

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

ANALÝZA CHOVÁNÍ LOMENÝCH DESKOVÝCH ŽELEZOBETONOVÝCH SCHODIŠŤ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Martin Típka, Ph.D.

Autor práce: **PAVLÍNA JARKOVSKÁ**

Praha 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Jarkovská Jméno: Pavlína Osobní číslo: 459905

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: Analýza chování lomených deskových železobetonových schodišť

Název bakalářské práce anglicky: Behaviour Analysis of Cranked Slab Type Reinforced Concrete Staircases

Pokyny pro vypracování:

Základní typy deskových betonových schodišť, způsoby provádění.

Principy statického působení deskových schodišť a porovnání metod výpočtu.

Variantní návrh a posouzení schodiště vybraného objektu.

Seznam doporučené literatury:

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

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně 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“.

25.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Analýza chování lomených deskových železobetonových schodišť“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martin Tipka, Ph.D a s použitím odborné literatury, která je uvedena v seznamu použité literatury.

V Praze dne 22.5.2019

.....

Pavλίna Jarkovská

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Martinu Tipkovi, Ph.D za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu a povzbuzení nejen při psaní bakalářské práce, ale i v průběhu mého studia.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá tematikou navrhování lomených deskových železobetonových schodišť a jejich rozdílnými hodnotami průhybů v závislosti na zvolené metodě výpočtu.

V první části jsou obecně popsána desková železobetonová schodiště, jejich rozdělení, technologie provádění, akustické požadavky pro jednotlivé typy schodišť a příklady jejich provedení. Dále jsou zde uvedeny možné způsoby návrhu schodišť v závislosti na prostorovém působení.

V druhé části je navrženo schodiště vybraného objektu administrativní budovy. Návrh schodiště je proveden ve dvou geometrických variantách a pro jejich analýzu jsou použity dvě odlišné výpočetní metody – ruční metoda na zjednodušeném modelu a numerický výpočet pomocí výpočetního softwaru (SCIA ENGINEER) na prostorovém modelu. Výsledky návrhových metod jsou vzájemně porovnány.

Přílohou práce je statický výpočet obsahující geometrický návrh schodiště a výpočet vnitřních sil a následný návrh vyztužení a posouzení deformací pro dvě varianty schodišť. Variantní návrh schodiště je podložen skicami tvaru a výkresy výztuže.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobetonové deskové schodiště, mezipodesta, schodišťové rameno, metody výpočtu, vnitřní síly, únosnost, průhyb (deformace).

ANOTATION

This bachelor thesis focuses on the design of cranked slab type of reinforced concrete staircases and their various values of structure deflection depending on chosen design method.

In the first part, there are described types of reinforced concrete staircases, their sorting, construction technology, acustics requirements for all types of staircases and examples of their design.

In the second part, there is a proposal of a staircase design of specific administration building. This design is realized in two different geometrical ways. Two different computation methods are used – simple design model and numerical calculation in 3D model (software SCIA ENGINEER). The results of both methods are compared.

Apendix contains statical analysis in the form of geometrical staircase design and inner forces distribution. Moreover, two staircase versions' reinforcements are proposed and also their deflections are considered. Each alternative is accompanied by the structural and reinforcement drawing.

KEY WORDS

Reinforced concrete staircases, landings, flight of stairs, design methods, inner forces, load capacity, deflection.

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. DESKOVÁ SCHODIŠTĚ	10
2.1. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DESKOVÝCH ŽB SCHODIŠŤ	10
2.2. TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ DESKOVÝCH ŽB SCHODIŠŤ.....	13
2.2.1. MONOLITICKÁ SCHODIŠTĚ.....	13
2.2.2. PREFABRIKOVANÁ SCHODIŠTĚ	15
2.2.3. KOMBINACE PREFABRIKOVANÝCH A MONOLITICKÝCH ČÁSTÍ SCHODIŠTĚ.....	18
2.3. AKUSTICKÉ POŽADAVKY NA SCHODIŠTĚ	19
2.4. STATICKÉ PŮSOBENÍ DESKOVÝCH SCHODIŠŤ	23
2.4.2. DVOURAMENNÉ SCHODIŠTĚ PULOŽENÉ V JEDNOM SMĚRU	25
2.4.3. LOMENÉ DESKOVÉ SCHODIŠTĚ SE SKRYTÝM PODESTOVÝM NOSNÍKEM	26
2.4.4. PROSTOROVÉ PŮSOBENÍ DESKOVÉHO SCHODIŠTĚ.....	28
2.4.5. EMPIRICKÉ ŘEŠENÍ DVOURAMENNÉHO SCHODIŠTĚ	30
2.5. PŘÍKLADY REALIZACE DESKOVÝCH SCHODIŠŤ	34
3. VARIANTNÍ NÁVRH A POSOUZENÍ SCHODIŠTĚ VYBRANÉHO OBJEKTU 36	
3.1. POPIS OBJEKTU.....	36
3.2. KONSTRUKČNÍ SYSTÉM.....	37
3.3. VARIANTNÍ NÁVRH SCHODIŠTĚ.....	38
3.3.1. GEOMETRIE A KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ SCHODIŠTĚ	39
3.3.2. VYZTUŽENÍ RAMEN.....	41
3.3.3. VYZTUŽENÍ MEZIPODEST	41
3.4.1. PRŮHYBY MEZIPODESTY – RUČNÍ VÝPOČET	44
3.4.2. PRŮHYBY MEZIPODESTY – SCIA ENGINEER.....	46
4. ZÁVĚR.....	51

POUŽITÁ LITARTURA 52

- PŘÍLOHA 1:** **STATICKÝ VÝPOČET**
- PŘÍLOHA 2:** **SKICA VÝKRESU VÝZTUŽE SCHODIŠTĚ A – VARIANTA 1**
- PŘÍLOHA 3:** **SKICA VÝKRESU VÝZTUŽE SCHODIŠTĚ A – VARIANTA 2**
- PŘÍLOHA 4:** **SKICA VÝKRESU VÝZTUŽE SCHODIŠTĚ A – VARIANTA 3**
- PŘÍLOHA 5:** **SKICA VÝKRESU VÝZTUŽE SCHODIŠTĚ B – VARIANTA 1**
- PŘÍLOHA 6:** **SKICA VÝKRESU VÝZTUŽE SCHODIŠTĚ B – VARIANTA 2**
- PŘÍLOHA 7:** **SKICA VÝKRESU VÝZTUŽE SCHODIŠTĚ B – VARIANTA 3**

1. ÚVOD

Geometrie schodiště (šířka ramen, zrcadla, mezipodesty, ...) je základním parametrem pro návrh schodiště a pro jeho celkové působení.

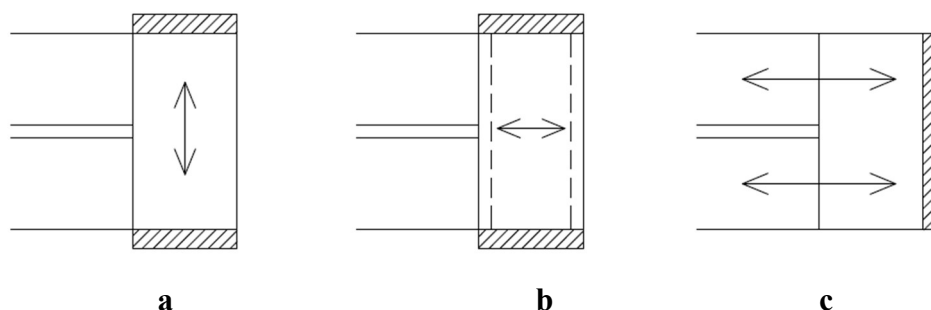
Tématem bakalářské práce je porovnání průhybů mezipodesty deskových železobetonových schodišť v závislosti na šířce schodišťového ramene, šířce schodišťového zrcadla a na zvolené metodě výpočtu. Jednou z výhod schodiště s menší šířkou schodišťových ramen představuje menší zatížení mezipodesty. Větší šířka zrcadla může být jednak přínosem, jelikož umožňuje situování výtahu přímo v zrcadle schodiště a tím i možnost úspory zabraného prostoru, avšak v tomto případě nelze uvažovat zmenšení průhybu mezipodesty v důsledku lomenicového působení. Schodišťové rameno o menší šířce je možné vyrábět jako prefabrikované a tím zkrátit dobu výstavby objektu. Schodiště s větší šířkou ramene se obvykle objevují ve větších budovách (administrativní, hotelové, ...), kdy poskytují možnost navržení schodiště pro pohyb více osob a též i možnost vytvoření zajímavého architektonického prvku. U tohoto typu schodiště představují širší ramena větší zatížení mezipodesty. Velmi úzké schodišťové zrcadlo umožňuje předpokládat vliv schodišťových ramen a tím i vznik menších průhybů mezipodesty. Výtahové šachty je v tomto případě nutné situovat do jiných míst a dochází tím k zabránění dalšího prostoru pro vertikální komunikaci. Kvůli výrobním omezením nelze prefabrikovat schodišťová ramena o větší šířce.

Cílem bakalářské práce je ukázat rozdílnost výsledků získaných ruční metodou a metodou pomocí výpočetního softwaru (SCIA ENGINEER) a dále i vliv vyztužení mezipodesty na celkový průhyb mezipodesty. Ruční metoda výpočtu je více konzervativní, využívá zjednodušené statické modely a neuvažuje prostorové působení schodiště. Schodiště je rozděleno na jednotlivé části (ramena, podesty a mezipodesty). Každá část schodiště je navrhována zvlášť. Šikmá schodišťová ramena lze v případě zjednodušení promítnout do půdorysu. Naproti tomu výpočetní program modeluje schodiště jako jeden celek. Zahrnuje spolupůsobení mezi rameny a podestou (mezipodestou). Uvažuje vznik tažených a tlačných diagonál ve schodišťových ramenech, které v případě úzkého schodišťového zrcadla napomáhají k zmenšení průhybu mezipodesty.

2. DESKOVÁ SCHODIŠTĚ

2.1. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DESKOVÝCH ŽB SCHODIŠŤ

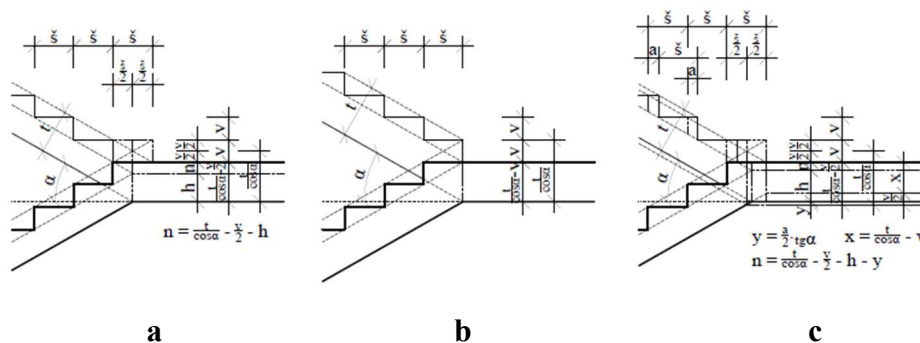
Desková železobetonová schodiště jsou tvořena železobetonovými nosnými deskami, které tvoří schodišťová ramena a podesty. Statické působení desek odpovídá způsobu uložení. Zatížení ze schodišťových ramen lze přenést buď přímo do podesty a poté do okolních nosných stěn (Obr. 1.1a,c), nebo přes podestové nosníky uložené pod podestou do okolních nosných stěn (Obr. 1.1b). Při návrhu obvykle uvažujeme zjednodušení, kdy schodiště rozdělíme na jednotlivé části: ramena a podesty. Jediné stupně jsou buď vybetonované přímo při betonáži nosné desky, kdy je nutno jednotlivé schody vyztužit, nebo dodatečně uložené, např. kamenné.



Obr. 1. 1: Možnosti přenosu zatížení z ramen a podest do okolních nosných konstrukcí

Vzájemnou geometrii uložení ramen a podest pro železobetonové schodiště lze řešit několika způsoby:

- spodní hrana obou ramen leží ve stejné rovině a stupně jsou vůči této hraně posunuty o půlku šířky stupně směrem do podesty (viz Obr. 1.2a),
- hrana stupňů obou ramen začíná ve stejné rovině, dochází k vzájemnému posunu ramen o celou šířku stupně (viz Obr. 1.2b),
- hrany stupňů jsou vzájemně posunuty o vzdálenost a (viz Obr. 1.2c).



Obr. 1. 2: Vzájemné uložení ramen a podesty u monolitického ŽB schodiště [14]

Jednoramenná desková schodiště mohou být provedená bez podest nebo spojená s podestami. Desky schodiště se provádí jako přímé (uložené na podestové nosníky), jednou zalomené nebo dvakrát zalomené, popřípadě stupňovitě lomené (lomenicová deska) (viz Obr. 1.3). [10]



a **b** **c** **d**

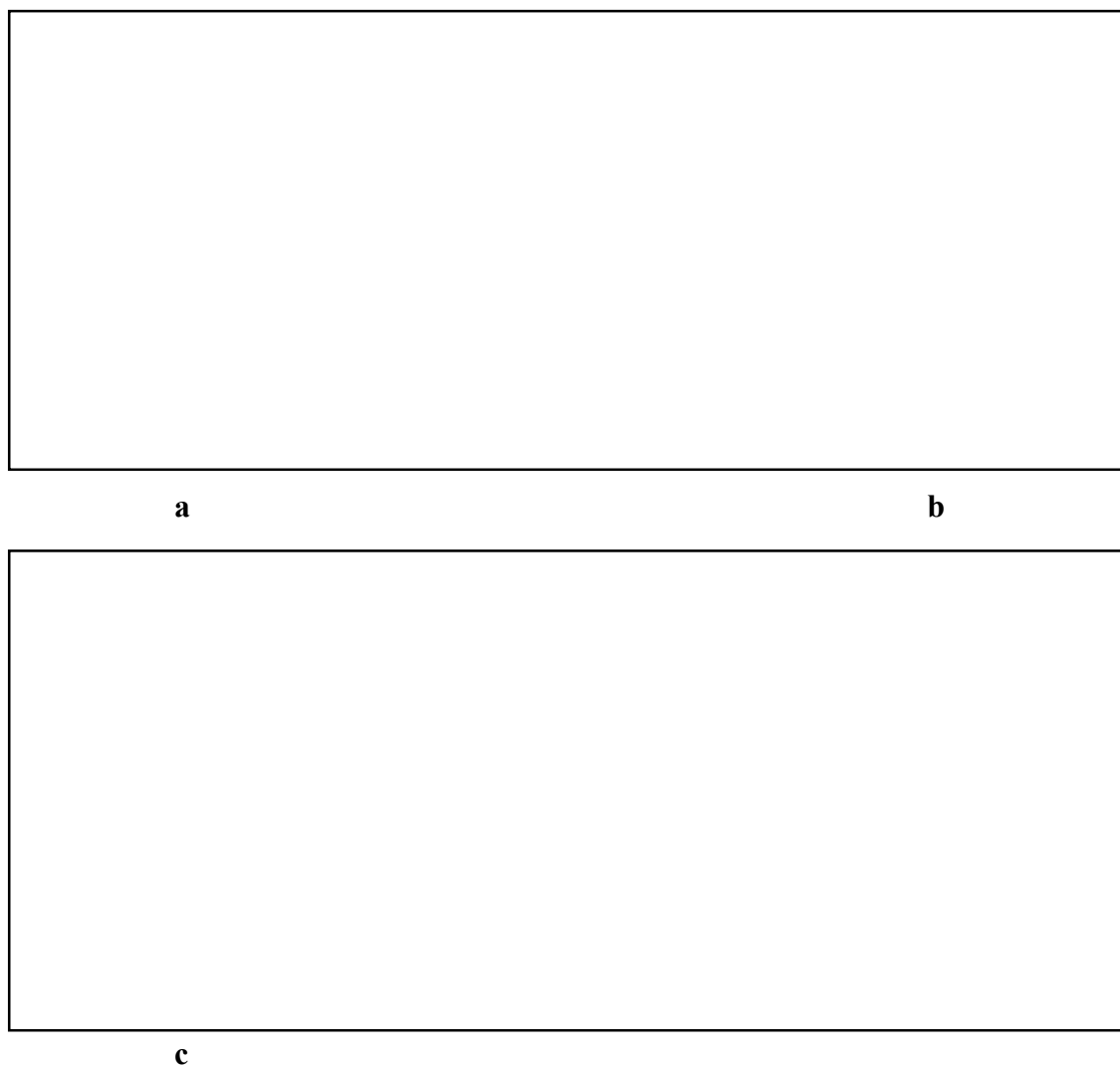
Obr. 1. 3: Příklady řešení deskového schodiště: a) rameno uložené na deskové schodiště, b) jednou zalomená deska, c) dvakrát zalomená deska, d) lomenicová deska [10]

Dvouramenná desková schodiště se provádí jako přímočará nebo různočará. V rámci uložení dělíme podpory na vnější, vnitřní, vnější i vnitřní a konzolové (viz Obr. 1.4). Podpory mohou tvořit nosníky, nosné zdivo, železobetonové stěny, trámy a jiné. [7]



Obr. 1. 4: Uložení dvouramenných deskových schodišť: a) vnější, b) vnitřní, c) vnitřní a vnější, d) konzolové [7]

Mezi **víceramenná desková schodiště** lze řadit tříramenná, čtyřramenná i tzv. sdružená (větvená) schodiště, jejichž ramena mohou mít různou šířku (viz Obr. 1.5).



Obr. 1. 5: Víceramenná schodiště: a) tříramenné, b) čtyřramenné, c) sdružené schodiště

[13]

2.2. TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ DESKOVÝCH ŽB SCHODIŠŤ

Desková železobetonová schodiště lze provádět v monolitické i prefabrikované podobě, často se též používá i kombinace obou technologií. Popisy jednotlivých technologií jsou uvedeny níže.

2.2.1. MONOLITICKÁ SCHODIŠTĚ

Monolitická schodiště se betonují přímo na stavbě, a proto vykazují větší rozměrové odchylky, které jsou způsobeny např. změnou teploty na staveništi, lidským činitelem, nedokonalé provedeným a namazaným bedněním. Povolené mezní odchylky pro monolitické schodiště jsou uvedené v Tab. 1.

Rozměry průřezu L	ČSN EN 13 670 Provádění betonových konstrukcí
L < 150 mm	± 10
L = 400 mm	± 15
L ≥ 2500 mm	± 30

Tab. 1: *Povolené mezní odchylky pro monolitické schodiště [4]*

Povrch stupňů bývá často více nepřesný, a proto se na něj pokládá nášlapná vrstva, např. dlažba nebo obklady (dřevěné). Mezní odchylky místní rovinnosti nášlapné vrstvy jsou uvedené v Tab. 2.

Použití podlahy	ČSN EN 74 4505 Podlahy: Společná ustanovení
Místnosti pro trvalý pohyb osob	± 2
Ostatní místnosti	± 3
Výrobní a skladovací prostory, garáže	± 5

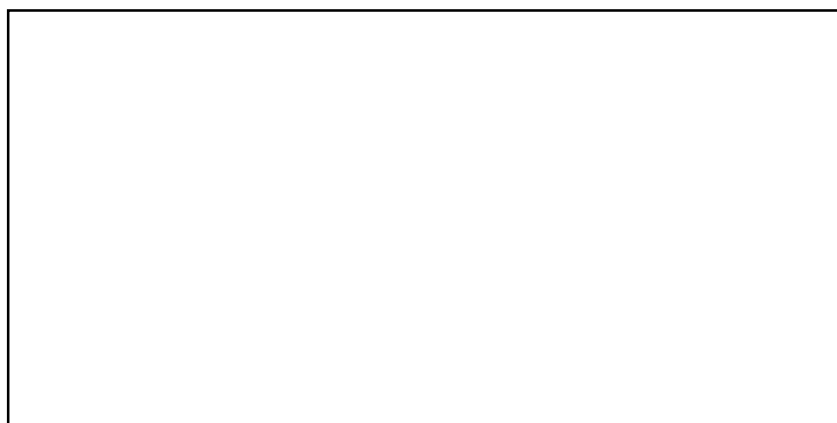
Tab. 2: *Mezní odchylky místní rovinnosti nášlapné vrstvy [5]*

Pro vzájemné provázání monolitických mezipodest s nosnými železobetonovými stěnami (u kterých dochází k pozdější betonáži než u okolních stěn) se využívají tzv. vylamovací lišty. V liště je ohnuta výztuž v potřebné přesahové délce pro zajištění dostatečného stykování. Ochranný kryt brání vniknutí betonu do výztuže při betonáži. Po odbednění se jednotlivá výztuž

narovná do potřebného tvaru (viz Obr. 2.1). Vylamovací výztuž lze použít s průměry pouze 8mm – 12mm. V případě, kdy je potřeba použít výztuž o větším profilu, je možné zvolit tzv. šroubované spoje s výztuží o průměru 12mm – 20mm (viz Obr. 2.2)

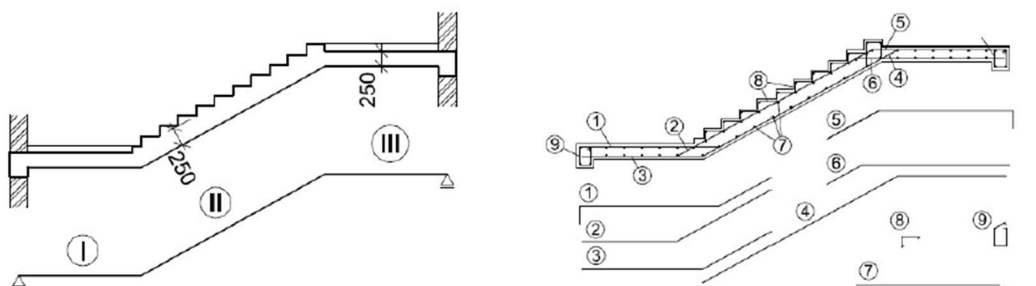


Obr. 2. 1: Stykovací výztuž HALFEN HBT – vylamovací lišta [15]



Obr. 2.2: Ukázka provedení šroubovaného spoje HALFEN HBS [15]

Výztuž z ramen je vzájemně propojena s výztuží v podestách. Hlavní vyztužení schodiště je doplněno o rozdělovací výztuž a samotné vyztužení stupňů. Výztuž je vedena u obou povrchů v celé délce schodiště (viz Obr. 2.3). U monolitických schodišť lze uvažovat prostorové působení mezi rameny a podestou, záleží však na zvolené metodě výpočtu schodiště (viz kapitola statické působení deskových schodišť). [9]



Obr. 2.3: Vyztužení dvakrát zalomeného deskového schodiště [11]

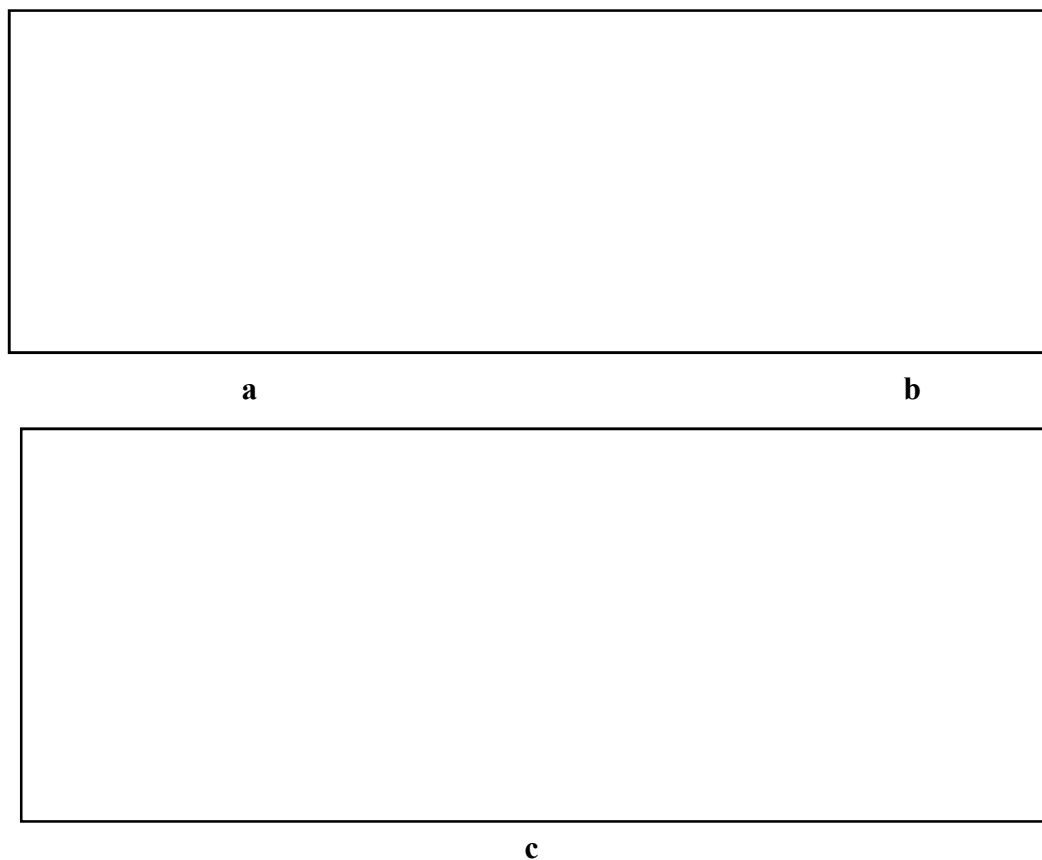
2.2.2. PREFABRIKOVANÁ SCHODIŠTĚ

Nejčastějším typem montovaných železobetonových schodišť jsou dvouramenná desková schodiště. Prefabrikovaná desková železobetonová schodiště se dováží na stavbu jako hotová schodišťová ramena (se schodišťovými stupni) společně se schodišťovými podestami (v podobě panelů). Užitím prefabrikované technologie dochází k urychlení výstavby, jelikož je část stavebních procesů přesunuta do výroby. Pro manipulaci (na staveništi i ve výrobě) s dílci se používají tzv. manipulační úchyty, u kterých je nutné navrhnout dostatečnou kotevní délku.

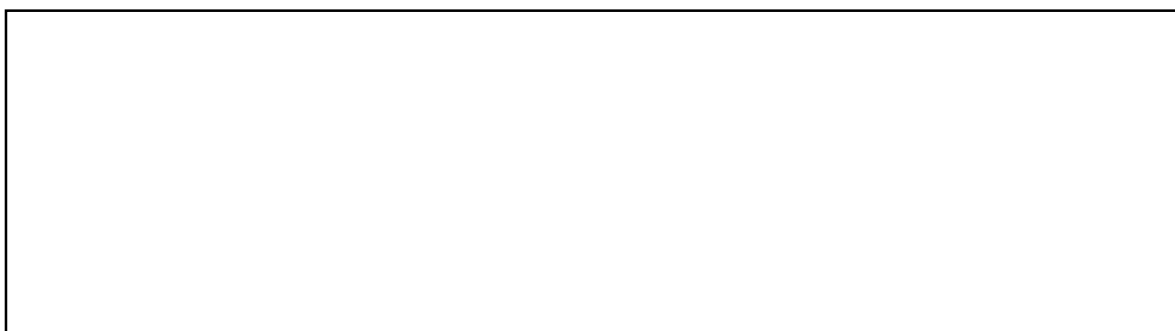
Rameno montovaného železobetonového schodiště lze uložit:

- a) na základ (viz Obr. 2.4a),
- b) na svislou nosnou konstrukci (rameno s podestou tvoří jednu či dvakrát zalomenou desku) (viz Obr. 2.4b),
- c) na podestový nosník či schodišťovou podestu (viz Obr. 2.4c,2.5).

Vždy je nutné rameno uložit na “měkkou“ vrstvu, a to buď na pryžovou podložku nebo do maltového lože. [16]



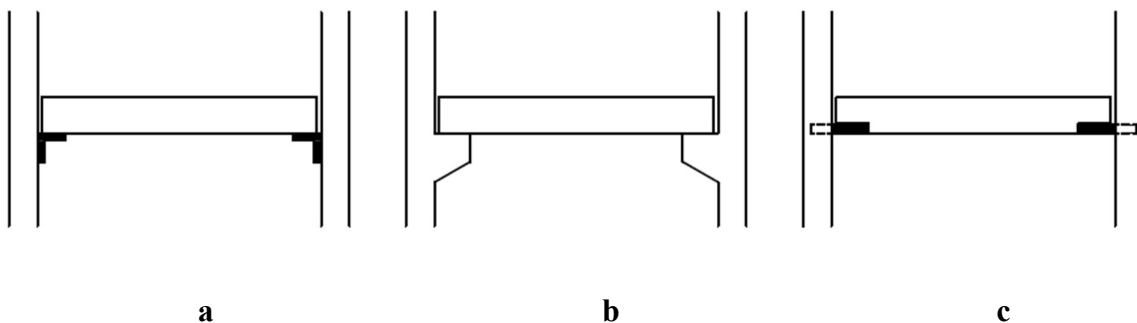
Obr. 2.4: Uložení ramene montovaného schodiště: a) na základ, b) na svislou nosnou konstrukci, c) na podestový nosník [16]

a**b**

Obr. 2.5: Schodiště orientované: a) rovnoběžně s průvlakly, b) kolmo na průvlakly [12]

Mezipodestu (podestu) prefabrikovaného schodiště lze uložit na stěny (stěnový systém) nebo na sloupy (skeletový systém) a to několika způsoby:

- a) na ocelové úhelníky (viz Obr. 2.6a),
- b) na železobetonové konzolky (viz Obr. 2.6b),
- c) na ocelové trny (viz Obr. 2.6c).

**a****b****c**

Obr. 2.6: Možnosti uložení podesty prefabrikovaného schodiště

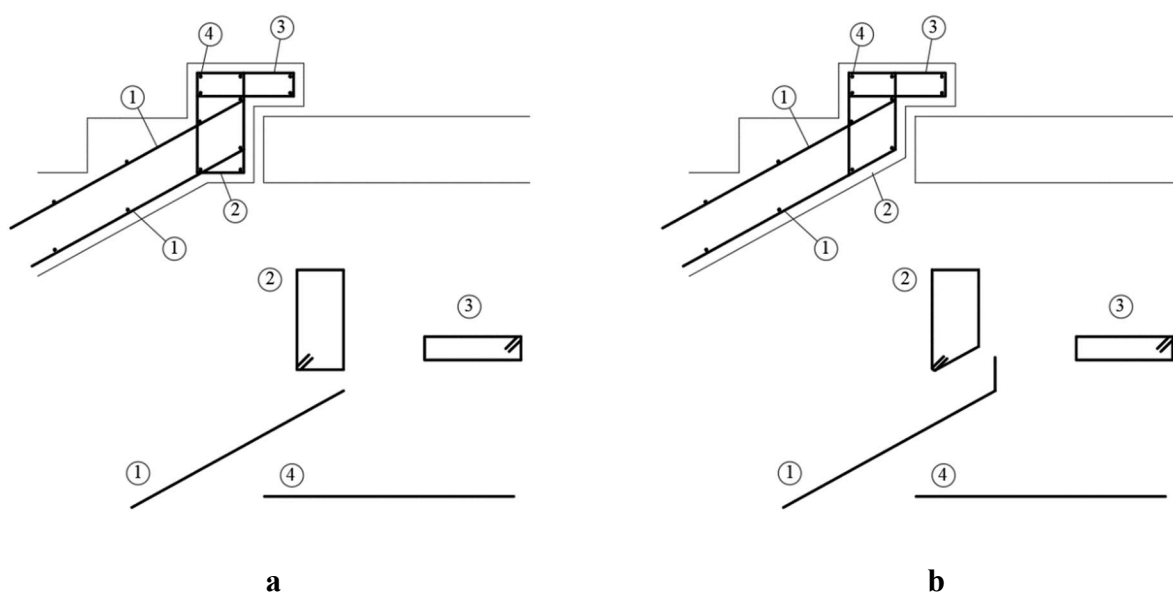
Díky stálejším podmínkám při výrobě (např. teplota, vlhkost, rovinnost formy, ...) lze dosáhnout u prefabrikovaných prvků vyšší přesnosti geometrie a kvality povrchů než u monolitických prvků. Větší část krátkodobých změn se odehrává při uskladnění prvků

ve výrobních halách. Prefabrikovaná schodiště se často nechávají bez povrchové úpravy (nášlapné vrstvy, stěrky) díky vyšší kvalitě povrchu. Povolené výrobní odchylky pro montované konstrukce jsou uvedené v Tab. 3.

Rozměry průřezu L	ČSN EN 13 369 Společná ustanovení pro prefabrikáty	ČSN EN 14 843 Betonové prefabrikáty - schodiště
$L \leq 150 \text{ mm}$	+10/ -5	+10/ -5
$L = 400 \text{ mm}$	+15/ -10	± 15
$L \geq 2500 \text{ mm}$	± 30	± 15

Tab. 3: Povolené výrobní odchylky pro montované konstrukce [2], [13]

V případě, kdy ramena s podestou netvoří jeden vyrobený celek (jednou nebo dvakrát zalomenou desku), nedochází k propojení výztuže mezi ramenem a podestou. Na rozdíl od monolitických schodišť je nutno speciálním způsobem vyztužit ozub, prostřednictvím kterého se schodišťové rameno ukládá na podporu (viz Obr. 2.7). Koncovou část ramene lze geometricky upravit tak, že po osazení bude zachován rovný pohled (viz Obr. 2.7a). Jednotlivé části je však nutné řádně vyztužit. V opačném případě nedochází k zachování rovinnosti pohledu (viz Obr. 2.7b). U prefabrikovaného schodiště nelze neuvažovat prostorové působení mezi rameny a podestou. [11]

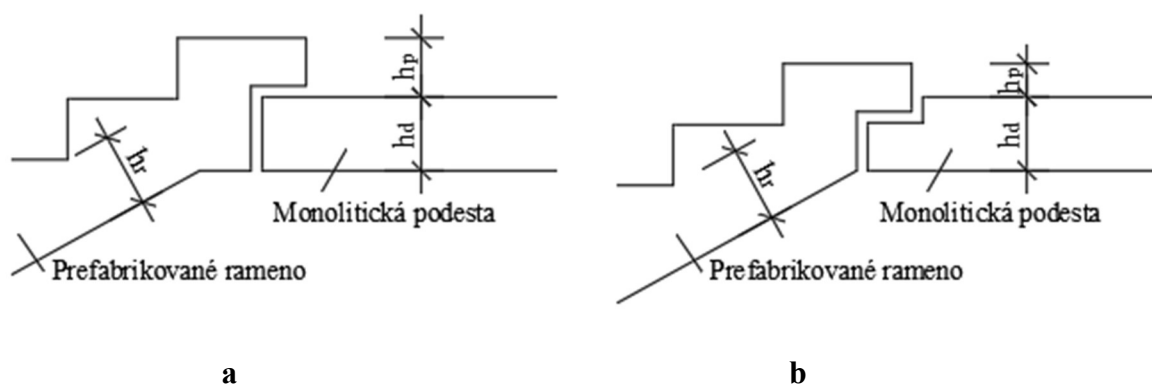


Obr. 2.7: Schéma vyztužení ozubu montovaného schodišťového ramene [11]

2.2.3. KOMBINACE PREFABRIKOVANÝCH A MONOLITICKÝCH ČÁSTÍ SCHODIŠTĚ

Častou variantou je i provedení monolitických podest a prefabrikovaných ramen. Tato varianta se používá v případě větší složitosti schodišťových ramen, kdy by provedení bednění ramen bylo příliš náročné. Uložení ozubu ramene lze řešit dvěma způsoby:

- výška ozubu je shodná s výškou podlahy na podestě (využívá se v případě vysokých podlah, viz Obr. 2.8a).
- ozub ramene se zapustí do zářezu podesty (využívá se v případě menší tloušťky podlahy, viz Obr. 2.8b)



Obr. 2.8: Napojení prefabrikovaného schodišťového ramene na monolitickou podestu

Při realizaci schodiště s prefabrikovanými rameny a monolitickými podestami se nejdříve vybetonují okolní nosné železobetonové stěny. Do bednění nosných stěn se vloží vylamovací lišty. Lišty se nachází v místech provedení budoucích mezipodest. Samotné mezipodesty se vybetonují dodatečně. Podesty se provedou jako součást stropní konstrukce a vybetonují se současně se stropní konstrukcí. V případě, kdy dochází k zapuštění ozubu ramene do podesty, je nutné zářez podesty před betonáží vybednit. Jako poslední se uloží prefabrikovaná ramena na podestu (mezipodestu).

2.3. AKUSTICKÉ POŽADAVKY NA SCHODIŠTĚ

Z hlediska akustiky jsou na stavební objekty kladeny dva požadavky: vzduchová neprůzvučnost a kročejová neprůzvučnost. V rámci návrhu schodiště chceme co nejvíce zabránit přenosu kročejového hluku. Kročejový hluk vzniká ve stavební konstrukci v důsledku nárazu na konstrukci (např. chůze, dopad předmětu na zem) a šíří se dále v konstrukci všemi směry. Nejvyšší přípustné hodnoty vážené hladiny kročejového vzduchu $L'_{n,w}$ jsou uvedeny v Tab. 4.

G. Administrativní a správní budovy, firmy – kanceláře a pracovny				
Hlučný prostor	Stropy		Stěny	Dveře
	dB	dB	dB	dB
Kanceláře a pracovny s běžnou administrativní činností, chodby, pomocné prostory	47	63	37	27
Kanceláře a pracovny se zvýšenými nároky, pracovny vedoucích pracovníků	52	58	45	32
Kanceláře a pracovny pro důvěrná jednání nebo jiné činnosti vyžadující vysokou ochranu před hlukem	52	58	50	37

Tab. 4: Požadavky na zvukovou izolaci dle ČSN 73 0532 [6]

Pro zamezení přenosu kročejového hluku lze využít řadu akustických prvků, které se liší pro monolitické konstrukce a prefabrikované konstrukce. Jsou to akustické prvky pro zamezení přenosu kročejového hluku v místě uložení schodišťového ramene na podestu, prvky v místě uložení podesty na svislé podpory, prvky pro zamezení přenosu hluku mezi nástupním ramenem a základovou konstrukcí nebo prvky oddělující ramena od okolních stěn.

MONOLITICKÉ KONSTRUKCE

- Akustický prvek pro přerušování přenosu kročejového hluku v místě styku **monolitického schodišťového ramene a monolitické podesty (mezipodesty)** se ukládá do bednění schodiště přímo na staveništi. Prvek se skládá z pozinkovaného plechu, minerální izolace z vláken a z elastomerového ložiska. Prvky jsou schopny přenášet výhradně posouvající a horizontální síly, a to jak od krátkodobého působícího zatížení, rázového

namáhání, tak i z možného budoucího vnějšího namáhání konstrukce. Ohnivzdornost prvku záleží na tloušťce krytí betonu. Maximální zlepšení kročejové neprůzvučnosti o 12 dB (viz Obr. 2.9).



Obr. 2.9: Akustický prvek HALFEN HTT [15]

- Akustické boxy se používají v místě uložení **monolitické podesty (mezipodesty) na okolní nosné konstrukce** (viz Obr. 2.10). Prvky se vkládají na staveništi přímo do bednění nosných stěn. Boxy je nutné při betonáži zevnitř podepřít, aby nedošlo k jejich poškození. Maximální zlepšení kročejové neprůzvučnosti o 23 dB.



Obr. 2.10: Akustický prvek HALFEN HBB-O [15]

- Spárovou desku lze použít v případě, kdy je potřeba **oddělit monolitické schodišťové rameno od okolní konstrukce** (stěny). Prvek se vkládá do bednění a zamezuje propojení betonu schodiště s okolními konstrukcemi při betonáži (viz Obr. 2.11).



Obr. 2.11: Spárová deska HALFEN HTPL [15]

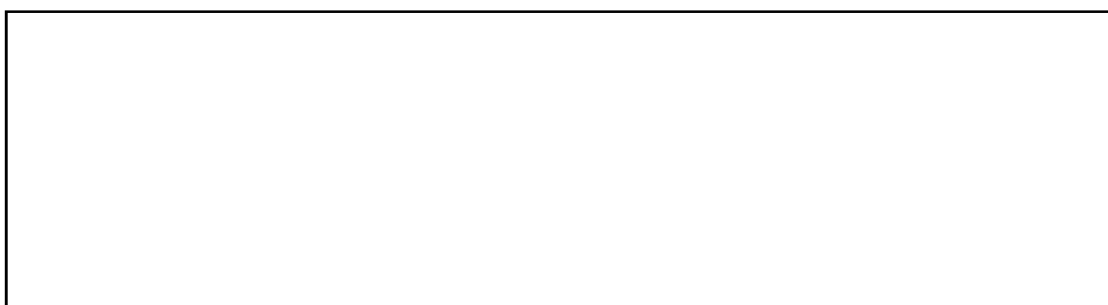
PREFABRIKOVANÉ KONSTRUKCE

- Akustický prvek pro přerušení přenosu kročejového hluku mezi **prefabrikovanou podestou a prefabrikovaným ramenem** se ukládá na ozub podesty (mezipodesty) po celé šířce budoucího ramene. K fixaci izolačního prvku k podestě se použijí samolepící pásy, které se nachází na zadní straně prvku (viz Obr. 2.12). Prvky jsou schopny přenášet výlučně posouvající síly. Maximální zlepšení kročejové neprůzvučnosti o 23 dB.



Obr. 2.12: Akustický prvek HALFEN HTF [15]

- Pro zamezení přenosu kročejového hluku mezi **prefabrikovaným schodišťovým ramenem a základovou konstrukcí** se využívají tzv. pružné podložky. Podložky se pokládají pod prefabrikované rameno (vzniká tak elastické uložení) a brání šíření kročejového hluku (viz Obr. 2.13). Kročejovou neprůzvučnost lze zlepšit o 27 dB.



Obr. 2.13: Akustický prvek HALFEN HTF-B [15]

- Pro zamezení přenosu kročejového hluku mezi **prefabrikovanou podestou (mezipodestou) a okolními nosnými stěnami** (viz Obr. 2.14) se využívá akustický box, který se nasune na konzolku prefabrikovaného schodišťového ramene před jeho montáží. Ve spodní části prvku se nachází tzv. bi-trapézové ložisko. V případě, kdy prvek přenáší síly, které působí jiným směrem (nejen dolů, ale i vzhůru, nebo do stran),

je nutné zvolit box s ložisky ve všech směrech působících sil. Kročejovou neprůzvučnost lze zlepšit o 23 dB.

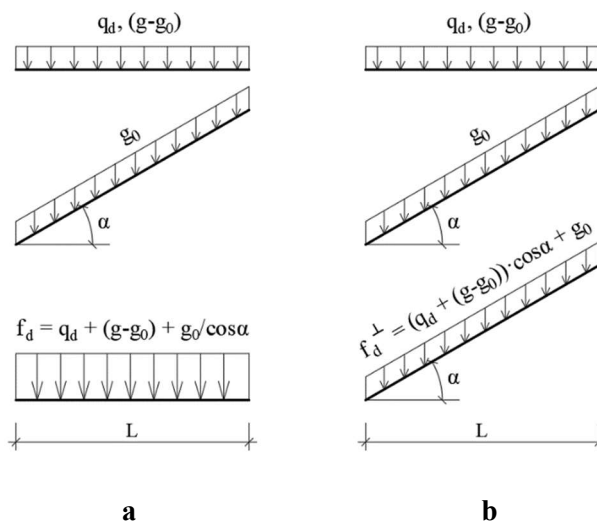


Obr. 2.14: Akustický prvek *HALFEN bi-Trapez Box* [15]

- Spárová deska lze použít i pro prefabrikované konstrukce, kdy umožňuje účinné **oddělení prefabrikovaných schodišťových ramen (podest) od okolních stěn** (viz Obr. 16).

2.4. STATICKÉ PŮSOBNÍ DESKOVÝCH SCHODIŠŤ

Ramena a podesty monolitických železobetonových schodišť jsou zatíženy stálým a užitným zatížením, v ojedinělých případech zatížením mimořádným. V případě montovaného železobetonového schodiště se kromě stálého, užitného a mimořádného zatížení uvažuje i montážní zatížení a dočasné návrhové stavy (výroba, skladování, doprava). Stálé zatížení představuje vlastní tíhu nosných železobetonových desek, podlahové (nášlapné) vrstvy a v případě schodišťových ramen též vlastní tíhu schodišťových stupňů. Užitné zatížení je dáno normou [1] a obecně se může lišit (převyšovat) užitné zatížení v provozní části objektu. Užitné zatížení a část stálého zatížení (vlastní tíha železobetonové desky ramene, vlastní tíha stupňů a povrchová úprava) působí na ramena schodiště a jsou udávána na půdorysný průmět ramen. Celkové zatížení je tak možné vypočítat buď na jednotku půdorysné nebo šikmé plochy (viz Obr. 2.15).

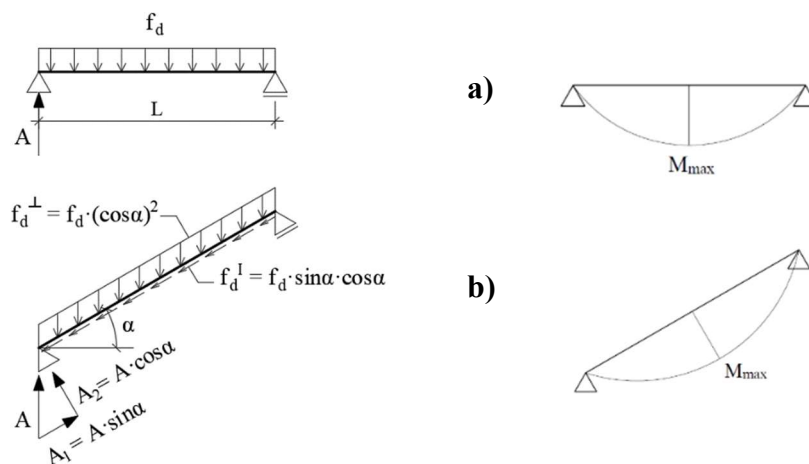


Obr. 2.15: Přepočítání zatížení na jednotku půdorysné a šikmé plochy [7]

Výpočet vnitřních sil (ohybových momentů) v případě prostého nosníku (např. prefabrikované rameno) je pak možné (při zanedbání normálových sil) provést dle následujících vztahů:

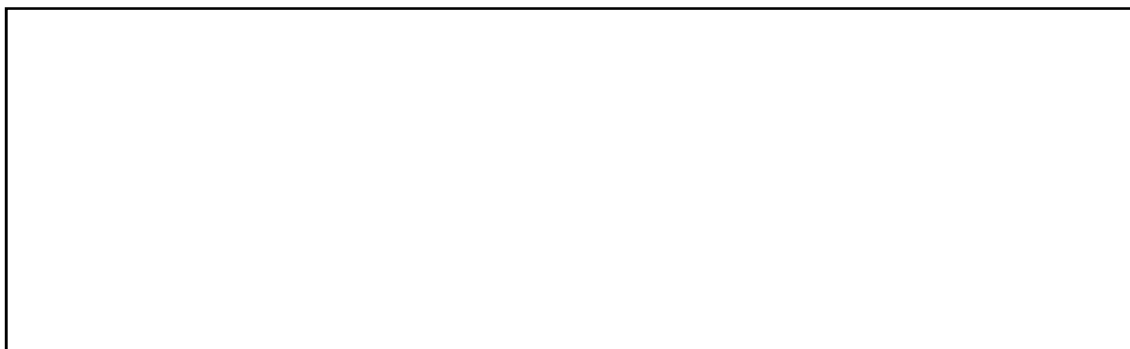
$$\text{a) } M_{max} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{g_d}{\cos \alpha} + q_d + (g - g_0) \right) \cdot l^2 \quad (1)$$

$$\text{b) } M_{max} = \frac{1}{8} \cdot f_d^\perp \cdot \left(\frac{l}{\cos \alpha} \right)^2 = \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{g_d}{\cos \alpha} + q_d + (g - g_0) \right) \cdot l^2 \quad (2)$$



Obr. 2.16: Výpočet ohybových momentů od zatížení uvedeného v obr. 15 [7]

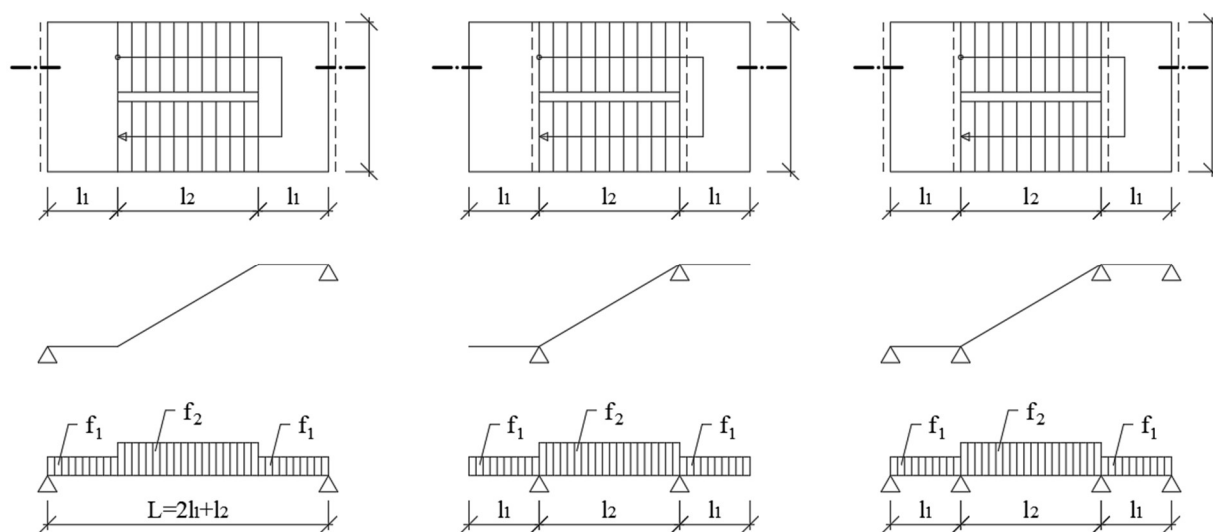
Statické působení jednotlivých typů schodišť se mění v závislosti na podepření a způsobu spojení prvků (posuvný kloub, neposuvný kloub a vetknutí). Podpory mohou tvořit nosníky, nosné zdivo, železobetonové stěny, trámy a jiné (viz Obr. 2.17).



Obr. 2.17: Podpory deskového schodiště: a) průvlak, b) trám, c) ŽB stěna – monolitické spojení, d) oslabená ŽB stěna – uložení do kapsy, e) ŽB stěna – napojení pomocí vylamovací lišty, f) zděná stěna, g) podestový nosník, h) skrytý podestový nosník, i) podesta – zalomené schodišťové rameno [7]

Různé možnosti podepření schodiště a využití akustických prvků se nám promítne do návrhu schodiště. Při návrhu na MSÚ je možné bezpečně využít zjednodušenou metodu, kdy neuvažujeme prostorové působení schodiště. Schodiště počítáme rozdělené na jednotlivé prvky a neuvažujeme jejich vzájemné spolupůsobení. Druhou možností je složitější výpočet, kdy uvažujeme prostorové působení s respektováním reálných okrajových podmínek. Pro tento typ výpočtu lze využít některý z numerických výpočetních programů. [7]

ramen a podest nebo spojitým nosníkem (viz Obr. 2.19). Skutečný tvar schodiště je možné promítnout do půdorysu a zatížení tak uvažujeme na půdorysný průřez nosníku. [8]



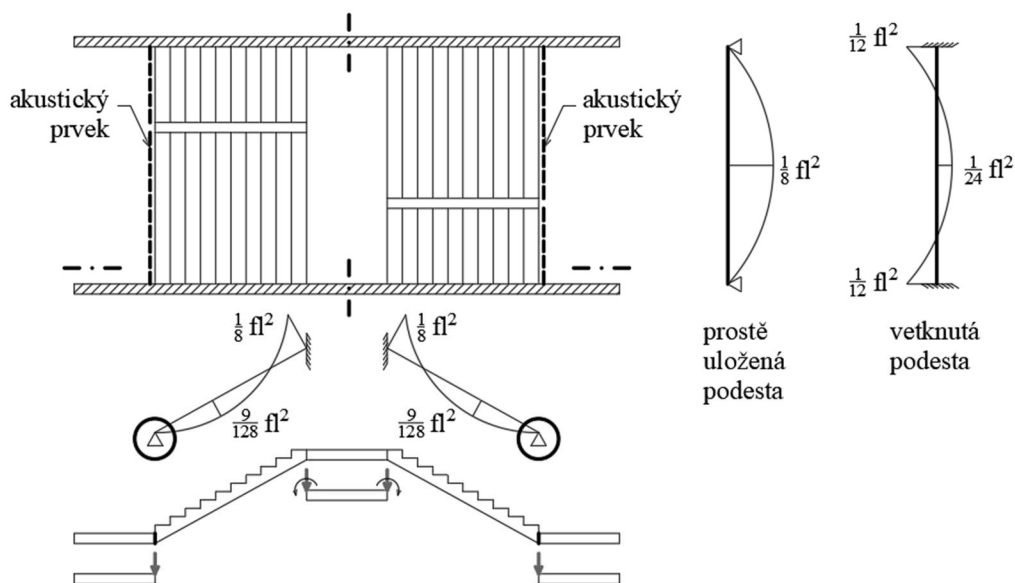
Obr. 2.19: Jednosměrně nosné schodiště: a) prostý nosník, b) nosník s převislými konci, c) spojitý nosník [8]

2.4.3. LOMENÉ DESKOVÉ SCHODIŠTĚ SE SKRYTÝM PODESTOVÝM NOSNÍKEM

V případě monolitického lomeného deskového schodiště dochází k vzájemnému působení mezi šikmými rameny a podestou. Zatížení z šikmých ramen je přenášeno na okrajové části podesty, kde se projeví v podobě liniového zatížení, popřípadě ohybového momentu (spojitá deska). Jestliže se v místě styku šikmého ramene a podesty používají prvky pro přerušení přenosu kročejového hluku, můžeme uvažovat spoj jako liniový kloubový a okraj podesty je přitížen pouze svislou spojitou reakcí od ramen (viz Obr. 2.20).

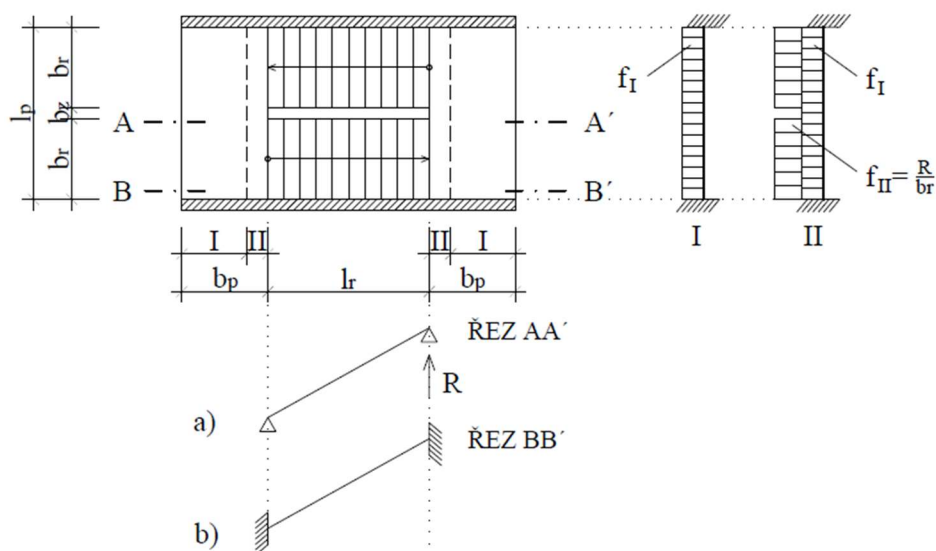
Hlavní podesty mohou být uvažovány jako součást stropní konstrukce. Způsob podepření mezipodesty se liší dle druhu schodišťové konstrukce, kdy mezipodesta může být prostě uložena nebo částečně vetknuta až vetknuta do okolních schodišťových stěn, v závislosti na robustnosti stěny (viz. Obr. 2.20).

V rámci výpočtu prefabrikovaného schodiště se jednotlivé prvky (podesty a ramena) řeší zvlášť (neuvažujeme prostorové působení), avšak u monolitického schodiště uvažujeme buď spojitou desku nebo v případě zjednodušení rozdělení schodiště na jednotlivé prvky.



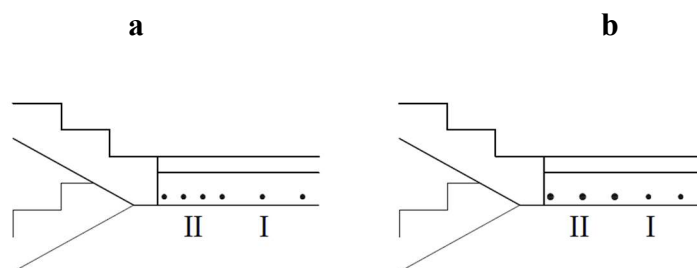
Obr. 2.20: Statické působení schodiště s akustickými prvky [7]

V případě využití skrytého podestavého nosníku (zesílení výztuže okraje podesty v místě napojení ramene) se nepředpokládá prostorové působení deskové schodišťové konstrukce. Podepření ramen uvažujeme jako poddajná. V blízkosti zrcadla uvažujeme připojení ramen jako kloub (možné natočení, viz Obr. 2.21a), naopak u železobetonových nosných stěn uvažujeme vetknutí (zabránění natočení v důsledku uložení podesty do schodišťové stěny, viz. Obr. 2.21b). [7]



Obr. 2.21: Rozdělení zatížení podesty v pruzích I a II [7]

Deska podesty je v tomto případě rozdělena na dva pruhy: pruh I a pruh II (viz Obr. 2.21). Podesta je zatížena od ramen liniovou reakcí $R = 1/2flr$ kde f je zatížení ramene a lr je délka ramene. Pruh II (šířka pruhu je $2 \div 3$ násobek tloušťky desky h_p , obvykle šířky 300–500 mm) je ovlivněn působením schodišťového ramene, označuje se též jako skrytý podestový nosník a dochází v něm k zhuštění (zesílení) výztuže (viz Obr. 2.22). U pruhu I se přitížení od šikmých ramen neprojevuje. [9]



Obr. 2.22: Varianty skrytého podestového nosníku: a) zhuštění výztuže, b) větší průměr výztužných prutů

2.4.4. PROSTOROVÉ PŮSOBENÍ DESKOVÉHO SCHODIŠTĚ

Při návrhu lomeného deskového schodiště je možné zohlednit prostorové (lomenicové) působení mezi rameny a podestou. Základní myšlenkou lomenicového působení je “nepoddajné“ podepření podest (mezipodest) prostřednictvím schodišťových ramen. V důsledku monolitického spojení vznikají v ramenech normálové síly (tažené a tlačené diagonály – viz Obr. 23), které zabraňují průhybu podest uprostřed jejich rozpětí. Vznik vzpěr a táhel ve schodišťových ramenech III je podmíněn zabráněním vodorovného posunu podest I a II (viz Obr. 2.23a).

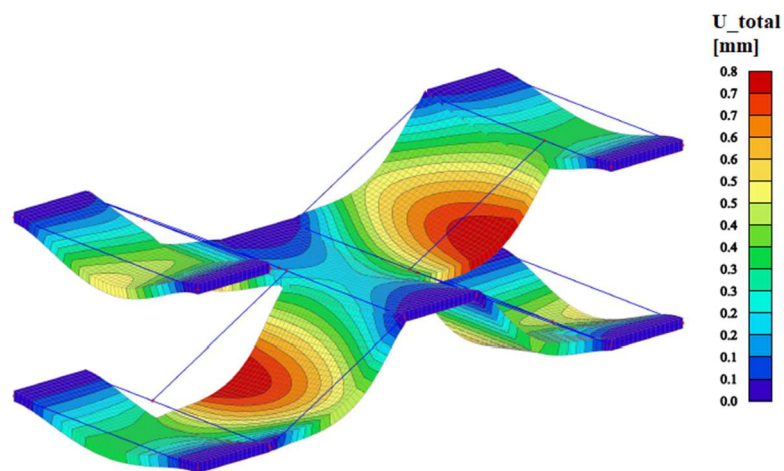


Obr.2.23: Prostorové působení deskového schodiště [9]

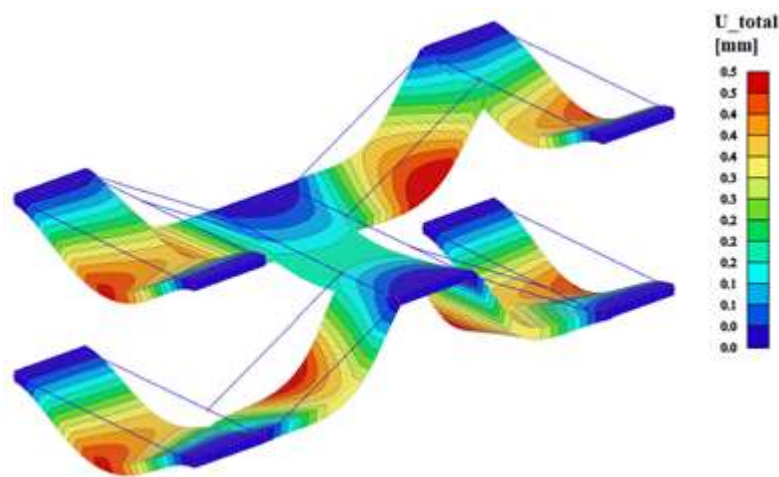
První rameno podpírá mezipodestu II a působí jako vzpěra mezi body „m“ a „l“ (viz Obr. 2.23c). Naopak druhé rameno vynáší mezipodestu a působí jako táhlo mezi body „l“ a „n“ (viz Obr.2.23c). Průhyb uprostřed podesty v bodě „l“ je díky působení obou ramen značně redukován. Tento předpoklad neplatí pro schodiště se širokým zrcadlem, kdy podesta není v místě zrcadla podepřena pomocí mezipodesty (viz Obr. 2.24).

Lomenicové působení schodiště má za následek výrazné zmenšení průhybu uprostřed rozpětí podest a mezipodest (viz Obr. 2.24a,b), klade však větší nároky na vyztužení ramen. Ramena je nutné vyztužit nejen na účinky ohybových momentů, ale i na působení normálové síly.

a

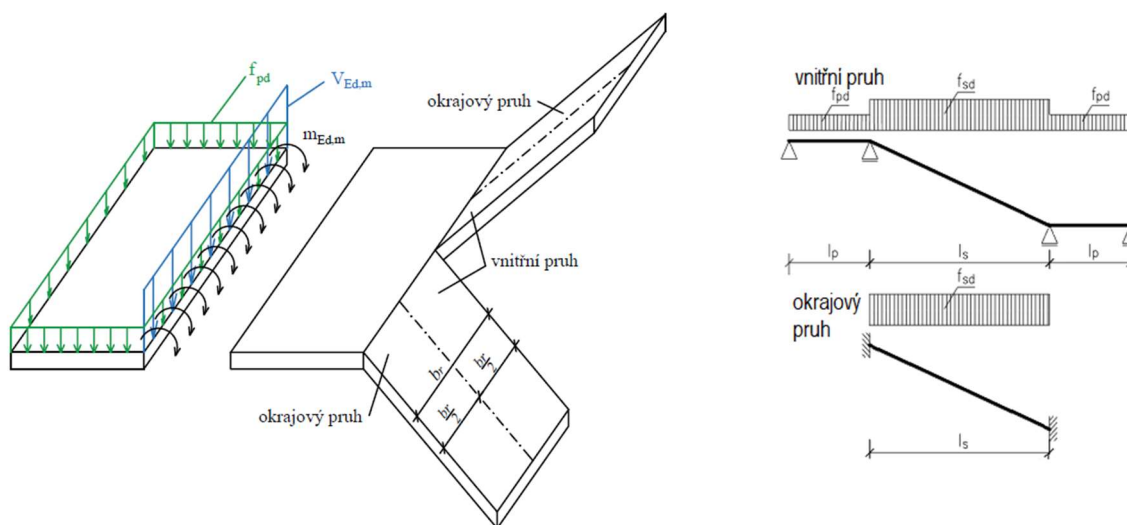


b



Obr.2.24: Pružná svislá deformace v programu SCIA

Při "ručním" výpočtu rozdělíme schodišťové rameno na dva pruhy: vnitřní a okrajový pruh. Vnitřní pruh o šířce přibližně 0,5 šířky schodišťového ramene se uvažuje jako dvakrát zalomený nosník, který je nepoddajně podepřený (viz. Obr. 2.25). Oblast podesty je přitížena zatížením f_{pd} (poměrná část zatížení od podlahy a užitého zatížení připadající do daného směru) a oblast šikmých ramen zatížením f_{sd} (součet zatížení od podlahy, schodišťových stupňů a od užitého zatížení ramene). Naopak v krajním pruhu uvažujeme vetknutí (zabráněno natočení) v místě spojení šikmé desky a podesty. Podesta je zde namáhána liniovým zatížením $v_{ed,m}$, podporovými momenty $m_{ed,m}$ a plošným zatížením f_{pd} . (viz. Obr. 2.25) [7],[8]



Obr.2.25: Rozdělení schodišťových ramen na vnitřní a okrajový pruh [9]

Pro dostatečnou výstižnost lomenicového působení schodiště musí být splněny následující podmínky:

1. Nepoddajné uložení podesty
2. Malá šířka zrcadla
3. Dostatečné vyztužení ramen po obou površích

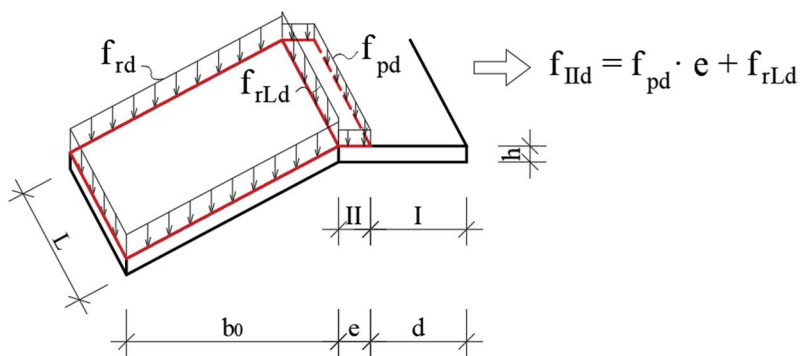
2.4.5. EMPIRICKÉ ŘEŠENÍ DVOURAMENNÉHO SCHODIŠTĚ

Dvouramenná schodiště je možné řešit také zjednodušeně pomocí tzv. "empirické metody". Následně uvedené empirické vzorce lze použít pro schodiště, jejichž podesty (mezipodesty) jsou podepřeny po dvou nebo třech stranách.

Schodiště bez zrcadla

U schodiště bez zrcadla se využívá lomenicové působení. Díky tuhému připojení ramen k podestám dochází ke vzniku nepravé podpory uprostřed rozpětí podesty v místě uložení schodišťových ramen. Ve schodišťových ramenech vznikají normálové síly (diagonální systém: “vzpěra-táhlo“. Pro výpočet ohybového momentu v rameni a reakce R v uložení (viz obr. 2.27, 2.28) se používá model spojitého nosníku o dvou polích.

V rámci uložení schodišťového ramene využíváme tzv. náhradní vodorovnou délku schodišťového ramene: $b_{eff} = 0,9 b_0$ (b_0 je skutečná vodorovná délka schodišťového ramene, viz Obr. 2.26). Šířka schodišťového ramene je označena písmenem L , tloušťka podesty písmenem h (tloušťka podesty a mezipodesty je shodná).



Obr. 2.26: Rozložení zatížení na schodišťovém ramenu a podestě

V pruhu II (viz Obr. 2.26) dochází k přitížení podesty zatížením f_{rLd} od ramen (šířka pruhu II: $a = 2 \div 3h$). V pruhu I se toto přitížení neprojevuje. Působící zatížení v pruhu II se uvažuje jako $f_{II d}$ [kN/m] (součet zatížení: f_{pd} a f_{rLd} , kde f_{pd} je zatížení od podlahy, vlastní tíhy železobetonové desky a užité zatížení pro daný typ konstrukce, f_{rLd} je liniové zatížení od působících schodišťových ramen) a f_{rd} [kN/m²] je zatížení působící na schodišťové rameno (zatížení od podlahy, schodišťových stupňů, železobetonové desky ramene a užité zatížení).

Velikost reakce R působící uprostřed rozpětí podesty v místě styku schodišťových ramen a podesty je rovna síle působící v prostřední podpoře spojitého nosníku o dvou polích – prostřední podpora vzniká díky působení ramen (systém “vzpěra-táhlo“). Okrajové podpory se nachází v místě uložení podesty (mezipodesty) na okolní železobetonové nosné stěny):

$$R = 1,2 \cdot f_{II d} \cdot L \text{ [kN]} \quad (3)$$



Obr. 2.27: *Statické schéma pro stanovení velikosti reakce R schodiště bez zrcadla [7]*



Obr. 2.28: *Statické schéma pro stanovení velikostí ohybových momentů schodiště bez zrcadla [7]*

Kladný moment u schodišťových ramen:

$$M_{\text{záporný}} = \frac{1}{12} f_{rd} b_{eff}^2 \quad [kNm] \quad (4)$$

Záporný moment ve styku schodišťových ramen a podest:

$$M_{\text{kladný}} = \frac{1}{10} f_{rd} b_{eff}^2 \quad [kNm] \quad (5)$$

Hodnota max. momentu uprostřed rozpětí podesty v pruhu II:

$$M_{\text{podesta}} = -\frac{1}{8} f_{IId} L^2 \quad [kNm] \quad (6)$$

Schodiště se zrcadlem

V případě, kdy je šířka schodišťového zrcadla (označena písmenem c) rovna šířce schodišťového ramene: $c = L$, pak je náhradní vodorovná délka schodišťového ramene shodná

se skutečnou délkou schodišťového ramene: $b_{eff} = b_0$ (viz Obr. 2.29). Pokud by se $L \neq c$, bylo by nutné moment ($M_{podesta}$) přenásobit faktorem k . Šířka pruhu II je v obou případech pro schodiště se zrcadlem uvažovaná $2h$.

V případě, kdy se $c = L$, je velikost reakce R rovna síle působící ve vnitřní podpoře spojitého nosníku o třech polích (okrajové podpory se nachází v místě uložení podesty (mezipodesty) na okolní železobetonové nosné stěny, viz Obr. 2.29) [7]

$$R = 1,1 f_{II d} L \text{ [kN]} \quad (7)$$

Kladný moment u schodišťových ramen:

$$M_{záporný} = \frac{1}{12} f_{rd} b_{eff}^2 \text{ [kNm]} \quad (8)$$

Záporný moment ve styku schodišťových ramen a podest:

$$M_{kladný} = \frac{1}{10} f_{rd} b_{eff}^2 \text{ [kNm]} \quad (9)$$

Hodnota max. momentu u podesty v pruhu II:

$$M_{podesta} = \frac{1}{10} f_{II d} L^2 \text{ [kNm]} \quad (10)$$

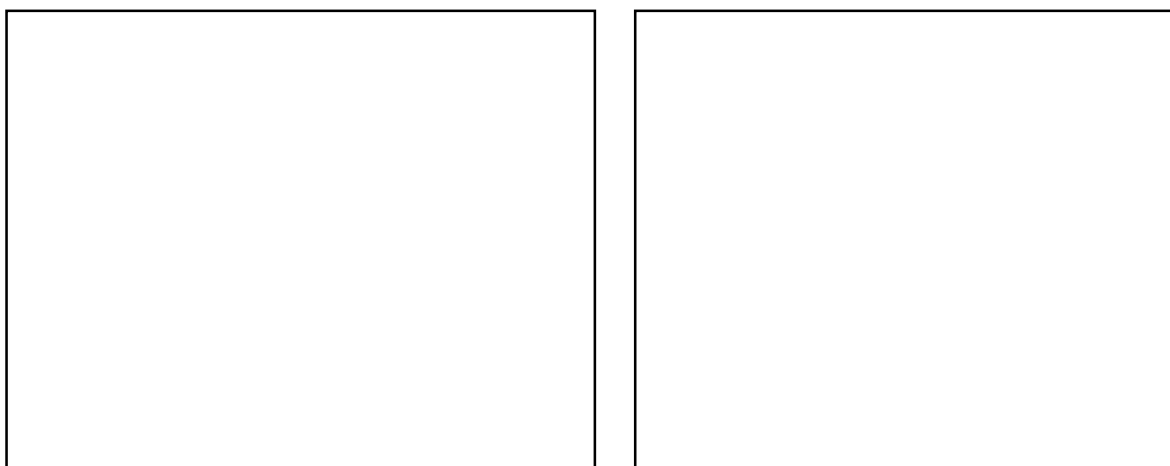
Faktor k : $k = \sqrt{\frac{L}{c}} \geq 1 \quad (11)$



Obr. 2.29: Empirické vztahy pro stanovení ohybových momentů schodiště se zrcadlem [7]

2.5. PŘÍKLADY REALIZACE DESKOVÝCH SCHODIŠŤ

Pro spojení přízemního podlaží s prvním nadzemním podlažím v rodinném domě (vyzděném z keramického zdiva) je využito **monolitické lomenicové schodiště**. Schodiště je v patě opřeno o základovou konstrukci, v úrovni vyššího podlaží navazuje na betonovou stropní konstrukci. Mezipodesta je uložena na okolní zdivo. Schodiště se v dolní části skládá ze tří stupňů otočených o 90°, na ně navazuje mezipodesta, poté druhé schodišťové rameno se dvanácti stupni. Na povrch schodiště je uložena keramická dlažba (viz Obr. 2.30)



Obr. 2.30: *Lomenicové schodiště* [17]

Jednoramenné prefabrikované deskové schodiště se nachází se v rodinném domě vyzděném z betonových tvárnic. Schodiště je tvořeno jedním ramenem se šestnácti stupni. V patě je uložené na základovou konstrukci a ve vyšším podlaží na ozub stropní konstrukce. Díky prefabrikaci má rameno vysoce kvalitní povrch, a proto není nutné na něj pokládat podlahu (viz Obr. 31).



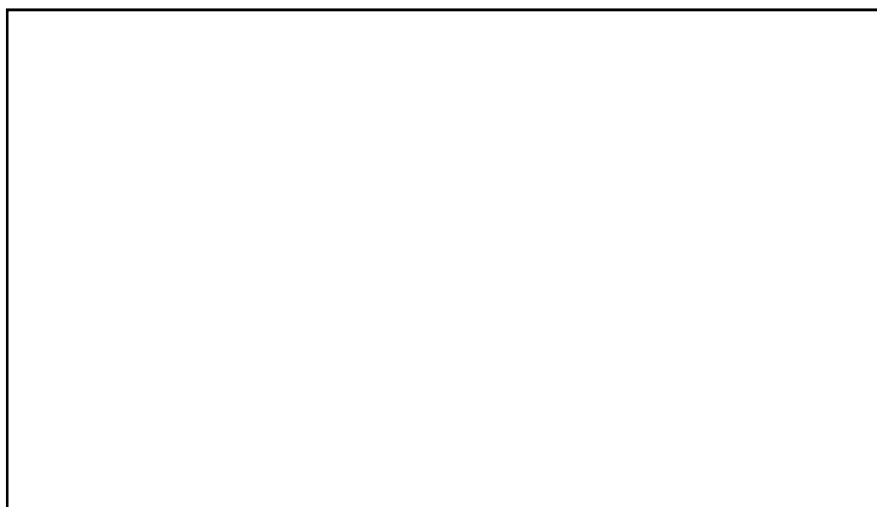
Obr. 2.31: *Jednoramenné deskové schodiště* [18]

V budově divadla v Plzni jsou pro spojení podzemní garáže s horními patry použita **přímá dvouramenná schodiště** umístěná ve dvou železobetonových jádrech (viz Obr.2.32). Schodiště se skládá z monolitických podest (mezipodest) a prefabrikovaných ramen uložených na ozuby podest. Pro přerušení přenosu kročejového hluku nejsou použity žádné prvky (není kladen žádný požadavek). [19]



Obr. 2.32: *Dvouramenné přímé schodiště* [19]

Trojramenné prefabrikované schodiště ve tvaru U se nachází v bytovém domě. Svislé nosné konstrukce objektu jsou provedené jako zděné, vodorovné konstrukce jsou tvořené z panelů Spiroll. Schodiště se skládá ze tří ramen (na každém rameni se nachází čtyři stupně) a ze dvou mezipodest (viz Obr. 2.33). Celé schodiště je složeno ze tří prefabrikovaných částí. Nástupní rameno společně s první mezipodestou tvoří první celek, který je uložen na základovou konstrukci a na přilehlou stěnu. Mezilehlé rameno je uloženo na mezipodesty. Třetí část je tvořena druhou mezipodestou (uloženou na přiléhající stěnu) a výstupním ramenem (uloženým na ozub stropní konstrukce). Horní povrch stupňů je opatřen dlažbou. [20]

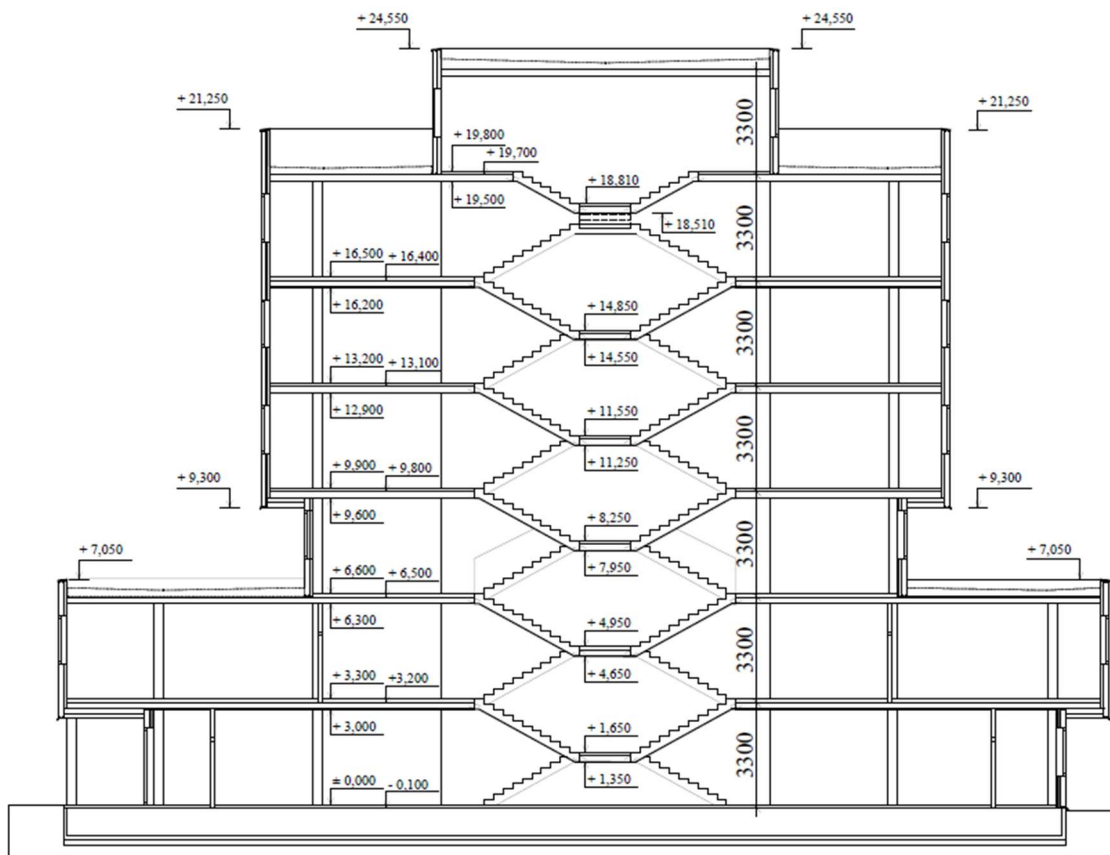


Obr. 2.33: *Trojramenné monolitické deskové schodiště* [20]

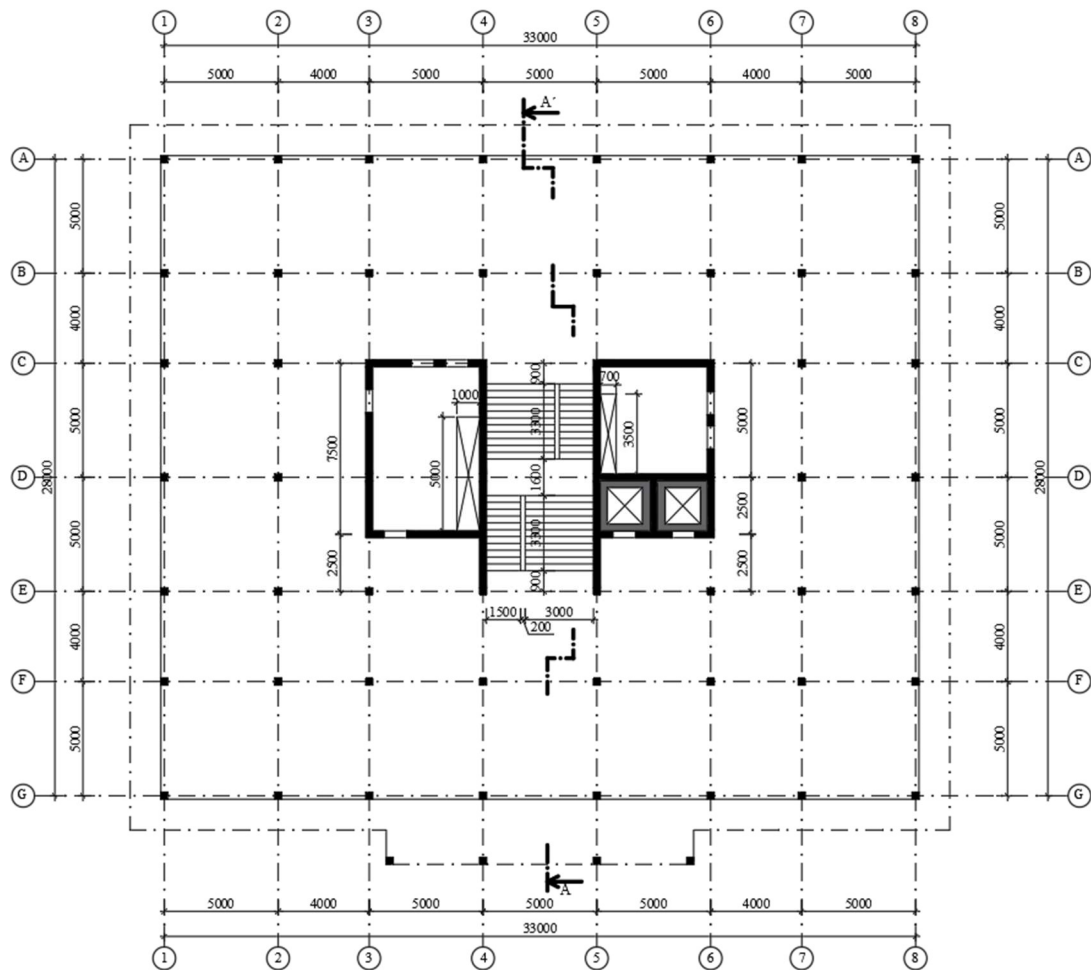
3. VARIANTNÍ NÁVRH A POSOUZENÍ SCHODIŠTĚ VYBRANÉHO OBJEKTU

3.1. POPIS OBJEKTU

Vybraným objektem je administrativní budova v Olomouci. Jedná se o objekt se sedmi nadzemními podlažími. Ve všech podlažích, kromě třetího podlaží, se nachází kancelářské prostory. Ve třetím nadzemním podlaží se nachází archiv. Půdorysné řešení jednotlivých podlaží se mění po výšce (viz. Obr. 3.1). Druhé podlaží je oproti prvnímu nadzemnímu podlaží předsazené. V místě vstupu do budovy tvoří předsazení rozšíření o jeden modul sloupů, u zbylých stran je předsazení docíleno vykonzolováním stropní desky. Třetí nadzemní podlaží, archiv, je oproti druhému ustupující o 6,5m. Tento rozdíl mezi patry tvoří nepochůznou střechu. Čtvrté až šesté nadzemní podlaží mají shodné půdorysné rozměry a jsou předsazené o 1,5m oproti 3.NP. Poslední nadzemní podlaží je tvořeno železobetonovým jádrem, oproti šestému nadzemnímu podlaží je zmenšeno o jeden modul sloupů. Zbylá půdorysná plocha sedmého nadzemního podlaží je využita jako pochůzná střecha. Celkový půdorysný rozměr budovy je 33,0 x 28,0 m.



Obr. 3.1: Schéma řezu objektu



Obr.3.2: Konstruktivní řešení 1.NP

3.2. KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

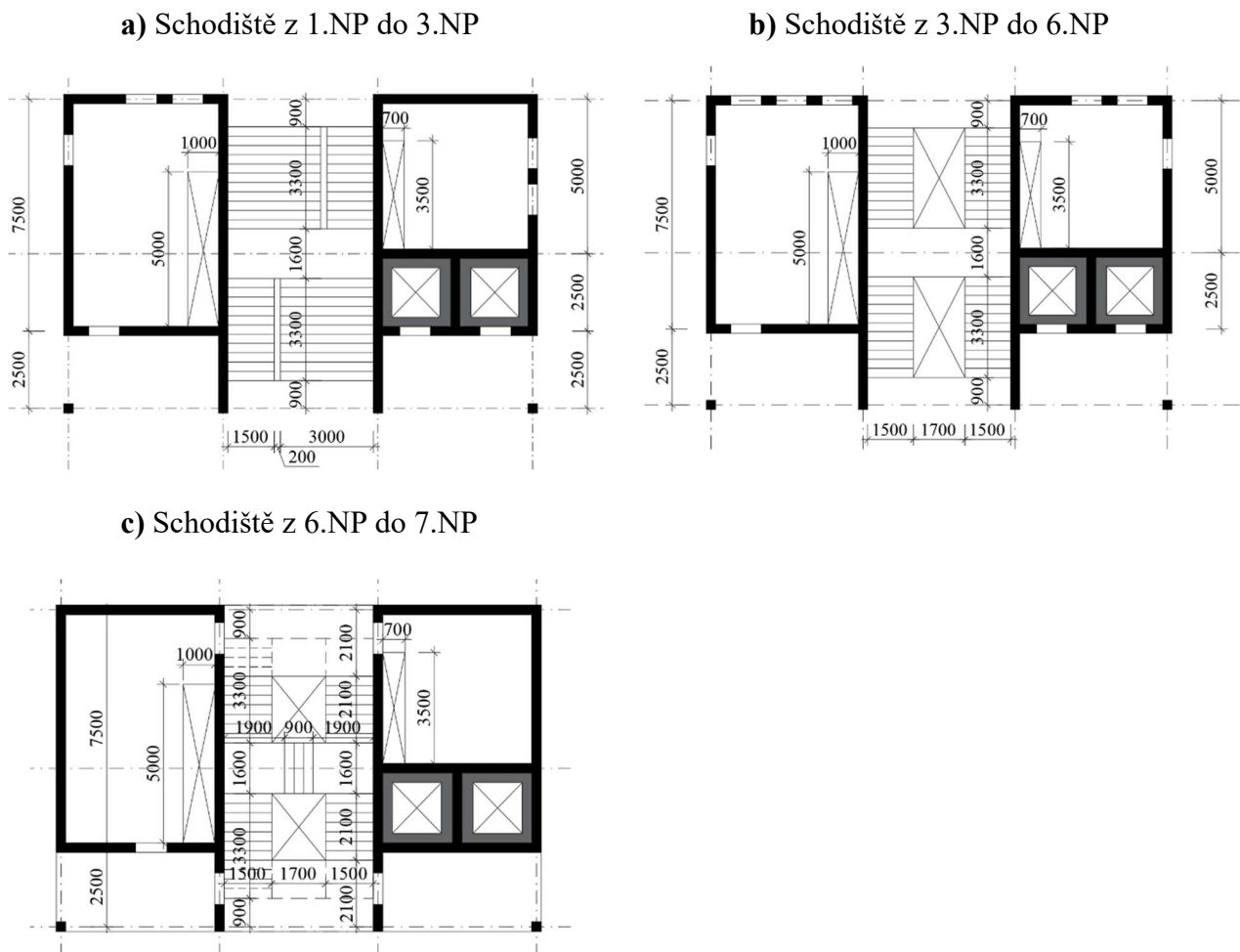
Konstruktivní systém budovy tvoří železobetonový monolitický sloupový systém se dvěma ztužujícími jádry s tloušťkou stěny 200 mm, které zajišťují ztužení objektu. Konstruktivní výška podlaží je ve všech patrech 3300 mm. Osová vzdálenost sloupů je 4000 mm resp. 5000 mm (viz Obr. 3.2). Sloupy jsou čtvercového průřezu 300x300 mm. Stropní deska je navržena jako železobetonová lokálně podepřená tloušťky 200 mm. Ve všech podlažích je konstruktivní výška rovna 3300 mm. Objekt je založen na železobetonové základové desce tloušťky 800 mm. Návrh sloupů, stropních desek a základové desky není součástí bakalářské práce.

V centrální části objektu se nachází schodiště a výtahy. Návrh schodiště je předmětem následující části práce. Na nosné železobetonové konstrukce horní nosné stavby je použit beton C30/37 a ocel B500B.

Střecha objektu je řešena jako plochá střecha, jejíž odvodnění je zajištěno pomocí osmi dešťových svodů.

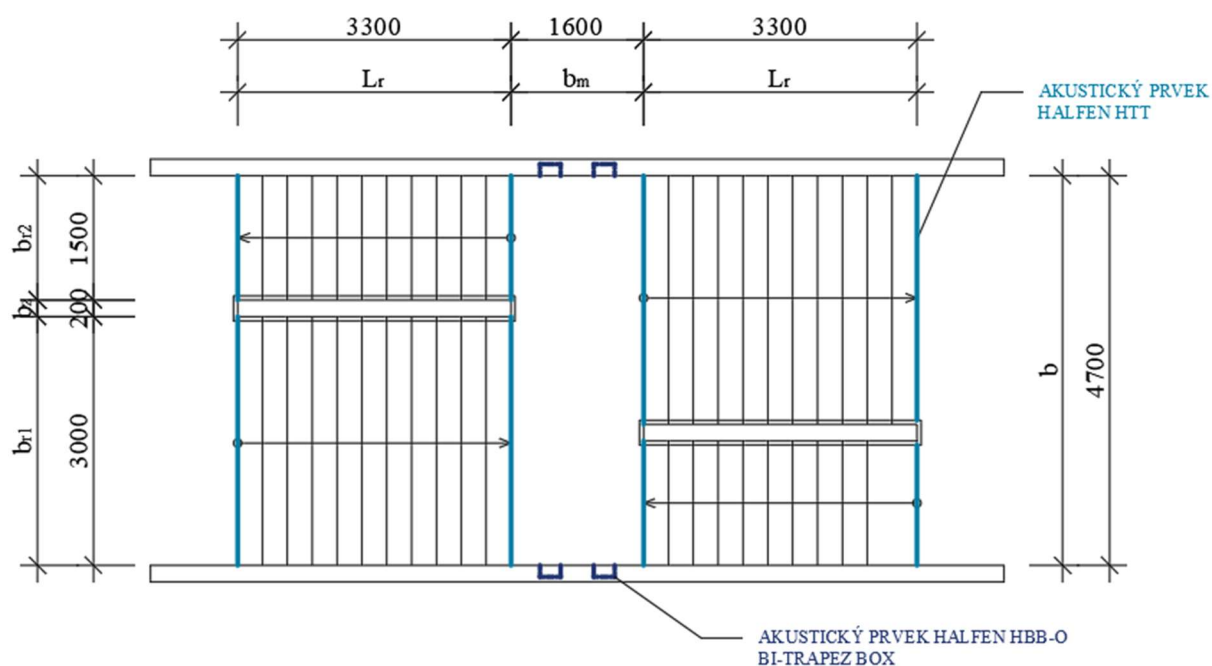
3.3. VARIANTNÍ NÁVRH SCHODIŠTĚ

Vertikální komunikace v objektu je zajištěna pomocí schodiště a výtahů v centrální části půdorysu objektu. Architektonický záměr počítá se třemi variantami uspořádání schodiště po výšce objektu. Mezi prvním, druhým a třetím nadzemním podlažím je navrženo čtyřramenné železobetonového schodiště, jehož ramena mají stejnou délku, avšak rozdílnou šířku (1500 mm a 3000 mm) – viz Obr. 3.3a. Mezi druhým a šestým nadzemním podlažím se navrženo čtyřramenné schodiště se shodnou délkou (3300 mm) i šířku obou ramen (1500 mm) – viz Obr. 3.3b. Mezi šestým a sedmým nadzemním podlažím se nachází nepravidelné pětiramenné schodiště se dvěma podestami – viz Obr. 3.3c. Ramena schodiště mají stejnou šířku (1500 mm), avšak rozdílnou délku (nástupní rameno: 3300 mm, mezilehlé rameno: 4700 mm, výstupní rameno: 2100 mm). Rozdílná délka ramen je způsobena schodišťovými stupni, které se nachází na mezipodestě. Návrh první (mezi 1.NP a 3.NP) a druhé varianty schodiště (mezi 3.NP a 6.NP) je předmětem bakalářské práce.



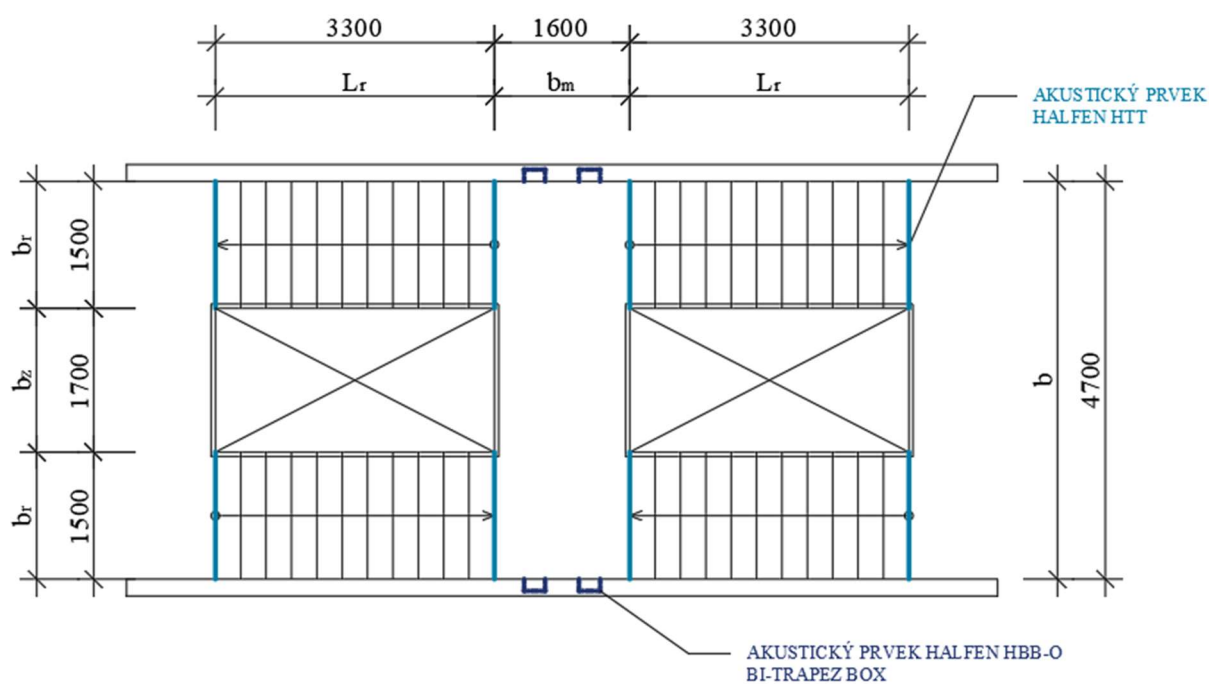
Obr. 3.3: Uspořádání schodišť v objektu

VARIANTNÍ NÁVRH A POSOUZENÍ SCHODIŠTĚ



Obr. 3.5: Variantní řešení schodiště A

U **schodiště B** se uvažují stejně široká ramena (1500 mm). Šířka zrcadla je v tomto případě v porovnání se šířkou ramen větší (1700 mm). Ostatní parametry a typy akustických prvků pro variantu B jsou shodné s variantou schodiště A. Geometrie dané varianty schodiště s vyznačenými akustickými prvky: viz Obr. 3.6.

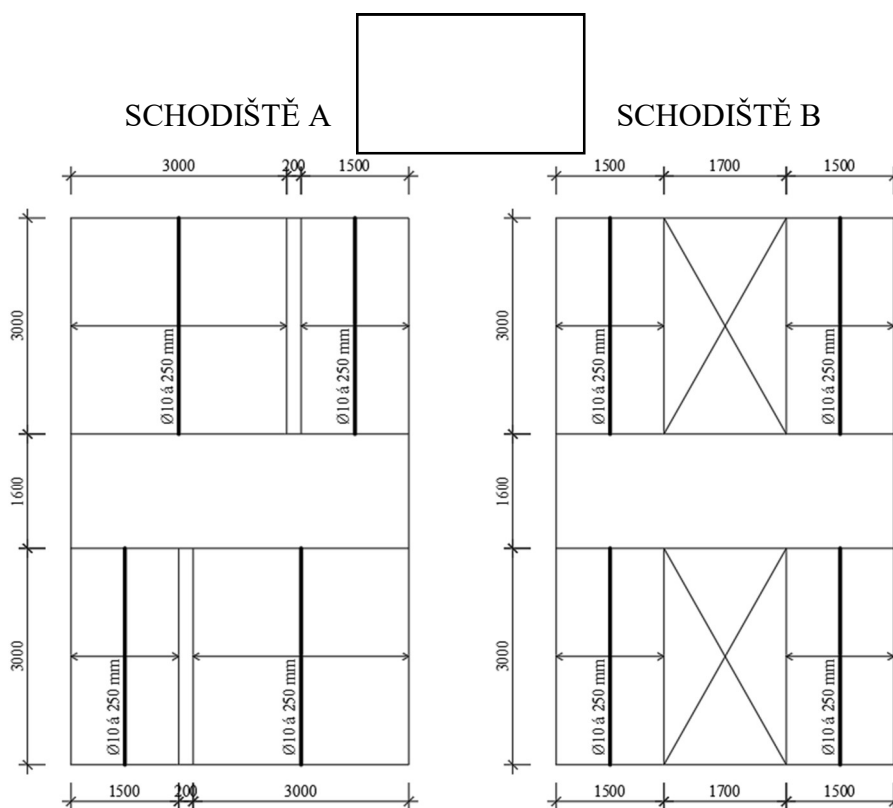


Obr. 3.6: Variantní řešení schodiště B

3.3.2. VYZTUŽENÍ RAMEN

Návrh výztuže pro schodišťová ramena byl proveden ručním výpočtem i pomocí výpočetního programu SCIA ENGINEER. Na rozdíl od výpočtu ve SCIA ENGINEER bylo využito při ručním výpočtu ramene zjednodušení, kdy se za statické schéma ramene použije prostý nosník (viz Obr. 2.15,2.16). Výztuž je v celé šířce ramene navržena o stejném profilu a vzdálenosti (viz Obr. 3.7). Pro obě možnosti schodišťových ramen (1500 mm, 3000 mm) je navržena shodná plocha výztuže na 1m² (ramena jsou zatížena stejným stálým a užitným zatížením).

V rámci výpočtu byla ověřena únosnost akustického prvku v místě připojení ramene na mezipodestu schodiště – únosnost HALFEN HTT – 4,8 VYHOVUJE (viz. Statický výpočet).



Obr. 3.7: Varianty vyztužení ramen pro schodiště A i B

3.3.3. VYZTUŽENÍ MEZIPODEST

V rámci výpočtu byla schodiště A i B řešena se 3 variantách vyztužení mezipodesty, kdy tloušťka (200 mm) a šířka mezipodesty (1600 mm) je ve všech variantách stejná, mění se pouze rozdělení mezipodesty do pruhů I (základní vyztužení mezipodesty) a II (zesílení vyztužení v důsledku přitížení od schodišťových ramen) – viz. Obr. 3.8, 3.9:

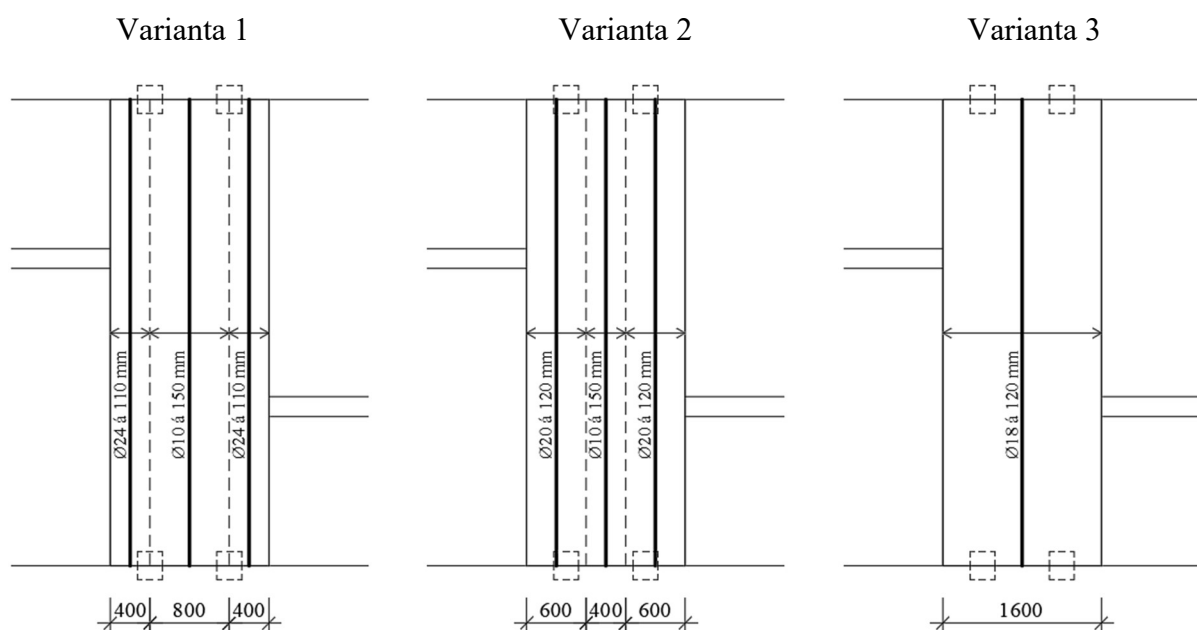
1. Pruh I = 800 mm, pruh II = 400 mm
2. Pruh I = 400 mm, pruh II = 600 mm
3. Pruh II = 1600 mm (rovnoměrné vyztužení po celé šířce mezipodesty)

Návrh mezipodesty je proveden dvěma metodami. První metoda představuje zjednodušený ruční výpočet, kde je jako statické schéma mezipodesty je použit prostý nosník zatížený stálým a užitným zatížením a přitížený schodišťovými rameny v místě připojení. Prostorové působení mezi mezipodestou a rameny schodiště se neuvažuje (neuvažuje se vznik normálových sil N v ramenech). Druhou metodou je numerický výpočet na prostorové modelu ve výpočetním programu SCIA ENGINEER, který uvažuje schodiště jako celek a zahrnuje prostorové působení s ohledem na reálné krajové podmínky. Konečný návrh vyztužení z hlediska mezního stavu únosnosti je znázorněn na Obr. 3.8 a 3.9. Ve variantách 1 a 2 (pro schodiště A i B) je mezipodesta rozdělena na dva pruhy. V pruhu II se uvažuje přitížení mezipodest od schodišťových ramen. Ve variantě 1 kvůli malé šířce pruhu II dochází k roznesení zatížení do malé šířky, a proto je patrný velký rozdíl mezi potřebnou plochou výztuže v pruhu I a II. Díky uvažování větší šířky pruhu II ve variantě 2 dochází k roznesení přitížení od ramen do větší šířky a lze tak snížit rozdíly ve vyztužení mezi pruhy I a II (menší rozdíl mezi profily výztuže). Ve variantě 3 je zatížení rovnoměrně rozneseno po celé šířce mezipodesty. Výztuž je navržena po šířce se stejným profilem a se stejnou vzdáleností.

Součástí výpočtu bylo i ověření únosnosti akustických prvků v místě uložení mezipodesty na okolní nosné stěny (na každé straně mezipodesty jsou navrženy dva akustické boxy). Únosnost prvku HALFEN HBB – O VYHOVUJE (viz. Statický výpočet).



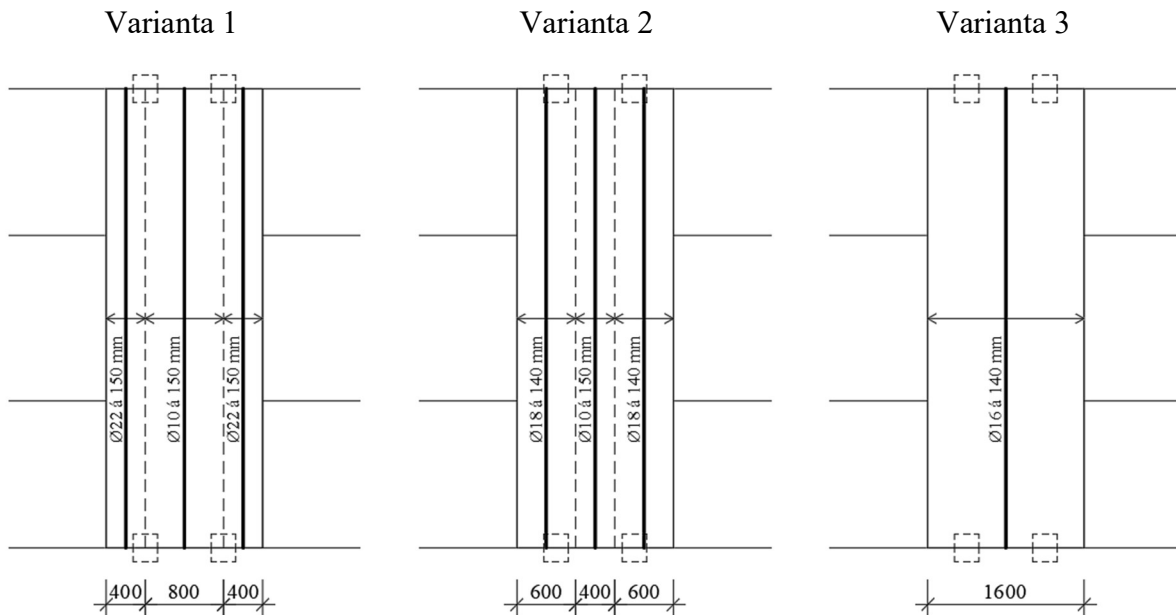
SCHODIŠTĚ A



Obr. 3.8: Varianty vyztužení mezipodesty pro schodiště A

Dle statického výpočtu (pro mezipodestu tloušťky 200 mm) nelze variantu 1 vůbec realizovat: $\xi \geq \xi_{\max}$ ($0,687 \geq 0,45$ – výška tlačené oblasti x je příliš vysoká). Navíc vzniká velký rozdíl mezi navrženou výztuží v pruhu I a II. Varianta 2 není optimální, jelikož výsledný průhyb vychází větší než limitní hodnota průhybu: $w \geq w_{\lim}$. Ve variantě 3 celkový průhyb též nesplní požadavky na maximální průhyb, avšak díky uspořádání výztuže se jedná o nejhodnější variantu. Výztuž je zde navržena po celé šířce o stejném profilu a vzdálenosti. Ze získaných výsledků lze pozorovat vliv způsobu vyztužení mezipodesty (šířky pruhu I a pruhu II) na výsledných průhybech mezipodesty. Jako možné řešení lze navrhnout podestové nosníky nebo větší tloušťku mezipodesty (viz. tab. 6,7).

SCHODIŠTĚ B



Obr. 3.9: Varianty vyztužení mezipodesty pro schodiště B

Díky geometrickému uspořádání (šířka zrcadla) je u schodiště B přitížení mezipodesty od schodišťových ramen u schodiště B menší. Stejně jako u schodiště A je mezipodesta ve variantách 1 a 2 rozdělena na dva pruhy (pruh I a II). V důsledku menšího přitížení od ramen oproti schodišti A lze navrhnout menší plochu výztuže v pruhu II a tím zmenšit rozdíl mezi navrženou výztuží v obou pruzích (I a II). Rozdílná hodnota přitížení se též projeví ve variantě 3 v podobě menší potřebné plochy výztuže. Dle získaných výsledku nesplní varianty 1-3 požadavky na maximální průhyb: $w \geq w_{\lim}$. Lze použít stejné řešení pro zmenšení průhybů jako pro schodiště A: podestový nosník nebo větší tloušťka mezipodesty.

3.4. POSOUZENÍ PRŮHYBŮ SCHODIŠTĚ

U všech variant vyztužení byly spočítány dlouhodobé průhyby mezipodest (tloušťka 200 mm). Dále byl jako možné řešení pro snížení průhybu mezipodesty spočítám průhyb pro desku tlustou 300 mm a 350 mm. Rameno je v nejnižším podlaží podepřeno o základovou desku (tuhé liniové podepření).

Průhyby byly stanoveny ručním výpočtem bez uvažování prostorového působení schodiště (mezipodesta působí jako prostý nosník) a alternativně numerickým výpočtem na prostorovém modelu v programu SCIA ENGINEER. Výpočet zahrnuje vliv působení dlouhodobého zatížení (dotvarování betonu), vznik trhlin a vliv smršťování (doba ošetřování 3 dny).

3.4.1. PRŮHYBY MEZIPODESTY – RUČNÍ VÝPOČET

POUŽITÉ SYMBOLY V TAB. 5-7:

b_I, b_{II}	šířka pruhu I a II
f'_{pIIk}	kvazistálá kombinace zatížení
M_{gk}	ohybový moment od působícího kvazistálého zatížení
A_s	navržená plocha výztuže
$w_{g,L,t}$	průhyb vzniklý od působícího zatížení mezipodesty
w_{cs}	průhyb vzniklý od smršťování mezipodesty
w	celkový průhyb mezipodesty
w_{lim}	limitní průhyb mezipodesty

$h_d = 200 \text{ mm}$		b_I [mm]	b_{II} [mm]	f'_{pIIk} [kN/m]	M_{gk} [kNm]	A_s [mm ²]	$w_{g,LT}$ [mm]	w_{cs} [mm]	w [mm]	w_{lim} [mm]	splňuje
SCHODIŠTĚ A	Varianta 1	800	400	17,36	48	1645	40	11	51	19	NE
	Varianta 2	400	600	18,84	52	1571	35	11	46	19	NE
	Varianta 3	0	1600	40,63	112	3393	31	10	41	19	NE
SCHODIŠTĚ B	Varianta 1	800	400	12,15	34	1014	35	11	46	19	NE
	Varianta 2	400	600	13,62	38	1091	30	10	40	19	NE
	Varianta 3	0	1600	20,99	58	2298	18	9	27	19	NE

Tab. 5: Hodnoty průhybů pro schodiště A i B při tloušťce mezi podesty 200 mm

VARIANTNÍ NÁVRH A POSOUZENÍ SCHODIŠTĚ

$h_d = 300 \text{ mm}$		b_I [mm]	b_{II} [mm]	f'_{pIIk} [kN/m]	M_{gk} [kNm]	A_s [mm ²]	$w_{g,LT}$ [mm]	w_{cs} [mm]	w [mm]	w_{lim} [mm]	splňuje
SCHODIŠTĚ A	Varianta 1	800	400	22,49	62	785	22	5	27	19	NE
	Varianta 2	400	600	24,46	68	898	19	5	24	19	NE
	Varianta 3	0	1600	52,88	146	1892	18	5	23	19	NE
SCHODIŠTĚ B	Varianta 1	800	400	15,78	44	838	14	5	19	19	ANO
	Varianta 2	400	600	17,76	49	804	13	5	18	19	ANO
	Varianta 3	0	1600	27,63	76	1206	7	3	10	19	ANO

Tab. 6: Hodnoty průhybů pro schodiště A i B při tloušťce mezipodesty 300 mm

$h_d = 350 \text{ mm}$		b_I [mm]	b_{II} [mm]	f'_{pIIk} [kN/m]	M_{gk} [kNm]	A_s [mm ²]	$w_{g,LT}$ [mm]	w_{cs} [mm]	w [mm]	w_{lim} [mm]	splňuje
SCHODIŠTĚ A	Varianta 1	800	400	25,05	69	661	15	4	19	19	ANO
	Varianta 2	400	600	27,28	75	804	14	4	18	19	ANO
	Varianta 3	0	1600	59,00	163	1642	14	4	18	19	ANO
SCHODIŠTĚ B	Varianta 1	800	400	17,60	49	473	14	4	18	19	ANO
	Varianta 2	400	600	19,82	55	543	12	3	15	19	ANO
	Varianta 3	0	1600	30,94	85	905	5	2	7	19	ANO

Tab. 7: Hodnoty průhybů pro schodiště A i B při tloušťce mezipodesty 350 mm

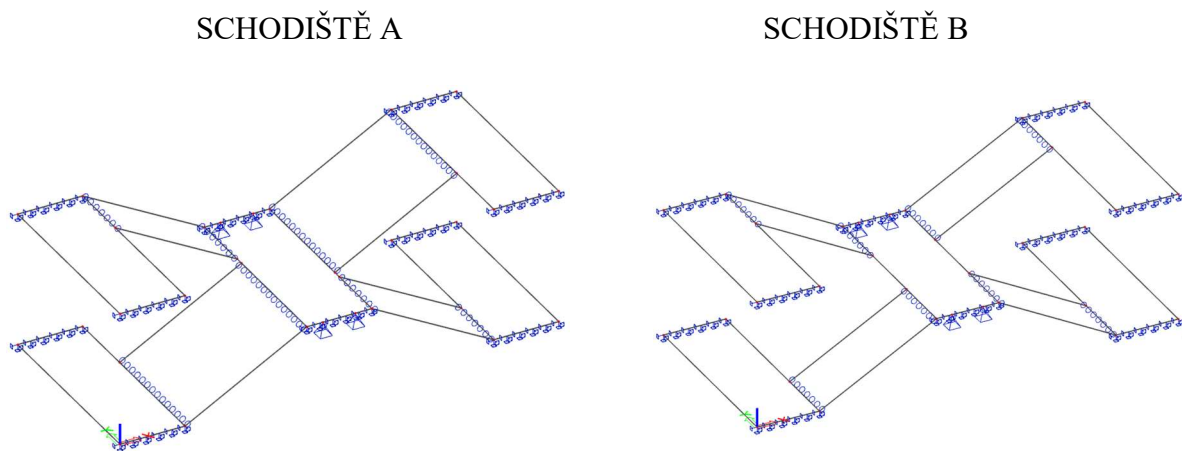
Ze získaných výsledků lze vyčíst, že největší průhyb mezipodesty nastane pro variantu 1 u schodiště A (pro všechny varianty tloušťky mezipodesty). Tento průhyb nastane kvůli největšímu přitížení od ramen (díky zvolené geometrii schodiště – šířce ramen) a nejmenší roznášecí šířce pruhu II (400 mm). Šířka pruhu II má velký vliv na hodnotu zatížení f'_{pIIk} , momentu od zatížení M_{gk} a velikosti průhybu od zatížení $w_{g,LT}$ (rozdíl mezi hodnotami průhybů od zatížení mezi variantami 1-3 klesá při zvyšování tloušťky mezipodesty). Avšak změna tloušťky se projeví jen nepatrně na hodnotě průhybů od smršťování.

Navýšení tloušťky mezipodesty o 100 mm (na 300 mm) způsobí nárůst zatížení f'_{pIIk} a momentu od zatížení M_{gk} přibližně o polovinu původní hodnoty. Naproti tomu zvětšení tloušťky mezipodesty způsobí výrazný pokles průhybů od zatížení a od smršťování (při navýšení tloušťky mezipodesty o 100 mm – na 300 mm, klesne průhyb od zatížení a od smršťování přibližně na polovinu původní hodnoty).

Po opětovném navýšení o 50 mm – na 350 mm, dojde již k podstatně menší změně těchto hodnot. Při tloušťce mezipodesty rovné 350 mm u schodiště A dochází k přibližnému sjednocení průhybů mezipodesty ve variantách 1-3 – neprojevuje se rozdělení mezipodesty na pruhy I a II. Naproti tomu u varianty B dochází k postupnému navyšování rozdílů průhybů mezi variantami 1 - 3, a proto lze pozorovat velký vliv mezi šířkou pruhu (I a II) a výsledným průhybem mezipodesty. Navzdory tomu, že mezipodesta při tloušťce 350 mm disponuje velkou vlastní tíhou ŽB desky (stává se neekonomickou), jedná se o variantu, u které dochází ke vzniku nejmenších průhybů. Pokud bychom chtěli snížit celkový průhyb pod hodnotu limitního průhybu, stačilo by pro schodiště B navýšit tloušťku mezipodesty na 300 mm a pro schodiště A na 350 mm. Dalším možným řešením je využití podestových nosníků.

3.4.2. PRŮHYBY MEZIPODESTY – SCIA ENGINEER

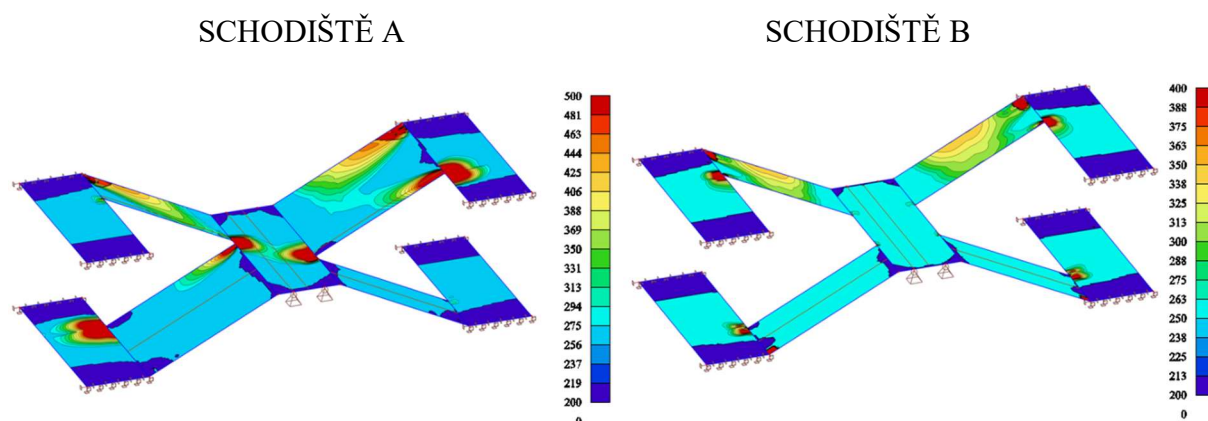
Schodiště je v programu vymodelováno ve dvou variantách. U první varianty jsou prvky pro přesušení přenosu kročejového hluku na rozhraní mezipodesta – rameno: prvky HALFEN HTT – do modelu vneseny pomocí kloubu na hraně plochy v místě uložení ramene na mezipodestu (podestu) a akustické boxy HALFEN HBB-O pomocí lokálních kloubových podpor (na každé straně podesty se nachází dva prvky). V druhé variantě nejsou využity prvky HALFEN HTT v místě uložení ramene na mezipodestu. Hodnoty vneseného zatížení od podlahy a schodišťových stupňů jsou uvedeny ve statickém výpočtu schodiště. Výsledné hodnoty průhybů získaných výpočetním programem SCIA ENGINEER nezahrnují vliv smršťování. Průhyby od smršťování byly převzaty z ručního výpočtu a následně připočítány k hodnotám získaným výpočetním programem.



Obr. 3.10: Modely schodiště A a B v programu SCIA ENGINEER pro variantu 1

3.4.2.1. VARIANTA 1 - SCHODIŠTĚ S AKUSTICKÝMI PRVKY V MÍSTĚ ULOŽENÍ RAMEN NA MEZIPODESTU

Pro účely výpočtu deformace schodiště byla uvažována plocha výztuže navržená programem SCIA ENGINEER. Jedná se o tzv. nutnou plochu výztuže, která zahrnuje statické požadavky pro návrh výztuže společně s ověřením konstrukčních podmínek. V rámci výpočtu ve SCIA ENGINEER byly získány následující nutné plochy výztuže pro schodiště A i B.



Obr. 3.11: Nutná plocha výztuže spočítaná v programu SCIA ENGINEER

Použité symboly v Tab. 8, Tab. 10 a v Tab.11:

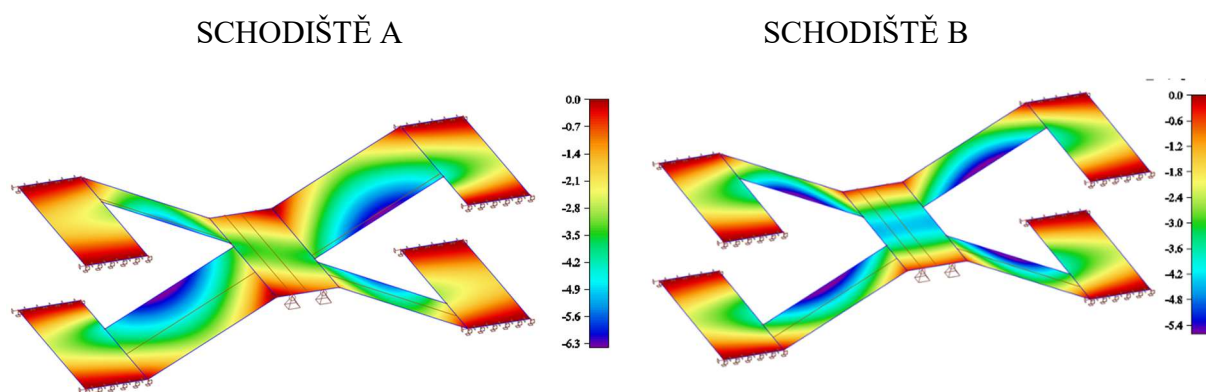
R1 rameno 1 šířky 1500 mm

R2 rameno 2 šířky 3000 mm

MII mezipodesta – pruh II

$h_d = 200 \text{ mm}$		RUČNÍ VÝPOČET			SCIA ENGINEER		
		b [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	výztuž	b [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	výztuž
SCHODIŠTĚ A	R1	1500	471	Ø10 á 250 mm	1500	374	Ø10 á 210 mm
	R2	3000	942	Ø10 á 250 mm	3000	314	Ø10 á 250 mm
	MII	1600	3393	Ø18 á 120 mm	1600	341	Ø10 á 230 mm
SCHODIŠTĚ B	R1	1500	471	Ø10 á 250 mm	1500	327	Ø10 á 240 mm
	MII	1600	2298	Ø16 á 140 mm	1600	314	Ø10 á 250 mm

Tab. 8: Porovnání hodnot navržené plochy výztuže získané ručním výpočtem a pomocí programu SCIA ENGINEER pro varianty schodišť A i B s AKU prvky v místě uložení ramen na mezipodestu



Obr. 3.12: Normově závislý průhyb spočtený v programu SCIA ENGINEER

Normově závislý průhyb (w_{SCIA}) získaný programem SCIA ENGINEER nezahrnuje průhyb od smršťování (w_{cs}), proto je tento průhyb připočten k získanému průhybu dodatečně (viz. Tab. 10). Hodnoty průhybů od zatížení ($w_{g,LT}$) jsou převzaty z Tab. 5. Výsledná hodnota průhybu je porovnána s limitní hodnotou průhybu w_{lim} .

$h_d = 200 \text{ mm}$		w_{SCIA}	$w_{g,LT}$	w_{cs}	w	w_{lim}	splňuje
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
SCHODIŠTĚ A - MII	RUČNĚ		31	10	41,0	19	NE
	SCIA ENGINEER	3,5		11	14,5	19	ANO
SCHODIŠTĚ B - MII	RUČNĚ		18	9	27,0	19	NE
	SCIA ENGINEER	4,4		10	14,4	19	ANO

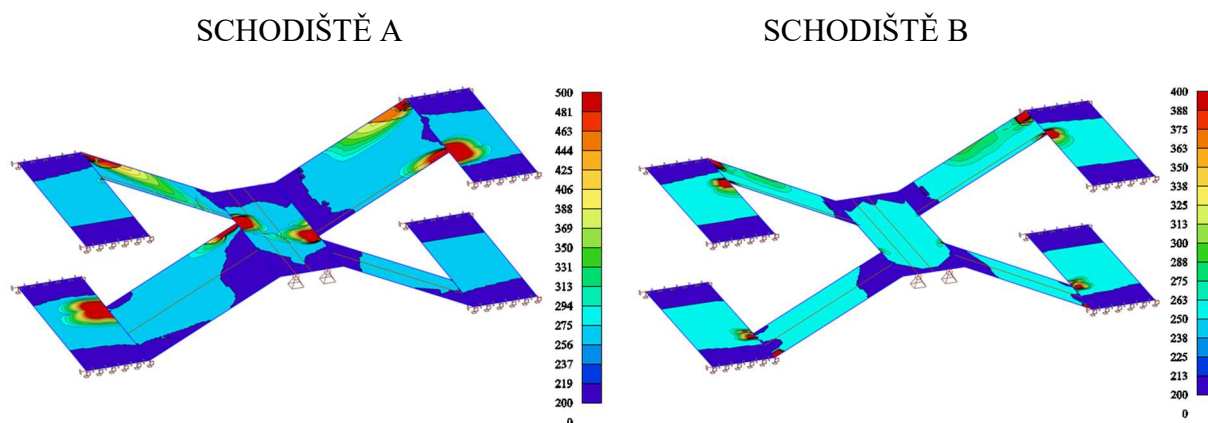
Tab. 9: Porovnání hodnot průhybů mezipodesty získaných ručním výpočtem a pomocí programu SCIA ENGINEER s limitními hodnotami

Z Tab. 8 lze vidět, že díky zohlednění prostorového působení schodiště (výpočet pomocí software SCIA ENGINEER) dojde k výraznému snížení nutné plochy výztuže mezipodesty. Dojde k přibližnému srovnání potřebné plochy výztuže mezipodesty pro schodiště A i B. Z výstupů lze dále vidět, že při ručním výpočtu je potřeba nejvíce výztuže v oblasti mezipodesty. Oproti tomu v případě využití programu SCIA ENGINEER je největší nutná plocha výztuže v oblasti ramen.

Ze získaných hodnot v Tab. 9 je patrný vliv prostorového působení schodiště na velikosti průhybu mezipodesty. Při využití výpočtového softwaru (uvažuje prostorové působení schodiště) lze pozorovat mnohonásobné snížení průhybu mezipodesty (výsledný průhyb je přibližně třikrát menší u schodiště A a dvakrát menší u schodiště B) – ruční výpočet je velmi nepřesný kvůli zvoleným zjednodušením. Hodnoty průhybů získané výpočtem programem

vyhovují podmínce limitního průhybu. U ručního výpočtu by bylo nutné provést určitá opatření: např. větší tloušťka mezipodesty nebo využití podestových nosníků.

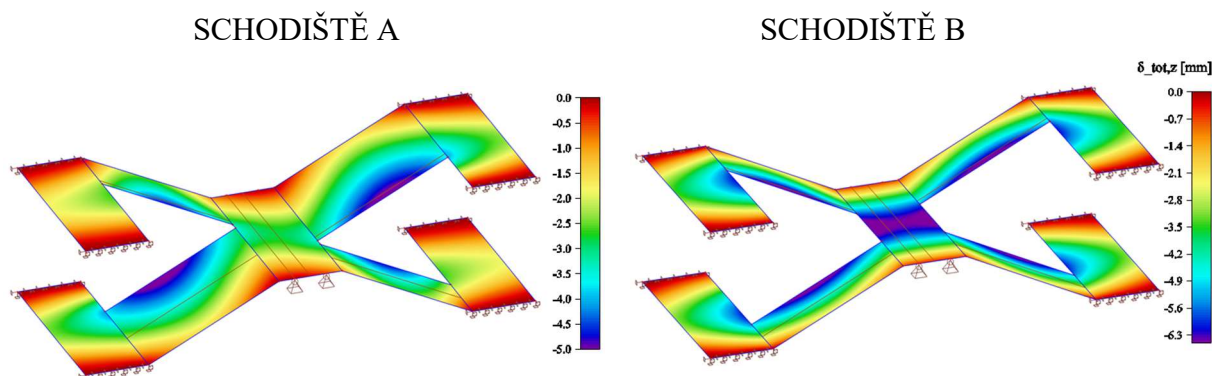
3.4.2.2. VARINATA 2 – SCHODIŠTĚ BEZ AKUSTICKÝCH PRVKŮ V MÍSTĚ ULOŽENÍ RAMEN NA MEZIPODESTU



Obr. 3.13: Nutná plocha výztuže spočítaná v programu SCIA ENGINEER

$h_d = 200 \text{ mm}$		VARIANTA 1 – S AKU PRVKY			VARIANTA 2 – BEZ AKU PRVKŮ		
		b [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	výztuž	b [mm]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	výztuž
SCHODIŠTĚ A	R1	1500	374	Ø10 á 210 mm	1500	341	Ø10 á 230 mm
	R2	3000	314	Ø10 á 250 mm	3000	314	Ø10 á 250 mm
	MII	1600	341	Ø10 á 230 mm	1600	314	Ø10 á 250 mm
SCHODIŠTĚ B	R1	1500	327	Ø10 á 240 mm	1500	314	Ø10 á 250 mm
	MII	1600	314	Ø10 á 250 mm	1600	314	Ø10 á 250 mm

Tab. 10: Hodnoty celkové nutné plochy výztuže navržené programem SCIA ENGINEER pro schodiště A i B pro varianty 1 a 2



Obr. 3.14: Normově závislý průhyb spočítaný v programu SCIA ENGINEER

$h_d = 200 \text{ mm}$		VARIANTA 1 S AKU PRVKY		VARIANTA 2 BEZ AKU PRVKŮ	
		b [mm]	w_{SCIA} [mm]	b [mm]	w_{SCIA} [mm]
SCHODIŠTĚ A (malé zrcadlo)	R1	1500	4,5	1500	3,6
	R2	3000	4,6	3000	3,6
	MII	1600	3,5	1600	3,0
SCHODIŠTĚ B (velké zrcadlo)	R1	1500	4,4	1500	6,4
	MII	1600	3,0	1600	6,6

Tab. 11: Porovnání hodnot nominálních průhybů získaných programem SCIA ENGINEER pro schodiště A i B pro varianty 1 a 2

Z výsledků v Tab. 10 lze vidět, že v důsledku vynechání akustických prvků v místě uložení ramen na mezipodestu došlo k přibližnému sjednocení nutné výztuže v ramenech a mezipodestě. Došlo tím k snížení potřebné výztuže v ramenech a v mezipodestě u schodiště A. Na plochu výztuže v mezipodestě u schodiště B tato změna nemá žádný vliv.

Dle Tab.11 lze pozorovat vliv šířky schodišťového zrcadla na velikosti normově závislého průhybu. U schodiště A se uplatní lomenicové působení (vznikají tažené a tlačené diagonály ve schodišťových ramenech, které napomáhají k zmenšení průhybu mezipodesty) – u varianty 2 došlo k zmenšení hodnoty nominálního průhybu mezipodesty. U schodiště B kvůli větší šířce zrcadla se toto působení v takové míře neprojeví – hodnoty nominálního průhybu mezipodesty se ve variantě značně zvětší (přibližně na dvojnásobek původní hodnoty). V oblasti ramen ve variantě 2 došlo u schodiště A ke snížení průhybu, naproti tomu u schodiště B se průhyb výrazně zvýšil (asi o polovinu původní hodnoty).

4. ZÁVĚR

V rámci práce byl proveden návrh železobetonového schodiště, navržena výztuž jeho jednotlivých částí a posouzení na mezní stav únosnosti a na mezní stav deformací.

Při návrhu schodiště lze pozorovat velký vliv šířky schodišťového zrcadla na velikosti průhybu mezipodesty. V případě menší šířky schodišťového zrcadla se uplatní tzv. lomenicové působení, které napomáhá k zmenšení průhybu v oblasti mezipodesty. U širšího zrcadla se lomenicové působení neprojeví. Velikost průhybu též závisí na zvolené metodě výpočtu (ruční výpočet, výpočetní software) – jak pro mezní stav únosnosti (MSÚ), tak pro mezní stav použitelnosti (MSP). Ruční výpočet využívá zjednodušený výpočetní model mezipodesty i ramen a neuvažuje jejich spolupůsobení – kvůli přijatým zjednodušením se tímto vnáší do výpočtu značné nepřesnosti a návrh výztuže se stává nereálným a neekonomickým. Užití softwaru umožňuje počítat schodiště jako celek a využívá tak prostorového působení mezi rameny a mezipodestou – navržené plochy výztuže (potažmo i získané hodnoty průhybů) vychází střídmejší a reálnější oproti ruční metodě výpočtu. Výsledná velikost spolupůsobení mezi rameny a mezipodestou je ovlivněna i navrženými prvky pro přerušování přenosu kročejového hluku v místě uložení ramen na mezipodestu (v případě použití těchto prvků dochází k zmenšení spolupůsobení mezi rameny a mezipodestou a tím dochází k navýšení průhybu mezipodesty).

Zvolená výpočetní metoda má vliv i na rozdělení výztuže v jednotlivých částech schodiště – uvažujeme rovnoměrné roznesení zatížení po celé šířce prvku nebo rozdělení prvku do pruhů s uvažováním jejich rozdílného přetížení. V případě, kdy je prvek rozdělen do pruhů, vznikají tak oblasti s rozdílnými hodnotami zatížení a tím i s rozdílnými nároky na vyztužení. Plocha navržené výztuže i hodnoty získaných průhybů závisí nejenom na zvolené metodě výpočtu, ale i na zvolené šířce pruhu (na roznášecí šířce). Jako optimální řešení lze zvolit rovnoměrné vyztužení po celé šířce prvku (uvažujeme tak rovnoměrné roznesení zatížení) – odpadává nárok na rozdílné vyztužení jednotlivých oblastí a dochází i ke snížení celkového průhybu prvku.

Z hlediska návrhu schodiště je výhodnější použít prostorový výpočetní model, který je schopen reálněji popsat působení schodiště. Jsme tak schopni získat výstižnější hodnoty vnitřních sil, ploch vyztuží i výsledné deformace schodiště.

POUŽITÁ LITARTURA

- [1] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov, ČSNI 03/2004
- [2] ČSN EN 13369: Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty, ČSNI 11/2013
- [3] ČSN EN 14843 – Betonové prefabrikáty – schodiště, ČSNI 01/2008
- [4] ČSN EN 13670 – Provádění betonových konstrukcí, ČSNI 06/2010
- [5] ČSN EN 74 4505 – Podlahy: Společná ustanovení, ČSNI 05/2012
- [6] ČSN 73 0532 (730532) Akustika. Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách. Požadavky, ČSNI 02/2010
- [7] Skala J.: Disertační práce: Prostorové působení betonových prvků, ČVUT Praha 2009
- [8] Šmejkal J., Procházka J.: Betonové stropní a schodišťové konstrukce, vydavatelství ČVUT Praha 2017
- [9] Hanzlová H., Vašková J.: Syllabus s k přednášce předmětu BK1 SCHODIŠTĚ [elektronický dokument], ČVUT Praha, dostupné z:
<https://docplayer.cz/18927715-Syllabus-k-prednasce-predmetu-bk1-schodiste-ing-hana-hanzlova-csc-ing-jitka-vaskova-csc.html>
- [10] Katunská J., Oravec P.: konstrukcie pozemných staveb – schodiská a šikmé rampy, Technická univerzita Košice 2005
- [11] Vratný O., Típka M., Vašková J.: Základní typy betonových konstrukcí se vzorovými příklady – textová část [elektronický dokument], ČVUT Praha 2015, dostupné z:
http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/FRVS_2012/zaklad_typy_bet_konstr.pdf
- [12] Witzany J., Pašek J., Čejka T., Zigler R.: Konstrukce pozemních staveb 70 - Prefabrikované konstrukční systémy a části staveb, ČVUT v Praze 20002
- [13] Maceková V.: Pozemní stavitelství II (S) - schodiště a monolitické stěnové systémy, Akademické nakladatelství CERM, Brno 2007

- [14] Studijní materiály – Pozemní stavitelství II, VUT Brno, [elektronický dokument], dostupné z:
<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps2/stropni-konstrukce.html>
- [15] HALFEN s r.o.: Výrobky společnosti Halfen, Halfen.cz [online], dostupné z:
<https://www.halfen.com/cz/2139/product-ranges/stavba/vyztuze/hbb-htf-htt-prvky-tlumeni-krojejoveho-hluku/informace-o-produktech/>
- [16] RUTO spol. s r.o: Prefabrikované schodiště, RUTO.cz [online], dostupné z:
<http://www.ruto.net/produkty/prefa-a-stropy/prefabrikovane-schodiste.htm>
- [18] LAUTOKA URBANA spol. s.r.o: Vnitřní schodiště, lautokaurbana.com [online], dostupné z:
<http://barcelonareformas.com/escaleras-interior/>
- [19] TKS Beton: Beton TKS 05/2014: Beton ve veřejném prostoru [elektronický dokument], dostupný z:
<http://www.betontks.cz/archiv/52014>
- [20] Wright Quarry Products:Concrete Stairs & Landing Slabs, Wright.ie [online], dostupné z:
<https://www.wright.ie/product/concrete-stairs-landing-slabs-residential/>
- [17] Dravecký-betonové schody: Schody lomenicové (zubaté) [online], dostupné z:
<http://www.betonove-schody.cz/>