

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra betonových a zděných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Shell house

Bc. David Tomášek
2021

Vedoucí diplomové práce:
Ing. Michaela Frantová, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....

Bc. David Tomášek

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat paní Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat prof. Ing. Petrovi Štemberkovi, Ph.D., D.Eng., Ing. Martinovi Petříkovi, Ph.D. a Mgr. Yulii Khmurovské, Ph.D. za cenné rady a věcné připomínky při zpracování mé diplomové práce.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Tomášek Jméno: David Osobní číslo: 460466
Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Shell house
Název diplomové práce anglicky: Shell house
Pokyny pro vypracování:
Návrh a posouzení konstrukčního systému
Návrh výztuže vybrané části konstrukce
Zohlednění dynamického zatížení při zemětřesení
Návrh provádění betonáže - bednění, pracovní spáry

Seznam doporučené literatury:
BACHMANN, Hugo, Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners and authorities, BWG, Biel, 2003
ČSN EN 1992 - Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí
ČSN EN 1998 - Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michaela Frantová Ph.D.
Datum zadání diplomové práce: 21.9.2020 Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021
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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je návrh a posouzení konstrukce netradičního tvaru v seizmicky aktivní oblasti s využitím platných českých norem, návrh výztuže vybraných konstrukčních prvků a koncepční návrh způsobu výstavby. Jsou zde řešeny problémy působení větru na oválnou konstrukci nepravidelného půdorysu, způsob uvážení zatížení teplotou na částech konstrukce vystavených vnějším vlivům a přístup k zatížení seizmicitou včetně výpočtu jeho vlivu. Dále se práce věnuje způsobu modelování konstrukce a samotnému návrhu a posouzení konstrukce. Je zde popsáno, jakým způsobem bylo přistoupeno k návrhu a posouzení výztuže na oválných částech konstrukce s proměnnou tloušťkou, a s jakými problémy se bylo nutné při návrhu výztuže vypořádat. Na závěr je rozebrán koncepční návrh výstavby – jsou zde uvedeny požadavky na beton a na bednění, které budou při výstavbě vyžadovány, navrhnuty dvě možné varianty postupu výstavby a zhodnocení jejich kladů a záporů.

Pro výpočet návrhových vnitřních sil a posouzení konstrukce byl vytvořen celkový 3D model konstrukce v programu SCIA Engineer 19.1 společně s dílčími kontrolními modely. Návrh výztuže a posouzení na mezní stavy únosnosti a použitelnosti jsou provedeny ručními návrhovými metodami za současného použití programu MS Excel.

Klíčová slova

gradient teploty, koncept výstavby, mezní stavy, nestacionární výpočet teploty, oválná konstrukce, seizmicita, schéma vyztužení, simulace větru, výztuž, zatížení

Abstract

The subject of the diploma thesis is the design and assessment of the structure of non-traditional shape in a seismically active area using valid Czech standards, design of reinforcement of selected structural elements and conceptual design of the method of construction. The problems of wind action on an oval structure with an irregular floor plan, the method of considering the temperature load on parts of the structure exposed to external influences and the approach to the load by seismicity, including the calculation of its influence, are solved here. Furthermore, the work deals with the method of modelling the structure and the design and assessment of the structure. It describes how the design and assessment of reinforcement was approached on oval parts of the structure with variable thickness, and what problems had to be dealt with when designing reinforcement. Finally, the conceptual design of the construction is discussed - there are requirements for concrete and formwork, which will be required during construction and two possible variants of the construction process and evaluation of their pros and cons.

An overall 3D model of the structure was created in SCIA Engineer 19.1 together with partial control models to calculate the design internal forces and assess the structure. Reinforcement design and assessment for ultimate strength and serviceability are performed by manual design methods using MS Excel.

Keywords

construction concept, loads, limit states, non-stationary temperature calculation, oval construction, reinforcement, reinforcement scheme, seismicity, temperature gradient, wind simulation

Obsah

Úvod	1
1. Rodinný dům „Shell house“	3
1.1 Popis konstrukce rodinného domu	3
2. Zatížení působící na stavbu	5
2.1 Stálá zatížení	5
2.2 Užité zatížení	6
2.3 Zatížení sněhem	6
2.4 Zatížení větrem	7
2.5 Zatížení teplotou	11
2.6 Zatížení seismicitou	18
3. Posouzení konstrukce a návrh výztuže	23
3.1 Výpočetní model	23
3.2 Zatěžovací stavy a jejich kombinace	26
3.3 Návrh výztuže a posouzení na MSÚ	28
3.4 Návrh výztuže a posouzení na MSP	30
3.5 Způsob vyztužení a řešení problémových míst	32
4. Koncepční návrh technologie výstavby	35
4.1 Požadavky na beton	35
4.2 Požadavky na bednění	36
4.3 Varianty postupu výstavby	38
Závěr	43
Seznam použité literatury a zdrojů	45
Seznam obrázků	47
Seznam tabulek	49
Seznam příloh	49
Seznam výkresů	49
Seznam použitých zkratk	49
Přílohy	50
Výkresy	94

Úvod

Konstrukce rodinného domu, která byla vybrána pro účely této diplomové práce, byla zvolena z důvodu velmi netradičního tvaru (viz *Obrázek 1*). Navíc se konstrukce nachází v seizmicky aktivní oblasti, v Japonsku, kde špičkové zrychlení podloží dosahuje násobně vyšších hodnot než v České republice, což vyvoluje na budovy velmi velké účinky. S těmito účinky je potřeba počítat již při samotném návrhu konstrukce.



Obrázek 1 - Rodinný dům Shell house, Japonsko [17]

Cílem diplomové práce je navrhnout tuto konstrukci, která se nachází v seizmicky aktivní oblasti, pomocí platných českých norem. Při výpočtech zatížení bude uvažováno s hodnotami působícími v místě stavby, tzn. v Japonsku, ale tyto hodnoty budou zaříděny dle českých norem a také s nimi bude dle českých norem dále počítáno.

První část diplomové práce obsahuje popis konstrukce, její umístění a rozměry, jsou zde popsána jednotlivá zatížení, která na konstrukci působí, a je zde uveden postup, jak bylo dosaženo jednotlivých výsledných hodnot zatížení.

U některých typů zatížení bylo přistoupeno ke speciálnímu typu výpočtu, včetně ověření, zda je způsob výpočtu správný, a je s ním tedy dosaženo správných výsledků.

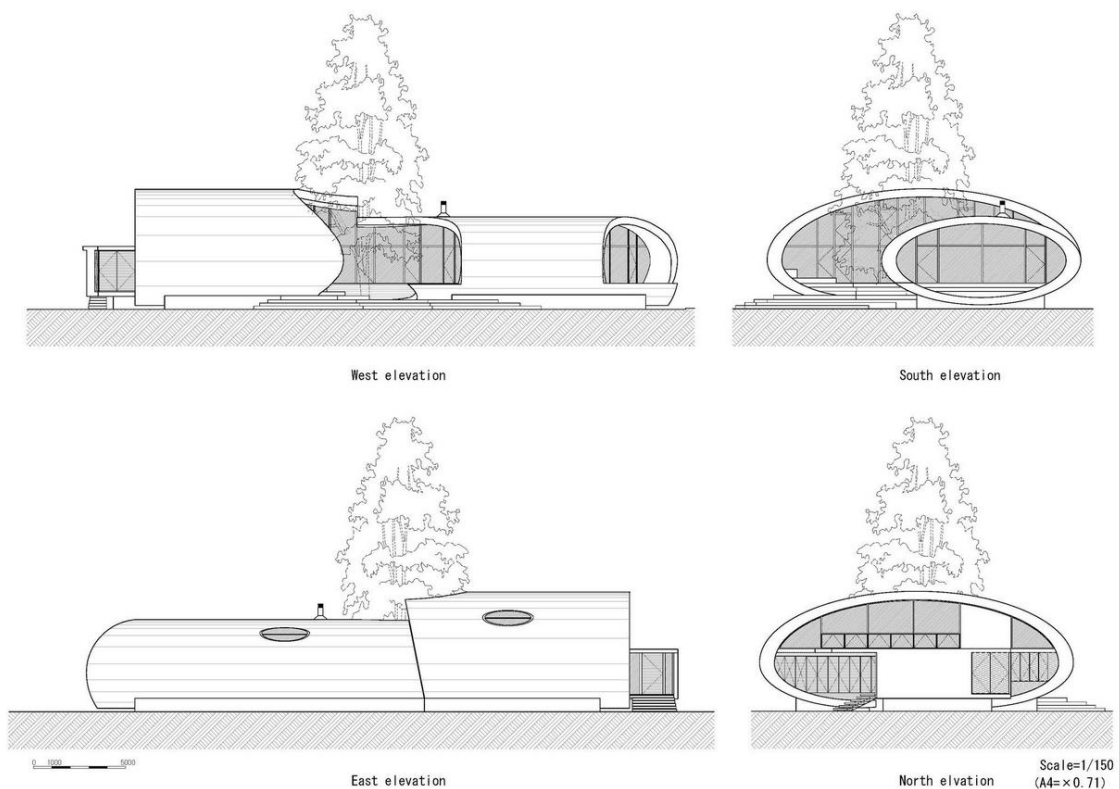
Druhá část diplomové práce se zabývá návrhem a posouzením konstrukce. Je zde popsáno, jak byla konstrukce v prostředí výpočetního programu SCIA Engineer modelována, a jsou zde uvedeny použité metody pro kontrolu správnosti výsledného 3D modelu konstrukce. Následně je vypracován soupis působících zatěžovacích stavů a jejich kombinací, je zde popsán přístup, jak byla konstrukce posuzována na jednotlivé mezní stavy a jak byla navržena výztuž oválných částí konstrukce. V závěru této kapitoly jsou popsána řešení a posudky problémových míst, které byly identifikovány při posuzování a vyztužování konstrukce. Výstupem této části diplomové práce jsou přílohy s výpočty a posudky, které jsou doplněny výkresy schémat vyztužení, výztuže oválných konstrukcí a problémového detailu napojení konstrukcí.

Poslední část diplomové práce se věnuje koncepčnímu návrhu způsobů výstavby. Jsou zde definovány požadavky na provádění, kvalitu betonu a na bednění. Na základě těchto požadavků by byl proveden návrh výstavby specialistou – technologem výstavby. Dále jsou zde popsány možnosti provádění výstavby a rozdělení výstavby na pracovní záběry. Jsou zde navrženy možnosti, jak by se daly oválné části konstrukce betonovat na jeden pracovní záběr nebo jak by je bylo možné rozdělit na jednotlivé pracovní záběry při výstavbě.

1. Rodinný dům „Shell house“

1.1 Popis konstrukce rodinného domu

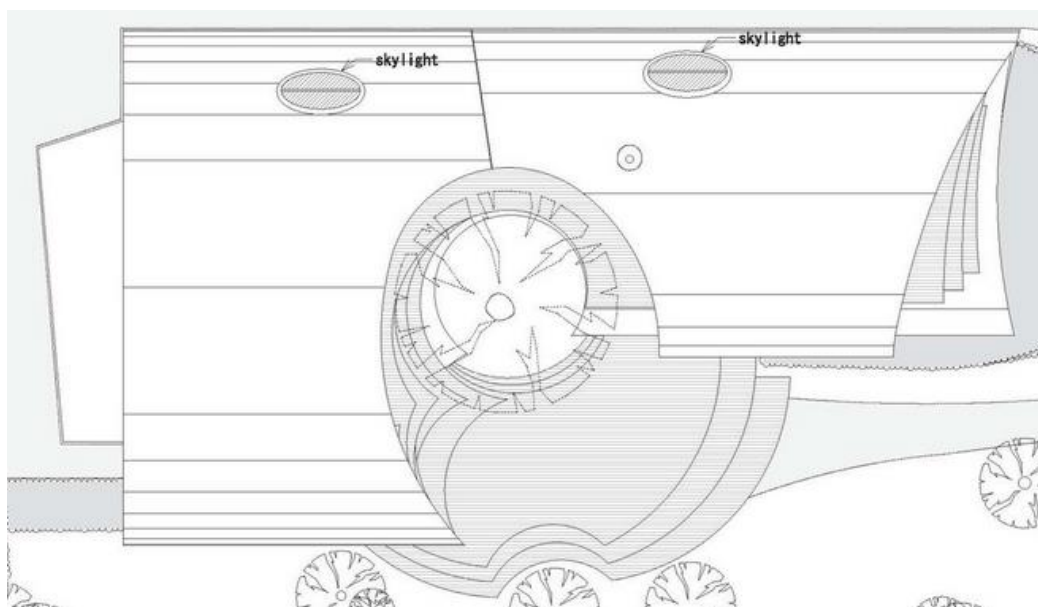
Rodinný dům „Shell house“ se nachází v Japonsku ve městě Karuizawa v prefektuře Nagano. Jedná se o železobetonovou konstrukci elipsovitého průřezu, která se skládá ze dvou hlavních částí – menší a delší oválné části o jednom podlaží a vyšší a kratší oválné části, kterou tvoří dvě podlaží, jak je vidět na *Obrázku 2*.



Obrázek 2 - Pohledy na konstrukci [16]

Vnější elipsovité konstrukce mají proměnnou tloušťku, která plynule přechází z tloušťky 330 mm v horním a dolním vrcholu elipsy do tloušťky 730 mm v jejich okrajích. Vnitřní svislé konstrukce jsou tloušťky 200, 250 a 300 mm a stropní konstrukce jsou tloušťky 250 mm. Celá budova je založena na základovém roštu stojícím na základové desce. Tloušťka základových pasů je 650 mm a tloušťka základové desky je 300 mm. Hloubka základové spáry činí 1 m. Důvodem masivnosti jednotlivých konstrukčních prvků je umístění stavby v seizmicky aktivní oblasti s nemalými hodnotami zrychlení podloží. Tím pádem je nutné, aby byla konstrukce dostatečně tuhá, čímž bude odolávat vlivům zemětřesení.

Konstrukce je půdorysně velmi nepravidelná s nepravidelnými zaoblenými svislými výřezy, které tvoří velké prosklené plochy s výhledem do exteriéru, a s elipsovitými střešními otvory (viz *Obrázek 3 a 4*). Výkres půdorysu konstrukce včetně řezů je přiložen na konci diplomové práce (viz *Výkres 1 – Půdorys + řezy*).



Obrázek 3 - Půdorys konstrukce [16]



Obrázek 4 - Pohled na hotovou stavbu [17]

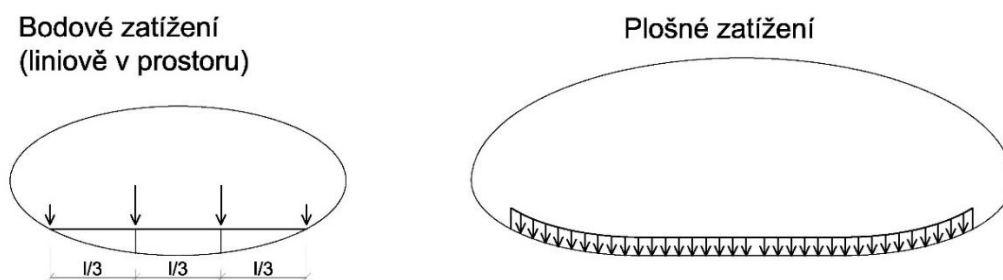
2. Zatížení působící na stavbu

Jelikož je stavba umístěna v Japonsku, tak je při získávání hodnot zatížení vycházeno z japonských a českých norem současně. Většina zatížení, jako stálá, užitná a zatížení teplotou, jsou brána z předpisů ČSN EN. Zatížení související s umístěním stavby, kterými jsou zatížení sněhem, větrem a seismicitou, jsou získány pomocí map oblastí zatížení sněhem, větrem a seismicitou [7] od společnosti Dlubal Software s.r.o. Tato společnost poskytuje i mapu Japonska s hodnotami zatížení dle AIJ RLB. Způsob, jak bylo přistoupeno k těmto hodnotám, bude blíže popsáno v následujících kapitolách.

Hodnoty a výpočty zatížení jsou podrobně popsány v *Příloze 1 – Výpočet zatížení*.

2.1 Stálá zatížení

Významným stálým zatížením působícím na konstrukci je vlastní tíha konstrukce. Dále zde působí zatížení od skladby podlahy ze dřeva, která je v části menšího oválu vyvýšená z důvodu nerovné konstrukce. Tím pádem působí v těchto místech bodově a ve větším oválu s plochou deskou působí plošně (viz *Obrázek 5*).



Obrázek 5 - Rozložení působení stálého zatížení skladbou podlahy na konstrukci

Dalším stálým zatížením jsou prosklené výplně velkých otvorů v průčelí a uprostřed konstrukce. Tyto plochy jsou vzhledem ke své velikosti významné také pro přenos zatížení větrem.

Na konstrukci působí také zatížení zeminou. V tomto případě zemina přitěžuje přečnívající základovou desku pod základovým roštem a dále působí bočním tlakem na základový rošt.

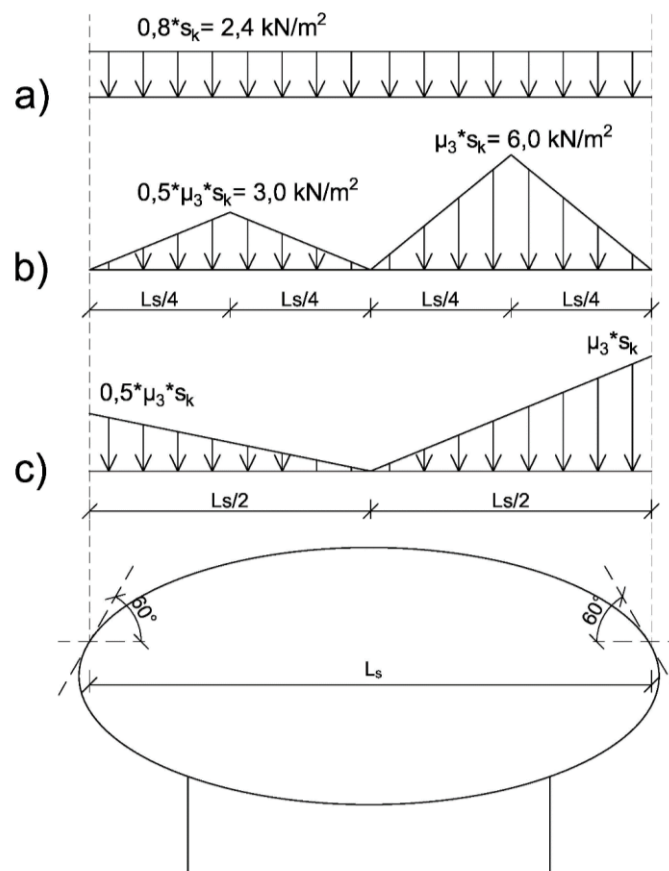
2.2 Užitné zatížení

Užitná zatížení jsou brána z tabulky 6.2 v normě ČSN EN 1991-1-1 [9], kde jsou udávány doporučené charakteristické hodnoty užitného zatížení pro kategorii A – obytné plochy a plochy pro domácí činnosti.

2.3 Zatížení sněhem

Hodnota zatížení sněhem byla převzata z japonských norem, které udávají charakteristickou hodnotu zatížení sněhem o velikosti $2,91 \text{ kN/m}^2$. Tato hodnota byla následně převedena na nejbližší hodnotu dle ČSN EN 1991-1-3 [10], které odpovídá hodnota VI sněhové oblasti $3,0 \text{ kN/m}^2$.

Dle normy je zatížení sněhem na válcových střechách uvažováno pouze na místech, kde tečna k válcové ploše svírá s rovinou úhel menší než 60° . Zároveň je nutné uvažovat jak nenavátý sníh rovnoměrně rozprostřený na ploše střechy, tak i navátý sníh. Ten je vzhledem k tvaru střechy a umístění stavby nutné uvážit ve dvou variantách rozložení. Tvary zatěžovacích obrazců pro nenavátý a navátý sníh jsou znázorněny na *Obrázku 6*.

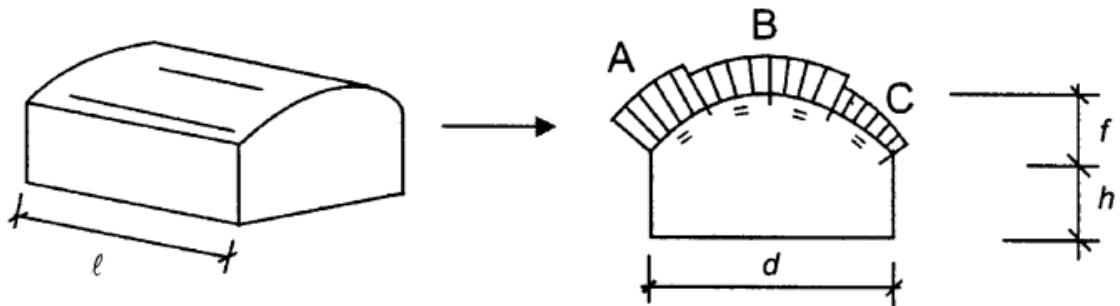


Obrázek 6 - Zatěžovací obrazce nenavátým sněhem (a) a navátým sněhem (b, c) na střechě

2.4 Zatížení větrem

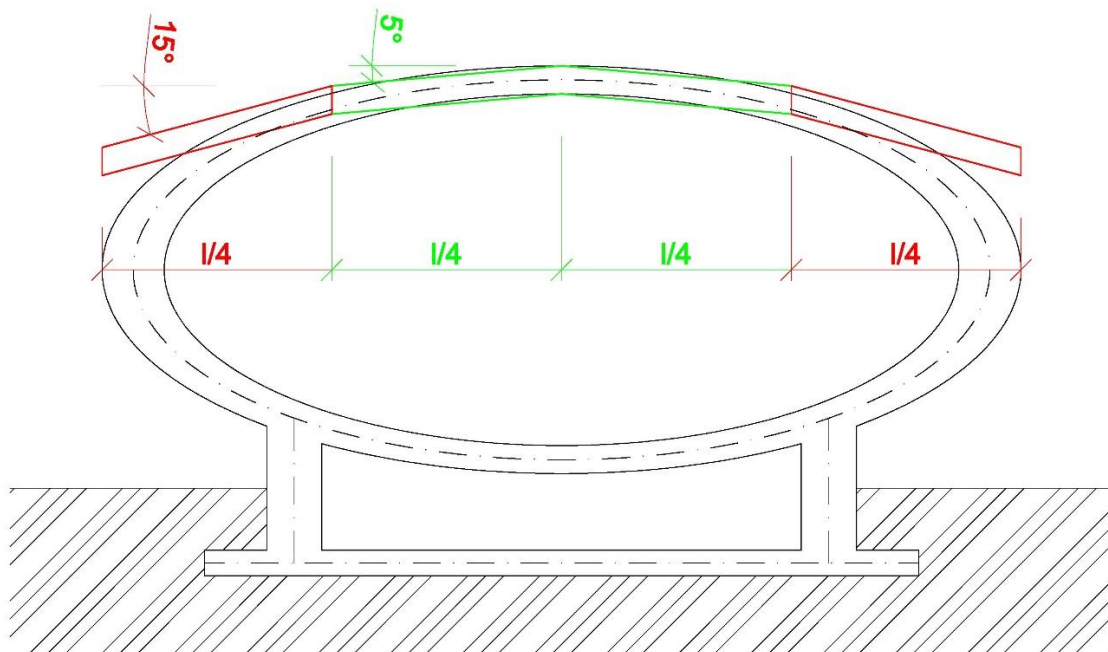
Rychlost větru byla opět převzata z japonských norem. U zatížení větru nebyla tato hodnota nijak převáděna a pouze se dle českých norem určila kategorie terénu odpovídající umístění stavby. Vzhledem k nepravidelnému půdorysu a oválnému tvaru konstrukce nebylo jednoduché určit velikosti zatížení od působení větru, jelikož norma nezohledňuje klenbovité tvar střechy pro působení větru v podélném směru.

Norma ale zohledňuje tento tvar střechy pro výpočet působícího tlaku větru v příčném směru (viz *Obrázek 7*). Pro svislé a zaklenuté obvodové části konstrukce bylo pro stanovení vnějšího tlaku větru využito výpočtu pro budovy s pravoúhlým půdorysem.



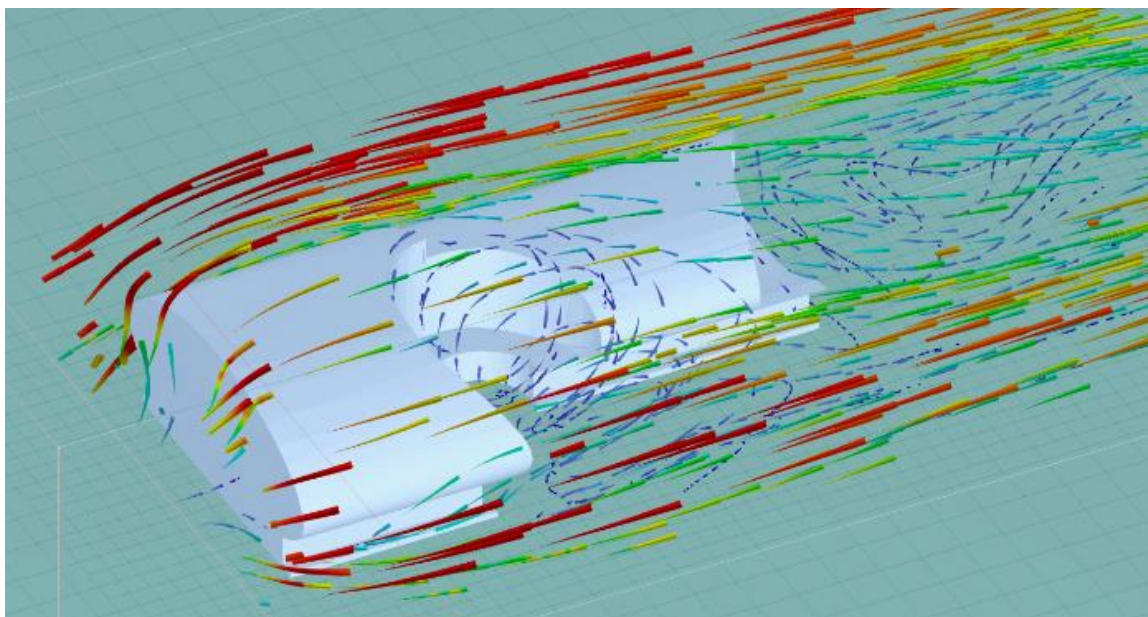
Obrázek 7 - Působení větru na klenbové střechy v příčném směru dle ČSN EN 1991-1-4 [11]

V podélném směru bylo nutné přistoupit k výpočtu způsobem, který by byl v souladu s normou a zároveň by zohledňoval klenbový tvar střechy. Z tohoto důvodu byl tvar střechy aproximován jako sedlová střecha se dvěma sklony na každé straně (viz *Obrázek 8*). Pro svislé a zaklenuté obvodové části konstrukce byl opět použit stejný výpočet pro stanovení vnějšího tlaku větru jako u působení v příčném směru.

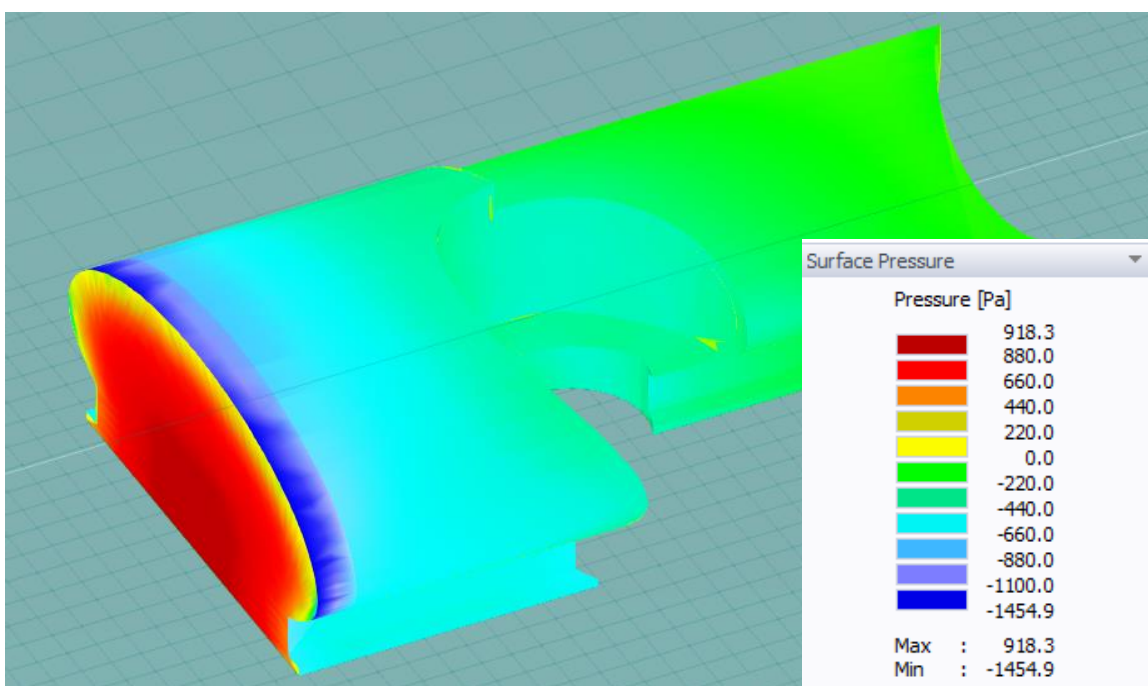


Obrázek 8 - Aproximace střechy v podélném směru

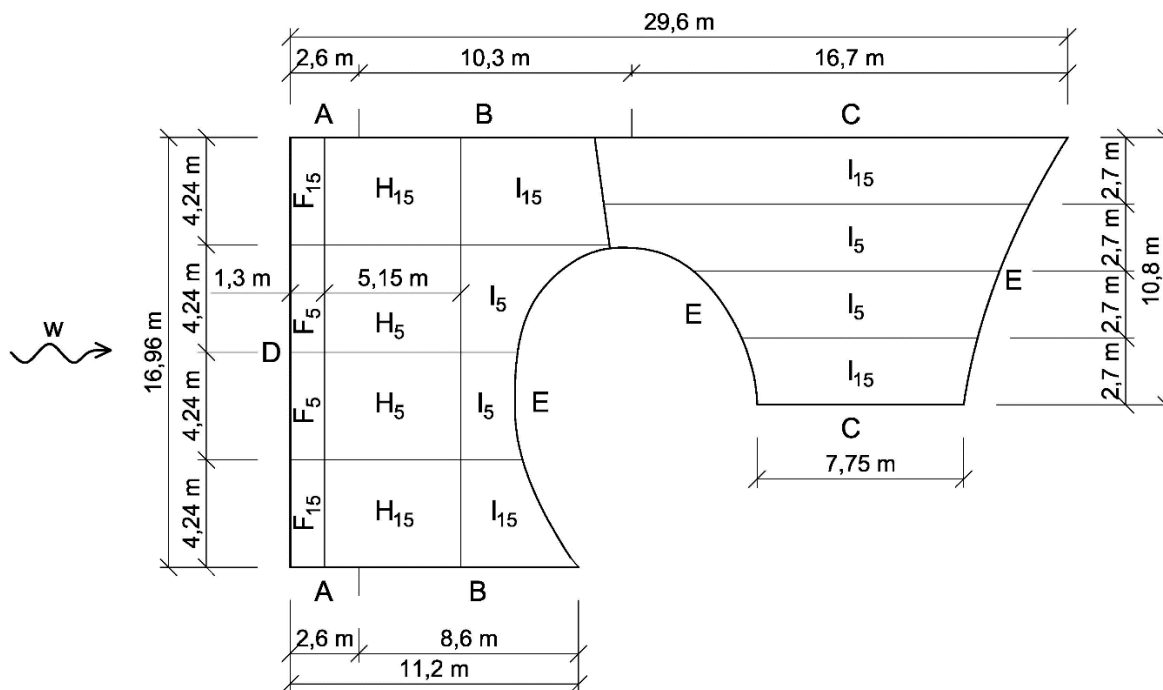
Následně byl vymodelován 3D model budovy v měřítku 1:1 za pomoci 3D modelovacího prostředí v programu AutoCAD 2018. Následně byl tento model exportován do programu RWIND od společnosti Dlubal software s.r.o., ve kterém je možné provádět simulaci působení větru na objekty ve virtuálním větrném tunelu na základě CFD (= computational fluid dynamics) analýzy (viz *Obrázek 9*). Výsledky získané z programu RWIND a výsledky vypočítané ručně podle normy byly následně porovnány mezi sebou a zároveň byly původně odhadnuté hodnoty ve vyklenutých částech konstrukce upraveny tak, aby lépe odpovídaly chování dle simulace. Při porovnání výsledných hodnot působícího tlaku větru v podélném směru spočtených ručně (viz *Tabulka 1*), které jsou znázorněny na *Obrázku 11*, a hodnot získaných za pomoci programu RWIND (viz *Obrázek 10*) je patrné, že se hodnoty téměř shodují, popřípadě jsou při ručním výpočtu podle normy vyšší. Tím pádem je možné konstatovat, že použitá aproximace střechy v podélném směru byla vhodně zvolena a poskytuje výsledky odpovídající reálnému chování.



Obrázek 9 - Proudnice větru působícího v podélném směru v programu RWIND



Obrázek 10 - Výsledný tlak větru v podélném směru působící na povrch konstrukce v programu RWIND



Obrázek 11 - Výsledné oblasti působícího tlaku větru v podélném směru

PODÉLNÝ VÍTR		
	$C_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]
A	-1,2	-1,37
B	-0,8	-0,92
C	-0,5	-0,57
D	+0,75	+0,86
E	-0,5	-0,57
F₅	-1,6	-1,83
F₁₅	-1,3	-1,50
H₅	-0,7	-0,80
H₁₅	-0,6	-0,70
I₅	-0,6	-0,70
I₁₅	-0,5	-0,57

Tabulka 1 – Hodnoty působícího tlaku větru v podélném směru

2.5 Zatížení teplotou

Stavba se nachází v oblasti, která se svým podnebím velmi podobá podnebí na severu České republiky. Maximální a minimální venkovní teploty vzduchu byly získány ze statistik meteorologických dat na portálu yr.no viz zdroj [18]. Maximální teplota vzduchu T_{\max} je po zaokrouhlení +30 °C a minimální teplota T_{\min} je -10 °C.

Vnější povrch konstrukce je tvořen samotnou betonovou konstrukcí světle šedého povrchu. Celá stavba je orientovaná podélně na SV (resp. JZ), což vzhledem k její nízké výšce a relativně ploché střeše znamená, že na ni při jasném dni svítí celý den. V tomto případě by se měl dle normy ČSN EN 1991-1-5 [12] uvažovat lineární průběh teploty po průřezu dle Tabulky 5.2 (viz *Obrázek 12*). Vzhledem k sofistikovanému způsobu vytápění a chlazení využívajícího oválný tvar budovy je po celý rok uvažována vnitřní teplota +20 °C.

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

Období	Významný vliv		Teplota T_{out} ve °C
léto	relativní pohltivost v závislosti na barvě povrchu	0,5 povrch jasně světlý	$T_{\max} + T_3$
		0,7 povrch světle zbarvený	$T_{\max} + T_4$
		0,9 povrch tmavý	$T_{\max} + T_5$
zima			T_{\min}

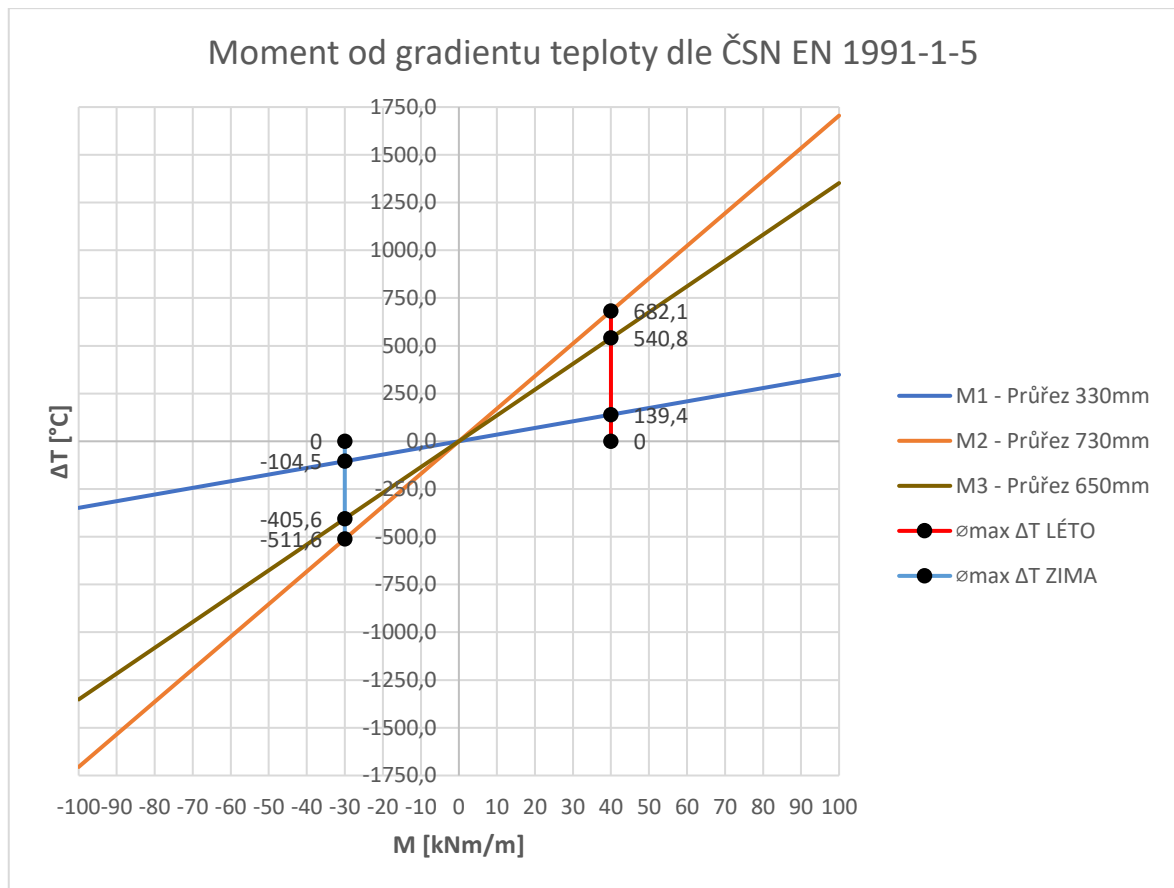
POZNÁMKA Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu T_{\max} , minimální teploty vzduchu ve stínu T_{\min} a vliv slunečního záření T_3 , T_4 a T_5 se mohou stanovit v národní příloze. Pokud nejsou k dispozici údaje pro oblasti mezi 45° až 55° severní zeměpisné šířky, pak se doporučují pro prvky orientované severo-východně hodnoty $T_3 = 0$ °C, $T_4 = 2$ °C a $T_5 = 4$ °C, pro prvky orientované jiho-západně nebo vodorovně hodnoty $T_3 = 18$ °C, $T_4 = 30$ °C a $T_5 = 42$ °C.

Obrázek 12 - Tabulka pro stanovení teploty vnějšího povrchu T_{out} dle ČSN EN 1991-1-5 [12]

Při uvážení gradientu teploty dle normy by byl rozdíl teplot vnějšího a vnitřního povrchu 40 °C v létě (rozdíl 60/20 °C) a v zimě 30 °C (rozdíl -10/20 °C), což by vyvozovalo na konstrukci vzhledem k její tloušťce neúměrně velké ohybové momenty (viz *Obrázek 13*). To se dá jednoduše ověřit pomocí výpočtu dle vzorce:

$$M_{grad} = \frac{\alpha * \Delta T}{b} * EI$$

- $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$... součinitel délkové teplotní roztažnosti [1/K]
- ΔT ... rozdíl teplot na vnitřním a vnějším povrchu [K]
- b ... tloušťka průřezu [mm]
- EI ... ohybová tuhost [Nm²]



Obrázek 13 - Moment od gradientu teploty ve vrcholu oválu (M1), okraji oválu (M2) a stojínách (M3)

Z důvodu velké tloušťky konstrukce a vzniku nadměrných ohybových momentů se přistoupilo k nestacionárnímu výpočtu průběhu teploty po průřezu. K tomuto výpočtu bylo přistoupeno kvůli úvaze, že je konstrukce velmi masivní, díky čemuž nedojde během dne k jejímu prohřátí na takto vysoké teploty. Velmi horký bude samozřejmě pouze povrch konstrukce, pak ale bude teplota po průřezu rychle klesat. Navíc je konstrukce z vnitřní strany zateplena vrstvou extrudovaného polystyrenu tloušťky 60 mm, což bude určitou mírou bránit v ohřívání vnitřního povrchu betonu na stejnou teplotu, jako je teplota v interiéru.

Nestacionární průběh teploty po průřezu je možné popsat pomocí soustavy diferenciálních rovnic prvního řádu, u kterých uvažujeme prvky s lineární aproximací:

$$K * T + C * \frac{dT}{dt} = \frac{dH}{dt}$$

kde **K** je matice vodivosti, **C** je matice tepelné kapacity, **T** je vektor teplot, **H** je vektor zdrojů a **t** je velikost časového kroku.

$$K_i = \frac{\lambda}{l} * \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K_{\alpha,ext} = \alpha_{ext} * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

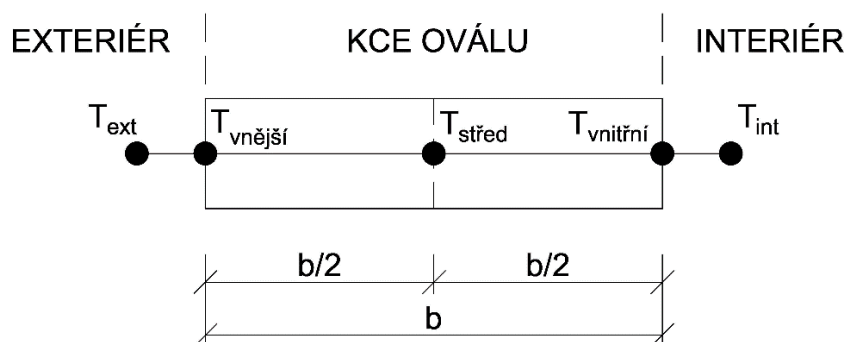
$$K_{\alpha,int} = \alpha_{int} * \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C = \rho * c * l * \begin{bmatrix} 1/3 & 1/6 \\ 1/6 & 1/3 \end{bmatrix} \approx \rho * c * l * \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} \alpha_{ext} * T_{ext} + \frac{C}{2\Delta t} * T_{i-1} + Q_{sl} \\ \frac{C}{\Delta t} * T_{i-1} \\ \alpha_{int} * T_{int} + \frac{C}{2\Delta t} * T_{i-1} \end{pmatrix}$$

- λ ... součinitel tepelné vodivosti [W/(m*K)]
- l ... délka prvku [mm]
- α ... koeficient přestupu tepla (vzduch -> ŽB; ŽB <- XPS) [J/m/s/K]
- ρ ... hustota [kg/m³]
- c ... měrná tepelná kapacita [J/(kg*K)]
- $T_{ext/int}$... venkovní/vnitřní teplota vzduchu [K]
- T_{i-1} ... teplota v uzlu z předchozího časového kroku [K]
- Q_{sl} ... tepelný zisk z oslunění

Celý průřez je možné rozdělit na libovolný počet prvků. Zde je průřez rozdělen pouze na dva prvky (viz *Obrázek 14*), u kterého jsou neznámé teploty na vnějším a vnitřním povrchu a uprostřed. Toto rozdělení je postačující pro přibližné určení průběhu teplot po průřezu.



Obrázek 14 - Rozdělení průřezu na prvky pro výpočet průběhu teploty

Při uspořádání jednotlivých matic prvků a vektorů zatížení dostaneme globální matici:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{ext} + K + \frac{C}{2\Delta t} & -K & 0 \\ -K & 2K + \frac{C}{\Delta t} & -K \\ 0 & -K & \alpha_{int} + K + \frac{C}{2\Delta t} \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} T_L \\ T_1 \\ T_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{ext} * T_{ext} + \frac{C}{2\Delta t} * T_{i-1} + Q_{sl} \\ \frac{C}{\Delta t} * T_{i-1} \\ \alpha_{int} * T_{int} + \frac{C}{2\Delta t} * T_{i-1} \end{pmatrix}$$

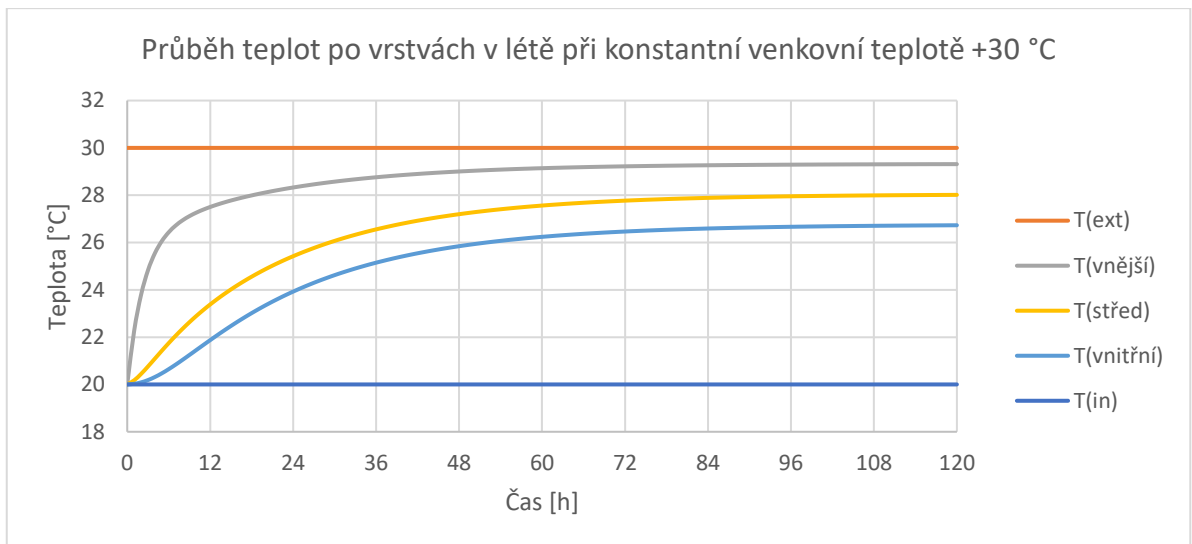
pro jejíž řešení je nutné znát okrajové podmínky T_{ext} a T_{int} a počáteční podmínky, kterými jsou teploty v zadaných uzlech v čase $t-1$.

Aby bylo možné výpočet zautomatizovat do řádků pro výpočet pomocí programu MS Excel, kde se bude počítat s průběhy po hodinách nebo dnech, je soustava rovnic počítána pomocí Cramerova pravidla. Toto pravidlo je možné použít při zápisu soustavy lineárních rovnic formou $A * x = b$, kde A je naše globální matice, x je vektor neznámých teplot a b je vektor pravé strany. Výsledné neznámé teploty x_i se následně spočítají pomocí podílu determinantu matice A_i a matice A , kde je i -tý sloupec matice A nahrazený vektorem b :

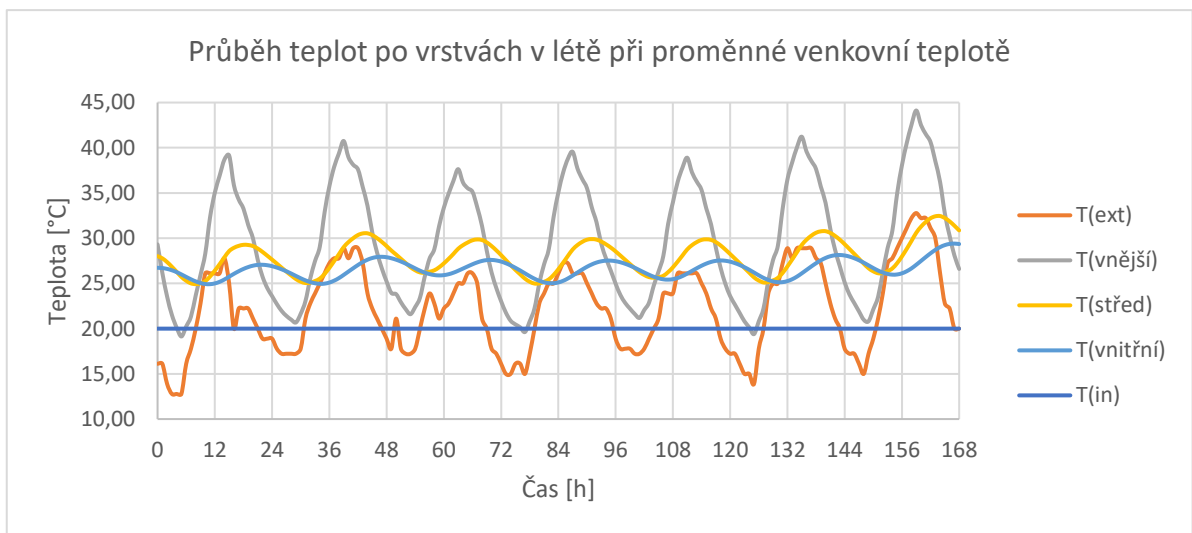
$$x_i = \frac{\det A_i}{\det A}$$

Dále je nutné si stanovit okrajové a počáteční podmínky. Okrajové podmínky jsou dány vnitřní a venkovní teplotou vzduchu. Počáteční podmínky pro léto a zimu byly získány pomocí stejného výpočtu. Ve výpočtu byla použita konstantní venkovní teplota pro léto a zimu odpovídající přibližně průměrné venkovní teplotě, dále počáteční teploty po průřezu, které byly na začátku výpočtu rovny vnitřní teplotě 20 °C. Následně byl proveden výpočet pro průběh teploty po hodinách po dobu pěti dnů, kdy se teplota po průřezu ustálila (viz *Obrázek 15*). Tyto hodnoty byly využity jako počáteční teploty pro výpočet s proměnnou venkovní teplotou včetně vlivu oslunění.

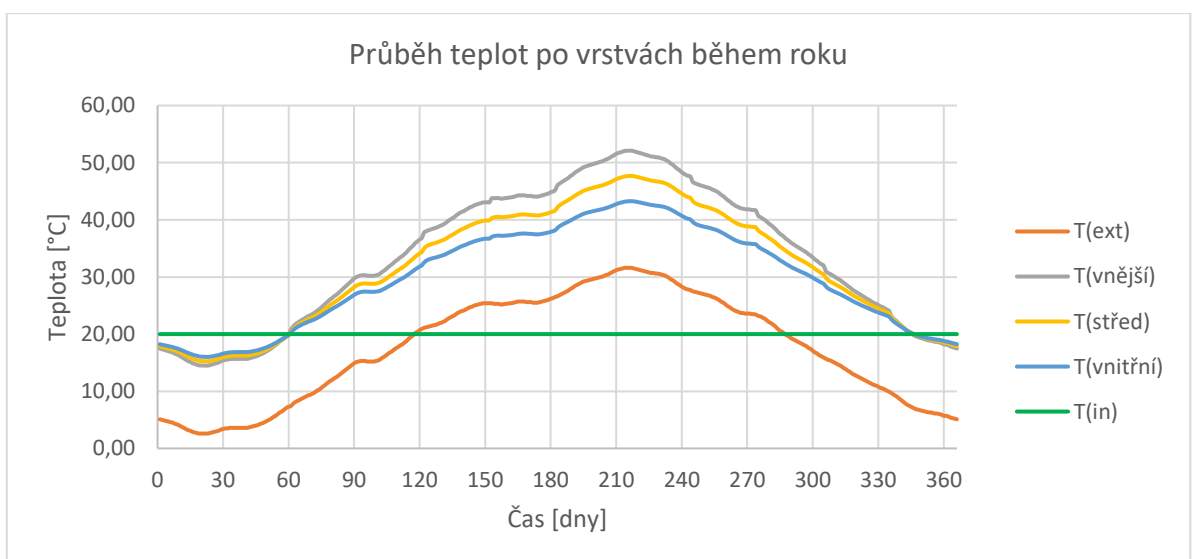
Následně byly spočteny průběhy teploty po průřezu po hodinách při proměnlivé venkovní teplotě s vlivem i bez vlivu oslunění během jednoho týdne (viz *Obrázek 16*). Navíc byla zhotovena roční bilance, ze které však není jasně vidět, jak moc se vnější povrch ohřívá či ochlazuje oproti zbytku průřezu (viz *Obrázek 17*), To je způsobeno tím, že se při výpočtu uvažovalo s krokem jednoho dne.



Obrázek 15 - Získání počátečních teplot pro průřez tl. 330 mm v letním období



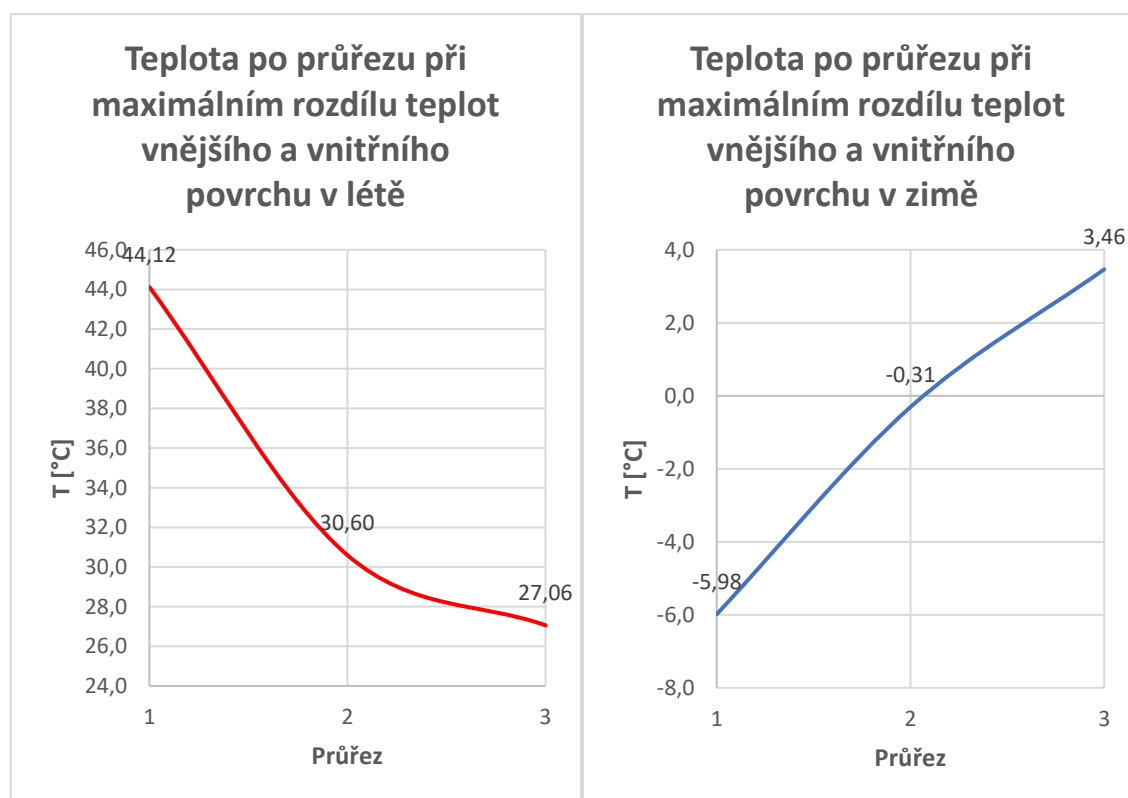
Obrázek 16 - Průběh teplot po průřezu tl. 330 mm v týdenní bilanci po hodinách s vlivem oslunění



Obrázek 17 - Průběh teplot po průřezu tl. 330 mm v roční bilanci po dnech s maximálními teplotami

Z jednotlivých grafů je patrné, jak se mění teplota v uzlech po průřezu od vnějšího povrchu ($T_{\text{vnější}}$) přes střed průřezu ($T_{\text{střed}}$) po vnitřní povrch ($T_{\text{vnitřní}}$). Teplota vnějšího povrchu se mění výrazně s vlivem venkovní teploty a oslunění. Teplo získané povrchem následně prostupuje konstrukcí a postupně ohřívá jednotlivé vrstvy v čase, což je patrné fázovým posunem průběhu teplot na *Obrázku 16*. Zde můžeme navíc pozorovat, jak málo se mění teplota vnitřního povrchu oproti teplotě vnějšího povrchu.

Průběh teploty po průřezu při největším rozdílu teplot obou povrchů při týdenní bilanci v létě a zimě je zobrazen na *Obrázku 18*. Zde je možné pozorovat, že průběh není lineární. V létě je rozdíl teploty na vnějším povrchu a středu průřezu ($13,52\text{ °C}$) násobně vyšší oproti rozdílu vnitřního povrchu a středu průřezu ($3,54\text{ °C}$). V zimě je tento rozdíl méně patrný a průběh je téměř lineární.

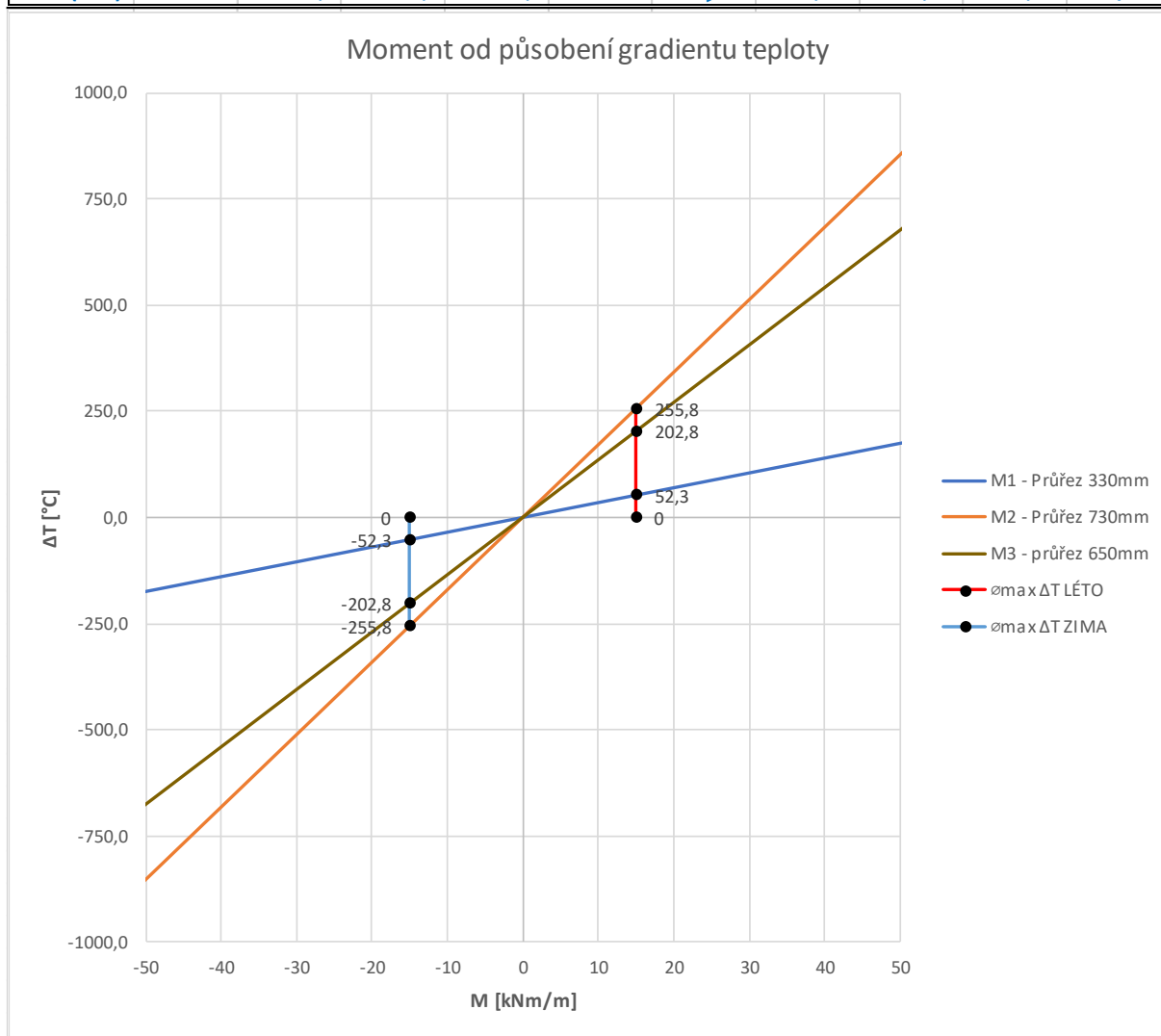


Obrázek 18 - Průběh teploty po průřezu tl. 330 mm při největším rozdílu teplot vnějšího (1) a vnitřního (3) povrchu v létě (nalevo) a v zimě (napravo) s vlivem oslunění

Tyto průběhy jsou nakonec aproximovány lineárním průběhem mezi oběma povrchy a jejich maximální rozdíl teplot v bilanci ΔT_{max} je uvažován jako výsledný gradient působící na konstrukci v daném období s vlivem a bez vlivu

oslunění. Výsledné hodnoty gradientů teplot s jejich působením na konstrukci znázorňuje *Obrázek 19*.

Max. gradient teploty z roční bilance									
		Průřez 1	Průřez 2	Průřez 3		M1	M2	M3	
	$\Delta T(\text{MAX})$	7,0	7,0	7,0 °C	=>	24,4	119,4	94,6	kNm/m
	$\Delta T(\text{MIN})$	6,0	11,0	10,0 °C		20,9	187,6	135,2	kNm/m
Max. gradient teploty z týdenní bilance									
		Průřez 1	Průřez 2	Průřez 3		M1	M2	M3	
	$\Delta T(\text{LÉTO})$	18,0	11,0	x °C	=>	62,7	187,6	x	kNm/m
ve stínu	$\Delta T(\text{LÉTO})$	7,0	7,0	7,0 °C		24,4	119,4	94,6	kNm/m
	$\Delta T(\text{ZIMA})$	10,0	15,0	x °C		34,8	255,8	x	kNm/m
ve stínu	$\Delta T(\text{ZIMA})$	9,0	15,0	14,0 °C		31,4	255,8	189,3	kNm/m
LÉTO	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	15,0	15,0	15,0 °C	=>	52,3	255,8	202,8	kNm/m
LÉTO (stín)	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	7,0	7,0	7,0 °C	=>	24,4	136,4	108,2	kNm/m
ZIMA	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	-15,0	-15,0	-15,0 °C	=>	-52,3	-255,8	-202,8	kNm/m
ZIMA (stín)	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	-15,0	-15,0	-15,0 °C	=>	-52,3	-255,8	-202,8	kNm/m



Obrázek 19 - Výsledné gradienty teploty působící na konstrukci s hodnotou vyvozeného momentu na průřezu

Na základě výsledných průběhů teplot byla počáteční úvaha potvrzena a výsledné gradienty teploty po průřezu jsou až o polovinu menší, než je uvažuje norma ČSN EN 1991-1-5 [12] – $\Delta T_{\text{calc.}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $\Delta T_{\text{norm.}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ v létě a $\Delta T_{\text{calc.}} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $\Delta T_{\text{norm.}} = -30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ v zimě.

Nestacionárním výpočtem bylo dokázáno, že konstrukce bude namáhána nižším teplotním zatížením, než udává norma, a při posuzování konstrukce bude uvažováno s výslednými spočtenými gradienty, které i přes jejich nižší hodnotu vyvozují na konstrukci vzhledem k její masivnosti nemalé hodnoty vnitřních sil. Při největší tloušťce 730 mm v krajní části oválu vyvodí gradient teploty $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ moment o velikosti 255,8 kNm/m (normový gradient $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ by vyvodil moment o velikosti 682,1 kNm/m) a při nejmenší tloušťce 330 mm ve vrcholu oválu vyvodí moment o velikosti 52,3 kNm/m (normový gradient $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ by vyvodil moment o velikosti 139,4 kNm/m). Veškeré spočtené průběhy teploty jsou znázorněny v *Příloze 2 - Nestacionární průběh teploty*.

2.6 Zatížení seismicitou

Stavba se nachází v seizmicky aktivní oblasti. Podle oblastí zatížení udávaných v japonské národní normě dosahuje špičkové zrychlení podloží v místě umístění stavby až hodnoty $4,0 \text{ m/s}^2$. Podloží je zde tvořeno andosoly. Tento typ půdy je charakterizován vznikem z mladých vulkanických pyroklastik, dobrou propustností a především nízkou objemovou hmotností, čímž dle Eurokódu 8 odpovídá typu základové půdy D - sedimenty z kyprých až středně ulehlých nesoudržných zemin (případně s nebo bez vrstev soudržných zemin) nebo převážně měkkých až pevných soudržných zemin. [14]

Vzhledem k tvarové složitosti konstrukce bylo přistoupeno ke stanovení účinků zatížení seismicitou pomocí spektrální analýzy v softwaru SCIA Engineer. Nejprve bylo nutné stanovit pomocí modální analýzy vlastní tvary a frekvence kmitání (popř. periodu) konstrukce. Pomocí SCIA Engineer bylo stanoveno prvních deset vlastních tvarů, jejichž hodnoty jsou uvedeny v *Tabulce 2*.

N	f [Hz]	ω [1/s]	ω^2 [1/s ²]	T [s]
Kombinace hmot : CM1				
1	11,80	74,16	5498,96	0,08
2	15,67	98,48	9697,55	0,06
3	18,53	116,42	13553,88	0,05
4	20,37	128,01	16385,51	0,05
5	25,26	158,71	25189,46	0,04
6	26,43	166,07	27578,51	0,04
7	28,35	178,12	31726,75	0,04
8	30,49	191,59	36705,06	0,03
9	32,28	202,83	41141,65	0,03
10	32,59	204,78	41933,54	0,03

Tabulka 2 - Hodnoty vlastních frekvencí, kruhových frekvencí a period kmitání jednotlivých vlastních tvarů

Následně byly nastaveny jednotlivé seismické zatěžovací stavy. Pro výpočet odezvy konstrukce bylo nastaveno spektrum pružné odezvy typu 2, které vyvoluje na konstrukci větší účinky než spektrum typu 1. To bylo ověřeno pomocí provedení výpočtů pro oba typy spektra a porovnání jednotlivých průběhů vnitřních sil. Ačkoliv je v Eurokódu 8 [16] předepsaná metoda SRSS (Square Root of Sum of Squares), byla nastavena metoda výpočtu CQC (Complete Quadratic Combination). Tato metoda byla zvolena, jelikož nám díky využití softwaru umožňuje získat přesnější výsledky. Jedním z hlavních důvodů, proč je metoda CQC přesnější oproti SRSS, je ten, že metoda CQC dokáže rozpoznat relativní znaménko členů u modální analýzy, a tím eliminovat chyby z metody SRSS [19]. Navíc tato metoda uvažuje i se spektrem tlumení konstrukce, které bylo stanoveno na hodnotu 5 % odpovídající běžné hodnotě tlumení železobetonových konstrukcí. Celkové nastavení seismických zatěžovacích stavů pro směry X, Y a Z je znázorněné na *Obrázku 20*. Jediný rozdíl v nastavení je pro směr Z, kde je uvažováno spektrum odezvy ve svislém směru.

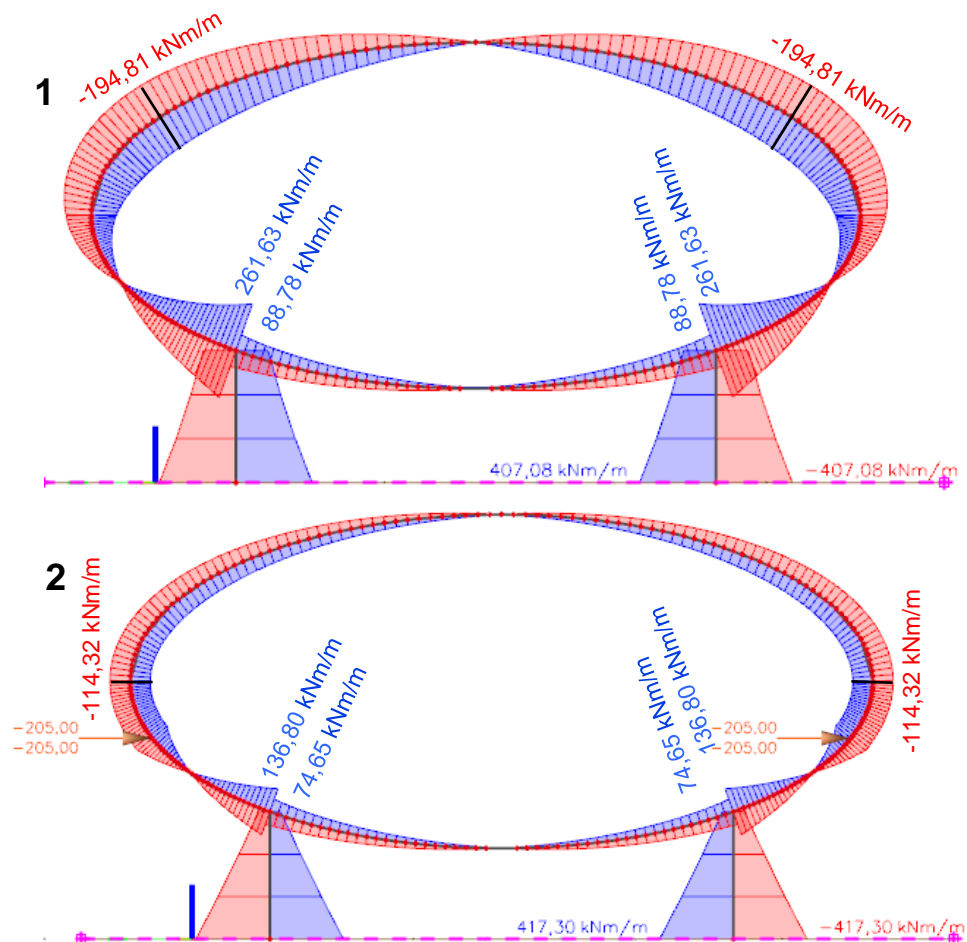
Všechny	
Jméno	ZS17
Popis	Seismicita (T2, X)
Typ působení	Proměnné
Skupina zatížení	SZ6
Typ zatížení	Dynamické
Specifikace	Seismické
Parametry	
Směr X	
Směr X	<input checked="" type="checkbox"/>
Spectrum odezvy X	FS1 (T2/4,0)
Součinitel X	1
Směr Y	
Směr Y	<input type="checkbox"/>
Směr Z	
Směr Z	<input type="checkbox"/>
Součinitel zrychlení	1
Referenční úroveň překlopení [m]	0,000
Ekvivalentní příčné síly	
Metoda ELF	Vypnut
Náhodná excentricita	
Metoda	Vypnut
Modální superpozice	
Typ superpozice	CQC
Spektrum tlumení	CQC (5%)
Vícenásobné vlastní tvary	
Sjednotit vlastní tvary	<input checked="" type="checkbox"/>
Přesnost [%]	10
Filtrování tvaru	
Filtrování tvaru	Celková hmot
Požadovaná celková hmot [%]	90
Hmot	Pouze spolupůsobící hmot
Výsledky se znaménkem	
Převládající mód	<input type="checkbox"/>
Řídící zat. stav	Žádný
Kombi hmot	CM1
3D vítr	<input type="checkbox"/>

Obrázek 20 - Nastavení seismického zatěžovacího stavu

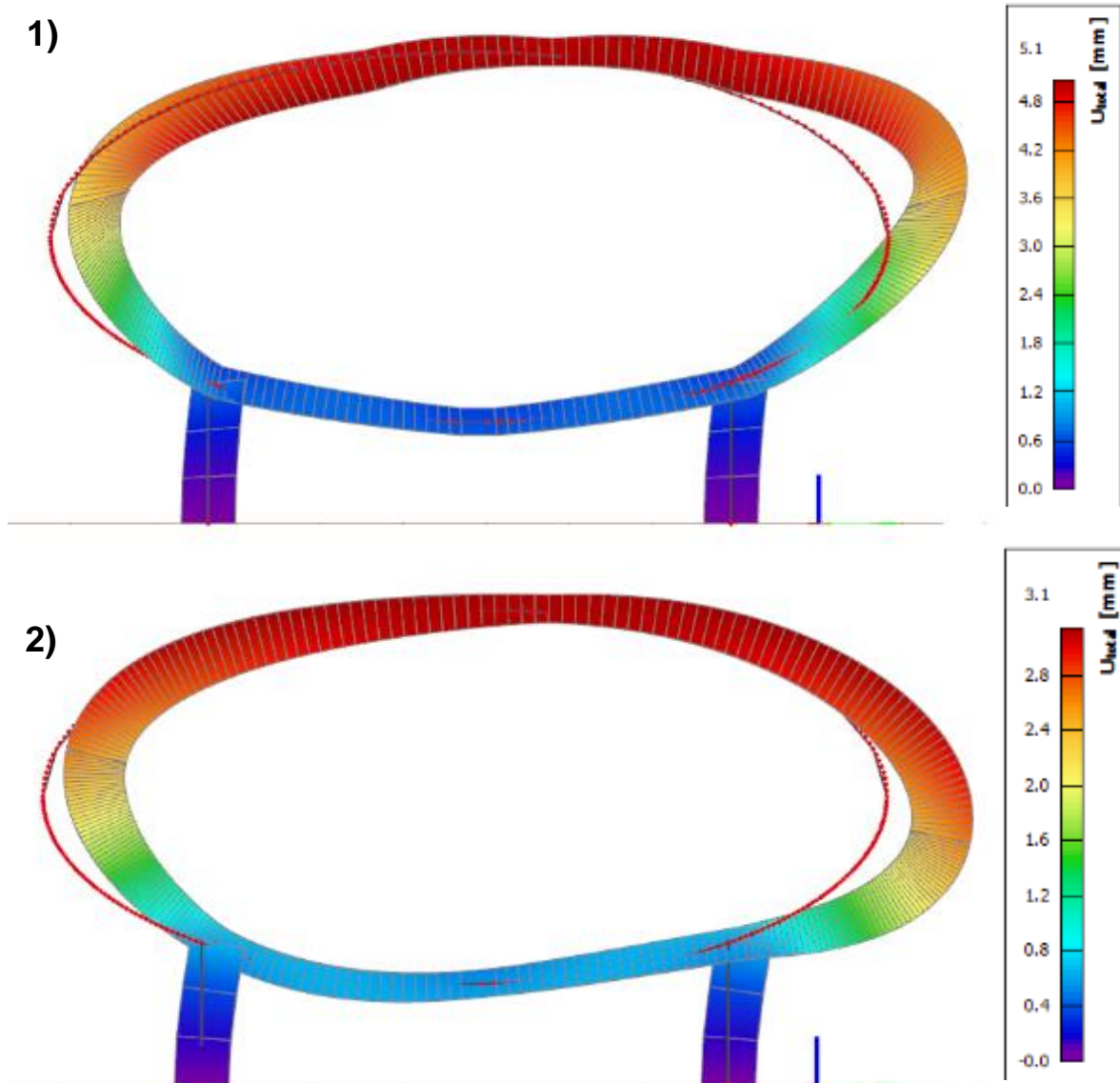
Správnost výpočtu byla ověřena ručně metodou příčných sil (viz *Příloha 3 – Kontrola výpočtů ze SCIA Engineer*), pomocí které byla spočtena příčná síla v těžišti příčného řezu konstrukce. Pro zjednodušení zde bylo uvažováno s hodnotou zrychlení podloží 0,5 g. Následně byl vymodelován výřez konstrukce, který byl zatížen spočtenou silou ve výšce těžiště (síla byla rozdělena na půl, jelikož v rovině těžiště působí na dvě plochy konstrukce) a seismickým zatěžovacím stavem s nastavením dle *Obrázku 20* v obou příčných směrech. Na *Obrázku 21* je vidět porovnání průběhů momentů od příčné síly a seismickým zatěžovacím stavem. Je patrné, že průběh momentů na stojinách konstrukce je téměř totožný v jejich patě, ale ve zbytku konstrukce vyvozuje výpočet metodou CQC větší ohybové momenty. Tento rozdíl vzniká nejspíš charakterem působení

zatížení při výpočtu pomocí programu SCIA Engineer. Při výpočtu metodou CQC působí veškerá hmota ve vodorovném směru oproti zatížení z metody příčných sil, kdy je zatížení koncentrováno do lokálních bodů a konstrukci v podstatě naklání (viz *Obrázek 22*). Z tohoto důvodu je patrný rozdíl ve velikosti ohybových momentů z jednotlivých metod, kdy při výpočtu pomocí metody CQC dostáváme v programu SCIA Engineer přibližně dvojnásobné hodnoty na oválné části konstrukce než při zatížení lokálními silami z metody příčných sil.

Jak již bylo zmíněno, hodnota ohybového momentu v patě stojinách konstrukce vychází při použití obou metod téměř totožně (přibližně 415 kNm/m, viz *Obrázek 21*) a je tedy možné konstatovat, že výpočet pomocí metody CQC v programu SCIA Engineer je správný a poskytuje výsledky odpovídající chování konstrukce při zatížení seismicitou, a tudíž je možné jej uplatnit na celkový 3D model konstrukce. Největší ohybové momenty vznikají v napojení oválu na stojiny, přibližně 260 kNm/m, a v horní krajní čtvrtině rozpětí oválu, kde je maximální hodnota přibližně 195 kNm/m.



Obrázek 21 - Výsledný průběh momentů: 1) Seismický zatěžovací stav; 2) Metoda příčných sil

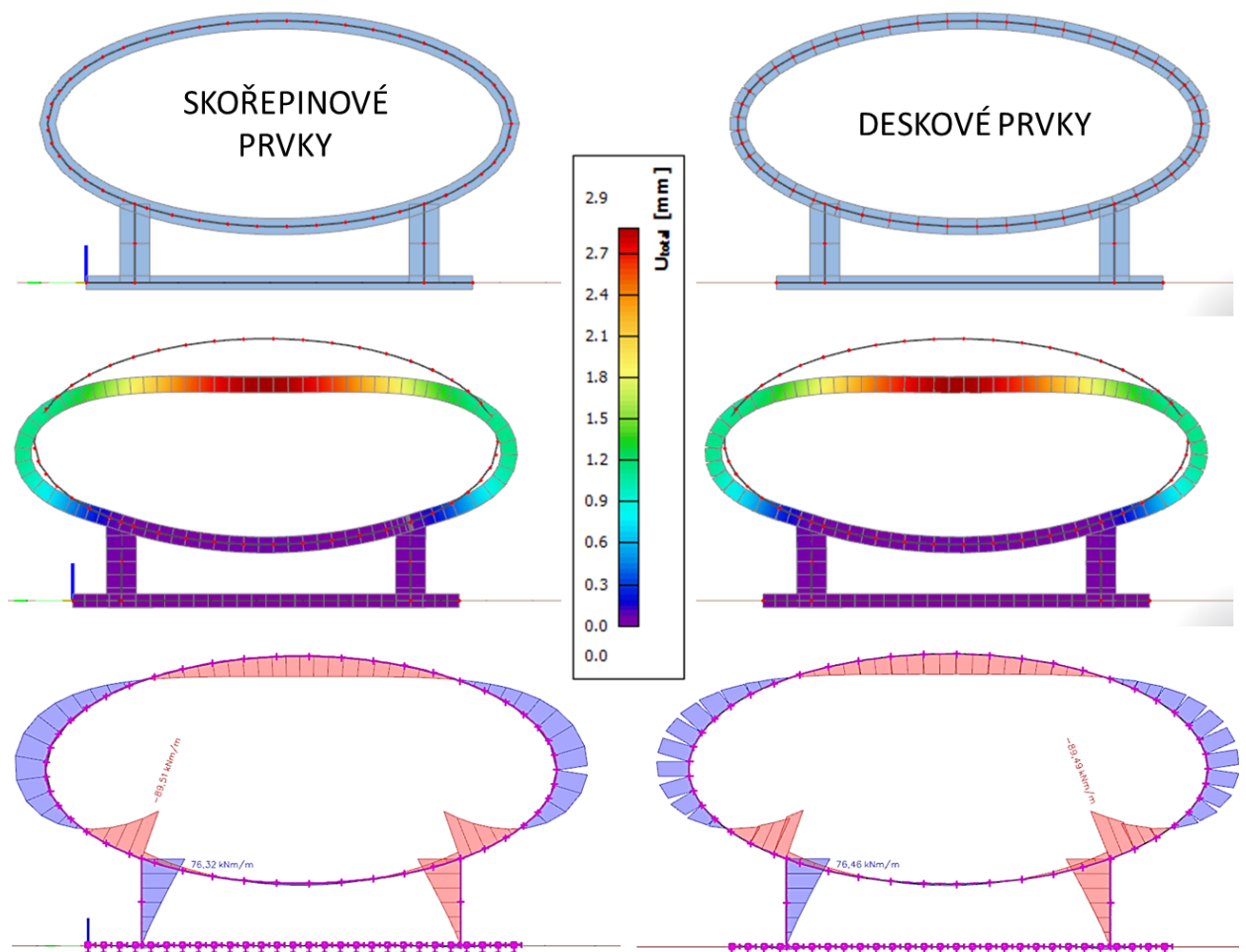


Obrázek 22 - Výsledné přemístění: 1) Seismický zatěžovací stav; 2) Metoda příčných sil

3. Posouzení konstrukce a návrh výztuže

3.1 Výpočetní model

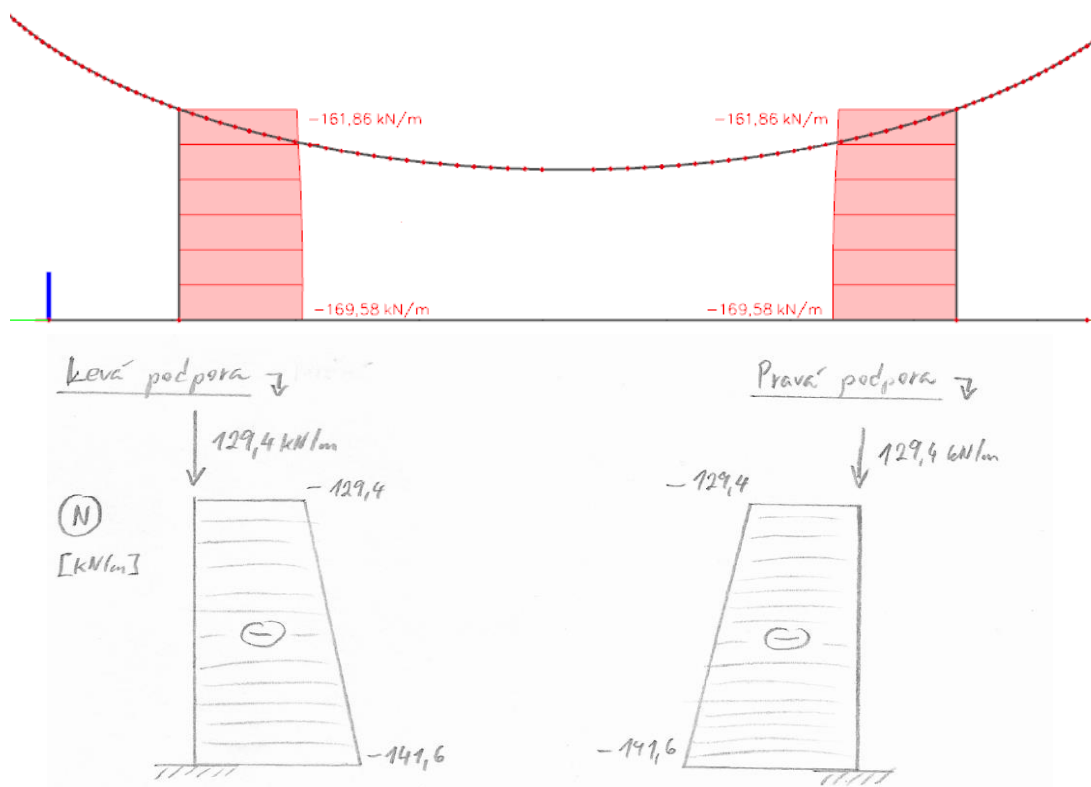
Celá konstrukce byla vymodelována v programu SCIA Engineer 19.1. Pro výpočet vnitřních sil, napětí a průhybů byl vytvořen globální 3D model, který se skládá z jednotlivých 2D prvků. Svislé konstrukce byly modelovány jako stěnové prvky, vodorovné konstrukce jako deskové prvky a oválný plášť byl vymodelován pomocí skořepinových prvků, ačkoliv se o skořepinu nejedná. Nicméně v prostředí MKP (metody konečných prvků) není z hlediska výpočtu podstatné, zda je prvek modelován pomocí desky, stěny nebo skořepiny. Jediným rozdílem je, že prvek modelován pomocí skořepinových prvků může mít zakřivenou střednici. Na výpočtu průhybu a průběhu ohybových momentů od vlastní tíhy je patrné, že se výsledky od sebe téměř neliší až na rozdíly hodnoty momentů v řádu desetin, jak je vidět na *Obrázku 23*.



Obrázek 23 - Porovnání výsledků modelu ze skořepinových prvků a z deskových prvků

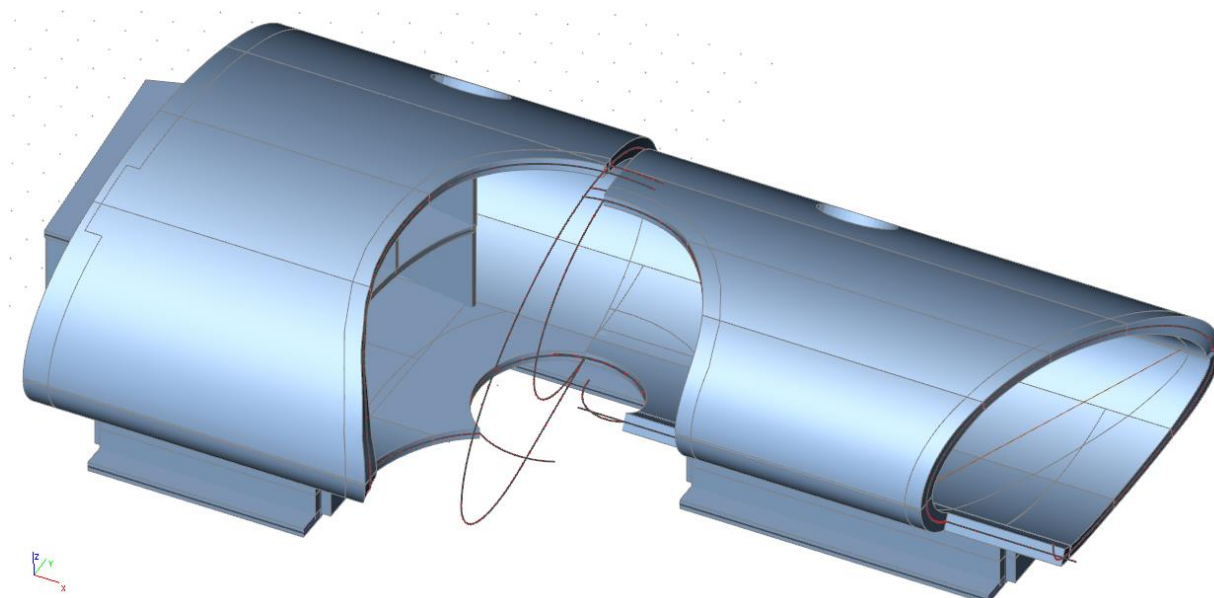
Pro ověření správnosti výpočtů celkového 3D modelu bez ohledu na tuhost celé konstrukce byly z důvodu její složité prostorové geometrie vytvořeny dílčí modely výřezů z konstrukce. Pomocí těchto modelů byly vypočteny hodnoty vnitřních sil, jejichž správnost byla ověřena ručními výpočty. Ověřen byl průběh normálových sil ve stojinách základů od vlastní tíhy konstrukce a průběh ohybových momentů v základových pasech od účinků seismicity v příčném směru pomocí metody příčných sil (viz kapitola 2.6). Ověřovací ruční výpočty jsou přiloženy na konci práce v *Příloze 3 – Kontrola výpočtů ze SCIA Engineer*.

Na *Obrázku 24* je znázorněný průběh normálových sil ve stojinách základů. Na průběhu normálových sil od vlastní tíhy z programu SCIA Engineer je vidět, že jsou výsledné hodnoty přibližně o 30 kN/m vyšší než hodnoty získané ručním výpočtem. Při zkoumání možné příčiny rozdílu ve výsledcích bylo zjištěno, že plocha průřezu oválu v programu SCIA Engineer je přibližně o 2 m² větší než přesně změřená plocha v programu AutoCAD. Tato nepřesnost v modelu přitěžuje konstrukci, což způsobí při návrhu únosnosti konstrukce malou rezervu. Oproti zbylým zatížením působících na konstrukci je ale tato chyba zanedbatelná.



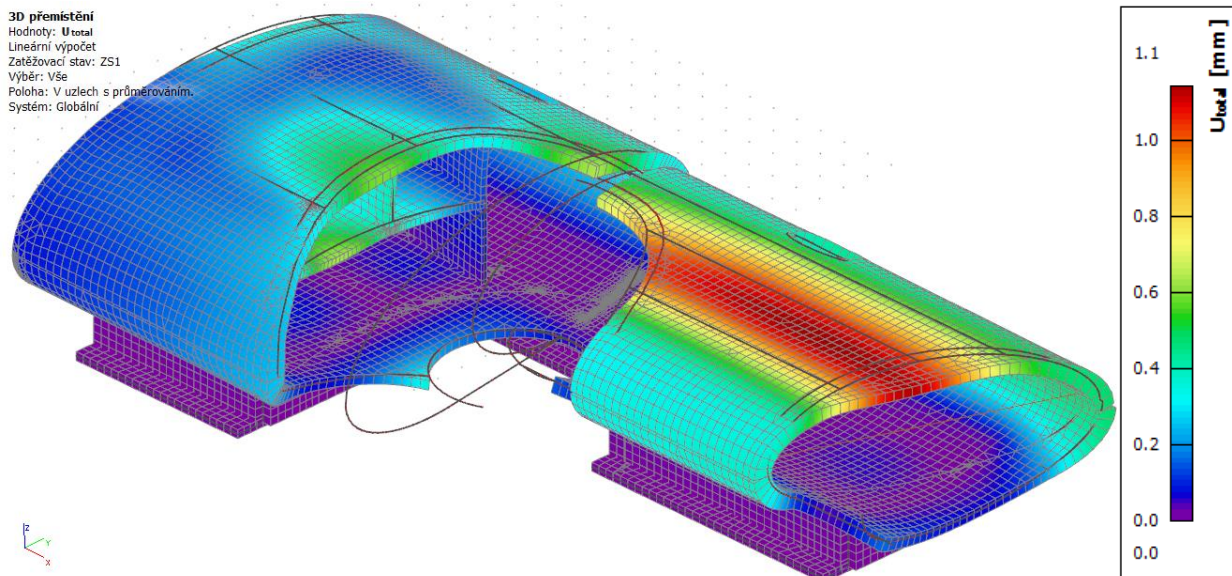
Obrázek 24 - Porovnání průběhu normálových sil ručním výpočtem s výpočtem v programu SCIA Engineer

Výsledný 3D model konstrukce je vyobrazen na *Obrázku 25* a skládá se ze 130 deskových prvků a 16 skořepinových prvků. Skořepinové prvky a navazující svislé konstrukce byly ořezány do požadovaného tvaru pomocí ořezových funkcí programu SCIA Engineer, aby bylo dosaženo oválných zakončení stěn a výřezů.



Obrázek 25 - Celkový 3D model konstrukce

Celá konstrukce byla nejprve spočtena pouze se zatížením od vlastní tíhy, aby bylo možné vypočítat možné chyby a nedostatky modelu. Těmito chybami může být špatné zadání podpor, což většinou vede k chybě ve výpočtu a jeho ukončení, nebo nepropojení prvků vzájemně mezi sebou. V případě nepropojení prvků může být výpočet úspěšně ukončen, ale výsledné hodnoty vnitřních sil budou chybné, jelikož se konstrukce nebude chovat tak, jak bychom od ní očekávali. Tato chyba se dá jednoduše zjistit pomocí výsledného 3D přetvoření konstrukce od vlastní tíhy a následné vizuální kontroly konstrukce, zda se její prvky, které by měly být propojené, přetváří v jejich styku stejně. Dále je potřeba zkontrolovat hodnoty přetvoření, zda někde nedochází k nadměrnému průhybu, což by v modelu mohlo indikovat možné nepropojení prvků. Výsledný pružný průhyb celkového 3D modelu od vlastní tíhy je znázorněn na *Obrázku 26*.



Obrázek 26 - 3D přemístění konstrukce od vlastní tíhy

3.2 Zatěžovací stavy a jejich kombinace

Po vytvoření konstrukce a doladění všech nedostatků a chyb byly vytvořeny jednotlivé zatěžovací stavy a následně jejich kombinace. Celkově bylo vytvořeno 19 zatěžovacích stavů, jejichž soupis je uveden v *Tabulce 3*. Skupina zatížení znamená, že jsou jednotlivé zatěžovací stavy v dané skupině shodné typem zatížení:

- **SZ1** – Stálá zatížení
- **SZ2** – Užitná zatížení
- **SZ3*** - Zatížení sněhem
- **SZ4*** - Zatížení větrem
- **SZ5*** - Zatížení teplotou
- **SZ6 až 8**** – Zatížení seismicitou

*skupiny zatížení **SZ3** až **SZ5** jsou výběrové, tzn. že se zatěžovací stavy ze stejné skupiny nevyskytují v jedné kombinaci vícekrát

skupiny **SZ6 až **SZ8** jsou seismické zatěžovací stavy, tzn. že se tyto zatěžovací stavy budou kombinovat s koeficienty **+1** a **-1**

Seznam zatěžovacích stavů		
Zn.	Skupina	Popis
ZS1	SZ1	Vlastní tíha
ZS2		Stálé – podlahy
ZS3		Stálé – okna
ZS4		Stálé – zemina
ZS5	SZ2	Užitné - kat. A
ZS6	SZ3*	Sníh A
ZS7		Sníh B-1
ZS8		Sníh B-2
ZS9		Sníh C-1
ZS10		Sníh C-2
ZS11	SZ4*	Vítr Y+
ZS12		Vítr Y-
ZS13		Vítr X+
ZS14		Vítr X-
ZS15	SZ5*	Teplota – LÉTO
ZS16		Teplota – ZIMA
ZS17	SZ6	Seismicita X, T2
ZS18	SZ7	Seismicita Y, T2
ZS19	SZ8	Seismicita Z, T2

Tabulka 3 - Seznam zatěžovacích stavů

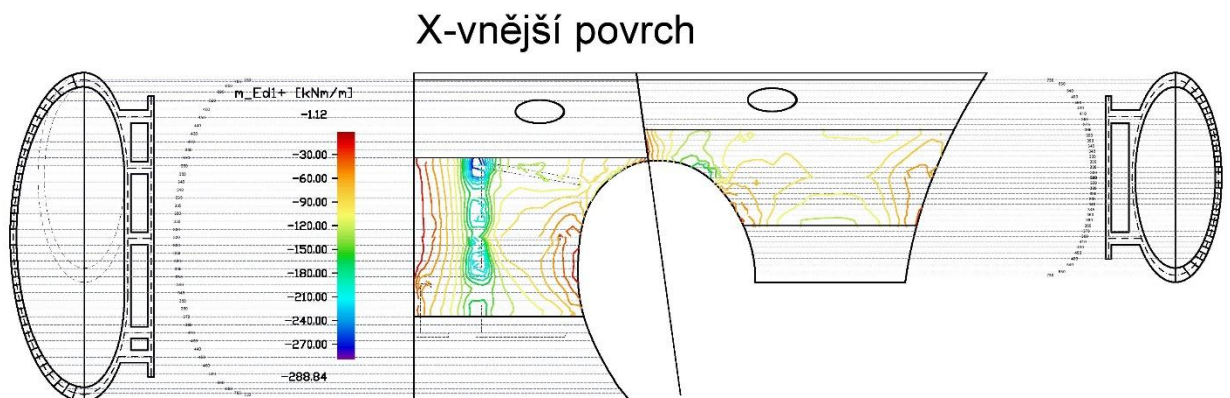
Z těchto zatěžovacích stavů bylo vytvořeno několik kombinací dle ČSN EN 1990 [8], které jsou znázorněné v *Tabulce 4*. Pro mezní stav únosnosti byly vytvořeny kombinace dle kombinačního vzorce **6.10**, **6.10a** a **6.10b** a pro zemětřesení dle vzorce **6.12b**. Tyto kombinace byly vytvořeny především pro kontrolu. Pro návrh a posouzení konstrukce byly použity kombinace **MSÚ-MAX** a **MSÚ-MAX+seismicita**, ve kterých byly veškeré zatěžovací stavy přenásobeny maximálními součiniteli zatížení. Tento krok byl proveden z důvodu potřeby vyvození maximálních účinků na konstrukci při posuzování na mezní stav únosnosti (MSÚ) a vytvoření rezervy v únosnosti. Obdobně byly vytvořeny kombinace pro mezní stav použitelnosti (MSP) dle kombinačního vzorce **6.14b** pro charakteristickou kombinaci, **6.15b** pro častou kombinaci a **6.16b** pro kvazi-stálou kombinaci zatížení. Opět byla vytvořena kombinace **MSP-MAX**, kde jsou všechny zatěžovací stavy násobeny koeficientem 1,0 pro vyvození největších účinků pro posouzení konstrukce na MSP.

Tabulka kombinací	SZ1				SZ2	SZ3*					SZ4*				SZ5*		SZ6	SZ7	SZ8
Kombinace zatížení	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9	ZS10	ZS11	ZS12	ZS13	ZS14	ZS15	ZS16	ZS17	ZS18	ZS19
MSÚ 6.10 - 1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,5	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9			
MSÚ 6.10 - 2	1,35	1,35	1,35	1,35	1,05	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9			
MSÚ 6.10 - 3	1,35	1,35	1,35	1,35	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,5	1,5	1,5	1,5	0,9	0,9			
MSÚ 6.10 - 4	1,35	1,35	1,35	1,35	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	1,5	1,5			
MSÚ 6.10a	1,35	1,35	1,35	1,35	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9			
MSÚ 6.10b - 1	1,15	1,15	1,15	1,15	1,5	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9			
MSÚ 6.10b - 2	1,15	1,15	1,15	1,15	1,05	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9			
MSÚ 6.10b - 3	1,15	1,15	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,5	1,5	1,5	1,5	0,9	0,9			
MSÚ 6.10b - 4	1,15	1,15	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	1,5	1,5			
MSÚ 6.12b	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
MSÚ MAX	1,35	1,35	1,35	1,35	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5			
MSÚ MAX+seis	1,35	1,35	1,35	1,35	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
MSP Char. - 1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6			
MSP Char. - 2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6			
MSP Char. - 3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6			
MSP Char. - 4	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0			
MSP Častá - 1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
MSP Častá - 2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
MSP Častá - 3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0			
MSP Častá - 4	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5			
MSP Kvazisálá	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
MSP MAX	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			

Tabulka 4 - Seznam kombinací zatěžovacích stavů

3.3 Návrh výztuže a posouzení na MSÚ

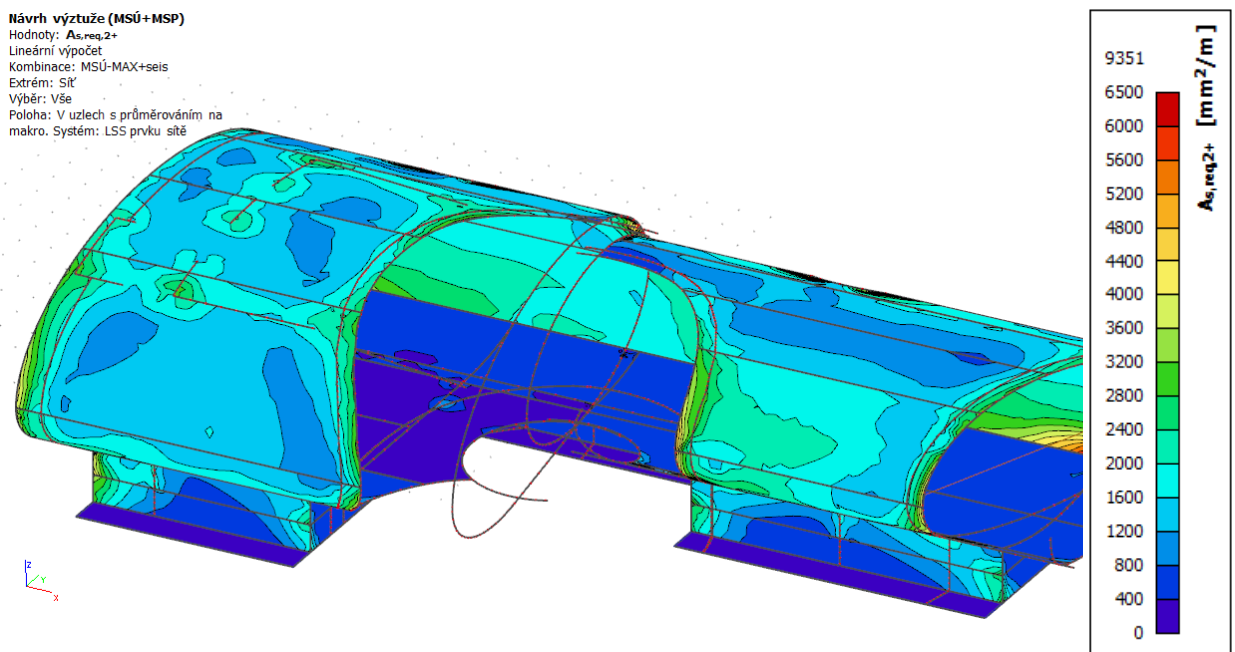
Návrh výztuže byl proveden pomocí programu SCIA Engineer společně s výpočtem pomocí programů Excel a AutoCAD. Nejprve byla konstrukce spočtena a posouzena pomocí programu SCIA Engineer, ze kterého byly vytvořeny výstupy v podobě izolinií návrhových momentů do souborů DWG. Tyto soubory byly následně nahrány jako podklady do výkresu půdorysu tak, jako je zobrazeno na Obrázku 27.



Obrázek 27 - Půdorys konstrukce s podkladem izolinií návrhových momentů pro horní střední část konstrukce ve směru X u vnějšího povrchu a rastrem os pro proměnnou tloušťku konstrukce

Z důvodu proměnné tloušťky oválů byl vytvořen v půdorysu s izoliniemi rastr os, který je vyobrazen na *Obrázku 27*. Díky tomuto rastru bylo možné odečíst hodnotu momentu působící na dané tloušťce konstrukce a porovnat jí s únosností navržené základní sítě výztuže při dané tloušťce v programu MS Excel. Způsob výpočtu a vytvoření tabulky únosnosti základní sítě při proměnné tloušťce konstrukce je znázorněn v *Příloze 4 – MSÚ – Návrh výztuže*. Celkový návrh výztuže na MSÚ byl během výpočtu orientačně kontrolován s výpočtem potřebné plochy výztuže z programu SCIA Engineer (viz *Obrázek 28*).

Výsledkem tohoto návrhu byla předběžná schémata vyztužení na MSÚ pomocí základní sítě výztuže v jednotlivých částech konstrukce – v horní střední polovině rozpětí oválů vychází výztuž u vnějšího povrchu profilu 14 mm po 100 mm v příčném směru a profilu 12 mm po 100 mm v podélném směru, popřípadě s použitím příložek.



Obrázek 28 - Izopásma potřebné plochy výztuže v příčném směru při vnějším povrchu

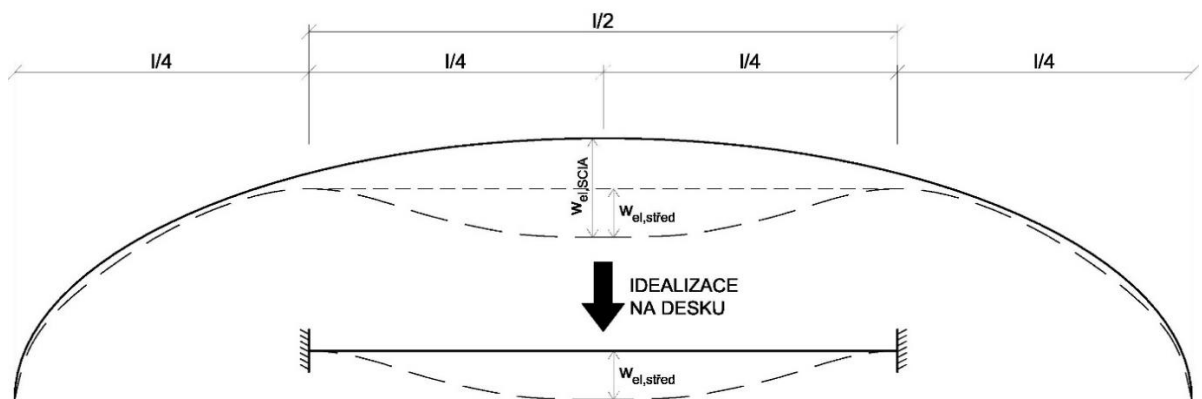
3.4 Návrh výztuže a posouzení na MSP

Následně bylo přistoupeno k posouzení vzniku a šířky trhlin při MSP. Vzhledem k tomu, že je konstrukce oválů vystavena povětrnostním vlivům a zároveň tvoří pohledovou a ochranou obálku budovy, bylo nutné přistupovat ke vzniku trhlin velmi přísně. Bylo nutné zajistit, aby nedocházelo ke vzniku příliš velkých trhlin jak z hlediska estetiky, tak z hlediska vodotěsnosti konstrukce. Proto bylo přistoupeno k přísnému kritériu maximální šířky trhlin 0,15 mm, které se používá například při realizaci základových bílých van. Při tomto návrhu bylo pomocí výpočtu v programu Excel posuzováno, zda při charakteristické kombinaci zatížení bude docházet ke vzniku trhlin při daném vyztužení na MSÚ, a pokud bude, jak široké trhliny vzniknou. Po zadání navrhnuté výztuže na MSÚ a působících momentů bylo zjištěno, že trhliny, které budou vznikat, nevyhovují dané podmínce maximální šířky 0,15 mm. Způsob výpočtu a posouzení vzniku a šířky trhliny je znázorněn v *Příloze 5 – MSP – posouzení vzniku a šířky trhlin*.

Z tohoto důvodu musela být navrhnutá větší plocha výztuže, než byla navrhnutá na MSÚ, což vedlo ke zvýšení profilu výztuže základní sítě (rozteč prutů byla zachována, jelikož již na MSÚ byla navrhnutá rozteč po 100 mm). Tímto výpočtem byly získány výsledné plochy a základní sítě výztuže, z čehož byla vytvořena schémata vyztužení přiložené na konci diplomové práce (viz *Výkres 2 – Vyztužovací schémata*).

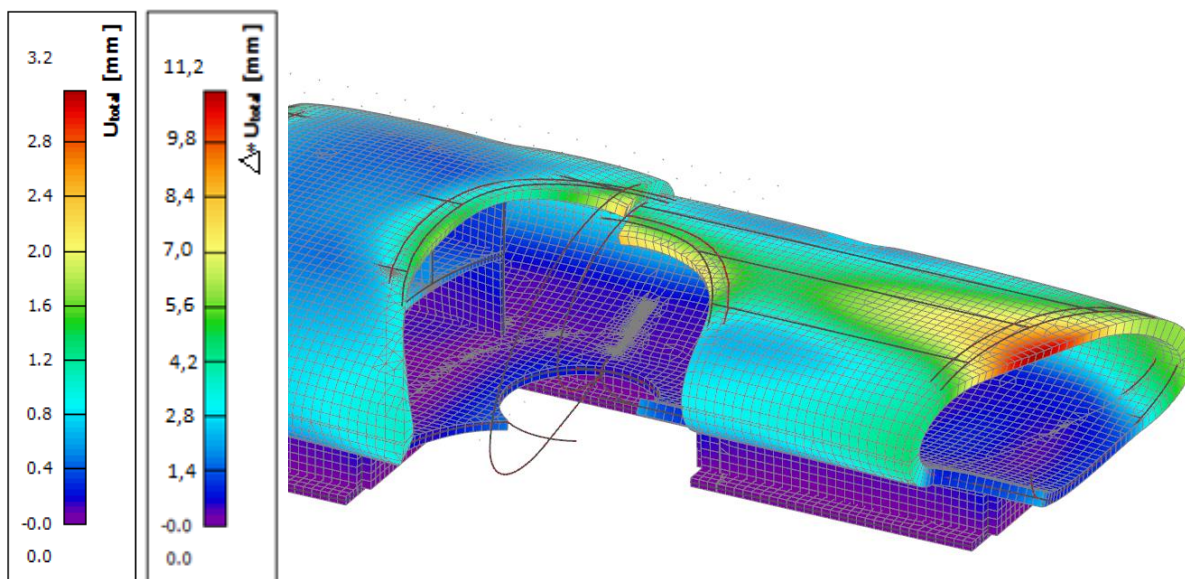
Dále bylo nutné posoudit konstrukci z hlediska mezního stavu přetvoření. Vzhledem k tvarové složitosti byla snaha o provedení posudku pomocí programu SCIA Engineer, který má v sobě zabudovaný posudek s názvem „*Normově závislý průhyb*“. Při tomto posudku je při výpočtu zohledněna tuhost a vyztužení prvků a výsledkem by měl být celkový výsledný průhyb včetně dotvarování. Nicméně tvarová složitost konstrukce s použitím skořepinových prvků a jejich ořezáváním při modelování způsobilo, že při výpočtu docházelo k softwarové chybě a zobrazení chybové hlášky bez vysvětlení zapříčinění chyby. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k ručnímu posouzení konstrukce, při kterém byla střední část konstrukce idealizována na vodorovnou desku o konstantní tloušťce (viz *Obrázek 29*). Idealizace této části konstrukce byla provedena z důvodu největších průhybů ve svislém směru, ke kterým v této části dochází. Zároveň je v této části relativně malé vzepětí což pomáhá ke snížení průhybu, a proto

můžeme konstatovat, že se idealizací této části na vodorovnou desku držíme na straně bezpečnosti.



Obrázek 29 - Idealizace střední části oválu na vodorovnou desku

Při výpočtu byl uvažován průřez s trhlinami a byl spočtený výsledný průhyb při dlouhodobém působení zatížení uprostřed rozpětí včetně vlivu smršťování a dotvarování. Tento výsledný průhyb byl vydělený pružným průhybem z programu SCIA Engineer, přičemž jejich podíl je udáván koeficientem Δ ($\Delta = \frac{w_{lt}}{w_{el,SCIA}} \cong 3,5$). Koeficient Δ udává, kolikrát by byl výsledný průhyb větší, než je pružný průhyb udávaný při výpočtu v programu SCIA Engineer. Tímto koeficientem byly následně přenásobeny výsledky pružného průhybu a výsledné hodnoty byly porovnány s kritériem limitního průhybu. Toto kritérium bylo 1/250 celkového rozpětí ve všech částech konstrukce kromě jejich okrajů, kde se nachází velké prosklené výplně. V těchto místech byla podmínka limitního průhybu stanovena na 1/500 celkového rozpětí konstrukce. Výsledné hodnoty celkového průhybu vůči pružnému průhybu jsou znázorněny na Obrázku 30 pomocí barevné škály.



Obrázek 30 - Výsledné hodnoty pružného průhybu z programu SCIA Engineer a celkového průhybu po přenásobení pružného průhybu koeficientem Δ

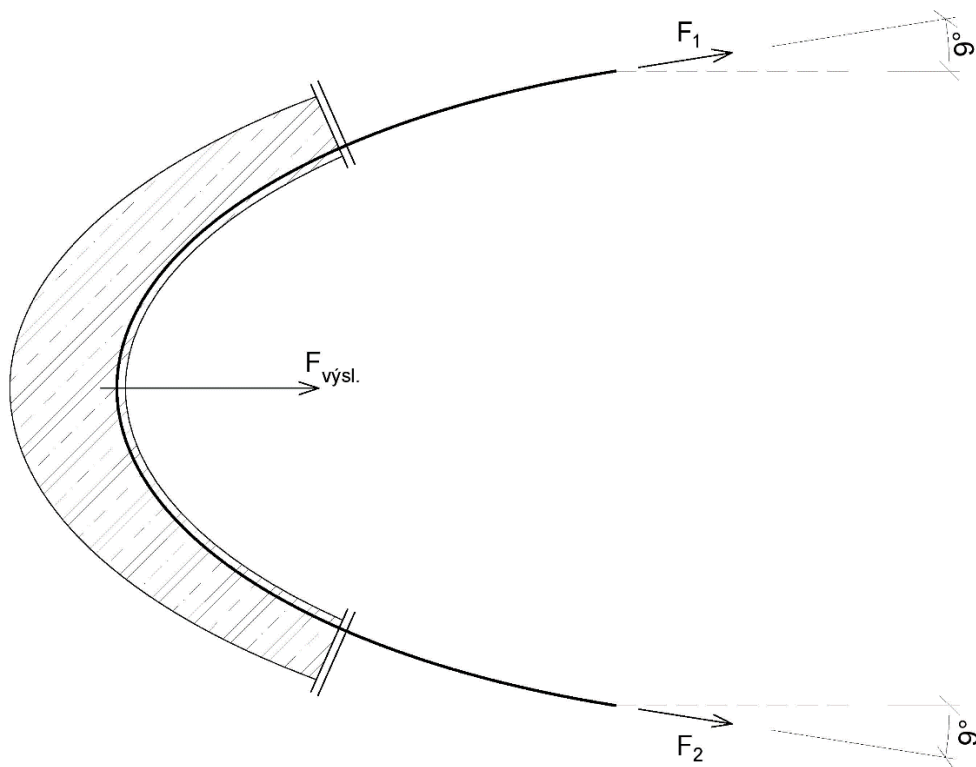
Z maximálního průhybu konstrukce, který dosahuje nejvyšší hodnoty 11,2 mm, je patrné, že je konstrukce velmi tuhá a při posouzení na průhyb bez problému vyhovuje ve všech místech i na podmínku limitního průhybu 1/500 rozpětí konstrukce, která je u malého oválu 21,62 mm a u velkého oválu 33,92 mm. Celkový výpočet a posouzení konstrukce na mezní stav přetvoření je uveden v Příloze 6 – MSP – přetvoření.

3.5 Způsob vyztužení a řešení problémových míst

Po úspěšném návrhu výztuže a posouzení konstrukce na MSP bylo nutné navrhnout způsob vyztužení jednotlivých oválných částí konstrukce. Navrhnutý způsob vyztužení se skládá z podélné výztuže, která je blíže k povrchu, a příčné výztuže, která kopíruje tvar konstrukce a v krajních částech oválu se u každého povrchu nachází ve dvou vrstvách. Způsob vedení, stykání a kotvení výztuže byl navržen pro způsob výstavby oválu na jeden záběr – způsob výstavby bude více rozebrán v kapitole 4. Vyztužení konstrukce velkého a malého oválu je zpracováno na Výkresu 3 – Výztuž velkého oválu a na Výkresu 4 – Výztuž malého oválu.

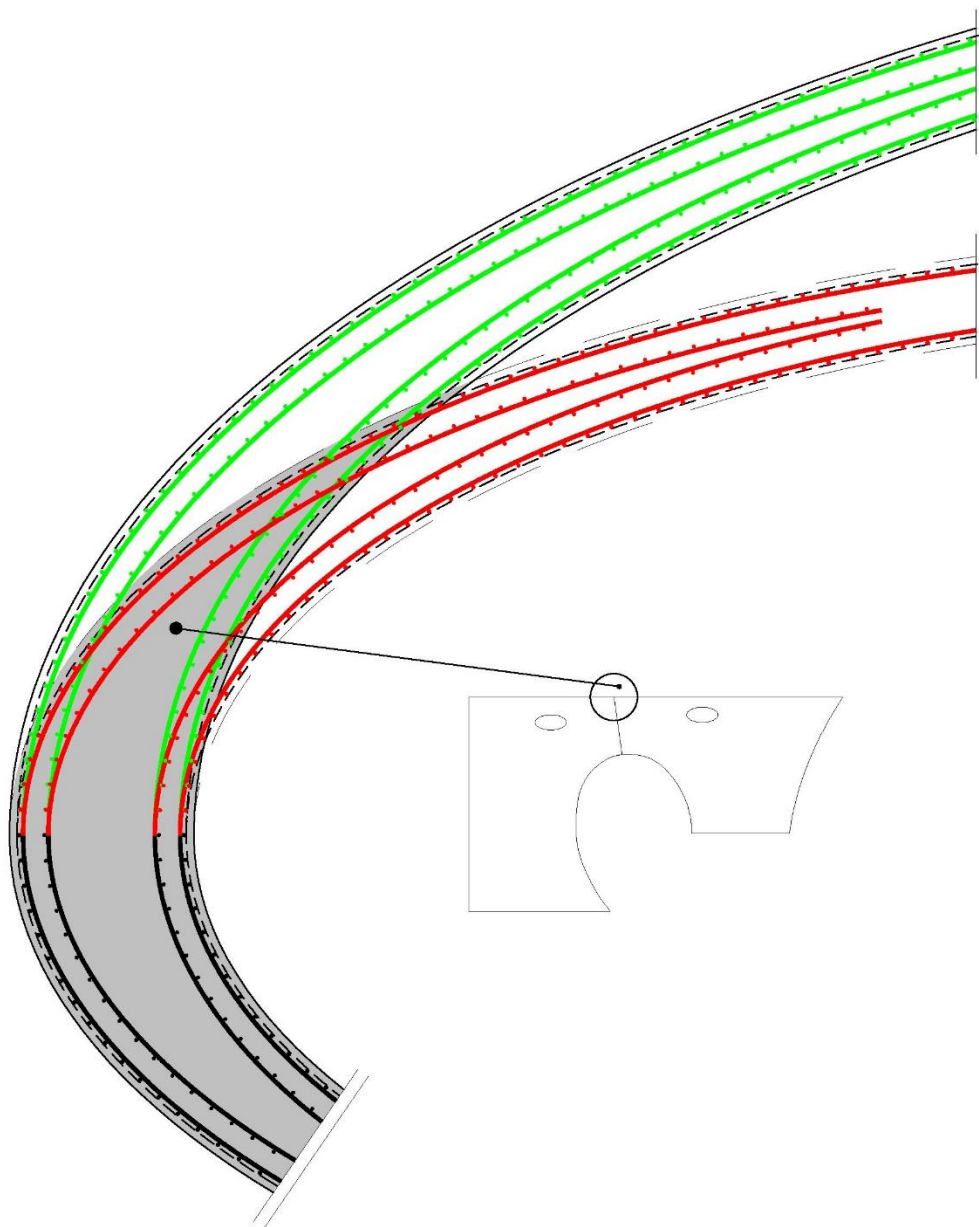
Při vyhotovení výkresů výztuže byl identifikován problém rizika vnitřní vrstvy výztuže, která tvoří jakýsi prstenec podél celého povrchu. Riziko spočívá

v možnosti vybočení výztuže směrem dovnitř konstrukce při tahovém namáhání, což by mohlo způsobit vytržení výztuže z betonu tak, jak je znázorněno na *Obrázku 31*. Z tohoto důvodu byly navrženy spony v rastru na 1 m^2 po celé ploše oválu, které budou přichytávat vnitřní vrstvu výztuže a bránit tak jejímu vybočení. Vzhledem ke křivosti oválu, která se směrem k jeho okrajům zvětšuje, je rastr spon na m^2 při okrajích konstrukce zahuštěný. Způsob návrhu spon a jejich rozložení je uvedeno v *Příloze 7 – Návrh a posouzení spon* a výsledné rozložení je patrné na *Výkresech 3 a 4*.



Obrázek 31 - Působení tahových sil na výztuž při vnitřním povrchu

Dalším problémovým místem na konstrukci je oblast styku mezi jednotlivými ovály znázorněna šedou výplní na *Obrázku 32*. V tomto místě hrozí porušení smykem. Z tohoto důvodu bylo toto místo posouzeno na smykové napětí ve styčné ploše mezi betony různého stáří dle ČSN EN 1992-1-1 [13], jelikož bude menší ovál betonován dříve – způsob provádění bude rozebrán podrobněji v kapitole 4. Dále byla výztuž procházející tímto místem posouzena na únosnost ve stříhu. Způsob posouzení styku a podrobný výpočet je uveden v *Příloze 8 – Posouzení styku mezi ovály* a rozkreslený detail styku včetně popisů je znázorněn na *Výkresu 5 – Detail styku*.



Obrázek 32 - Detail styku mezi ovály

4. Koncepční návrh technologie výstavby

4.1 Požadavky na beton

Betonová konstrukce rodinného domu tvoří jak vnější ochrannou vrstvu před povětrnostními vlivy, tak i pohledovou část celkového návrhu konstrukce. Z tohoto důvodu je nutné, aby nosná konstrukce splňovala nejen svůj účel z hlediska statiky, ale i z hlediska estetiky. Je tedy nutné stanovit několik požadavků, které budou při provádění stavby vyžadovány.

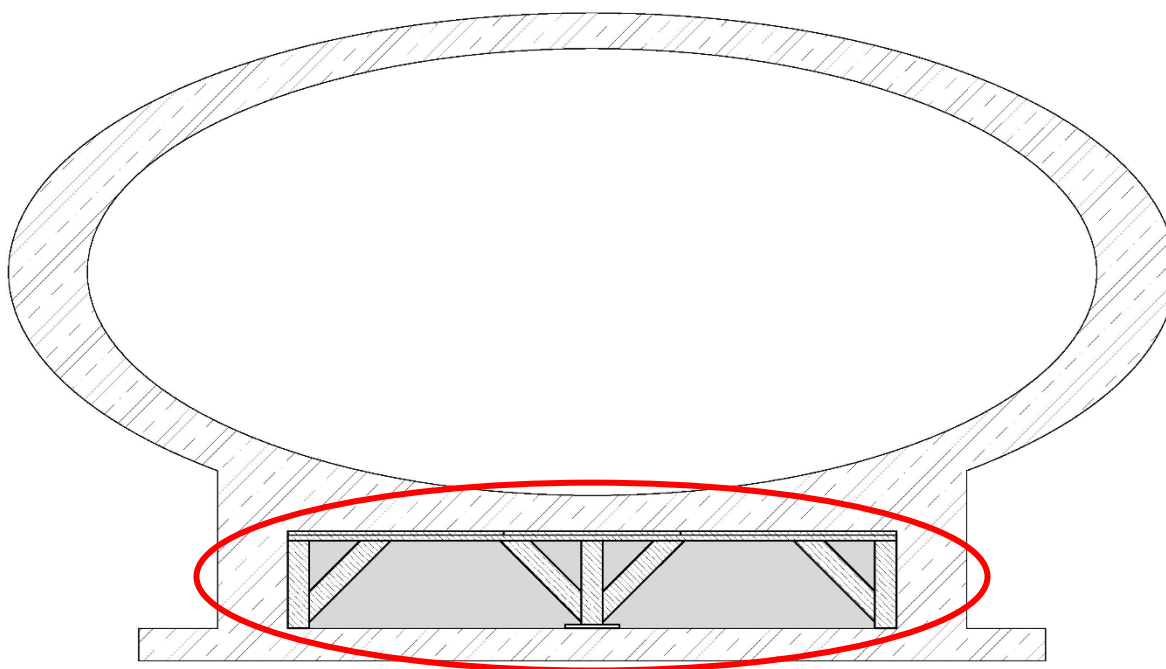
Prvním požadavkem z hlediska estetiky je to, aby bylo dosaženo pohledové kvality vnějšího povrchu konstrukce. Toto kritérium je nutné dodržet v každém případě, jelikož se jedná o důležitou vlastnost konstrukce vycházející z celkového architektonického návrhu. Bez jeho dodržení by nebylo dosaženo požadovaného efektu, který byl zamýšlen architektem. Pohledová kvalita bude zajištěna nejen vhodným způsobem bednění a ošetřování, ale především zbrúšením vnějšího povrchu konstrukce a jeho ošetřením pomocí sealeru, který zajistí i vodotěsnost povrchu konstrukce.

Požadavkem z hlediska statiky je zajištění zvláštní kontroly kvality výroby betonu dle ČSN EN 206+A1 [15], jelikož se konstrukce nachází v seizmicky aktivní oblasti. Ze stejného důvodu je nutné, aby byla při výstavbě dodržena doba zrání betonu 28 dní, a to z důvodu, aby bylo dosaženo dostatečné pevnosti betonu před zahájením dalšího pracovního záběru. Dále je nutné zajistit dostatečnou vodotěsnost betonových konstrukcí tvořících plášť konstrukce. Z tohoto hlediska byla navržena výztuž tak, aby byla omezena šířka trhlin na 0,15 mm (viz kapitola 3.4). Zároveň je nutné stanovit specifikaci betonu, který bude použit při výstavbě. Pro tuto konstrukci byl navržen beton třídy C30/37, stupně vlivu prostředí XC4 a XF3 a s maximální velikostí zrna kameniva 22 mm (**C30/37 – XC4, XF3 – Dmax 22**). Zbylé parametry, jimiž jsou obsah chloridů a konzistence betonu, budou navrženy specialistou – technologem výstavby.

Veškeré procesy spojené s technologií betonu, návrhem betonové směsi a způsobem ukládání čerstvé betonové směsi by byly konzultovány a navrženy společně se specialisty na technologii a provádění výstavby betonových konstrukcí, aby byla zajištěna maximální kvalita provádění a aby byly dodrženy veškeré požadavky investora.

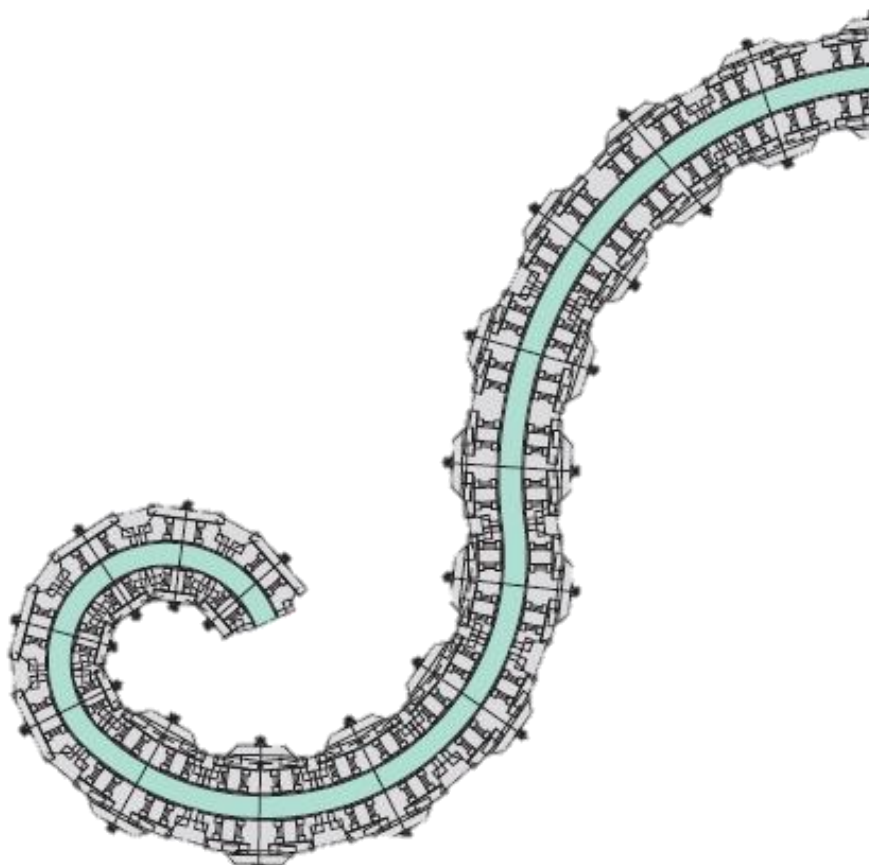
4.2 Požadavky na bednění

Vzhledem k tomu, z jakých konstrukčních prvků se stavba skládá, bude nutné při výstavbě využít rozmanitou škálu bednicích dílců. Pro základové a svislé vnitřní konstrukce budou použity především svislé stěnové bednicí dílce, pro betonáž vodorovných konstrukcí podlah budou použity vodorovné bednicí dílce. Uvnitř základových konstrukcí bude nutné pomocí výdřev vytvořit konstrukci ztraceného bednění pro betonáž nadzemních konstrukcí podlah a oválných konstrukcí (viz *Obrázek 33*).



Obrázek 33 - Schéma ztraceného bednění v základové části konstrukce

Při výstavbě oválných částí konstrukce je potřeba použít bednění, u kterého lze dosáhnout tvarové variability a zároveň je možné jej snadno přizpůsobit proměnné křivosti konstrukce. Tyto vlastnosti splňuje například bednění od společnosti PERI s obchodním názvem PERI RUNDFLEX [20], které by pro tuto stavbu bylo možné použít. U tohoto bednění je možné nastavit plynulou změnu poloměru od 1 m a je možné jej použít jak ve svislé, tak i ve vodorovné poloze. Příklad využití bednění PERI RUNDFLEX v praxi je uveden na *Obrázku 34*.



Obrázek 34 - Příklad využití bednění PERI RUND FLEX u stěny s proměnným poloměrem [20]

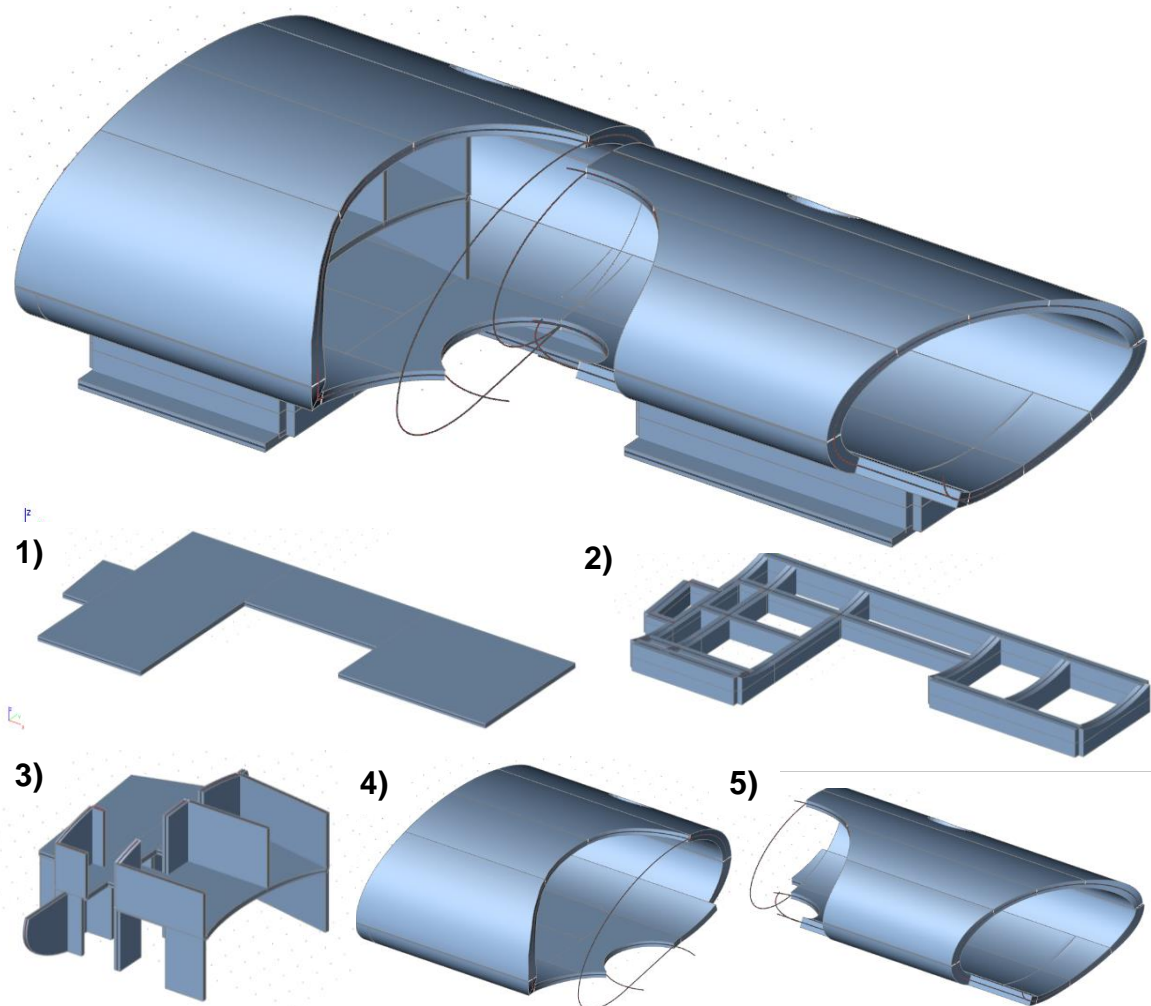
Dalším požadavkem na toto bednění je možnost měnit jeho tuhost během zrání betonu, aby nedošlo k porušení oválných konstrukcí při jejich tuhnutí z důvodu smršťování. Při tomto procesu by mohlo být zapříčiněno, že by se konstrukce kvůli zamezení smršťování bedněním na vnitřním líci mohla potřhat, což by mělo za následek porušení vodotěsnosti a zároveň vzhledu konstrukce, který je v tomto případě stejně důležitý, jako její funkčnost. Z tohoto důvodu by bylo navrženo bednění takovým způsobem, aby bylo možné během procesu tuhnutí betonu zmenšit jeho tuhost odebráním určitých prvků a tím dovolit konstrukci, aby se mohla smršťovat a nevznikala v ní příliš velká napětí.

4.3 Varianty postupu výstavby

Celá konstrukce je velmi masivní a bude tedy na ní potřeba velké množství betonu. Z hlediska výstavby bude konstrukce rozdělena na několik konstrukčních celků (viz *Obrázek 35*) a to následovně:

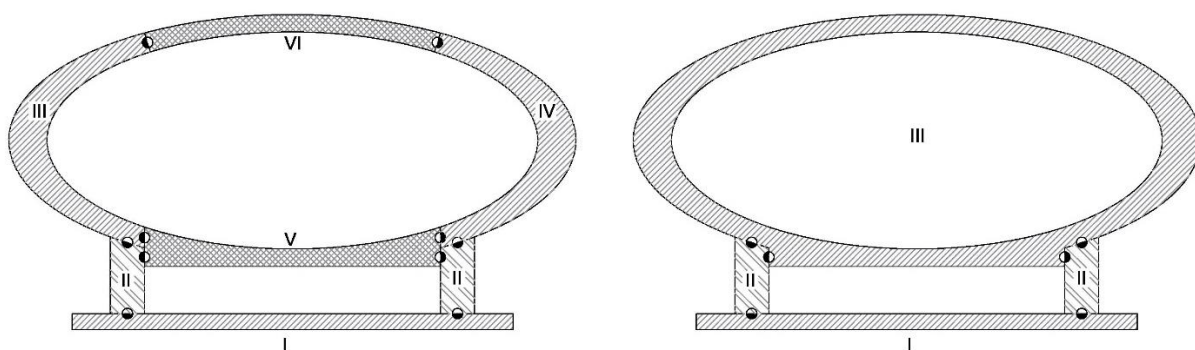
1) základová deska	70 m ³ betonu
2) stojiny základů	125 m ³ betonu
3) vnitřní konstrukce velkého oválu	58 m ³ betonu
4) malý ovál	150 m ³ betonu
5) velký ovál	183 m ³ betonu

Celkem bude potřeba zhruba 590 m³ betonu a po betonáži jednotlivých záběrů se bude čekat 28 dní, než se přistoupí k dalšímu pracovnímu záběru. Mezitím bude probíhat ošetřování vybetonované části, postupné odbedňování a přípravy na další záběr.



Obrázek 35 - Znáornění rozdělení konstrukce na jednotlivé konstrukční celky

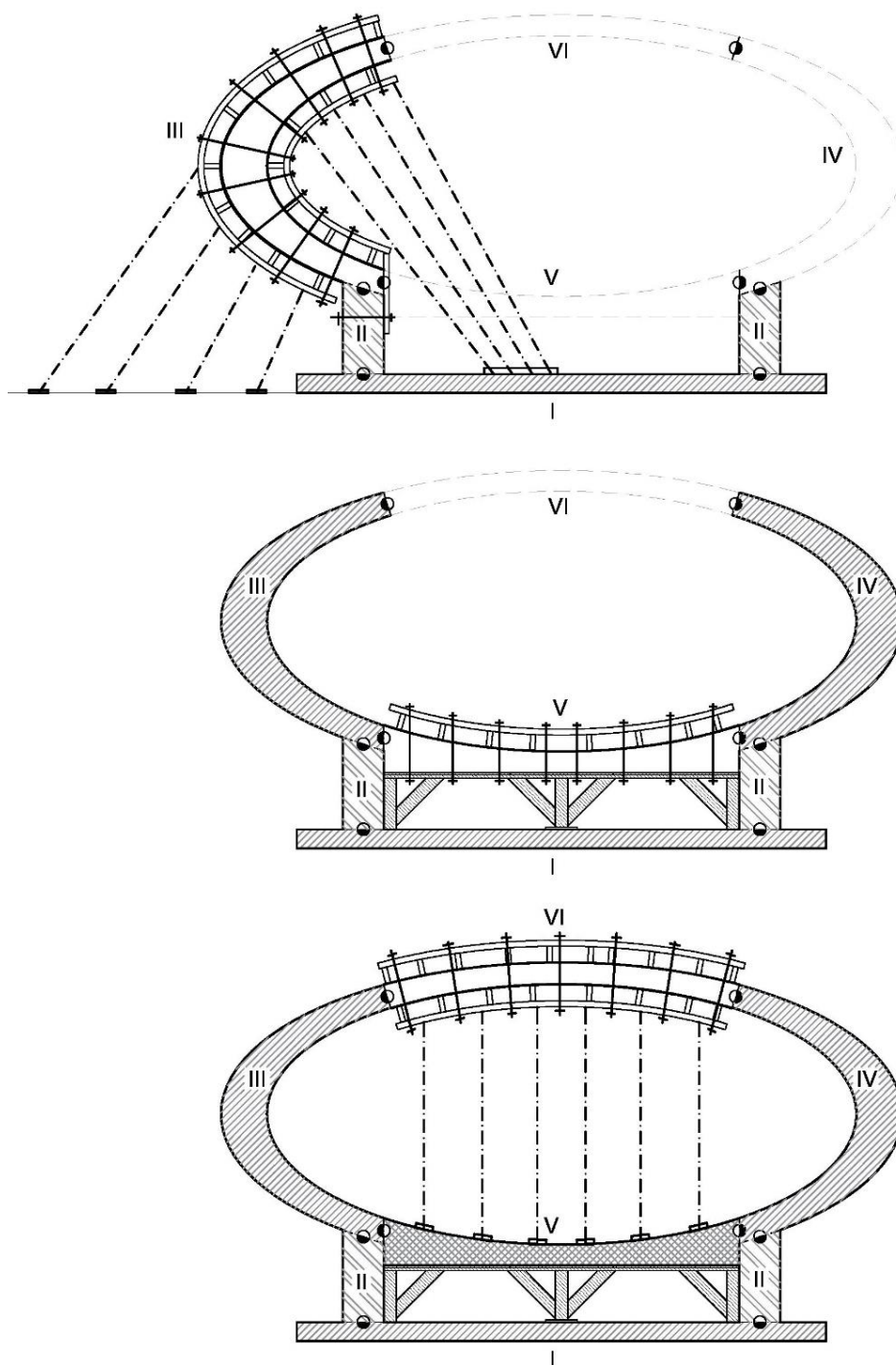
Při výstavbě oválných částí konstrukce je možné uvažovat se dvěma variantami postupu. První variantou je bednění a betonáž oválů po menších záběrech a druhou variantou je vybednění a následné vybetonování jednotlivých oválů pouze na jeden záběr. Obě varianty budou znázorněny na konstrukci malého oválu, způsob jeho rozdělení na pracovní záběry při obou variantách je znázorněn na *Obrázku 36*.



Obrázek 36 - Schéma pracovních záběrů malého oválu na menší části (vlevo) a na jeden záběr (vpravo)

První varianta je méně náročná na vybednění a na betonáž, jelikož nebude nutné vybetonovat najednou přes 150 m³ betonu při komplikovaném tvaru konstrukce. Jednotlivé pracovní záběry budou betonovány tak, jak je znázorněno na *Obrázku 37* – po vybetonování základových konstrukcí by se vytvořily krajní oblouky oválu (záběry III a IV), které by mohly být při dostatku bednění vytvořeny současně. Následně by byla vybetonována spodní část oválu (záběr V) a po vyzrání všech předchozích záběrů by byl ovál uzavřen vrchní částí (záběr VI).

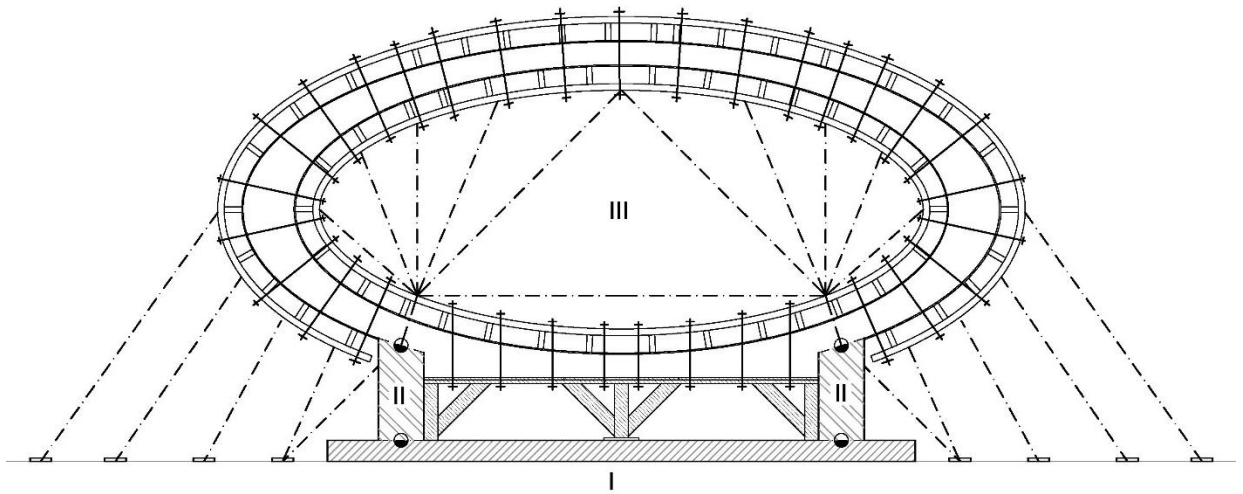
Umístění pracovních spár v této variantě vychází z průběhů momentů a způsobu namáhání konstrukce. Sice by bylo z hlediska provádění jednodušší umístit pracovní spáru v polovině výšky oválu, ale to by v tomto případě byla umístěna v místě největšího ohybového namáhání. Proto byly pracovní spáry umístěny do čtvrtin rozpětí, kde jsou ohybové momenty ve většině zatěžovacích stavů blízké nulové hodnotě. Ačkoliv je toto umístění pracovních spár výhodné ze statického hlediska, z hlediska vodotěsnosti konstrukce je toto umístění problémové. Bude tedy nutné navrhnout takové těsnění, aby byla spára dokonale vodotěsná. Toho se dá dosáhnout pomocí PVC těsnících pásů nebo těsnícím plechem umístěným do středu průřezu, popřípadě s použitím bobtnavých pásků.



Obrázek 37 - Koncepční schéma bednění pracovních záběrů první varianty provádění

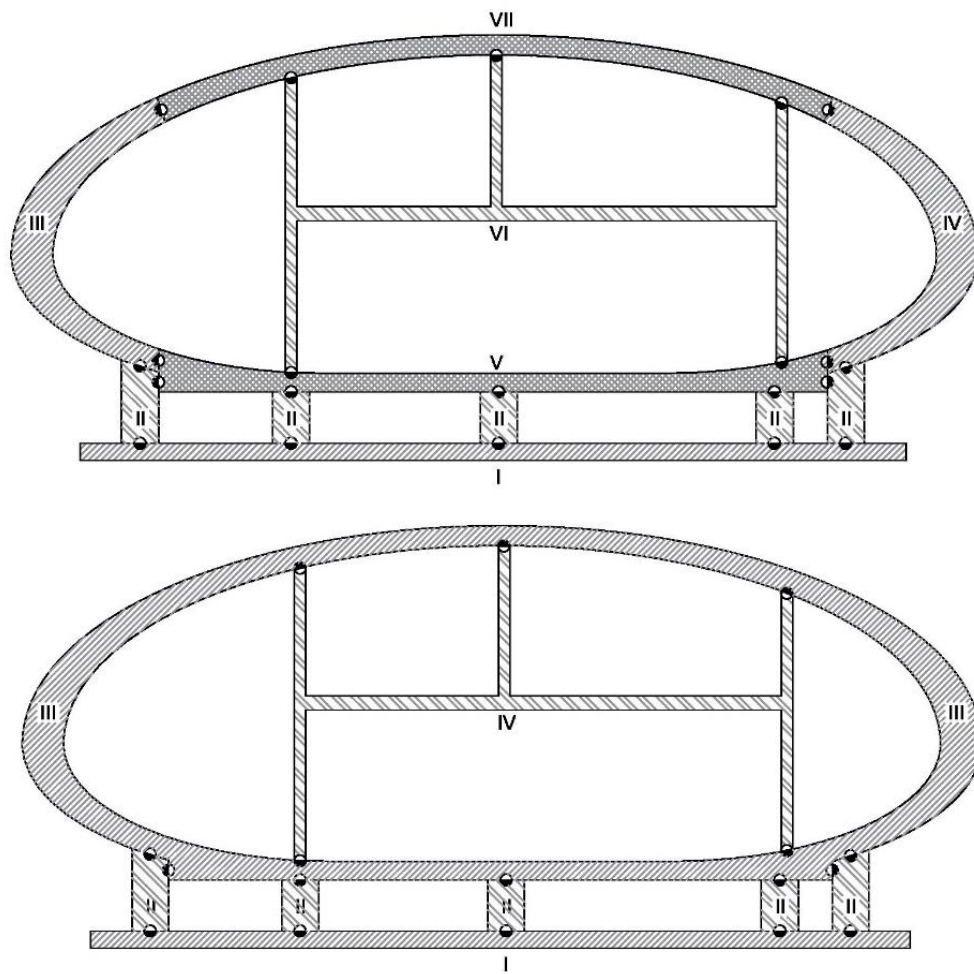
Druhá varianta umožňuje dosažení jednoduchého výsledku bez viditelných pracovních spár, čímž odpadá problematika utěsnění pracovních spár proti zatékání. V této variantě je ale mnohem komplikovanější vytvoření bednění celého oválu. Pro bednění by bylo nutné vytvořit vnitřní skruž podobnou takové, jaká se používá u tunelového bednění, která by byla rozepřena a podepřena pomocí již vybetonovaných stojin základů. Tím by sice vznikly v konstrukci

nevybetonované „otvory“, ale ty by bylo možné dodatečně dobetonovat po vysunutí vnitřní konstrukce bednění. Vnější část bednění by byla tvořena ohebným bedněním RUNDFLEX, které by bylo propojeno s vnitřní skruží pomocí spínacích tyčí a z vnějšku podepřeno pomocí stojek. Celé koncepční schéma provedení bednění na jeden pracovní záběr je znázorněno na *Obrázku 38*. Při této variantě by byla výztuž stykována klasicky pomocí přesahových délek – způsob vyztužení malého i velkého oválu při této variantě je vyhotoven na *Výkresech 3 a 4*.



Obrázek 38 - Koncepční schéma bednění varianty na jeden pracovní záběr

Obdobně by byly tyto dvě varianty aplikovány na část velkého oválu (viz *Obrázek 39*). Při výběru varianty výstavby oválu na jeden záběr je ale nutné brát v potaz, že tvorba jeho vnitřních konstrukcí by byla komplikovanější než v případě zvolení varianty výstavby na více záběrů. Pro tvorbu vnitřních konstrukcí by bylo možné použití samozhutnitelného betonu pro betonáž svislých stěn, jejichž napojení na oválnou konstrukci by bylo provedeno pomocí vylamovacích prvků, popřípadě přesahem s vytrnovanou výztuží nebo za použití šroubových spojek.



Obrázek 39 - Schéma pracovních záběrů velkého oválu na menší části (nahore) a na jeden záběr (dole)

Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout konstrukci nacházející se v seizmicky aktivní oblasti za použití platných českých norem. Práce je rozdělena na tři hlavní části – přístup k působícím zatížením a jejich výpočet, posouzení a návrh konstrukce včetně vyztužení a koncepční návrh způsobu výstavby.

První část se zabývá rozborem a výpočtem působících zatížení na konstrukci. Ačkoliv bylo původně předpokládáno, že výzvou bude zejména zatížení od zemětřesení, byly v průběhu výpočtu identifikovány další problémy, které bylo pro získání výsledných zatížení nutné vyřešit. Prvním problémem bylo dosažení správných hodnot působení zatížení větrem na oválné konstrukci v podélném směru. Tento výpočet nemá oporu v normě a bylo tedy nutné si konstrukci aproximovat na střechu sedlového tvaru, na které bylo možné zatížení větrem podle normy spočítat. K ověření správnosti uvážené aproximace a spočtených výsledků byla použita 3D analýza zatížení větrem pomocí CFD (computational fluid dynamics) analýzy proudění větru v programu RWIND Simulation. Dalším problémem bylo působení teplotního zatížení na konstrukcích vystavených vnějším vlivům. Na těchto konstrukcích by vzhledem k jejich masivnosti vznikaly, při uvážení působícího teplotního gradientu dle normy, neúměrně velké vnitřní síly, kvůli kterým by téměř nebylo možné konstrukci navrhnout. Po zvážení, zda by vůbec mohl vznikat takto vysoký gradient, bylo přistoupeno k nestacionárnímu výpočtu průběhu teploty po průřezu konstrukce. Tím bylo ověřeno, že na konstrukci působí mnohem nižší teplotní gradient, ale i nadále jsou působící síly od tohoto gradientu velmi významné. Při výpočtech zatížení seismicitou byly jeho účinky vzhledem k tvarové složitosti konstrukce získány pomocí programu SCIA Engineer. Zde bylo nutné porozumět, jak program počítá s působícím zatížením od seismicity a jak správně nastavit jednotlivé zatěžovací stavy, a následně ověřit na dílčích modelech, zda je vše nastaveno správně, a zda získané výsledky odpovídají realitě. Veškeré výpočty a grafy, které byly provedeny při výpočtech zatížení působících na konstrukci, jsou uvedeny v *Přílohách 1 a 2*.

Ve druhé části práce, která se zabývá návrhem a posouzením konstrukce na jednotlivé mezní stavy, je nejprve rozebráno, jak bylo přistupováno k vytváření

výpočetního 3D modelu, ze kterého byly následně získány návrhové vnitřní síly pro návrh výztuže. Výzvou při návrhu a posuzování výztuže oválných konstrukcí byla především jejich proměnná tloušťka. Bylo proto nutné současné použití grafického programu AutoCAD k odčítání působících návrhových sil získaných z výpočetního programu SCIA Engineer a programu MS Excel k posouzení jednotlivých tloušťek konstrukce. Poté, co byla takto navržena výztuž na mezní stav únosnosti, byla výztuž posouzena na mezní stav šířky trhlin z důvodu zajištění vodotěsnosti oválných konstrukcí. Při tomto posouzení bylo zjištěno, že při uvážení podmínky maximální šířky trhlin 0,15 mm je nutné zesílit navrženou výztuž tak, aby byla tato podmínka splněna. Nakonec byla konstrukce s navrženou výztuží posouzena na mezní stav přetvoření. Při následném vytváření výkresů výztuže oválných konstrukcí bylo identifikováno riziko vybočení příčné výztuže podél vnitřního povrchu dovnitř konstrukce a tím jejího vytržení z betonu. Při návrhu spon bylo toto riziko zohledněno a spony byly navrženy nejen z konstrukčního hlediska, ale i tak, aby zachycovaly příčné síly působící na vnitřní vrstvu výztuže, čímž bylo eliminováno riziko jejího vybočení. Veškeré výpočty ohledně ověřování výpočetního modelu, návrhu a posouzení výztuže, rizikových míst a posouzení přetvoření konstrukce jsou uvedeny v *Přílohách 3 až 8*. Výkresy půdorysu a řezů konstrukce, vyztužovacích schémat, vedení výztuže v oválných konstrukcích a detailu styku jsou uvedeny na konci diplomové práce.

Třetí část diplomové práce se zabývá návrhem způsobu výstavby. Vzhledem k časovým a rozsahovým možnostem práce bylo přistoupeno ke koncepčnímu návrhu, kde byly stanoveny požadavky na betonovou směs a výslednou kvalitu betonového povrchu. Dále byly stanoveny požadavky na bednění, které bude potřeba pro různé konstrukční prvky. Typicky budou použity stěnové a stropní dílce, ale zároveň také speciální typ ohebného bednění, kterým je možné dosáhnout požadovaných oválných tvarů konstrukce. Na závěr této části jsou uvedeny možné varianty způsobu výstavby oválných konstrukcí, kterými jsou rozdělení oválných konstrukcí na menší pracovní záběry nebo jejich vybetonování v celku na jeden pracovní záběr. Veškeré požadavky a navržené varianty způsobu výstavby by byly konzultovány se specialistou na technologii staveb, aby bylo dosaženo veškerých funkčních a estetických vlastností, které jsou vyžadovány investorem a charakterem stavby.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] BACHMANN, Hugo, Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners and authorities [online]. BWG, Biel, 2003. Dostupné z: https://www.preventionweb.net/files/687_10092.pdf
- [2] KOHOUTKOVÁ, Alena – PROCHÁZKA, Jaroslav – ŠMEJKAL. Modelování a vyztužování betonových prvků – Lokální modely železobetonových konstrukcí. Praha: ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05329-4.
- [3] PROCHÁZKA, Jaroslav – KOHOUTKOVÁ, Alena – VAŠKOVÁ, Jitka. Navrhování železobetonových konstrukcí – Příklady a postupy. Praha: ČVUT. 2018. ISBN 978-80-01-05587-8.
- [4] Software SCIA Engineer. Dostupné z: <https://www.scia.net/cs>
- [5] Software RWIND Simulation. Dostupné z: <https://www.dlupal.com/cs>
- [6] Software AutoCAD. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/>
- [7] Dlubal. *Oblasti zatížení sněhem, větrem a zemětřesením* [online]. 2020 Dostupné z: <https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>
- [8] ČSN EN 1990 (Eurokód). Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ČNI, 03/2004
- [9] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1). Zatížení konstrukcí – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI, 03/2004
- [10] ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1). Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem. Praha: ČNI, 06/2005
- [11] ČSN EN 1991-1-4 (Eurokód 1). Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem. Praha: ČNI, 04/2007
- [12] ČSN EN 1991-1-5 (Eurokód 1). Zatížení konstrukcí – Zatížení teplotou. Praha: ČNI, 05/2005
- [13] ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2). Navrhování betonových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 11/2006
- [14] ČSN EN 1998-1 (Eurokód 8). Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 09/2006
- [15] ČSN EN 206+A1. Beton –Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: ČNI, 04/2018

- [16] Artechnic. *Shell photo: Nacasa & Partners Inc.* [online]. 2008. Dostupné z: <https://www.artechnic.jp/residential-2/album/shell-2008>
- [17] CAANdesign. *Ultramodern Shell Residence by ARTechnic Architects* [online]. 2015. Dostupné z: <https://www.caandesign.com/ultramodern-shell-residence-by-artechnic-architects/>
- [18] retro.YR.no. *Kyū-karuisawa, Nagano (Japan)* [online]. 2020. Dostupné z: <https://retro.yr.no/sted/Japan/Nagano/Ky%C5%AB-karuisawa/>
- [19] SCIA ENGINEER. *Advanced Professional Training – Dynamics* [online]. 2015. Dostupné z: [https://downloads.scia.net/support/sciaengineer/manuals/15/dynamics/\[eng\]advanced%20professional%20training%20-%20dynamics%2015.0.1019.pdf](https://downloads.scia.net/support/sciaengineer/manuals/15/dynamics/[eng]advanced%20professional%20training%20-%20dynamics%2015.0.1019.pdf)
- [20] PERI. *Kruhové bednění RUNDFLEX* [online]. Dostupné z: <https://www.peri.cz/produkty/bedneni/stenove-bedneni/kruhove-bedneni-rundflex.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rodinný dům Shell house, Japonsko [17]	1
Obrázek 2 - Pohledy na konstrukci [16]	3
Obrázek 3 - Půdorys konstrukce [16].....	4
Obrázek 4 - Pohled na hotovou stavbu [17].....	4
Obrázek 5 - Rozložení působení stálého zatížení skladbou podlahy na konstrukci	5
Obrázek 6 - Zatěžovací obrazce nenavátým sněhem (a) a navátým sněhem (b, c) na střeše	6
Obrázek 7 - Působení větru na klenbové střechy v příčném směru dle ČSN EN 1991-1-4 [11].....	7
Obrázek 8 - Aproximace střechy v podélném směru.....	8
Obrázek 9 - Proudnic větru působícího v podélném směru v programu RWIND	9
Obrázek 10 - Výsledný tlak větru v podélném směru působící na povrch konstrukce v programu RWIND.....	9
Obrázek 11 - Výsledné oblasti působícího tlaku větru v podélném směru	10
Obrázek 12 - Tabulka pro stanovení teploty vnějšího povrchu T_{out} dle ČSN EN 1991-1-5 [12].....	11
Obrázek 13 - Moment od gradientu teploty ve vrcholu oválu (M1), okraji oválu (M2) a stojinách (M3)	12
Obrázek 14 - Rozdělení průřezu na prvky pro výpočet průběhu teploty.....	13
Obrázek 15 - Získání počátečních teplot pro průřez tl. 330 mm v letním období	15
Obrázek 16 - Průběh teplot po průřezu tl. 330 mm v týdenní bilanci po hodinách s vlivem oslunění.....	15
Obrázek 17 - Průběh teplot po průřezu tl. 330 mm v roční bilanci po dnech s maximálními teplotami.....	15
Obrázek 18 - Průběh teploty po průřezu tl. 330 mm při největším rozdílu teplot vnějšího (1) a vnitřního (3) povrchu v létě (nalevo) a v zimě (napravo) s vlivem oslunění	16
Obrázek 19 - Výsledné gradienty teploty působící na konstrukci s hodnotou vyvozeného momentu na průřezu	17

Obrázek 20 - Nastavení seismického zatěžovacího stavu	20
Obrázek 21 - Výsledný průběh momentů: 1) Seismický zatěžovací stav; 2) Metoda příčných sil	21
Obrázek 22 - Výsledné přemístění: 1) Seismický zatěžovací stav; 2) Metoda příčných sil	22
Obrázek 23 - Porovnání výsledků modelu ze skořepinových prvků a z deskových prvků	23
Obrázek 24 - Porovnání průběhu normálových sil ručním výpočtem s výpočtem v programu SCIA Engineer	24
Obrázek 25 - Celkový 3D model konstrukce	25
Obrázek 26 - 3D přemístění konstrukce od vlastní tíhy.....	26
Obrázek 27 - Půdorys konstrukce s podkladem izolinií návrhových momentů pro horní střední část konstrukce ve směru X u vnějšího povrchu a rastrem os pro proměnnou tloušťku konstrukce	28
Obrázek 28 - Izopásma potřebné plochy výztuže v příčném směru při vnějším povrchu	29
Obrázek 29 - Idealizace střední části oválu na vodorovnou desku	31
Obrázek 30 - Výsledné hodnoty pružného průhybu z programu SCIA Engineer a celkového průhybu po přenásobení pružného průhybu koeficientem Δ	32
Obrázek 31 - Působení tahových sil na výztuž při vnitřním povrchu	33
Obrázek 32 - Detail styku mezi ovály	34
Obrázek 33 - Schéma ztraceného bednění v základové části konstrukce	36
Obrázek 34 - Příklad využití bednění PERI RUNDFLEX u stěny s proměnným poloměrem [20]	37
Obrázek 35 - Znázornění rozdělení konstrukce na jednotlivé konstrukční celky	38
Obrázek 36 - Schéma pracovních záběrů malého oválu na menší části (vlevo) a na jeden záběr (vpravo)	39
Obrázek 37 - Koncepční schéma bednění pracovních záběrů první varianty provádění	40
Obrázek 38 - Koncepční schéma bednění varianty na jeden pracovní záběr ..	41
Obrázek 39 - Schéma pracovních záběrů velkého oválu na menší části (nahore) a na jeden záběr (dole)	42

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hodnoty působícího tlaku větru v podélném směru	10
Tabulka 2 - Hodnoty vlastních frekvencí, kruhových frekvencí a period kmitání jednotlivých vlastních tvarů	19
Tabulka 3 - Seznam zatěžovacích stavů.....	27
Tabulka 4 - Seznam kombinací zatěžovacích stavů	28

Seznam příloh

Příloha 1 - Výpočet zatížení	50
Příloha 2 - Nestacionární průběh teploty	62
Příloha 3 - Kontrola výpočtů ze SCIA Engineer.....	74
Příloha 4 - MSÚ – Návrh výztuže	76
Příloha 5 - MSP – Posouzení vzniku a šířky trhlin.....	79
Příloha 6 - MSP – Posouzení přetvoření	82
Příloha 7 - Návrh a posouzení spon.....	88
Příloha 8 - Posouzení styku mezi ovály	92

Seznam výkresů

Výkres 1 - Půdorys + řezy	94
Výkres 2 - Vyztužovací schémata	95
Výkres 3 - Výztuž velkého oválu	96
Výkres 4 - Výztuž malého oválu	97
Výkres 5 - Detail styku	98

Seznam použitých zkratk

EC – eurokód

ČSN – česká technická norma

AIJ RLB – japonská národní norma

SRSS – Square Root of Sum of Squares

CQC – Complete Quadratic Combination

MKP – metoda konečných prvků

MSÚ – mezní stav únosnosti

MSP – mezní stav použitelnosti

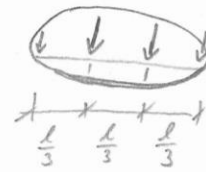
ZS – zatěžovací stav

Přílohy

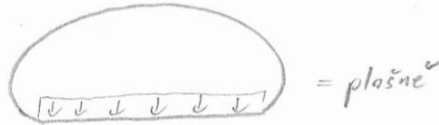
Příloha 1 - Výpočet zatížení

- kee podlahy : $0,5 \text{ kN/m}^2$

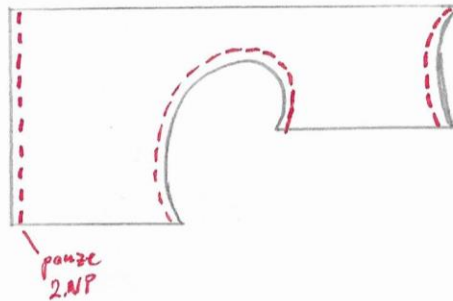
* \rightarrow působení v menším oválu
 \rightarrow působení ve větším oválu



= bodově
 (liniově v prostoru)



- prosklená výplň - $0,5 \text{ kN/m}^2$



- zatížení zemním tlakem - $S_{zem}^0 = 19 \text{ kN/m}^3$

Užitné zatížení \rightarrow

- kat A - $1,5 \text{ kN/m}^2$ - působení stejně jako podlahy *

- zatížení sněhem - dle japonské normy : $s_k = 2,91 \text{ kN/m}^2$

\Rightarrow odpovídá VI sněhové oblasti dle ČSN EN 1991-1-3

- $s_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_{te} \cdot s_k$$

$$\rightarrow C_e = 1,0$$

$$\rightarrow C_{te} = 1,0$$

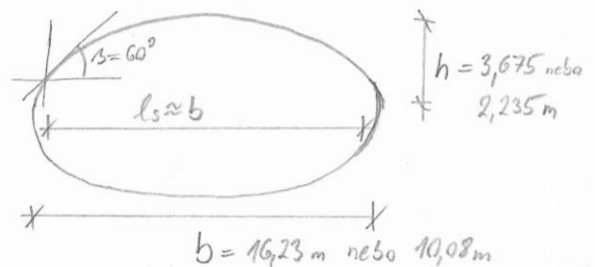
$$\rightarrow \mu_i = \mu_3 - \text{váleová střecha}$$

$$\rightarrow \alpha = 60^\circ \rightarrow \mu_3 = 0$$

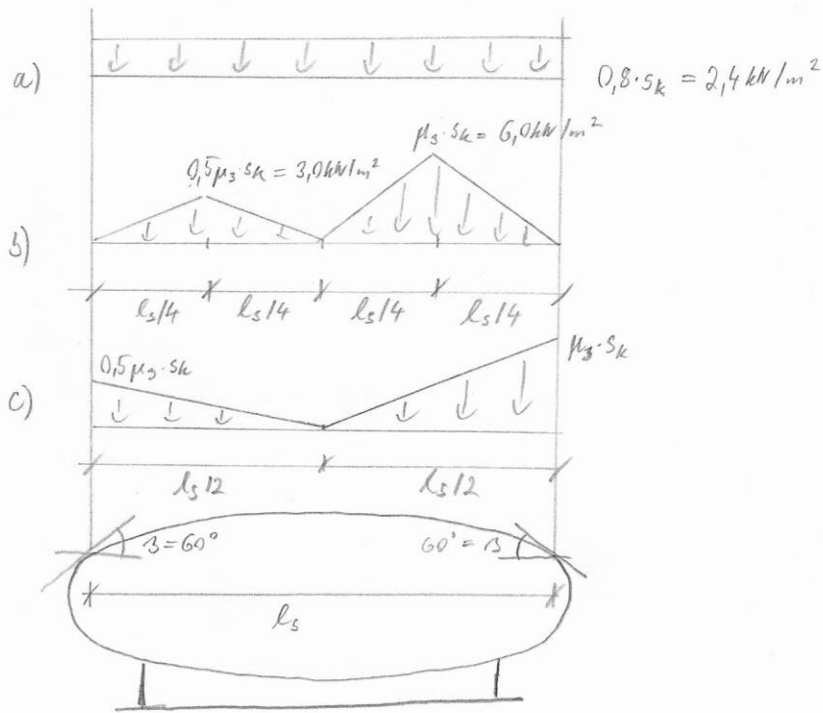
$$\alpha \leq 60^\circ \rightarrow \mu_3 = 0,2 + 10 \cdot h/b < 2,0 \quad ; \quad h/b = 0,22$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot 0,22 = 2,4 > 2,0$$

$$\underline{\mu_3 = 2,0}$$



Zatěžovací obrazce sněhem $\left\{ \begin{array}{l} \text{a) nenavátný sníh} \\ \text{b+c) navátný sníh} \end{array} \right.$



ČSN EN 1991-1-4

- zatížení větrem - dle japonské normy: $V_{b,0} = 36,9 \text{ m/s}$

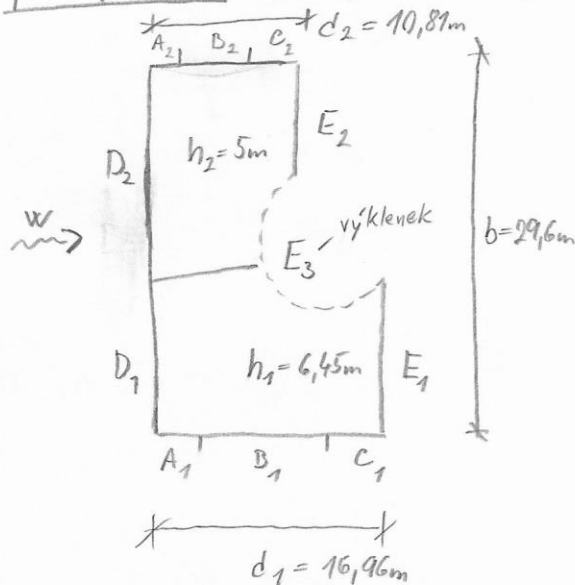
$$- V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 36 = \underline{36 \text{ m/s}}$$

$$- q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 36^2 = \underline{810 \text{ N/m}^2}$$

$$- \text{kat. terénu: III} \xrightarrow{\text{graf}} C_e(z) = 1,4$$

$$- q_p(z) = q_b \cdot C_e(z) = 810 \cdot 1,4 = 1134 \text{ N/m}^2 = \underline{1,14 \text{ kN/m}^2}$$

příčný vítr \rightarrow (zjednodušení)

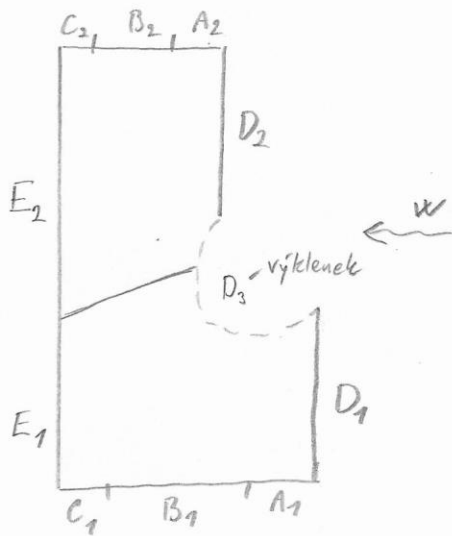


$$e_1 = \min(b, 2h) = 2h_1 = \underline{12,9 \text{ m}}$$

$$e_2 = \min(b, 2h) = 2h_2 = \underline{12,9 \text{ m}}$$

$$h_1/d_1 = 0,38$$

$$h_2/d_2 = 0,46$$



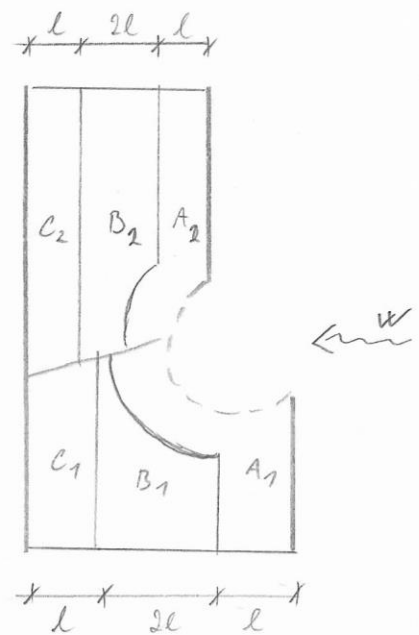
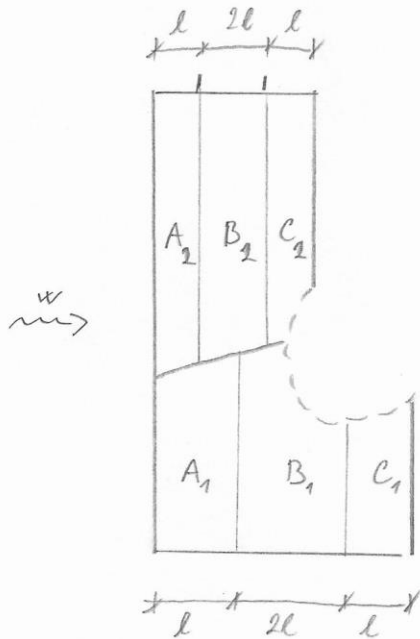
příčný vítr - obvodové kece		
	$C_{pe,10}$	$W_e = C_{pe,10} \cdot q_p$
*	[]	[kN/m ²]
A	-1,2	-1,37
B	-0,8	-0,92
C	-0,5	-0,57
D	+0,75	+0,86
E	-0,5	-0,57
E ₃		
D ₃		

* hodnoty pro celek I a II shodné

⊖ vztlak

⊕ tlak

- střecha (klenbové střechy)

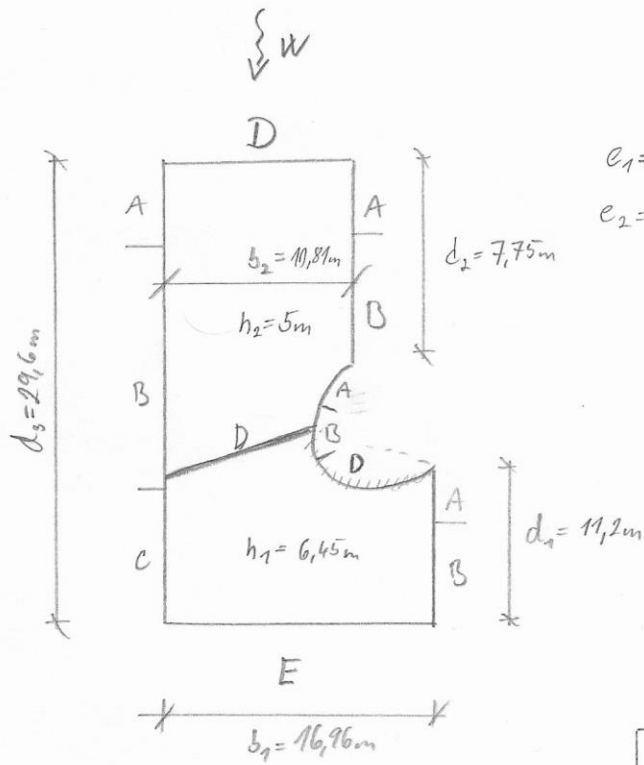


$$\left. \begin{array}{l} f_2 = 2,4 \text{ m} \dots f_2/d_2 = 2,4/10,89 = 0,22 \\ f_1 = 3,85 \text{ m} \dots f_1/d_1 = 3,85/16,96 = 0,23 \end{array} \right\} f/d = 0,25$$

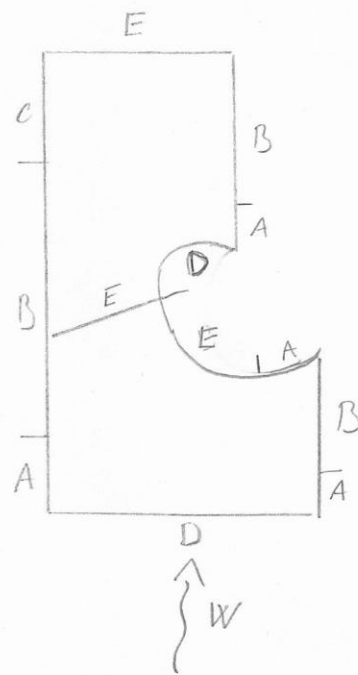
=> graf =>

vítr příčný - střecha		
*	$C_{pe,10}$	W_p [kN/m ²]
A	+0,1	+0,11
	-0,8	-0,92
B	-0,9	-1,03
C	-0,4	-0,46

podélný vítr



$e_1 = 2h_1 = 12.9m$
 $e_2 = 2h_2 = 10m$



vítr podélný - svislé kee		
	$C_{pe,10}$	$W_e [kN/m^2]$
A	-1,2	-1,37
B	-0,8	-0,92
C	-0,5	-0,57
D	+0,75	+0,80
E	-0,5	-0,57

⊖ vzhled
 ⊕ tlak

- střecha → jako sedlová

→ strmější část ovalu jako sklon 15°

→ plošná část ovalu jako 5° sklon

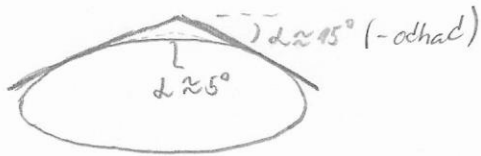


schéma:

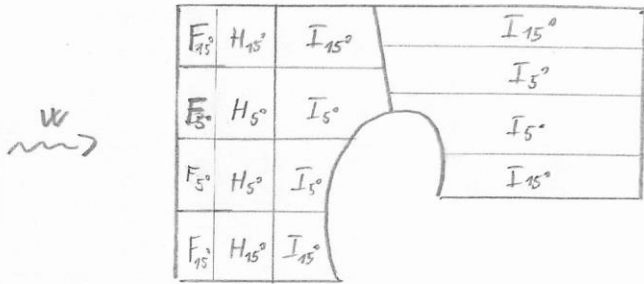
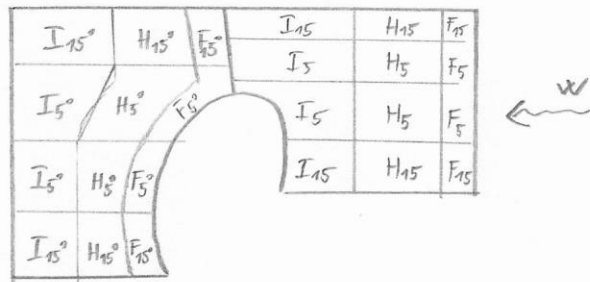


schéma:

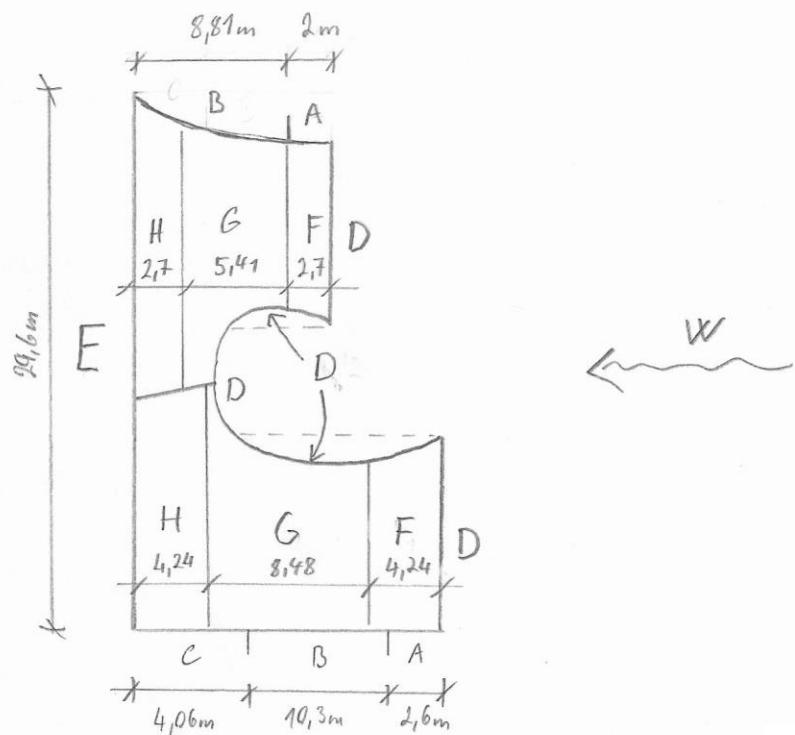
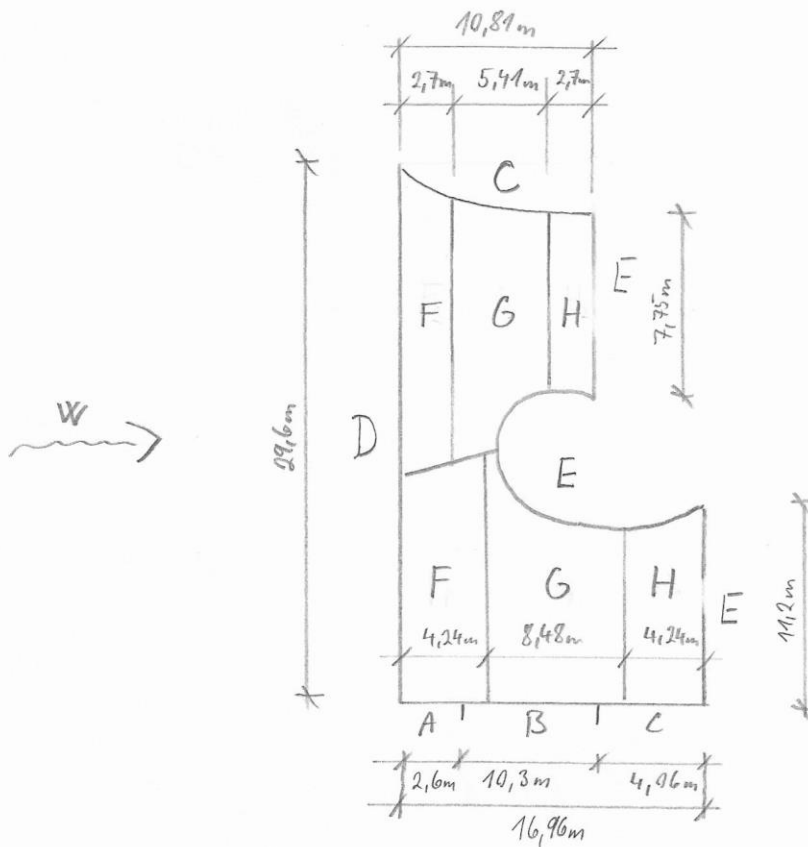


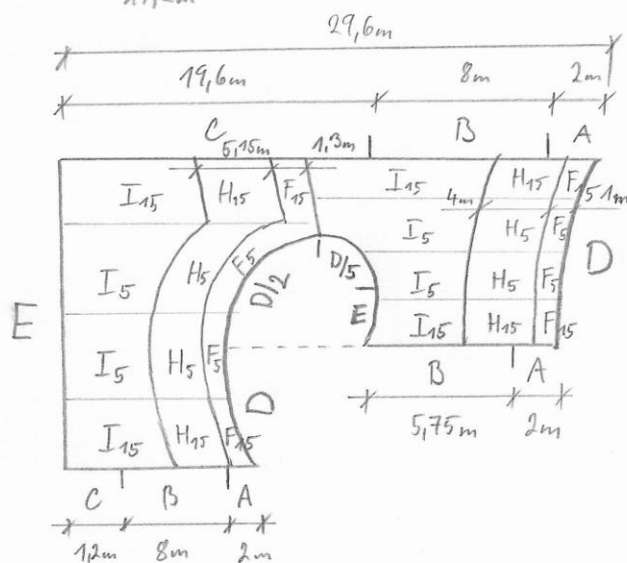
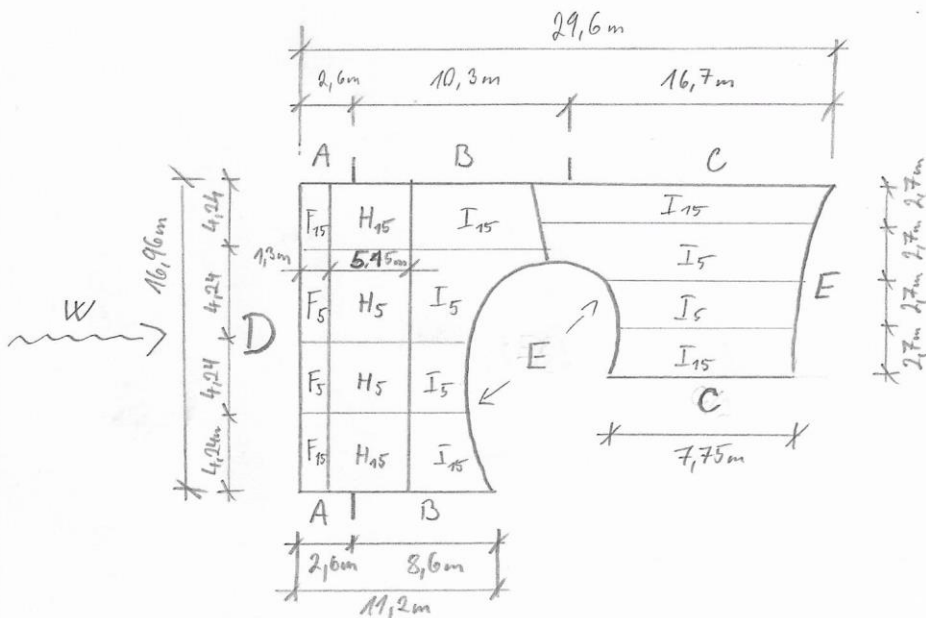
vítr podélný - střecha		
$\alpha = 5^\circ$	$C_{pe,10}$	W_e [kN/m ²]
F ₅	-1,6	-1,83
G ₅	-1,3	-1,50
H ₅	-0,7	-0,80
I ₅	-0,6	-0,69
$\alpha = 15^\circ$	$C_{pe,10}$	W_e [kN/m ²]
F ₁₅	-1,3	-1,50
G ₁₅	-1,3	-1,50
H ₁₅	-0,6	-0,69
I ₁₅	-0,5	-0,57

⊙ vztlak

- Výsledné působení zatížení větra na kei po porovnání spočtených ploch a odhadnuté "vykrajené" části s CFD analýzou proudění větra v SW RWIND od společnosti Dlubal.

1) PŘÍČNÝ VÍTR ↗





Výsledné hodnoty oblastí ↴

$$W_e = C_{pe,10} \cdot q_p$$

$$q_p = 1,14 \text{ kN/m}^2$$

⊖ VZTLAK

⊕ TLAK

VÍTR PŘÍČNÝ		VÍTR PODELNÝ		
	$C_{pe,10}$	$W_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$	$C_{pe,10}$	$W_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$
A	-1,2	-1,37	A	-1,37
B	-0,8	-0,92	B	-0,92
C	-0,5	-0,57	C	-0,57
D	+0,75	+0,86	D	+0,86
E	-0,5	-0,57	E	-0,57
F	-0,8	-0,92	F ₅	-1,83
G	-0,9	-1,03	F ₁₅	-1,50
H	-0,4	-0,46	H ₅	-0,80
D12	/	+0,43	H ₁₅	-0,70
			I ₅	-0,70
			I ₁₅	-0,57
			D12	+0,43
			D15	+0,17

- Zatížení teplotou ↴

- umístění stavby : Karuizawa, Japonsko

↳ dle statistiky meteorologických dat
na portálu www.yr.no

$T_{MIN} = -10^{\circ}C$ (leden) } hodnoty zaokrouhleny
 $T_{MAX} = +30^{\circ}C$ (srpen) } na celé desítky

• $T_{in} = +20^{\circ}C$ (v létě i zimě)

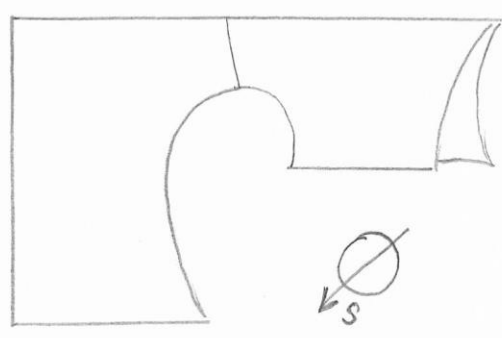
• porrch : pohledový beton (= světlý povrch)

• dle Tab. G.10 : $T_{out, LÉTO} = T_{MAX} + 30 = +60^{\circ}C$; ve stínu : $T_{out, stín} = T_{MAX} + 2 = 32^{\circ}C$

$T_{out, ZIMA} = T_{MIN} = -10^{\circ}C$

- tvar budovy oválný

- orientace :



- rozložení teploty ↴

LÉTO ↴

$T_{out} = +60^{\circ}C$

$T_{in} = +20^{\circ}C$

$T_{out} = +32^{\circ}C$

$T_{out} = +32^{\circ}C$

ZIMA ↴

$T_{out} = -10^{\circ}C$

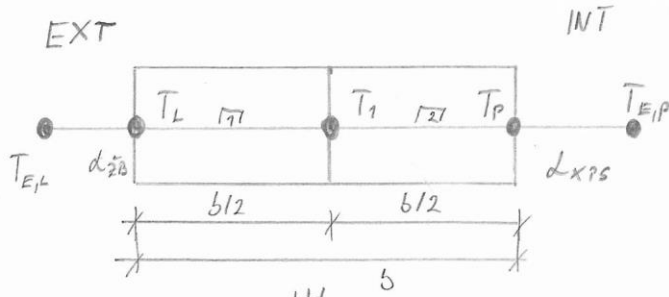
$T_{in} = +20^{\circ}C$

$T_{out} = -10^{\circ}C$

$T_{out} = -10^{\circ}C$

hranice stínu ↴

• Nestacionární průběh teploty po průřezu ↴



• $K \cdot T + C \frac{dT}{dt} = \frac{dH}{dt}$

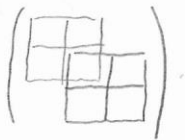
$K_1 = K_2 = \frac{\lambda_1}{l_1} \cdot \begin{bmatrix} +1 & -1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix}$ $\lambda = 1,74 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 $l = b/2$

$K_{d,1} = d_{zB} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$
 $K_{d,2} = d_{xPS} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ } $d = \text{koeficient přestupu tepla}$

$C_1 = C_2 = \rho \cdot c \cdot l \cdot \begin{bmatrix} 1/3 & 1/6 \\ 1/6 & 1/3 \end{bmatrix} \approx \rho \cdot c \cdot l \cdot \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix}$

$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$
 $c = 1020 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
 $l = b/2 \dots \text{délka prvku}$

$H = \begin{pmatrix} d_{zB} \cdot T_{E,L} + \frac{C}{2\Delta t} \cdot T_{i-1} + Q_{sl} \\ \frac{C}{\Delta t} \cdot T_{i-1} \\ d_{xPS} \cdot T_{E,P} + \frac{C}{2\Delta t} \cdot T_{i-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$



$\begin{bmatrix} d_{zB} + K + \frac{C}{2\Delta t} & -K & 0 \\ -K & 2K + \frac{C}{\Delta t} & -K \\ 0 & -K & d_{xPS} + K + \frac{C}{2\Delta t} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} T_L \\ T_1 \\ T_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$

• $\Delta t = \text{časový krok [s]}$

=> KOMPLETNÍ VÝPOČET VIZ EXCEL

- Výpočet neznámých \rightarrow Cramerovo pravidlo

$$A \cdot x = b$$

$$x_1 = \frac{\det A_1}{\det A} \dots A = \text{globální matice}$$

$$\begin{bmatrix} d_{z0} + k + \frac{c}{2\Delta t} & -k & \emptyset \\ -k & 2k + \frac{c}{\Delta t} & -k \\ \emptyset & -k & d_{xps} + k + \frac{c}{2\Delta t} \end{bmatrix}$$

$$x = \text{vektor neznámých teplot} = \begin{pmatrix} T_L \\ T_1 \\ T_P \end{pmatrix}$$

$$b = \text{vektor pravé strany} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

$$\det A = \begin{vmatrix} d_{z0} + k + \frac{c}{2\Delta t} & -k & \emptyset \\ -k & 2k + \frac{c}{\Delta t} & -k \\ \emptyset & -k & d_{xps} + k + \frac{c}{2\Delta t} \end{vmatrix}$$

$$\det A_1 = \begin{vmatrix} a_1 & -k & \emptyset \\ a_2 & 2k + \frac{c}{\Delta t} & -k \\ a_3 & -k & d_{xps} + k + \frac{c}{2\Delta t} \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow T_L = \frac{\det A_1}{\det A}$$

$$\det A_2 = \begin{vmatrix} d_{z0} + k + \frac{c}{2\Delta t} & a_1 & \emptyset \\ -k & a_2 & -k \\ \emptyset & a_3 & d_{xps} + k + \frac{c}{2\Delta t} \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow T_1 = \frac{\det A_2}{\det A}$$

$$\det A_3 = \begin{vmatrix} d_{z0} + k + \frac{c}{2\Delta t} & -k & a_1 \\ -k & 2k + \frac{c}{\Delta t} & a_2 \\ \emptyset & -k & a_3 \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow T_P = \frac{\det A_3}{\det A}$$

Výpočet tepelného zisku z oslanění ↴

- rovnocenná sluneční teplota

$$t_r = t_e + (\varepsilon \cdot I) / \alpha_e \quad [^\circ\text{C}]$$

↳ I = intenzita přímé a difúzí sluneční radiace $[\text{W}/\text{m}^2]$

↳ v létě: $I \approx 1000 \text{ W}/\text{m}^2$

↳ v zimě: $I \approx 600 \text{ W}/\text{m}^2$

↳ $\varepsilon = 0,7 \dots$ součinitel pohltivosti $[-]$

↳ α_e = součinitel přestupu tepla $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$

↳ t_e = venkovní teplota $[\text{C}]$

- zisk z oslanění

$$\underline{Q_{sl.} = U \cdot S \cdot (t_r - t_i)} \quad [\text{W}]$$

↳ $S = 1 \text{ m}^2 \dots$ plocha

↳ $U = \frac{\lambda}{d} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \dots$ $\lambda = 1,74 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K} \dots$ součinitel tep. vodivosti žb
 $d = \text{tloušťka průřezu} \quad [\text{m}]$

↳ $t_i \dots$ teplota interiéru $[\text{C}]$

- vektor pravé strany: $\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$

$$a_1 = \alpha_{\text{žb}} \cdot T_{E,L} + \frac{\rho \cdot c \cdot l}{2 \Delta t} \cdot T_{i-1} + Q_{sl.}$$

$$a_2 = \frac{\rho \cdot c \cdot l}{\Delta t} \cdot T_{i-1}$$

$$a_3 = \alpha_{\text{XPS}} \cdot T_{E,P} + \frac{\rho \cdot c \cdot l}{2 \Delta t} \cdot T_{i-1}$$

- okraj. podmínky: $T_{E,P} \dots$ vnitřní teplota vzduchu
 $T_{E,L} \dots$ vnější teplota vzduchu

- počáteční podmínky: $T_{i-1} \dots$ teplota v uzlech průřezu na začátku výpočtu
↳ stanovení viz EXCEL

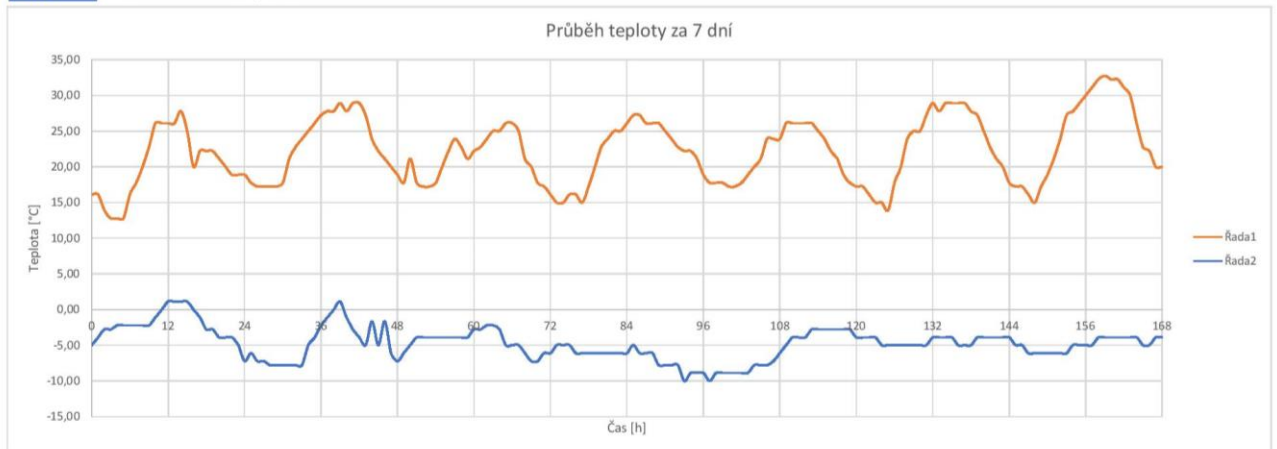
Zatížení seismicitou ↓

- zrychlení půdy v dané lokalitě: $a_{gr} = 4 \text{ m/s}^2 \approx 0,5g$
- typ půdy: ANDOSOL - typ D
- třída významu - II $\Rightarrow \gamma_1 = 1,0$
- výpočet pomocí SW SCIA Engineer + ověření pomocí metody přev. sil

Příloha 2 - Nestacionární průběh teploty

1) Průběh venkovních teplot za 7 dní

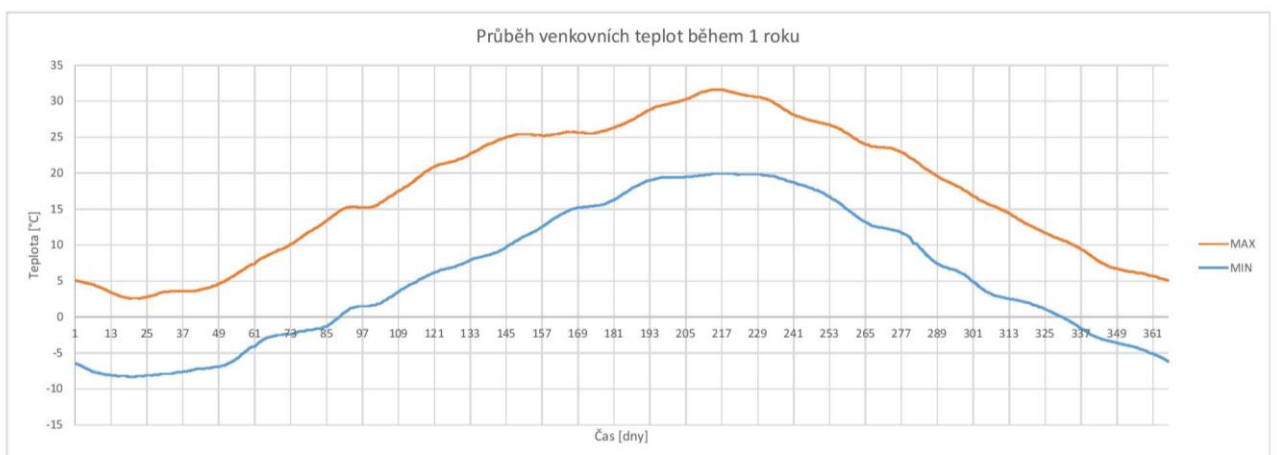
Teplota během dne		
LÉTO	max	32,8 °C
ZIMA	min	-10,0 °C



2) Průběh venkovních teplot během 1 roku

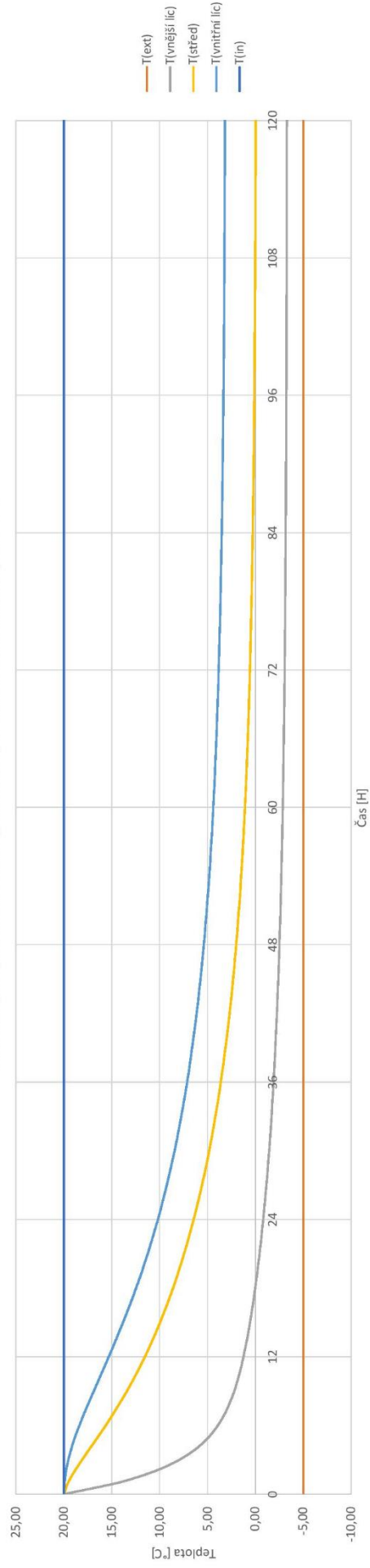
Oslunění	Měsíc	dnů	svit v h	h/den	I(slunce)	
Leden	1	31	210	6,77	600	
Únor	2	29	180	6,21	600	
Březen	3	31	190	6,13	700	
Duben	4	30	210	7,00	700	
Květen	5	31	190	6,13	800	
Červen	6	30	145	4,83	900	
Červenec	7	31	165	5,32	1000	
Srpen	8	31	190	6,13	1000	
Září	9	30	140	4,67	900	
Říjen	10	31	160	5,16	800	
Listopad	11	30	180	6,00	700	
Prosinec	12	31	200	6,45	600	
		Σ	366	2160	5,90	W/m2

(průměr)

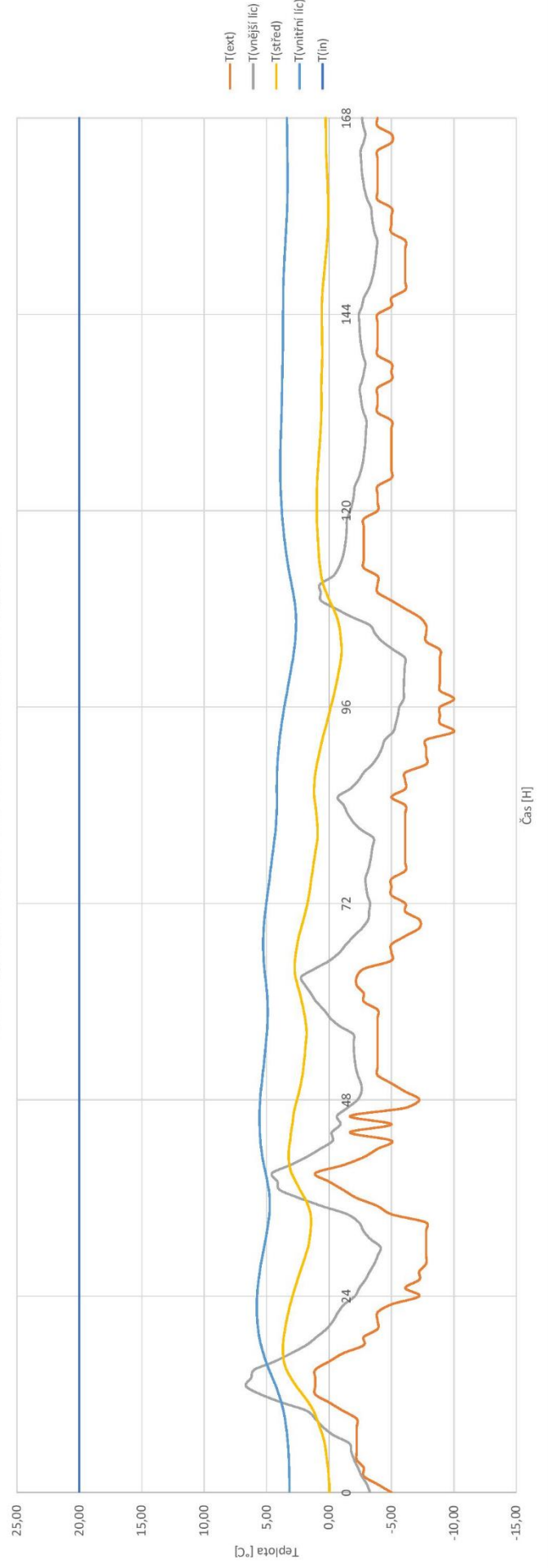


Výsledné grafy průběhu teploty po průřezu tl. 330mm - nejtenčí část (vrchol) oválu

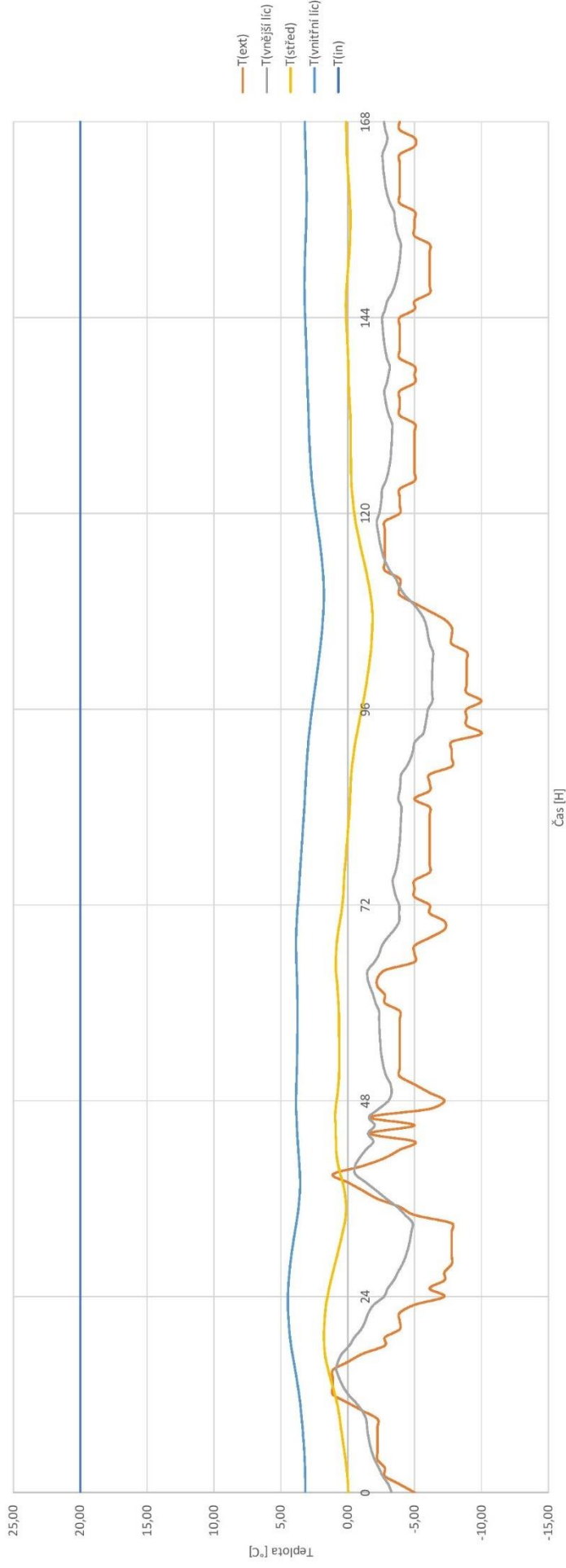
Průběh teplot průřezu tl. 330mm po vrstvách při venkovní konstantní teplotě -5°C



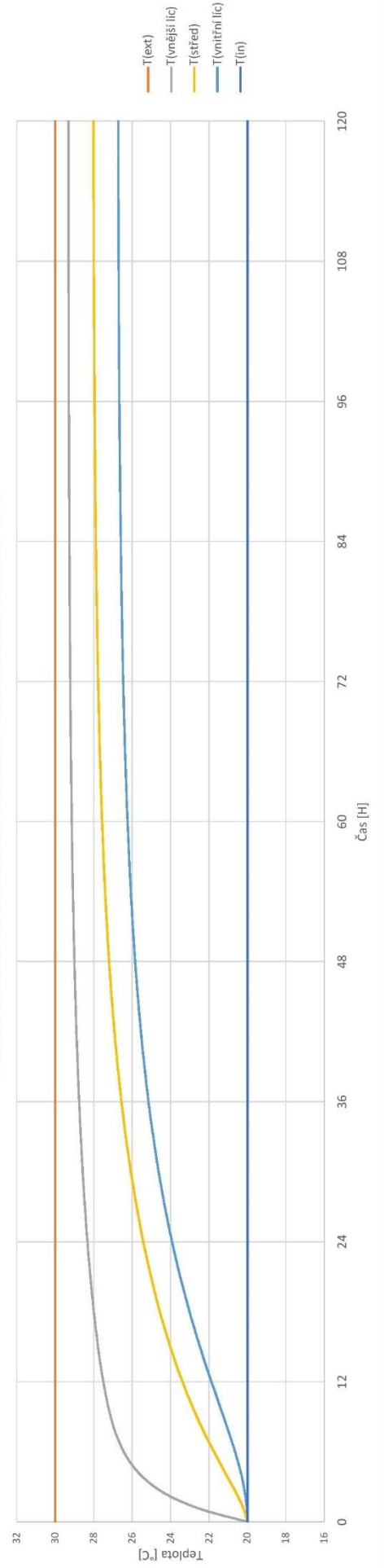
Průběh teplot po vrstvách v zimě s vlivem oslunění při tl. průřezu 330 mm



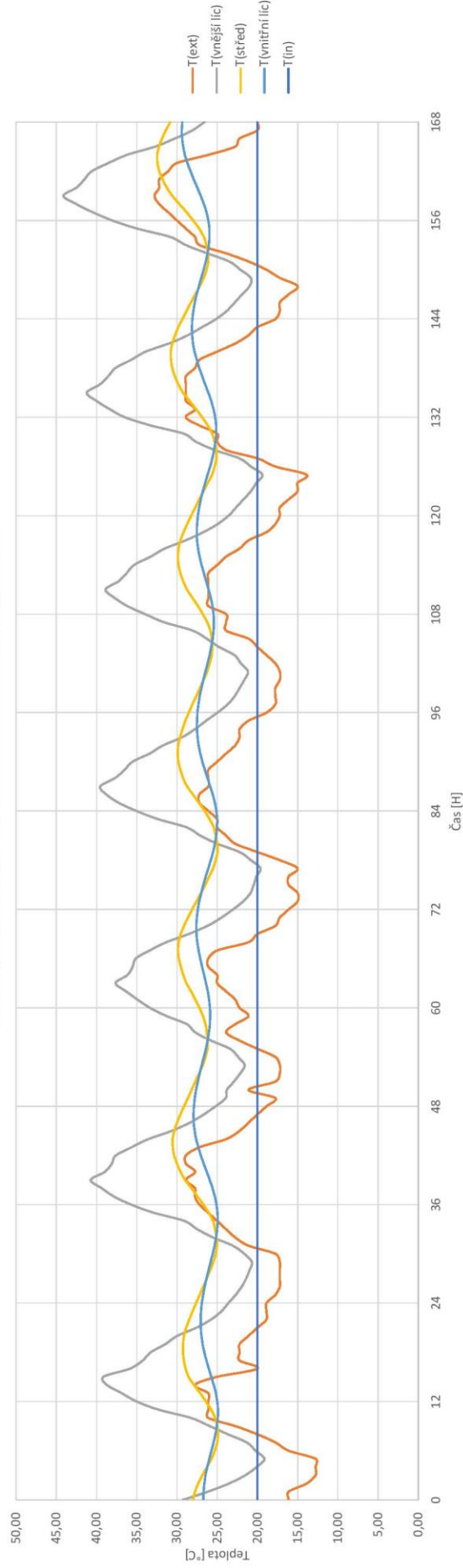
Průběh teplot po vrstvách v zimě bez vlivu oslunění při tl. průřezu 330mm



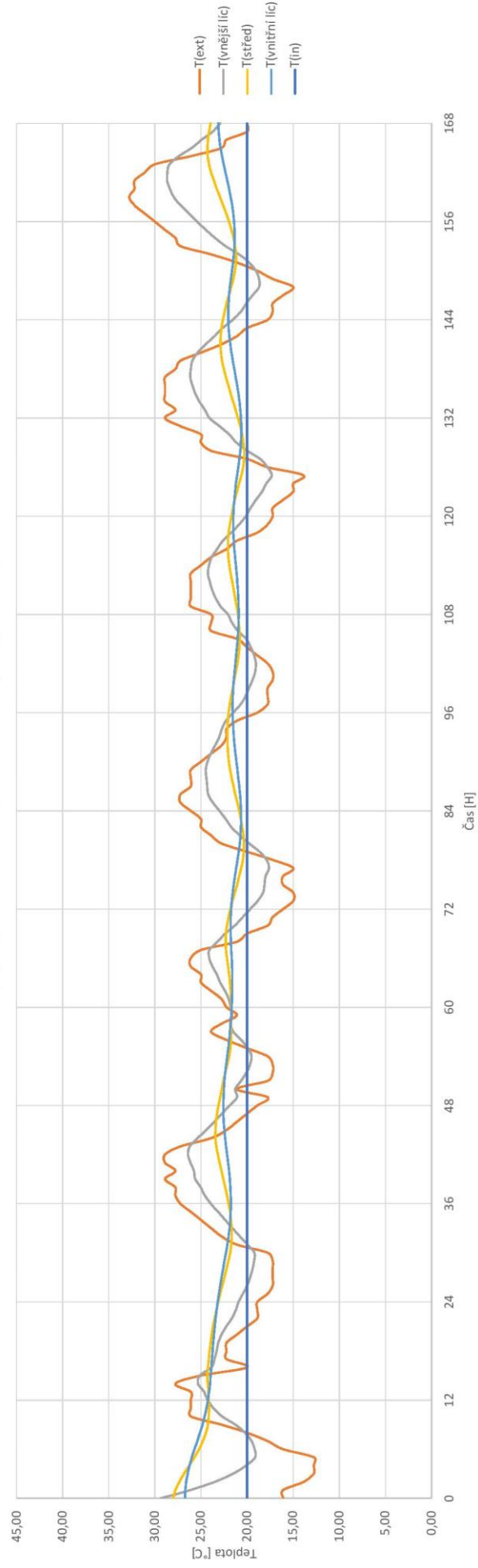
Průběh teplot průřezu tl. 330mm po vrstvách při venkovní konstantní teplotě +30°C



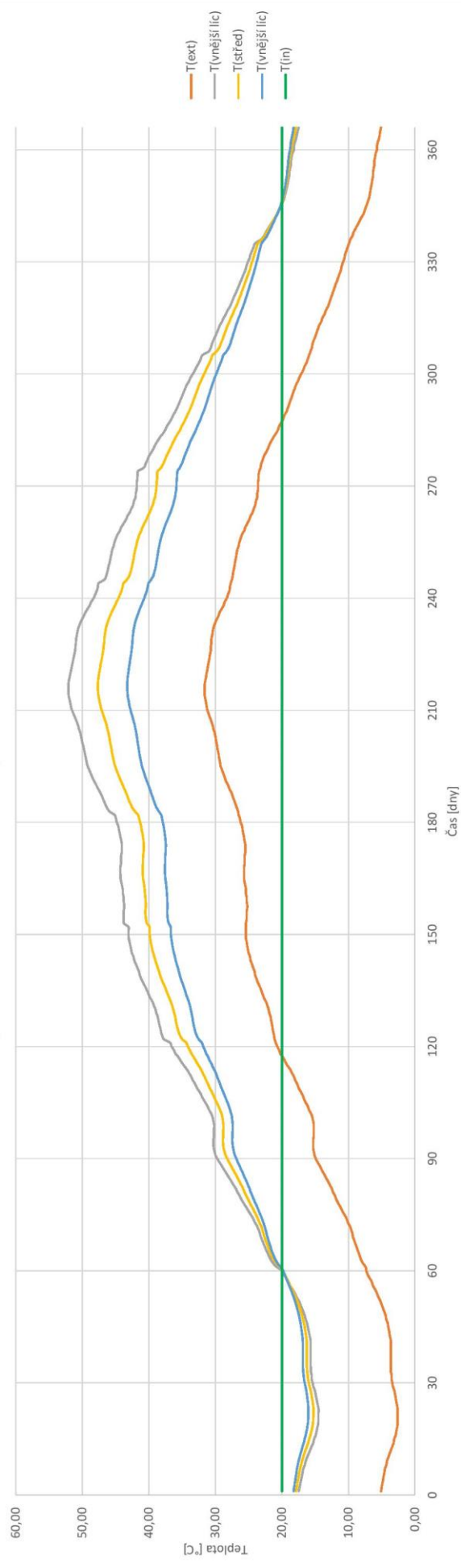
Průběh teplot po vrstvách v létě s vlivem oslunění při tl. průřezu 330mm



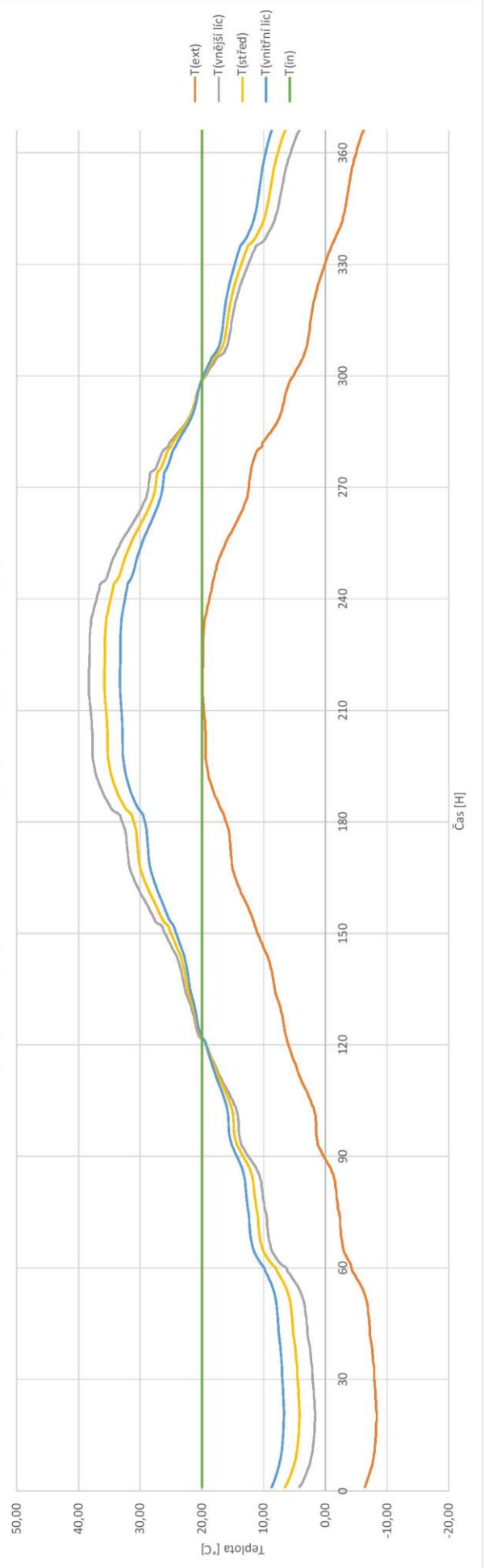
Průběh teplot po vrstvách v létě bez vlivu oslunění při tl. průřezu 330mm



Průběh teplot po vrstvách při maximálních denních teplotách v průběhu 1 roku při průřezu tl. 330mm

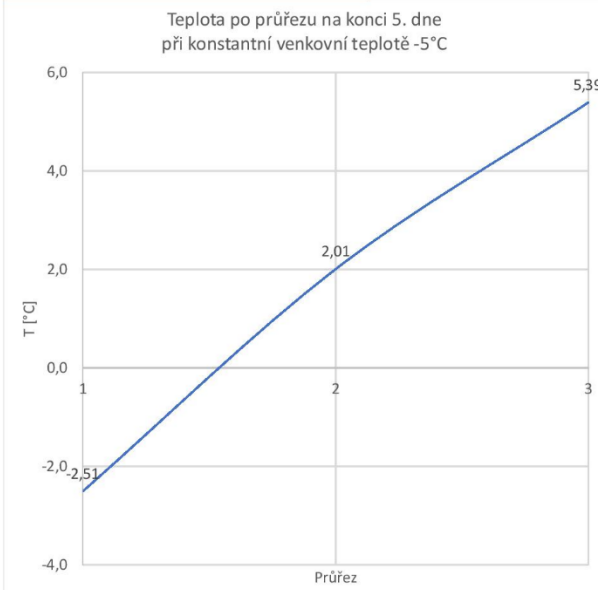


Průběh teplot po vrstvách při minimálních denních teplotách v průběhu 1 roku při průřezu tl. 330mm

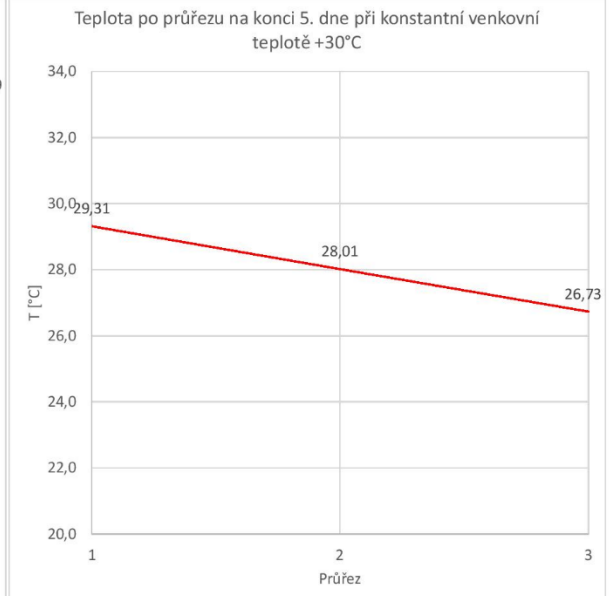


Výsledné gradienty průběhu teploty po průřezu tl. 330mm - nejtenčí část (vrchol) oválu

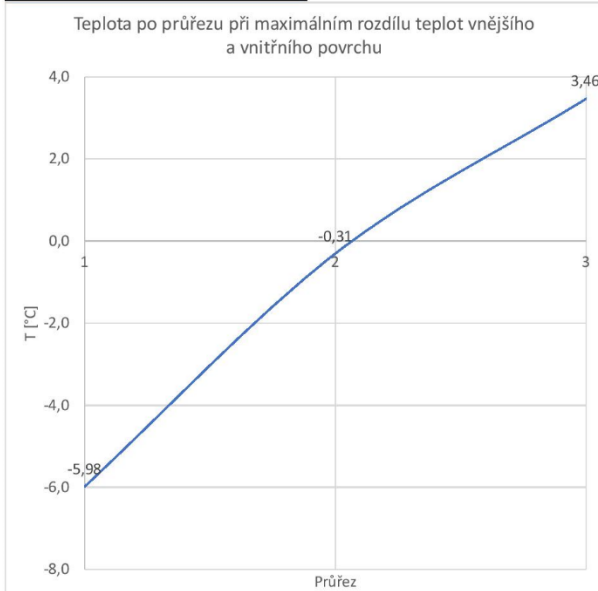
A) Venkovní konstantní teplota -5°C



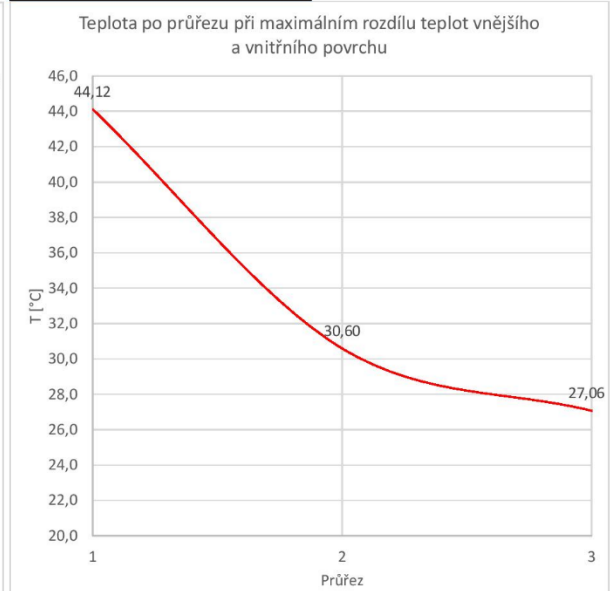
D) Venkovní konstantní teplota +30°C



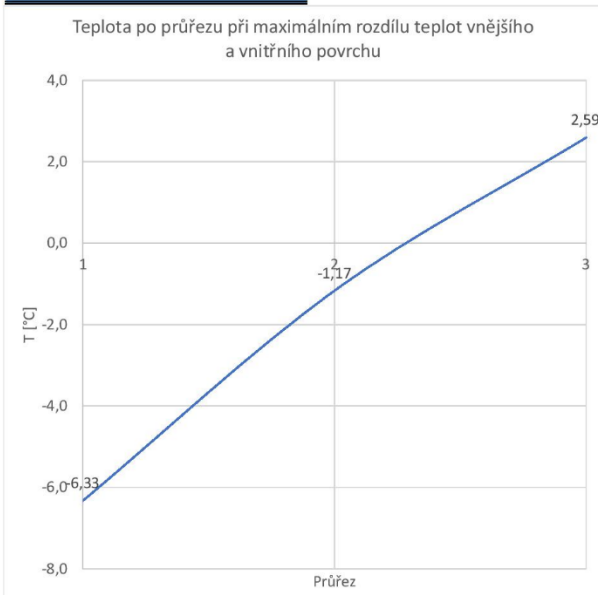
B) V zimě s vlivem oslunění



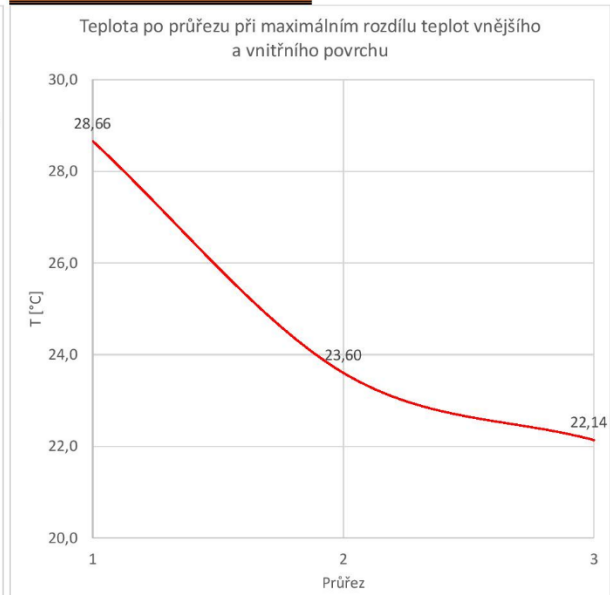
E) V létě s vlivem oslunění



C) V zimě bez vlivu oslunění

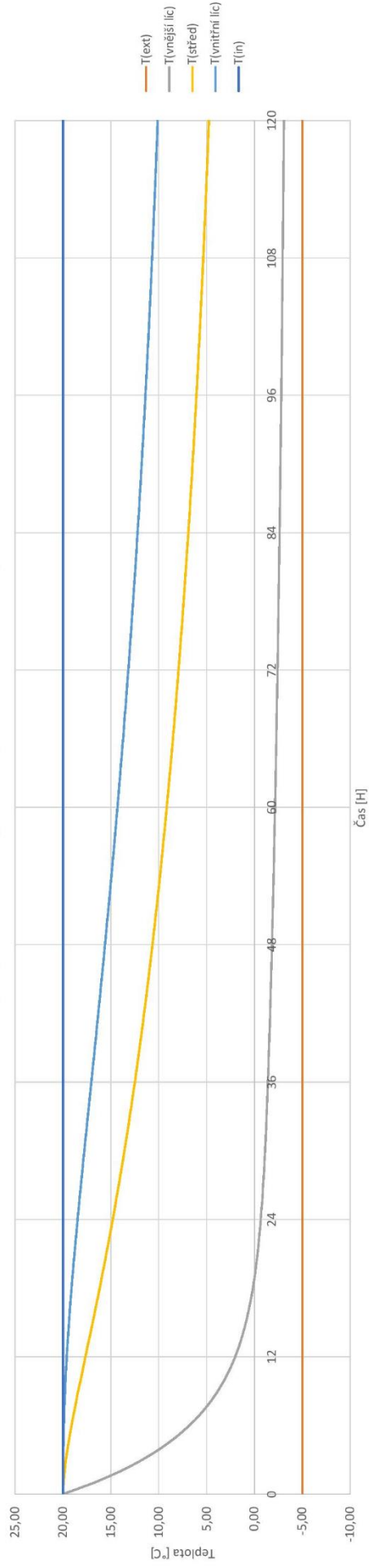


F) V létě bez vlivu oslunění

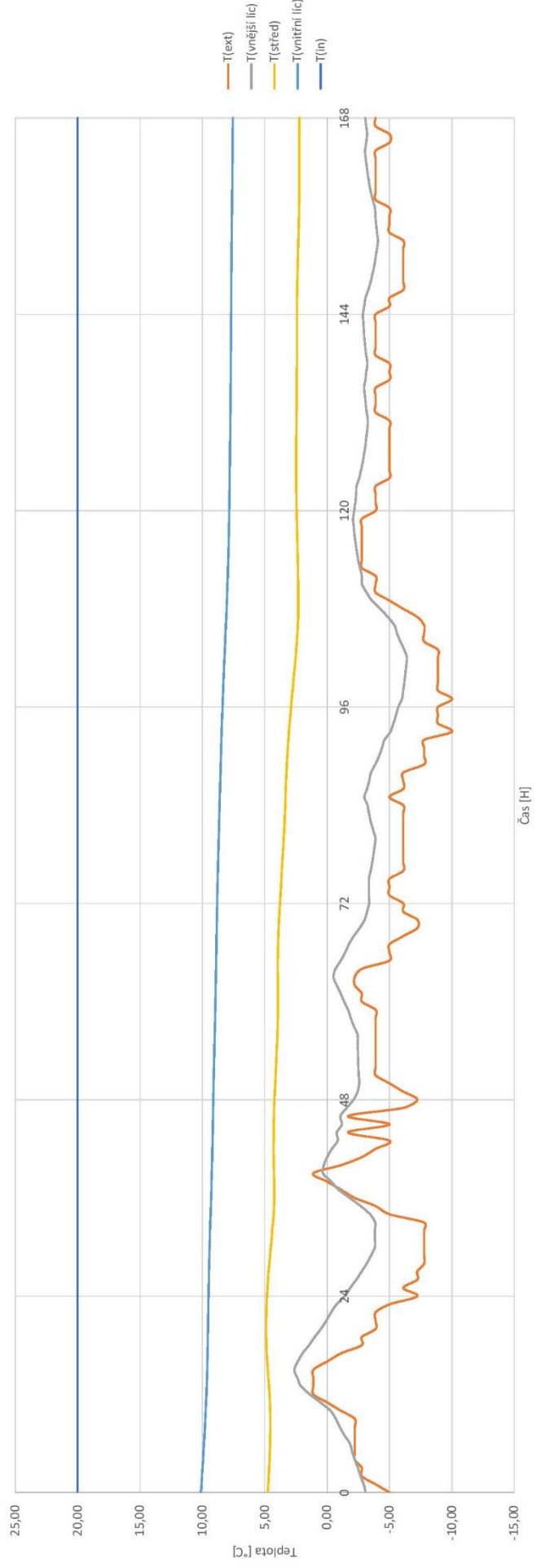


Výsledné grafy průběhu teploty po průřezu tl. 730mm - nejsilnější část (kraj) oválu

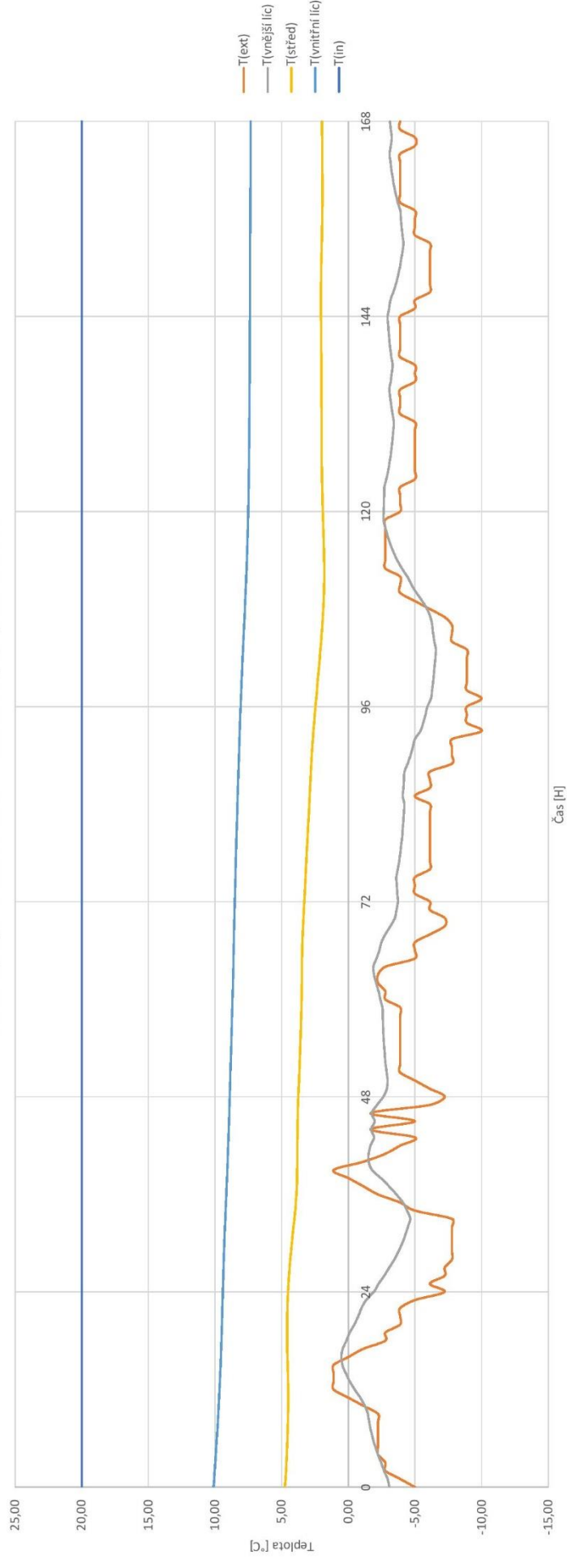
Průběh teplot průřezu tl. 730mm po vrstvách při venkovní konstantní teplotě -5°C



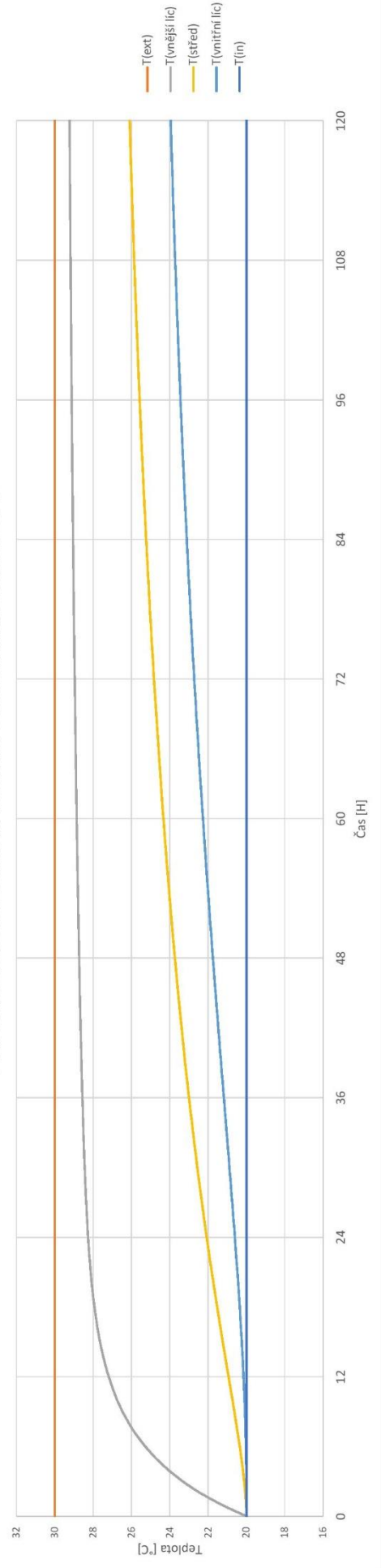
Průběh teplot po vrstvách v zimě s vlivem oslunění při tl. průřezu 730 mm



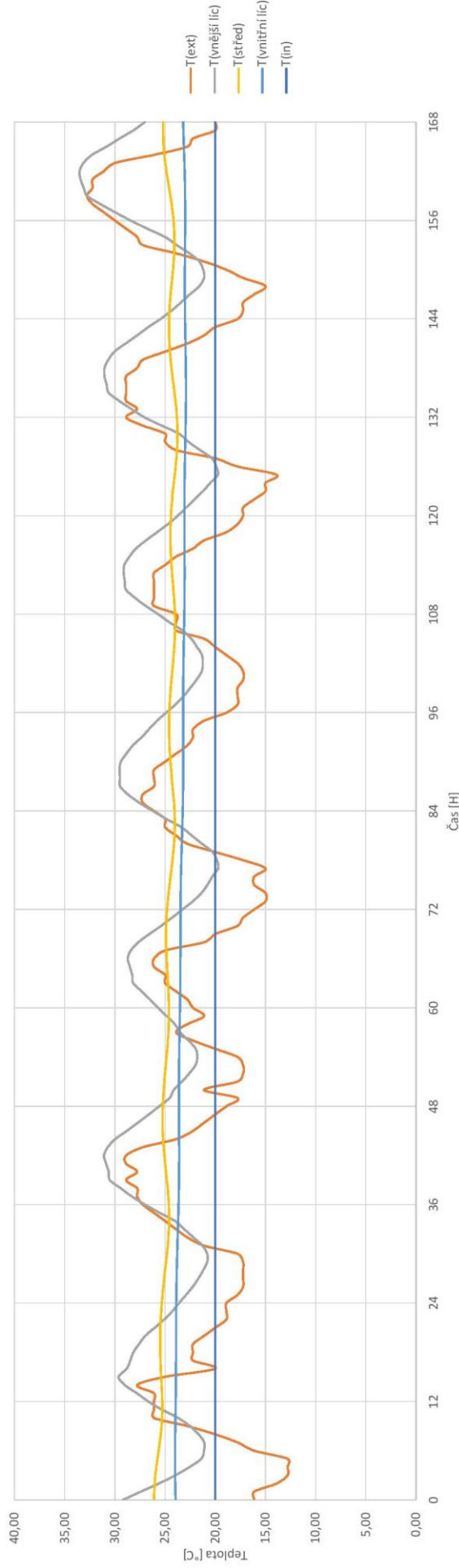
Průběh teplot po vrstvách v zimě bez vlivu oslunění při tl. průřezu 730mm



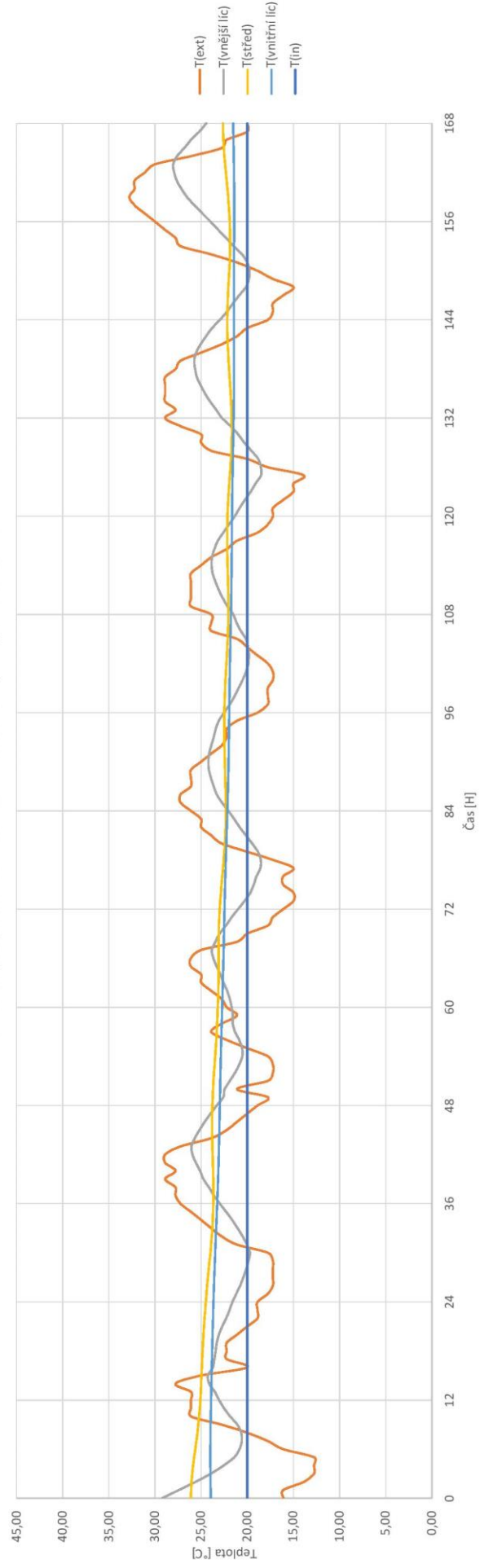
Průběh teplot průřezu tl. 730mm po vrstvách při venkovní konstantní teplotě +30°C



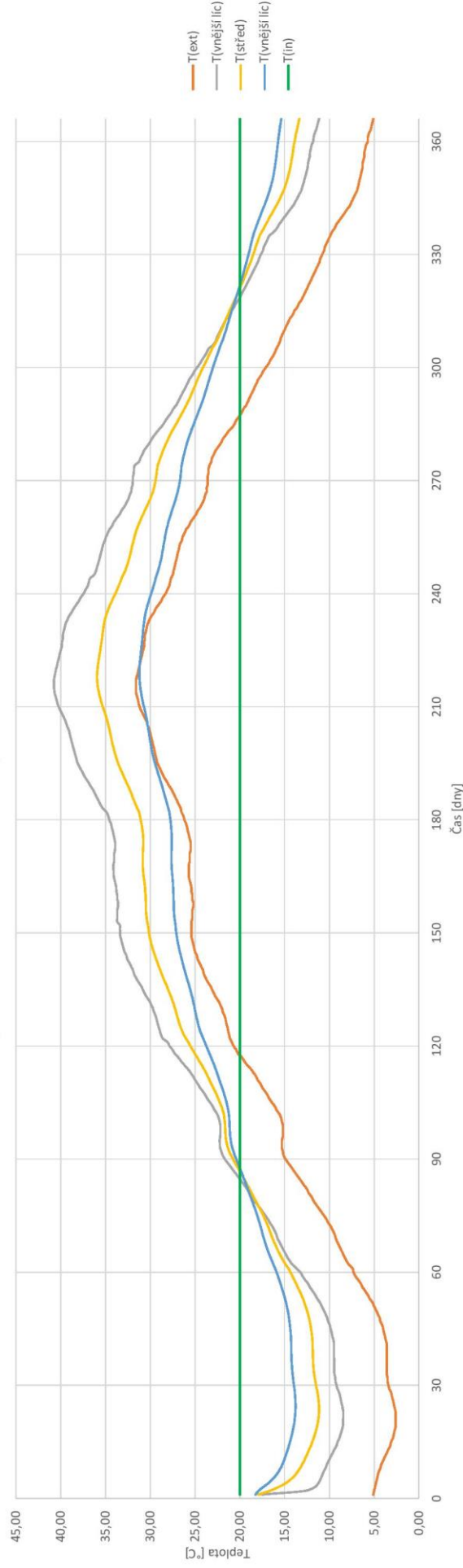
Průběh teplot po vrstvách v létě s vlivem oslunění při tl. průřezu 730mm



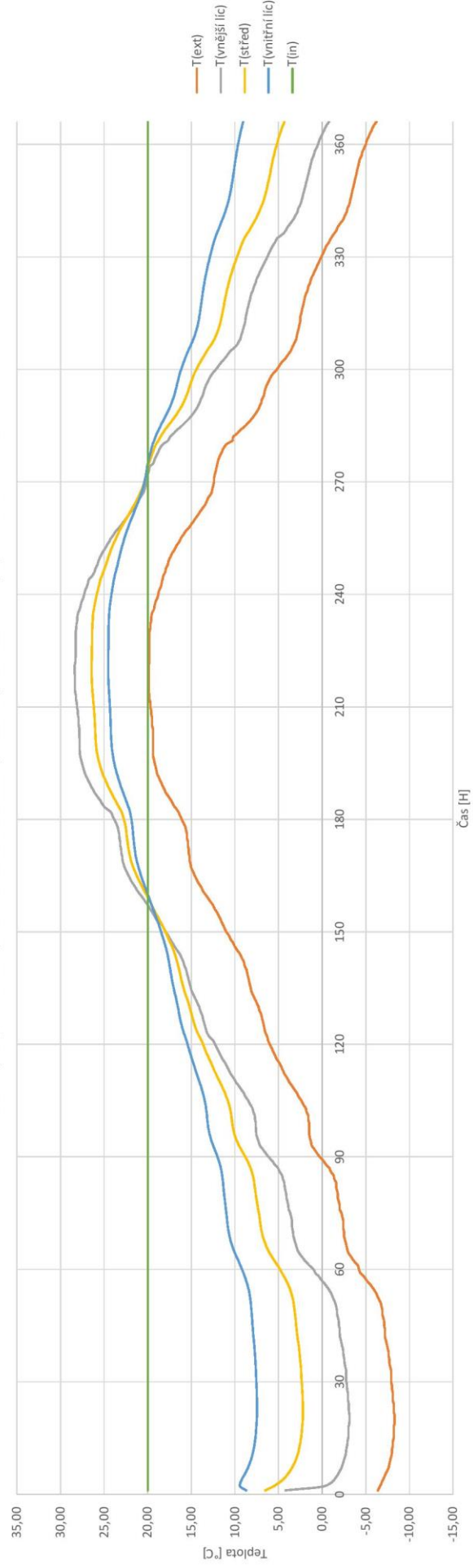
Průběh teplot po vrstvách v létě bez vlivu oslunění při tl. průřezu 730mm



Průběh teplot po vrstvách při maximálních denních teplotách v průběhu 1 roku při průřezu tl. 730mm

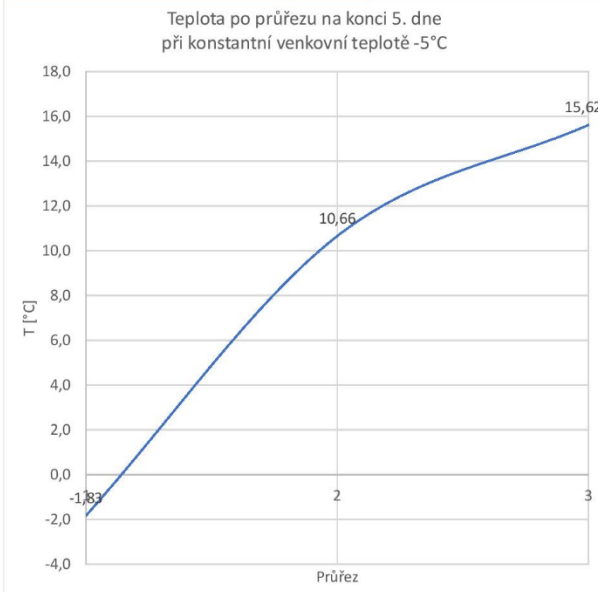


Průběh teplot po vrstvách při minimálních denních teplotách v průběhu 1 roku při průřezu tl. 730mm

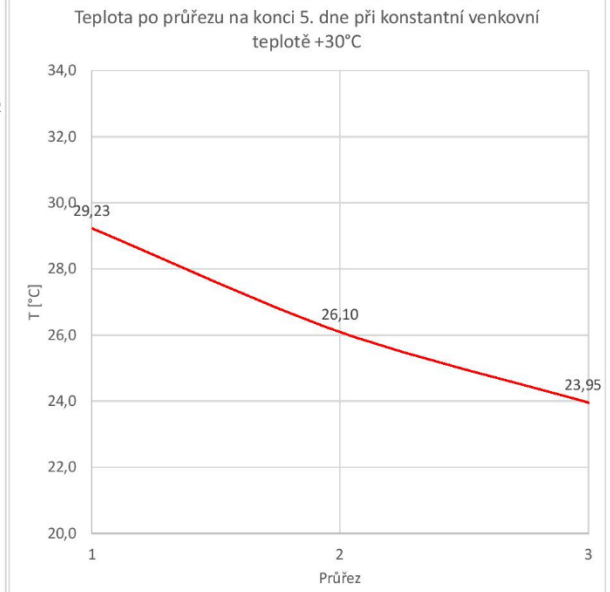


Výsledné gradienty průběhu teploty po průřezu tl. 730mm - nejsilnější část (kraj) oválu

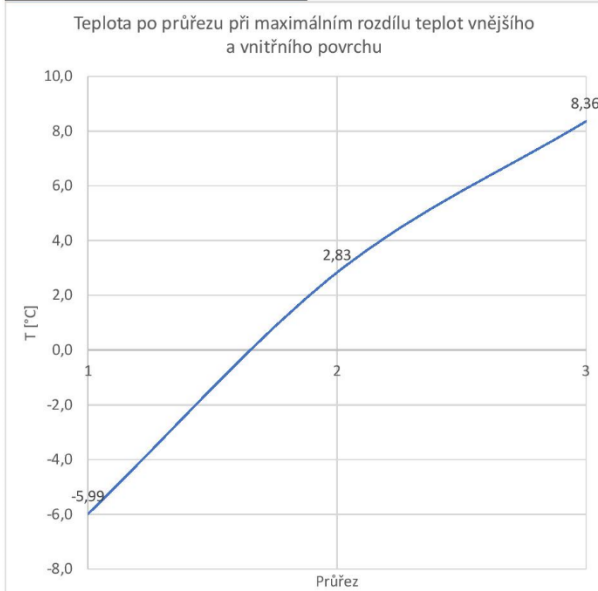
A) Venkovní konstantní teplota -5°C



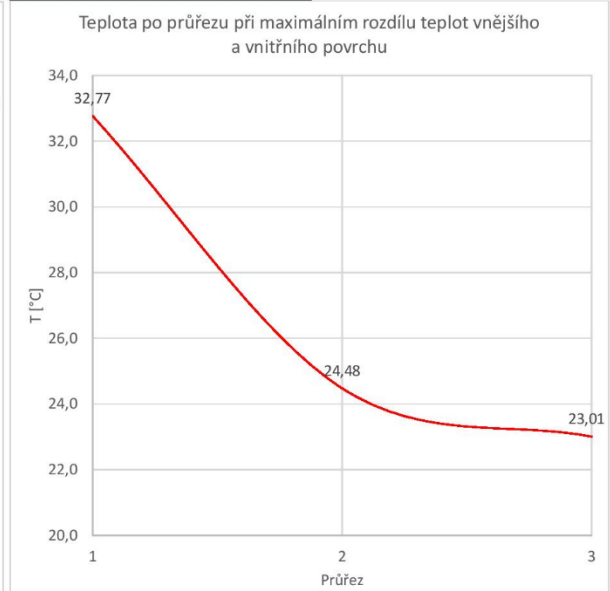
D) Venkovní konstantní teplota +30°C



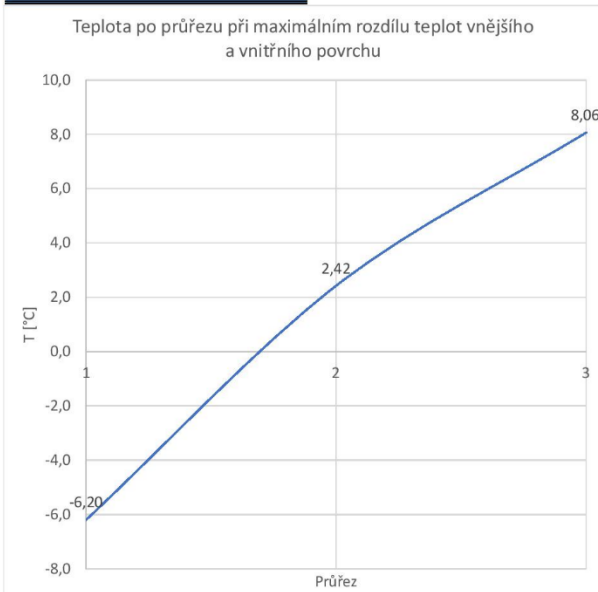
B) V zimě s vlivem oslunění



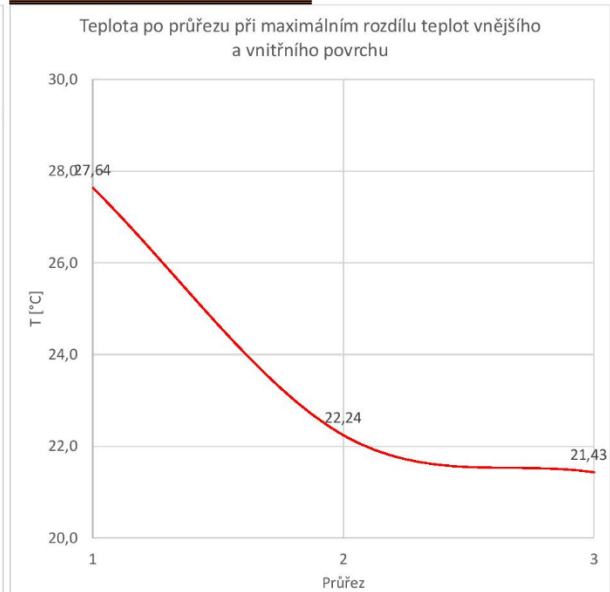
E) V létě s vlivem oslunění



C) V zimě bez vlivu oslunění



F) V létě bez vlivu oslunění



Výsledný gradient teploty působící na konstrukci

Materiál	ŽB	C30/37	
λ	1,74	W/m*K	
c	1020	J/kg*K	
ρ	2500	kg/m ³	

PRŮŘEZ 1 - MIN TL.			PRŮŘEZ 2 - MAX TL.			PRŮŘEZ 3 - Stojiny základů		
h	0,33	m	h	0,73	m	h	0,65	m
α	0,000012	1/K	α	0,000012	1/K	α	0,000012	1/K
E	32000	MPa	E	32000	MPa	E	32000	MPa
I	0,002995	m ⁴	I	0,032418	m ⁴	I	0,022885	m ⁴
EI	95832	kNm ²	EI	1037379	kNm ²	EI	732333,3	kNm ²

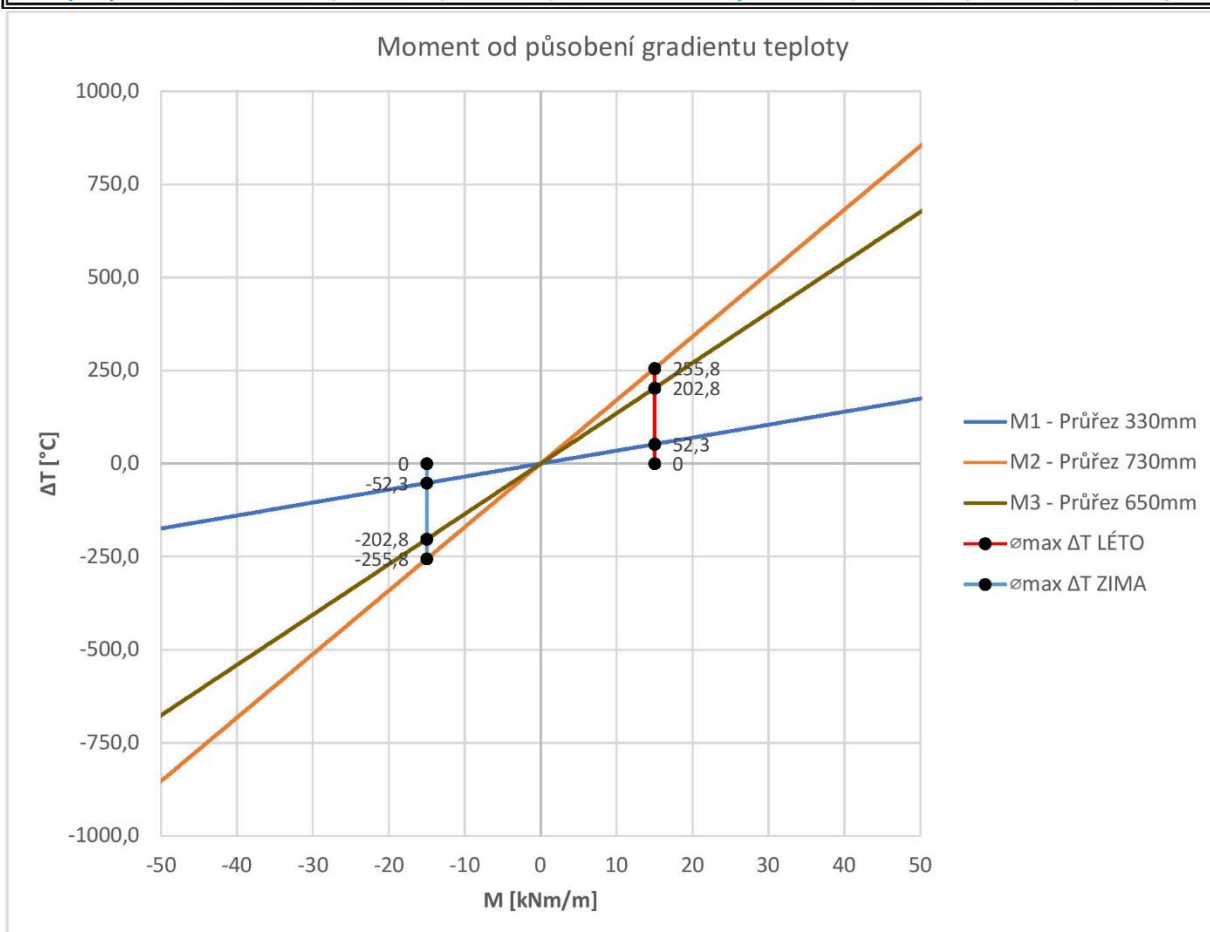
Max. gradient teploty z roční bilance

	Průřez 1	Průřez 2	Průřez 3		M1	M2	M3	
$\Delta T(\text{MAX})$	7,0	7,0	7,0 °C	=>	24,4	119,4	94,6	kNm/m
$\Delta T(\text{MIN})$	6,0	11,0	10,0 °C		20,9	187,6	135,2	kNm/m

Max. gradient teploty z týdenní bilance

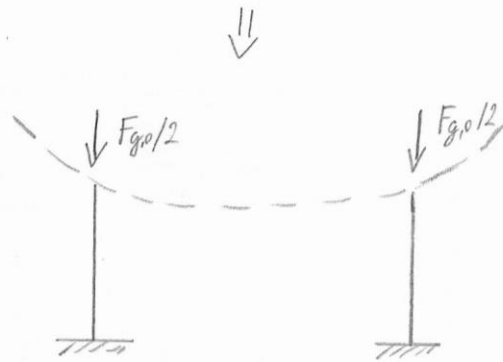
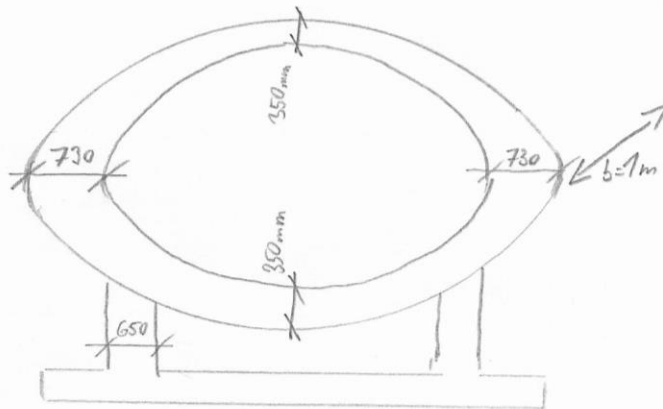
	Průřez 1	Průřez 2	Průřez 3		M1	M2	M3	
$\Delta T(\text{LÉTO})$	18,0	11,0	x °C	=>	62,7	187,6	x	kNm/m
ve stínu $\Delta T(\text{LÉTO})$	7,0	7,0	7,0 °C		24,4	119,4	94,6	kNm/m
$\Delta T(\text{ZIMA})$	10,0	15,0	x °C	=>	34,8	255,8	x	kNm/m
ve stínu $\Delta T(\text{ZIMA})$	9,0	15,0	14,0 °C		31,4	255,8	189,3	kNm/m

LÉTO	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	15,0	15,0	15,0 °C	=>	52,3	255,8	202,8	kNm/m
LÉTO (stín)	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	7,0	7,0	7,0 °C	=>	24,4	136,4	108,2	kNm/m
ZIMA	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	-15,0	-15,0	-15,0 °C	=>	-52,3	-255,8	-202,8	kNm/m
ZIMA (stín)	$\varnothing_{\text{max}} \Delta T$	-15,0	-15,0	-15,0 °C	=>	-52,3	-255,8	-202,8	kNm/m



Příloha 3 - Kontrola výpočtů ze SCIA Engineer

- Působení vl. tíhy - ověření normálových sil



$$S_{\text{ováč}} = 10,351 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{podpora}} = 0,9755 \text{ m}^2$$

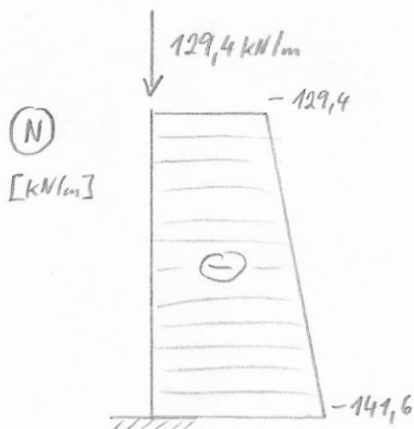
$$b = 1 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{žb}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

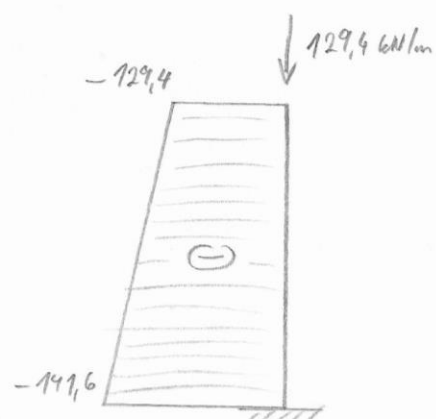
$$F_{g,0} = b \cdot S_{\text{ováč}} \cdot \rho_{\text{žb}} = 1 \cdot 10,351 \cdot 25 = \underline{258,8 \text{ kN/m}}$$

$$F_{g,\text{podp.}} = b \cdot S_{\text{podpora}} \cdot \rho_{\text{žb}} = 1 \cdot 0,9755 \cdot 25 = \underline{24,4 \text{ kN/m}}$$

Levá podpora ↴



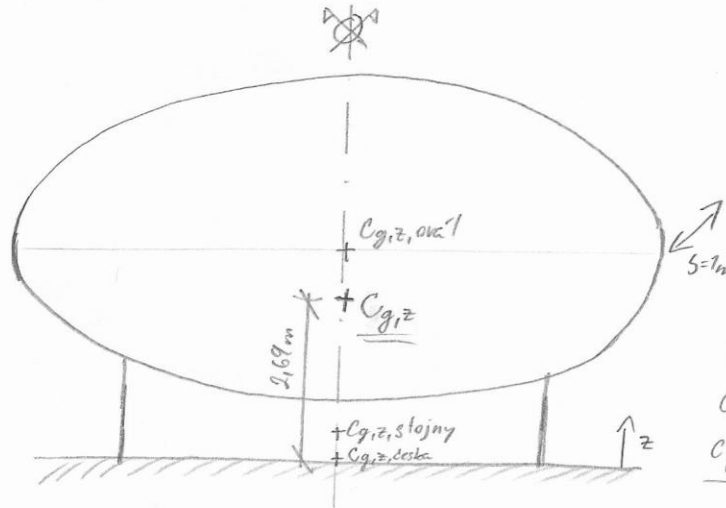
Pravá podpora ↴



Metoda příčných sil z

- typ podlaží - D

- zrychlení - $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2 \approx 0,5g$



$$A_{\text{celk}} = 14,63 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{avál}} = 10,35 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{stojny}} = 1,76 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{deska}} = 2,52 \text{ m}^2$$

$$c_{g,z,\text{deska}} = 0,15 \text{ m}$$

$$c_{g,z,\text{stojny}} = 0,98 \text{ m}$$

$$c_{g,z,\text{avál}} = 3,60 \text{ m}$$

$$c_{g,z} = \frac{\sum A_i \cdot c_{g,i}}{A_{\text{celk}}} = 2,69 \text{ m}$$

SCIA modální analýza: $T_1 = 0,13 \text{ s}$

Spektrum TYP 2, podlaží D: $S = 1,8$

$$T_B = 0,1 \text{ s}$$

$$T_C = 0,3 \text{ s}$$

$$T_D = 1,2 \text{ s}$$

podm.:

$$1) T_1 \leq \begin{cases} 4T_C = 1,2 \text{ s} \\ 2,0 \text{ s} \end{cases}$$

$$T_1 = 0,13 \text{ s} \leq \{1,2 \text{ s}; 2,0 \text{ s}\} \quad \checkmark \text{ OK}$$

Smyk. síla v základu z

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

$$\hookrightarrow m = A_{\text{celk}} \cdot \rho_{\text{železo}} = 14,63 \cdot 1 \cdot 2500 = \underline{36,575 \text{ t}}$$

$$\hookrightarrow T_1 = 0,13 \text{ s} \leq 2T_C = 0,6 \text{ s} \Rightarrow \lambda = 0,85$$

$$\hookrightarrow S_d(T_1) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 4,905 \cdot 1,8 \cdot \frac{2,5}{2,0} = \underline{11,025}$$

$$\cdot a_g = 0,5g = 4,9 \text{ m/s}^2$$

$$\cdot q = 2,0$$

$$\cdot F_b = 11,025 \cdot 36,575 \cdot 0,85 = \underline{403,65 \text{ kN/m}}$$

Příloha 4 - MSÚ – Návrh výztuže

Výpočet únosnosti výztuže

TI. desky	330 mm		
Beton	C30/37		
Krytí:	30 mm		
Výztuž:	B500B		
f(ck)	30 MPa	E _{cm}	32 GPa
f(cd)	20,00 MPa	Es	200 GPa
f(ctm)	2,9 MPa	f(ctk,0,05)	2 MPa
f(yk)	500 MPa	f(ctd)	1,5 MPa
f(yd)	434,78 MPa	f _{bd}	3,33 MPa
e(cu)	0,0035	f _{bd}	2,33 MPa
e(yd)	0,00217		

Délka kotvení a přesahů

ø	A(s,1)	l _b	l ₀	l _b	l ₀
mm	mm ²	mm	mm	mm	mm
6	28,27	200	300	280	420
8	50,27	270	405	380	570
10	78,54	330	495	470	705
12	113,10	400	600	560	840
14	153,94	460	690	660	990
16	201,06	530	795	750	1125
18	254,47	590	885	840	1260
20	314,16	660	990	940	1410
22	380,13	720	1080	1030	1545
25	490,87	820	1230	1170	1755
28	615,75	920	1380	1310	1965
32	804,25	1050	1575	1500	2250

Základní síť: ø14/100 ve směru x a y

ø	14	/	100	mm
---	----	---	-----	----

A(s1)	ks/1m	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd	s	s(max)	s(min)	s
mm ²	ks	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m	mm	mm	mm	
X: 153,94	10	293	41,83	276,3	0,1	OK	2,1	OK	380,9	13200	1539,38	OK	184,90	86	300	29	OK
Y: 153,94	10	279	41,83	262,3	0,1	OK	2,0	OK	362,7	13200	1539,38	OK	175,53	86	300	29	OK

Návrh přílozek k základní síti

Příložka	ø	/	100	mm
Výsl. síť	ø	10	/	33,8

A(s1)	ks/1m	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd	s	s(max)	s(min)	s
mm ²	ks	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m	mm	mm	mm	
X: 78,54	29,6	295	63,17	269,7	0,2	OK	1,3	OK	383,5	13200	2324,78	OK	272,64	38	300	29	OK
Y: 78,54	29,6	285	63,17	259,7	0,2	OK	1,2	OK	370,5	13200	2324,78	OK	262,53	38	300	29	OK

Příložka	ø	/	100	mm
Výsl. síť	ø <td>12</td> <td>/</td> <td>42,4</td>	12	/	42,4

A(s1)	ks/1m	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd	s	s(max)	s(min)	s
mm ²	ks	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m	mm	mm	mm	
X: 113,10	23,6111	294	72,56	265,0	0,2	OK	1,1	OK	382,2	13200	2670,35	OK	307,64	37	300	29	OK
Y: 113,10	23,6111	282	72,56	253,0	0,2	OK	1,0	OK	366,6	13200	2670,35	OK	293,71	37	300	29	OK

Příložka	ø	/	100	mm
Výsl. síť	ø <td>14</td> <td>/ <td>50,0</td> </td>	14	/ <td>50,0</td>	50,0

A(s1)	ks/1m	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd	s	s(max)	s(min)	s
mm ²	ks	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m	mm	mm	mm	
X: 153,94	20	293	83,66	259,5	0,3	OK	0,9	OK	380,9	13200	3078,76	OK	347,41	36	300	29	OK
Y: 153,94	20	279	83,66	245,5	0,3	OK	0,8	OK	362,7	13200	3078,76	OK	328,67	36	300	29	OK

Příložka	ø	/	100	mm
Výsl. síť	ø <td>16</td> <td>/ <td>56,6</td> </td>	16	/ <td>56,6</td>	56,6

A(s1)	ks/1m	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd	s	s(max)	s(min)	s
mm ²	ks	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m	mm	mm	mm	
X: 201,06	17,6563	292	96,47	253,4	0,3	OK	0,7	OK	379,6	13200	3550,00	OK	391,14	35	300	29	OK
Y: 201,06	17,6563	276	96,47	237,4	0,3	OK	0,7	OK	358,8	13200	3550,00	OK	366,44	35	300	29	OK

Příložka	ø	/	100	mm
Výsl. síť	ø <td>20</td> <td>/ <td>67,1</td> </td>	20	/ <td>67,1</td>	67,1

A(s1)	ks/1m	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd	s	s(max)	s(min)	s
mm ²	ks	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m	mm	mm	mm	
X: 314,16	14,9	290	127,20	239,1	0,4	OK	0,4	OK	377	13200	4680,97	OK	486,66	33	300	29	OK
Y: 314,16	14,9	270	127,20	219,1	0,5	OK	0,4	OK	351	13200	4680,97	OK	445,95	33	300	29	OK

Výpočet únosnosti základní sítě při vnějším povrchu po proměnné tloušťce průřezu střední 1/4 oválu ve směru Y

Základní síť: ø14/100

ø	14	/	100	mm										
A(s1),Y	ks/1m	tl. kce	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd
mm ²	ks	mm	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m
153,94	10	330	279	41,83	262,3	0,1	OK	2,0	OK	362,7	13200	1539,38	OK	175,53
153,94	10	340	289	41,83	272,3	0,1	OK	2,1	OK	375,7	13200	1539,38	OK	182,23
153,94	10	350	299	41,83	282,3	0,1	OK	2,2	OK	388,7	13200	1539,38	OK	188,92
153,94	10	360	309	41,83	292,3	0,1	OK	2,2	OK	401,7	13200	1539,38	OK	195,61
153,94	10	370	319	41,83	302,3	0,1	OK	2,3	OK	414,7	13200	1539,38	OK	202,31
153,94	10	380	329	41,83	312,3	0,1	OK	2,4	OK	427,7	13200	1539,38	OK	209,00

Výpočet únosnosti základní sítě při vnějším povrchu po proměnné tloušťce průřezu krajní 1/4 oválu ve směru Y

Základní síť: ø16/100

ø	16	/	100	mm										
A(s1),Y	ks/1m	tl. kce	d	x	z	ξ	< ξ(bal)	e(s)	< e(max)	A(s,min)	A(s,max)	A(s,prov)	As,min < As,prov < As,max	m,Rd
mm ²	ks	mm	mm	mm	mm		0,617	%	5	mm ²	mm ²	mm ²	As,max	kNm/m
201,06	10	380	326	54,64	304,1	0,2	OK	1,7	OK	423,8	13200	2010,62	OK	265,88
201,06	10	390	336	54,64	314,1	0,2	OK	1,8	OK	436,8	13200	2010,62	OK	274,62
201,06	10	400	346	54,64	324,1	0,2	OK	1,9	OK	449,8	13200	2010,62	OK	283,36
201,06	10	410	356	54,64	334,1	0,2	OK	1,9	OK	462,8	13200	2010,62	OK	292,10
201,06	10	420	366	54,64	344,1	0,1	OK	2,0	OK	475,8	13200	2010,62	OK	300,85
201,06	10	430	376	54,64	354,1	0,1	OK	2,1	OK	488,8	13200	2010,62	OK	309,59
201,06	10	440	386	54,64	364,1	0,1	OK	2,1	OK	501,8	13200	2010,62	OK	318,33
201,06	10	450	396	54,64	374,1	0,1	OK	2,2	OK	514,8	13200	2010,62	OK	327,07
201,06	10	460	406	54,64	384,1	0,1	OK	2,3	OK	527,8	13200	2010,62	OK	335,81
201,06	10	470	416	54,64	394,1	0,1	OK	2,3	OK	540,8	13200	2010,62	OK	344,55
201,06	10	480	426	54,64	404,1	0,1	OK	2,4	OK	553,8	13200	2010,62	OK	353,30
201,06	10	490	436	54,64	414,1	0,1	OK	2,4	OK	566,8	13200	2010,62	OK	362,04
201,06	10	500	446	54,64	424,1	0,1	OK	2,5	OK	579,8	13200	2010,62	OK	370,78
201,06	10	510	456	54,64	434,1	0,1	OK	2,6	OK	592,8	13200	2010,62	OK	379,52
201,06	10	520	466	54,64	444,1	0,1	OK	2,6	OK	605,8	13200	2010,62	OK	388,26
201,06	10	530	476	54,64	454,1	0,1	OK	2,7	OK	618,8	13200	2010,62	OK	397,01
201,06	10	540	486	54,64	464,1	0,1	OK	2,8	OK	631,8	13200	2010,62	OK	405,75
201,06	10	550	496	54,64	474,1	0,1	OK	2,8	OK	644,8	13200	2010,62	OK	414,49
201,06	10	560	506	54,64	484,1	0,1	OK	2,9	OK	657,8	13200	2010,62	OK	423,23
201,06	10	570	516	54,64	494,1	0,1	OK	3,0	OK	670,8	13200	2010,62	OK	431,97
201,06	10	580	526	54,64	504,1	0,1	OK	3,0	OK	683,8	13200	2010,62	OK	440,72
201,06	10	590	536	54,64	514,1	0,1	OK	3,1	OK	696,8	13200	2010,62	OK	449,46
201,06	10	600	546	54,64	524,1	0,1	OK	3,1	OK	709,8	13200	2010,62	OK	458,20
201,06	10	610	556	54,64	534,1	0,1	OK	3,2	OK	722,8	13200	2010,62	OK	466,94
201,06	10	620												

Tabulka únosnosti základní sítě výztuže malého oválu - směr Y, vnější povrch

Beton **C30/37** XC4, XF3 - desková konstrukce
 Krytí: **30** mm - zajištěna zvláštní kontrola kvality výroby betonu } Kříž třída **S2**
 Výztuž: **B500B** Δc(đev) **10** mm
 Závlače otvorů a lemování: **2x2φ20** Pozn.: "XXX" znamená že daný průřez nelze využít z důvodu překročení limitní hodnoty ζ(bal), ε(max) nebo porušení konstrukčních zásad

HORNÍ STŘEDNÍ 1/4 MALÉHO OVÁLU (330-380mm)			
V1: Základní síť 1. vrstvy výztuže:			
φ	14	/	100 mm φ14/100
P1: Příločky v 1. vrstvě výztuže:			
φ	0	/	100 mm φ0/100
Odsazení druhé vrstvy výztuže:			
φ	0	/	0 mm
V2: Základní síť 2. vrstvy výztuže:			
φ	0	/	100 mm φ0/100
P2: Příločky v 2. vrstvě výztuže:			
φ	0	/	100 mm φ0/100

VRSTVA 1 - m(Rd,y) [kNm/m]						
TI. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.				
[mm]	φ14/100	φ10/100	φ12/100	φ14/100	φ16/100	φ20/100
330	175,53	256,46	290,23	328,67	366,44	445,95
340	182,23	266,57	301,84	342,06	381,88	466,31
350	188,92	276,68	313,45	355,44	397,31	486,66
360	195,61	286,79	325,06	368,83	412,75	507,01
370	202,31	296,90	336,67	382,22	428,18	527,36
380	209,00	307,00	348,28	395,60	443,62	547,71

HORNÍ KRAJNÍ 1/4 MALÉHO OVÁLU (380-730mm)			
V1: Základní síť 1. vrstvy výztuže:			
φ	16	/	100 mm φ16/100
P1: Příločky v 1. vrstvě výztuže:			
φ	0	/	100 mm φ0/100
Odsazení druhé vrstvy výztuže:			
φ	100	/	100 mm
V2: Základní síť 2. vrstvy výztuže:			
φ	14	/	100 mm φ14/100
P2: Příločky v 2. vrstvě výztuže:			
φ	0	/	100 mm φ0/100

VRSTVA 1 - m(Rd,y) [kNm/m]						
TI. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.				
[mm]	φ16/100	φ10/100	φ12/100	φ14/100	φ16/100	φ20/100
380	265,88	359,36	398,64	443,62	493,55	591,38
390	274,62	371,52	412,30	459,05	511,03	613,78
400	283,36	383,67	425,96	474,49	528,51	636,18
410	292,10	395,83	439,62	489,92	546,00	658,58
420	300,85	407,99	453,28	505,35	563,48	680,98
430	309,59	420,14	466,94	520,79	580,97	703,38
440	318,33	432,30	480,60	536,22	598,45	725,78
450	327,07	444,46	494,26	551,66	615,93	748,19
460	335,81	456,61	507,92	567,09	633,42	770,59
470	344,55	468,77	521,58	582,53	650,90	792,99
480	353,30	480,93	535,23	597,96	668,38	815,39
490	362,04	493,08	548,89	613,40	685,87	837,79
500	370,78	505,24	562,55	628,83	703,35	860,19
510	379,52	517,40	576,21	644,27	720,83	882,59
520	388,26	529,55	589,87	659,70	738,32	904,99
530	397,01	541,71	603,53	675,14	755,80	927,39
540	405,75	553,86	617,19	690,57	773,29	949,79
550	414,49	566,02	630,85	706,01	790,77	972,19
560	423,23	578,18	644,51	721,44	808,25	994,60
570	431,97	590,33	658,17	736,88	825,74	1017,00
580	440,72	602,49	671,83	752,31	843,22	1039,40
590	449,46	614,65	685,48	767,75	860,70	1061,80
600	458,20	626,80	699,14	783,18	878,19	1084,20
610	466,94	638,96	712,80	798,62	895,67	1106,60
620	475,68	651,12	726,46	814,05	913,15	1129,00
630	484,42	663,27	740,12	829,49	930,64	1151,40
640	493,17	675,43	753,78	844,92	948,12	1173,80
650	501,91	687,59	767,44	860,35	965,61	1196,20
660	510,65	699,74	781,10	875,79	983,09	1218,60
670	519,39	711,90	794,76	891,22	1000,57	1241,00
680	528,13	724,06	808,42	906,66	1018,06	1263,41
690	536,88	736,21	822,08	922,09	1035,54	1285,81
700	545,62	748,37	835,74	937,53	1053,02	1308,21
710	554,36	760,53	849,39	952,96	1070,51	1330,61
720	563,10	772,68	863,05	968,40	1087,99	1353,01
730	571,84	784,84	876,71	983,83	1105,48	1375,41

V1 - A(s,prov)	1539,38	mm ²
P1 - A(s,prov)	0,00	mm ²
V2 - A(s,prov)	0,00	mm ²
P2 - A(s,prov)	0,00	mm ²
A(s, prov, celk)	1539,38	mm²

m(Rd,y) [kNm/m]			
TI. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.	
[mm]	V1	V1+P1	CELKEM
330	175,53	0,00	175,53
340	182,23	0,00	182,23
350	188,92	0,00	188,92
360	195,61	0,00	195,61
370	202,31	0,00	202,31
380	209,00	0,00	209,00

V1 - A(s,prov)	2010,62	mm ²
P1 - A(s,prov)	0,00	mm ²
V2 - A(s,prov)	1539,38	mm ²
P2 - A(s,prov)	0,00	mm ²
A(s, prov, celk)	3550,00	mm²

VRSTVA 2 - m(Rd,y) [kNm/m]						
TI. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.				
[mm]	φ14/100	φ10/100	φ12/100	φ14/100	φ16/100	φ20/100
380	142,07	205,93	232,17	261,74	289,27	344,19
390	148,76	216,03	243,79	275,13	304,70	364,55
400	155,46	226,14	255,40	288,51	320,14	384,90
410	162,15	236,25	267,01	301,90	335,57	405,25
420	168,84	246,36	278,62	315,29	351,01	425,60
430	175,53	256,46	290,23	328,67	366,44	445,95
440	182,23	266,57	301,84	342,06	381,88	466,31
450	188,92	276,68	313,45	355,44	397,31	486,66
460	195,61	286,79	325,06	368,83	412,75	507,01
470	202,31	296,90	336,67	382,22	428,18	527,36
480	209,00	307,00	348,28	395,60	443,62	547,71
490	215,69	317,11	359,89	408,99	459,05	568,07
500	222,39	327,22	371,50	422,37	474,49	588,42
510	229,08	337,33	383,11	435,76	489,92	608,77
520	235,77	347,43	394,72	449,14	505,35	629,12
530	242,46	357,54	406,33	462,53	520,79	649,47
540	249,16	367,65	417,94	475,92	536,22	669,83
550	255,85	377,76	429,55	489,30	551,66	690,18
560	262,54	387,86	441,16	502,69	567,09	710,53
570	269,24	397,97	452,77	516,07	582,53	730,88
580	275,93	408,08	464,38	529,46	597,96	751,23
590	282,62	418,19	475,99	542,85	613,40	771,59
600	289,31	428,30	487,60	556,23	628,83	791,94
610	296,01	438,40	499,21	569,62	644,27	812,29
620	302,70	448,51	510,82	583,00	659,70	832,64
630	309,39	458,62	522,43	596,39	675,14	853,00
640	316,09	468,73	534,04	609,78	690,57	873,35
650	322,78	478,83	545,65	623,16	706,01	893,70
660	329,47	488,94	557,26	636,55	721,44	914,05
670	336,17	499,05	568,87	649,93	736,88	934,40
680	342,86	509,16	580,48	663,32	752,31	954,76
690	349,55	519,27	592,09	676,71	767,75	975,11
700	356,24	529,37	603,70	690,09	783,18	995,46
710	362,94	539,48	615,31	703,48	798,62	1015,81
720	369,63	549,59	626,92	716,86	814,05	1036,16
730	376,32	559,70	638,53	730,25	829,49	1056,52

φ mm	KOTEVNÍ A PŘESAHOVÉ DÉLKY			
	Dobré podmínky soudržnosti		Špatné podmínky soudržnosti	
	l_b mm	l_0 mm	l_b mm	l_0 mm
6	200	300	280	420
8	270	405	380	570
10	330	495	470	705
12	400	600	560	840
14	460	690	660	990
16	530	795	750	1125
18	590	885	840	1260
20	660	990	940	1410
22	720	1080	1030	1545
25	820	1230	1170	1755
28	920	1380	1310	1965
32	1050	1575	1500	2250

m(Rd,y) [kNm/m]					
TI. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.			
[mm]	V1+V2	V1+P1	V2+P2	CELKEM	
380	407,95	0,00	0,00	407,95	
390	423,38	0,00	0,00	423,38	
400	438,82	0,00	0,00	438,82	
410	454,25	0,00	0,00	454,25	
420	469,69	0,00	0,00	469,69	
430	485,12	0,00	0,00	485,12	
440	500,56	0,00	0,00	500,56	
450	515,99	0,00	0,00	515,99	
460	531,43	0,00	0,00	531,43	
470	546,86	0,00	0,00	546,86	
480	562,30	0,00	0,00	562,30	
490	577,73	0,00	0,00	577,73	
500	593,17	0,00	0,00	593,17	
510	608,60	0,00	0,00	608,60	
520	624,04	0,00	0,00	624,04	
530	639,47	0,00	0,00	639,47	
540	654,90	0,00	0,00	654,90	
550	670,34	0,00	0,00	670,34	
560	685,77	0,00	0,00	685,77	
570	701,21	0,00	0,00	701,21	
580	716,64	0,00	0,00	716,64	
590	732,08	0,00	0,00	732,08	
600	747,51	0,00	0,00	747,51	
610	762,95	0,00	0,00	762,95	
620	778,38	0,00	0,00	778,38	
630	793,82	0,00	0,00	793,82	
640	809,25	0,00	0,00	809,25	
650	824,69	0,00	0,00	824,69	
660	840,12	0,00	0,00	840,12	
670	855,56	0,00	0,00	855,56	
680	870,99	0,00	0,00	870,99	
690	886,43	0,00	0,00	886,43	
700	901,86	0,00	0,00	901,86	
710	917,30	0,00	0,00	917,30	
720	932,73	0,00	0,00	932,73	
730	948,17	0,00	0,00	948,17	

DOLNÍ KRAJNÍ 1/4 MALÉHO OVÁLU (730-380mm)	
V1: Základní síť 1. vrstvy výtuzže:	
ø	16 / 100 mm ø16/100
P1: Příločky v 1. vrstvě výtuzže:	
ø	20 / 100 mm ø20/100
Odsazení druhé vrstvy výtuzže:	
	100 mm
V2: Základní síť 2. vrstvy výtuzže:	
ø	14 / 100 mm ø14/100
P2: Příločky v 2. vrstvě výtuzže:	
ø	0 / 100 mm ø0/100

V1 - A(s,prov) 2010,62 mm2
P1 - A(s,prov) 3141,59 mm2

V2 - A(s,prov) 1539,38 mm2
P2 - A(s,prov) 0,00 mm2

A(s, prov, celk) 6691,59 mm2

VRSTVA 1 - m(Rd,y) [kNm/m]						
Tl. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.				
		ø16/100	ø10/100	ø12/100	ø14/100	ø16/100
730	571,84	784,84	876,71	983,83	1105,48	1375,41
720	563,10	772,68	863,05	968,40	1087,99	1353,01
710	554,36	760,53	849,39	952,96	1070,51	1330,61
700	545,62	748,37	835,74	937,53	1053,02	1308,21
690	536,88	736,21	822,08	922,09	1035,54	1285,81
680	528,13	724,06	808,42	906,66	1018,06	1263,41
670	519,39	711,90	794,76	891,22	1000,57	1241,01
660	510,65	699,74	781,10	875,79	983,09	1218,60
650	501,91	687,59	767,44	860,35	965,61	1196,20
640	493,17	675,43	753,78	844,92	948,12	1173,80
630	484,42	663,27	740,12	829,49	930,64	1151,40
620	475,68	651,12	726,46	814,05	913,15	1129,00
610	466,94	638,96	712,80	798,62	895,67	1106,60
600	458,20	626,80	699,14	783,18	878,19	1084,20
590	449,46	614,65	685,48	767,75	860,70	1061,80
580	440,72	602,49	671,83	752,31	843,22	1039,40
570	431,97	590,33	658,17	736,88	825,74	1017,00
560	423,23	578,18	644,51	721,44	808,25	994,60
550	414,49	566,02	630,85	706,01	790,77	972,19
540	405,75	553,86	617,19	690,57	773,29	949,79
530	397,01	541,71	603,53	675,14	755,80	927,39
520	388,26	529,55	589,87	659,70	738,32	904,99
510	379,52	517,40	576,21	644,27	720,83	882,59
500	370,78	505,24	562,55	628,83	703,35	860,19
490	362,04	493,08	548,89	613,40	685,87	837,79
480	353,30	480,93	535,23	597,96	668,38	815,39
470	344,55	468,77	521,58	582,53	650,90	792,99
460	335,81	456,61	507,92	567,09	633,42	770,59
450	327,07	444,46	494,26	551,66	615,93	748,19
440	318,33	432,30	480,60	536,22	598,45	725,78
430	309,59	420,14	466,94	520,79	580,97	703,38
420	300,85	407,99	453,28	505,35	563,48	680,98
410	292,10	395,83	439,62	489,92	546,00	658,58
400	283,36	383,67	425,96	474,49	528,51	636,18
390	274,62	371,52	412,30	459,05	511,03	613,78
380	265,88	359,36	398,64	443,62	493,55	591,38

VRSTVA 2 - m(Rd,y) [kNm/m]						
Tl. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.				
		ø14/100	ø10/100	ø12/100	ø14/100	ø16/100
730	376,32	559,70	638,53	730,25	829,49	1056,52
720	369,63	549,59	626,92	716,86	814,05	1036,16
710	362,94	539,48	615,31	703,48	798,62	1015,81
700	356,24	529,37	603,70	690,09	783,18	995,46
690	349,55	519,27	592,09	676,71	767,75	975,11
680	342,86	509,16	580,48	663,32	752,31	954,76
670	336,17	499,05	568,87	649,93	736,88	934,40
660	329,47	488,94	557,26	636,55	721,44	914,05
650	322,78	478,83	545,65	623,16	706,01	893,70
640	316,09	468,73	534,04	609,78	690,57	873,35
630	309,39	458,62	522,43	596,39	675,14	853,00
620	302,70	448,51	510,82	583,00	659,70	832,64
610	296,01	438,40	499,21	569,62	644,27	812,29
600	289,31	428,30	487,60	556,23	628,83	791,94
590	282,62	418,19	475,99	542,85	613,40	771,59
580	275,93	408,08	464,38	529,46	597,96	751,23
570	269,24	397,97	452,77	516,07	582,53	730,88
560	262,54	387,86	441,16	502,69	567,09	710,53
550	255,85	377,76	429,55	489,30	551,66	690,18
540	249,16	367,65	417,94	475,92	536,22	669,83
530	242,46	357,54	406,33	462,53	520,79	649,47
520	235,77	347,43	394,72	449,14	505,35	629,12
510	229,07	337,32	383,11	435,76	489,92	608,77
500	222,38	327,22	371,50	422,37	474,49	588,42
490	215,69	317,11	359,89	408,99	459,05	568,07
480	209,00	307,00	348,28	395,60	443,62	547,71
470	202,31	296,90	336,67	382,22	428,18	527,36
460	195,61	286,79	325,06	368,83	412,75	507,01
450	188,92	276,68	313,45	355,44	397,31	486,66
440	182,23	266,57	301,84	342,06	381,88	466,31
430	175,53	256,46	290,23	328,67	366,44	445,95
420	168,84	246,36	278,62	315,29	351,01	425,60
410	162,15	236,25	267,01	301,90	335,57	405,25
400	155,46	226,14	255,40	288,51	320,14	384,90
390	148,76	216,03	243,79	275,13	304,70	364,55
380	142,07	205,93	232,17	261,74	289,27	344,19

m(Rd,y) [kNm/m]				
Tl. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.		
		V1+V2	V1+P1	V2+P2
730	948,17	1375,41	0,00	1751,73
720	932,73	1353,01	0,00	1722,64
710	917,30	1330,61	0,00	1693,55
700	901,86	1308,21	0,00	1664,45
690	886,43	1285,81	0,00	1635,36
680	870,99	1263,41	0,00	1606,27
670	855,56	1241,01	0,00	1577,17
660	840,12	1218,60	0,00	1548,08
650	824,69	1196,20	0,00	1518,98
640	809,25	1173,80	0,00	1489,89
630	793,82	1151,40	0,00	1460,80
620	778,38	1129,00	0,00	1431,70
610	762,95	1106,60	0,00	1402,61
600	747,51	1084,20	0,00	1373,51
590	732,08	1061,80	0,00	1344,42
580	716,64	1039,40	0,00	1315,33
570	701,21	1017,00	0,00	1286,23
560	685,77	994,60	0,00	1257,14
550	670,34	972,19	0,00	1228,04
540	654,90	949,79	0,00	1198,95
530	639,47	927,39	0,00	1169,86
520	624,04	904,99	0,00	1140,76
510	608,60	882,59	0,00	1111,67
500	593,17	860,19	0,00	1082,58
490	577,73	837,79	0,00	1053,48
480	562,30	815,39	0,00	1024,39
470	546,86	792,99	0,00	995,29
460	531,43	770,59	0,00	966,20
450	515,99	748,19	0,00	937,11
440	500,56	725,78	0,00	908,01
430	485,12	703,38	0,00	878,92
420	469,69	680,98	0,00	849,82
410	454,25	658,58	0,00	820,73
400	438,82	636,18	0,00	791,64
390	423,38	613,78	0,00	762,54
380	407,95	591,38	0,00	733,45

DOLNÍ STŘEDNÍ 1/4 MALÉHO OVÁLU (380-330mm)	
V1: Základní síť 1. vrstvy výtuzže:	
ø	12 / 100 mm ø12/100
P1: Příločky v 1. vrstvě výtuzže:	
ø	0 / 100 mm ø0/100
Odsazení druhé vrstvy výtuzže:	
	0 mm
V2: Základní síť 2. vrstvy výtuzže:	
ø	0 / 100 mm ø0/100
P2: Příločky v 2. vrstvě výtuzže:	
ø	0 / 100 mm ø0/100

V1 - A(s,prov) 1130,97 mm2
P1 - A(s,prov) 0,00 mm2

V2 - A(s,prov) 0,00 mm2
P2 - A(s,prov) 0,00 mm2

A(s, prov, celk) 1130,97 mm2

VRSTVA 1 - m(Rd,y) [kNm/m]						
Tl. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.				
		ø12/100	ø10/100	ø12/100	ø14/100	ø16/100
380	157,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	152,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	147,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350	142,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
340	137,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
330	132,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

m(Rd,y) [kNm/m]			
Tl. kce	Z.S.	Příločky + Z.S.	
		V1	V1+P1
380	157,21	0,00	157,21
370	152,29	0,00	152,29
360	147,37	0,00	147,37
350	142,46	0,00	142,46
340	137,54	0,00	137,54
330	132,62	0,00	132,62

Výtuzž byla navržena pomocí izoliní návrhových momentů a potřebné plochy výtuzže získaných z výpočetního modelu vytvořeném v programu SCIA Engineer
Výsledné rozložení Z.S. a příloček je znázorněno na Výkresu č.2 - Vyztužovací schémata na konci diplomové práce
Navržené Z.S. a příločky vyhovují ve všech místech na mezní stav únosnosti

Příloha 5 - MSP – Posouzení vzniku a šířky trhlin

Posouzení MPS - vznik a šířka trhlin

Beton	C30/37		
Krytí:	30 mm		
Výztuž:	B500B		
E _{cm}	32 GPa	E _s	200 GPa
f(ck)	30 MPa	f(yk)	500 MPa
f(cd)	20,00 MPa	f(yd)	434,78 MPa
f(ctm)	2,9 MPa	ε(yd)	0,00217 -
f(ctk0,05)	2 MPa	α _e	6,25
f(ctd)	1,7 MPa	Limitní šířka trhlin:	
ε(cu)	0,0035 -	w(lim)	0,15 mm
Koeficienty:		Rozteč 2. řady:	
k1	0,8	s	100 mm
k2	0,5 -		
k3	3,4 -		
k4	0,425 -		
k(t)	0,4 -		

LEGENDA:

- ČÁST 1 - HORNÍ STŘEDNÍ 1/4 OVÁLU (330-380mm)
- ČÁST 2 - HORNÍ KRAJNÍ 1/4 OVÁLU (380-730mm)
- ČÁST 3 - DOLNÍ KRAJNÍ 1/4 OVÁLU (730-380mm)
- ČÁST 4 - DOLNÍ STŘEDNÍ 1/4 OVÁLU (380-330mm)

Pomůcka pro přepočet Z.S. s příloškama			
Z.S.	ø	16	/ 100
Příložka	ø	16	/ 200
Z.S.+Př.	ø	16	/ 66,67

Geometrické charakteristiky průřezu bez trhlin:

$$A_i = A_c + \alpha_e * (a_{s1} + a_{s2})$$

$$a_i = \frac{[A_c * a_c + \alpha_e * (a_{s1} * d_1 + a_{s2} * d_2)]}{A_i}$$

$$I_i = I_c + A_c * (a_i - a_c)^2 + \alpha_e * [a_{s1} * (d_1 - a_i)^2 + a_{s2} * (a_i - d_2)^2]$$

$$M_{cr} = f_{ctm} * \frac{I_i}{h - a_i}$$

Geometrické charakteristiky průřezu s trhlínami:

$$x_{cr} = \frac{\alpha_e}{b} * (a_{s1} + a_{s2}) * \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * b}{\alpha_e} * \frac{a_{s1} * d_1 + a_{s2} * d_2}{(a_{s1} + a_{s2})^2}} \right]$$

$$I_{ii} = \frac{1}{3} * b * x_{cr}^3 + \alpha_e * [a_{s1} * (d_1 - x_{cr})^2 + a_{s2} * (x_{cr} - d_2)^2]$$

Posouzení šířky trhlin:

$$\sigma_{s,i} = \alpha_e * \frac{m_{E,k}}{I_{ii}} * (d_i - x_{cr})$$

$$h_{c,eff} = \min \left(\frac{2,5 * (h - d)}{h/2}, (h - x_{cr})/3 \right)$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{\sum a_{s,i}}{b * h_{c,eff}}$$

$$w_k = \left(k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \frac{\sigma_s}{\rho_{p,eff}} \right) * \frac{1}{E_s} * \left[\sigma_{s,1} - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} * (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff}) \right]$$

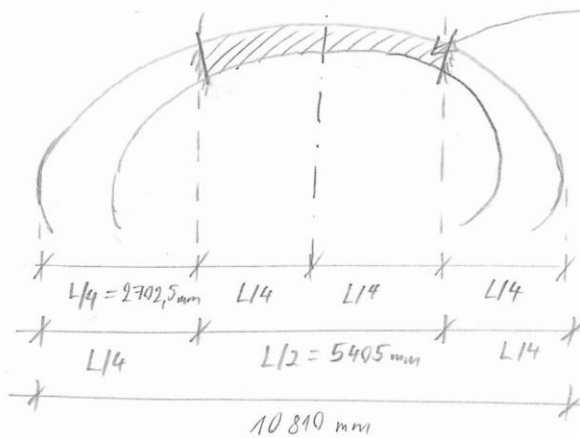
MALÝ OVÁL - směr Y

NÁVRH VÝZTUŽE									
	h	V1: ø	s1	V2: ø	s2	d1	d2	a(s1,prov)	a(s2,prov)
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m]	[m]	[mm2/m]	[mm2/m]
ČÁST 1	0,330	16	100	0	100	0,276	0,000	2010,6	0,0
	0,340	16	100	0	100	0,286	0,000	2010,6	0,0
	0,350	16	100	0	100	0,296	0,000	2010,6	0,0
	0,360	16	100	0	100	0,306	0,000	2010,6	0,0
	0,370	16	100	0	100	0,316	0,000	2010,6	0,0
	0,380	16	100	0	100	0,326	0,000	2010,6	0,0
	0,380	16	100	16	100	0,326	0,226	2010,6	2010,6
	0,390	16	100	16	100	0,336	0,236	2010,6	2010,6
	0,400	16	100	16	100	0,346	0,246	2010,6	2010,6
	0,410	16	100	16	100	0,356	0,256	2010,6	2010,6
ČÁST 2	0,420	16	100	16	100	0,366	0,266	2010,6	2010,6
	0,430	16	100	16	100	0,376	0,276	2010,6	2010,6
	0,440	16	100	16	100	0,386	0,286	2010,6	2010,6
	0,450	16	100	16	100	0,396	0,296	2010,6	2010,6
	0,460	16	100	16	100	0,406	0,306	2010,6	2010,6
	0,470	16	100	16	100	0,416	0,316	2010,6	2010,6
	0,480	16	100	16	100	0,426	0,326	2010,6	2010,6
	0,490	16	100	16	100	0,436	0,336	2010,6	2010,6
	0,500	16	100	16	100	0,446	0,346	2010,6	2010,6
	0,510	16	100	16	100	0,456	0,356	2010,6	2010,6
	0,520	16	100	16	100	0,466	0,366	2010,6	2010,6
	0,530	16	100	16	100	0,476	0,376	2010,6	2010,6
	0,540	16	100	16	100	0,486	0,386	2010,6	2010,6
	0,550	16	100	16	100	0,496	0,396	2010,6	2010,6
	0,560	16	100	16	100	0,506	0,406	2010,6	2010,6
	0,570	16	100	16	100	0,516	0,416	2010,6	2010,6
	0,580	16	100	16	100	0,526	0,426	2010,6	2010,6
	0,590	16	100	16	100	0,536	0,436	2010,6	2010,6
	0,600	16	100	16	100	0,546	0,446	2010,6	2010,6
	0,610	16	100	16	100	0,556	0,456	2010,6	2010,6
	0,620	16	100	16	100	0,566	0,466	2010,6	2010,6
	0,630	16	100	16	100	0,576	0,476	2010,6	2010,6
	0,640	16	100	16	100	0,586	0,486	2010,6	2010,6
	0,650	16	100	16	100	0,596	0,496	2010,6	2010,6
	0,660	16	100	16	100	0,606	0,506	2010,6	2010,6
	0,670	16	100	16	100	0,616	0,516	2010,6	2010,6
	0,680	16	100	16	100	0,626	0,526	2010,6	2010,6
	0,690	16	100	16	100	0,636	0,536	2010,6	2010,6
	0,700	16	100	16	100	0,646	0,546	2010,6	2010,6
	0,710	16	100	16	100	0,656	0,556	2010,6	2010,6
0,720	16	100	16	100	0,666	0,566	2010,6	2010,6	
0,730	16	100	16	100	0,676	0,576	2010,6	2010,6	
ČÁST 3	0,730	16	100	16	100	0,676	0,576	2010,6	2010,6
	0,720	16	100	16	100	0,666	0,566	2010,6	2010,6
	0,710	16	100	16	100	0,656	0,556	2010,6	2010,6
	0,700	16	100	16	100	0,646	0,546	2010,6	2010,6
	0,690	16	100	16	100	0,636	0,536	2010,6	2010,6
	0,680	16	100	16	100	0,626	0,526	2010,6	2010,6
	0,670	16	100	16	100	0,616	0,516	2010,6	2010,6
	0,660	16	100	16	100	0,606	0,506	2010,6	2010,6
	0,650	16	100	16	100	0,596	0,496	2010,6	2010,6
	0,640	16	100	16	100	0,586	0,486	2010,6	2010,6
ČÁST 4	0,630	16	100	16	100	0,576	0,476	2010,6	2010,6
	0,620	16	100	16	100	0,566	0,466	2010,6	2010,6
	0,610	16	100	16	100	0,556	0,456	2010,6	2010,6
	0,600	16	100	16	100	0,546	0,446	2010,6	2010,6
	0,590	16	100	16	100	0,536	0,436	2010,6	2010,6
	0,580	16	100	16	100	0,526	0,426	2010,6	2010,6
	0,570	16	100	16	100	0,516	0,416	2010,6	2010,6
	0,560	16	100	16	100	0,506	0,406	2010,6	2010,6
	0,550	16	100	16	100	0,496	0,396	2010,6	2010,6
	0,540	16	100	16	100	0,486	0,386	2010,6	2010,6
0,530	16	100	16	100	0,476	0,376	2010,6	2010,6	
0,520	16	100	16	100	0,466	0,366	2010,6	2010,6	
0,510	16	100	16	100	0,456	0,356	2010,6	2010,6	
0,500	16	100	16	100	0,446	0,346	2010,6	2010,6	
0,490	16	100	16	100	0,436	0,336	2010,6	2010,6	
0,480	16	100	16	100	0,426	0,326	2010,6	2010,6	
0,470	16	100	16	100	0,416	0,316	2010,6	2010,6	
0,460	16	100	16	100	0,406	0,306	2010,6	2010,6	
0,450	16	100	16	100	0,396	0,296	2010,6	2010,6	
0,440	16	100	16	100	0,386	0,286	2010,6	2010,6	
0,430	16	100	16	100	0,376	0,276	2010,6	2010,6	
0,420	16	100	16	100	0,366	0,266	2010,6	2010,6	
0,410	16	100	16	100	0,356	0,256	2010,6	2010,6	
0,400	16	100	16	100	0,346	0,246	2010,6	2010,6	
0,390	16	100	16	100	0,336	0,236	2010,6	2010,6	
0,380	16	100	16	100	0,326	0,226	2010,6	2010,6	
ČÁST 4	0,380	12	100	0	100	0,332	0,000	1131,0	0,0
	0,370	12	100	0	100	0,322	0,000	1131,0	0,0
	0,360	12	100	0	100	0,312	0,000	1131,0	0,0
	0,350	12	100	0	100	0,302	0,000	1131,0	0,0
	0,340	12	100	0	100	0,292	0,000	1131,0	0,0
0,330	12	100	0	100	0,282	0,000	1131,0	0,0	

MALÝ OVÁL - směr Y										
POSOUZENÍ ŠÍŘKY TRHLIN - PRŮŘEZ BEZ TRHLIN										
	NAVRŽENÁ VÝZTUŽ	A_c [m2]	a_c [m]	l_c [m4]	A(i) [m2]	a(i) [m]	l(i) [m4]	Mcr [kNm/m]	m(Ek) [kNm/m]	POSOUZENÍ TRHLIN
ČÁST 1	ø16/100	0,33	0,165	0,00299	0,343	0,169	0,00314	56,65 <	60	TRHLINY
	ø16/100	0,34	0,17	0,00328	0,353	0,174	0,00344	60,12 <	65	TRHLINY
	ø16/100	0,35	0,175	0,00357	0,363	0,179	0,00375	63,68 <	75	TRHLINY
	ø16/100	0,36	0,18	0,00389	0,373	0,184	0,00408	67,34 <	85	TRHLINY
	ø16/100	0,37	0,185	0,00422	0,383	0,189	0,00443	71,09 <	90	TRHLINY
	ø16/100	0,38	0,19	0,00457	0,393	0,194	0,00480	74,94 <	95	TRHLINY
ČÁST 2	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,38	0,19	0,00457	0,405	0,195	0,00481	75,53 <	95	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,39	0,195	0,00494	0,415	0,201	0,00520	79,61 <	110	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,4	0,2	0,00533	0,425	0,206	0,00561	83,78 <	125	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,41	0,205	0,00574	0,435	0,211	0,00605	88,06 <	140	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,42	0,21	0,00617	0,445	0,216	0,00650	92,44 <	150	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,43	0,215	0,00663	0,455	0,221	0,00698	96,93 <	165	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,44	0,22	0,00710	0,465	0,226	0,00748	101,51 <	180	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,45	0,225	0,00759	0,475	0,231	0,00801	106,20 <	190	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,46	0,23	0,00811	0,485	0,237	0,00855	110,99 <	205	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,47	0,235	0,00865	0,495	0,242	0,00912	115,87 <	220	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,48	0,24	0,00922	0,505	0,247	0,00972	120,86 <	235	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,49	0,245	0,00980	0,515	0,252	0,01034	125,95 <	245	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,5	0,25	0,01042	0,525	0,257	0,01099	131,14 <	250	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,51	0,255	0,01105	0,535	0,262	0,01166	136,43 <	260	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,52	0,26	0,01172	0,545	0,267	0,01236	141,82 <	265	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,53	0,265	0,01241	0,555	0,272	0,01309	147,31 <	270	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,54	0,27	0,01312	0,565	0,277	0,01385	152,90 <	275	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,55	0,275	0,01386	0,575	0,282	0,01463	158,59 <	277	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,56	0,28	0,01463	0,585	0,288	0,01544	164,38 <	279	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,57	0,285	0,01543	0,595	0,293	0,01628	170,27 <	281	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,58	0,29	0,01626	0,605	0,298	0,01716	176,25 <	283	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,59	0,295	0,01711	0,615	0,303	0,01806	182,33 <	285	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,6	0,3	0,01800	0,625	0,308	0,01899	188,52 <	287	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,61	0,305	0,01892	0,635	0,313	0,01995	194,80 <	289	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,62	0,31	0,01986	0,645	0,318	0,02095	201,18 <	291	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,63	0,315	0,02084	0,655	0,323	0,02198	207,66 <	293	TRHLINY
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,64	0,32	0,02185	0,665	0,328	0,02304	214,23 <	295	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,65	0,325	0,02289	0,675	0,333	0,02413	220,91 <	295	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,66	0,33	0,02396	0,685	0,338	0,02526	227,68 <	294	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,67	0,335	0,02506	0,695	0,343	0,02642	234,55 <	293	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,68	0,34	0,02620	0,705	0,348	0,02762	241,52 <	292	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,69	0,345	0,02738	0,715	0,353	0,02885	248,58 <	292	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,7	0,35	0,02858	0,725	0,359	0,03011	255,75 <	291	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,71	0,355	0,02983	0,735	0,364	0,03142	263,01 <	291	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,72	0,36	0,03110	0,745	0,369	0,03276	270,37 <	290	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,73	0,365	0,03242	0,755	0,374	0,03414	277,83 <	290	TRHLINY	
ČÁST 3	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,73	0,365	0,03242	0,755	0,374	0,03414	277,83 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,72	0,36	0,03110	0,745	0,369	0,03276	270,37 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,71	0,355	0,02983	0,735	0,364	0,03142	263,01 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,7	0,35	0,02858	0,725	0,359	0,03011	255,75 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,69	0,345	0,02738	0,715	0,353	0,02885	248,58 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,68	0,34	0,02620	0,705	0,348	0,02762	241,52 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,67	0,335	0,02506	0,695	0,343	0,02642	234,55 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,66	0,33	0,02396	0,685	0,338	0,02526	227,68 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,65	0,325	0,02289	0,675	0,333	0,02413	220,91 <	290	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,64	0,32	0,02185	0,665	0,328	0,02304	214,23 <	289	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,63	0,315	0,02084	0,655	0,323	0,02198	207,66 <	289	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,62	0,31	0,01986	0,645	0,318	0,02095	201,18 <	287	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,61	0,305	0,01892	0,635	0,313	0,01995	194,80 <	287	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,6	0,3	0,01800	0,625	0,308	0,01899	188,52 <	285	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,59	0,295	0,01711	0,615	0,303	0,01806	182,33 <	284	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,58	0,29	0,01626	0,605	0,298	0,01716	176,25 <	282	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,57	0,285	0,01543	0,595	0,293	0,01628	170,27 <	280	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,56	0,28	0,01463	0,585	0,288	0,01544	164,38 <	278	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,55	0,275	0,01386	0,575	0,282	0,01463	158,59 <	276	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,54	0,27	0,01312	0,565	0,277	0,01385	152,90 <	275	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,53	0,265	0,01241	0,555	0,272	0,01309	147,31 <	270	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,52	0,26	0,01172	0,545	0,267	0,01236	141,82 <	265	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,51	0,255	0,01105	0,535	0,262	0,01166	136,43 <	255	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,5	0,25	0,01042	0,525	0,257	0,01099	131,14 <	245	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,49	0,245	0,00980	0,515	0,252	0,01034	125,95 <	235	TRHLINY
	V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,48	0,24	0,00922	0,505	0,247	0,00972	120,86 <	230	TRHLINY
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,47	0,235	0,00865	0,495	0,242	0,00912	115,87 <	225	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,46	0,23	0,00811	0,485	0,237	0,00855	110,99 <	220	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,45	0,225	0,00759	0,475	0,231	0,00801	106,20 <	215	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,44	0,22	0,00710	0,465	0,226	0,00748	101,51 <	200	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,43	0,215	0,00663	0,455	0,221	0,00698	96,93 <	190	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,42	0,21	0,00617	0,445	0,216	0,00650	92,44 <	180	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,41	0,205	0,00574	0,435	0,211	0,00605	88,06 <	170	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,4	0,2	0,00533	0,425	0,206	0,00561	83,78 <	160	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,39	0,195	0,00494	0,415	0,201	0,00520	79,61 <	155	TRHLINY	
V1: ø16/100 + V2: ø16/100	0,38	0,19	0,00457	0,405	0,195	0,00481	75,53 <	150	TRHLINY	
ČÁST 4	ø12/100	0,38	0,19	0,00457	0,387	0,193	0,00471	72,92 >	70	BEZ TRHLIN
	ø12/100	0,37	0,185	0,00422	0,377	0,188	0,00435	69,17 >	60	BEZ TRHLIN
	ø12/100	0,36	0,18	0,00389	0,367	0,183	0,00401	65,51 >	50	BEZ TRHLIN
	ø12/100	0,35	0,175	0,00357	0,357	0,178	0,00368	61,95 >	40	BEZ TRHLIN
	ø12/100	0,34	0,17	0,00328	0,347	0,172	0,00338	58,49 >	30	BEZ TRHLIN
	ø12/100	0,33	0,165	0,00299	0,337	0,167	0,00309	55,12 >	20	BEZ TRHLIN

MALÝ OVÁL - směr Y									
POSOUZENÍ ŠÍŘKY TRHLIN - PRŮŘEZ S TRHLINAMI									
	x(cr) [m]	l(ii) [m4]	σ(s1) [MPa]	σ(s2) [MPa]	h(c,eff) [m]	ρ(p,eff) [-]	w(k) [mm]	w(lim) [mm]	ŠÍŘKA TRHLIN
ČÁST 1	0,0717	0,00065	118,37	0,00	0,086	0,0233	0,067	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0731	0,00070	123,57	0,00	0,089	0,0226	0,072	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0746	0,00075	137,58	0,00	0,092	0,0219	0,087	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0760	0,00081	150,63	0,00	0,095	0,0212	0,102	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0774	0,00087	154,25	0,00	0,098	0,0206	0,106	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0788	0,00093	157,64	0,00	0,100	0,0200	0,110	< 0,15	VYHOVUJE
ČÁST 2	0,0953	0,00117	116,88	66,21	0,095	0,0424	0,068	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0974	0,00126	129,71	75,35	0,098	0,0412	0,079	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0994	0,00136	141,49	84,11	0,100	0,0401	0,089	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1014	0,00146	152,32	92,49	0,103	0,0391	0,099	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1034	0,00157	157,09	97,27	0,106	0,0381	0,104	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1053	0,00168	166,53	105,01	0,108	0,0372	0,112	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1072	0,00179	175,28	112,41	0,111	0,0363	0,120	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1091	0,00191	178,72	116,42	0,114	0,0354	0,124	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1110	0,00203	186,45	123,25	0,116	0,0346	0,132	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1128	0,00215	193,67	129,79	0,119	0,0338	0,139	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1146	0,00228	200,42	136,06	0,122	0,0330	0,146	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1164	0,00242	202,62	139,22	0,125	0,0323	0,148	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1182	0,00255	200,65	139,44	0,127	0,0316	0,147	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1199	0,00269	202,68	142,37	0,130	0,0309	0,150	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1216	0,00284	200,79	142,48	0,133	0,0303	0,149	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1233	0,00299	199,00	142,57	0,135	0,0298	0,148	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1250	0,00314	197,29	142,64	0,135	0,0298	0,146	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1267	0,00330	193,56	141,15	0,135	0,0298	0,142	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1283	0,00347	190,02	139,70	0,135	0,0298	0,139	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1300	0,00363	186,64	138,29	0,135	0,0298	0,136	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1316	0,00380	183,42	136,91	0,135	0,0298	0,133	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1332	0,00398	180,34	135,57	0,135	0,0298	0,130	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1348	0,00416	177,40	134,26	0,135	0,0298	0,127	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1363	0,00434	174,59	132,99	0,135	0,0298	0,124	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1379	0,00453	171,89	131,74	0,135	0,0298	0,121	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1394	0,00472	169,31	130,53	0,135	0,0298	0,119	< 0,15	VYHOVUJE
0,1409	0,00492	166,84	129,35	0,135	0,0298	0,117	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1424	0,00512	163,36	127,34	0,135	0,0298	0,113	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1439	0,00532	159,47	124,96	0,135	0,0298	0,109	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1454	0,00553	155,74	122,64	0,135	0,0298	0,106	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1469	0,00575	152,15	120,39	0,135	0,0298	0,102	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1483	0,00596	149,21	118,61	0,135	0,0298	0,100	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1498	0,00619	145,87	116,48	0,135	0,0298	0,096	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1512	0,00641	143,15	114,79	0,135	0,0298	0,094	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1526	0,00664	140,04	112,77	0,135	0,0298	0,091	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1540	0,00688	137,52	111,18	0,135	0,0298	0,088	< 0,15	VYHOVUJE	
ČÁST 3	0,1540	0,00688	137,52	111,18	0,135	0,0298	0,088	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1526	0,00664	140,04	112,77	0,135	0,0298	0,091	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1512	0,00641	142,66	114,40	0,135	0,0298	0,093	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1498	0,00619	145,37	116,08	0,135	0,0298	0,096	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1483	0,00596	148,18	117,80	0,135	0,0298	0,099	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1469	0,00575	151,11	119,57	0,135	0,0298	0,101	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1454	0,00553	154,14	121,39	0,135	0,0298	0,104	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1439	0,00532	157,30	123,26	0,135	0,0298	0,107	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1424	0,00512	160,59	125,18	0,135	0,0298	0,111	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1409	0,00492	163,45	126,72	0,135	0,0298	0,113	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1394	0,00472	167,00	128,75	0,135	0,0298	0,117	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1379	0,00453	169,53	129,93	0,135	0,0298	0,119	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1363	0,00434	173,38	132,07	0,135	0,0298	0,123	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1348	0,00416	176,16	133,33	0,135	0,0298	0,126	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1332	0,00398	179,71	135,10	0,135	0,0298	0,129	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1316	0,00380	182,77	136,43	0,135	0,0298	0,132	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1300	0,00363	185,97	137,80	0,135	0,0298	0,135	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1283	0,00347	189,34	139,20	0,135	0,0298	0,138	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1267	0,00330	192,86	140,64	0,135	0,0298	0,142	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1250	0,00314	197,29	142,64	0,135	0,0298	0,146	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1233	0,00299	199,00	142,57	0,135	0,0298	0,148	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1216	0,00284	200,79	142,48	0,133	0,0303	0,149	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1199	0,00269	198,78	139,63	0,130	0,0309	0,146	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1182	0,00255	196,64	136,65	0,127	0,0316	0,144	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1164	0,00242	194,35	133,53	0,125	0,0323	0,141	< 0,15	VYHOVUJE
	0,1146	0,00228	196,16	133,16	0,122	0,0330	0,142	< 0,15	VYHOVUJE
0,1128	0,00215	198,07	132,74	0,119	0,0338	0,143	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1110	0,00203	200,10	132,27	0,116	0,0346	0,144	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1091	0,00191	202,23	131,74	0,114	0,0354	0,145	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1072	0,00179	194,76	124,90	0,111	0,0363	0,138	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1053	0,00168	191,76	120,92	0,108	0,0372	0,134	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1034	0,00157	188,51	116,73	0,106	0,0381	0,131	< 0,15	VYHOVUJE	
0,1014	0,00146	184,97	112,31	0,103	0,0391	0,127	< 0,15	VYHOVUJE	
0,0994	0,00136	181,10	107,66	0,100	0,0401	0,123	< 0,15	VYHOVUJE	
0,0974	0,00126	182,77	106,18	0,098	0,0412	0,124	< 0,15	VYHOVUJE	
0,0953	0,00117	184,54	104,55	0,095	0,0424	0,125	< 0,15	VYHOVUJE	
ČÁST 4	0,0618	0,00059	198,76	0,00	0,106	0,0107	0,121	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0608	0,00056	175,82	0,00	0,103	0,0110	0,090	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0597	0,00052	151,35	0,00	0,100	0,0113	0,059	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0587	0,00049	125,22	0,00	0,097	0,0116	0,025	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0576	0,00045	97,23	0,00	0,094	0,0120	0,000	< 0,15	VYHOVUJE
	0,0565	0,00042	67,19	0,00	0,091	0,0124	0,000	< 0,15	VYHOVUJE

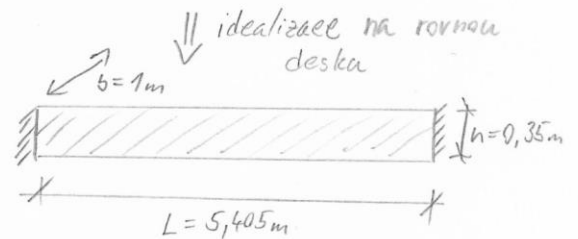
Příloha 6 - MSP – Posouzení přetvoření



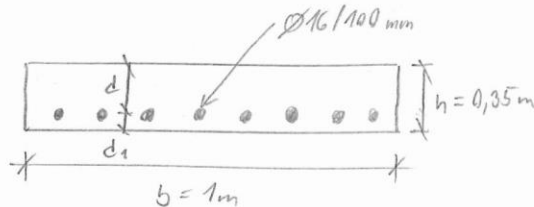
$$A_c = 1,88 \text{ m}^2$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h_{\emptyset} = \frac{A_c}{L/2} = \frac{1,88}{5,405} = \underline{\underline{0,35 \text{ m}}}$$



Průřez desky ↴



BETON: C30/37

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}; E_{cm} = 32 \text{ GPa}; f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

OCEĽ: B500B

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}; E_s = 200 \text{ GPa}$$

c = 50 mm

$$A_{s1} = \left(\sqrt{11} \cdot \frac{16^2}{4} \right) \cdot 10 = 2011 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = c + 1,5 \emptyset = 74 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 350 - 74 = 276 \text{ mm}$$

Vnitřní síly MSP ze SCIA Engineer ↴

Char.: $M_{E,k} = 109,53 \text{ kNm/m}$

Častá.: $M_{E,cr} = 64,83 \text{ kNm/m}$

Kvazi.: $M_{E,qp} = 22,94 \text{ kNm/m}$

KRÁTKODOBÉ PŮSOBENÍ:

$$\bullet d_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = \underline{\underline{6,25}}$$

$$\bullet A_i = A_c + d_e \cdot A_{s1} = 0,35 \cdot 1,0 + 6,25 \cdot 2011 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{0,3625 \text{ m}^2}}$$

$$\bullet a_i = (A_c \cdot a_c + d_e \cdot A_{s1} \cdot d) / A_i = (0,35 \cdot \frac{0,35}{2} + 6,25 \cdot 2011 \cdot 10^{-6} \cdot 0,276) / 0,3625$$

$$a_i = \underline{\underline{0,1785 \text{ m}}}$$

$$\bullet I_i = I_c + A_c \cdot (a_i - a_c)^2 + d_e \cdot A_{s1} \cdot (d - a_i)^2 = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,35^3 + 0,35 \cdot (0,1785 - 0,175)^2 + 6,25 \cdot 2011 \cdot 10^{-6} \cdot (0,276 - 0,1785)^2 = \underline{\underline{3,697 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4}}$$

DLUHODOBÉ ZATÍŽENÍ:

- zatížení začne působit v čase $t_0 = 28$ dní

$$\bullet h_a = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot b \cdot h}{2b} = h = \underline{0,35 \text{ m}}$$

$$\bullet \text{ souč. dot. } \xrightarrow{\text{GRAF}} \varphi(\infty, t_0 = 28 \text{ dní}) = 1,75$$

(A) PRŮŘEZ BEZ TRHLIN ↴

$$E_{c,et} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{32}{1 + 1,75} = \underline{11,6 \text{ GPa}}$$

$$d_{e,et} = \frac{E_s}{E_{c,et}} = \frac{200}{11,6} = \underline{17,2}$$

$$\bullet A_{i,et} = A_c + d_{e,et} \cdot A_{s1} = 0,35 + 17,2 \cdot 2044 \cdot 10^{-6} = \underline{0,3846 \text{ m}^2}$$

$$\bullet a_{i,et} = (A_c \cdot a_c + d_{e,et} \cdot A_{s1} \cdot d) / A_{i,et} = (0,35 \cdot 0,175 + 17,2 \cdot 2044 \cdot 10^{-6} \cdot 0,276) / 0,3846$$

$$a_{i,et} = \underline{0,184 \text{ m}}$$

$$\bullet I_{i,et} = I_c + A_c (a_{i,et} - a_c)^2 + d_{e,et} \cdot A_{s1} (d - a_{i,et})^2 =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,35^3 + 0,35 \cdot (0,184 - 0,175)^2 + 17,2 \cdot 2044 \cdot 10^{-6} \cdot (0,276 - 0,184)^2 =$$

$$I_{i,et} = \underline{3,894 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4}$$

- ohybový moment při vzniku trhlin ↴

$$\bullet M_{cr,et} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{i,et}}{h - a_{i,et}} = 2900 \cdot \frac{3,894 \cdot 10^{-3}}{0,35 - 0,184} = \underline{68,03 \text{ kNm/m}}$$

⇒ 1) $M_{E,1pp} < M_{cr,et}$ ($22,94 < 68,03 \text{ kNm/m}$) ⇒ nepředpokládá se vznik trhlin

2) $M_{E,tr} < M_{cr,et}$ ($64,83 < 68,03 \text{ kNm/m}$) ⇒ trhliny pravděpodobně vzniknou

3) $M_{E,k} > M_{cr,et}$ ($109,53 > 68,03 \text{ kNm/m}$) ⇒ vznik trhlin

ⓑ PRŮŘEZ BEZ TRHLIN ↴

vzděl. neutrální osy

$$x_{cr,ef} = \frac{d_{c,ef}}{\beta} \cdot A_{s1} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2\beta}{d_{c,ef}} \cdot \frac{A_{s1} \cdot d}{A_{s1}^2}} \right] =$$

$$= \frac{17,2}{1} \cdot 2041 \cdot 10^{-6} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1}{17,2} \cdot \frac{2041 \cdot 10^{-6} \cdot 0,276}{(2041 \cdot 10^{-6})^2}} \right]$$

$$x_{cr,ef} = \underline{0,108 \text{ m}}$$

$$I_{II,ef} = \frac{1}{3} \cdot \beta \cdot x_{cr,ef}^3 + d_{c,ef} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_{cr,ef})^2 =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,108^3 + 17,2 \cdot 2041 \cdot 10^{-6} \cdot (0,276 - 0,108)^2 = \underline{1,396 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4}$$

• výpočet rozdělní souč. z (trhliny při char. kombinaci)

$$M_{E,pr} = M_{cr,ef}$$

$$\beta = 0,5$$

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr,ef}}{M_{E,pr}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{68,03}{68,03} \right)^2 = \underline{0,5}$$

• vážený moment setrvačnosti

$$I_{It} = \frac{I_{II,ef} \cdot I_{I,ef}}{\xi \cdot I_{I,ef} + (1 - \xi) \cdot I_{II,ef}} = \frac{3,894 \cdot 10^{-3} \cdot 1,396 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 3,894 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,5) \cdot 1,396 \cdot 10^{-3}}$$

$$I_{It} = \underline{2,055 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4}$$



- prázdný průhyb pro CHAR. KOMBINACI: $w_{c,k} = 1,8 \text{ mm}$ (viz SCIA Engineer)

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I_c = \underline{3,573 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4}$$

$$w_{It} = w_{c,k} \cdot \frac{E_{cm} \cdot I_c}{E_{c,ef} \cdot I_{It}} = 1,8 \cdot \frac{32 \cdot 3,573 \cdot 10^{-3}}{11,6 \cdot 2,055 \cdot 10^{-3}} = \underline{8,63 \text{ mm}}$$

Smrštění a dotvarování ↴

$$h_0 = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{souč. dotvarování} \xrightarrow{\text{GRAF}} \varphi_{e,sh}(\infty; t_0 = 7 \text{ dní}) = \underline{2,5}$$

• Poměrně smršť. vysycháním:

$$t = 50 \cdot 365 = \underline{18250 \text{ dní}}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} = \frac{(18250 - 7)}{(18250 - 7) + 0,04 \cdot \sqrt{350^3}} = \underline{0,986}$$

$$h_0 = 350 \text{ mm} \xrightarrow{\text{interpolace}} k_h = \underline{0,7625}$$

$$\text{CEM N} - d_{sd1} = 4$$

$$d_{sd2} = 9,12$$

$$RH = 80\%$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{80}{79,9} \right)^3 \right] = \underline{0,756}$$

$$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$$

$$E_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot d_{sd1}) \cdot e^{\left(-d_{sd2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right)} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} =$$

$$= 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot 4) \cdot e^{-0,12 \cdot \frac{38}{10}} \right] \cdot 10^{-6} \cdot 0,756 =$$

$$= \underline{2,688 \cdot 10^{-4}}$$

$$E_{cd,\infty} = k_n \cdot E_{cd,0} \cdot \beta_{ds} = 0,7625 \cdot 0,986 \cdot 2,688 \cdot 10^{-4} = \underline{2,021 \cdot 10^{-4}}$$

• Autogenní smršť:

$$E_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot E_{ca}(\infty) = 1,9 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = \underline{5 \cdot 10^{-5}}$$

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

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

• Celk. poměrné smršťování: $E_{cs} = E_{ca} + E_{ca} = 2,021 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} = \underline{2,521 \cdot 10^{-4}}$

VÝPOČET PRŮHYBU OD SMRŠŤOVÁNÍ

$$E_{c,ef,sh} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{c,sh}} = \frac{32}{1 + 2,5} = \underline{9,14 \text{ GPa}}$$

$$\lambda_{e,sh} = \frac{E_s}{E_{c,ef,sh}} = \frac{200}{9,14} = \underline{21,88}$$

A. Průřez bez trhliny ↴

$$\cdot A_{I,ef,sh} = A_c + d_{c,ef,sh} \cdot A_{s1} = 0,38 + 21,88 \cdot 2011 \cdot 10^{-6} = \underline{0,394 \text{ m}^2}$$

$$\begin{aligned} \cdot a_{I,ef,sh} &= [A_c \cdot a_c + d_{c,ef,sh} \cdot A_{s1} \cdot d] / A_{I,ef,sh} = \\ &= (0,35 \cdot 0,175 + 21,88 \cdot 2011 \cdot 10^{-6} \cdot 0,276) / 0,424 = \underline{0,186 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot I_{I,ef,sh} &= I_c + A_c \cdot (a_{I,ef,sh} - a_c)^2 + d_{c,ef,sh} \cdot A_{s1} \cdot (d - a_{I,ef,sh})^2 = \\ &= 3,573 \cdot 10^{-3} + 0,35 \cdot (0,173 - 0,175)^2 + 21,88 \cdot 2011 \cdot 10^{-6} \cdot (0,276 - 0,173)^2 = \\ &= \underline{3,972 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4} \end{aligned}$$

$$\cdot S_{I,ef,sh} = A_s \cdot (d - a_{I,ef,sh}) = 2011 \cdot 10^{-6} \cdot (0,276 - 0,186) = \underline{1,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}$$

B. Průřez s trhlinou ↴

$$\begin{aligned} \cdot x_{cr,ef,sh} &= \frac{d_{c,ef,sh}}{b} \cdot A_{s1} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{d_{c,ef,sh}} \cdot \frac{A_{s1} d}{A_{s1}^2}} \right] = \\ &= \frac{21,88}{1,0} \cdot 2011 \cdot 10^{-6} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1,0}{21,88} \cdot \frac{2011 \cdot 10^{-6} \cdot 0,276}{(2011 \cdot 10^{-6})^2}} \right] = \\ &= \underline{0,118 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot I_{II,ef,sh} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{cr,ef,sh}^3 + d_{c,ef,sh} \cdot A_{s1} \cdot (d - x_{cr,ef,sh})^2 = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,118^3 + 21,88 \cdot 2011 \cdot 10^{-6} \cdot (0,276 - 0,118)^2 = \\ &= \underline{1,646 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4} \end{aligned}$$

$$\cdot S_{II,ef,sh} = A_s \cdot (d - x_{cr,ef,sh}) = 2011 \cdot 10^{-6} \cdot (0,276 - 0,118) = \underline{3,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}$$

Výsledná křivost od smršťování ↴

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{r}\right)_{es} &= E_{cs} \cdot d_{c,ef,sh} \cdot \left[(1 - \xi_{yp,ef}) \cdot \frac{S_{I,ef,sh}}{I_{I,ef,sh}} + \xi \cdot \frac{S_{II,ef,sh}}{I_{II,ef,sh}} \right] = \\ &= 2,521 \cdot 10^4 \cdot 21,88 \cdot \left[(1 - 0,5) \cdot \frac{1,81 \cdot 10^{-4}}{3,972 \cdot 10^{-3}} + 0,5 \cdot \frac{3,177 \cdot 10^{-4}}{1,646 \cdot 10^{-3}} \right] = \\ &= \underline{6,58 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}} \end{aligned}$$

Průhyb od smršťování ↘

$$k = \frac{1}{16}$$

$$W_{sh} = k \cdot l^2 \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = \frac{1}{16} \cdot 5,405^2 \cdot 6,58 \cdot 10^{-4} = \underline{\underline{1,21 \text{ mm}}}$$

CELKOVÝ PRŮHYB ↘

$$W_{celk} = W_{lt} + W_{sh} = 8,63 + 1,21 = \underline{\underline{9,84 \text{ mm}}}$$

- pružný průhyb ze SCIA Engineer: $W_{SCIA} = \underline{\underline{3,1 \text{ mm}}}$

- poměr výsledného průhybu oproti pružnému průhybu

$$\Rightarrow \Delta = \frac{W_{celk}}{W_{SCIA}} = \frac{9,84}{3,1} = 3,17 = \underline{\underline{3,5}} \text{ (rezerva)}$$

\Rightarrow VÝSLEDNÍ PRŮHYB = pružný průhyb ze SCIA Engineer vynásobený součinitelem $\Delta = \underline{\underline{3,5}}$

Limitní průhyb - okraje oválu - okenní výplně

$$W_{Lim, kraj} = \frac{L}{500} = \frac{10810}{500} = \underline{\underline{21,62 \text{ mm}}}$$

- vnitřní část oválu

$$W_{Lim, in} = \frac{L}{250} = \frac{10810}{250} = \underline{\underline{43,24 \text{ mm}}}$$

MENŠÍ
OVAŁ

$$- W_{Lim, kraj} = \frac{L}{500} = \frac{16960}{500} = \underline{\underline{33,92 \text{ mm}}}$$

$$- W_{Lim, in} = \frac{L}{250} = \frac{16960}{250} = \underline{\underline{67,84 \text{ mm}}}$$

VĚTŠÍ
OVAŁ

rozpětí mezi vnitř.
konstrukcemi $\Rightarrow \frac{5000}{250} = \underline{\underline{20 \text{ mm}}}$

\Rightarrow Po přenásobení pružného průhybu ze SCIA Engineer všechny průhyby vyhovují limitním hodnotám.

- Konstrukce vyhovuje na MSP - přetvoření ✓

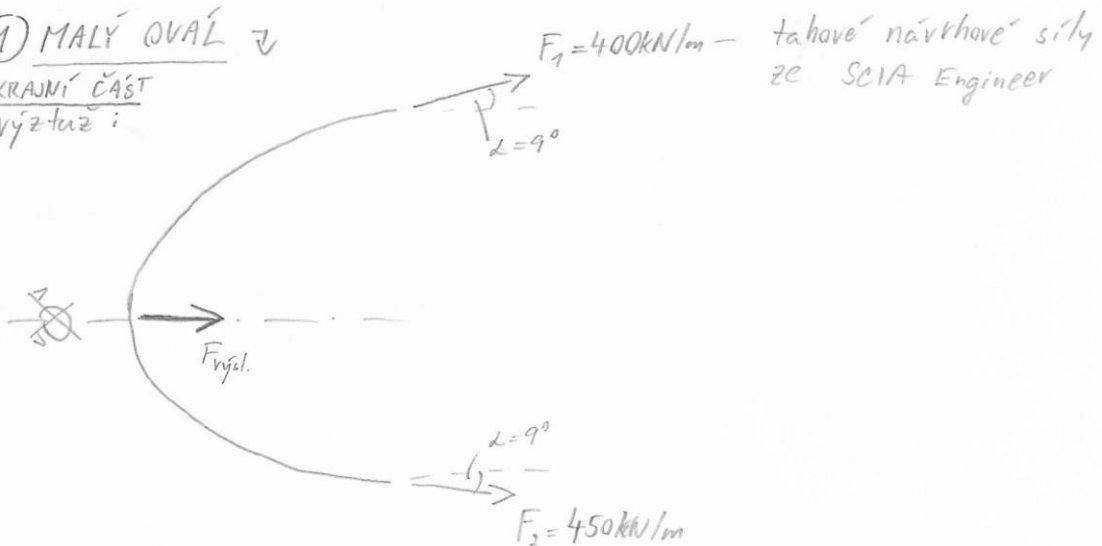
Příloha 7 - Návrh a posouzení spon

ocel: B500B

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

① MALÝ OVAL

- KRAJNÍ ČÁST
výztuž:



$$F_{\text{výsl.}} = F_1 \cdot \cos 9^\circ + F_2 \cdot \cos 9^\circ = 400 \cdot \cos 9^\circ + 450 \cdot \cos 9^\circ = \underline{\underline{840 \text{ kN/m}}}$$

návrh: $\varnothing_{sp} = 10 \text{ mm}$

$$A_{s1} = \pi \cdot \left(\frac{\varnothing_{sp}}{2}\right)^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

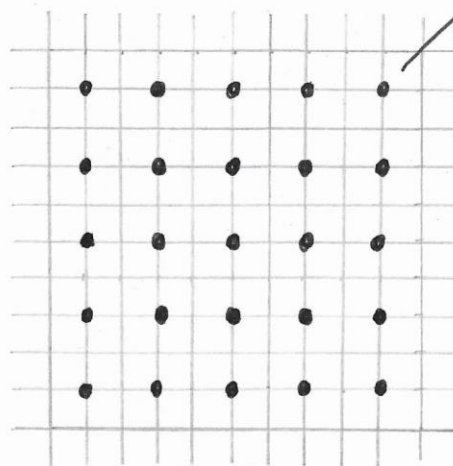
$$F_{Re,1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = (78,5 \cdot 435) / 1000 = \underline{\underline{34,1 \text{ kN}}}$$

• počet spon: $X = \frac{F_{\text{výsl.}}}{F_{Re,1}} = \frac{840}{34,1} = 24,6 = \underline{\underline{25 \text{ ks}}}$

$$25 \text{ ks/m}^2 \Rightarrow \underline{\underline{5 \times 5}}$$

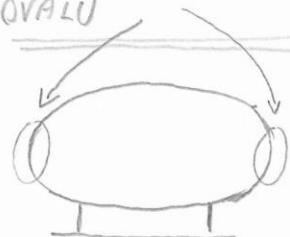
$$\text{rozetč: } s = 1000 / 5 = \underline{\underline{200 \text{ mm}}}$$

• rastr výztuže po 100 mm



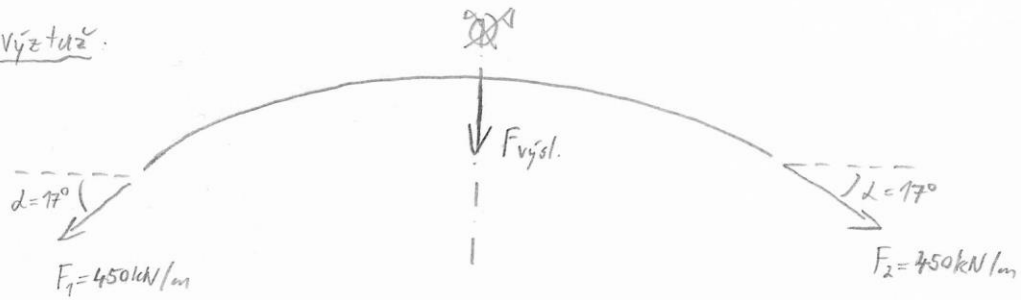
spony $\varnothing 10 / 200 \text{ mm}$

↑
VÝSLEDNÝ RASTR SPON
V KRAJNÍCH ČÁSTECH
OVAĽU



- VRCHNÍ A SPODNÍ ČÁST

Výztuž:



$$F_{vysl.} = F_1 \cdot \sin(17) + F_2 \cdot \sin(17) = 2 \cdot 450 \cdot \sin(17) = \underline{263 \text{ kN/m}}$$

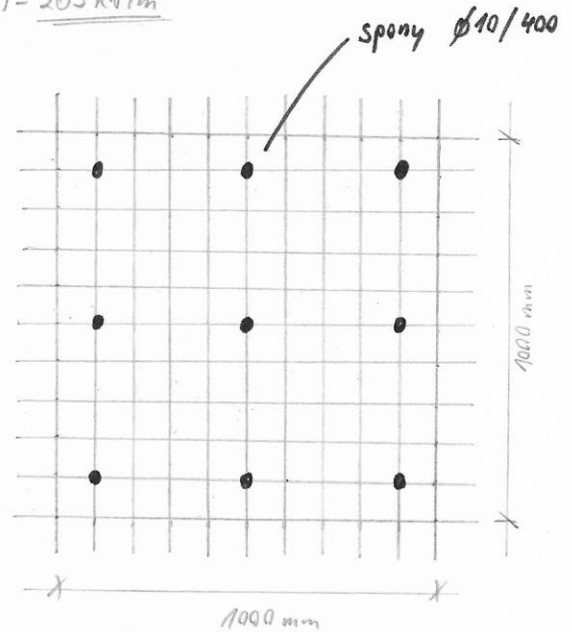
$$F_{rd,1} = \underline{34,1 \text{ kN}} \quad (d_{sp} = 10 \text{ mm})$$

$$x = \frac{F_{vysl.}}{F_{rd,1}} = \frac{263}{34,1} \approx 7,7 = \underline{8 \text{ ks}}$$

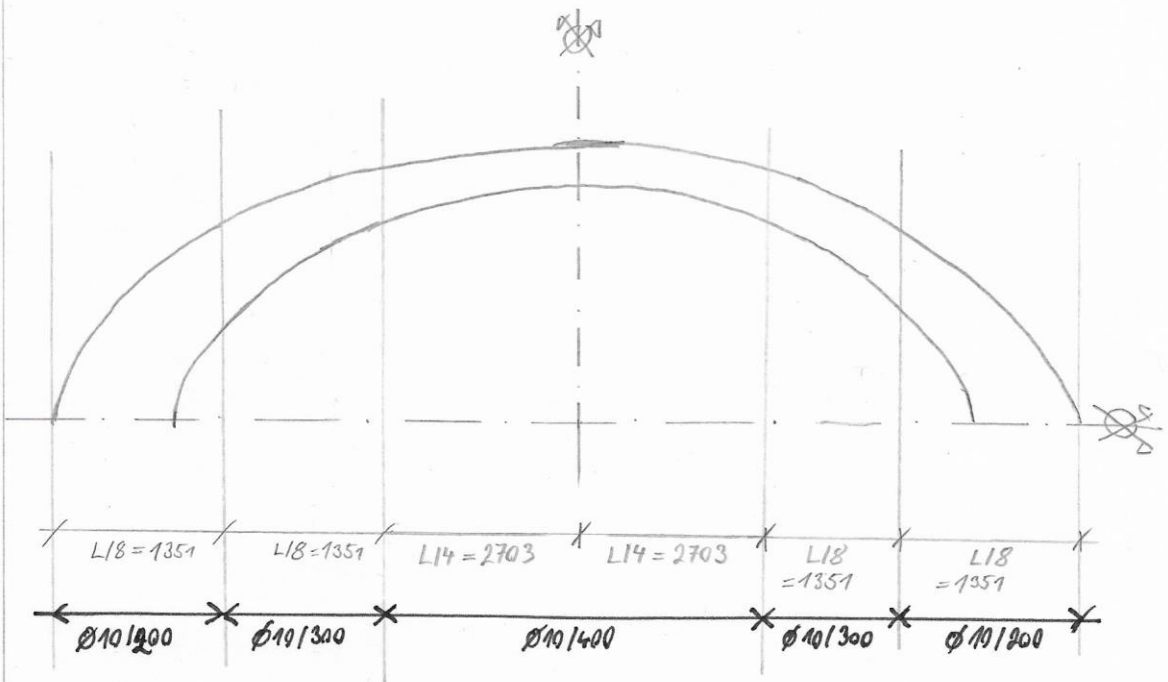
$$8 \text{ ks/m}^2 \Rightarrow \underline{3 \times 3}$$

$$s = 1000/3 = 333,3 \approx \underline{400 \text{ mm}}$$

\Rightarrow VÝSLEDNÝ RASTR SPON $\varnothing 10/400$
VE VRCHNÍ A SPODNÍ ČÁSTI OVAĽU



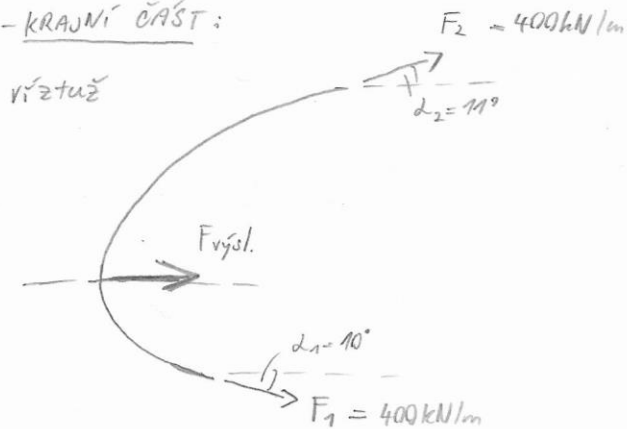
VÝSLEDNÝ NÁVRH SPON PŘÍČNÉ VÝZTUŽE



- navrhované rozteče spon jsou v příčném i podélném směru kee.

2) VELKÝ OVAL

- KRAJNÍ ČÁST:



$$F_{\text{výsl.}} = F_1 \cdot \cos \alpha_1 + F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 400 \cdot \cos(10^\circ) + 400 \cdot \cos(11^\circ) = \underline{787 \text{ kN/m}}$$

Spony: $\phi_{\text{sp}} = 10 \text{ mm}$

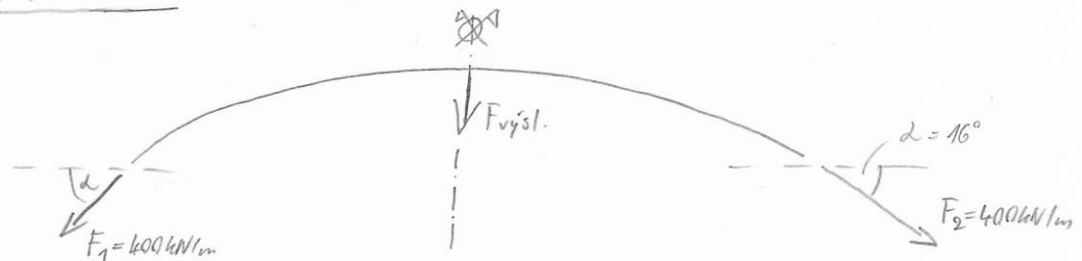
$$F_{\text{R1}} = \underline{34,1 \text{ kN}}$$

$$X = \frac{F_{\text{výsl.}}}{F_{\text{R1}}} = \frac{787}{34,1} = 23,1 = \underline{25 \text{ ks}} \Rightarrow 5 \times 5$$

$$S = \frac{1000}{5} = \underline{200 \text{ mm}}$$

\Rightarrow stejně jako u malého oválu: $\phi_{10}: 200 \times 200$.

- VRCHNÍ ČÁST:



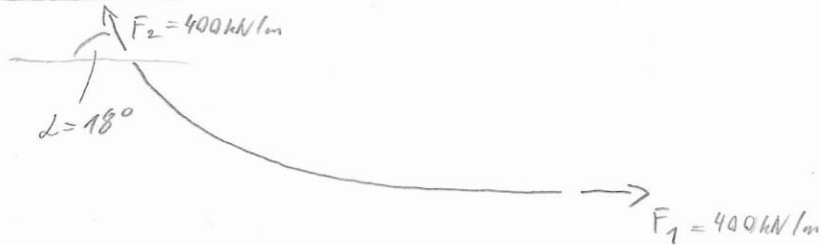
$$F_{\text{výsl.}} = 2 \cdot \sin(16^\circ) \cdot 400 = \underline{221 \text{ kN/m}}$$

$$X = \frac{F_{\text{výsl.}}}{F_{\text{R1}}} = \frac{221}{34,1} = 6,5 \text{ ks} = \underline{9 \text{ ks}} \Rightarrow 3 \times 3$$

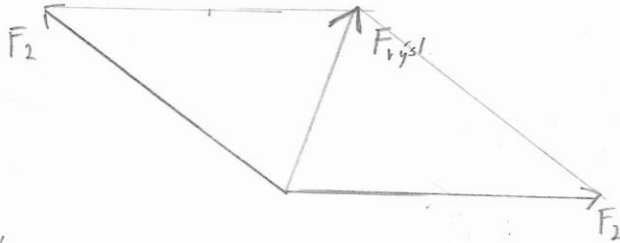
$$S = \underline{400 \text{ mm}}$$

\rightarrow stejně jako u malého oválu: $\phi_{10}: 400 \times 400$.

- spodní část



GRAFICKY:

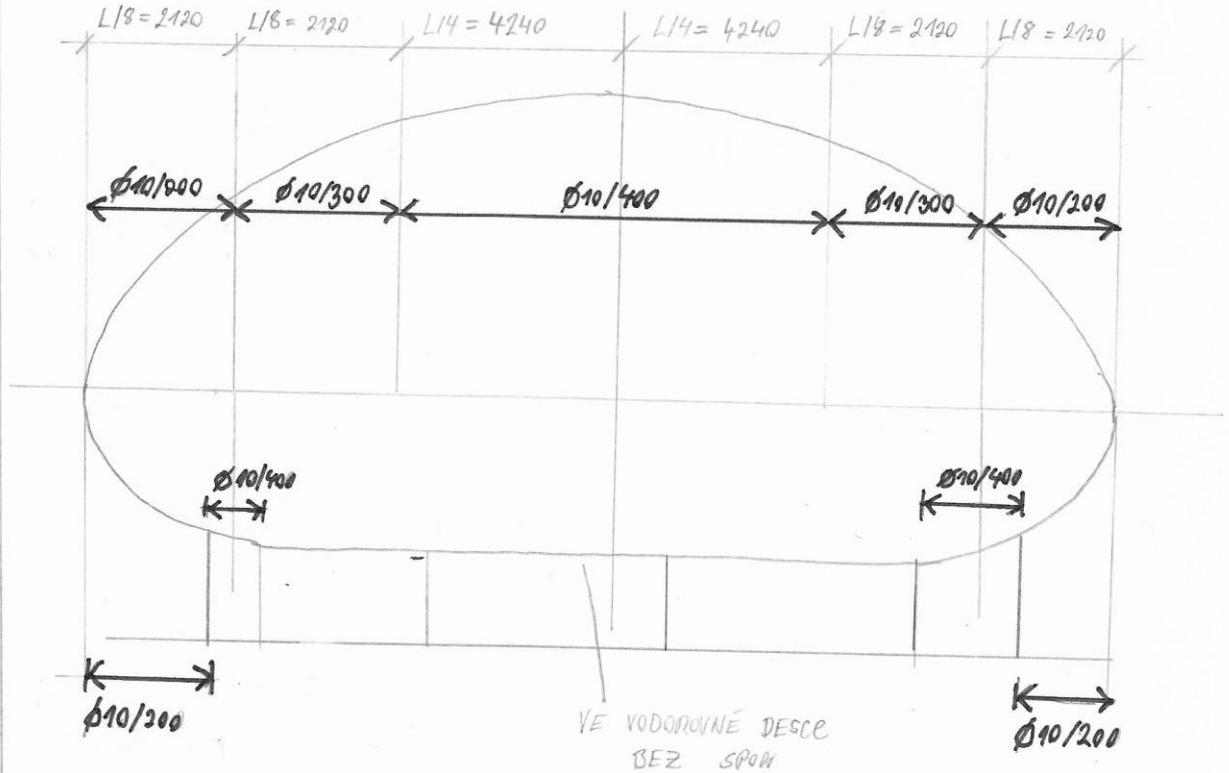


$$F_{vysl.} \approx 260 \text{ kN/m}$$

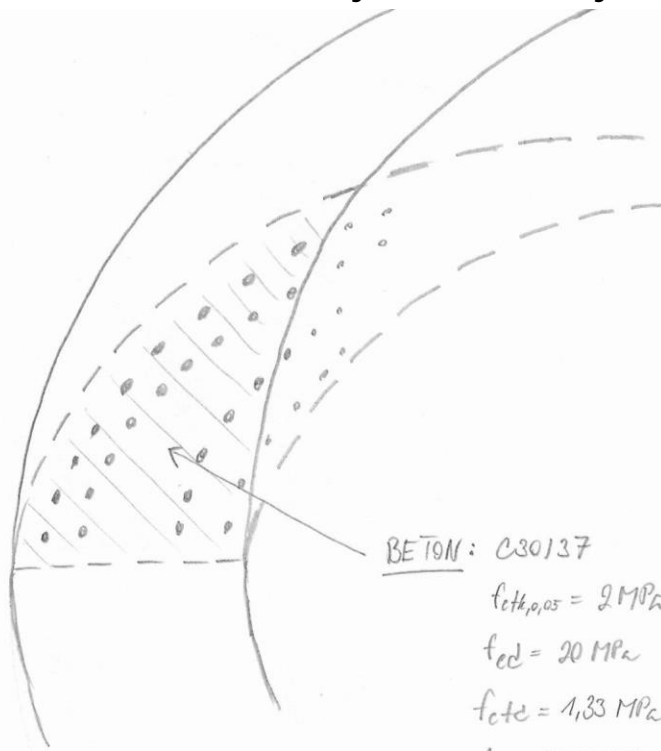
$$X = \frac{F_{vysl.}}{F_{ne,1}} = \frac{260}{34,1} \approx 7,6 = \underline{\underline{9ks}} \Rightarrow \underline{\underline{3 \times 3}}$$

$s = \underline{400 \text{ mm}} \Rightarrow$ jako vřehní část

VÝSLEDNÝ NÁVRH SPON PŘÍČNÉ VÝZTUŽE ↘



Příloha 8 - Posouzení styku mezi ovály



BETON: C30/37

$$f_{ctk,0,05} = 2 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cte} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$A_c = 945\,090 \text{ mm}^2$$

VÝZTUŽ: B500B

$$f_{yd} = 434 \text{ MPa}$$

procházej. - 24 ks $\varnothing 16$

- 26 ks $\varnothing 14$

viz výkres: "Detail napojení oválů"

Posouzení

ČSN EN 1992-1-1 - Smyk ve styčné ploše mezi betony různého stáří

$$V_{Ed,i} \leq V_{Rd,i}$$

$$\hookrightarrow V_{Ed,i} \approx \underline{3,3 \text{ MPa}} \leftarrow \text{hodnota ze SCIA Engineer}$$

$$\hookrightarrow V_{Rd,i} = c \cdot f_{ctd} + \mu \bar{\sigma}_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\hookrightarrow \bar{\sigma}_n = 0$$

$$\hookrightarrow \text{povrch drsný} - c = 0,45$$

$$\mu = 0,7$$

$$\hookrightarrow \rho = \frac{A_s}{A_i} \dots A_s = 24 \cdot \pi \cdot 8^2 + 26 \cdot \pi \cdot 7^2 = 8827,8 \text{ mm}^2 \dots \rho = \frac{8827,8}{945\,090} = \underline{0,0093}$$

$$\hookrightarrow \alpha = 90^\circ$$

$$\hookrightarrow v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = \underline{0,528}$$

$$V_{Rd,i} = 0,45 \cdot 1,33 + 0,7 \cdot 0 + 0,0093 \cdot 434 \cdot (0,7 \cdot \sin 90^\circ) \leq 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20$$

$$V_{Rd,i} = 0,5985 + 0 + 2,825 = \underline{3,423 \text{ MPa}} \approx \underline{5,28 \text{ MPa}} \quad \checkmark \text{OK}$$

POSOUZENÍ NAPĚTÍ

$$\hookrightarrow \underline{V_{Ed,i} = 3,31 \text{ MPa} < V_{Rd,i} = 3,42 \text{ MPa} \quad \checkmark}$$

STYK VYHOVUJE Z HLEDISKA PŮSOBÍCÍHO NAPĚTÍ ✓

Smyková únosnost výztuže ↘

$$F_{V,Rd} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$F_{V,Rd,\varnothing 16} = \frac{\pi \cdot 8^2 \cdot 434}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 50,47 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd,\varnothing 14} = \frac{\pi \cdot 7^2 \cdot 434}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 38,64 \text{ kN}$$

24 ks $\varnothing 16$ + 26 ks $\varnothing 14$

$$\Rightarrow F_{V,Rd,\text{celk}} = 24 \cdot F_{V,Rd,\varnothing 16} + 26 \cdot F_{V,Rd,\varnothing 14} = \underline{2215,92 \text{ kN}}$$

- délka styku $l = 2,5 \text{ m} \Rightarrow \frac{F_{V,Rd,\text{celk}}}{l} = F_{V,Rd}$

$$F_{V,Rd} = \frac{2215,92}{2,5} = \underline{880 \text{ kN/m}}$$

$$F_{V,Ed} = \underline{640 \text{ kN/m}} \leftarrow \text{hodnota ze SCIA Engineer}$$

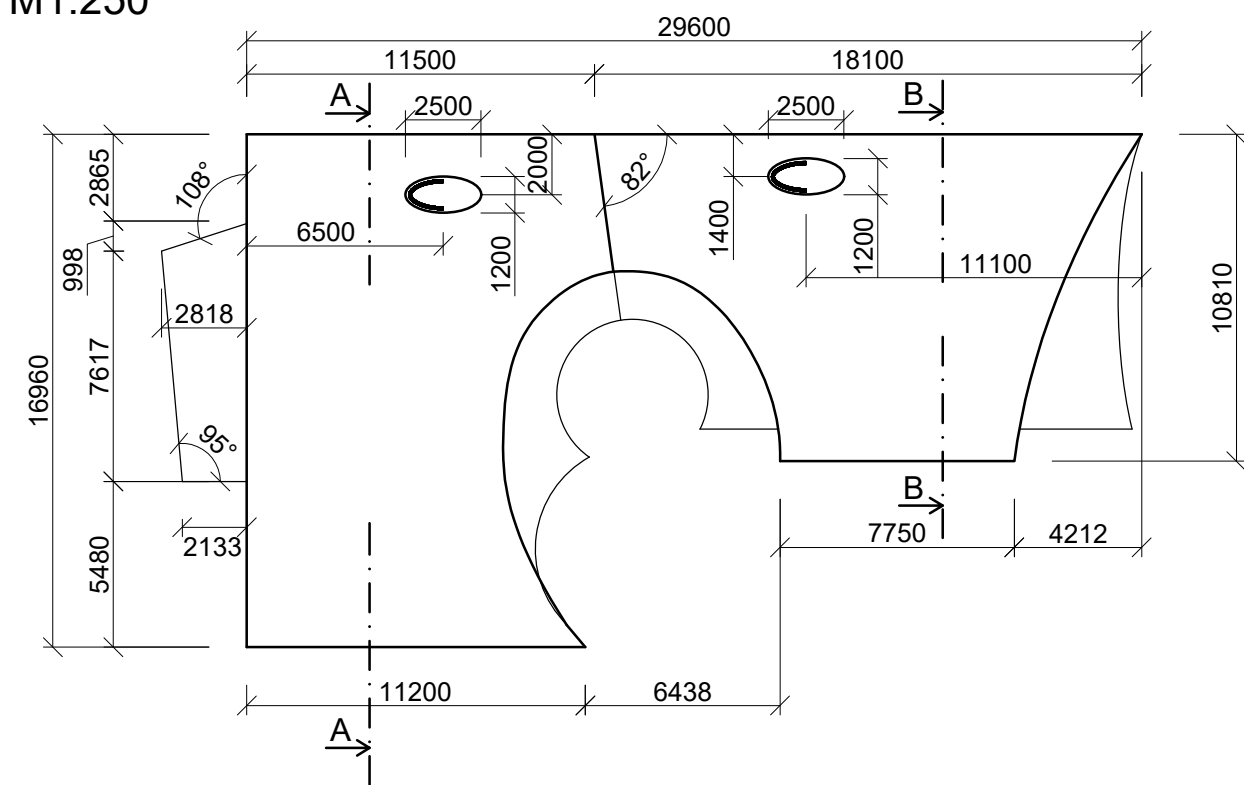
Posouzení smykové síly

$$\underline{F_{V,Ed} = 640 \text{ kN/m} < F_{V,Rd} = 880 \text{ kN/m} \quad \checkmark}$$

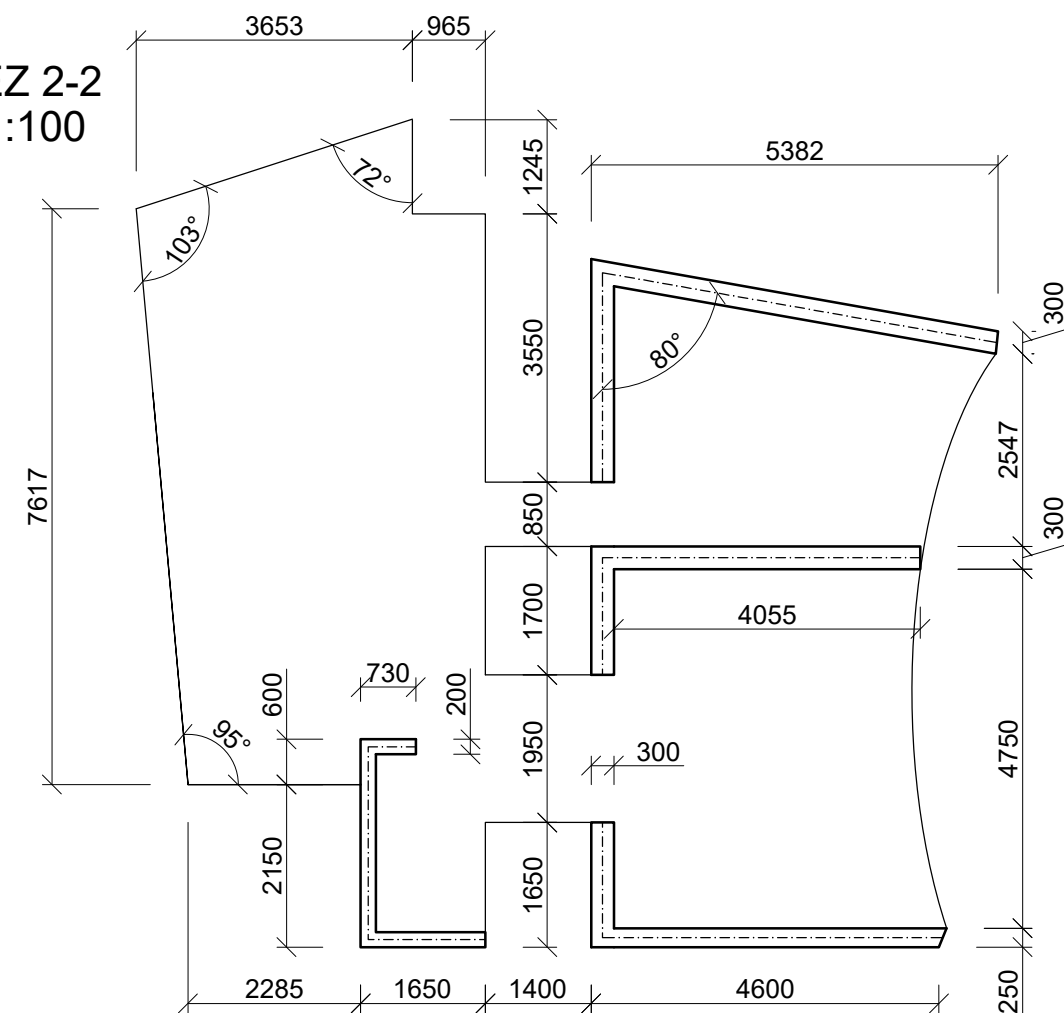
STYK VYHOVUJE Z HLEDISKA PŮSOBÍCÍCH SMYKOVÝCH SIL ✓

\Rightarrow STYK MEZI OVÁLY VYHOVUJE ✓

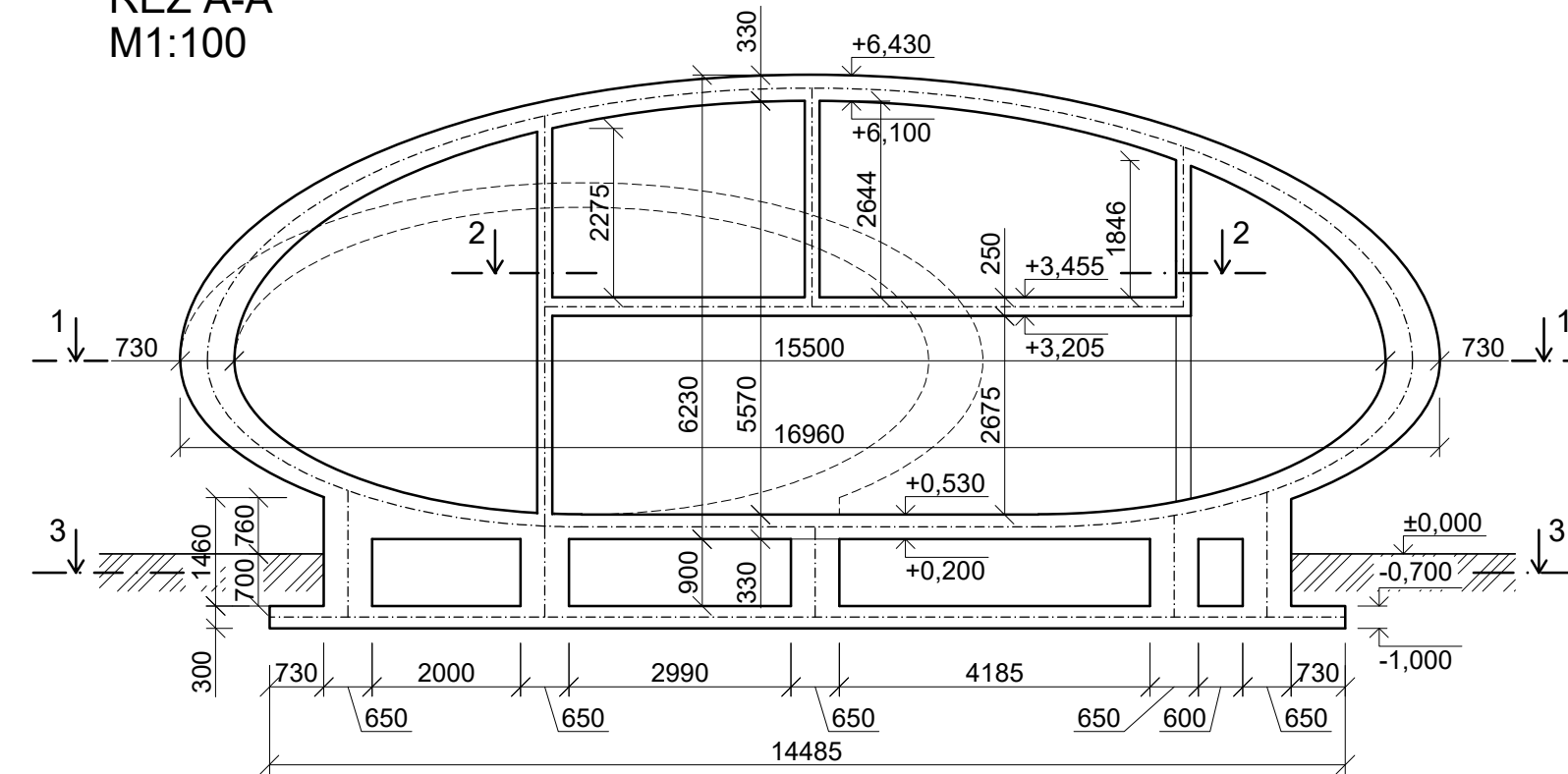
PŮDORYS
M1:250



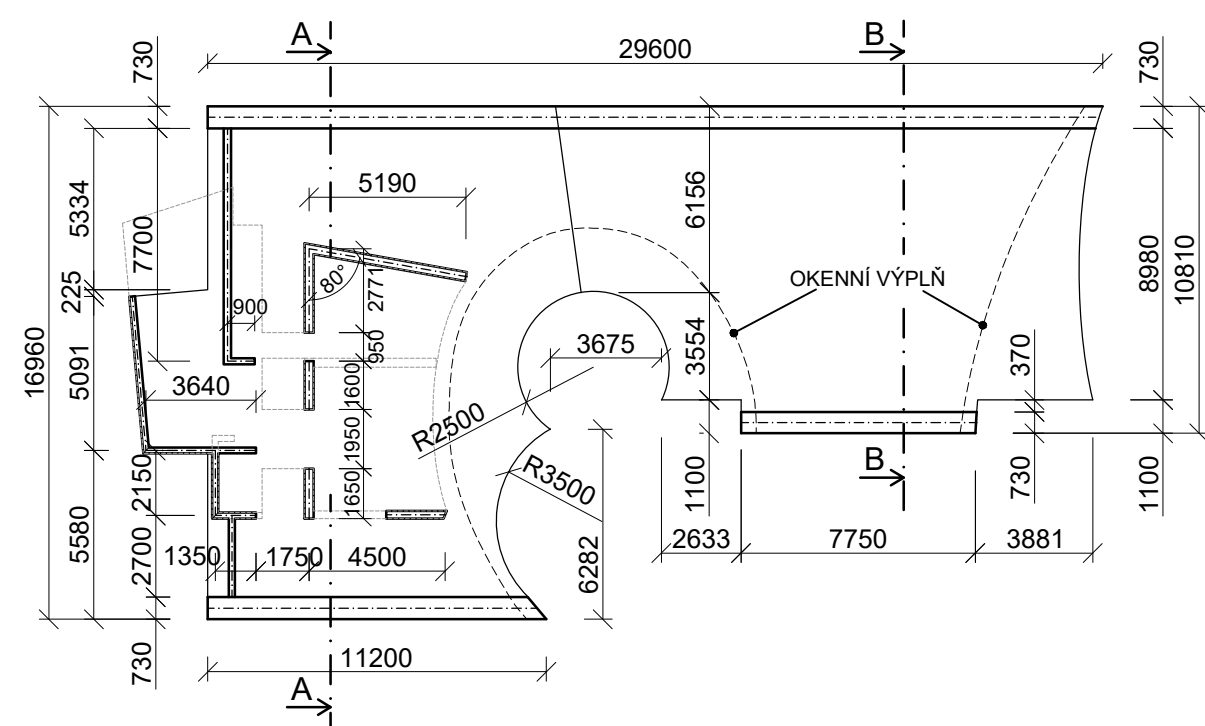
ŘEZ 2-2
M1:100



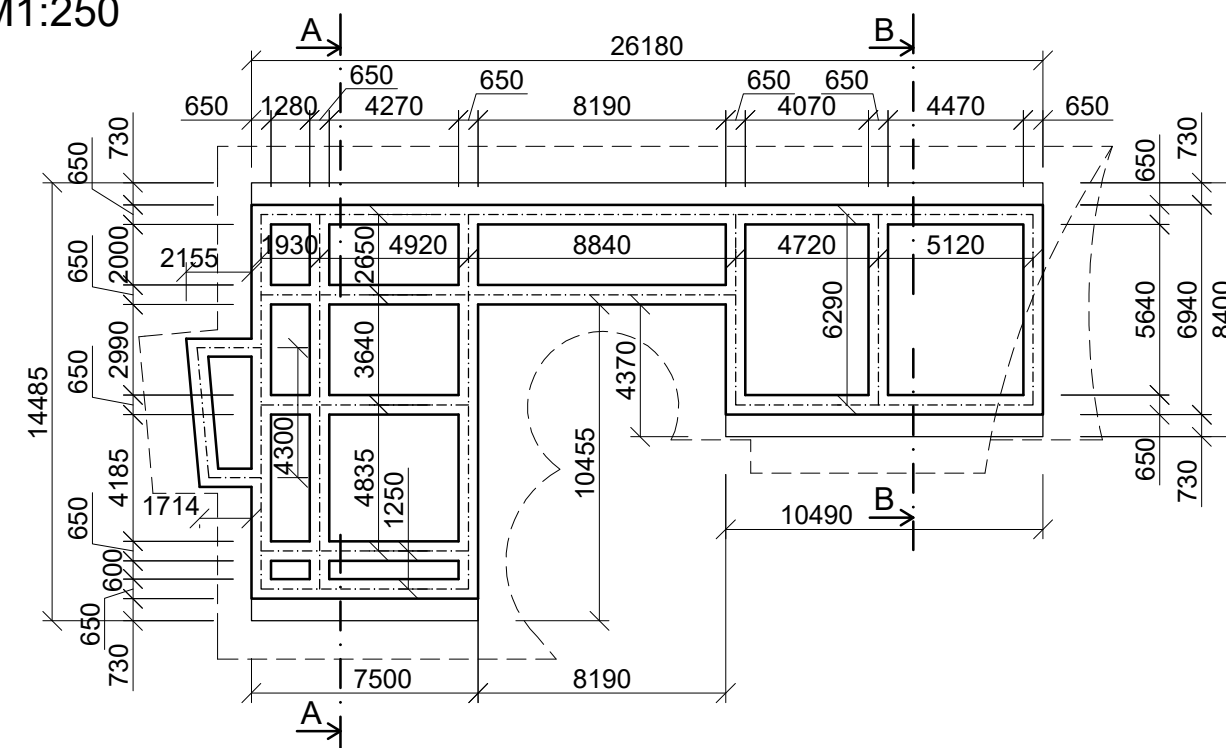
ŘEZ A-A
M1:100



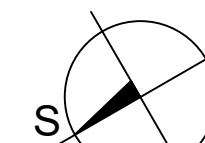
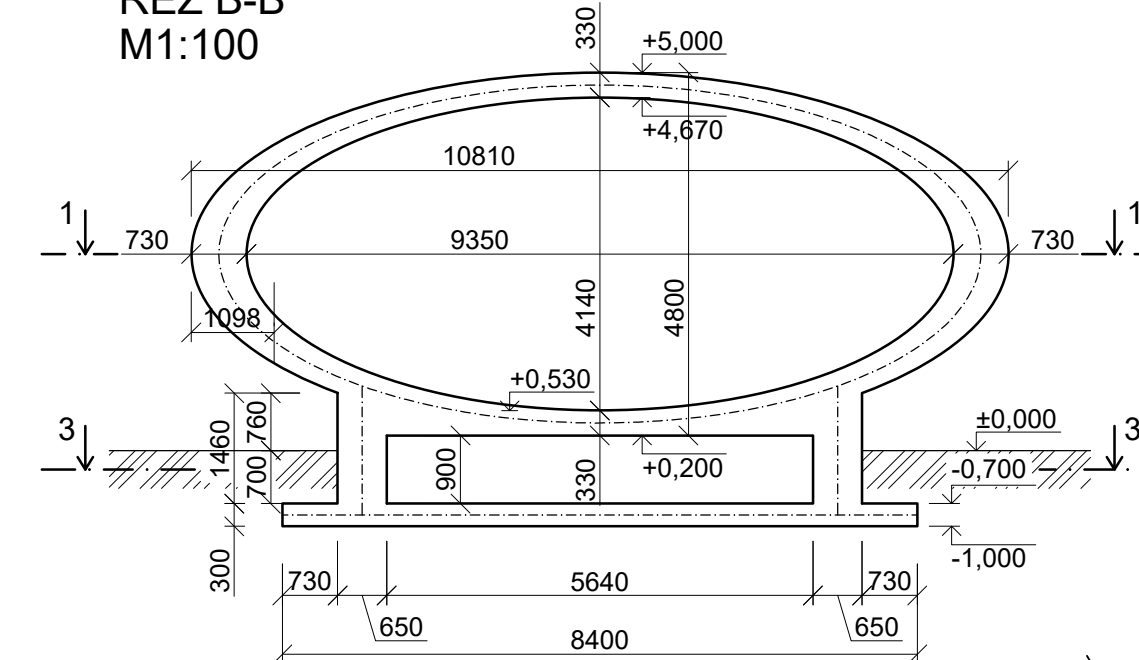
ŘEZ 1-1
M1:250



ŘEZ 3-3
M1:250



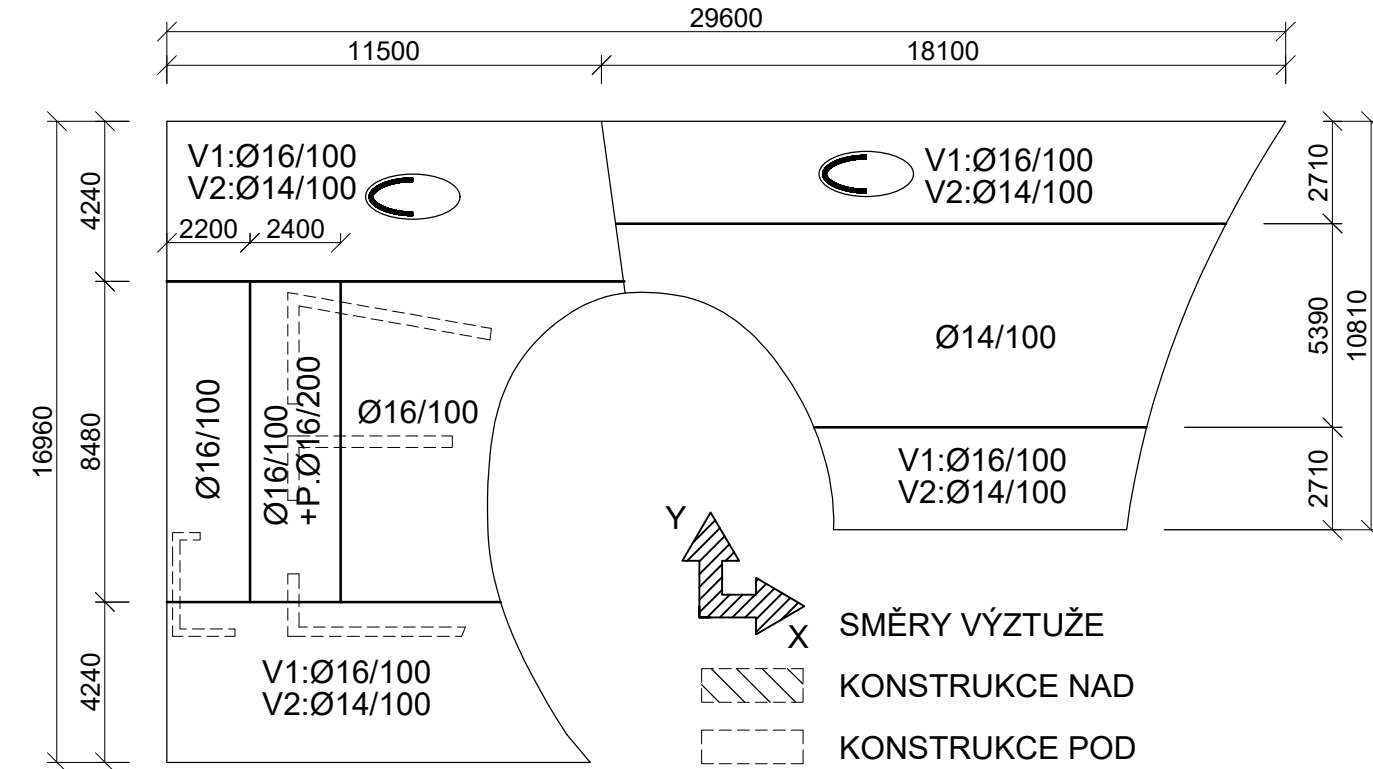
ŘEZ B-B
M1:100



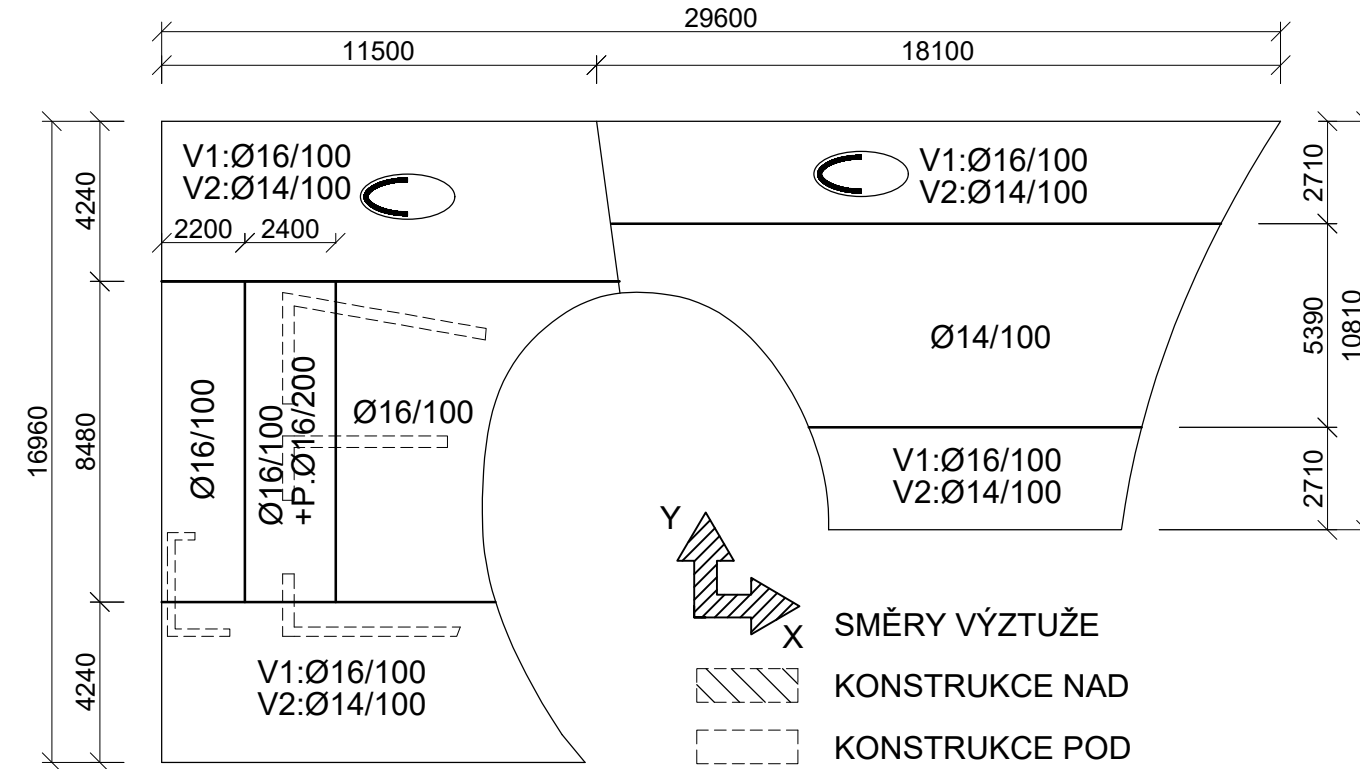
±0,000 = 863,000 B.p.v.

Zpracoval Bc. David Tomášek	Konzultant Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	Školní rok 2020/21	Fakulta stavební CVUT
Předmět Diplomová práce			Datum 03.01.21
Úloha Shell house			Měřítko 1:250, 1:100
Výkres Č.1 - Půdorys + řezy nosných konstrukcí			Formát 3x4

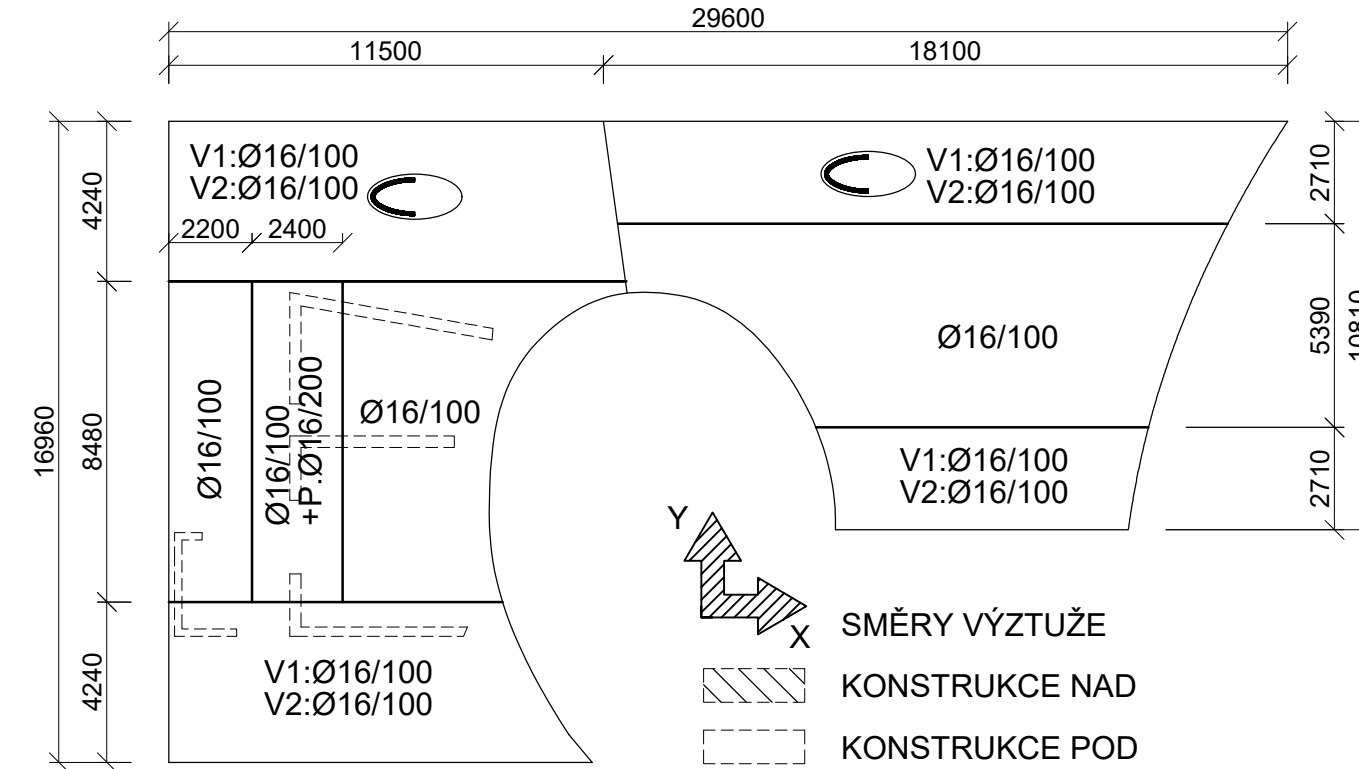
**X-VNĚJŠÍ POVRCH
HORNÍ POLOVINA**



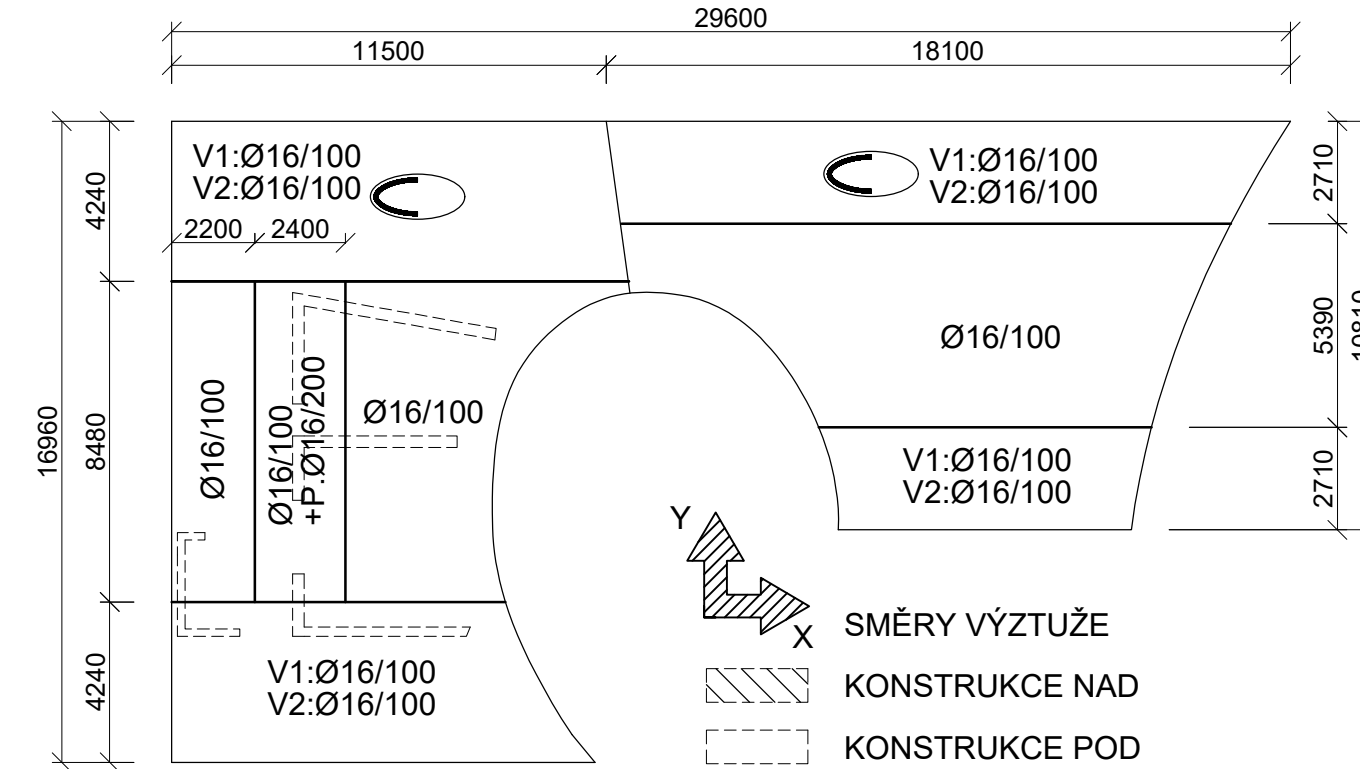
**X-VNITŘNÍ POVRCH
HORNÍ POLOVINA**



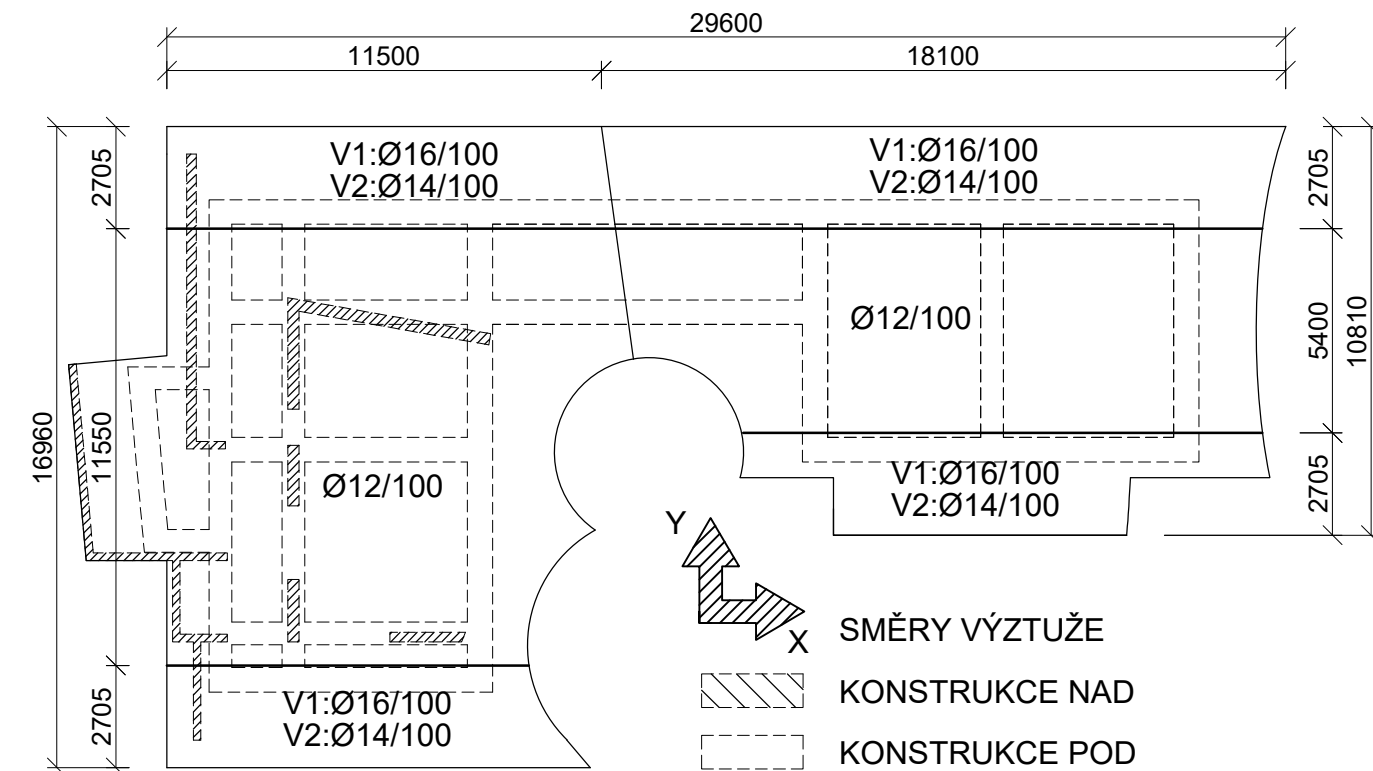
**Y-VNĚJŠÍ POVRCH
HORNÍ POLOVINA**



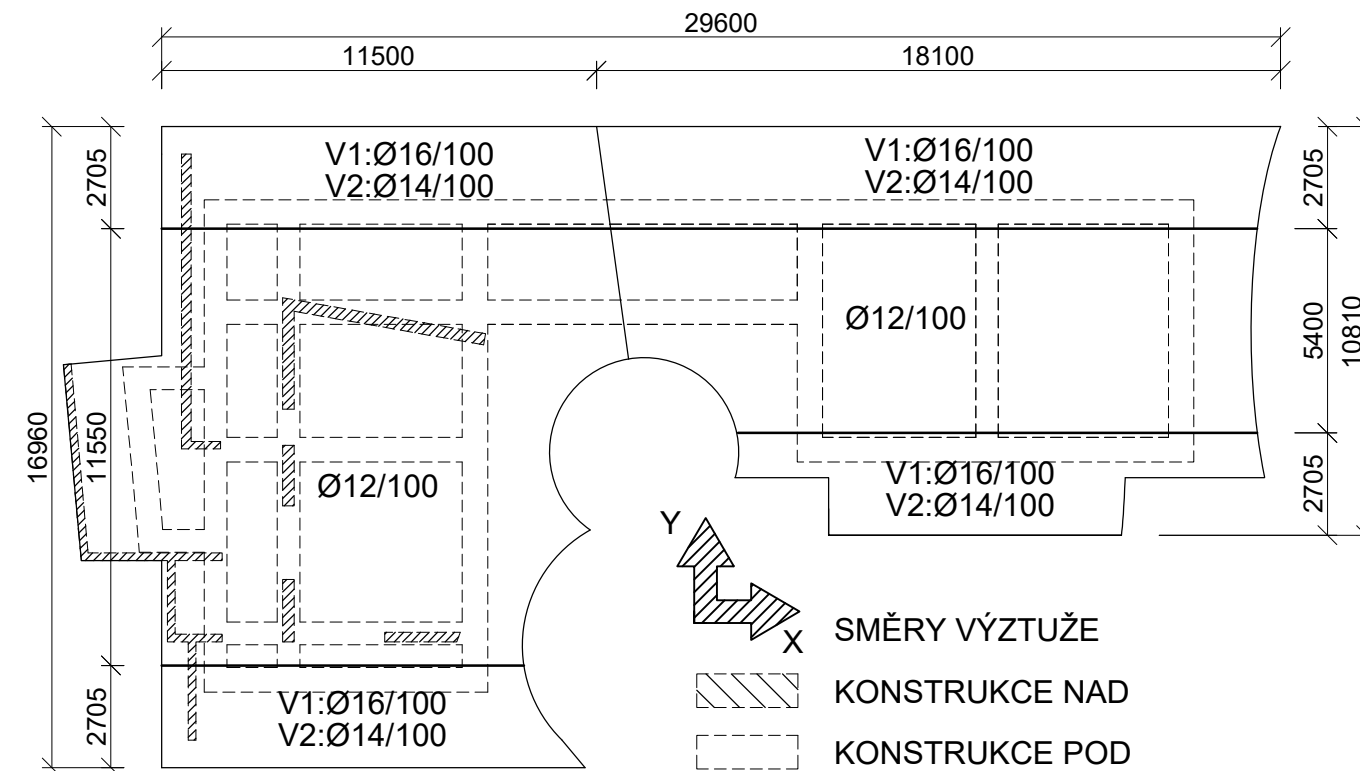
**Y-VNITŘNÍ POVRCH
HORNÍ POLOVINA**



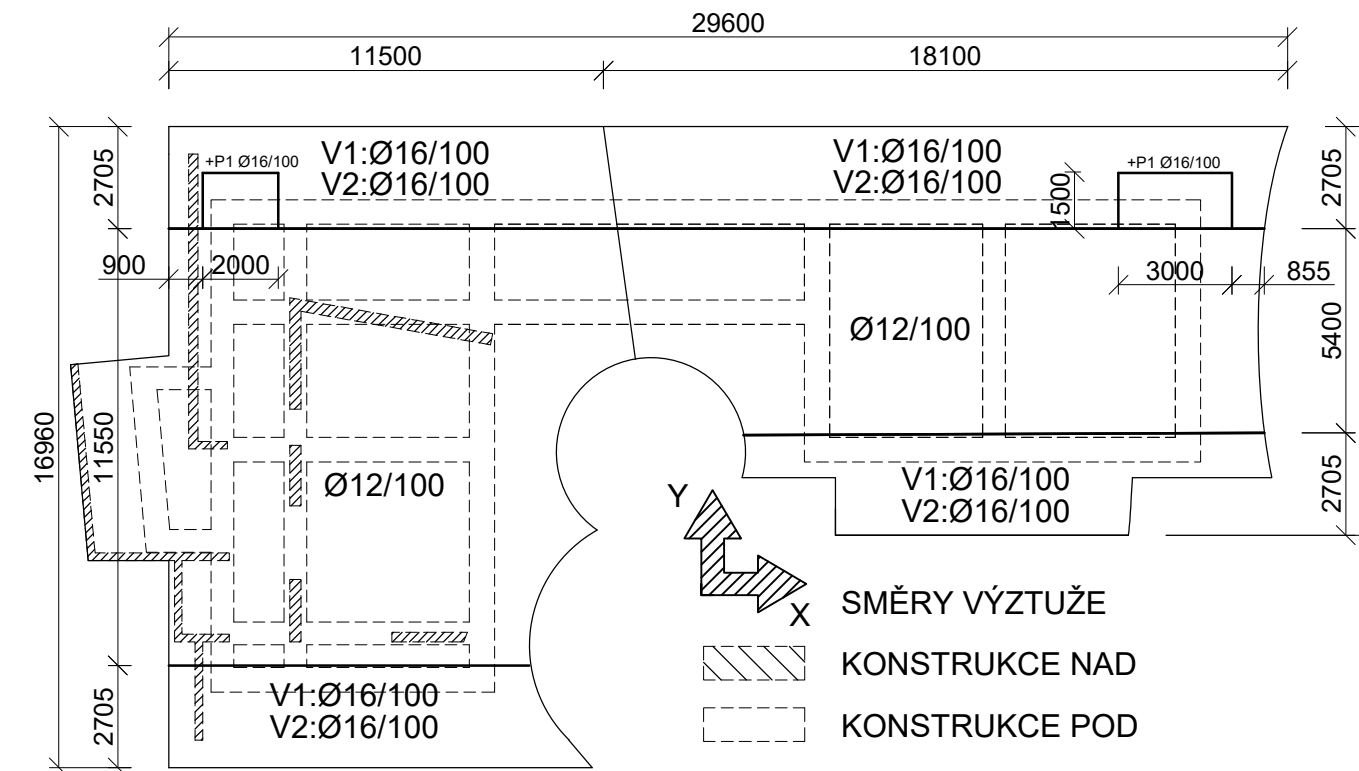
**X-VNĚJŠÍ POVRCH
DOLNÍ POLOVINA**



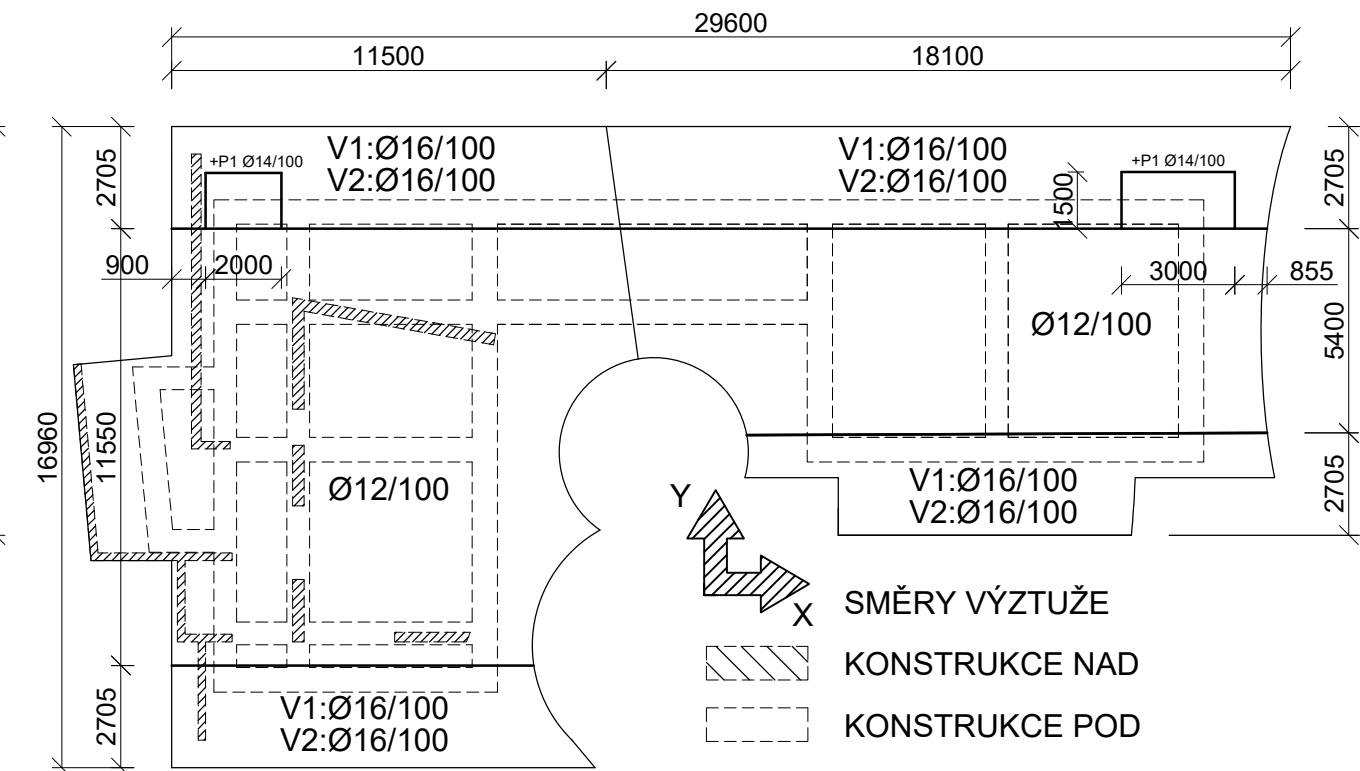
**X-VNITŘNÍ POVRCH
DOLNÍ POLOVINA**



**Y-VNĚJŠÍ POVRCH
DOLNÍ POLOVINA**



**Y-VNITŘNÍ POVRCH
DOLNÍ POLOVINA**



PŘESAHOVÉ DÉLKY:
DOBŘE / ŠPATNÉ PODMÍNKY
Ø12 ... 600/840 mm
Ø14 ... 690/990 mm
Ø16 ... 795/1125 mm

KOTEVNÍ DÉLKY:
DOBŘE / ŠPATNÉ PODMÍNKY
Ø12 ... 400/560 mm
Ø14 ... 460/660 mm
Ø16 ... 530/750 mm

MATERIÁL:
BETON: C30/37 - XC4, XF3
OČEL: B500B
KRYTÍ: c = 30mm

LEMOVÁNÍ KRAJŮ A OTVORŮ: 2x2Ø20

POZNÁMKY:

VÝZTUŽ VE SMĚRU X BLÍŽE POVRCHU
VÝZTUŽ JDOUCÍ MIMO BEDNĚNÍ ZASUNOUT NEBO PROSTRÁHNOUT
BEDNĚNÍ PROVÁDĚT DLE PLATNÉHO VÝKRESU TVARU
V MÍSTĚ OTVORŮ VÝZTUŽ PROSTRÁHNOUT NEBO ROZHRNOUT
ODSAZENÍ DRUHÉ VRSTVY VÝZTUŽE: s = 100mm
VÝZTUŽ KÓTOVANÁ NA OSU

Zpracoval Bc. David Tomášek	Konzultant Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	Školní rok 2020/21	Fakulta stavební CVUT
Předmět Diplomová práce	Datum 03.01.21		Měřítka 1:200
Úloha Shell house	Formát 4xA4		
Výkres Č.2 - Vyztužovací schémata			

VYZTUŽENÍ VĚTŠÍHO OVÁLU - M1:50

ŘEZ A-A

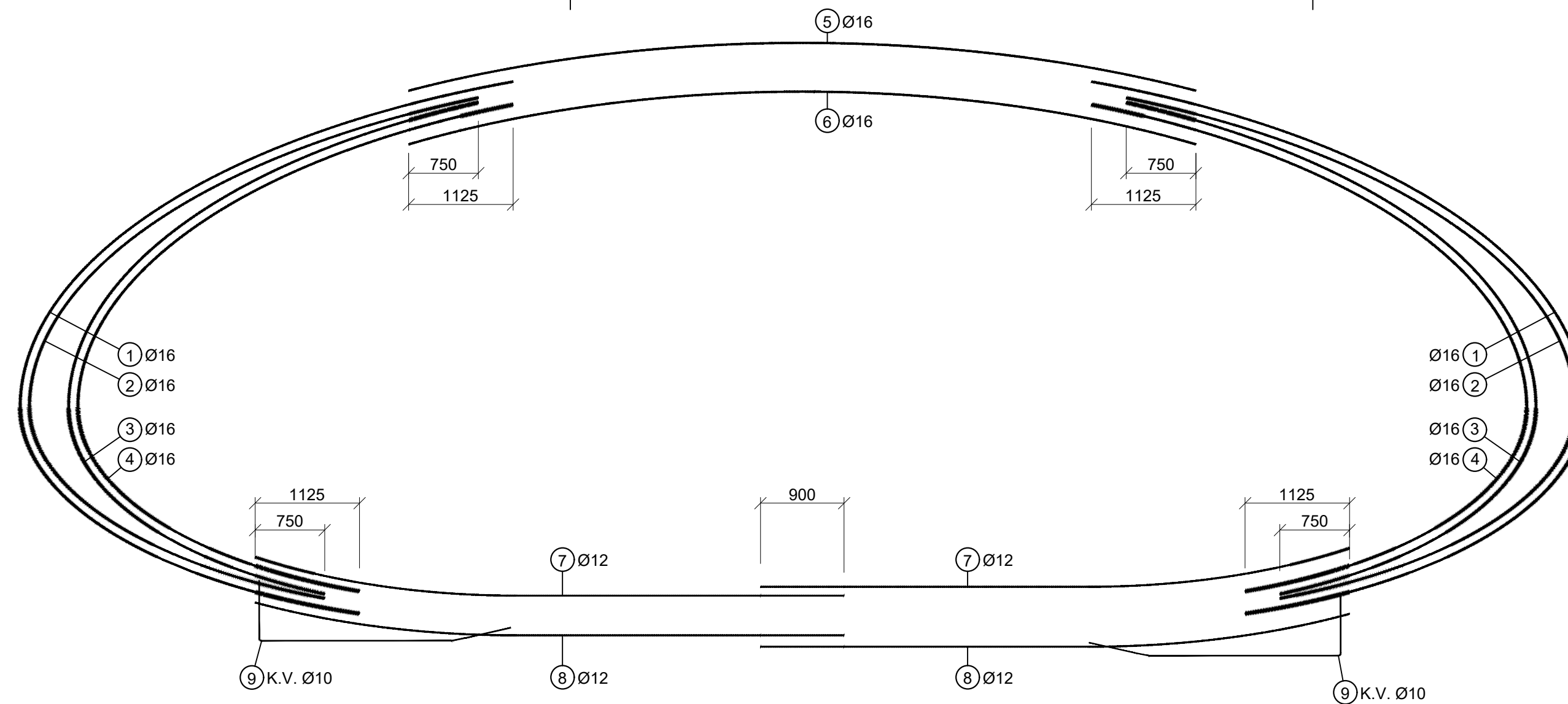
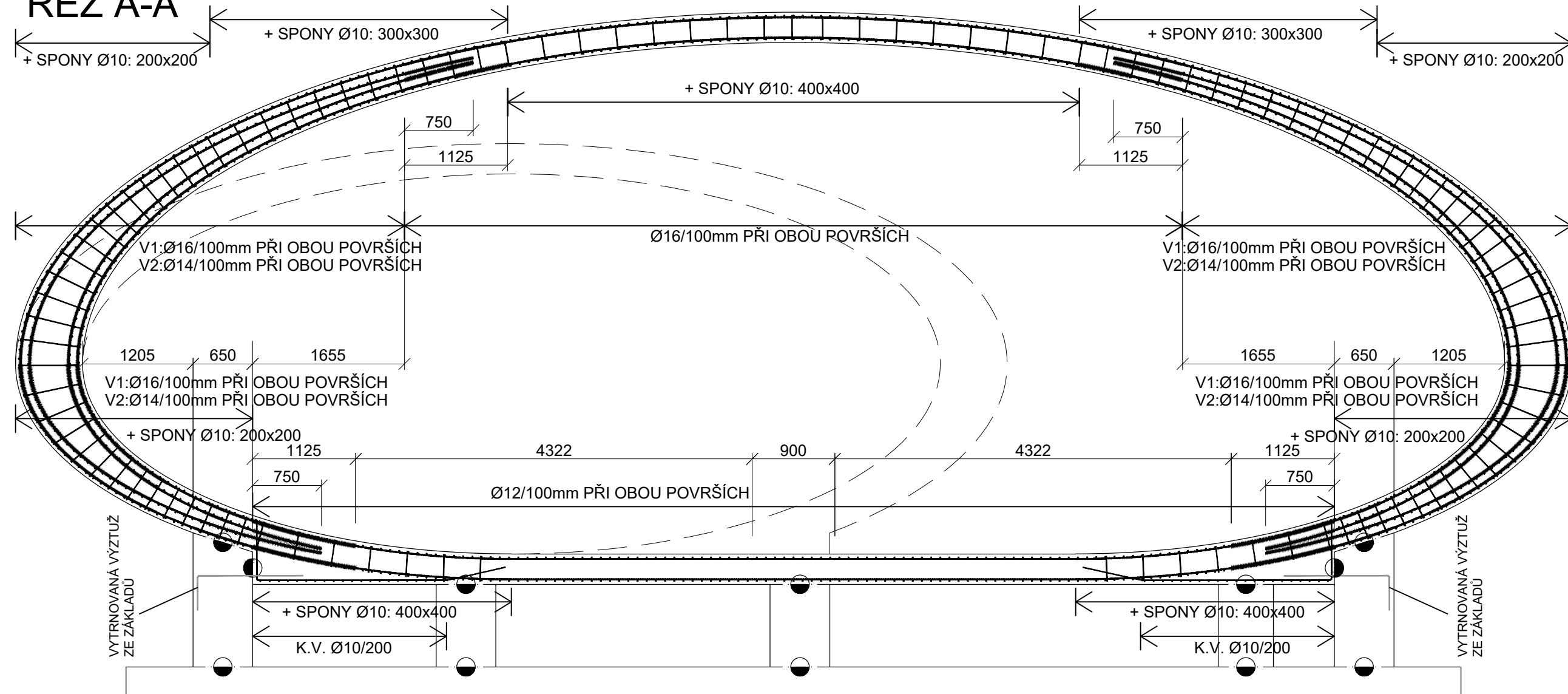
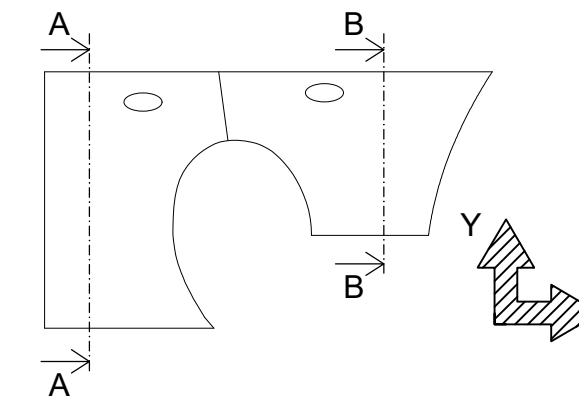
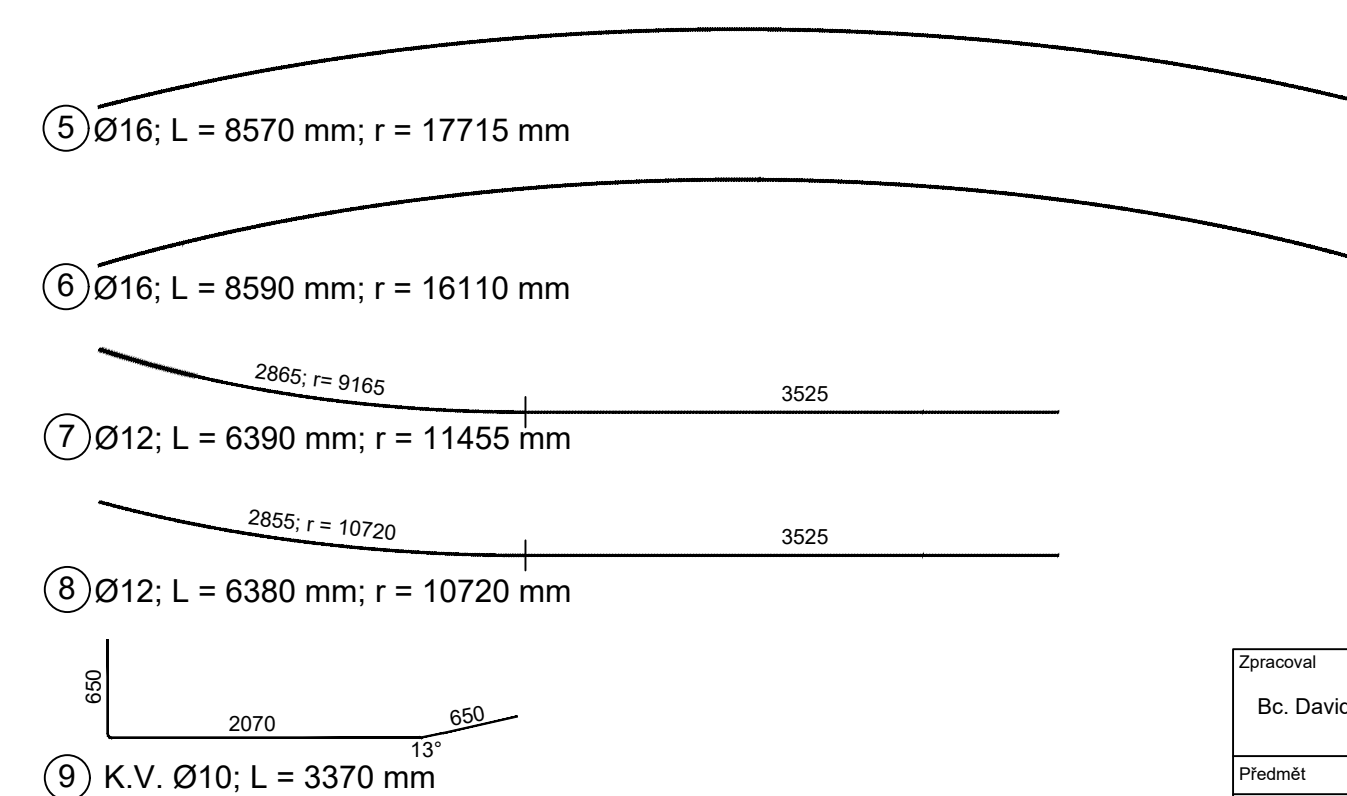
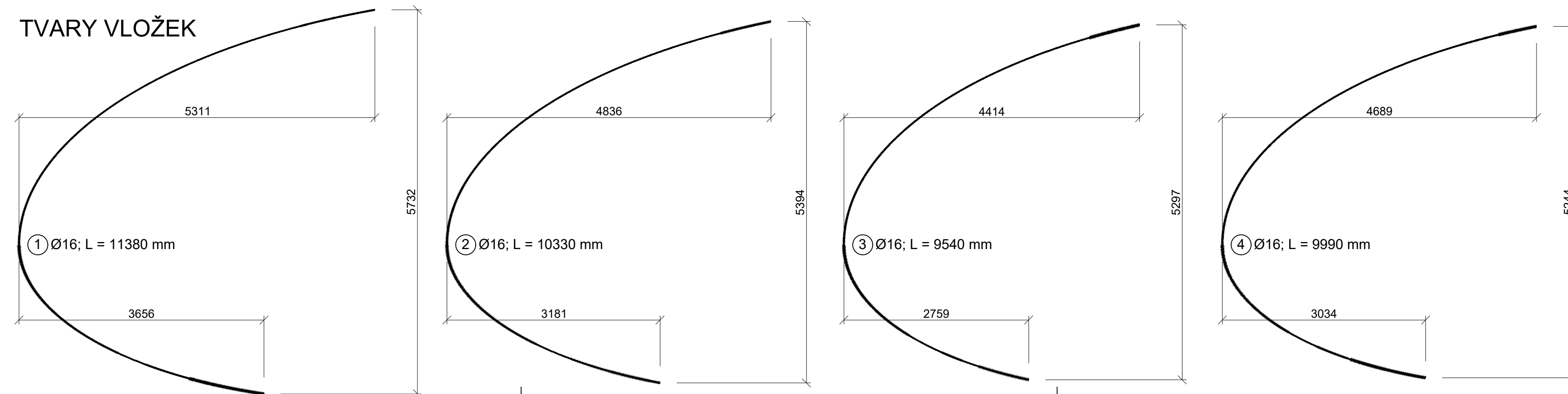


SCHÉMA:



TVARY VLOŽEK



PŘESAHOVÉ DÉLKY:
 DOBRÉ / ŠPATNÉ PODMÍNKY
 Ø12 ... 600/840 mm
 Ø14 ... 690/990 mm
 Ø16 ... 795/1125 mm

KOTEVNÍ DÉLKY:
 DOBRÉ / ŠPATNÉ PODMÍNKY
 Ø12 ... 400/560 mm
 Ø14 ... 460/660 mm
 Ø16 ... 530/750 mm

POZNÁMKY:

VÝZTUŽ V PODÉLNÉM SMĚRU BLÍŽE POVRCHU
 VÝZTUŽ JDOUCÍ MIMO BEDNĚNÍ ZASUNOUT DO BEDNĚNÍ
 BEDNĚNÍ PROVÁDĚT DLE PLATNÉHO VÝKRESU TVARU
 V MÍSTĚ OTVORŮ VÝZTUŽ PROSTRÁHNOUT NEBO ROZHRNOUT
 ODSAZENÍ DRUHÉ VRSTVY VÝZTUŽE: s = 100mm
 VÝZTUŽ KÓTOVANÁ NA OSU

PRACOVNÍ SPÁRA:

CELEK POZDĚJI BETONOVANÝ
 CELEK DŘÍVE BETONOVANÝ

MATERIÁL:

BETON: C30/37 - XC4, XF3
 OCEL: B500B
 KRYTÍ: c = 30mm

Zpracoval Bc. David Tomášek	Konzultant Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	Školní rok 2020/21	Fakulta stavební CVUT
Předmět Diplomová práce	Datum 03.01.21		
Úloha Shell house	Měřítko 1:50		
Výkres Č.3 - Výkres vyztužení většího oválu	Formát 4xA4		

VYZTUŽENÍ MENŠÍHO OVÁLU - M1:50

ŘEZ B-B

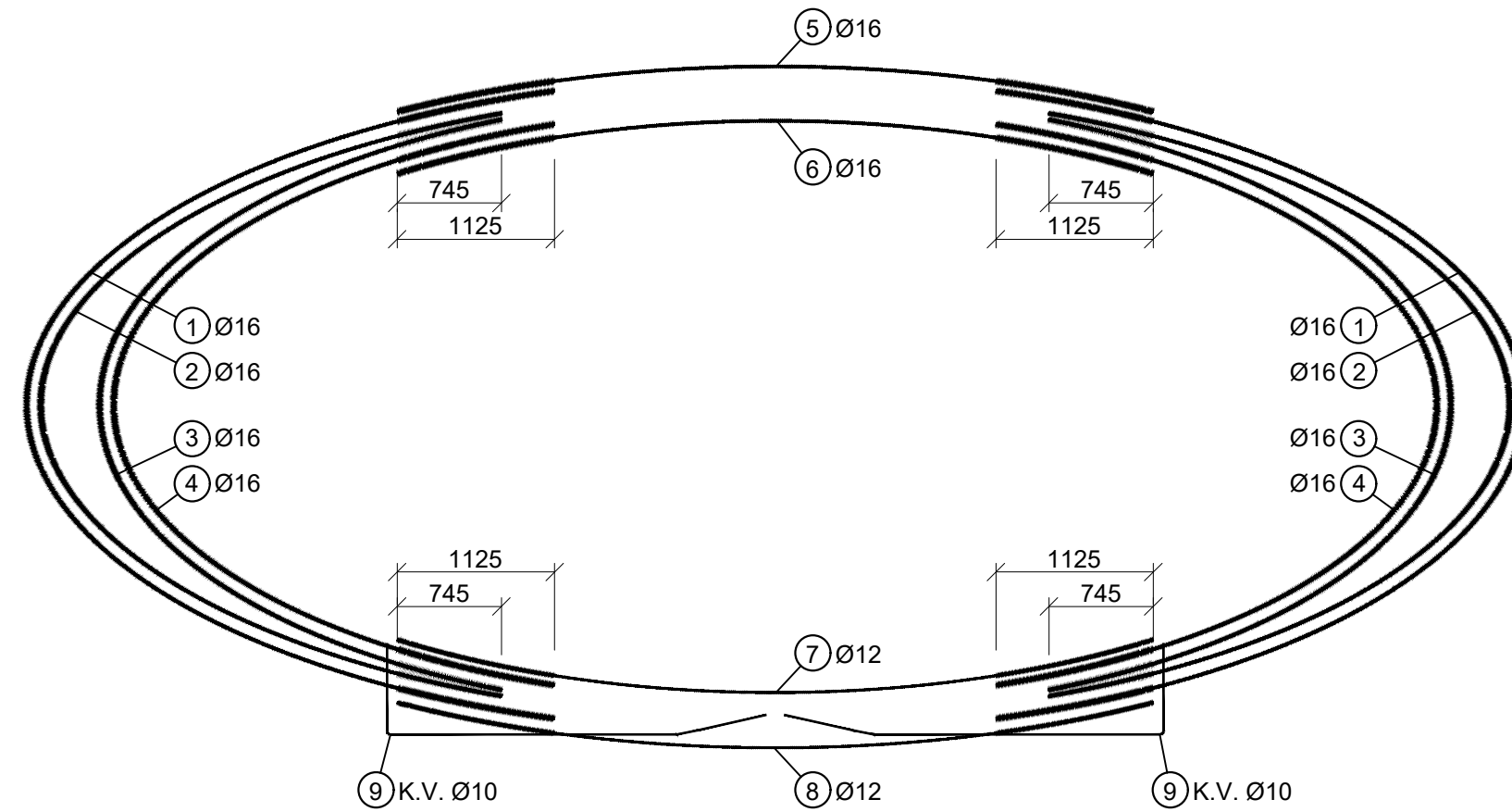
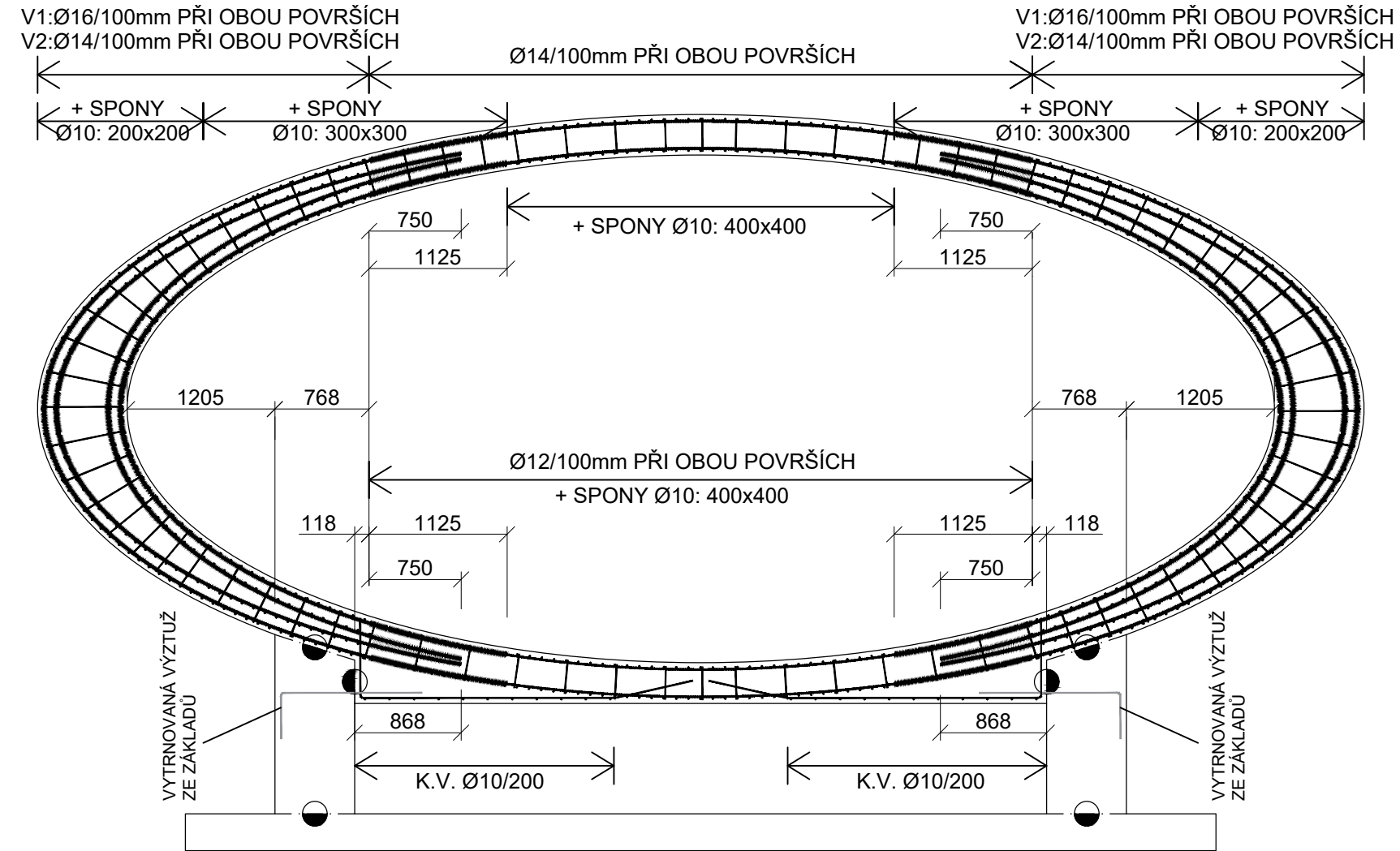
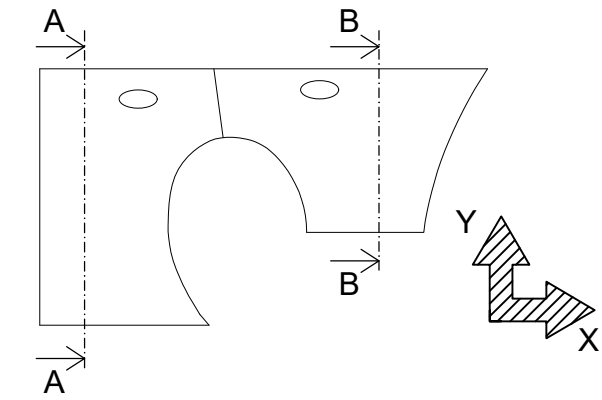
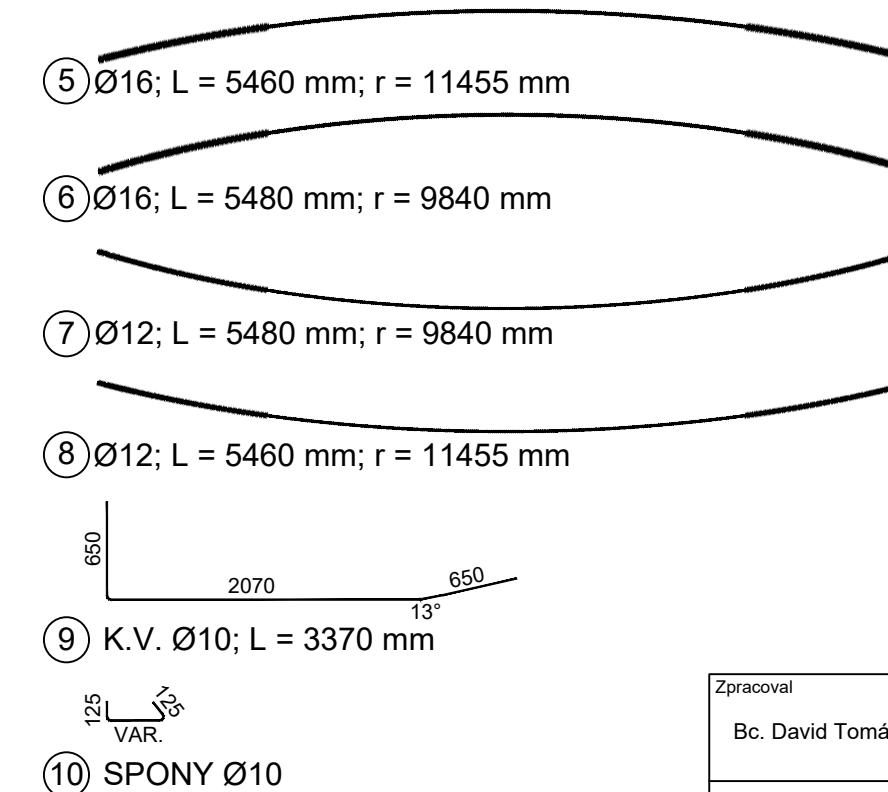
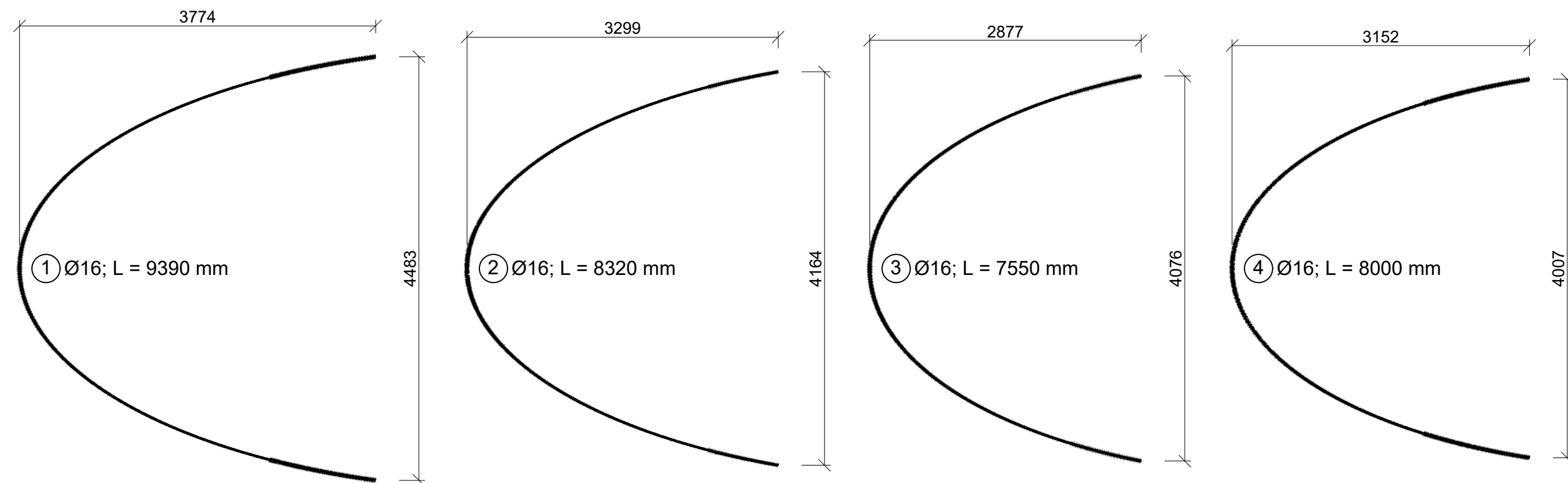


SCHÉMA:



TVARY VLOŽEK



PŘESAHOVÉ DÉLKY:

DOBŘE / ŠPATNÉ PODMÍNKY
 Ø12 ... 600/840 mm
 Ø14 ... 690/990 mm
 Ø16 ... 795/1125 mm

KOTEVNÍ DÉLKY:

DOBŘE / ŠPATNÉ PODMÍNKY
 Ø12 ... 400/560 mm
 Ø14 ... 460/660 mm
 Ø16 ... 530/750 mm

POZNÁMKY:

VÝZTUŽ V PODÉLNÉM SMĚRU BLÍŽE POVRCHU
 VÝZTUŽ JDOUCÍ MIMO BEDNĚNÍ ZASUNOUT DO BEDNĚNÍ
 BEDNĚNÍ PROVÁDĚT DLE PLATNÉHO VÝKRESU TVARU
 V MÍSTĚ OTVORŮ VÝZTUŽ PROSTŘÍHNOUT NEBO ROZHHRNOUT
 ODSAZENÍ DRUHÉ VRSTVY VÝZTUŽE: s = 100mm
 VÝZTUŽ KÓTOVANÁ NA OSU

PRACOVNÍ SPÁRA:

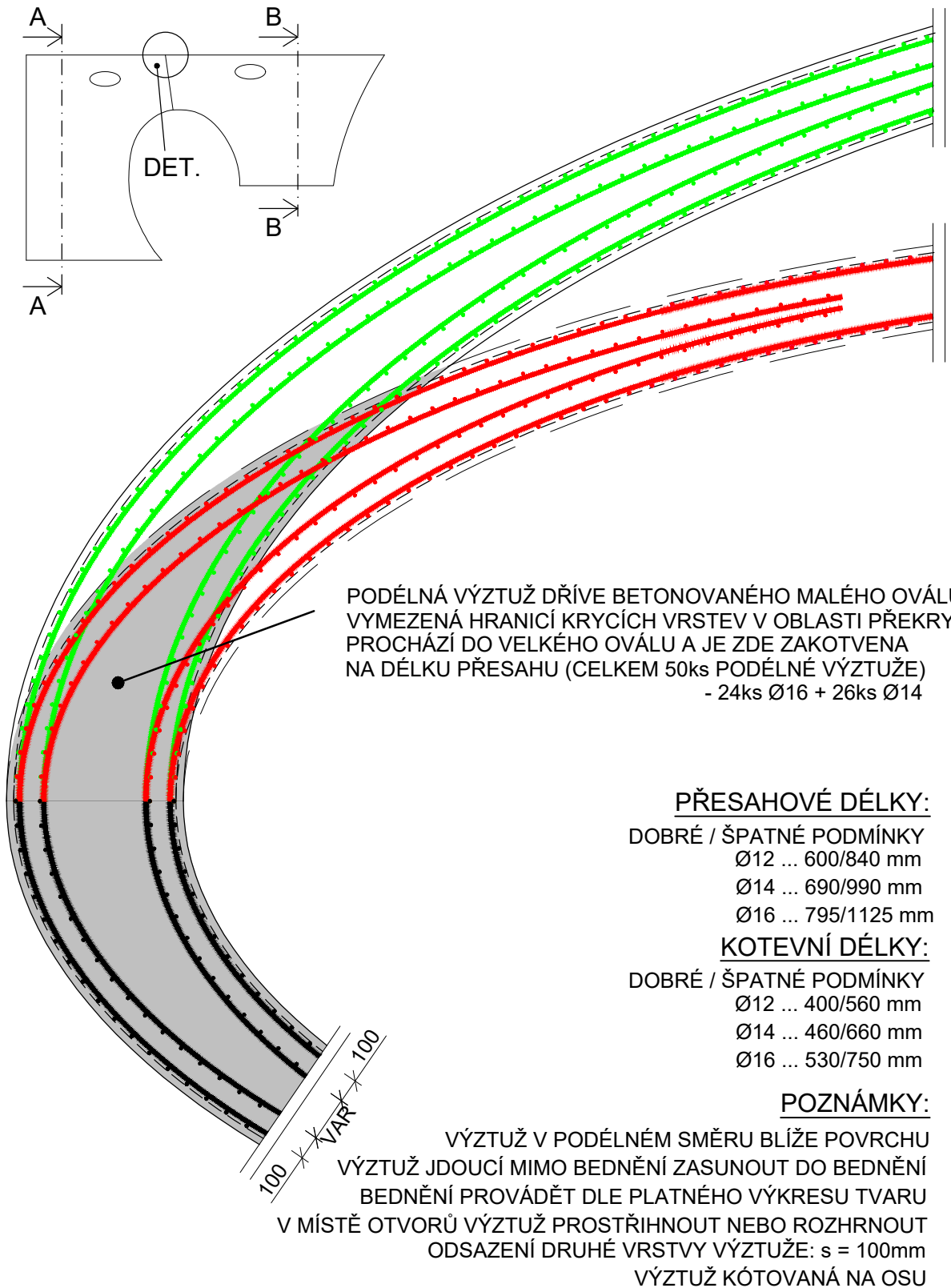
CELEK POZDĚJI BETONOVANÝ
 CELEK DŘÍVE BETONOVANÝ

MATERIÁL:

BETON: C30/37 - XC4, XF3
 OCEL: B500B
 KRYTÍ: c = 30mm

Zpracoval Bc. David Tomášek	Konzultant Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	Školní rok 2020/21	Fakulta stavební CVUT
Předmět Diplomová práce	Datum 03.01.21		
Úloha Shell house	Měřítko 1:50		
Výkres Č.4 - Výkres vyztužení menšího oválu	Formát 3xA4		

DETAIL NAPOJENÍ OVÁLŮ - M1:25



- VÝZTUŽ VĚTŠÍHO OVÁLU
- VÝZTUŽ MENŠÍHO OVÁLU
- - - HRANICE KRYCÍ VRSTVY
- OBLAST PŘEKRYTÍ OVÁLŮ

MATERIÁL:
BETON: C30/37 - XC4, XF3
OCEL: B500B
KRYTÍ: $c = 30\text{mm}$

Zpracoval Bc. David Tomášek	Konzultant Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	Školní rok 2020/21	Fakulta stavební ČVUT
Předmět Diplomová práce	Datum 03.01.21		
Úloha Shell house	Měřítko 1:50		
Výkres Č.5 - Detail napojení oválů	Formát A4		