} \\ &1,00G_{k,j,inf} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \\ &1,15G_{k,j,sup} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} && \text{(výraz 6.10b)} \\ &1,00G_{k,j,inf} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned}$$
- c) GEO – porucha, o níž rozhoduje odolnost základové půdy - tab. A1.2(B)(CZ), A1.2(C)(CZ) (obsahuje geotechnická zatížení)
- $$\begin{aligned} &1,00G_{k,j,sup/inf} + \{1,3Q_{k,1}; 0\} + \{1,3\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} && \text{(výraz 6.10)} \\ &1,35G_{k,j,sup} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} && \text{(výraz 6.10a)} \\ &1,00G_{k,j,inf} + \{1,5\psi_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \\ &1,15G_{k,j,sup} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} && \text{(výraz 6.10b)} \\ &1,00G_{k,j,inf} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5\psi_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

a) Charakteristická

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

b) Častá

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

c) Kvazistálá

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

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

G	stálá zatížení
S	geotechnicky stálá
P	zatížení od předpětí (stálá)
Q	proměnná zatížení
A	mimořádná zatížení
$G_{k,j,sup}$	horní charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení (95% kvantil)
$G_{k,j,inf}$	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 ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G	dopravní plochy tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H	střechy	0,7	0,2	0,0
Zatížení sněhem	stavby umístění $H > 1000$ m n. m.	0,7	0,5	0,2
Zatížení sněhem	stavby umístění $H \leq 1000$ m n. m.	0,5	0,2	0,0
Zatížení větrem		0,6	0,2	0,0
Zatížení teplotou (ne od požáru)		0,6	0,5	0,0

10.2 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	uživatelé 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	uživatelé definovaný název zatěžovacího stavu

	$\gamma_G -$	$\gamma_G +$	$\gamma_S -$	$\gamma_S +$	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.

10.3 Uživatelem definované kombinace

Uživatelé 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	SKUPINA 1
U___UZITNE2	1,50	nahodilé	SKUPINA 1
U___UZITNE3	1,50	nahodilé	SKUPINA 2
U___UZITNE4	1,50	nahodilé	SKUPINA 2
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: 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.

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, ale všechny konstrukce jsou v PD deklarovány z betonu C30/37.

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
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
Dolní vnější	staticky nutná plocha výztuže u dolního líce desky ve směru číselných os, blíž k povrchu
Horní střední	staticky nutná plocha výztuže u horního líce desky ve směru písmenných os
Dolní 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 plochy výztuže zajišťuje, že průřez vyhoví z hlediska MSÚ na danou kombinaci zatížení.

V levé dolní části je vypsaná 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 betonu v tahu a tlaku a výztuže a také vznik a rozvoj trhlin v betonu
Šířka trhliny horní (z napětí ve výztuži v trhlíně)	výpočtová šířka trhliny v betonu při horním líci desky vypočtená z namáhání ohybové výztuže v trhlíně, směr zobrazení koresponduje se směrem vzniklé trhliny

Šířka trhliny dolní
(z napětí ve výztuži v trhlíně)

výpočtová šířka trhliny v betonu při dolním líci desky vypočtená z
namáhání ohybové výztuže v trhlíně, směr zobrazení koresponduje se
směrem vzniklé trhliny

12 Závěr

Konstrukce je obecně navržena v intencích souboru platných norem ČSN. 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 je navržena, vyhovuje 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.

V Praze dne 29.10.2024

Ing. Lukáš Falta

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

Seznam příloh

Příloha 01: RENEX3D – Výpočet a posouzení základové desky SO.05



www.recoc.cz

RECOC s.r.o. - PRAHA
Seydlerova 2451/8
158 00 Praha 5

tel.: (+420) 251 624 661
IČO 43 00 10 84
DIČ CZ43001084

statická kancelář & Autodesk developer

e-mail: recoc@recoc.cz
bankovní spojení: KB Praha 5
číslo účtu 315146071/0100

RECOC