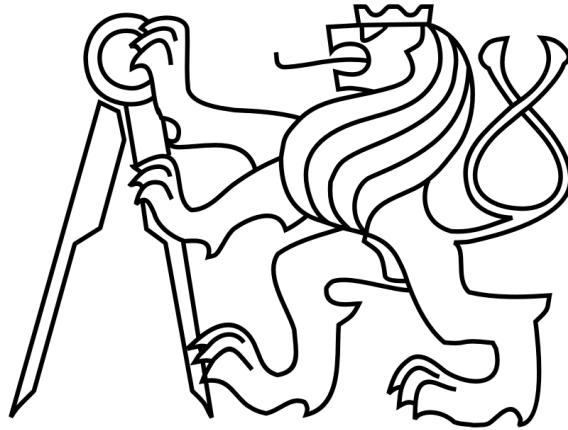


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁRSKA PRÁCA

Vyšetrovanie deformácií betónového tubusu v priebehu výstavby  
Investigation of deformation of a concrete tube during construction

Študijný program: Stavební inženýrství

Študijný odbor: Konstrukce pozemních staveb

Vedúci práce: Mgr. Yuliia Khmurovska, Ph.D.

David Víglaský

Praha 2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Víglaský Jméno: David Osobní číslo: 468529  
Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vyšetrovanie deformácií betónového tubusu v priebehu výstavby  
Název bakalářské práce anglicky: Investigation of deformation of concrete tube during construction

Pokyny pro vypracování:

- možnosti bednění pre danú konštrukciu
- časový plán výstavby s a bez urýchlenia
- dotvarovanie v závislosti na čase odbednenia
- vplyv urýchlenia výstavby na chovanie betónového tubusu

Seznam doporučené literatury:

Trtík, Karel, 1943, Technologie betonu, V Praze : České vysoké učení technické, 2009

Jméno vedoucího bakalářské práce: Mgr. Yuliia Khmurovska, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 27.2.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 18.5.2020  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

27.2.2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Vyhlásenie

Vyhlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne s výnimkou poskytnutých konzultácií s Ing. Yuliiou Khmurovskou, Ph.D. a že som uviedol všetky použité zdroje v súlade s Metodickým pokynom o etickej príprave vysokoškolských záverečných prác.

V Prahe dňa 20.5.2020

.....

David Víglaský

## Podakovanie

Rád by som poďakoval predovšetkým Ing. Yulii Khmurovskej, Ph.D. za odborné vedenie a ústretový prístup pri konzultáciach bakalárskej práce. Moje poďakovanie ďalej patrí prof. Ing. Petrovi Štemberkovi, Ph.D, D.Eng. za jeho odborné rady. Ďakujem tiež rodine, priateľke a priateľom za podporu.

## Abstrakt:

Témou tejto práce bolo vyšetovanie vplyvu postupu a rýchlosti výstavby železobetónového tubusu na jeho deformácie. Cieľom práce bolo porovnanie deformácií konštrukcie betónovanej podľa štandardných podmienok technologických prestávok pre oddebnenie a mnou navrhnutým urýchleným časovým plánom. Významná časť práce sa zaoberá možnými technologickými riešeniami výstavby pre oba časové plány a určením potrebných etáp výstavby. Pre vyšetovaný železobetónový tubus bol vypracovaný statický 3D model v programe SCIA Engineer, ktorý slúžil pre lineárny výpočet konštrukcie v priebehu výstavby. Výpočty v programe SCIA boli doplnené ručnými výpočtami zmrštenia a dotvarovania podľa Eurokódu, v ktorých bol uvážený vývoj mechanických vlastností betónu v čase. Výsledky výpočtov vedú k záveru, že zrýchlená betonáž značne ovplyvňuje výsledné pretvorenie konštrukcie. Zakončením práce je návrh nadvýšeného debnenia, ako alternatívne riešenie na zabránenie nadlimitnej deformácie. Aj keď použitie nadvýšeného debnenia pomáha znižovať konečnú deformáciu, vedie to tiež k zložitosti stavebnej technológie. Preto je výhodná konštrukcia v súlade so štandardným časovým plánom.

## Klíčové slová:

betón, betonáž, debnenie, dotvarovanie, nadvýšenie, oceľ, priehyb, trhliny, železobetónový tubus, zmršťovanie

## Abstract:

The topic of this bachelor thesis is to investigate the influence of the construction process and its speed on the deformation of the reinforced concrete tube. The ultimate goal of this study is to compare the deformations of the specific reinforced concrete structure which was constructed in accordance with the standard procedure (including all the necessary the technological breaks) with the one constructed in accordance with the accelerated time schedule. A significant part of the thesis deals with the possible construction technology for both time schedules (standard and accelerated) and with the determination of the necessary construction stages. In order to calculate the linear deformations of the reinforced concrete tube, the numerical model of each construction stage was developed using the SCIA Engineer software. The effect of shrinkage and creep was taken into account in supplementary manual calculations, which were performed in accordance with the Eurocode. The evolution of concrete mechanical properties over time was also taken into consideration. The analysis of the calculated results leads to the conclusion that the accelerated construction causes unacceptably large deformation of the considered structure. The elevated construction was proposed and the elevated formwork was designed as an alternative solution to prevent the above-limit deformation. Even though the use of elevated formwork helps to reduce the final deformation it also leads to the additional complexity of the construction technology. Therefore, the construction in accordance with the standard time schedule is preferable.

## Key words:

deflection, cantilever, concrete, concreting, cracks, creep, formwork, reinforced concrete tube, shrinkage, steel

#### Bibliografická citácia VŠKP

Víglaský, David. *Vyšetrovanie deformácií betónového tubusu v priebehu výstavby*. Praha, 2020. 44 strán. Bakalárska práca. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí. Vedúci práce Ing. Yuliia Khmurovská, Ph.D.

# Obsah

1	Úvod .....	9
1.1	Motivácia .....	9
1.2	Problematika .....	9
2	Vývoj vlastnosti betónu v čase .....	10
2.1	Charakteristika dotvarovania a zmrašťovania betónu a jeho výpočet.....	10
2.2	Vývoj mechanických vlastností betónu .....	12
3	Postup výstavby.....	13
4	Výpočet deformácie – zrýchlená betonáž .....	14
4.1	Postup výpočtu.....	14
4.2	Časový harmonogram betonáže .....	15
4.3	Tabuľka vstupných hodnôt.....	15
4.4	Deformácie a ohybový moment stropnej dosky nad prízemím z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer .....	16
4.4.1	1. etapa betonáže.....	16
4.4.2	2. etapa betonáže.....	16
4.4.3	3. etapa betonáže.....	17
4.4.4	4. etapa betonáže.....	17
4.5	Výpočet približnej hodnoty deformácie stropnej dosky od dotvarovania a zmrašťovania ..	18
4.5.1	Výpočet ohybového momentu pri vzniku trhlin $M_{cr,ef}$ .....	18
4.5.2	Výpočet váženého momentu zotrvačnosti prierezu s trhlinami .....	18
4.5.3	Výpočet približnej hodnoty priehybu .....	19
4.5.4	Výpočet priehybu od zmrašťovania.....	19
4.5.5	Celkový priehyb stropnej dosky .....	22
4.6	Deformácie stenových nosníkov z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer .....	22
4.6.1	1. etapa betonáže .....	22
4.6.2	2. etapa betonáže .....	22
4.6.3	3. etapa betonáže.....	23
4.6.4	4. etapa betonáže.....	23
4.7	Výpočet približnej hodnoty deformácie stenového nosníku od dotvarovania a zmrašťovania .....	23
4.7.1	Výpočet približnej hodnoty priehybu od dotvarovania.....	23
4.7.2	Výpočet priehybu od zmrašťovania.....	24
4.7.3	Posúdenie priehybu.....	25
5	Výpočet deformácie – nezrýchlená betonáž.....	25
5.1	Postup výpočtu.....	25

5.2	Časový harmonogram betonáže .....	26
5.3	Tabuľka vstupných hodnôt .....	26
5.4	Deformácie a ohybový moment stropnej dosky nad prízemím z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer .....	27
5.4.1	1. Etapa betonáže .....	27
5.4.2	2. etapa betonáže .....	27
5.4.3	3. etapa betonáže .....	28
5.5	Výpočet približnej hodnoty deformácie stropnej dosky od dotvarovania a zmrašťovania ..	28
5.5.1	Výpočet ohybového momentu pri vzniku trhlín $M_{cr,ef}$ .....	28
5.5.2	Výpočet približnej hodnoty priehybu .....	28
5.5.3	Výpočet priehybu od zmrašťovania .....	29
5.6	Celkový priehyb stropnej dosky .....	29
5.7	Deformácie stenových nosníkov z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer .....	29
5.7.1	1. etapa betonáže .....	29
5.7.2	2. etapa betonáže .....	29
5.7.3	3. etapa betonáže .....	30
5.8	Výpočet približnej hodnoty deformácie stenového nosníku od dotvarovania a zmrašťovania .....	30
5.8.1	Výpočet približnej hodnoty priehybu .....	30
5.8.2	Priehyb od zmrašťovania .....	30
5.8.3	Posúdenie priehybu .....	30
6	Vyhodnotenie výsledkov výpočtu .....	31
6.1	Možnosti riešenia .....	31
6.1.1	Návrh nadvýšenia debnenia konštrukcie .....	31
6.1.2	Deformácie zrýchlenej betonáže nadvýšenej stropnej dosky nad prízemím z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer .....	33
6.1.3	Výpočet približnej hodnoty priehybu .....	34
6.1.4	Celkový priehyb stropnej dosky .....	34
6.1.5	Vyhodnotenie výsledkov nadvýšenia .....	34
7	Záver .....	35
8	Literatúra .....	35
9	Zoznam príloh .....	36
	Príloha A .....	37
	Príloha B .....	42



# 1 Úvod

## 1.1 Motivácia

V situácii súčasného stavebníctva, kedy sa za účelom zabezpečenia rentability projektu investor snaží o minimalizáciu nákladov, je čas výstavby jeden z najdôležitejších atribútov. Vlastnosti konštrukcií však podliehajú medzinárodným normám, ktoré ich priamo definujú a preto čas a efektívnosť výstavby nesmie medzi nimi spôsobiť nesúlad. Pri návrhu železobetónových vykonzolovaných konštrukcií je limitná deformácia často rozhodujúcim parametrom návrhu a preto je nutné tento typ konštrukcie podrobiť hĺbkovej analýze projektantom. Stavba, ktorej časti sa v tejto práci zaoberám sa nachádza v Libanone s názvom Sheikh Nahyan Centrum pre Arabské štúdie. Časť, ktorou sa zaoberám obsahuje železobetónový tubus so šírkou 8 metrov a vykonzolovaním 5 metrov, vid' obr. 1.1.1 . Železobetónový tubus tejto stavby som riešil v školskom projekte v predchádzajúcom semestri, kde som sa zameral na výpočet stenových nosníkov metódou priehradovej analógie. Stavba ma veľmi zaujala a preto som sa rozhodol zistiť, ako sa táto nevšedná konštrukcia dá postaviť čo najrýchlejšie. Výsledky projektu mi slúžili ako podklad pre túto bakalársku prácu.



Obr. 1.1.1 Sheikh Nahyan Centrum pre Arabské štúdie

## 1.2 Problematika

Proces výstavby železobetónových konštrukcií sa dá urýchliť dobrou koordináciou dielčích procesov, akými sú stavba debnenia, armovania, výber použitého betónu a včasného oddebnenia. Proces urýchľovania spôsobuje, že je daná konštrukcia citlivejšia na reologické pôsobenie betónu, čo môže výrazne ovplyvniť použiteľnosť danej konštrukcie. Medzi najdôležitejšie reologické vlastnosti betónu patrí dotvarovanie a zmršťovanie. Výpočet dotvarovania a zmršťovania je možný viacerými spôsobmi. Ja som vo výpočte postupoval podľa Eurokódu, ktorý je uznávaný a bežne používaný v Česku a Slovensku.

## 2 Vývoj vlastnosti betónu v čase

### 2.1 Charakteristika dotvarovania a zmrašťovania betónu a jeho výpočet

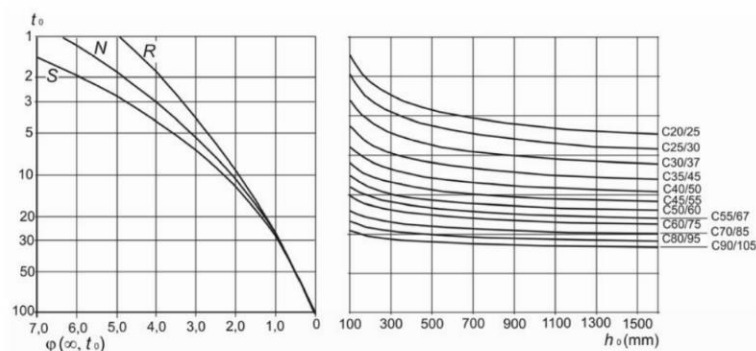
Dotvarovaním betónu sa vyznačujú dlhodobé deformácie vyvolané napätím. Fyzikálne chemická podstata tohto javu je daná zmenou štruktúry cementu tvrdnúceho pri hydratácii a viskóznymi vlastnosťami cementového gélu. Po zaťažení v géle vzniká väzké tečenie, čím sa postupne prenáša napätie do kryštalickej zložky cementu, odkiaľ sa potom prenáša na kamenivo. S postupujúcou hydratáciou vzrastá podiel kryštalickej zložky. Súčasne narastá pružnosť kryštalickej zložky aj väzkosť gélu, čo spôsobuje spomalenie dotvarovania. S narastajúcim časom sa znižuje objem cementového gélu. Prebytočná voda sa z betónu netratí len pri hydratácii, ale aj odparovaním (schnutím), čo spôsobuje vznik kapilárnych javov. Prejav dotvarovania je rast deformácie (obr. 2.1.3), ktorý sa so starnutím betónu postupne spomaľuje a pre napätie menšie ako 0,8 medze pevnosti po dobu 5 až 30 rokov dosiahne istú konečnú hodnotu. Táto hodnota býva 1 až 5 krát väčšia ako pružná deformácia [2], [3].

Pre dotvarovanie betónovej konštrukcie vyvolané dlhodobým zaťažením sa stanovuje celková deformácia s použitím účinného modulu pružnosti betónu  $E_{c,eff}$ .

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

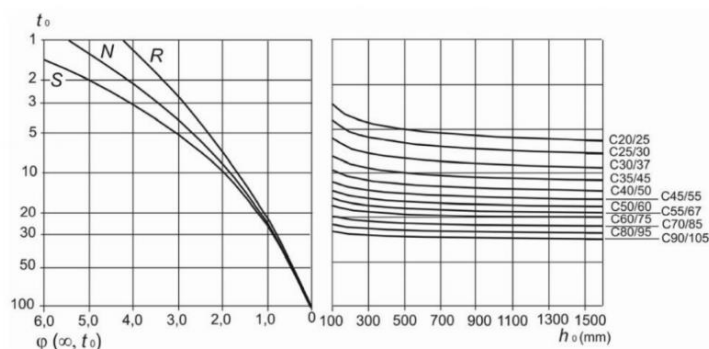
Súčiniteľ dotvarovania  $\varphi(t)$  je rastúca spojité funkcia času, ktorej počiatočná hodnota  $\varphi(0) = 0$ , ktorá vo vymedzenom obore linearity má pre  $t = \infty$  konečnú limitu  $\varphi(\infty)$ . Pri uvažovaní lineárneho dotvarovania s podmienkou, že v čase  $t_0$  je tlakové napätie namáhaného betónového prvku menšie ako  $0,45 \cdot f_{ck} t_0$ , tak získame súčiniteľ dotvarovania z grafu (obr. 2.1.1, 2.1.2) [3].

a) Pro 50% vlhkosti prostředí



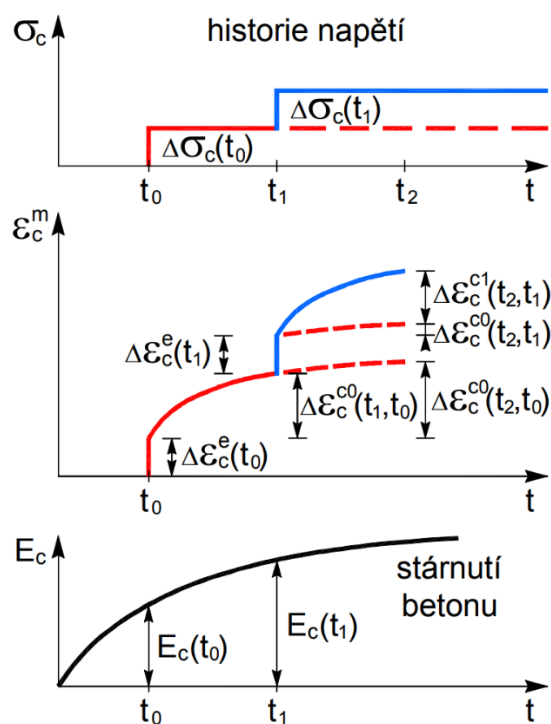
Obr. 2.1.1 Stanovenie súčiniteľa dotvarovania [7]

b) Pro 80% vlhkosti prostředí



Obr. 2.1.2 Stanovenie súčiniteľa dotvarovania [7]

Zjednodušujúcim predpokladom pri výpočte účinkov dotvarovania je platnosť princípu superpozície. Ten platí pokiaľ priebeh napätia  $\sigma_1(t)$  spôsobuje deformáciu  $\varepsilon_1(t)$ , priebeh napätia  $\sigma_2(t)$  spôsobuje deformáciu  $\varepsilon_2(t)$  a zároveň platí, že lineárna kombinácia súčtu napätí  $\sigma_1(t) + \sigma_2(t)$  spôsobí priebeh deformácie  $\varepsilon_1(t) + \varepsilon_2(t)$ . (Vid' obr. 2.1.3) [3].



Obr. 2.1.3 Princíp superpozície pretvorenia [3]

Zmrašťovanie betónu je proces, kedy sa chemicky voľná voda vyparuje z kapilár cementového gélu. Tento proces je sprevádzaný vznikom povrchových ťahových napätí, čím vzniká tlak na pevnú fázu – skelet, ktorého deformácia sa vyznačuje zmrašťovaním. Zmrašťovanie závisí teda na vlhkosných, teplotných podmienkach, zložení, starobe, dimenziách konštrukčného prvku a nie na tom či je betón zaťažený [3].

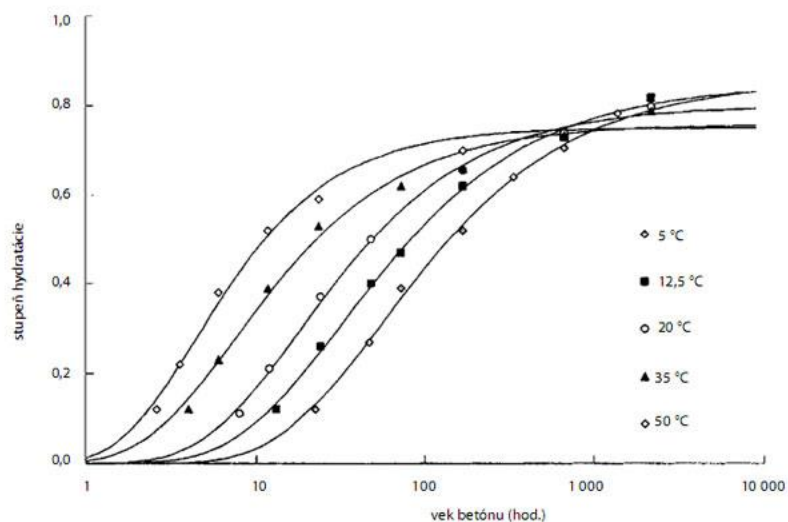
Okrem zmršťovania vysychaním pôsobí aj zmršťovanie sadnutím čerstvého betónu, ktoré vzniká v čase počiatku tuhnutia. Ide o odvod nadbytočnej vody sprevádzaný objemovou kontrakciou rovnú približne 1% objemu cementu, ktorej veľké kusy kameniva, výstuž, alebo vlhčí betón bránia [3].

Tzv. autogénne zmršťovanie je dôsledkom samovysušovania betónu, kedy kvôli nezabezpečeniu vody z okolia, si betón odoberá vodu z kapilár cementového gélu. Pre zamedzenie tohto typu zmršťovania je preto dôležitý proces ošetrovania betónu po betonáži [3].

## 2.2 Vývoj mechanických vlastností betónu

Základnou veličinou udávajúcou tuhosť betónu je modul pružnosti. Závisí na viacerých parametroch, hlavne na pevnosti, zložení a objemovej hmotnosti betónu a na type kameniva. Zisťuje sa experimentálne, výsledok skúšky je však veľmi závislý na dĺžke a spôsobe zaťažovania. Nakoľko sa jedná o zložitejší proces ako skúška pevnosti betónu v tlaku, normy udávajú vzorce pre výpočet v závislosti na pevnosti, alebo objemovej hmotnosti betónu. Tento spôsob výpočtu sa od skutočnej hodnoty môže líšiť aj o 20%. Normy zvyčajne pracujú so zmluvne určenou hodnotou  $E_{cm}$  získanou zo sklonu priamky medzi počiatkom pracovného diagramu a bodom reprezentujúcim medzu úmernosti betónu. Priamkový modul pružnosti  $E_{cm}$  a dotyčnicový  $E_m$  sa veľmi nelíši, napr. podľa normy EN 1992-1-1 je  $E_c=1,05E_{cm}$  [3], [4].

So starnutím betónu rastie modul pružnosti so závislosťou od stupňa hydratácie (obr. 2.2.1). Tento proces je ovplyvnený najmä vodným súčiniteľom, triede cementu, na množstve a typu použitých prísad a na teplote prostredia. Krivka modulu pružnosti v čase je podobná s krivkou odpovedajúcou pevnosti betónu v čase a tiež s krivkou hydratácie betónu [3].

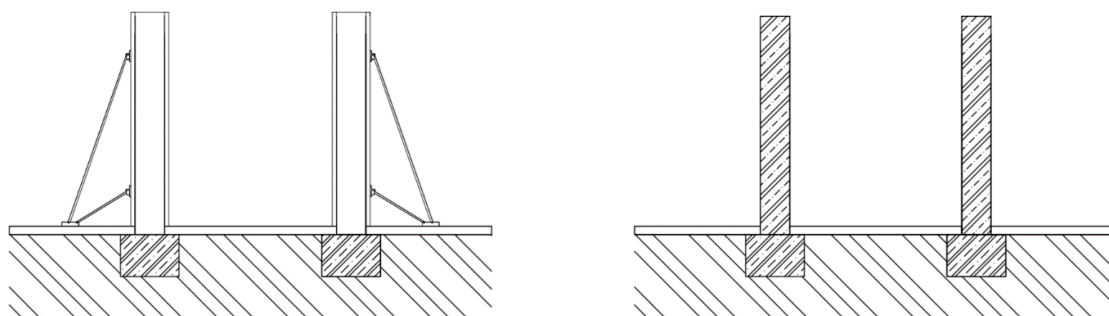


Obr. 2.2.1 krivka hydratácie betónu [8]

### 3 Postup výstavby

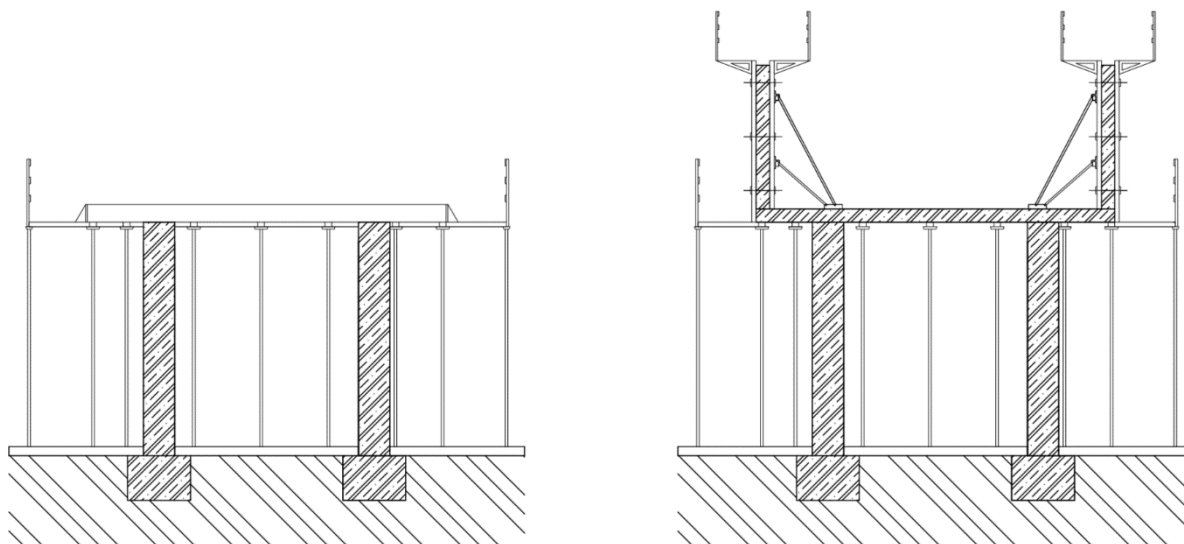
V postupe výstavby chcem ozrejmiť technológiu výstavby vybranej časti železobetónového tubusu vid' obr. 1.1.1 .

V prvom kroku sa na upravený terén v okolí zhotovených základových pätiiek umiestnia cestné betónové panely, ktoré budú v priebehu výstavby slúžiť ako pevný podklad pre stojky debnenia. Debnenie som vybral systém DUO od značky PERI, ktorý umožňuje jednoduchú montáž a čiastočné oddebnenie a odstránenie stojok konštrukcie [8]. Následne sa vyarmujú, vydebni a vybetónujú stĺpy na prízemí (Obr. 3.1).



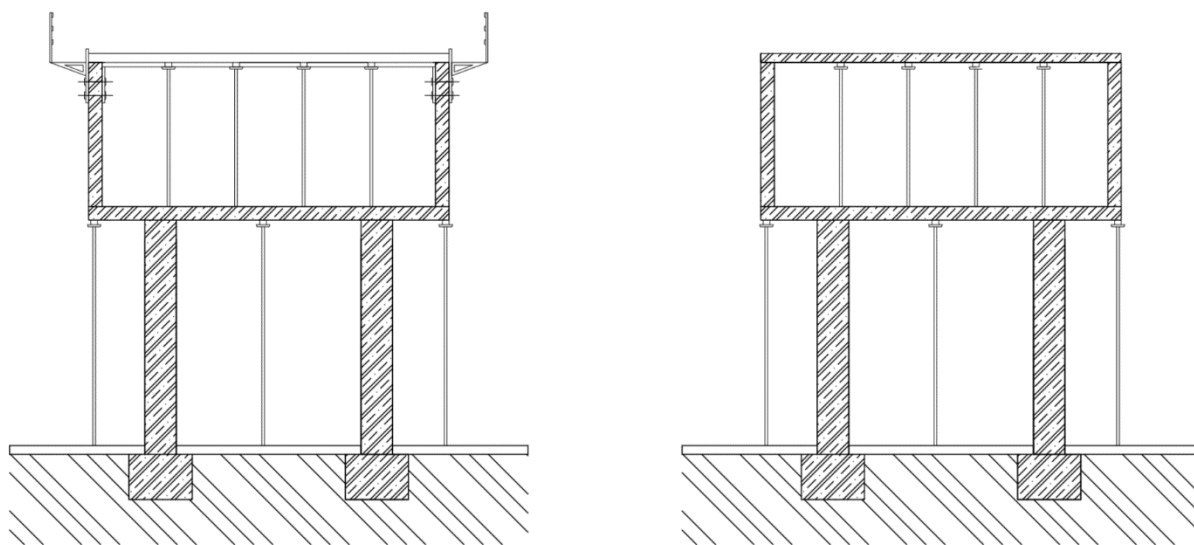
Obr. 3.1 Debnenie stĺpov a následné oddebnenie stĺpov po betonáži

Po oddebnení stĺpov sa vydebni, vyarmuje a vybetónuje stropná doska nad prízemím. Následne sa vyarmujú, vydebni a vybetónujú steny a stenové nosníky v 1NP (obr. 4.2). V každej fáze výstavby je nutné zabezpečiť pracovnú plochu rešpektujúcu BOZP.



Obr. 3.2 postup výstavby stropnej dosky 1NP a stenových nosníkov

V poslednom kroku sa vydební, vyarmuje a vybetónuje stropná doska nad 1NP (obr. 3.3).



Obr. 3.3 Postup výstavby stropnej dosky 2NP

Tento postup aj nákresy slúžia pre predstavu postupu betonáže a preto skutočný priebeh debnenia a stojkovania v priebehu výstavby je zohľadnený v časových harmonogramoch pre jednotlivé rýchlosti výstavby, nakoľko sú netotožné.

## 4 Výpočet deformácie – zrýchlená betonáž

### 4.1 Postup výpočtu

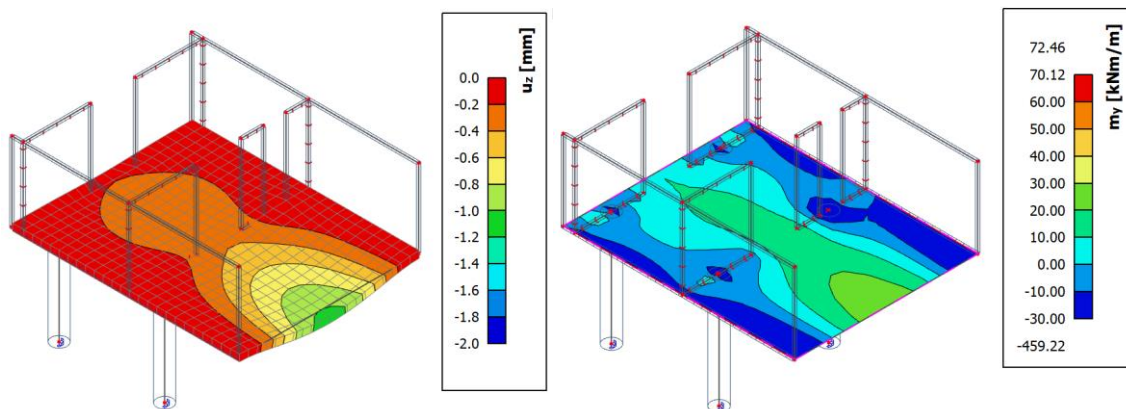
Podľa časového harmonogramu som vytvoril 3D model v programe SCIA Engineer. Nakoľko cieľom výpočtu je porovnanie vplyvu dotvarovania a zmrašťovania v závislosti na rýchlosti výstavby, vychádzam z princípu superpozície pri výpočte pretvorenia od napätia premenlivého v čase. Výstavbu som rozdelil na 4 etapy, teda 4 modely, kde každý reprezentuje zmenu napätia spôsobenú procesom výstavby. Program vykonal lineárny výpočet a vykreslil vnútorné sily a premiestnenie, z ktorých ručným výpočtom zistíme približné hodnoty parciálnych deformácií od dotvarovania. Pre zistenie vzniku trhlin vo výpočte stropnej dosky je potrebný maximálny ohybový moment. Pri výpočte stenových nosníkov neuvažujem vznik trhlin, nakoľko je vzhľadom k excentricite zaťaženia pravdepodobnejšie vybočenie steny, ktoré pre zjednodušenie vo výpočte neuvažujem.



#### 4.4 Deformácie a ohybový moment stropnej dosky nad prízemím z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer

##### 4.4.1 1. etapa betonáže

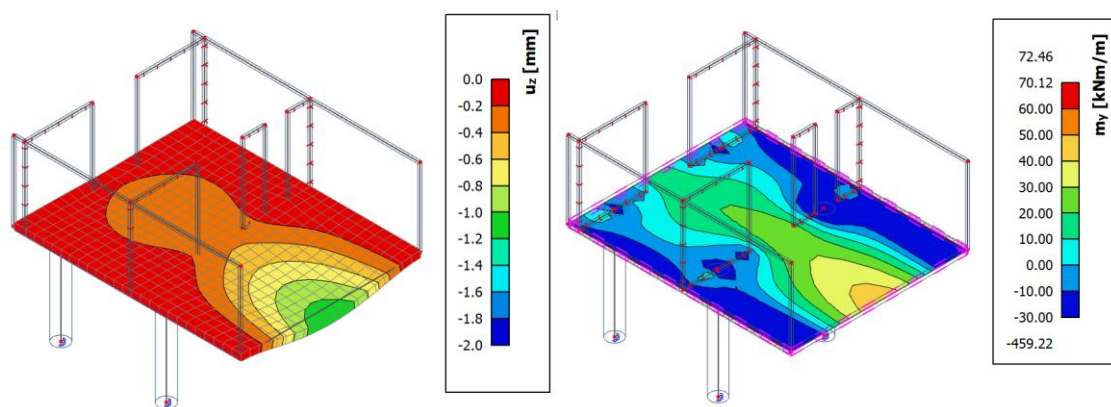
V prvej etape uvažujem pôsobenie napätia spôsobeného odstránením podporných stojok pod stropnou doskou 7 dní po jej betonáži. Stojky boli odstránené pod stenovými nosníkmi, ktorých betón zrel 3 dni v čase výpočtu. Hodnoty betónu v konštrukciách boli upravené podľa tabuľky vstupných hodnôt bodu 5.3 aby odpovedali skutočnosti.



Obr. 4.4.1.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere (vľavo), ohybový moment pôsobiaci na stropnej doske (vpravo), (lineárny výpočet programu SCIA Engineer)

##### 4.4.2 2. etapa betonáže

V druhej etape pribúda napätie od stojok debnenia a následnej betonáže stropnej dosky nad 1NP. Vo výpočtovom modeli je to zohľadnené plošným zaťažením  $8\text{kNm/m}^2$ , čo odpovedá tiaži čerstvého betónu dosky o hrúbke 300mm a konštrukcii debnenia. Nakoľko chcem zistiť iba deformáciu spôsobenú novo vzniknutým napätím, vlastnú tiaž dosky nad prízemím a stien v 1NP uvažujem rovnú 0, aj keď ich mechanické vlastnosti odpovedajú etape 1. Pri výpočte ohybového momentu sa uvažuje konštrukcia s vlastnou tiažou.

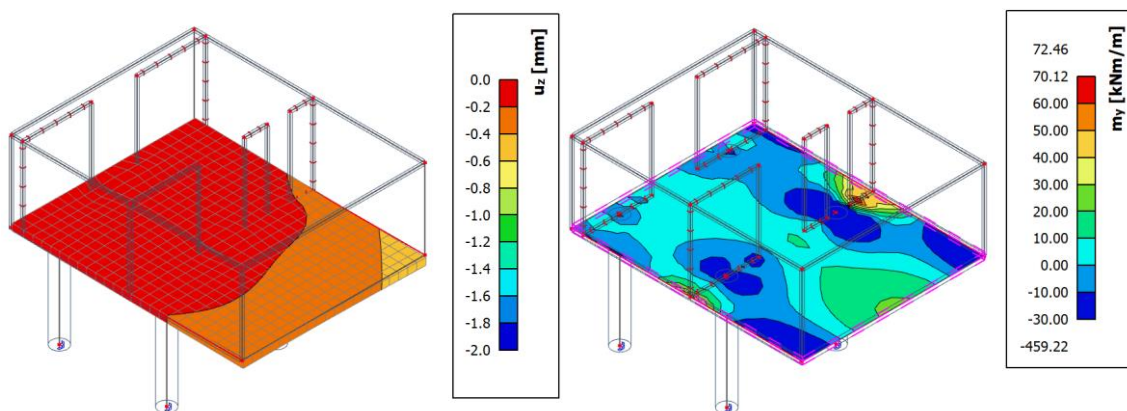


Obr. 4.4.2.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere (vľavo), ohybový moment pôsobiaci na stropnej doske (vpravo), (lineárny výpočet programu SCIA Engineer)



#### 4.4.3 3. etapa betonáže

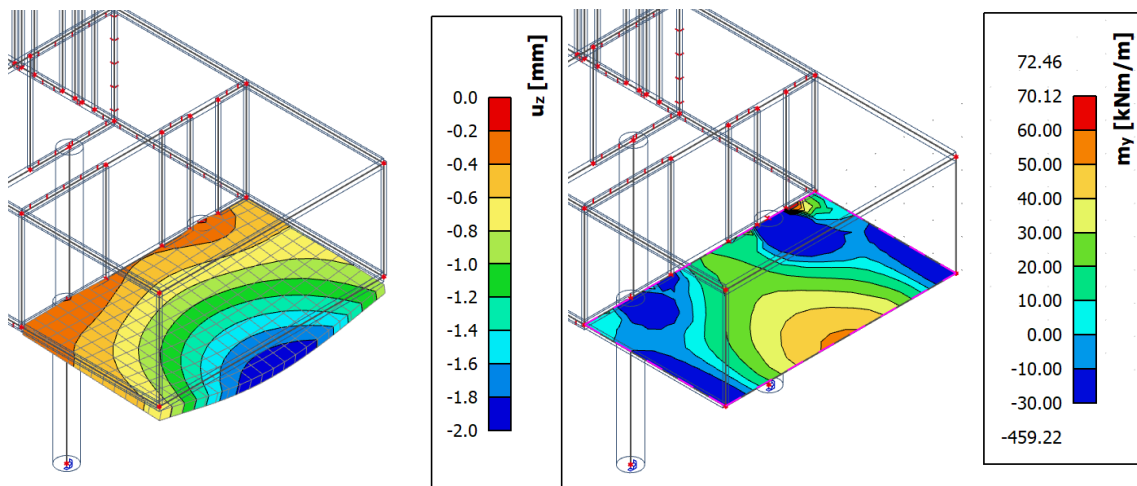
Tretia etapa odráža na deformácii vzniknuté napätie od betonáže stropnej dosky nad 1NP, pričom sa odstránili stojky pod stenovými nosníkmi. Pri výpočte ohybového momentu sa uvažuje konštrukcia s vlastnou tiažou.



Obr. 4.4.3.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere (vľavo) , ohybový moment pôsobiaci na stropnej doske (vpravo), (lineárny výpočet programu SCIA Engineer)

#### 4.4.4 4. etapa betonáže

V 4. etape betón celej konštrukcie už dosiahol plnú pevnosť aj modul pružnosti. Vzniknuté deformácie odpovedajú napätiu spôsobeným ostatným stálym a úžitkovým zaťažením, ktoré na skúmanej stropnej doske činí  $5,5 \text{ kN/m}^2$ . Pri výpočte ohybového momentu sa uvažuje konštrukcia s vlastnou tiažou.



Obr. 4.4.4.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere (vľavo) , ohybový moment pôsobiaci na stropnej doske (vpravo) , (lineárny výpočet programu SCIA Engineer)

#### 4.5 Výpočet približnej hodnoty deformácie stropnej dosky od dotvarovania a zmrašťovania

##### 4.5.1 Výpočet ohybového momentu pri vzniku trhlín $M_{cr,ef}$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot b \cdot h}{2 \cdot b}$$

$$E_{c,ef} = \frac{E_{cm}}{1+\gamma} ; \quad \alpha_{e,ef} = \frac{E_s}{E_{c,ef}}$$

- Plocha ideálneho prierezu ; vzdialenosť ťažiska ideálneho prierezu od horného okraja

$$A_{1,ef} = A_c + \alpha_{e,ef} \cdot A_s ; \quad a_{1,ef} = \frac{[A_c \cdot a_c + \alpha_{e,ef} \cdot A_s \cdot d]}{A_{1,ef}}$$

- moment zotrvačnosti ideálneho prierezu k jeho ťažisku

$$I_{1,ef} = I_c + A_c (a_{1,ef} - a_c)^2 + \alpha_{e,ef} \cdot A_s (d - a_{1,ef})^2$$

- Ohybový moment pri vzniku trhlín

$$M_{cr,ef} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{1,ef}}{h - a_{1,ef}}$$

Tabuľka 4.5.1.1 – Hodnoty výpočtu kritického ohybového momentu na stropnej doske

obybový moment pri vzniku trhlín - zrýchlená betonáž											
etapa	d [m]	h <sub>0</sub> [m]	A <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> ]	f <sub>ctm</sub> [MPa]	E <sub>c,ef</sub> [GPa]	α <sub>e,ef</sub> [-]	A <sub>1,ef</sub> [m <sup>2</sup> ]	a <sub>1,ef</sub> [m]	I <sub>1,ef</sub> [m <sup>4</sup> ]	M <sub>cr,ef</sub> [kNm/m]	
1,2	0,263	0,3	0,000769	2,6	9,11	21,95	0,317	0,156	0,00245	44,242	
3	0,263	0,3	0,000769	2,8	8,63	23,17	0,318	0,156	0,00246	48,023	
4	0,263	0,3	0,000769	2,9	11,92	16,78	0,313	0,155	0,00241	48,087	

V 4. etape budú vznikať trhliny, pretože je ohybový moment väčší ako medzný moment vzniku trhlín.

$$M_{E,qp} = 55 \text{ kNm/m} > M_{cr,ef} = 48,09 \text{ kNm/m}$$

##### 4.5.2 Výpočet váženého momentu zotrvačnosti prierezu s trhlinami

- vzdialenosť neutrálnej osi od tlačenej okraja

$$x_{cr,ef} = \frac{\alpha_{e,ef}}{b} \cdot A_s \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{\alpha_{e,ef}} \cdot \frac{A_s \cdot d}{A_s}} \right] = \frac{16,78}{1} \cdot 0,000769 \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,263}{16,78 \cdot 0,000769}} \right]$$

$$= 0,0704 \text{ m}$$

$$I_{2,ef} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{cr,ef}^3 + \alpha_{e,ef} \cdot A_s (d - x_{cr,ef})^2 =$$

$$\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,0704^3 + 16,78 \cdot 0,000769 (0,263 - 0,0704)^2 = 5,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

- Výpočet rozdeľovacieho súčiniteľa  $\zeta$ , uvažujem  $M_{E,qp} = M_{cr,ef}$

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left( \frac{M_{cr,ef}}{M_{E,qp}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot 1^2 = 0,5$$

- Stanovenie váženého momentu zotrvačnosti

$$I_{1t} = \frac{I_{1,ef} \cdot I_{2,ef}}{\zeta \cdot I_{1,ef} + (1 - \zeta) \cdot I_{2,f}} = \frac{0,00241 \cdot 0,000595}{0,5 \cdot 0,00241 + (1 - 0,5) \cdot 0,000595} = 9,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

#### 4.5.3 Výpočet približnej hodnoty priehybu

- prierez bez trhlín

$$f_{1t,qp} = f_{1,qp} \cdot \frac{E_{cm} \cdot I_c}{E_{c,ef} \cdot I_{ef}}$$

-prierez s trhlinami

$$f_{1t,qp} = f_{1,qp} \cdot \frac{E_{cm} \cdot I_c}{E_{c,ef} \cdot I_{1,t}}$$

Tabuľka 4.5.3.1 – Hodnoty výpočtu približnej hodnoty priehybu stropnej dosky (zrýchlená betonáž)

výpočet približnej hodnoty priehybu - zrýchlená betonáž							
konštrukcia	etapa	$f_{1,qp}$ [mm]	$E_{cm}$ [GPa]	$E_{c,ef}$ [GPa]	$I_c$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{ef}$ [m <sup>4</sup> ]	$f_{1t,qp}$ [mm]
stropná doska	1	1,1	32,8	9,11	0,0025	0,00245	4,04
stropná doska	2	1,2	32,8	9,11	0,0025	0,00246	4,39
stropná doska	3	0,5	32,8	10,25	0,0025	0,00241	1,66
stropná doska	4	2	32,8	11,92	0,0025	0,000954	14,42
							24,51

#### 4.5.4 Výpočet priehybu od zmrašťovania

Predpoklad : zaťaženie zmrašťovania začína pôsobiť v čase  $t_0 = 7$  dní (koniec ošetrovania)

Vlhkosť okolitého prostredia – 80%

$$\varphi_{c,sh(t_0=7 \text{ dní})} = 2,6$$

- Celkové pomerné pretvorenie

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 1,993 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} = 2,493 \cdot 10^{-4}$$

- Pomerné zmrašťovanie vysychaním

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds(t,ts)} \cdot \varepsilon_{cd,\infty} = 0,989 \cdot 0,75 \cdot 2,688 \cdot 10^{-4} = 1,993 \cdot 10^{-4}$$

$$\beta_{ds(t,ts)} = \frac{t - ts}{(t - ts) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{(18250 - 7)}{(18250 - 7) + 0,04 \cdot \sqrt{300^3}} = 0,989$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cd,0} &= 0,85 \cdot \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds,1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} = \\ &= 0,85 \cdot \left[ (220 + 110 \cdot 4) \cdot \exp\left(-0,12 \cdot \frac{38}{10}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot 0,756 = 2,688 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\beta_{RH} = \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = 1,55 \cdot \left( 1 - \left( \frac{80}{100} \right)^3 \right) = 0,756$$

- Pomerné autogénne zmrašťovanie

$$\varepsilon_{ca}(t) = \varepsilon_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5(30 - 10) \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2 \cdot t^{0,5}) = 1 - \exp(-0,2 \cdot 18250^{0,5}) = 1$$

$$E_{c,ef,sh} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{c,sh})} = \frac{33}{(1 + 2,6)} = 9,17 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e,ef,sh} = \frac{E_s}{E_{c,ef,sh}} = \frac{200}{9,17} = 21,81$$

- A) Prierez bez trhlín

$$A_{1,ef,sh} = A_c + \alpha_e \cdot A_s = 1 \cdot 0,3 + 21,81 \cdot 769 \cdot 10^{-6} = 0,317 \text{ m}^2$$

$$a_{1,ef,sh} = \frac{A_c \cdot a_c + \alpha_{e,ef,sh} \cdot A_s \cdot d}{A_{t,ef,sh}} = \frac{0,3 \cdot 0,15 + 21,81 \cdot 761 \cdot 10^{-6} \cdot 0,263}{0,317} = 0,1558 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
I_{1,ef,sh} &= I_c + A_c(a_{1,ef,sh} - a_c)^2 + \alpha_{e,ef,sh} \cdot A_s \cdot (d - a_{1,ef,sh})^2 \\
&= 0,00225 + 0,3(0,156 - 0,15)^2 + 21,81 \cdot 769 \cdot 10^{-6}(0,263 - 0,1558)^2 \\
&= 0,00245 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

$$S_{1,ef,sh} = A_s(d - a_{1,ef,sh}) = 769 \cdot 10^{-6} \cdot (0,263 - 0,1558) = 8,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

- B) Prierez s trhlinami

$$\begin{aligned}
x_{CR,ef,sh} &= \frac{\alpha_{e,ef,sh}}{b} \cdot A_s \cdot \left( -1 + \sqrt{\frac{2b \cdot A \cdot d}{\alpha_{e,ef,sh} \cdot A^2}} \right) \\
&= \frac{21,81}{1} \cdot 769 \cdot 10^{-6} \cdot \left( -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot 0,263}{21,82 \cdot 0,000769}} \right) = 0,0786 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{2,ef,sh} &= \frac{1}{3} b \cdot x_{cr,ef,sh}^3 + \alpha_{e,ef,sh} \cdot (A_s(d - x_{cr,ef,sh}))^2 \\
&= \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,0786^3 + 21,81 \cdot 0,000769 \cdot (0,263 - 0,0786)^2 = 0,000732 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

$$S_{2,ef,sh} = A_s \cdot (d - x_{cr,ef,sh}) = 0,000769 \cdot (0,263 - 0,0786) = 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

- Výsledná krivosť od zmrašťovania

$$\begin{aligned}
\left( \frac{1}{r_{cs}} \right) &= \varepsilon_{cs,\infty} \cdot \alpha_{c,ef,sh} \left( (1 - \zeta_{qp,ef}) \cdot \frac{S_{1,ef,sh}}{I_{1,ef,sh}} + \zeta_{qp,ef} \cdot \frac{S_{2,ef,sh}}{I_{2,ef,sh}} \right) \\
&= 2,493 \cdot 10^{-4} \cdot 21,81 \cdot \left( (1 - 0,5) \frac{0,0000824}{0,00245} + 0,5 \cdot \frac{0,000202}{0,000732} \right) = 0,000842 \text{ m}^{-1}
\end{aligned}$$

- Priehyb od zmrašťovania

$$f_{sh} = k \cdot l^2 \cdot \left( \frac{1}{r} \right)_{cs} = \frac{1}{8} \cdot 8^2 \cdot 0,000842 = 6,74 \text{ mm}$$

#### 4.5.5 Celkový priehyb stropnej dosky

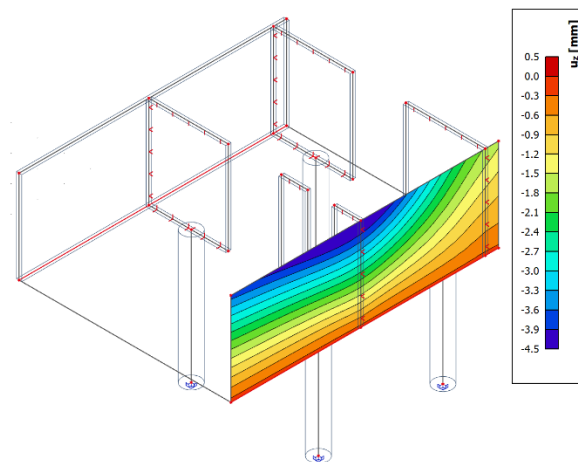
$$f = f_{1t,qp} + f_{sh} = 24,51 + 6,74 = 31,35\text{mm}$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{8000}{250} = 32\text{mm}$$

$32 > 31,35\text{mm}$  ..... priehyb dosky vyhovuje limitu.

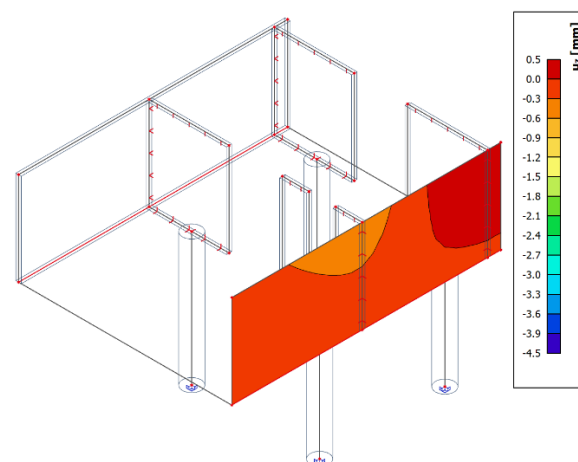
4.6 Deformácie stenových nosníkov z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer  
Zmeny zaťaženia vyvolávajúce napätia v jednotlivých etapách sú popísané v bodoch 5.4. Pri výpočte uvažujem priehyb v zvislom smere, nakoľko aj vplyv od dotvarovania je skúmaný v tomto smere.

##### 4.6.1 1. etapa betonáže



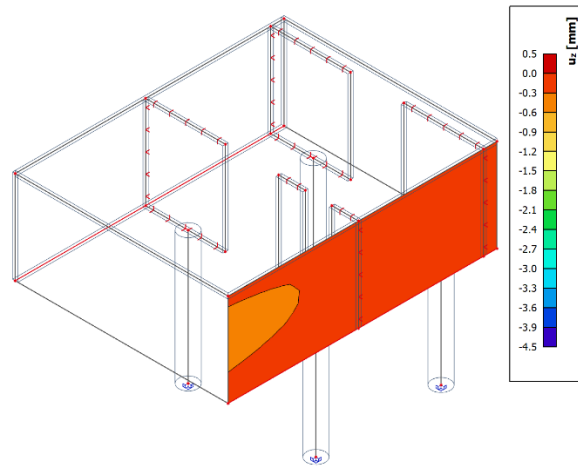
Obr. 4.6.1.1 Zvislé pretvorenie stenového nosníka z lineárneho výpočtu programu SCIA Engineer

##### 4.6.2 2. etapa betonáže



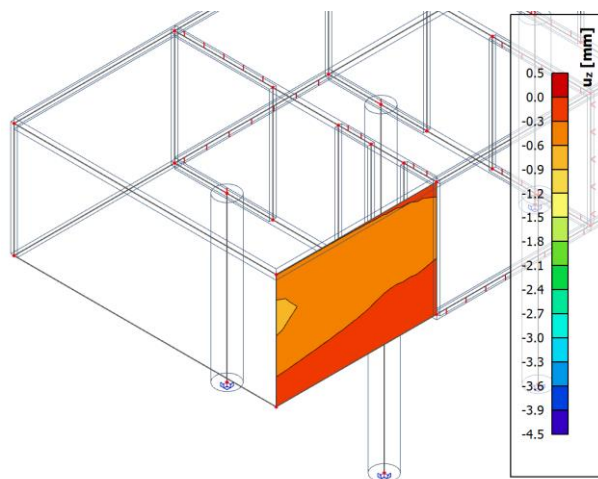
Obr. 4.6.2.1 Zvislé pretvorenie stenového nosníka z lineárneho výpočtu programu SCIA Engineer

#### 4.6.3 3. etapa betonáže



Obr. 4.6.3.1 Zvislé pretvorenie stenového nosníka z lineárneho výpočtu programu SCIA Engineer

#### 4.6.4 4. etapa betonáže



Obr. 4.6.4.1 Zvislé pretvorenie stenového nosníka z lineárneho výpočtu programu SCIA Engineer

### 4.7 Výpočet približnej hodnoty deformácie stenového nosníku od dotvarovania a zmrašťovania

#### 4.7.1 Výpočet približnej hodnoty priehybu od dotvarovania

Pri výpočte postupujem rovnako ako pri stropnej doske bez trhlín v bode 4.5.3., s uvažovaním zmeny modulu pružnosti vplyvom zvislej výstuže. Polohu vodorovnej výstuže pre zjednodušenie výpočtu uvažujem v strede prierezu a pri hornom, dolnom povrchu s uvažovaním krycej výstuže, čo približne odpovedá skutočným hodnotám. Plocha výstuže je v týchto polohách v pomere rozdelená.

Tabuľka 4.7.1.1 - Hodnoty výpočtu približnej hodnoty priehybu stenového nosníka (zrýchlená betonáž)

výpočet približnej hodnoty priehybu - zrýchlená betonáž										
konštrukcia	etapa	$f_{1,qp}$ [mm]	$E_{cm}$ [GPa]	$\alpha_{e,ef}$ [-]	$A_{1,ef}$ [m <sup>2</sup> ]	$a_{1,ef}$ [m]	$E_{c,ef}$ [GPa]	$I_c$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{ef}$ [m <sup>4</sup> ]	$f_{1t,qp}$ [mm]
stenový nosník	1	3,1	33,97	25,940	0,825	1,665	7,71	0,715	0,987	9,898
stenový nosník	2	0,5	33,97	25,940	0,825	1,665	7,71	0,715	0,987	1,596
stenový nosník	3	0,4	33,97	19,417	0,794	1,684	10,3	0,715	0,919	1,026
stenový nosník	4	0,9	33,97	16,194	0,778	1,694	12,35	0,715	0,886	1,998
										14,519

#### 4.7.2 Výpočet priehybu od zmrašťovania

Predpoklad:  $t_0 = 3dní$  ;  $\varphi = 80\%$  ;  $\varphi_{c,sh} = 3,4$

Hodnota pomerného zmrašťovania vysychaním:  $\varepsilon_{cd} = 0,00028$

Autogénne zmrašťovanie:  $\varepsilon_{ca} = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 2,5(30 - 10)10^{-6} = 0,00005$

Celkové pomerné zmrašťovanie:  $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,00028 + 0,00005 = 0,00033$

$$E_{c,ef,sh} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{c,sh})} = \frac{33,97}{(1 + 3,4)} = 7,72GPa$$

$$\alpha_{c,ef,sh} = \frac{E_s}{E_{c,ef,sh}} = \frac{200}{7,72} = 25,94$$

Geometrické charakteristiky prierezu bez trhlín

$$A_{1,ef,sh} = A_c + \alpha_{c,ef,sh}(A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}) = 0,2 \cdot 3,5 + 25,94(1099 + 1099 + 2619) \cdot 10^{-6} = 0,824$$

$$a_{1,ef,sh} = \frac{A_c \cdot a_c + \alpha_{c,ef,sh}(A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2 + A_{s3} \cdot d_3)}{A_{1,ef,sh}} = \frac{0,2 \cdot 3,5 + 25,94(1099 \cdot 10^{-6} \cdot 3,445 + 1099 \cdot 10^{-6} \cdot 1,745 + 2619 \cdot 10^{-6} \cdot 0,055)}{0,824} = 1,664m$$

$$I_{1,ef,sh} = I_c + A_c(a_{1,ef,sh} - a_c)^2 + \alpha_{c,ef,sh}(A_{s1}(d - a_{1,ef,sh})^2 + A_{s2}(a_{1,ef,sh} - d_2)^2 + A_{s3}(a_{1,ef,sh} - d_3)^2) = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 3,5^3 + 0,2 \cdot 3,5 \left(1,664 - \frac{3,5}{2}\right)^2 + 25,94 \cdot (1099 \cdot 10^{-6}(3,445 - 1,664)^2 + 1099 \cdot 10^{-6}(1,664 - 1,745)^2 + 2619 \cdot 10^{-6}(1,664 - 0,055)^2) = 0,986$$

$$S_{1,ef,sh} = A_{s1}(d - a_{1,ef,sh}) + A_{s2}(a_{1,ef,sh} - d_2) + A_{s3}(a_{1,ef,sh} - d_3) =$$



$$= 1099 \cdot 10^{-6}(3,445 - 1,664)^1 + 1099 \cdot 10^{-6}(1,664 - 1,745)^1 + 2619 \cdot 10^{-6}(1,664 - 0,055)^1 \\ = 0,00607m^3$$

Výsledná krivosť od zmrašťovania:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_{e,ef,sh} \cdot \frac{S_{1,ef,sh}}{I_{1,ef,sh}} = 0,00033 \cdot 25,94 \cdot \frac{0,006}{0,986} = 0,000052m^{-1}$$

Priehyb od zmrašťovania:

$$f_{cs} = k \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} \cdot l^2 = 0,5 \cdot 0,000052 \cdot 5^2 = 0,00065m = 0,65mm$$

Zmrašťovanie na stene som počítal akoby sa jednalo o veľmi vysoký nosník, čo viedlo k skoro zanedbateľnému výsledku. Ten bol spôsobený rovnomerným rozmiestnením výstuže po priereze. Tento výpočet sa zároveň opiera o Bernoulli-Navierovu hypotézu, ktorá ale pri stenovom nosníku neplatí, nakoľko priebeh napätia nie je lineárny. Môžeme ho však použiť pre odhad približnej hodnoty.

#### 4.7.3 Posúdenie priehybu

$$f_{lt} = f_{g,lt} + f_{cs} = 14,52 + 0,65 = 15,17mm$$

$$f_{lim,lt} = \frac{l}{150} = 33mm \rightarrow f_{lt} < f_{lim,lt} \dots\dots\dots \text{vyhovuje}$$

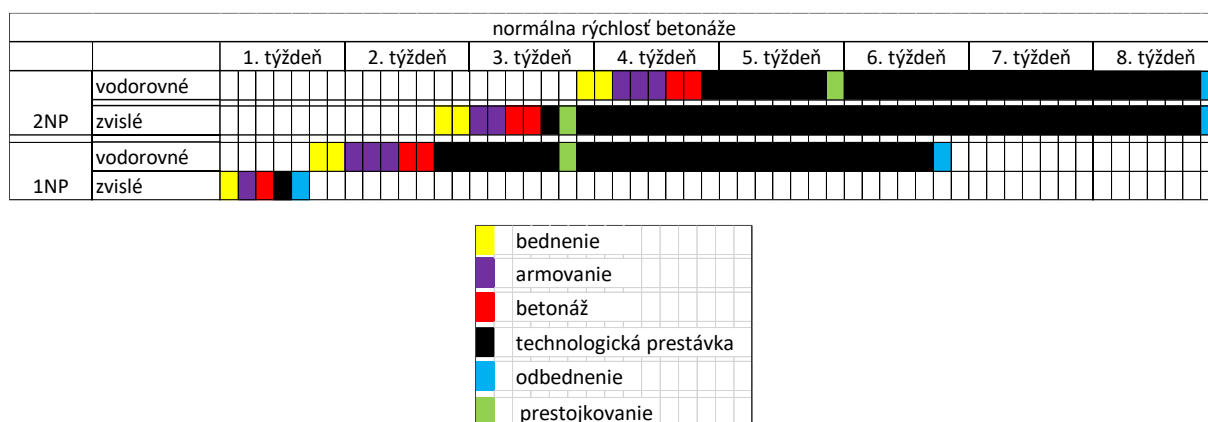
## 5 Výpočet deformácie – nezrýchlená betonáž

### 5.1 Postup výpočtu

Podľa časového harmonogramu som vytvoril 3D model v programe SCIA Engineer. Nakoľko cieľom výpočtu je porovnanie vplyvu dotvarovania a zmršťovania v závislosti na rýchlosti výstavby, vychádzam z princípu superpozície pri výpočte pretvorenia od napätia premenlivého v čase. Výstavbu som preto rozdelil na 3 etapy, teda 3 modely, kde každý reprezentuje zmenu napätia spôsobenú procesom výstavby. Program vykonal lineárny výpočet a vykreslí vnútorné sily a premiestnenie, z ktorých ručným výpočtom zistíme približné hodnoty parciálnych deformácií od dotvarovania. Pre zistenie vzniku trhlín je potrebný maximálny ohybový moment. Pri výpočte stenových nosníkov neuvažujem vznik trhlín, nakoľko je vzhľadom k excentricite zaťaženia pravdepodobnejšie vybočenie steny, ktoré pre zjednodušenie vo výpočte neuvažujem.

## 5.2 Časový harmonogram betonáže

Tabuľka 6.2.1 Časový harmonogram postupu betonáže



## 5.3 Tabuľka vstupných hodnôt

Tab. 5.3.1 – Vstupné dáta potrebné pre výpočet priehybu od dotvarovania (nezrýchlená betonáž)

vstupné dáta - nezrýchlená betonáž								
konštrukcia	betón	etapa	čas zaťaženia [dni]	char. Pevnosť v tlaku [MPa]	char. Pevnosť v ťahu [MPa]	súčiniteľ dotvarovania	modul pružnosti [GPa]	efektívny modul pružnosti [GPa]
stenový nosník	C30/37	1. etapa	24 dni	29	2,8	2,2	33,97	10,61
doska	C30/37		28 dni	30	2,9		32,8	11,92
doska 1NP	C30/37	2. etapa	28 dni	30	2,9	1,75	32,8	11,92
stenový nosník							33,97	12,35
doska 2NP							32,8	11,92
doska 1NP	C30/37	3. etapa	28 dni	30	2,9	1,75	32,8	11,92
stenový nosník							33,97	12,35
doska 2NP							32,8	11,92

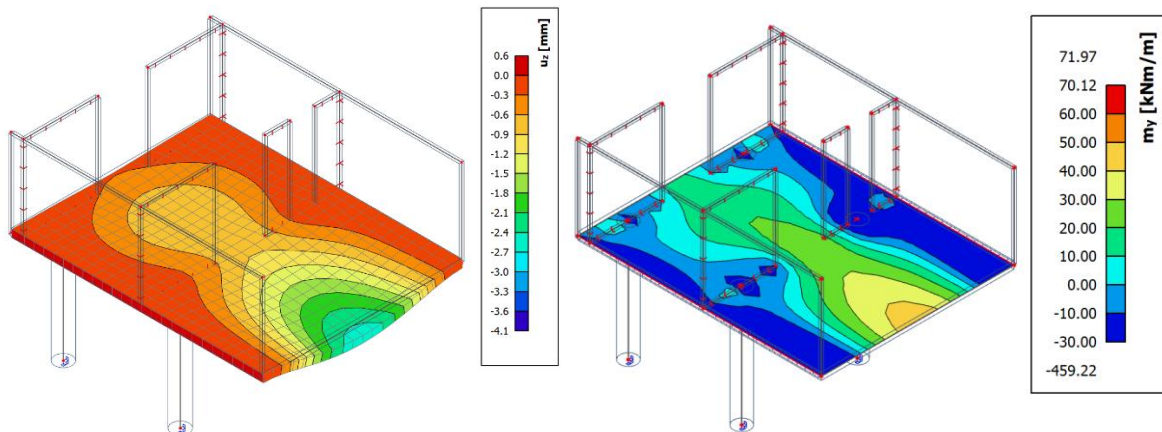
Tab. 5.3.2 – Pôsobiace zaťaženie vyvolávajúce zmenu napätia (nezrýchlená betonáž)

zmena pôsobiaceho zaťaženia - nezrýchlená betonáž			
etapa betonáže	pôsobiace zaťaženie	veľkosť zaťaženia [kN/m <sup>2</sup> ]	veľkosť zaťaženia [kN/m]
1	vl. tiaž - stropná doska 1NP	7,5	-
	vl. tiaž. stropnej dosky 2NP nesená stojkami na stropnej doske 1NP	7,5	-
2	odstojkovanie dosky 2NP a vnesenie zaťaženia na stenový nosník	7,5	-
	vl. tiaž - stenový nosník	-	17,5
3	ostatné stále - stropná doska 1NP	2	-
	premenné - stropná doska 1NP	3,5	-
	ostatné stále - stropná doska 2NP	3,8	-
	premenné - stropná doska 2NP	3,5	-

## 5.4 Deformácie a ohybový moment stropnej dosky nad prízemím z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer

### 5.4.1 1. Etapa betonáže

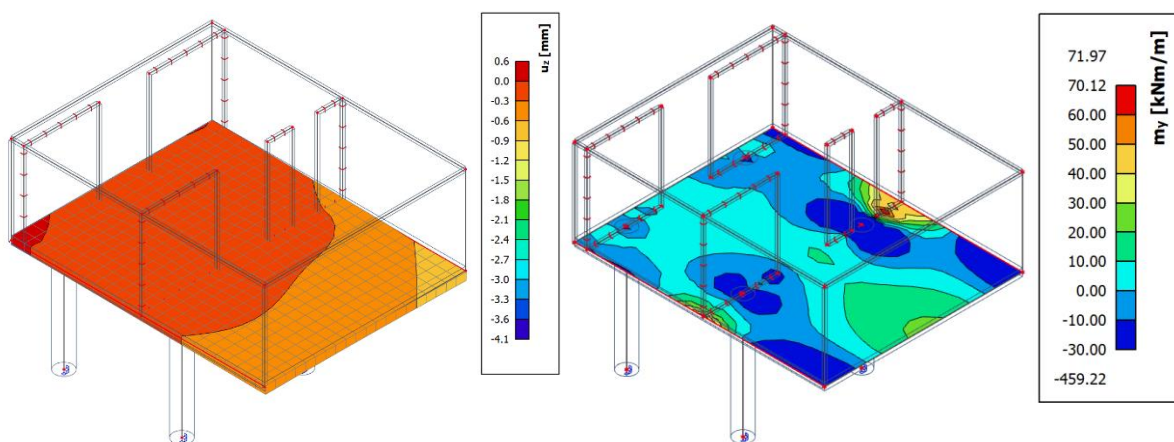
V prvej etape uvažujem pôsobenie napätia spôsobeného odstránením podporných stojok pod stropnou doskou 28 dní po jej betonáži. Zároveň je na stropnej doske zaťaženie od debnenia a betonáže stropnej dosky nad 1NP. Stojky boli ponechané pod stenovými nosníkmi, ktorých betón tuhol 24 dni v čase výpočtu. Hodnoty betónu v konštrukciách boli upravené podľa tabuľky vstupných hodnôt bodu 4.3 aby odpovedali skutočnosti.



Obr. 5.4.1.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere (vľavo) , ohybový moment pôsobiaci na stropnej doske (vpravo) , (lineárny výpočet programu SCIA Engineer)

### 5.4.2 2. etapa betonáže

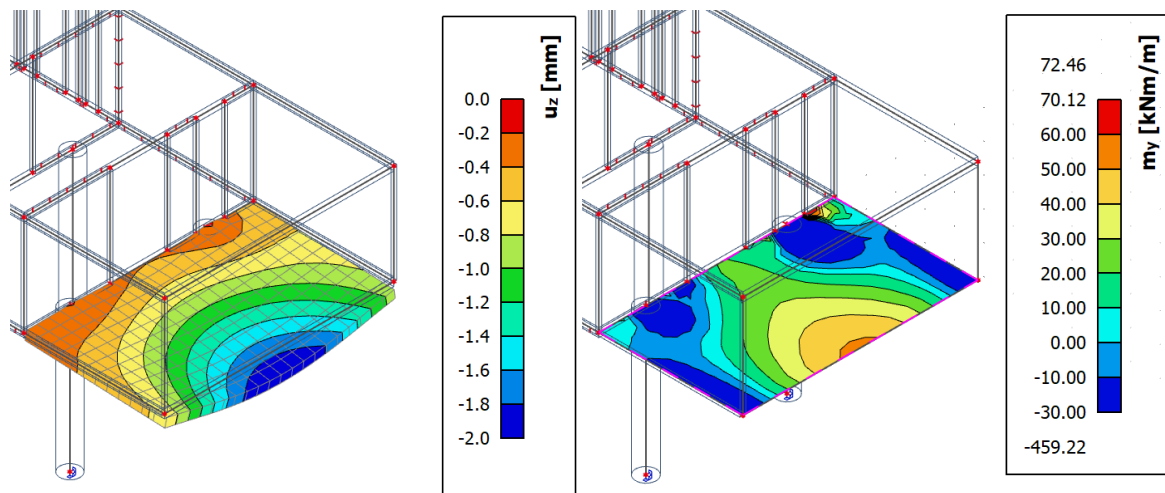
V druhej etape nezrýchlenej betonáže pribúda napätie od oddebnenia stropnej dosky nad 1NP. Betón v celej konštrukcii dosiahol plnú pevnosť aj modul pružnosti. Nakoľko chcem zistiť iba deformáciu spôsobenú novo vzniknutým napätím, vlastnú tiaž dosky nad prízemím a stien v 1NP uvažujem rovnú 0, aj keď ich mechanické vlastnosti odpovedajú etape 1. Pri výpočte ohybového momentu sa uvažuje konštrukcia s vlastnou tiažou.



Obr. 5.4.2.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere (vľavo) , ohybový moment pôsobiaci na stropnej doske (vpravo) , (lineárny výpočet programu SCIA Engineer)

### 5.4.3 3. etapa betonáže

Vzniknuté deformácie v 3. etape odpovedajú napätiu spôsobeným ostatným stálym a úžitkovým zaťažením, ktoré na skúmanej stropnej doske činí 5,5 kN/m<sup>2</sup>. Pri výpočte ohybového momentu sa uvažuje konštrukcia s vlastnou tiažou



Obr. 5.4.3.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere (vľavo) , ohybový moment pôsobiaci na stropnej doske (vpravo) , (lineárny výpočet programu SCIA Engineer)

## 5.5 Výpočet približnej hodnoty deformácie stropnej dosky od dotvarovania a zmrašťovania

### 5.5.1 Výpočet ohybového momentu pri vzniku trhlín $M_{cr,ef}$

Tabuľka 5.5.1.1 – Hodnoty výpočtu kritického ohybového momentu na stropnej doske (nezrýchlená betonáž)

ohybový moment pri vzniku trhlín - nezrýchlená betonáž											
etapa	d [m]	h <sub>0</sub> [m]	A <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> ]	f <sub>ctm</sub> [MPa]	E <sub>c,ef</sub> [GPa]	α <sub>e,ef</sub> [-]	A <sub>1,ef</sub> [m <sup>2</sup> ]	a <sub>1,ef</sub> [m]	I <sub>1,ef</sub> [m <sup>4</sup> ]	M <sub>cr,ef</sub> [kNm/m]	
1	0,263	0,3	0,000769	2,9	11,92	16,78	0,313	0,155	0,00241	48,087	
2	0,263	0,3	0,000769	2,9	11,92	16,78	0,313	0,155	0,00241	48,087	
3	0,263	0,3	0,000769	2,9	11,92	16,78	0,313	0,155	0,00241	48,087	

### 5.5.2 Výpočet približnej hodnoty priehybu

Tabuľka 5.5.3.1 – Hodnoty výpočtu približnej hodnoty priehybu stropnej dosky (nezrýchlená betonáž)

výpočet približnej hodnoty priehybu - nezrýchlená betonáž								
konštrukcia	etapa	f <sub>1,qp</sub> [mm]	E <sub>cm</sub> [GPa]	E <sub>c,ef</sub> [GPa]	I <sub>c</sub> [m <sup>4</sup> ]	I <sub>ef</sub> [m <sup>4</sup> ]	f <sub>1t,qp</sub> [mm]	
stropná doska	1	2,1	32,8	11,92	0,0025	0,00241	5,9	
stropná doska	2	0,5	32,8	11,92	0,0025	0,00241	1,43	
stropná doska	3	2	32,8	11,92	0,0025	0,000954	14,42	
							21,75	

### 5.5.3 Výpočet priehybu od zmrašťovania

Výpočet vid' odsek 5.5.4

$$f_{sh} = 6,74mm$$

### 5.6 Celkový priehyb stropnej dosky

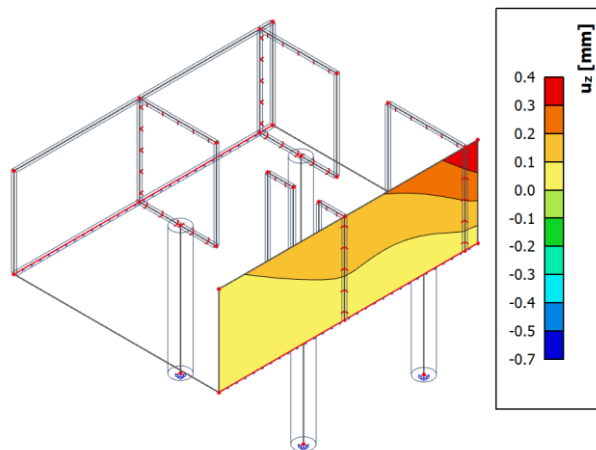
$$f = f_{1t,qp} + f_{sh} = 21,75 + 6,74 = 28,49mm$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{8000}{250} = 32mm$$

$28,49 < 32mm$  ..... priehyb dosky spĺňa limit.

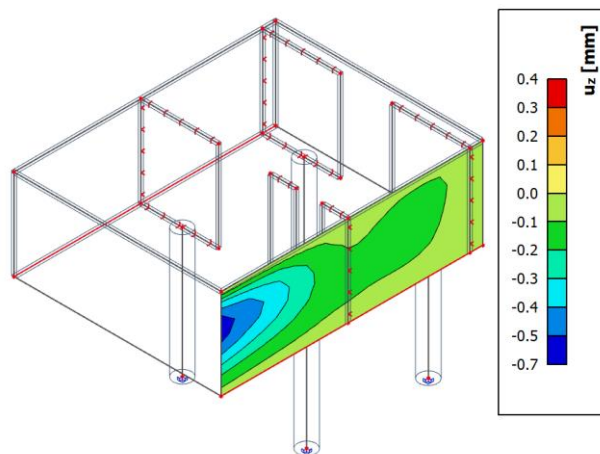
5.7 Deformácie stenových nosníkov z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer  
Zmeny zaťaženia vyvolávajúce napätia v jednotlivých etapách sú popísané v bodoch 5.4. Pri výpočte uvažujem priehyb v zvislom smere, nakoľko aj vplyv od dotvarovania je skúmaný v tomto smere.

#### 5.7.1 1. etapa betonáže



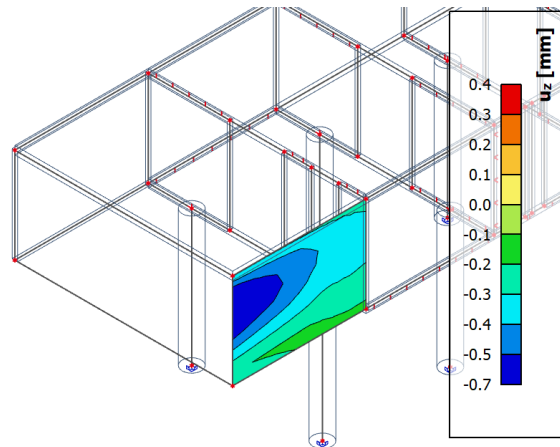
Obr. 5.7.1.1 Zvislé pretvorenie stenového nosníka z lineárneho výpočtu programu SCIA Engineer

#### 5.7.2 2. etapa betonáže



Obr. 5.7.2.1 Zvislé pretvorenie stenového nosníka z lineárneho výpočtu programu SCIA Engineer

### 5.7.3 3. etapa betonáže



Obr. 5.7.3.1 Zvislé pretvorenie stenového nosníka z lineárneho výpočtu programu SCIA Engineer

## 5.8 Výpočet približnej hodnoty deformácie stenového nosníka od dotvarovania a zmršťovania

### 5.8.1 Výpočet približnej hodnoty priehybu

Tabuľka 5.8.1.1 - Hodnoty výpočtu približnej hodnoty priehybu stenového nosníka (nezrýchlená betonáž)

výpočet približnej hodnoty priehybu - nezrýchlená betonáž											
konštrukcia	etapa	$f_{1,qp}$ [mm]	$E_{cm}$ [GPa]	$\alpha_{e,ef}$ [-]	$A_{1,ef}$ [m <sup>2</sup> ]	$a_{1,ef}$ [m]	$E_{c,ef}$ [GPa]	$I_c$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{ef}$ [m <sup>4</sup> ]	$f_{1t,qp}$ [mm]	
stenový nosník	1	0,1	33,97	18,8501414	0,790801	1,685368	10,61	0,715	0,913368	0,250634186	
stenový nosník	2	0,4	33,97	16,194332	0,778008	1,693561	12,35	0,715	0,885745	0,888148801	
stenový nosník	3	0,9	33,97	16,194332	0,778008	1,693561	12,35	0,715	0,885745	1,998334803	
											3,13711779

### 5.8.2 Priehyb od zmršťovania

Priehyb stenového nosníka od zmršťovania je totožný so zrýchlenou betonážou

$$f_{cs} = 0,00065m = 0,65mm$$

### 5.8.3 Posúdenie priehybu

$$f_{lt} = f_{g,lt} + f_{cs} = 3,14 + 0,65 = 3,79mm$$

$$f_{lim,lt} = \frac{l}{150} = 33mm \rightarrow f_{lt} < f_{lim,lt} \dots\dots\dots \text{vyhovuje}$$

## 6 Vyhodnotenie výsledkov výpočtu

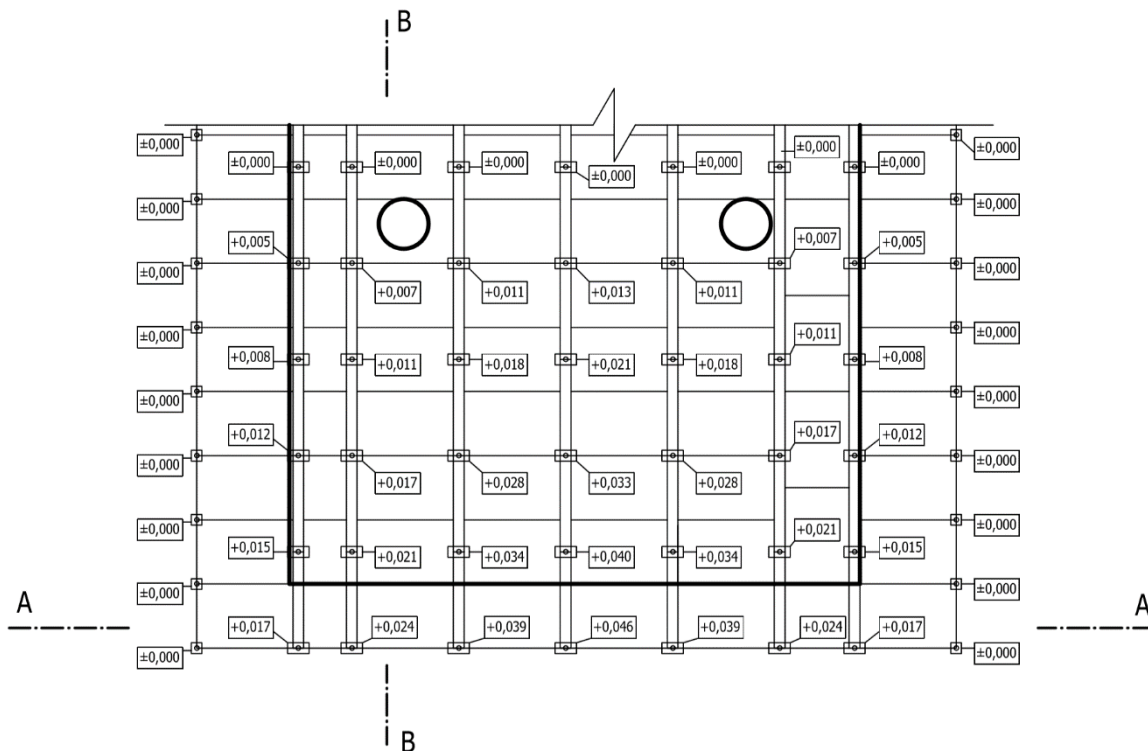
Výsledky výpočtu zodpovedajú počiatočnému predpokladu. Ukázal sa vplyv rýchlosti výstavby na výsledné pretvorenie železobetónového tubusu. Pri zrýchlenej výstavbe, ktorá trvala presne 5 týždňov bol výsledný priehyb celej konštrukcie 46,52 milimetrov, z čoho bol priehyb stropnej dosky 31,35 a priehyb steny 15,17 milimetrov. Pri nezrýchlenej výstavbe sa celkový priehyb tubusu rovná 31,62 milimetrov, z čoho 28,49 milimetrov je priehyb stropnej dosky a 3,13 milimetrov je priehyb stenového nosníka. Z hodnôt vyplýva, že urýchlenie malo výrazný dopad hlavne pri pretvorení stenových nosníkov, kde sa priehyb zvýšil skoro 5 násobne.

### 6.1 Možnosti riešenia

Výsledný priehyb zrýchlenej betonáže rovný 46,52 milimetrov presahuje normou požadovanú hodnotu a z toho dôvodu neodporúčam betonáž urýchliť o mnou uvažované 3 týždne. V prípade, že by investor trval na tomto časovom pláne, navrhujem takzvané nadvýšenie debnenia, ktoré je popísané v bode 6.1.1.

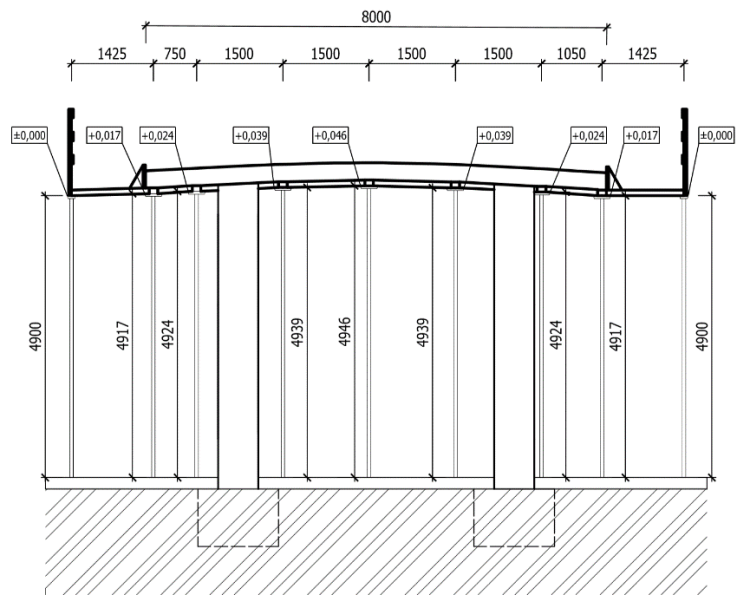
#### 6.1.1 Návrh nadvýšenia debnenia konštrukcie

Pri návrhu nadvýšenia debnenia vychádzam z tvaru výsledného priehybu konštrukcie z programu SCIA Engineer. Uvažujem systémové debnenie Peri DUO. Tvar debnenia vid' obr. 6.1.1.1 až 6.1.1.3.



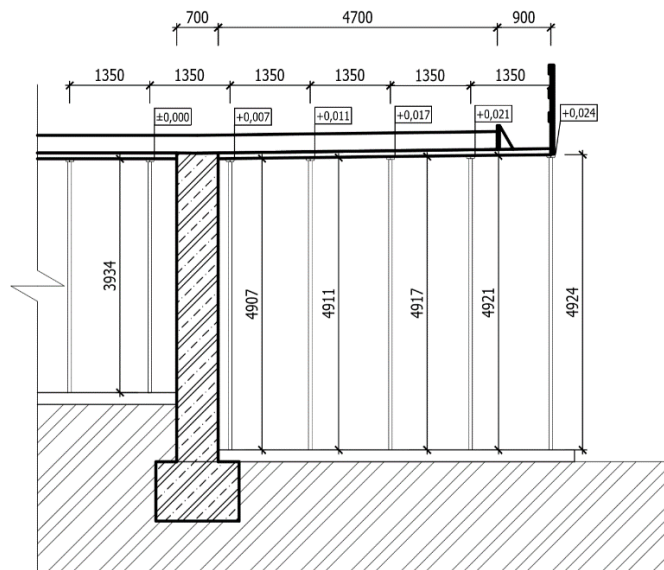
Obr. 6.1.1.1 Výkres usporiadania systémového debnenia

Rez AA



Obr. 6.1.1.2 Výkres usporiadania debnenia – rez AA

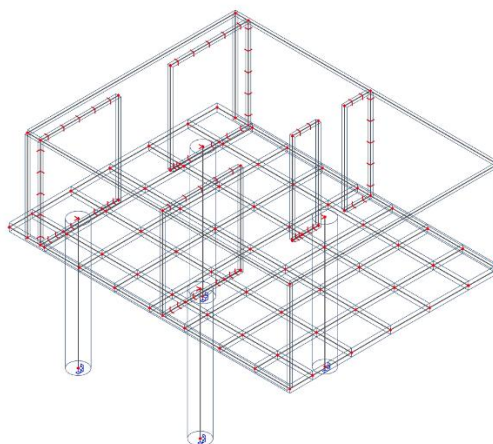
Rez BB



Obr. 6.1.1.3 Výkres usporiadania debnenia – rez BB

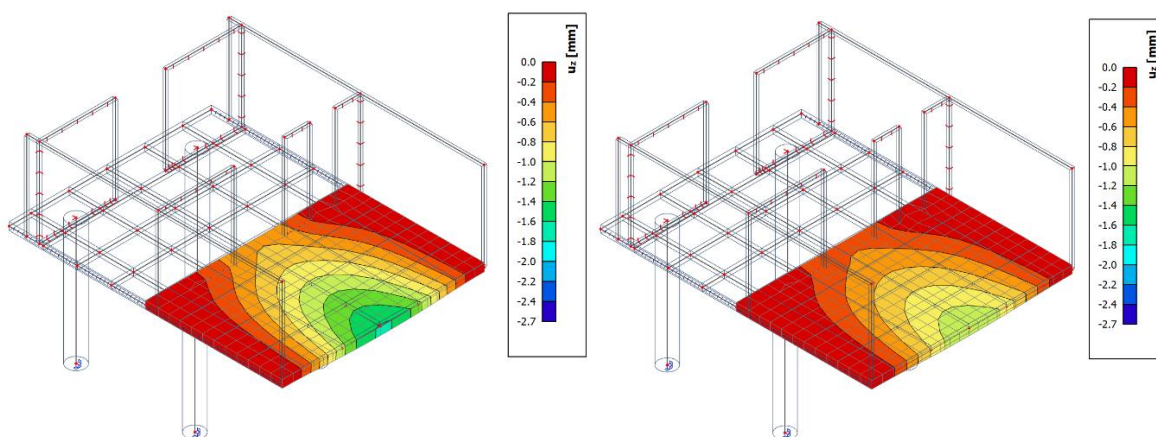
Vo výkrese 6.1.1.2 a 6.1.1.3 je priehyb na stropnej doske prenasobený 5 krát, kvôli lepšej predstave o tvare priehybu. Kóty však odpovedajú skutočnosti.



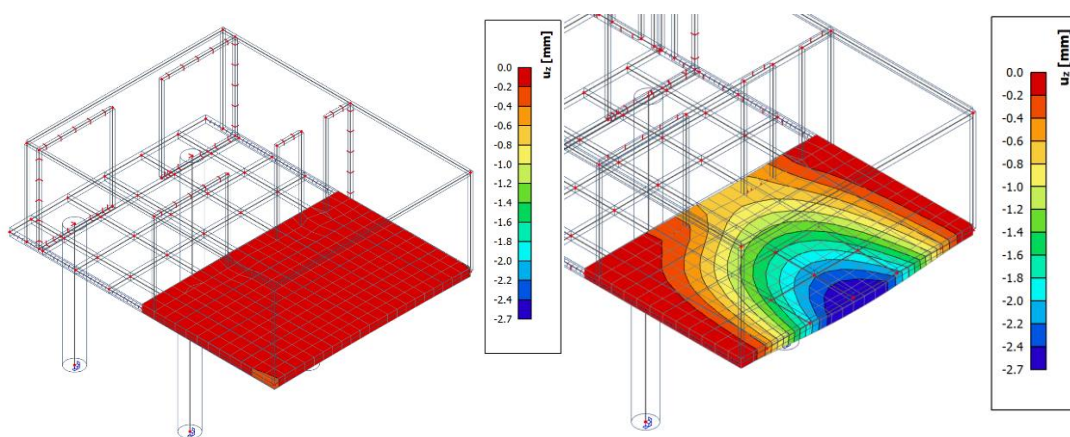


Obr. 6.1.1.4 Dílce nadvýšenej stropnej dosky v programe SCIA Engineer

6.1.2 Deformácie zrýchlenej betonáže nadvýšenej stropnej dosky nad prízemím z lineárneho výpočtu v programe SCIA Engineer



Obr. 6.1.2.1 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere 1. etapa (vľavo) , 2. etapa (vpravo)



Obr. 6.1.2.2 Premiestnenie stropnej dosky v zvislom smere 3. etapa (vľavo) , 4. etapa (vpravo)

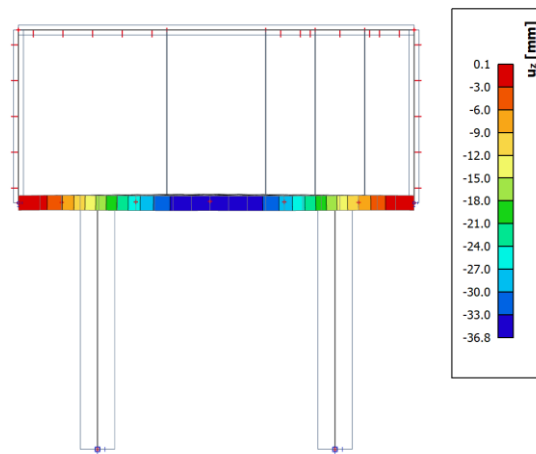
### 6.1.3 Výpočet približnej hodnoty priehybu

Tabuľka 6.1.3.1 – Hodnoty výpočtu približnej hodnoty priehybu stropnej dosky (zrýchlená betonáž s nadvýšením)

výpočet približnej hodnoty priehybu - zrýchlená betonáž s nadvýšením							
konštrukcia	etapa	$f_{1,qp}$ [mm]	$E_{cm}$ [GPa]	$E_{c,ef}$ [GPa]	$I_c$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{ef}$ [m <sup>4</sup> ]	$f_{1t,qp}$ [mm]
stropná doska	1	1,6	32,8	9,11	0,0025	0,00245	5,88
stropná doska	2	1,2	32,8	9,11	0,0025	0,00246	4,39
stropná doska	3	0,1	32,8	10,25	0,0025	0,00241	0,33
stropná doska	4	2,7	32,8	11,92	0,0025	0,000954	19,46
							30,06

### 6.1.4 Celkový priehyb stropnej dosky

$$f = f_{1t,qp} + f_{sh} = 30,06 + 6,74 = 36,80\text{mm}$$



Obr. 6.1.4.1 pohľad na nadvýšenú stropnú dosku po premiestnení od dotvarovania a zmršťovania

### 6.1.5 Vyhodnotenie výsledkov nadvýšenia

Nakoľko približná hodnota priehybu stropnej dosky je 36,80mm uprostred rozpätia, usudzujem že predpokladaný tvar nadvýšenia je správny. Stropná doska po pretvorení od dotvarovania a zmršťovania by teoreticky mala byť v rovine vid' obr. 7.1.4.1 . Kladnou stránkou úpravy tvaru debnenia je, že by mohla viesť k vyhovujúcemu tvaru konštrukcie po pretvorení a tým by bolo možné výstavbu urýchliť. Nevýhodou tohto riešenia je, že náročnosť návrhu debnenia a práce geodeta pri realizácii je omnoho vyššia, ako pri štandardnom debnení. To by mohlo viesť k vysokým finančným nákladom a teda by urýchlená výstavba nemusela byť v tomto prípade lacnejšia, ako výstavba nezrýchlená.

## 7 Záver

Analýza výsledkov tejto práce viedla k nasledujúcim záverom.

- zrýchlená betonáž vedie k zvýšeniu celkového priehybu o 14,15 mm
- celkový priehyb pri zrýchlenej betonáži je 39,02 mm, čo je viac ako povoľuje norma
- problém s vysokým priehybom je možné riešiť betonážou s nadvýšením
- betonáž s nadvýšením vedie k zvýšeniu náročnosti aj nákladov pri realizácii
- navrhujem pre túto stavbu neurýchlený postup betonáže, nakoľko ho vyhodnocujem za výhodnejší

## 8 Literatúra

[1] EN 1990: Basis of design. European CEN 04/2002. Zavedená v ČR ako ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČSN 03/2004

[2] Bažant, Zdeněk. 1966. Dotvarování betonu při výpočtu konstrukcí. Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 182s

[3] Navrátil, Jaroslav. 2007. Vybrané state z betonových konstrukcí 1. Brno, 64s

[4] Piksa, Michal. 2019. Konstrukce velkého vyložení a způsob jejich výstavby [diplomová práce]. Praha: ČVUT, 2019. 67s

[5] Vaněček, Ondřej. 2018. Analýza průhybů železobetonových desek [záverečná práce]. Praha: ČVUT, 2018. 79s

[6] Havlásek Petr. 2009. Modely pro dotvarování a smršťování betonu [diplomová práce]. Praha: ČVUT, 2009. 138s

[7] Procházka, Jaroslav- Kohoutková, Alena- Vašková, Jitka. 2018. Navrhování železobetonových konstrukcí. ČVUT, 2018, 256s

[8] Briatka, Peter. 2011. Úvod do ošetrovania betónu 2- V zimnom období. In: Materiály pro stavbu 2/2011. 2011, č. 1, s. 18-21. Dostupné na: [https://www.tsus.sk/o\\_tsus/publikacie/briatka\\_2011-6.pdf](https://www.tsus.sk/o_tsus/publikacie/briatka_2011-6.pdf)

[9] PERI: DUO [online]. Dostupné na: <https://www.peri.sk/produkty/debnenia/stenove-debnenia/duo-debnenie.html>

## 9 Zoznam príloh

- Príloha A. – Výpočet približnej hodnoty deformácie stropnej dosky od dotvarovania a zmrašťovania (nezrýchlená betonáž)
- Príloha B. – Výpočet približnej hodnoty deformácie stenového nosníku od dotvarovania (nezrýchlená betonáž)

## Príloha A

### Výpočet približnej hodnoty deformácie stropnej dosky od dotvarovania a zmrašťovania – nezrýchlená výstavba

#### A.1. Vstupné dáta výpočtu

Tab. A.1.1 – Vstupné dáta potrebné pre výpočet priehybu od dotvarovania (zrýchlená betonáž)

vstupné dáta - nezrýchlená betonáž								
konštrukcia	betón	etapa	čas zaťaženia [dni]	char. Pevnosť v tlaku [MPa]	char. Pevnosť v ťahu [MPa]	súčiniteľ dotvarovania	modul pružnosti [GPa]	efektívny modul pružnosti [GPa]
stenový nosník	C30/37	1. etapa	24 dní	29	2,8	2,2	33,97	10,61
doska	C30/37		28 dní	30	2,9	1,75	32,8	11,92
doska 1NP	C30/37	2. etapa	28 dní	30	2,9	1,75	32,8	11,92
stenový nosník							33,97	12,35
doska 2NP	C30/37	3. etapa	28 dní	30	2,9	1,75	32,8	11,92
stenový nosník							33,97	12,35
doska 2NP							32,8	11,92

#### A.2 Výpočet ohybového momentu pri vzniku trhlín $M_{cr,ef}$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot b \cdot h}{2 \cdot b}$$

$$E_{c,ef} = \frac{E_{cm}}{1+\gamma} ; \quad \alpha_{e,ef} = \frac{E_s}{E_{c,ef}}$$

- Plocha ideálneho prierezu ; vzdialenosť ťažiska ideálneho prierezu od horného okraja

$$A_{1,ef} = A_c + \alpha_{e,ef} \cdot A_s ; \quad a_{1,ef} = \frac{[A_c \cdot a_c + \alpha_{e,ef} \cdot A_s \cdot d]}{A_{1,ef}}$$

- moment zotrvačnosti ideálneho prierezu k jeho ťažisku

$$I_{1,ef} = I_c + A_c (a_{1,ef} - a_c)^2 + \alpha_{e,ef} \cdot A_s (d - a_{1,ef})^2$$

- Ohybový moment pri vzniku trhlín

$$M_{cr,ef} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{1,ef}}{h - a_{1,ef}}$$

Tabuľka 1.2.1 – Hodnoty výpočtu kritického ohybového momentu na stropnej doske

ohybový moment pri vzniku trhlín - nezrýchlená betonáž											
etapa	d [m]	h <sub>0</sub> [m]	A <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> ]	f <sub>ctm</sub> [MPa]	E <sub>c,ef</sub> [GPa]	α <sub>e,ef</sub> [-]	A <sub>1,ef</sub> [m <sup>2</sup> ]	a <sub>1,ef</sub> [m]	I <sub>1,ef</sub> [m <sup>4</sup> ]	M <sub>cr,ef</sub> [kNm/m]	
1	0,263	0,3	0,000769	2,9	11,92	16,78	0,313	0,155	0,00241	48,087	
2	0,263	0,3	0,000769	2,9	11,92	16,78	0,313	0,155	0,00241	48,087	
3	0,263	0,3	0,000769	2,9	11,92	16,78	0,313	0,155	0,00241	48,087	

V 3. etape budú vznikať trhliny, pretože je ohybový moment väčší ako medzný moment vzniku trhlín.

$$M_{E,qp} = 55 \text{ kNm/m} > M_{cr,ef} = 48,09 \text{ kNm/m}$$

### A.3 Výpočet váženého momentu zotrvačnosti prierezu s trhlinami

- vzdialenosť neutrálnej osi od tlačenej okraja

$$x_{cr,ef} = \frac{\alpha_{e,ef}}{b} \cdot A_s \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{\alpha_{e,ef}} \cdot \frac{A_s \cdot d}{A_s}} \right] = \frac{16,78}{1} \cdot 0,000769 \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,263}{16,78 \cdot 0,000769}} \right]$$

$$= 0,0704 \text{ m}$$

$$I_{2,ef} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{cr,ef}^3 + \alpha_{e,ef} \cdot A_s (d - x_{cr,ef})^2 =$$

$$\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,0704^3 + 16,78 \cdot 0,000769 (0,263 - 0,0704)^2 = 5,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

- Výpočet rozdeľovacieho súčiniteľa  $\zeta$ , uvažujem  $M_{E,qp} = M_{cr,ef}$

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left( \frac{M_{cr,ef}}{M_{E,qp}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot 1^2 = 0,5$$

- Stanovenie váženého momentu zotrvačnosti

$$I_{1t} = \frac{I_{1,ef} \cdot I_{2,ef}}{\zeta \cdot I_{1,ef} + (1 - \zeta) \cdot I_{2,ef}} = \frac{0,00241 \cdot 0,000595}{0,5 \cdot 0,00241 + (1 - 0,5) \cdot 0,000595} = 9,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

### A.4 Výpočet približnej hodnoty priehybu

- prierez bez trhlín

$$f_{lt,qp} = f_{1,qp} \cdot \frac{E_{cm} \cdot I_c}{E_{c,ef} \cdot I_{ef}}$$

-prierez s trhlinami

$$f_{lt,qp} = f_{1,qp} \cdot \frac{E_{cm} \cdot I_c}{E_{c,ef} \cdot I_{1,t}}$$

Tabuľka A.1.4.1 – Hodnoty výpočtu približnej hodnoty priehybu stropnej dosky (zrýchlená betonáž)

výpočet približnej hodnoty priehybu - nezrýchlená betonáž							
konštrukcia	etapa	$f_{1,qp}$ [mm]	$E_{cm}$ [GPa]	$E_{c,ef}$ [GPa]	$I_c$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{ef}$ [m <sup>4</sup> ]	$f_{1t,qp}$ [mm]
stropná doska	1	2,1	32,8	11,92	0,0025	0,00241	5,9
stropná doska	2	0,5	32,8	11,92	0,0025	0,00241	1,43
stropná doska	3	2	32,8	11,92	0,0025	0,000954	14,42
							21,75

## A.5 Výpočet priehybu od zmrašťovania

Predpoklad : zaťaženie zmrašťovania začína pôsobiť v čase  $t_0 = 7$  dní (koniec ošetrovania)

Vlhkosť okolitého prostredia – 80%

$$\varphi_{c,sh}(t_0=7 \text{ dní}) = 2,6$$

- Celkové pomerné pretvorenie

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 1,993 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} = 2,493 \cdot 10^{-4}$$

- Pomerné zmrašťovanie vysychaním

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds(t,ts)} \cdot \varepsilon_{cd,\infty} = 0,989 \cdot 0,75 \cdot 2,688 \cdot 10^{-4} = 1,993 \cdot 10^{-4}$$

$$\beta_{ds(t,ts)} = \frac{t - ts}{(t - ts) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{(18250 - 7)}{(18250 - 7) + 0,04 \cdot \sqrt{300^3}} = 0,989$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cd,0} &= 0,85 \cdot \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds,1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} = \\ &= 0,85 \cdot \left[ (220 + 110 \cdot 4) \cdot \exp\left(-0,12 \cdot \frac{38}{10}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot 0,756 = 2,688 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\beta_{RH} = \left[ 1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)^3 \right] = 1,55 \cdot \left( 1 - \left(\frac{80}{100}\right)^3 \right) = 0,756$$

- Pomerné autogénne zmrašťovanie

$$\varepsilon_{ca}(t) = \varepsilon_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{ca(\infty)} = 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5(30 - 10) \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0,2 \cdot t^{0,5}) = 1 - \exp(-0,2 \cdot 18250^{0,5}) = 1$$

$$E_{c,ef,sh} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{c,sh})} = \frac{33}{(1 + 2,6)} = 9,17 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e,ef,sh} = \frac{E_s}{E_{c,ef,sh}} = \frac{200}{9,17} = 21,81$$

- A) Prierez bez trhlín

$$A_{1,ef,sh} = A_c + \alpha_e \cdot A_s = 1 \cdot 0,3 + 21,81 \cdot 769 \cdot 10^{-6} = 0,317 \text{ m}^2$$

$$a_{1,ef,sh} = \frac{A_c \cdot a_c + \alpha_{e,ef,sh} \cdot A_s \cdot d}{A_{t,ef,sh}} = \frac{0,3 \cdot 0,15 + 21,81 \cdot 761 \cdot 10^{-6} \cdot 0,263}{0,317} = 0,1558 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} I_{1,ef,sh} &= I_c + A_c(a_{1,ef,sh} - a_c)^2 + \alpha_{e,ef,sh} \cdot A_s \cdot (d - a_{1,ef,sh})^2 \\ &= 0,00225 + 0,3(0,156 - 0,15)^2 + 21,81 \cdot 769 \cdot 10^{-6}(0,263 - 0,1558)^2 \\ &= 0,00245 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$S_{1,ef,sh} = A_s(d - a_{1,ef,sh}) = 769 \cdot 10^{-6} \cdot (0,263 - 0,1558) = 8,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

- B) Prierez s trhlinami

$$\begin{aligned} x_{CR,ef,sh} &= \frac{\alpha_{e,ef,sh} \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{\frac{2b \cdot A \cdot d}{\alpha_{e,ef,sh} \cdot A^2}} \right) \\ &= \frac{21,81}{1} \cdot 769 \cdot 10^{-6} \cdot \left( -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot 0,263}{21,82 \cdot 0,000769}} \right) = 0,0786 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{2,ef,sh} &= \frac{1}{3} b \cdot x_{cr,ef,sh}^3 + \alpha_{e,ef,sh} \cdot (A_s(d - x_{cr,ef,sh})^2) \\ &= \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,0786^3 + 21,81 \cdot 0,000769 \cdot (0,263 - 0,0786)^2 = 0,000732 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$S_{2,ef,sh} = A_s \cdot (d - x_{cr,ef,sh}) = 0,000769 \cdot (0,263 - 0,0786) = 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$



- Výsledná krivosť od zmrašťovania

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{r_{cs}}\right) &= \varepsilon_{cs,\infty} \cdot \alpha_{c,ef,sh} \left( (1 - \zeta_{qp,ef}) \cdot \frac{S_{1,ef,sh}}{I_{1,ef,sh}} + \zeta_{qp,ef} \cdot \frac{S_{2,ef,sh}}{I_{2,ef,sh}} \right) \\ &= 2,493 \cdot 10^{-4} \cdot 21,81 \cdot \left( (1 - 0,5) \frac{0,0000824}{0,00245} + 0,5 \cdot \frac{0,000202}{0,000732} \right) = 0,000842 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

- Priehyb od zmrašťovania

$$f_{sh} = k \cdot l^2 \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = \frac{1}{8} \cdot 8^2 \cdot 0,000842 = 6,74 \text{ mm}$$

A.6 Celkový priehyb stropnej dosky

$$f = f_{1t,qp} + f_{sh} = 21,75 + 6,74 = 28,49 \text{ mm}$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ mm}$$

$32 > 28,49 \text{ mm}$  ..... priehyb dosky vyhovuje limitu.

## Príloha B

### Výpočet približnej hodnoty deformácie stenového nosníku od dotvarovania a zmrašťovania – nezrýchlená výstavba

#### B.1 Vstupné dáta výpočtu

Tab. B.1.1 – Vstupné dáta potrebné pre výpočet priehybu od dotvarovania (nezrýchlená betonáž)

vstupné dáta - nezrýchlená betonáž								
konštrukcia	betón	etapa	čas zaťaženia [dni]	char. Pevnosť v tlaku [MPa]	char. Pevnosť v ťahu [MPa]	súčiniteľ dotvarovania	modul pružnosti [GPa]	efektívny modul pružnosti [GPa]
stenový nosník	C30/37	1. etapa	24 dní	29	2,8	2,2	33,97	10,61
doska	C30/37		28 dní	30	2,9	1,75	32,8	11,92
doska 1NP	C30/37	2. etapa	28 dní	30	2,9	1,75	32,8	11,92
stenový nosník							33,97	12,35
doska 2NP							32,8	11,92
doska 1NP	C30/37	3. etapa	28 dní	30	2,9	1,75	32,8	11,92
stenový nosník							33,97	12,35
doska 2NP							32,8	11,92

#### B.2 Výpočet približnej hodnoty priehybu od dotvarovania

Pri výpočte postupujem rovnako ako pri stropnej doske bez trhlín v bode A.3-A.4 prílohy A, s uvážením zmeny modulu pružnosti vplyvom zvislej výstuže. Polohu vodorovnej výstuže pre zjednodušenie výpočtu uvažujem v strede prierezu a pri hornom, dolnom povrchu s uvážením krycej výstuže, čo približne odpovedá skutočným hodnotám. Plocha výstuže je v týchto polohách v pomere rozdelená

Tabuľka B.2.1 - Hodnoty výpočtu približnej hodnoty priehybu stenového nosníka (zrýchlená betonáž)

výpočet približnej hodnoty priehybu - nezrýchlená betonáž										
konštrukcia	etapa	$f_{1,qp}$ [mm]	$E_{cm}$ [GPa]	$\alpha_{e,ef}$ [-]	$A_{1,ef}$ [m <sup>2</sup> ]	$a_{1,ef}$ [m]	$E_{c,ef}$ [GPa]	$I_c$ [m <sup>4</sup> ]	$I_{ef}$ [m <sup>4</sup> ]	$f_{1,qp}$ [mm]
stenový nosník	1	0,1	33,97	18,8501414	0,790801	1,685368	10,61	0,715	0,913368	0,250634186
stenový nosník	2	0,4	33,97	16,194332	0,778008	1,693561	12,35	0,715	0,885745	0,888148801
stenový nosník	3	0,9	33,97	16,194332	0,778008	1,693561	12,35	0,715	0,885745	1,998334803
										3,13711779

#### B.3 Výpočet priehybu od zmrašťovania

Predpoklad:  $t_0 = 3dní$  ;  $\varphi = 80\%$  ;  $\varphi_{c,sh} = 3,4$

Hodnota pomerného zmrašťovania vysychaním:  $\varepsilon_{cd} = 0,00028$

Autogénne zmrašťovanie:  $\varepsilon_{ca} = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 2,5(30 - 10)10^{-6} = 0,00005$

Celkové pomerné zmrašťovanie:  $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,00028 + 0,00005 = 0,00033$

$$E_{c,ef,sh} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{c,sh})} = \frac{33,97}{(1 + 3,4)} = 7,72GPa$$

$$\alpha_{c,ef,sh} = \frac{E_s}{E_{c,ef,sh}} = \frac{200}{7,72} = 25,94$$

Geometrické charakteristiky prierezu bez trhlín

$$A_{1,ef,sh} = A_c + \alpha_{c,ef,sh}(A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}) = 0,2 \cdot 3,5 + 25,91(1099 + 1099 + 2619) \cdot 10^{-6} = 0,824$$

$$a_{1,ef,sh} = \frac{A_c \cdot a_c + \alpha_{c,ef,sh}(A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2 + A_{s3} \cdot d_3)}{A_{1,ef,sh}} = \frac{0,2 \cdot 3,5 + 25,94(1099 \cdot 10^{-6} \cdot 3,445 + 1099 \cdot 10^{-6} \cdot 1,745 + 2619 \cdot 10^{-6} \cdot 0,055)}{0,824} = 1,664m$$

$$I_{1,ef,sh} = I_c + A_c(a_{1,ef,sh} - a_c)^2 + \alpha_{1,ef,sh}(A_{s1}(d - a_{1,ef,sh})^2 + A_{s2}(a_{1,ef,sh} - d_2)^2 + A_{s3}(a_{1,ef,sh} - d_3)^2) = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 3,5^3 + 0,2 \cdot 3,5 \left(1,664 - \frac{3,5}{2}\right)^2 + 25,94 \cdot (1099 \cdot 10^{-6}(3,445 - 1,664)^2 + 1099 \cdot 10^{-6}(1,664 - 1,745)^2 + 2619 \cdot 10^{-6}(1,664 - 0,055)^2) = 0,986$$

$$S_{1,ef,sh} = A_{s1}(d - a_{1,ef,sh}) + A_{s2}(a_{1,ef,sh} - d_2) + A_{s3}(a_{1,ef,sh} - d_3) = 1099 \cdot 10^{-6}(3,445 - 1,664)^1 + 1099 \cdot 10^{-6}(1,664 - 1,745)^1 + 2619 \cdot 10^{-6}(1,664 - 0,055)^1 = 0,00607m^3$$

Výsledná krivosť od zmrašťovania:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_{e,ef,sh} \cdot \frac{S_{1,ef,sh}}{I_{1,ef,sh}} = 0,00033 \cdot 25,94 \cdot \frac{0,006}{0,986} = 0,000052m^{-1}$$

Priehyb od zmrašťovania:

$$f_{cs} = k \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} \cdot l^2 = 0,5 \cdot 0,000052 \cdot 5^2 = 0,00065m = 0,65mm$$

Zmrašťovanie na stene som počítal akoby sa jednalo o veľmi vysoký nosník, čo viedlo k skoro zanedbateľnému výsledku. Ten bol spôsobený rovnomerným rozmiestnením výstuže po priereze. Tento výpočet sa zároveň opiera o Bernoulli-Navierovu hypotézu, ktorá ale pri stenovom nosníku neplatí, nakoľko priebeh napätia nie je lineárny. Môžeme ho však použiť pre odhad približnej hodnoty.

B.4 Posúdenie priehybu

$$f_{lt} = f_{g,lt} + f_{cs} = 3,137 + 0,65 = 3,79mm$$

$$f_{lim,lt} = \frac{l}{150} = 33mm \rightarrow f_{lt} < f_{lim,lt} \dots\dots\dots \text{vyhovuje}$$