

Projektová dokumentace pro provádění stavby

D.1.2 Stavebně konstrukční řešení

D.1.2 b) Podrobný statický výpočet

Stavba:

Pavilon A - stavební úpravy a přístavba

Urgentní příjem

Zpracovatel:

RECOC, spol. s r.o.
28. října 864/273
Ostrava-Mariánské Hory, 709 00

Projektant:

Ing. Hana Šeligová

Projekční tým:

Ing. Hana Šeligová
Ing. Ivana Strnadová

Obsah

Obsah	2
1	Soubor použitých norem a literatury 3
1.1	Řada norem ČSN 3
1.2	Technická pravidla České betonářské společnosti ČBSI 4
1.3	Zákony a vyhlášky 4
2	Použité podklady a literatura 4
3	Použité programy 4
4	Uvažovaná zatížení 4
5	Použité materiály 4
5.1	Betony podle ČSN EN 1992-1-1 (ČSN EN 206) 5
5.2	Betonářská výztuž podle ČSN EN 1992-1-1 5
5.3	Konstrukční oceli podle ČSN EN 1993-1-1:2006 dle EN 10025-2; Třída oceli podle ČSN EN 10027 5
6	Popis navrženého konstrukčního systému 5
6.1	Nosná konstrukce 5
7	Výsledky průzkumů 6
7.1	Inženýrsko - geologický průzkum 6
8	Výpočetní aparát - FEM výpočty 11
8.1	Program RENEX3D 11
8.1.1	Charakteristika programu 11
8.1.2	Použité prvky 11
8.1.3	Použití programu 11
8.1.4	Dělení na konečné prvky 12
8.1.5	Souřadnicové systémy 12
8.1.6	Interakce s podložím 15
8.1.7	Zatížení a jejich kombinace 15
8.2	Nelineární výpočty 15
8.2.1	Algoritmus dimenzování skořepinových prvků 16
8.2.2	Schémata uživatelsky definovaných průřezů 18
8.2.3	Hromadné posudky tyčových prvků 19
8.3	Programy FINE EC 20
8.3.1	Charakteristika programu 20
9	Zatěžovací stavy a jejich kombinace 20
9.1	Kombinace podle metodiky EN 1990:2004 20
9.2	Názvy zatěžovacích stavů a kombinací v programu RENEX 3D 22
9.3	Uživatelem definované kombinace 23
10	Komentář ke grafickým výstupům 24
10.1	Fyzikální vlastnosti 24
10.2	Zatížení 24
10.3	Výstupy – mezní stavy únosnosti (MSÚ) 24
10.4	Výstupy – mezní stavy použitelnosti 24
10.5	Postup výpočtu 24
11	Závěr 25
12	Seznam obrázků 26
13	Seznam příloh 26

1 Soubor použitých norem a literatury

1.1 Řada norem ČSN

ČSN 73 1201:2010	Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb
ČSN 73 2604	Ocelové konstrukce – Kontrola a údržba ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb
ČSN EN 206+A1:2018	Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
ČSN EN 1090-1+A1	Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 1: Požadavky na posouzení shody konstrukčních dílců
ČSN EN 1090-2+A1	Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
ČSN EN 1990	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí – oprava 1, 2, 3, 4; změny A1, Z1, Z2, Z3, Z4; 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; ed. 2 – změna A1, Z1; 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
ČSN EN 1993-1-1	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby – oprava 1, 2; změna A1, Z1, Z2, Z3; NA ed.A, ed. 2 – oprava 1, změna A1
ČSN EN 1993-1-2	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla: Navrhování konstrukcí na účinky požáru – oprava 1; změna Z1; NA ed.A
ČSN EN 1993-1-5	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-5: Boulení stěn – oprava 1; změna Z1, Z2, A1; NA ed.A; ed.2
ČSN EN 1993-1-8	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků – oprava 1, 2; změna Z1, Z2, Z3; NA ed.A; ed. 2
ČSN EN 1993-1-11	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-11: Navrhování ocelových tážených prvků – oprava 1; změna Z1; NA ed.A
ČSN EN 1996-1-1+A1:2013	Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce – Na ed.A
ČSN EN 1996-1-2	Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru – oprava 1; změna Z1; NA ed.A; ed.2
ČSN EN 1996-3	Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí. Část 3: Zjednodušené metody výpočtu nevyztužených zděných konstrukcí – oprava 1; 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 – [opravy 1, 2](#)
- ČSN ISO 2394:2016 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí.
- ČSN ISO 13822:2014 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.

1.2 Technická pravidla České betonářské společnosti ČBSI

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

- [1] Architektonicko-stavební řešení, Janda a Zezula architektonická kancelář, Lomná 1895, 744 01 Frenštát pod Radhoštěm, 03/2023
- [2] Krnov – geologický průzkum v areálu nemocnice v Krnově – objekt heliportu, objekt C a objekt A; GEOoffice, spol. s r.o.; 04/2021
- [3] FEM, principy a praxe metody konečných prvků, Kolář, V., Němec, I., Kanický, V. a navazující manuály k programům NEXX.
- [4] Manuál k programu RENEX3D, RECOC, spol. s r.o., 2013

3 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.

4 Uvažovaná zatížení

Rozpis zatížení je uveden v Příloze 01 Statického výpočtu.
Stálá zatížení byla vypočtena podle podkladu [1].
Charakteristická hodnota zatížení sněhem je $s_k = 1,50$ kPa.
Větrná oblast je podle ČSN EN 1991-1-4:2007 II, tedy výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25$ m/s.
Užitná zatížení jsou převzata z norem ČSN EN 1991-1-1 až 1991-1-7 podle typu využití prostor.

5 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.

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]
C12/15	C12/15	20	1,6	27	2500
C16/20	C16/20	24	1,9	29	2500
C20/25	C20/25	28	2,2	30	2500
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	3,2	35	2600
C50/60	C50/60	58	4,1	37	2600
C70/85	C70/85	78	4,6	41	2600
C80/95	C80/95	88	4,8	42	2600
Poissonova konstanta	0,2	Součinitel tepelné roztažnosti			$10 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

5.2 Betonářská 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
BSt 550	550	478,3	200

5.3 Konstrukční oceli podle ČSN EN 1993-1-1:2006 dle EN 10025-2; Třída oceli podle ČSN EN 10027

Třída oceli	f_y [MPa]	f_u [MPa]	f_y [MPa]	f_u [MPa]	E_s [GPa]
Tloušťka [mm]	< 40		40 - 80		
S 235	235	360	215	360	210
S 275	275	430	255	410	210
S 355	355	490	335	470	210
S 450	440	550	410	550	210
Poissonova konstanta	0,3	Součinitel tepelné roztažnosti			$12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$

6 Popis navrženého konstrukčního systému

Funkce a tvar budovy

Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepenou budovu, která bude využívána jako urgentní příjem nemocnice v Krnově. Funkčně i dispozičně navazuje na budovu SO 101 centrální příjem a odborné vyšetřovny a operační sály. Má půdorysný tvar písmene L se stranami opsaného obdélníka 20,48 x 14,65 m. Výška objektu je 8,9m od úrovně čisté podlahy po horní hranu atiky nad 2.NP.

6.1 Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci tvoří smíšený systém, tvořený železobetonovými sloupy průřezu 200x250mm a 250x250mm, obvodovým ztužujícím věncem a trámy průřezu 250x450mm a 250x1000mm, stropními deskami tl. 250mm a zděnými obvodovými stěnami tl. 250mm z tvárnic autoklávového pórobetonu. 2/3 délky prvního podlaží (přízemí) je založeno na základových pásech šířky 0,6 – 1,8m v hloubce -3,5 až

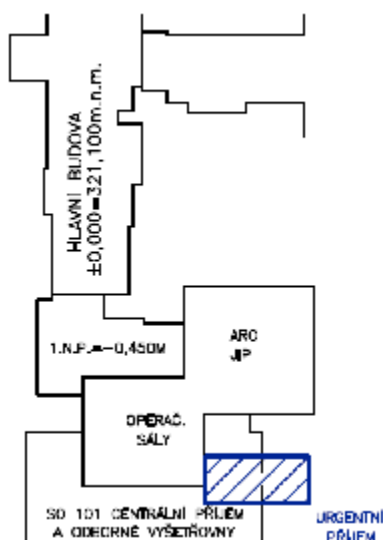
-4,75m pod úrovní +0,000. Spojení mezi nosnými svislými konstrukcemi a základovými pásy je zajištěno železobetonovými stěnami tl. 300mm. Zbývající 1/3 délky objektu je založena na stávajícím suterénu objektu centrálního příjmu. Svislé nosné konstrukce 1.NP jsou přímo spojeny se základovými stěnami v úrovni

-0,660m. Základová deska je nenosná a slouží pouze k roznosu užitého zatížení a skladby podlah do podzákladí.

Konstrukční výška 1.NP je 4,53m a její stropní konstrukce výškově navazuje na stropní konstrukci 1.NP operačních sálů. Jelikož přístavba z roku 2004 (objekt SO 101), na kterou je nový objekt z části uložen, má pouze jedno nadzemní podlaží s konstrukční výškou 3,1m, musí být část původní ocelové střešní konstrukce rozebrána a v místě os E/3-4 doplněna o sníženou stropní desku, která bude ležet na stávající železobetonové stěně a sloupu. Konstrukční výška 2.NP je 3,71m.

U osy A je konzolovitě ukotveno venkovní únikové ocelové schodiště. U osy 1 pak venkovní ocelová stříška zavěšená na táhlech, která slouží jako přístřešek pro sanitky a vstup do budovy. Tyto ocelové konstrukce nejsou součástí této dokumentace.

Schéma objektů nemocnice Krnov



7 Výsledky průzkumů

7.1 Inženýrsko - geologický průzkum

Pro účely výstavby objektu byl na staveništi proveden inženýrsko – geologický průzkum - [2].

Začátek citace z IGP

...

Geologické poměry širšího okolí

Geologický profil lze vertikálně stratifikovat, a to na svrchní kvartérní, potažmo antropogenní pokryvné útvary a předkvartérní podloží

Tzn. Předkvartérní podklad lze dále strukturně stratifikovat. Do zájmového území s přilehlým okolím okrajově zasahuje severní cíp Karpatské předhlubně. Tato předhlubeň je představována neogenní mořskou pánví, v níž in-situ nastala sedimentace zejména vápnitých jílovců, které jsou při povrchu zvětrány na jíly. Sedimenty této mořské pánve překrývají varisky zkonsolidovaný česká masiv, resp. Jeho dílčí jednotku zvanou moravosilezikum. Z této jednotky jsou vyvinuty moravické a hornobenešovské vrstvy,

představované kulmskými sedimentárními horninami uloženými ve flyšovém sledu (střídání zejména pískovců a jílovců, resp. Drob a jílovitých břidlic). Horniny těchto kulmských vrstev v okolí lokality vystupují až na povrch terénu, a to zejména ve svažitéch místech rozkládajících se zejména západně až jižně od lokality.

Mělké geologické prostředí, tj. prostředí exponované vůči projektovanému záměru je budováno kvartérními pokryvnými útvary. Kvartérní komplex je výhradně tvořen fluvialními sedimenty nabývajících mocností vyšších jednotek metrů. Po litologické stránce jsou vůdčí vrstvou fluvialní štěrky. Jedná se o ulehle štěrky s příměsí balvanů. Při povrchu jsou štěrky překryty náplavovými hlínami pevné a tuhé konzistence, které místy obsahují příměs organické složky. Přirozený kvartérní sled je zakončen vrstvami antropogenních navážek.

.....

Hydrogeologické poměry širšího okolí

Vzhledem k povaze projektovaného záměru nabývá větší předmětnosti hydrogeologický rajon svrchní vrstvy. Ten je označen názvem Kvartér Opavy a ID 1520. podzemní vody se vážou na hydrogeologický kolektor tvořený štěrkopísky se střední transmisivitou ($T = 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). v tomto kolektoru průlinové propustnosti se udržuje volná hladina podzemní vody, která nabývá mineralizace $0.3-1.0 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ a je chemického typu Ca-Na-HCO_3 . Je nutno zmínit, že uvedené informace jsou obecného charakteru pro širokou oblast a nemusí být zcela platné pro konkrétní lokalitu.

Dle hydrogeologické mapy 1: 50 000 se lokalita nachází na pomezí dvou hydrogeologických kolektorů spadajících do skupiny průlinových kolektorů kvartérních fluvialních písků a štěrků údolních niv a teras různě zahliněných a překrytých slabou vrstvou povodňových hlín. Jedná se o hydrogeologický kolektor fluvialních štěrků Opavy a Opavice s odhadovým koeficientem transmisivity $T = 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a o hydrogeologický kolektor fluvialních štěrků v údolí Opavy a jejich přítoků s odhadovaným $T = 1 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

V kvartérním souvrství jsou vůdčí vrstvou fluvialní štěrky. Jedná se o zeminy propustné, disponující průlinovou propustností. Štěrkové jsou vyvinuty spojitě a mocně. Přítomnost podzemní vody je do jisté míry závislá na množství infiltrovaných srážkových úhrnů a předkvartérním podkladu. V případě suchých období a předkvartérním podkladu tvořeným kulmskými horninami se podzemní voda v kvartérním komplexu nemusí vůbec vyskytovat či jen u báze komplexu. A to z důvodu, že kulmské horniny nejsou nepropustné a oproti neogenním jílům disponují určitou hydraulickou vodivostí. Oproti tomu neogenní jíly jsou prakticky nepropustné a lze je považovat za hydrogeologický izolátor regionálního významu, významným způsobem zabraňují hlubšímu gravitačnímu odtoku.

Hladina podzemní vody v částech interakce s projektovaným stavebním záměrem se do 5-6m hloubky nevyskytuje po celou dobu kalendářního roku.

.....

Ostatní poměry se zřetelem na zvláštní ochranu

V okolí zájmového území se vyskytují ochranné pásma vodních zdrojů, záplavová území a evropsky významná lokalita s vazbou na vodu. Žádné z těchto pásem či území však nespádá do plochy lokality.

Na lokalitě se rovněž nevyskytují zvláště chráněná a smluvně chráněná území. Lokalita se nenachází v zřetelně mezinárodně významných částí přírody.

Dobývací prostory a chráněná ložisková území se na lokalitě nevyskytují.

V databázi České geologické služby nejsou evidovány žádné mapové ani registrované svahové nestability. Dle mapy náchylnosti svahů k sesouvání je zájmová lokalita řazena do třídy nízké náchylnosti.

Systémem evidence kontaminovaných míst (SEKM) nejsou na lokalitě taková místa evidována.

.....

Charakteristika geotechnických typů zemin

Pro účely vyhodnocení geotechnických poměrů byly vyčleněny 3 geotechnické typy materiálů a zemin (tzv. G-typy, dále v textu a přílohách označeny symbolem GT), které hodnotíme v následujících kapitolách.

Stratigrafie	Litologický typ	Zatřídění dle ČSN 73 6133 (GSM EN ISO 14688-2)	Geotechnický typ (GT)	Průměrná hloubkové uspořádání (v místě výskytu) (m p. l.)
kvartér	antropogenní navážky	Y (xsclMg)	GT 1	0.00-1.00
	fluvialní hlíny	F6 Cl (sclCl), F4 CS (sagCl, saCl)	Cl 2	1.00-2.20
	fluvialní štěrky	G3 G F (sacloGr), G5 GC (sacGr), F2 CG (ckGr)	GT 3	2.20(3.40)-(20?)

GT 1 – Antropogenní navážky

Dosahují průměrné mocnosti 0,8-1,4m. jsou zastoupeny materiály charakteru výkopových hlín, které jsou občasně promíseny úlomky cihel či kameniva. Materiály navážek v zastižené podobě nepředstavují komplikaci pro prostup běžných stavebních mechanismů.

GT 2 – Fluvialní hlíny

V místech absence navážek vystupují až k povrchu, přičemž při samotném povrchu (do hloubky 0.2m) mohou být fluvialní hlíny rozloženy humidními procesy za přispění antropogenní činnosti na charakter půdní vrstvy. Fluvialní hlíny jsou litologicky představovány jíly prachovitými, v nichž s rostoucí hloubkou se zvětšuje podíl písčité a šterkovité složky. Kategoricky je lze zatřídit jako F6 CL a F4 CS. Konzistence je tuhá až pevná. V období zvýšených úhrnů jsou tyto hlíny nasyceny vodou, což se podílí na degradaci konzistence až na měkký stav.

	Charakteristická hodnota (F6 - tuhá)	Charakteristická hodnota (F4 - pevná)
Poissonovo číslo	0.4	0.35
Objemová hmotnost ρ_n [g.cm ⁻³]	2.1	1.9
Objemová tíha γ_n [kN.m ⁻³]	21.0	19.0
Modul přetvárnosti E_{dek} [Mpa]	5.0	10.0
Koeficient β	0.47	0.62
Úhel ef. smyk. pevn. φ_{cl} [°]	18.0	26.0
Ef. soudržnost c_{cl} [kPa]	14.0	23.0
Úhel tot. smyk. pevn. φ_{cl} [°]	0.0	13.0

GT 3 - fluvialní štěrky

Báze fluvialních štěrků nebyla žádným z průzkumných objektů, současných či archivních, do jejich maximální hloubky 9m ověřena, Jejich bázi očekáváme dle vzdálenějších archivních vrtů GEOFONDU v hloubkách 17-18m.

Litologicky se jedná o štěrky promísené jemnozrnnými složkami a valouny úlomků hornin. Lze je kategorizovat jako G3 G-F, G5 GC až F2 CG. Strop fluvialních štěrků byl zastižen od hloubek 1,4 až 3,4m.

	Charakteristická hodnota (G3)	Charakteristická hodnota (G5)
Poissonovo číslo	0.25	0.3
Objemová hmotnost ρ_n [g.cm ⁻³]	1.9	1.95
Objemová tíha γ_n [kN.m ⁻³]	19.0	19.5
Modul přetvárnosti E_{dek} [Mpa]	90.0	50.0
Koeficient β	0.83	0.74
Ef. Úhel vnitřního tření φ_{cl} [°]	35.0	30.0
Ef. soudržnost c_{cl} [kPa]	0.0	3.0

V modrém kroužku je zájmové území nového objektu urgentního příjmu.

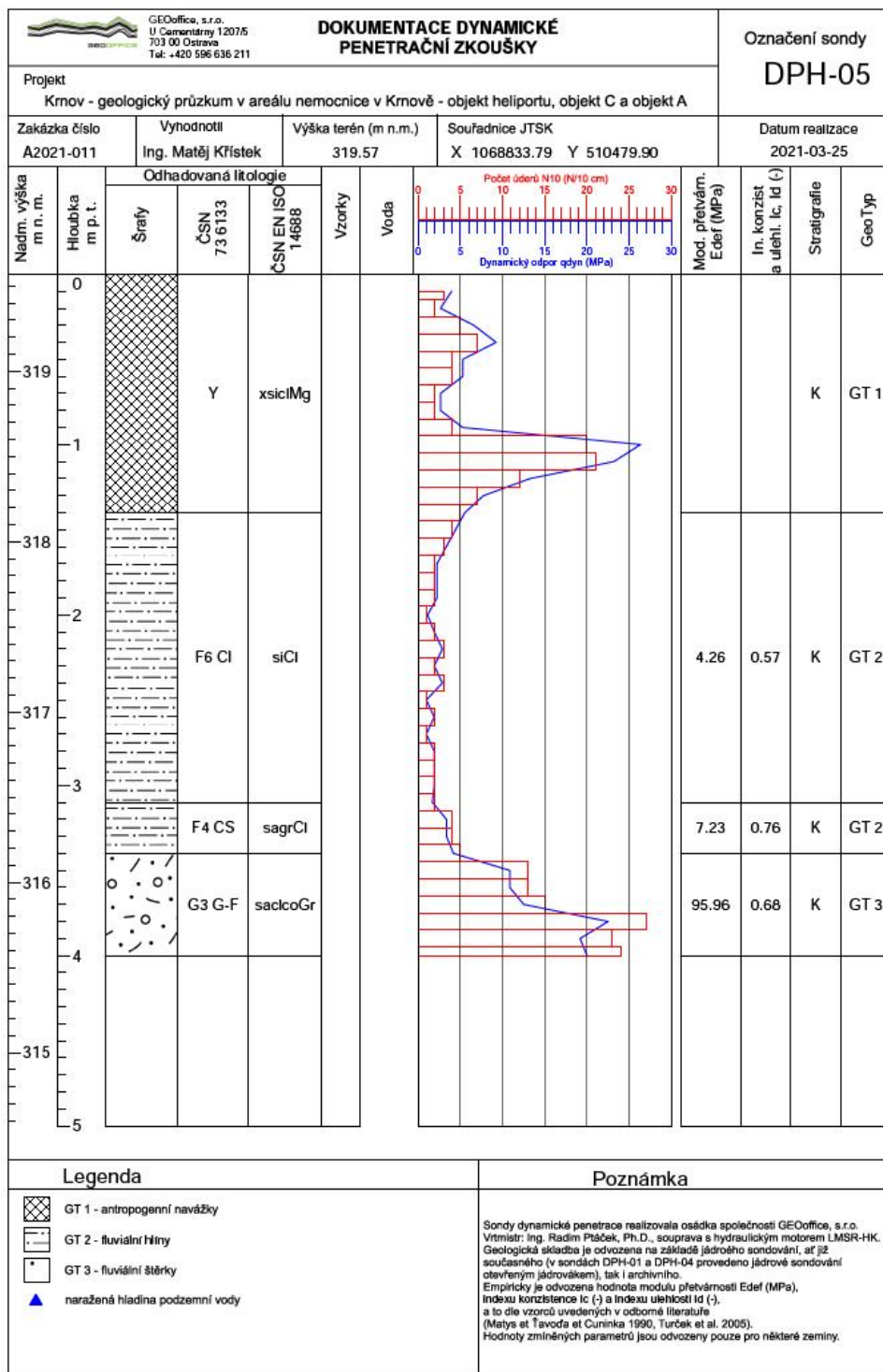


Poznámka: Aktuálně realizovaná průzkumná díla (DP-1 až DP-5) byla provedena jako sondy dynamické penetrace. V sondách DP-1 a DP-3 bylo rovněž provedeno jádrové sondování otevíráním jádrovákem.

Legenda

- DP-1 Aktuálně realizované sondy těžké dynamické penetrace/jádrové sondy (03/2021)
- S-1 Archivní vrt (1989)
- 400 Hloubka naražení hladiny podzemní vody (m p. l.)





...
Konec citace z IGP

8 Výpočetní aparát - FEM výpočty

8.1 Program RENEX3D

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 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. 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 bázevých 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.

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 bázevých 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 popsanými 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 výtzuže 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 [2].

8.1.3 Použití programu

Program RENEX3D je použit pro veškeré lineární i nelineární (fyzikálně i geometricky) výpočty, dále pak pro dimenzování potřebných ploch výtzuže pro 2D prvky, výpočet šířky trhliny atd. V případě použití předpínací výtzuže 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 uvažování 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

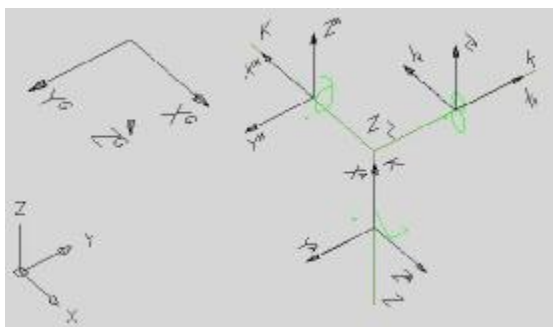
Dělení na konečné prvky se provádí automaticky generátorem. Ve výpočtech celků konstrukcí nebo jejich částí daných postupem výpočtu je základní velikost prvku jeden metr. V místech anomálií konstrukce program automaticky prvky přizpůsobuje geometrii, v místech předpokládaných lokálních zvýšení namáhání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

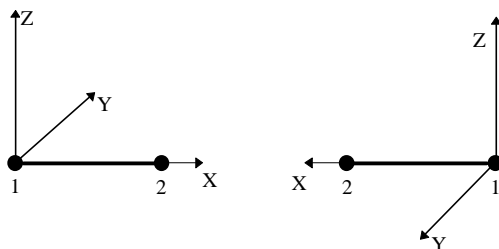
8.1.5 Souřadnicové systémy

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



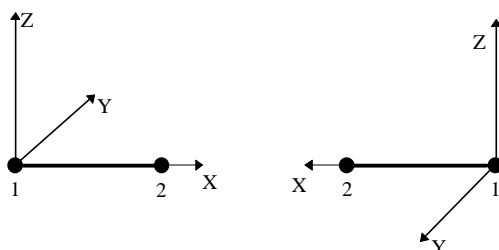
Obrázek 1 Globální souřadný systém

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:



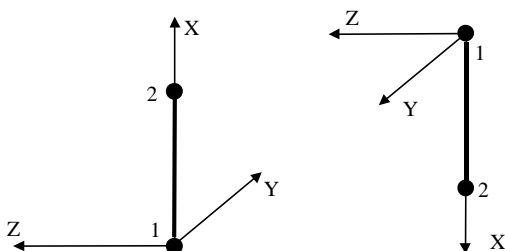
Obrázek 2 Axiální souřadný systém prutů

U vodorovného prutu rovnoběžného s globální osou Y:



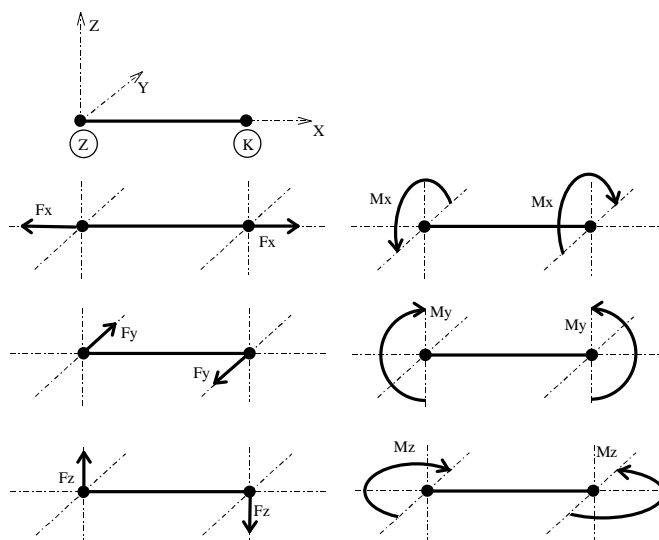
Obrázek 3 Axiální souřadný systém prutů

U svislého prutu rovnoběžného s globální osou Z:



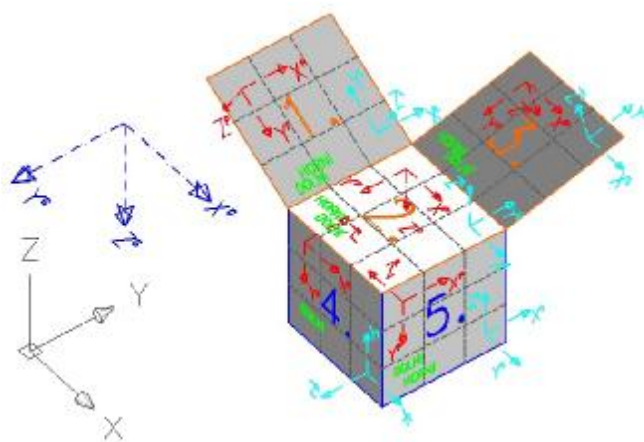
Obrázek 4 Axiální souřadný systém prutů

Z uvedeného vyplývají i konvence vnitřních sil na prutech:



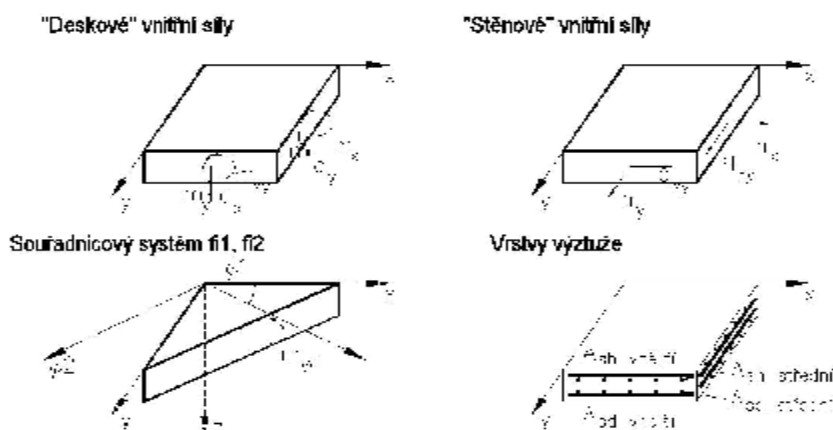
Obrázek 5 Konvence vnitřních sil na prutech

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

8.1.6 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. 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, užiténá 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 užiténého 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.

8.2 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 odladen v RECOC, spol. s r.o. ve spolupráci s FEM Consulting s.r.o. a Dlubal Software GmBh.). Systém pracuje s tzv. rozmazanými trhlinami, 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 tuhostí prvku ve směru tahu.

Dále je možno řešit pruty s vyloučeným tahem či tlakem a vzdušné brčky, 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.

8.2.1 Algoritmus dimenzování skořepinových prvků

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

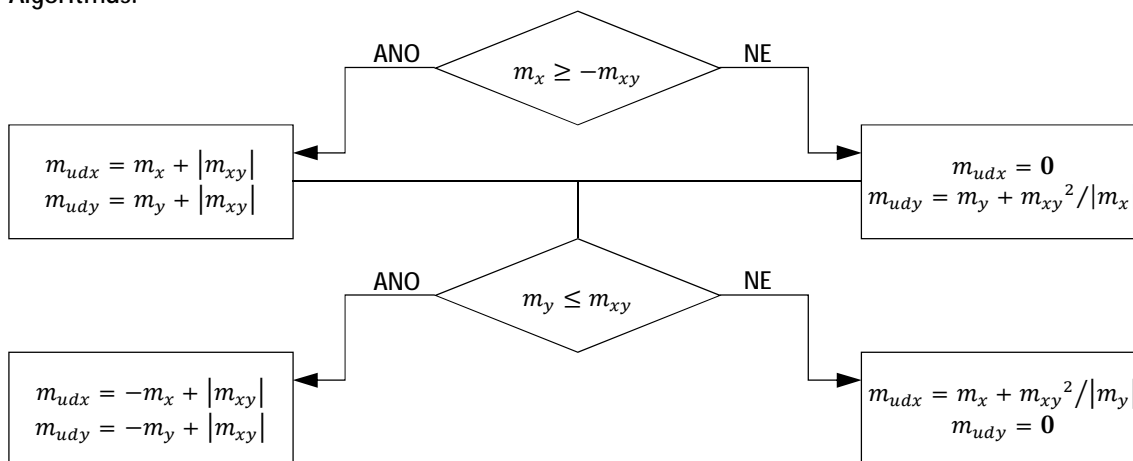
Na základě výpočtu vnitřních sil příslušné kombinace (jedná se o obalové plochy, tedy i kombinace z kombinací) jsou vypočteny vnitřní síly ($n_x, n_y, q_{xy}, m_x, m_y, m_{xy}, q_x, q_y$)^P. První trojice popisují membránovou resp. rovinnou napjatost, další tři ohyb a kroucení v desce a poslední dvě příčný smyk. Z těchto vnitřních sil jsou podle algoritmu uvedeného v [1] 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:



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.

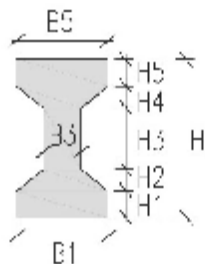
Schopnost průřezu odolávat dané kombinaci momentů je dostatečná, jsou-li splněny tyto podmínky:

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

8.2.2 Schémata uživatelsky definovaných průřezů

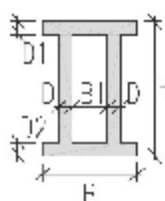
KŘÍŽ ZOBROUČENÍ

F/B_{max} ($-b; H_4; b; H_2; H_1/B_5; b; E_1$)



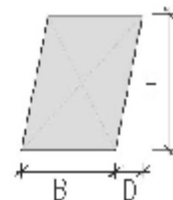
II-PROFIL

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



KOSODŮBNÍK

$B/H/D$

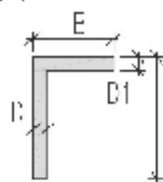


KRUH
E



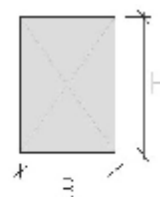
L-PROFIL

B/H ($D; D_1$)
tenkostěnný průřez



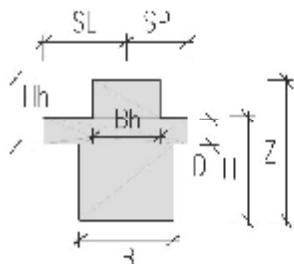
ČTĚLNÍK

B/H



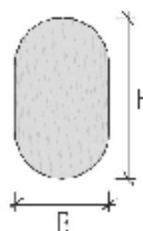
OBDOÚBNÍK V DESCE

$F_{max}/Z/D$ ($Bh; B/H; h; z$) (SL/SP)



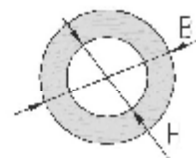
OVÁL

B/H



PRETENEC

B/H



PŮLOVÁL
 E/H



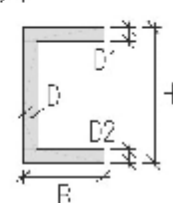
T-PROFIL

B/H ($D; B_1; D'$)
tenkostěnný průřez



U-PROFIL

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

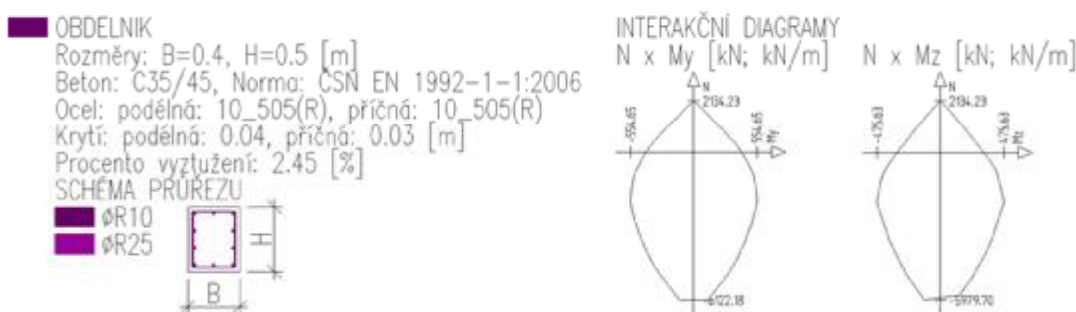


Obrázek 8 Uživatelsky tvořené průřezy

8.2.3 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 výtuzi. 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 9 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:

cmp = číslo makroprvku				Kombinace: „TDSTR_A_00_MSU“							
				typBodu: 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	-11,3	minNx	-4471,3	40,0	14,0	0	-3314,7	37,3	10,9
3896	36,44	93,05	-11,3	maxNx	-2706,4	-13,7	-0,5	0	-2377,3	35,1	7,9
3896	36,44	93,05	-11,3	minMy	-3203,6	-54,2	-2,1	0	-2708,7	8,1	6,8
3896	36,44	93,05	-11,3	maxMy	-3953,1	103,9	19,6	0	-2983,3	64,3	12,0
3896	36,44	93,05	-11,3	minMz	-3245,2	-50,4	-2,3	0	-2748,4	11,7	6,6
3896	36,44	93,05	-11,3	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.

8.3 Programy FINE EC

8.3.1 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.

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)

$$\begin{aligned} &1,1G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \\ &0,9G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned} \quad (\text{výraz 6.10})$$

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

$$\begin{aligned} &1,35G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5y_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \\ &1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5y_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned} \quad (\text{výraz 6.10a})$$

$$\begin{aligned} &1,15G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \\ &1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned} \quad (\text{výraz 6.10b})$$

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

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

$$\begin{aligned} &1,35G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5y_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \\ &1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5y_{0,1}Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned} \quad (\text{výraz 6.10a})$$

$$\begin{aligned} &1,15G_{k,j,\text{sup}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \\ &1,00G_{k,j,\text{inf}} + \{1,5Q_{k,1}; 0\} + \{1,5y_{0,i}Q_{k,i}; 0\} \end{aligned} \quad (\text{výraz 6.10b})$$

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

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

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 $\leq 30\text{kN}$	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 $H \leq 1000$ 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

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_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

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:

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:

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

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

10 Komentář ke grafickým výstupům

10.1 Fyzikální vlastnosti

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

H – tloušťka prvku v m

Průřezy – je uveden geometrický tvar průřezu a rozměry v mm

10.2 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.

10.3 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 plochy 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.

10.4 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.

10.5 Postup výpočtu

Pro návrh nosné konstrukce byly sestaveny tyto výpočetní modely:

- Celkový výpočetní prostorový model na pevných podporách pro generování vnitřních sil, ověření celkové mechanické odolnosti a stability konstrukce. Vnitřní síly jsou použity k dimenzování vodorovných a svislých konstrukcí.

- Celkový výpočetní prostorový model na pružném podloží SOILIN pro výpočet sedání a kontaktního napětí v základové spáře

11 Závěr

Konstrukce jsou obecně navrženy v souladu se souborem platných norem ČSN a vyhovují všem jejich ustanovením jak z hlediska mezních stavů únosnosti (mechanická odolnost a stabilita konstrukce), tak z hlediska mezních stavů použitelnosti (deformace, trhliny). Současně jsou navrženy s ohledem na maximální možnou hospodárnost a z toho vyplývajícího vlivu na životní prostředí.

V Ostravě dne 10.05.2023

Ing. Hana Šeligová
Autorizovaný inženýr
pro statiku a dynamiku
ČKAIT 1102172

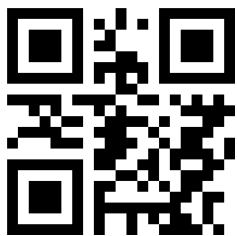
Ing. Ivana Strnadová

12 Seznam obrázků

Obrázek 1	Globální souřadný systém	12
Obrázek 2	Axiální souřadný systém prutů	13
Obrázek 3	Axiální souřadný systém prutů	13
Obrázek 4	Axiální souřadný systém prutů	13
Obrázek 5	Konvence vnitřních sil na prutech	14
Obrázek 6	Souřadné systémy plošných deskostěnových prvků	14
Obrázek 7	Konvence vnitřních sil na plošných prvcích	15
Obrázek 8	Uživatelsky tvořené průřezy	18

13 Seznam příloh

Příloha P01	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI A ZATÍŽENÍ NA KONSTRUKCI
Příloha P02	VÝSTUPY ZE STATICKÉHO VÝPOČTU – PEVNÉ PODPORY
Příloha P03	VÝSTUP ZE STATICKÉHO VÝPOČTU – PODEPŘENÍ NA PRUŽINÁCH



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

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

statická kancelář & Autodesk developer

RECOC