

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH
KONSTRUKCÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KONSTRUKČNÍ NÁVRH MATEŘSKÉ ŠKOLY

Vypracoval:

Jan Cihlář

Vedoucí práce:

Ing. Martin Tipka, Ph.D.

2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Cihlář Jméno: Jan Osobní číslo: 484572
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Konstrukční návrh mateřské školy se zaměřením na stěnové železobetonové nosníky v 2NP

Název bakalářské práce anglicky: Structural design of nursery school with the focus on reinforced concrete deep beams in second floor

Pokyny pro vypracování:

Konceptní návrh 2 konstrukčních variant objektu mateřské školy.

Podrobný návrh a posouzení nosných prvků 2NP - varianta se stěnovými železobetonovými nosníky.

Návrh výztuže a ověření chování stropní desky 1NP - varianta bez stěnových nosníků.

Výkresy tvaru 1NP a 2NP obou variant. Výkresy výztuže vybraných železobetonových prvků.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 1990, ČSN EN 1991, ČSN EN 1992

Procházka, Šmejkal: Modelování a vyztužování železobetonových konstrukcí. ČVUT 2020

Archiv časopisu Beton TKS

Další vhodná samostatně vyhledaná literatura

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 17.2.2022

Termín odevzdání bakalářské práce: 15.5.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Tipka

Podpis vedoucího práce

[Signature]
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

17.2.2022

Datum převzetí zadání

[Signature]
Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce Ing. Martina Típky, Ph.D. Dále prohlašuji, že jsem veškeré použité zdroje a programy uvedl v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Típkovi, Ph.D. za vlídný přístup při konzultacích a za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

Anotace:

Náplní této bakalářské práce je variantní návrh nosné konstrukce objektu mateřské školy. Návrh je zaměřen na část 2.NP objektu přesahující přes okraj půdorysu 1.NP. První variantou je železobetonový monolitický stěnový systém, kde je vynesení přesahující části 2.NP provedeno pomocí stěnových nosníků. V druhé variantě je objekt rozdělen na železobetonový monolitický skelet 1.NP a dřevěné 2.NP. Vynesení přesahující části 2.NP je provedeno pomocí železobetonových průvlaků v rovině stropu nad 1.NP. Obě varianty jsou následně porovnány z hlediska deformací, spotřeby materiálu a pracnosti provedení.

Klíčová slova: mateřská škola, konstrukční řešení, železobeton, stěnový nosník, konzola, statický výpočet

Abstract:

The aim of this bachelor thesis is to design load bearing structure of nursery school in two structural variants. The design is focused on part of 2th level exceeding the 1st level. The first variant is concrete monolithic wall systém. In this variant the part of 2th level exceeding 1st is structurally held by concrete deep beams. In the second variant, object is divided into concrete monolithic skelet in the 1st level and wood building in the 2th level. In this variant the part of 2th level exceeding 1st is structurally held by concrete beams in the plane of ceiling above 1st level. Both variants are then compared based on deformations, materiál consumption and hour of work needed to finish the structure.

Key words: Nursery school, structural design, reinforced concrete, concrete deep beams, cantilever beam, static calculation

Obsah

1	Popis řešeného objektu	7
2	Konstrukční varianta 1	9
3	Konstrukční varianta 2	11
4	Porovnání variant	13
4.1	Deformace	14
4.2	Spotřeba a cena materiálu	16
4.3	Pracnost provedení	18
5	Závěr	19
6	Seznam literatury	20

1 Popis řešeného objektu

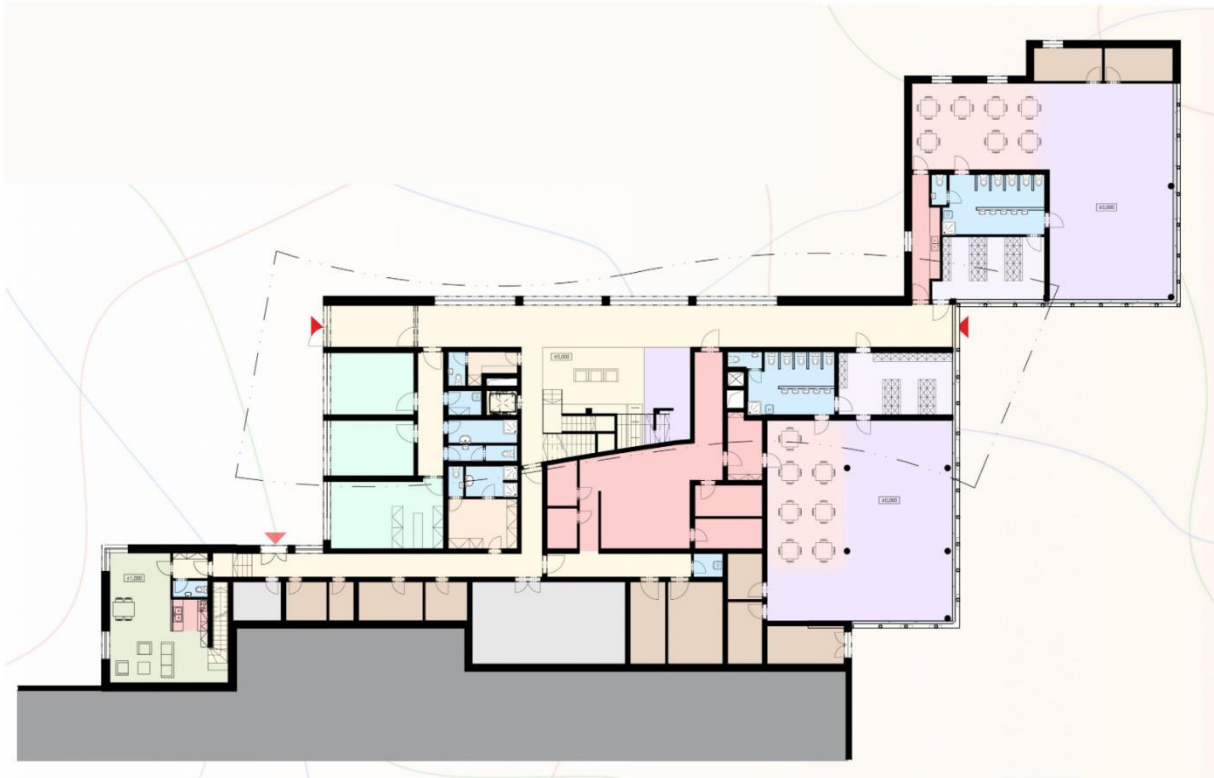
Pro bakalářskou práci byl zvolen skutečný objekt mateřské školy v ulici Velvarská. Jako podklad pro architektonická studie objektu dostupná na webu: archiweb.cz. Skutečné provedení objektu se od studie liší, nicméně pro bakalářskou práci nebyly použity žádné výkresy skutečného provedení objektu. Bakalářská práce pracuje pouze s původní architektonickou studií.

Objekt byl zvolen pro zajímavý a nevšední prvek – dlouhé vykonzolování 2.NP (v nejdelším místě až 5 metrů). Bakalářská práce se tedy zaměřuje převážně na tuto část objektu. Vykonzolované 2.NP je naznačeno v půdorysu 1.NP čárkovanou čarou.

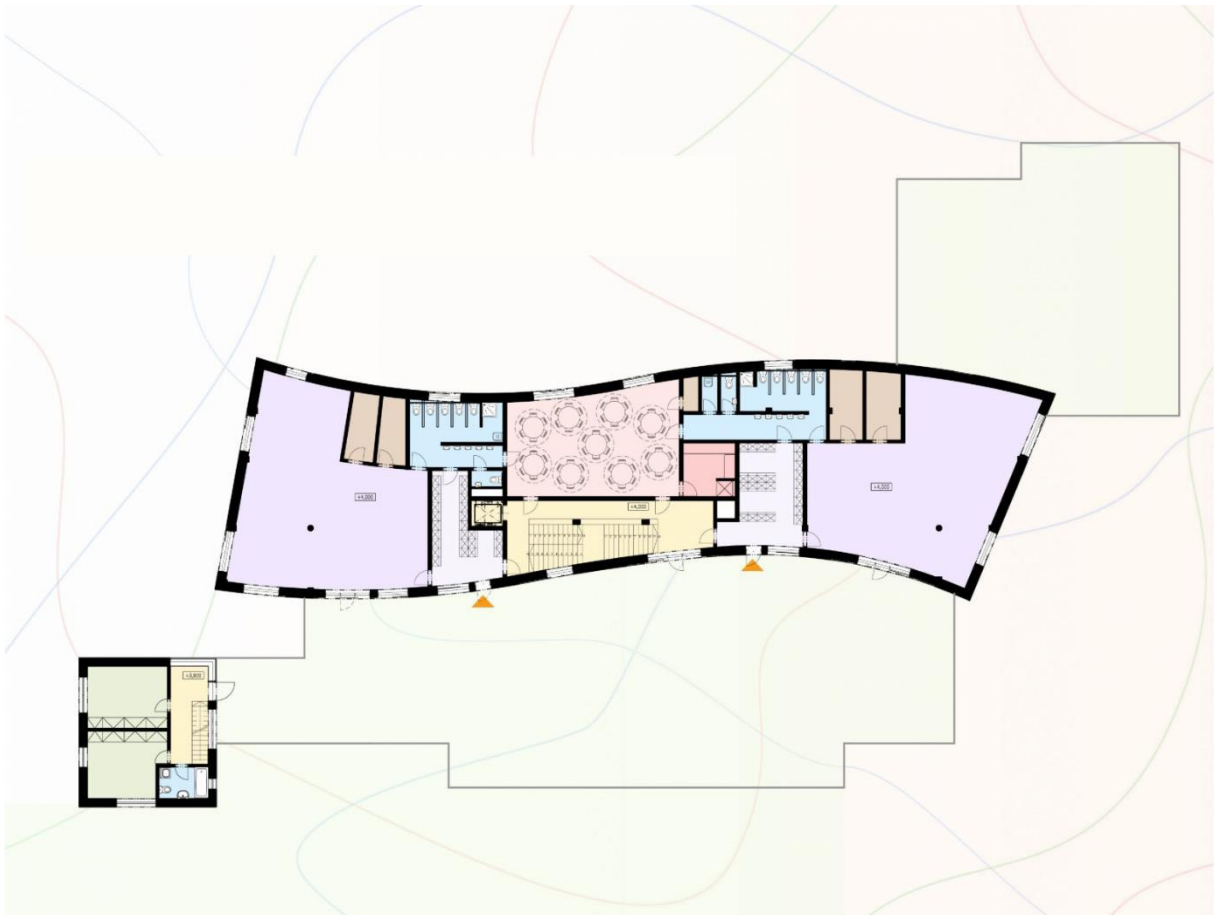
Objekt obsahuje 2 podlaží. 1.NP je rozsáhlejší, obsahuje 2 herny pro děti, kuchyni a technologické a administrativní zázemí. 2.NP je menší, obsahuje 2 herny pro děti a jídelnu. Podlaží jsou propojena 3 ramenným schodištěm s mezipodestou a výtahem. Objekt není podsklepen. Obě podlaží mají plochou zelenou střechu. Část střechy 1.NP navíc slouží jako hřiště pro děti. Tato část je přístupná z 2.NP.

Konstrukční řešení objektu bylo provedeno ve 2 variantách. Pro obě varianty byl vypracován geometrický návrh nosné konstrukce. Podrobný návrh je u každé varianty zaměřený na způsob vykonzolování 2.NP. Statický výpočet se zabývá ověřením nosných prvků zajišťujících vykonzolování 2.NP z hlediska MSÚ a MSP.

V Konstrukční variantě 1 je vykonzolování provedeno pomocí železobetonových stěnových nosníků. V konstrukční variantě 2 je vykonzolování dosaženo pomocí železobetonového trámového roštu v rovině stropu nad 1.NP.

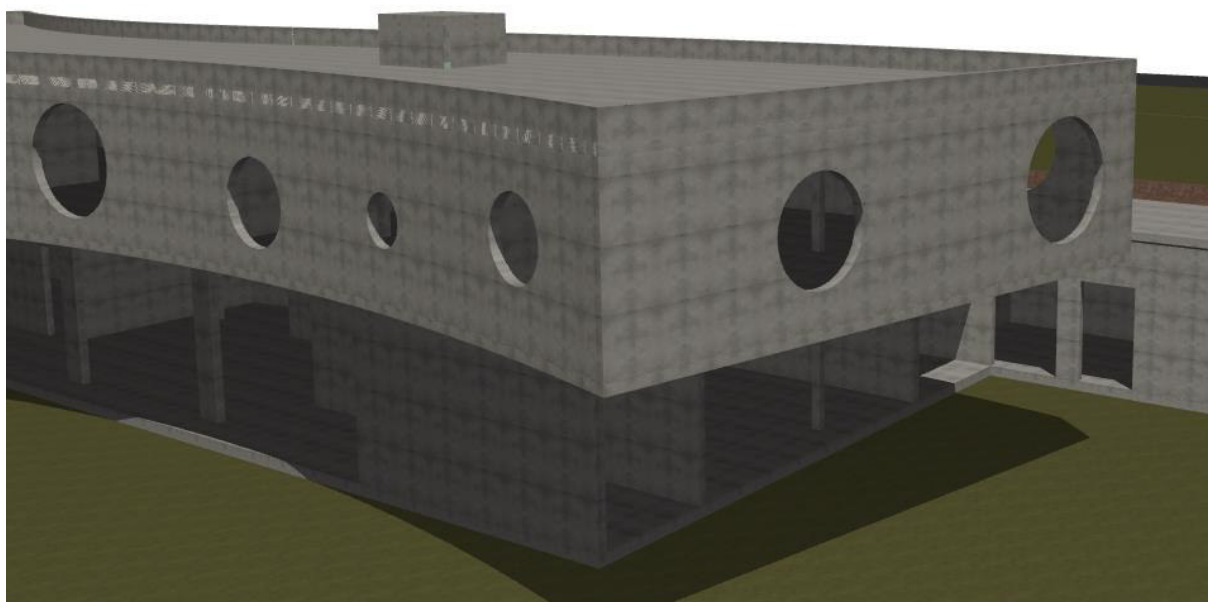


Obr. 1 Studie – 1.NP



Obr. 2 Studie – 2.NP

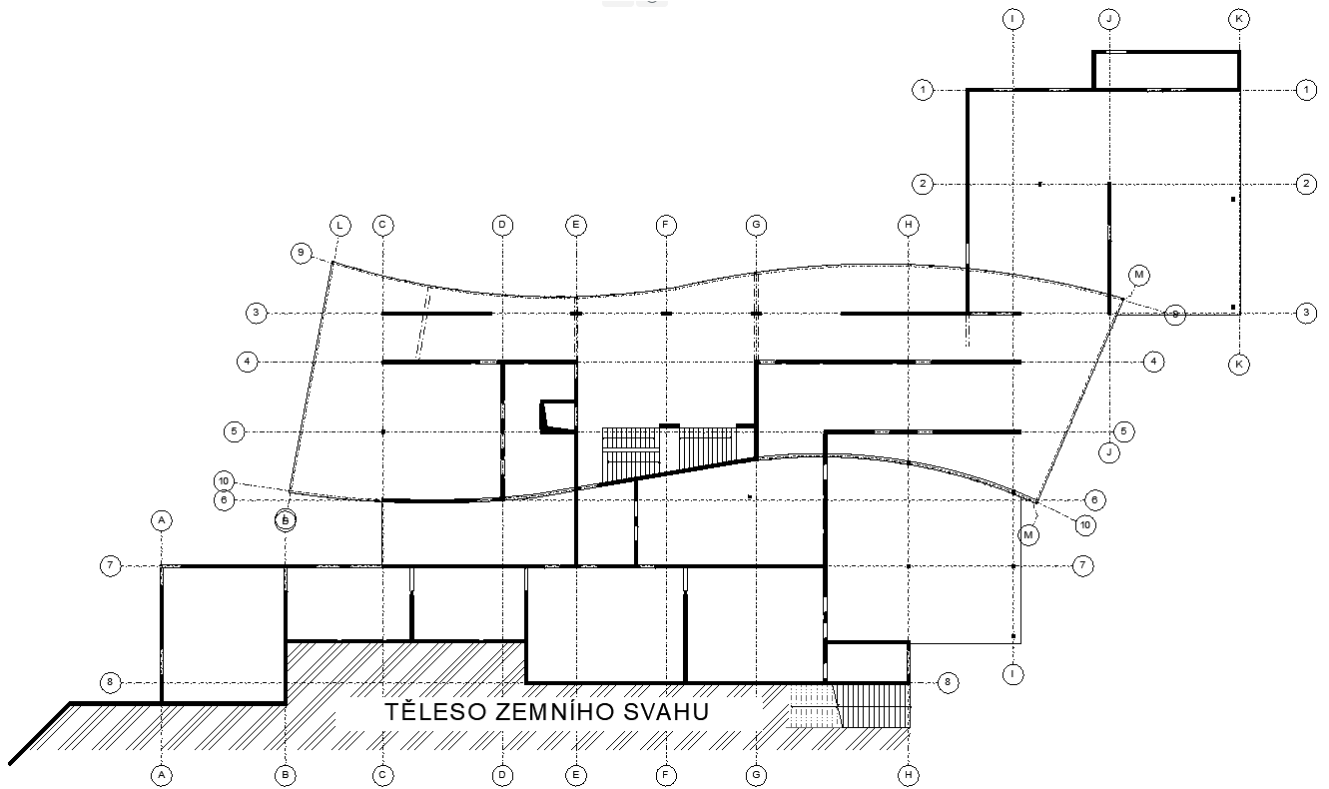
2 Konstrukční varianta 1



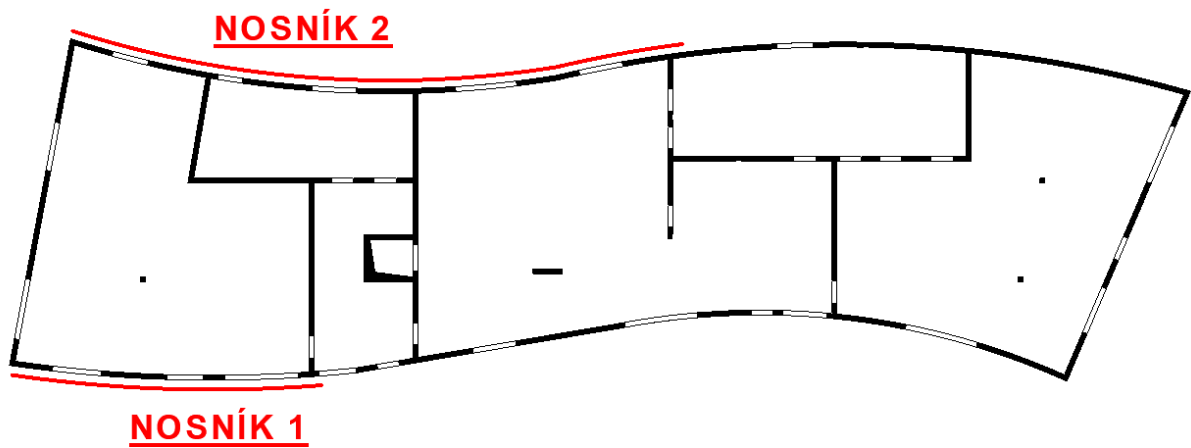
Obr. 3 Varianta 1 3D schéma

Ve variantě 1 je nosná konstrukce celého objektu provedena ze železobetonu. Jako svíslé nosné prvky obou podlaží jsou použity stěny a sloupy založené na plošných základech. Vodorovné nosné prvky jsou obousměrně pnuté železobetonové stěn monoliticky spojené se svíslými nosnými prvky. Vykonzolování 2.NP je provedeno pomocí obvodových železobetonových stěn, které fungují jako stěnové nosníky. Koncové části stropních desek 1.NP a 2.NP jsou pnuty právě mezi těmito stěnami. Podrobné schéma působení nosných konstrukcí je popsáno v konstrukčních schématech varianty 1.

Byly vymodelovány a posouzeny 2 krajní železobetonové nosníky. Nosníky byly posuzovány v programu IDEA Statica. Konkrétní nosníky vybrané pro výpočet jsou označeny v konstrukčních schématech. Chování nosníků v rámci celé konstrukce byly v rámci sestavení výpočetního modelu zjednodušeno. Nosníky byly navrženy jako čistě rovinné prvky, přestože jsou zakřivené. Zatížení nosníků bylo uvažováno na základě zatěžovacích šířek, které odpovídají polovině rozpětí nosných prvků. Skutečné zatížení přenášené stěnovými nosníky by záviselo na tuhosti jednotlivých částí nosné konstrukce objektu.



Obr. 4 Konstrukční schéma 1.NP varianta 1



Obr. 5 Konstrukční schéma 2.NP varianta 1

3 Konstrukční varianta 2



Obr. 6 Varianta 2 3D schéma (Pouze ŽB prvky)

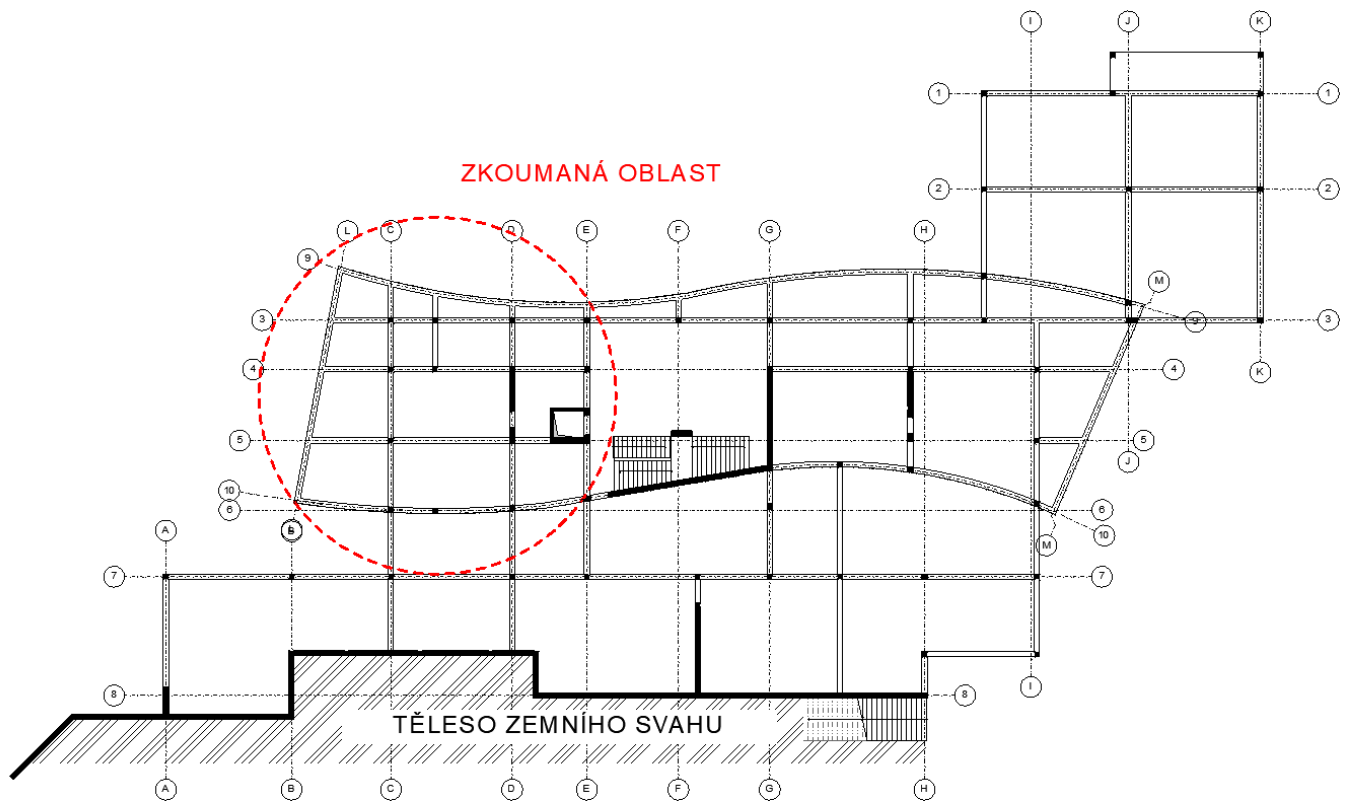
Konstrukční varianta 2 se vyznačuje rozdílným materiálových řešením nosného systému 1.NP a 2.NP.

1.NP bude železobetonový rámový skelet tvořený sloupy, průvlaky, stropními deskami a ztužujícími železobetonovými stěnami. 2.NP podlaží je řešeno jako dřevostavba. Mezi nosné stěny z dřevěných sloupků budou pnuty ploché příhradové vazníky. Podlaží bude navíc zavětrováno několika příčnými dřevěnými stěnami. Cílem této varianty je snížit zatížení působící na vykonzolovaný železobetonový trámový rošt.

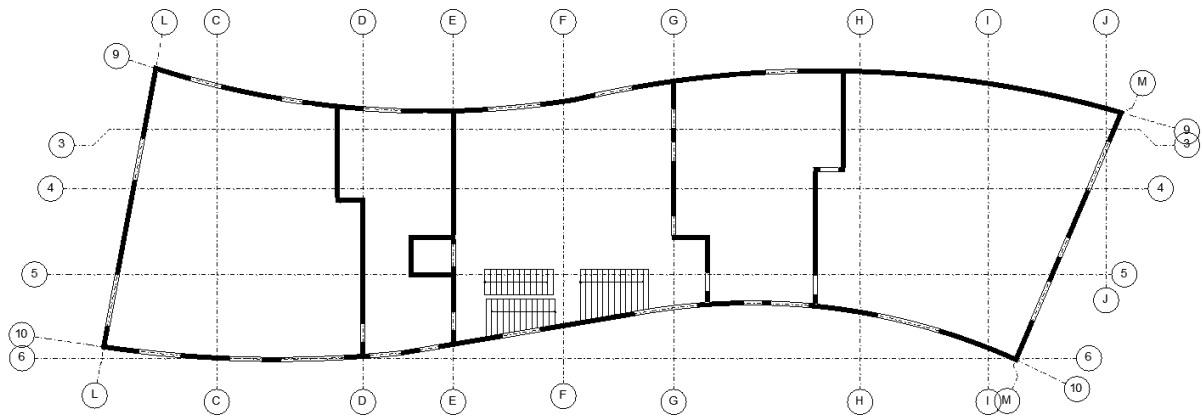
Vykonzolování stropní desky nad 1.NP bude provedeno pomocí železobetonového trámového roštu. Rošt bude usazen na monolitické sloupy 1.NP. Průřezy průvlaků vystupující nad a pod desku jsou koordinovány s příčkami tak, aby nezpůsobili dispoziční problémy.

V rámci podrobného návrhu byly modelována a posouzena vybraná část nosné konstrukce stropu nad 1.NP. V programu SCIA Engineer byl posouzen celý tento prvek.

Konstrukce 2.NP jsou do modelu zahrnuty formou liniového zatížení působícího na okrajové železobetonové průvlaky stropu nad 1.NP. Detailní návrh dřevěných konstrukcí není součástí práce. Byla pouze sestavena skladba dřevěných stěn a stropu. Na základě těchto skladeb bylo spočteno zatížení od 2.NP.



Obr. 7 Konstrukční schéma 1.NP varianta 2



Obr. 8 Konstrukční schéma 2.NP varianta 2 (dřevostavba)

4 Porovnání variant

Varianty jsou porovnány z hlediska provedení v oblasti vykonzolování 2.NP. Porovnání je provedeno na základě výstupů statického výpočtu. Je také popsán postup, kterým byly porovnávaná data získány. Jsou porovnávány výhody a nevýhody variant. Dále jsou doplněny poznámky o tom jaký přínos mělo porovnávání variant pro mě jako autora práce.

Každá z navržených variant má své výhody i nevýhody. V následující části jsou varianty porovnány z hlediska deformací konstrukce 2NP, spotřeby materiálu a pracnosti provedení.

Varianty budou porovnány z hlediska:

- Deformací
- Použití materiálů = výztuž a beton
- Pracnosti provedení

Výsledky srovnání:

	Varianta 1	Varianta 2
	Stěnové nosníky	Rámový skelet
Deformace	✓	x
Spotřeba a cena materiálu	x	✓
Pracnost provedení	x	✓

Tabulka 1 výsledek srovnání

Deformace: Pokud by byl návrh varianty 2 optimalizován (což nebylo v rámci práce provedeno), deformace varianty 1 by byly nižší než deformace varianty 2. Jelikož ale optimalizace provedena nebyla, tak deformace vycházejí téměř stejně.

Použití materiálu: Z hlediska objemu železobetonu v konstrukci vychází varianta 2 o 37% lépe. Cena a spotřeba dřeva není do výpočtu přesně zahrnuta. Předpokládá se, že díky efektivnímu využití hmoty dřeva v konstrukci bude celková cena materiálu varianty 2 nižší.

Pracnost provedení: Železobetonové prvky varianty 2 mají menší celkový objem a jsou tvarově jednodušší. 2.NP varianty 2 je navíc dřevostavba, která rychlostí provedení jednoznačně předčí monolitickou železobetonovou konstrukci.

4.1 Deformace

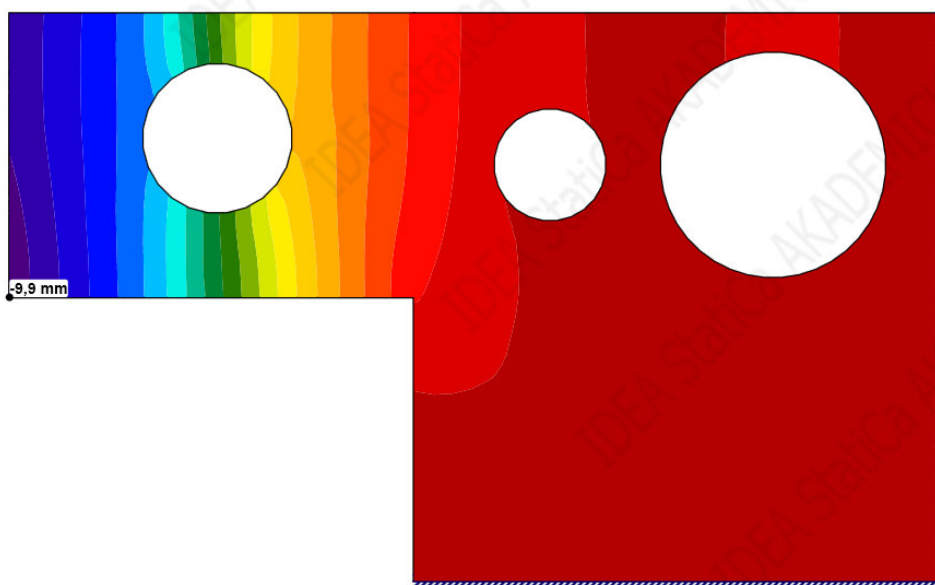
Výpočet deformací obou variant byl proveden pomocí počítačových programů Pro variantu 1 – IDEA Statica a pro variantu 2 – Scia Engineer. Vzhledem ke složitosti výpočtu deformací prostorových železobetonových konstrukcí je třeba výsledky z programů brát s jistou rezervou.

Porovnávané průhyby v sobě zahrnují krátkodobý průhyb, průhyb od dotvarování a v případě varianty 2 (Scia Engineer) i průhyb od smrštění. Ve variant 1 nebylo se smrštěním stěnového nosníku při výpočtu průhybu počítáno.

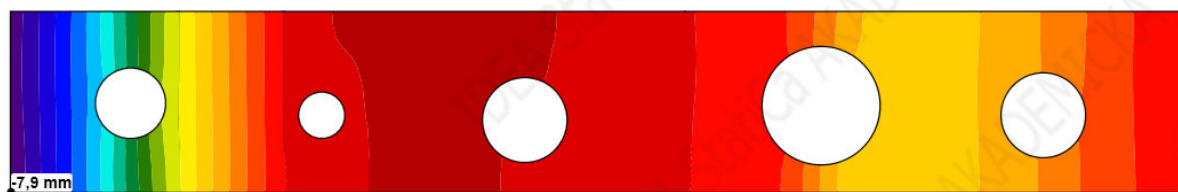
Na základě dat získaných ze statických výpočtů deformací pro obě varianty porovnáme výsledky ve dvou bodech. Porovnávané body budou nejvíce vykonzolované body obou posuzovaných stěnových nosníků.

Pro variantu 1:

Jsou průhyby nejvíce vykonzolovaných cípů konstrukce 7,9 a 9,9 mm.



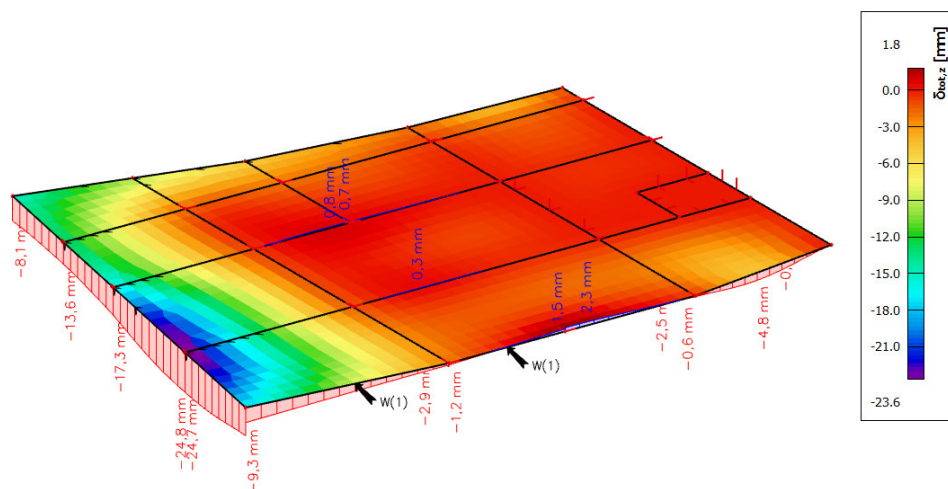
Obr. 9 Deformace stěnového nosníku 1



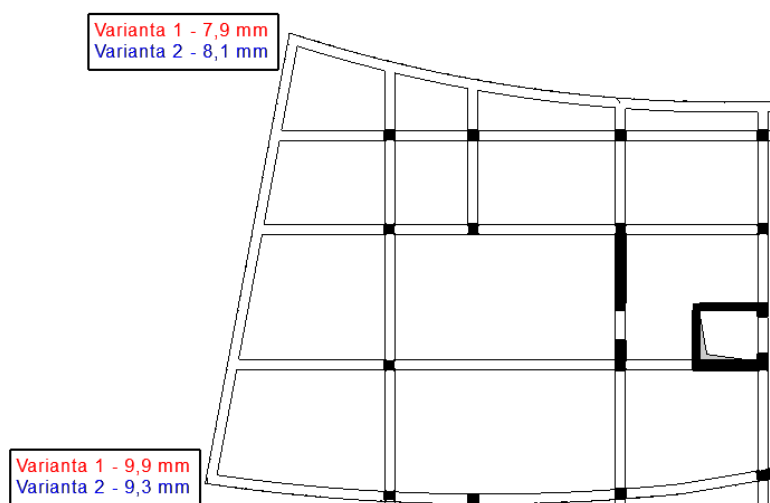
Obr. 10 Deformace stěnového nosníku 2

Pro variantu 2:

Jsou průhyby nejvíce vykonzolovaných cípů konstrukce 8,1 a 9,3 mm.



Obr. 11 Deformace zkoumané části stropu nad 1.NP - varianta -2

Porovnání průhybů:

Obr. 12 Porovnání průhybů variant

I přes to, že nosné prvky varianty 2 mají mnohem menší rameno vnitřních sil, díky menšímu zatížení a většímu vyztužení je průhyb prakticky stejný.

Je nutné zmínit, že výztuž varianty 2 byla navržena na přísnější podmínky průhybu a po změně podmínek nebyla výztuž upravena. V případě plné optimalizace návrhu Konstrukční varianty 2 by průvlaky obsahovaly méně výztuže a průhyb byl větší, proto je v celkovém hodnocení varianta 1 uvedena jako lepší z hlediska deformací. Nicméně na tomto případě je vidět, že lze dosáhnout stejné deformace za použití trámového i stěnovém prvku.

4.2 Spotřeba a cena materiálu

1.NP je v obou variantách provedeno ze železobetonu. 2.NP je ve variantě 1 provedeno ze železobetonu a ve variantě 2 jako dřevostavba.

Na základě modelů v archicadu sestavených pro výkresy tvaru byl spočten objem betonových konstrukcí obou variant. Do výpočtu nespádají základové konstrukce, které nejsou předmětem práce.

Porovnání objemu betonu:

Varianta	Objem betonu [m3]
1	690
2	430

Tabulka 2 objem betonu

Dřevěné konstrukce varianty 2:

Prvek	Plocha [m2]
Stěny	410
Stropy	525

Tabulka 3 dřevěné konstrukce

Na variantu 2 je tedy třeba o 37 % méně betonu než na variantu 1, ovšem spotřeba betonu není jediným kritériem. Aby bylo možné do porovnání zahrnout dřevěné prvky, bylo by nutné jejich cenu na m² porovnat s cenou na m² betonového stropu a stěny. Tento přepočítání nebyl v rámci práce proveden.

Bylo by třeba vzít v úvahu cenu dřeva, oceli a betonu. Dále cenu práce za provedení hrubé stavby a potom nutných kompletačních konstrukcí spojených s konstrukčním řešením, které se pro dřevo a beton liší. Dále je nutné zohlednit efekt konstrukčního materiálu na stavební fyziku objektu.

Můžeme pouze porovnat využití dřeva a betonu z hlediska nosného. Dřevěná konstrukce má oproti betonu jednoznačně menší únosnost, nicméně to je v tomto případě nepodstatné, protože se jedná o jedno podlaží. Dřevěná konstrukce má naopak výhodu ve své strukturální podobě. Hmota dřeva je v konstrukci rozmístěna mnohem efektivněji než hmota železobetonu. Například není nutné realizovat celou stěnu ze dřeva (roubenou), stačí dřevěné sloupy. Není třeba dělat povalový strop, dřevo se dá efektivně využít příhradovými vazníky. Betonové stěny a stropy by byly konstrukce ve spojitě formě, které jsou sice únosnější, ale na úkor větší hmotnosti konstrukce. Navíc u stěn dvoupodlažního objektu

není vysoká únosnost železobetonu nutná. I z toho důvodu je lepší Varianta 2, protože obsahuje převážně sloupy namísto stěn. Z hlediska efektivity materiálů je tedy vhodnější Varianta 2.

Při srovnání spotřeby betonu a výztuže se projevuje vliv uspořádání nosných prvků jednotlivých variant.

Přestože je Varianta 2 odlehčená, potřebuje kvůli nižšímu průřezu nosných prvků větší počet průvlaků než Varianta 1. I přesto objem spotřebovaného betonu Varianty 1 jednoznačně převyšuje Variantu 2.

Vykonzolované průvlaky Varianty 2 sice potřebují více podélné výztuže a větších průměrů než je základní rastr stěnových nosníků, nicméně v celkovém součtu je plocha všech stěn Varianty 1 o tolik větší, že i celková spotřeba výztuže je vyšší u varianty 1. Stěnové nosníky navíc obsahují množství příložek výztuže velkých průměrů.

Varianta 1 tedy spotřebuje více výztuže i betonu (platí jak pro porovnání 1.NP tak celého objektu) a beton je v ní navíc využit méně efektivně. Je otázka, zda využití dřeva pro 2.NP ve skutečnosti, přes jeho výhody popsané výše, nebude finančně náročnější. Nejen cena dřevěných prvků na trhu ale i cena všech prvků, které bude dřevostavba obsahovat, jako jsou předstěny, podhledy, parozábrany, mezi-sloupová izolace mohou cenu varianty 2 natolik navýšit, že se výhodnější stane varianta 1.

Pro přesnější a podrobnější analýzu není v tomto projektu dostatek dat.

4.3 Pracnost provedení

Pracnost provedení byla opět provedena pouze v rozsahu nosné konstrukce. Není uvažováno například s nutností výplňových konstrukcí u Varianty 2, které by bylo nutné umístit mezi sloupy skeletu.

1.NP obou variant je železobetonová monolitická konstrukce. Rozdíl je v tom, že Varianta 1 obsahuje převážně stěny, zatímco Varianta 2 obsahuje sloupy a průvlaky.

Podle objemu konstrukcí a spotřebovaného betonu lze předpokládat, že práce s bedněním a vázáním výztuže budou déle trvat na Variantě 1. Obsahuje mnoho stěn, jejichž bednění a vyztužování bude jednoznačně složitější než bednění rozměrově neustále se opakujících sloupů. Bednění a vyztužování velkého množství průvlaků ve variantě 2 bude jednodušší než bednění a vyztužování zakřivených stěn s kruhovými otvory ve variantě 1.

V případě pracnosti 2.NP není pochyb o tom, že dřevostavba bude rychlejší a jednodušší než monolitická konstrukce. Lze očekávat, že celá nosná konstrukce dřevěné varianty bude hotová ve stejné době, kdy se teprve dokončí bednění pro Variantu 1.

Z hlediska provedení je tedy rychlejší a jednodušší Varianta 2.

5 Závěr

V rámci bakalářské práce byly navrženy 2 konstrukční varianty nosného systému objektu školky. První varianta je tvořená železobetonovým monolitickým stěnovým systémem, druhá varianta je tvořená železobetonovým monolitickým skeletem v 1.NP a dřevostavbou 2.NP. Obě varianty splňují požadavky dostatečné spolehlivosti konstrukce (MSÚ i MSP). Posouzení návrhu bylo provedeno pomocí programů SCIA Engineer a IDEA Statica. Na základě vybraných kritérií: deformace, spotřeba materiálu, cena materiálu a pracnost provedení vychází výhodněji Konstrukční varianta 2. Výsledek byl určen na základě hrubého porovnání variant nosných konstrukcí.

Ze studijního hlediska pro mě byla bakalářská práce příležitostí učit se v programech pro provádění statických posudků. Seznámil jsem se s výpočtním programem IDEA Statica, ve kterém byl proveden posudek stěnových nosníků první konstrukční varianty. Zároveň jsem si rozšířil znalosti v práci s programem SCIA Engineer - tvorba rozsáhlejšího prostorového modelu, vyztužování složitějších ŽB konstrukcí, posuzování MSP. Největší přínos vidím v rozšíření zkušeností s interpretací výsledků výpočtních programů - např. zhodnocení reálnosti lokálních extrémů vnitřních sil v místech singularit.

6 Seznam literatury

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1 Zatížení konstrukcí, Část 1-1:Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [4] ČSN EN 206-2 Beton – Část 1: specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [5] Návrh rámu pomocí programu SCIA Engineer, Ing. Radek Štefan, Ph.D., a kolektiv ČVUT v Praze, Fakulta stavební Katedra betonových a zděných konstrukcí Thákurova 7, Praha 6 – Dejvice
- [6] Návrh stropní desky v programu SCIA Engineer, doc. Ing. Petr Bily, Ph.D.
- [7] Analýza 3D konstrukce v programu SCIA Engineer, doc. Ing. Petr Bily, Ph.D.
- [8] Železobetonová stěna (EN), IDEA StatiCA návody [online], dostupné z: <https://www.ideastatica.com/cz/podpora/zelezobetonova-stena-en>