

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



**Konstrukční návrh betonového
lomenicového schodiště**

**Structural design of concrete folded
plate staircase**

Bakalářská práce

Autor: Šimon Dvořák

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šimon Jméno: Dvořák Osobní číslo: 494091
Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Konstrukční návrh betonového lomenicového schodiště
Název bakalářské práce anglicky: Structural design of concrete folded plate staircase

Pokyny pro vypracování:

Základní souhrn informací k lomenicovým konstrukcím - příklady realizace, použití apod.
Předběžný návrh zadaného objektu - návrh konstrukčního řešení, předběžný návrh základních konstrukčních prvků, zpracování výkresů tvaru.
Podrobný konstrukční návrh lomenicového schodiště, zpracování výrobní dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

Modelování a vyztužování železobetonových konstrukcí, 2020 ČVUT v Praze
Reinforced Concrete Design, Principles and Practice, N. Krishna Raju, R.N. Pranesh, 2008

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: _____ Termín odevzdání BP v IS KOS _____
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Josefa Nováka Ph.D a že jsem použité zdroje uvedl v seznamu použité literatury na konci této práce.

V Českých Budějovicích dne 8. 5. 2023

.....

Šimon Dvořák

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Josefu Novákovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi dal. Rád bych poděkoval i svým rodičům za podporu při studiu. Díky patří i panu doktoru Římsovi, že nakonec rozhodl neoperovat mi zlomenou ruku a mohl jsem tedy v práci pokračovat jen s menšími omezeními. Tím se dostávám k poděkování všem, co se o mě trpělivě starali, když jsem byl zdravotně indisponován, především slečně Šárce. V neposlední řadě bych rád vyjádřil díky sám sobě, že jsem se tuto školu rozhodl studovat a u studia i vydržel.

Anotace

Tato práce se zabývá lomenicovými konstrukcemi a detailním návrhem lomenicového schodiště. V teoretické části se věnuje lomenicovým konstrukcím obecně, zejména jejich fungování, stručné historii a materiálovým řešením. Dále představuje typy prvků fungující na principu lomenic a rozebírá konkrétní realizace ve světě. Cílem praktické části je provést předběžný statický výpočet administrativní budovy a do ní pak detailně navrhnout a posoudit lomenicové železobetonové prefabrikované schodiště.

Klíčová slova

Lomenicové konstrukce, lomenice, lomenicové schodiště, prefabrikace, konstrukční návrh, železobeton, výztuž

Abstrakt

This thesis deals with folded plate structures and a detailed design of a folded plate staircase. The theoretical part presents folded plate structures in general, including the principle of structural folding, brief history, and material solutions. Furthermore, it examines element types and various structures around the world. In the practical part, a preliminary structural design of major load-bearing elements is carried out into which a detailed design and assessment of a folded plate precast reinforced concrete staircase is performed.

Key words

Folded plate structures, folded plate staircase, precast, structural design, reinforced concrete, reinforcement

Obsah

Teoretická část.....	1
Úvod.....	2
1 Princip působení lomenic	3
2 Vývoj lomenicových konstrukcí	5
2.1 Inspirace v přírodě.....	6
2.2 Origami.....	8
3 Materiálová řešení	10
3.1 Železobeton	10
3.2 Dřevo.....	10
3.3 Ocel.....	11
3.4 Sklo.....	12
3.5 Ostatní	12
4 Typy prvků.....	13
4.1 Desky.....	13
4.2 Stěny	14
4.3 Rámy	15
4.4 Panely.....	15
4.5 Schodiště.....	16
5 Realizované lomenicové konstrukce	17
5.1 Yokohama Port Terminal.....	17
5.2 Airforce Academy Chapel	18
5.3 Nanning International Convention and Exhibition Center	20
6 Teoretický návrh lomenicového schodiště	22

Praktická část.....	24
7 Okrajové podmínky.....	25
7.1 Působící zatížení	27
8 Předběžný návrh rozměrů prvků.....	30
8.1 Stanovení krycí vrstvy	30
8.2 Strop.....	30
8.3 Průvlaky	32
8.4 Sloupy	37
8.5 Prostorová tuhost.....	38
9 Podrobný návrh schodiště	42
9.1 Geometrie	42
9.2 Návrh a posouzení.....	43
9.3 Dočasné návrhové situace (DNS).....	54
9.4 Návrh manipulačních úchytů	54
9.5 Shrnutí	55
Závěr.....	56
Reference	57
Seznam příloh.....	59
Příloha 1.....	60

Teoretická část

Úvod

Vzhledem k tomu, že každá stavba má svou jak užitnou funkci, tak i tu estetickou, je třeba její návrh provádět s přihlédnutím k oběma těmto skutečnostem. Pokud se k tomuto přidá dennodenně celosvětově diskutované téma týkající se dopadu člověka na životní prostředí, získáváme poměrně složitý problém, který se týká téměř jakékoliv novostavby nebo rekonstrukce.

Stavební průmysl je bezpochyby jedním s největších znečišťovatelů životního prostředí, a to především produkcí CO₂ při výrobě železobetonu a nenávratným zásahem do krajiny například při stavbě dálnic nebo rozšiřování měst. Využitím možností, jako je optimalizace návrhu pro co nejmenší spotřebu materiálu nebo použití pokročilejších metod k vytvoření efektivnějších konstrukcí, lze dosáhnout řešení, které tento environmentální dopad snižuje.

Zároveň vhodná volba materiálu nebo tvarového uspořádání konstrukce poskytuje možnost vytvořit designově mnohem efektnější návrh než při zvolení obvyklých řešení. Současně to také nutně nemusí znamenat znehodnocení funkce stavby nebo výrazně zkomplikovat její podrobný návrh a realizaci.

Výše popsané problémy řeší do jisté míry lomenicové konstrukce už ze své podstaty, při čemž jsou stále splněny požadavky stavby. Kvalitním návrhem je možné se dopracovat k zajímavé estetické struktuře, ve srovnání s konvenčně navrhovanými prvky snížit spotřebu materiálu a stále zachovat funkci stavby i požadavky na praktické využití budovy. Faktem je, že návrh a realizace lomenic je složitější než u běžných prvků, což by ale rozhodně nemělo odradit od jejich navrhování, jelikož jejich přednosti rozhodně předčí tuto skutečnost.

Tato práce se ve své teoretické části věnuje lomenicovým konstrukcím obecně, popisuje jejich fungování a historii, představuje různá materiálová řešení a používané typy prvků působící na principu lomenic a analyzuje již existující realizované stavby, na základě informací z převážně anglických zdrojů odborných publikací. Její praktická část je zaměřená na detailní návrh železobetonového lomenicového schodiště pomocí ručního výpočtu i vytvoření modelu ve výpočtovém softwaru SCIA Engineer, pracujícím pomocí MKP a tvorbu jeho výrobní výkresové dokumentace.

1 Princip působení lomenic

Lomenice jsou nosné rozponové konstrukce s prostorovým působením. Jsou sestaveny z vícenásobného počtu tuze spojených desek, které v příčném řezu tvoří lomenou linii. Motivací pro jejich navrhování je úspora materiálu, snížení vlastní tíhy a zvýšení únosnosti a tuhosti. To je vykoupeno náročnější realizací a složitějším návrhem. Designéři i konstruktéři mají poměrně volné ruce při jejich tvarování i volbě materiálu, oboje je ale podmíněno kvalitním návrhem.

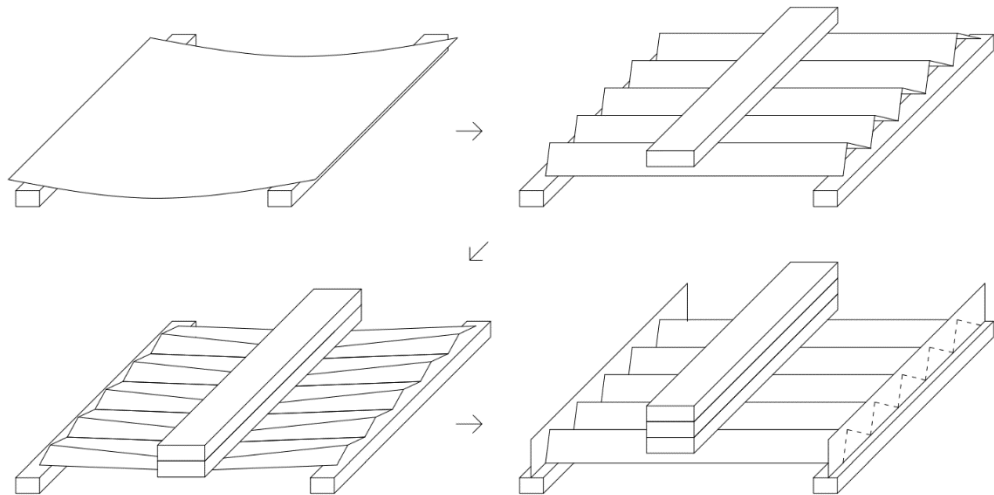
Lze u nich spatřit podobnosti se skořepinovými nebo membránovými konstrukcemi. Skořepiny s nimi spojuje malá tloušťka nosné konstrukce (ne však až tolik), nicméně lomenice přenášejí nejen tlakové, tahové a smykové síly, ale i ohyb. Schopnost efektivně přenášet ohybové momenty je dána velmi vysokou staticky účinnou výškou průřezu (běžně značenou d). Membrány se jim podobají spíše tvarově než staticky, je ale možné vytvořit lomenou membránu, propojující principy obou.

Lomenice nejčastěji kombinují výhody desek, které jsou schopny přenášet vodorovná zatížení, a stěnových nosníků poskytujících stabilizaci tlačných částí. Jejich statické působení, od kterého se odvíjí navrhování, záleží na prostorovém uspořádání a způsobech podepření. To se zásadně liší případ od případu. Typická statická působení různých prvků jsou uvedena v kapitole 4.

Lomenice lze různými způsoby stabilizovat, a docílit tak ještě účinnějšího návrhu. U stropů to je možné například vložením desky do tlačné zóny (nahore v poli nebo dole u rámového rohu), nebo ztužením čela (deskou nebo vloženým obloukem – obr. 1) na okraji konstrukce. Tím vzniká ještě tužší konstrukce, schopná odolávat ještě větším zatížením.

Pokud jde o maximální vylehčení konstrukce, je možno při jejím navrhování dojít ještě o kousek dál. Lze vytvořit strukturální lomenici, která tvarově odpovídá té běžné, ale samotné desky jsou nahrazeny příhradovou rovinnou konstrukcí. Únosnost i tuhost může být srovnatelná při ještě výrazněji snížené spotřebě materiálu. V tomto případě by se nejpravděpodobněji jednalo o ocelovou konstrukci, na rozdíl od železobetonové, která je pro lomenice nejtypičtější.

Lomenice jsou nejběžněji využívány pro střechy středně velkých rozponů halových staveb nebo staveb občanské vybavenosti. Jsou schopné překlenout větší vzdálenosti při nižším počtu podpor, a dávají tak vzniknout otevřeným dispozicím bez narušení. Další možná použití lomenic jsou také popsána v kapitole 4.



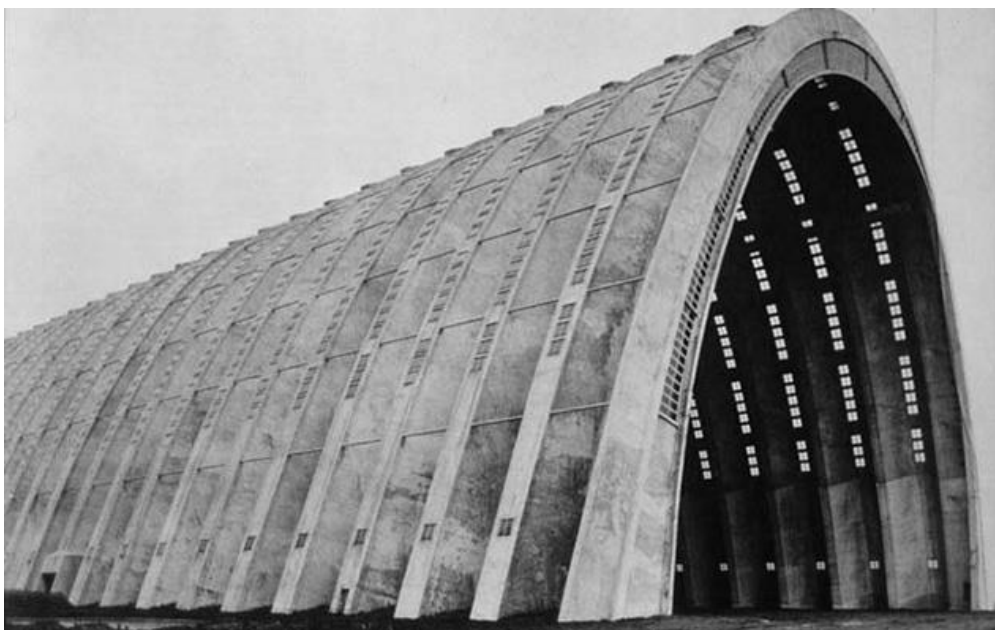
Obrázek 1: Znázornění vysoké únosnosti prizmatické lomenice díky jejímu prostorovému uspořádání a stabilizaci čela ve srovnání s obyčejnou jednosměrně pnutou deskou.

2 Vývoj lomenicových konstrukcí

V této kapitole bude stručně představena historie lomenic od prvních realizací po současnost. Bude popsána podobnost jejich působení, se kterou se lze setkat v přírodě, a paralela s origami konstrukcemi.

První návrhy lomenicových konstrukcí se objevují ve dvacátých letech minulého století v Německu a jsou spojovány s rozvojem používání železobetonu. Základní idea jejich navrhování spočívala ve snaze vhodně dosáhnout vyšší tuhosti prvku a zároveň snížit jeho vlastní tíhu. Únosnost i tuhost byla zajištěna správnou geometrií prvku a snížení vlastní tíhy malou tloušťkou konstrukce. Tohoto řešení bylo možné dosáhnout mimo jiné díky rozmachu využití železobetonu, který právě probíhal.

První realizací se pak stává hangár na letišti Orly Airport v Paříži (obr. 2). Za jejím návrhem stojí věhlasný francouzský stavební inženýr Eugene Freyssinet (1876-1962) [1]. Stavba je perfektním příkladem správného využití lomenicové konstrukce. Má rozpon 88 metrů, zatímco její tloušťka ve vrcholu je pouhých 90 mm.



Obrázek 2: První realizovaná lomenicová konstrukce na letišti Orly v Paříži z roku 1923 [15].

Největší rozkvět poté přichází ve třicátých letech, a to hlavně v USA a Rusku, kde byly lomenice využívány především k zastřešování velkorozponových konstrukcí veřejných budov a skladů [2]. V polovině minulého století se těšily velké oblibě hlavně kvůli velké úspoře materiálu oproti tradičním těžkým plochým deskám. Jedním z

hlavních důvodů byla i v tehdejší době levná pracovní síla v kombinaci s vývojem nových technologií [3].

Jednou z nejvýraznějších osobností této doby byl geniální italský architekt a konstruktér Pier Luigi Nervi (1891–1979). Spolupracoval například na budově organizace UNESCO v Paříži (dokončeno 1958) nebo na veletržním komplexu Palazzo per esposizioni salone B v italském Turíně (1949) [4].

V dnešní době jsou lomenice nadále realizovány jako zastřešení na malé a střední rozpony či rámové konstrukce, nicméně jsou hojně využívány i kvůli svému architektonickému potenciálu, který se nachází v možnosti pestrého prostorového tvarování desek. Postupně vznikla nová materiálová řešení i nové konstrukční prvky. Mezi významné moderní konstrukce fungující na principu lomenic patří například multifunkční hala Tempodrom v Berlíně (obr. 3) nebo kaple Amerických Air Force v Colorado Springs. Dodnes se těší popularitě především v Severní Americe a Západní Evropě.



Obrázek 3: Tempodrom v Berlíně [16].

2.1 Inspirace v přírodě

Nicméně příroda byla v ohledu využití principu lomenic podstatně rychlejší než člověk. Podobně fungující prvky je možné nalézt například při podrobnějším zkoumání listu palmy (obr. 4). Způsob zalomení listu dává vzniknout struktuře

podobné konstrukci konzoly vetknuté do stonku (č. 1 na obrázku), která je prizmatickou lomenicí.



Obrázek 4: Detail listu palmy se zalomenými konzolovým lístky.

Tvar zalomení zvyšuje celkovou tuhost i samotnou únosnost listu. Spodní část listu (v obrázku zvýrazněná červenou linkou) je tlačena a díky styku obou zalomených ploch listu dochází i k poměrně účinné stabilizaci vzpěru. Horní samostatné části (zvýrazněné modrou linkou) jsou pak tažené [3]. Dohromady tak vzniká velmi dobře staticky účinná konzola, která například ve srovnání s běžným listem může dorůstat větších rozměrů, aniž by se při zatěžování významně měnil její tvar (průhyb). Po větším mechanickém zatížení, jakým může být třeba vítr, se narovná do původní polohy bez poškození. Vytváří tak materiál, který bývá spolu s dřevnatými stonky využíván jako stavební materiál jednoduchých přístřešků nebo k výrobě pleteného zboží.

Dalším zajímavým příkladem přirozeného výskytu lomenic v přírodě je lastura hřebenatky svatojakubské (obr. 5). Tvarování jejího hřbetu je analogické k radiálně (vějířovitě) uspořádané obloukové lomenicové desce, rubová strana je avšak rovná. Výsledkem je mimořádně tuhá schránka, která lastuře slouží k vlastní ochraně.



Obrázek 5: *Lastura hřebenatky* s viditelným vrásněním ve tvaru lomenice [17].

2.2 Origami

Široké veřejnosti známé slovo origami dnes pojmenovává nejrůznější techniky skládání papíru i jiných materiálů. Ačkoliv jeho původ sahá jen do 19 století, samotné techniky jsou mnohem starší a přicházely z celého světa. Nikde ovšem origami nemělo takový úspěch jako v Japonsku. Do povědomí lidí v Západním světě se dostalo díky vydařeným výstavám japonského umělce Akira Jošizawa v New Yorku a Amsterdamu [4].

Cílem skládání je vytvořit prostorový objekt z plošného papíru, což je velmi podobné tomu, k čemu dochází u navrhování lomenicových konstrukcí.

Konstrukce, které spojují prvky a principy skořepinových, prolamovaných (efektivnější alternativa tradičních ohýbaných nosníků) a lomenicových konstrukcí lze nazývat origami konstrukcemi. Výsledkem pak mohou být velice efektně vypadající a staticky účinné prostorové konstrukce.

Vypovídajícím příkladem může být experimentální projekt profesora Martina Brechtholda z Harvardské univerzity z roku 2006. Teoreticky navrhl, a poté i zkonstruoval betonový origami oblouk působící na principech lomenicových

konstrukcí, vyztužený pouze syntetickými vlákny o délce 5 mm. Prototyp byl nejprve prefabrikován do tří částí a poté smontován na dřevěné plošině. Při výšce oblouku 2 m a rozponu 6,6 m byla tloušťka prvku pouhých 22 mm. Pro srovnání: běžná, jednosměrně pnutá plochá deska by při zmíněném rozponu musela měřit přibližně 230 mm.

Tento experiment mimo jiné zkoumal nové způsoby výroby systémů lomenicových konstrukcí z kompozitních materiálů vylévaných naplocho do jednoduchého bednění [5].



Obrázek 6: Příklad origami konstrukce: Kostel v Cincinnati, USA [18].

V lidové architektuře pojem lomenice pojednává o dekorativně skládaných štítech venkovských obydlí. U sedlových střech bývají trojúhelníkové, u valbových lichoběžníkové. Nicméně jejich funkce je pouze estetická, nikoliv nosná a název pouze odkazuje na zalomené tvarování.

3 Materiálová řešení

Lomenicové konstrukce lze rozdělit dle jejich materiálového řešení na betonové, dřevěné, ocelové, skleněné a syntetické. Použitý materiál do různé míry určuje způsob navrhování i provádění, možnosti tvarování, únosnost, cenu a další funkce konstrukce. V následující kapitole budou stručně popsána jednotlivá materiálová řešení.

3.1 Železobeton

I přes rozvoj ostatních materiálů je železobeton stále nejčastějším a ve většině případů i nevhodnějším materiálem používaným na lomenicové konstrukce. Většina odborné literatury se ostatním řešením často ani nevěnuje, čistě proto, že drtivá většina všech dosud realizovaných lomenicových konstrukcí byla železobetonová.

Použití železobetonu s sebou přináší řadu výhod, které ostatní materiály neposkytují. Jedná se o řešení s dlouhou životností a přirozenou požární odolností. Dává rozsáhlé možnosti tvarování konstrukce, u kterého ovšem platí, že čím komplikovanější forma, tím vyšší náklady na výrobu. A to ať se jedná jak o prefabrikáty, tak o monolity vylévané přímo na stavbách. Významnou výhodou je únosnost a také tuhost, které lze dosáhnout ve všech směrech, aniž by bylo nutné použití doplňujících ztužidel.

Nevýhodou může být již zmíněná potenciální komplikovanost bednění, případně výroba prefabrikátů. Notorickým nedostatkem je pak vlastní váha železobetonu, a s tím působení značného stálého zatížení, které velmi ovlivňuje navrhování.

V neposlední řadě je třeba zmínit udržitelnost výstavby z betonu. Ačkoliv se v tuzemsku množství recyklovaného odpadního stavebního materiálu za posledních 10 let asi ztrojnásobilo, stále se ho více než polovina recyklovat nepodaří, a končí tak na skládkách a v zásypech [6]. I přes to, že lze dnes železobeton stoprocentně recyklovat, je to energeticky i finančně velmi náročné. Výběr železobetonu by tedy měl určitě korespondovat s ideálním konstrukčním řešením tak, aby výsledný dopad na životní prostředí byl minimální.

3.2 Dřevo

I přes to, že bylo v minulosti kvůli svým omezeným možnostem překonávat velké rozpony nebo obecnému snižování zásob dřeva na světě čím dále méně využívané, se

díky dnešním technologiím daří jeho slabiny eliminovat a začleňovat ho zpět jako plnohodnotný stavební materiál. Vhodným uspořádáním lze bez problému překlenout rozpon i okolo 30 m [1].

Konstrukčním řešením ve formě lomenice ze dřeva jsou převážně vylehčené dřevěné panely, jejichž jádro je tvořeno lomenicovou strukturou (více kapitola 4.4), případně to mohou být schodiště. Dřevo jakožto stavební materiál je jednoduché transportovat, manipulovat s ním i z něj montovat požadované prvky. Působí jako estetický prvek s významnými tepelnými vlastnostmi. Ve srovnání s ostatními nosnými stavebními materiály (beton, ocel, zdivo, kámen) je jednoznačně nejlepším izolantem. Jedná se také o velmi ekologický materiál, který je snadno obnovitelný.

Na druhou stranu je velmi náchylný na dlouhodobou postupnou degradaci, ať už v podobě přítomné vlhkosti, dřevokazných hub a hmyzu nebo nižší únavové pevnosti. Také nedisponuje téměř žádnou přirozenou požární odolností.

3.3 Ocel

Ocel je v současnosti bezesporu nejpoužívanějším materiálem, pokud jde o velkorozponové konstrukce, kdy je potřeba vytvořit dispozici bez podpůrných konstrukcí. Nahrává tomu vysoká únosnost oceli v tahu, tlaku, ohybu i smyku spolu s nízkým vlastním zatížením, které vyvolává. Zároveň se jedná o materiál, jenž je vhodný i z estetického hlediska.

Je praktická, pokud se jedná o její finální montáž, která není složitá a je rychlá. Ve srovnání s železobetonem není ku příkladu potřeba stavět bednění ani disponovat vysokotlakými pumpami, které beton tlačí do vyšších úrovní. Nedostatkem je pak nutnost požární a korozní ochrany, bez kterých jsou ocelové konstrukce z hlediska bezpečnosti prakticky nepoužitelné.

Rozlišují se dva typy prvků, které ocelové lomenice utváří. Za prvé jsou to desky, třeba trapézové plechy, které spolu při spřažení s betonem mohou vytvářet pochozí nebo pojízdné povrchy. Za druhé prutové prvky, jejichž spojováním vznikají prostorové tuhé elementy.

3.4 Sklo

Sklo jako nosný stavební prvek není úplně praktické, přesto se najdou dobré důvody k jeho použití. Z architektonického hlediska se jedná o velmi zajímavý komponent, jehož vhodné využití může přinést kýžený výsledek. Dnes z něj lze stavět jak střechy a stropy, tak i nosné stěny, přesto není široce využíváno [1]. Často bývá kombinováno s jinými materiály.

Při navrhování je třeba brát v potaz jeho únosnost, křehký lom nebo nutnou údržbu. Oproti ostatním materiálovým řešením přináší jednu neoddiskutovatelnou výhodu, a to je vysoké prosvětlení interiéru.

3.5 Ostatní

Syntetické materiály jako například polyesterové nebo polykarbonátové pryskyřice začaly být hojně využívány v druhé polovině minulého století a své místo si našly i mezi lomenicovými konstrukcemi. Existují příklady plochých nebo prostorových prvků typu lomenic, vytvořené v kombinaci nebo pouze ze syntetických materiálů [1].

Mimo jednotlivá materiálová řešení jsou i řešení kombinací výše zmíněných materiálů.

4 Typy prvků

Typy konstrukcí a prvků, jejichž statické působení funguje na principu lomenic, je více. Tato kapitola popisuje nejdůležitější z nich.

4.1 Desky

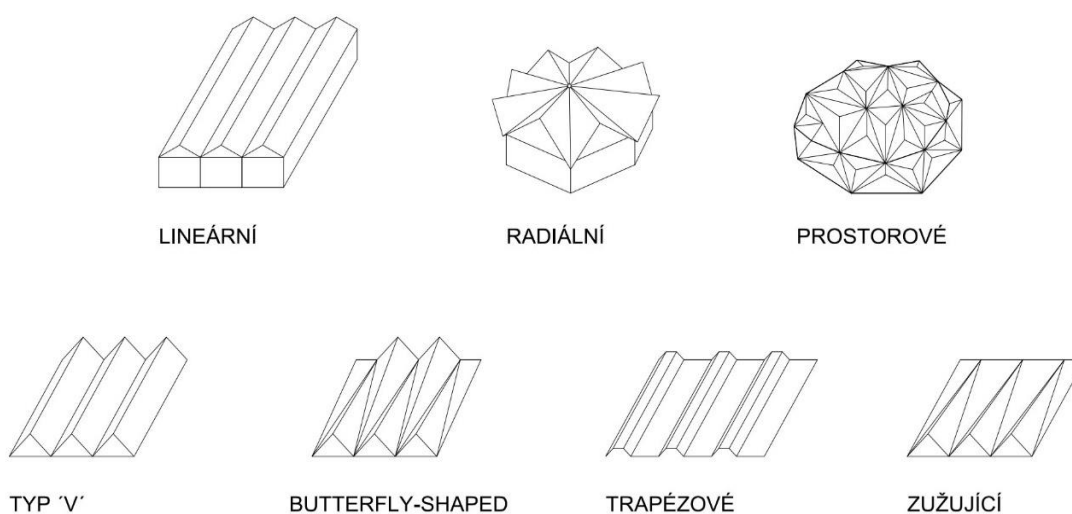
Stropní desky jsou nesporně nejběžnějším příkladem lomenicových konstrukcí ve stavebnictví. O desku se jedná, pokud je plocha „zalomená“ alespoň 2x.

Z hlediska jejich tvaru je lze rozdělit do dvou skupin; podle uspořádání přehybů:

- Klasická prizmatická lomenice tvaru V
- Butterfly-shaped (z angl.: butterfly – motýl, shape – tvar)
- Trapézové
- Zužující (průřez jednoho konce je tvaru V, druhý souvislá úsečka); častěji používaný pro stěny

a podle prostorového uspořádání:

- Lineární
- Radiální
- Prostorové
- Kombinace předchozích



Obrázek 7: Prostorové uspořádání lomenicových desek (nahore) a uspořádání přehybů (dole).

Nejčastěji používaným materiálem je železobeton, nicméně trapézové desky jsou spřažené ocelobetonové. Staticky působí jako ohýbané konstrukce, lineárně a radiálně uspořádané jako prosté nosníky.

4.2 Stěny

Typickým případem stěny působícím na principu lomenice jsou štětové stěny. Slouží k zajišťování stavebních výkopů a tvoří je jednotlivé válcované ocelové prvky podobné trapézovým plechům, nejčastěji typu Larsen (obr. 8), které bývají před započítím samotného výkopu zaberaněny, pokud možno do nepropustného podloží. Navzájem k sobě jsou spojeny pomocí tzv. zámků, v rozích se svařují. Vzhledem k tomu, že jsou ocelové a tedy nepropustné, jsou vhodné pro použití v zeminách s podzemní vodou.

Štětová stěna díky zaražení hluboko pod úroveň povrchu působí jako ohýbaná konzola, která zachytává horizontální síly vyvolané zadržovanou zeminou. Takto může být vysoká až 10 m [1].



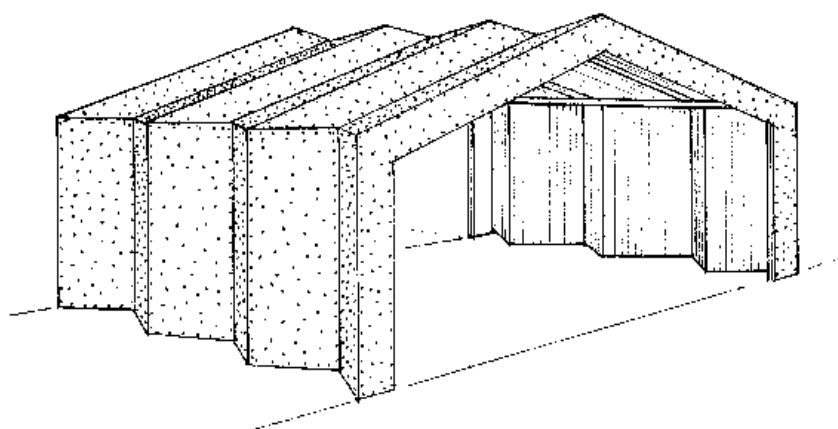
Obrázek 8: Štětová stěna typu Larsen [19].

Již méně častou aplikací lomenicových stěn jsou běžné železobetonové nosné stěny. Setkat se s nimi je možné u vysokých kostelů, kde jsou mírně zkosené a zároveň tvoří střechu (např. kostel Notre-Dame de Royan ve Francii).

4.3 Rámy

Rámy také zastupují konstrukce, jejichž účelem je překlenutí větších rozponů. Podle provedení mohou působit jak rovině, tak prostorově (obr. 9). Jsou poměrně staticky účinné, zatížení přenášejí kombinací tlaku a ohybového momentu. Ten je při jejich navrhování nejzásadnější, jelikož nabývá vysokých hodnot uprostřed rozpětí a v rozích.

Poskytují výhodný tvar pro běžná i náročnější využití, který je možný dle potřeby relativně pohodlně přizpůsobit.



Obrázek 9: Prostorový rám na principu lomenice [20].

4.4 Panely

Novinku mezi konstrukcemi na bázi lomenic přinesl v roce 2014 rakouský patent na vylehčené lepené panely Kielsteg (obr. 10).

Jedná se o dřevěné panely, kde horní a dolní povrch každého modulu tvoří plocha z hoblovaných smrkových profilů o tloušťce 40-80 mm a šířce od 50 do 200 mm. Výplň jsou lomené přepážky z překližek nebo u silnějších nosníků z OSB desek ve tvaru lodního kýlu (odtud název; německy kiel – kýl). Jednotlivé dimenze jsou závislé na rozpětí a maximální požadované únosnosti panelu. Navzájem jsou spojovány na polodrážku a vnitřní dutý prostor může být využit k vedení instalací. Touto technologií je možné provést zastropení nebo zastřešení nevytápěných i vytápěných dřevostaveb nebo hal s rozponem od 5 až do 30 m [7]. Posuzují se jako prosté nosníky.



Obrázek 10: Řez panelem Kielsteg a jeho použití [21].

4.5 Schodiště

Lomenicové schodiště je samonosná konstrukce bez schodnic. Na první pohled se vyznačují tím, že oproti běžnému schodišti nemá spodní nosnou desku, ale pouze stupně, jenž navzájem podpírají sami sebe. Podobně jako ostatní lomenicové konstrukce představují oproti obvyklým řešení úsporu materiálu, a tedy i ceny. Jejich hlavní předností ovšem je jejich design. Používají se především ve veřejných budovách, a to pro svůj velmi atraktivní vzhled. Nejčastěji jsou řešeny jako železobetonové prefabrikáty, ale je možné je realizovat i ocelové nebo dřevěné.

Kompletní postup návrhu a zhotovení výkresové dokumentace je předmětem praktické části této práce, teoretický návrh je popsán v kapitole 6.



Obrázek 11: Železobetonové lomenicové schodiště [22].

5 Realizované lomenicové konstrukce

V následující kapitole budou blíže představeny některé významné stavby, jež z velké části staticky působí jako lomenice. Zaměří se na stručné shrnutí funkce stavby, chování a působení konstrukce, specifika návrhu, použití materiálu a unikátnost objektu.

5.1 Yokohama Port Terminal

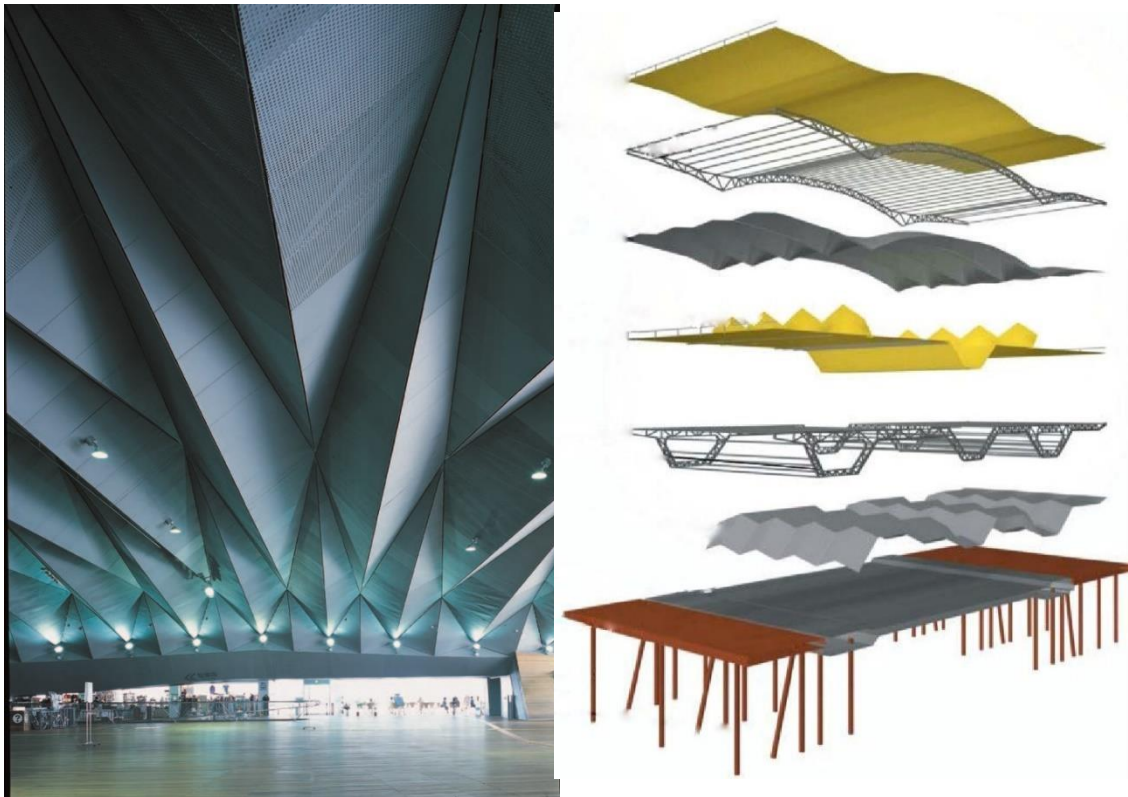
Jokohamský přístavní terminál (obr. 12) je nábrežním dopravním terminálem v japonské Jokohamě. Autorem jeho návrhu je ateliér Foreign Office Architects a dokončen byl v roce 2002. Slouží jako dopravní uzel pro místní lodní, autobusovou a vlakovou dopravu, a to pro lokální i mezinárodní cestující. Dále se zde nachází parkoviště a vyhlídková plošina. Díky svému jedinečnému vzhledu a způsobu využití se rychle stal vyhledávanou turistickou atrakcí.



Obrázek 12: Pohled na Yokohama Port Terminal [8].

Rozměry přístavu jsou: délka 430 m, šířka 70 m a výška 15 m, největší rozpon je 42,5 m. Má tři nosné úrovně (parkoviště, terminál, pochozí vyhlídková střecha) a tři různá konstrukční řešení jednotlivých stropních konstrukcí. Celý je založen na pilotách, na kterých je železobetonová deska. První nosnou stropní konstrukcí je tuhá ocelová příhradová deska ve tvaru trapézu, která nese zbytek objektu nad sebou. Její podhled je samonosná železobetonová origami konstrukce, která má pouze estetickou funkci. Střechu tvoří tlačené ocelové obloukové vazníky po 16

metrech, opět s železobetonovým estetickým origami pohledem, ovšem s jiným vzorem.



Obrázek 13: Vlevo: Železobetonový origami pohled, vpravo: skladba nosných konstrukcí terminálu [8].

Návrh terminálu musel počítat se dvěma ne úplně obvyklými proměnnými. Je částečně zakládán pod hladinou moře a také musel být dimenzován na zemětřesení, která jsou v této oblasti velmi častá. Z architektonicko-technického pohledu se zde povedlo zakomponovat lomenice ve formě nosných i estetických prvků. Celý objekt pak úspěšně plní funkci užitnou i designovou, a stal se tak symbolem Jokohamského nábřeží [8].

5.2 Airforce Academy Chapel

Kapli v Colorado Springs (Colorado, USA) je možné považovat za jednu z nejvýznamnějších staveb světa s nosnou konstrukcí na bázi lomenic (obr. 14). Jedná se o překrásnou stavbu s příkladným užitím lomenicové konstrukce. Byla navržena architektem Walterem Netschem a dokončena v roce 1962. Její výjimečnost podtrhuje

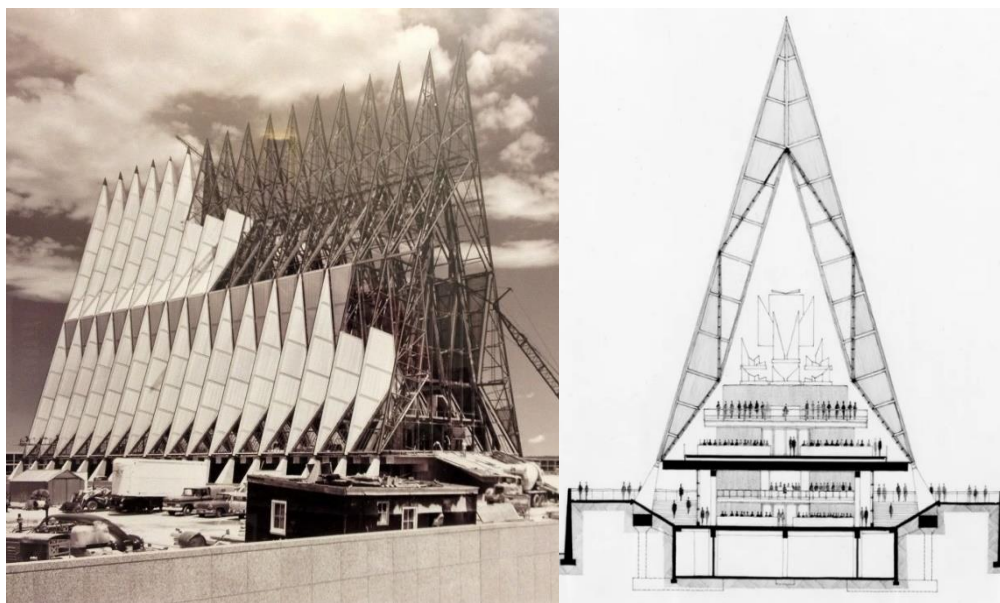
i skutečnost, že slouží nejen jako katolická a protestantská kaple, ale i jako židovská synagoga. Během bohoslužeb je schopna pojmout až 1500 návštěvníků.



Obrázek 14: Kaple amerických Air force v Colorado Springs [9].

Dimenze kaple jsou: výška 46 m, délka 85 m a šířka 26 m. Nosnou konstrukci střechy a zároveň stěn tvoří řada 17 věží, které jsou seskládány ze 100 identických tetraedrů, vyrobených z ocelových trubek. Jsou tvořeny příhradovými vazníky tvarovanými jako lomenice (obr. 15). Mezi jednotlivými čtyřstěny je 25 mm mezera vyplněná barevným okrasným sklem. Opláštění je provedeno z trojúhelníkových hliníkových desek.

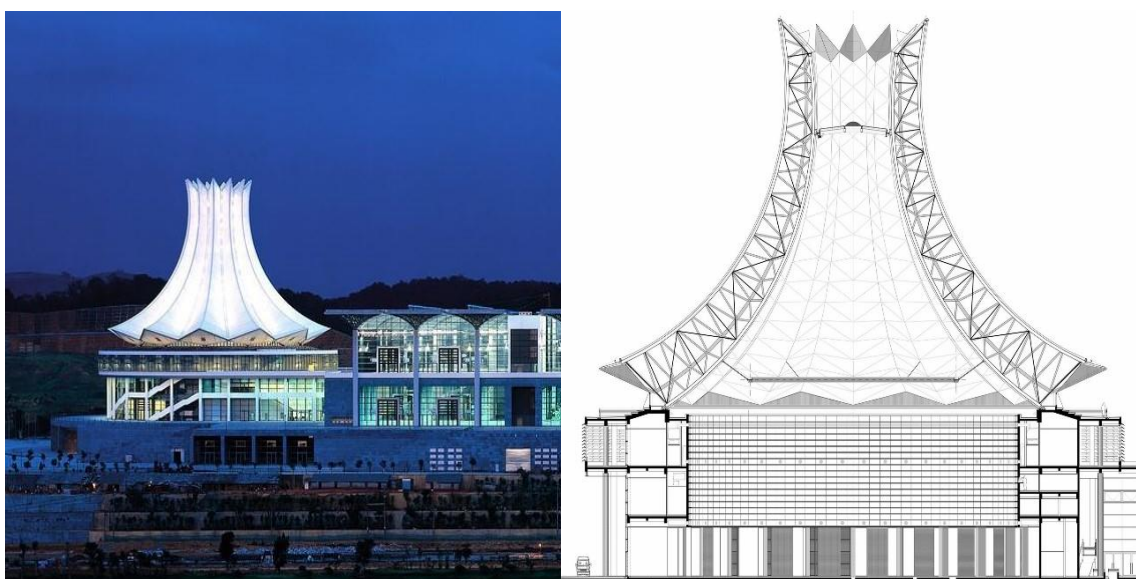
Uvnitř se nacházejí tři plošiny, každá pro jednu náboženskou skupinu. Obřady tedy mohou být vykonávány paralelně, aniž by se navzájem narušovaly. Plošiny jsou kompletně železobetonové, nesené průvlaky a sloupy [9].



Obrázek 15: Vlevo: z části obnažená ocelová lomenicová struktura a z části již dokončené opláštění, vpravo: řez kaplí s viditelnými plošinami struktury střechy [9].

5.3 Nanning International Convention and Exhibition Center

Mezinárodní kongresové a výstavní centrum se v posledních letech stalo dominantou rychle rostoucí metropole čínského Nanningu. Vzhledem ke své poloze z města vytvořilo důležitý bod mezi Čínskou lidovou republikou a jejími sousedy a stalo se význačným obchodním centrem. Za architektonickým návrhem stojí Meinhard von Gerkan a Nikolaus Götze. Stavba byla dokončena v roce 2005.



Obrázek 16: Vlevo: Nanning International Convention and Exhibition Center prosvětlené v noci, vpravo: řez nosnými konstrukcemi objektu [10].

Uvnitř se ve čtyřech patrech nachází velkolepé atrium, 5 kongresových center, několik výstavních hal a pod střechou multifunkční hala sloužící různým společenským událostem s kapacitou až 1200 účastníků.

Budova je vysoká 70 m a v průměru měří 48 m. Celý komplex zastřešuje na první pohled masivní kopule připomínající rozvíjející se květ. Lomenicová konstrukce střechy je však tvořena radiálně uspořádanou lehkou ocelovou konstrukcí, jenž je pokryta průsvitnou tepelně-izolační membránou (obr. 16). Ta dává vzniknout skvělým světelným podmínkám v hale pod ní, která se tak stává ideální místem pro konání koncertů nebo výstav. V noci je naopak podsvícena zevnitř a difúzní světlo vytváří zářící korunu viditelnou z Nanningu i širokého okolí [10].

6 Teoretický návrh lomenicového schodiště

Postup návrhu lomenicového železobetonového schodiště vychází z obecného navrhování železobetonových schodišť. Při navrhování je třeba respektovat konstrukční zásady. Nedílnou součástí je návrh případných podest a mezipodest. Tato kapitola se věnuje přístupu k navrhování lomenicového schodiště.

- **Idealizace statického působení**

Statické chování schodišť je buď podobné deskám, nebo působí jako konzoly. Desková se na základě způsobu podepření chovají jako spojitá, nebo prostě uložená deska. Pokud je schodiště pnuté mezi dvěma podlažími na podestách, případně mezipodestách, je pnuté podélně, tedy rovnoběžně s výstupní čarou (teoretická čára na výkrese udávající směr stoupání schodiště). Pokud je konzolové (vykonzolovaný stupeň ze stěny nebo stupně uložené uprostřed na středové schodnici), nebo podélně uložené mezi dvěma stěnami, je pnutí příčné, kolmé na výstupní čáru. Ačkoliv jsou staticky výhodnější a větší úsporu materiálu poskytují schodiště pnutá příčně, mnohem častější jsou vzhledem k dispozicím běžných budov ta pnutá podélně [13].

- **Zatížení**

Stálá zatížení schodišť jsou jejich vlastní tíha a povrchová úprava. Proměnné užitné zatížení norma vymezuje na 2-4 kN/m², ovšem může být zvýšeno podle charakteru a očekávaného využití budovy i schodiště. Vyšší hodnoty by se měly uvažovat u administrativních budov, nižší u rezidenčních. U schodišť vykonzolovaných z podélných nosných stěn stojí za úvahu zohlednit bodové zatížení od zábradlí na konci konzoly. Dle normy [14] se bodové zatížení pohybuje mezi 2-4 kN. Návrhové bezpečnosti součinitele jsou 1,35 pro stálá a 1,5 pro proměnná zatížení.

- **Přenos zatížení**

U běžných železobetonových schodišť přenáší zatížení pouze deska, na které jsou stupně, jenž se na únosnosti nijak nepodílí. Lomenicové schodiště nicméně žádnou nosnou desku nemá, zatížení tedy přenášejí samotné stupně. Je namáháno prostým ohybem, který přenášejí rámové rohy tvořené na sebe navazujícími stupnicemi a podstupnicemi.

- **Přenos u příčně pnutého schodiště**

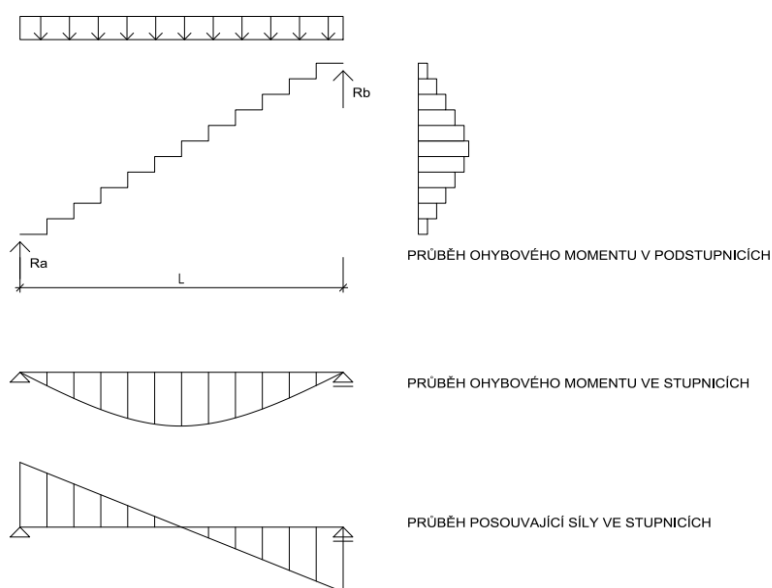
Pokud je lomenicové schodiště pnuté příčně, jednotlivé stupnice (vodorovná část stupně) a podstupnice (svislá část stupně) působí jako nosníky v příčném směru. Hlavní nosná výztuž se navrhuje na maximální moment uprostřed pole, případně i nad podporami, pokud je uvažováno konzolové uložení.

- **Přenos u podélně pnutého schodiště (obr. 17)**

Typické lomenicové schodiště pnuté podélně se chová obdobně jako běžná desková schodiště. Ohybové momenty vznikající v jednotlivých stupnicích se zvyšují směrem ke středu rozpětí. Stejným směrem rostou i v podstupnicích, jednotlivé podstupnice jsou však namáhány konstantními momenty. Posouvající síly ve stupnicích mají stejný průběh jako na prostém nosníku zatíženém spojitým zatížením. Návrh nosné výztuže je prováděn pouze na ohybové namáhání, velikost smykového může být zanedbána. Výztuž se skládá z překrývajících se horizontálních a vertikálních třmínek uspořádaných podle tvaru stupňů.

- **Rozměry**

Rozměry (tloušťka) stupnic i podstupnic se navrhují stejné. Jejich odhad je $1/25$ rozpětí pro prostě podepřená schodiště a $1/30$ rozpětí pro spojitě desky [13]. Zároveň musí být dostatečná, aby bylo možné průřez vyztužit.



Obrázek 17: Schéma přenosu vnitřních sil v podélně pnutém prostě uloženém lomenicovém schodišti.

Praktická část

7 Okrajové podmínky

Následující část se věnuje vytvoření okrajových podmínek (volbě konstrukčního systému a materiálů a vytvořením působících zatížení) pro provedení předběžného statického výpočtu a dále pro podrobné navržení schodiště.

Cíl praktické části

Cílem praktické části je navrhnout konstrukční řešení lomenicového schodiště v zadaném objektu. Bude navrhnout konstrukční systém budovy a proveden předběžný statický výpočet k určení základní geometrie jednotlivých nosných prvků. Spolu s ním budou schematicky navrženy spoje jednotlivých prefabrikovaných prvků.

Na základě tohoto bude navrženo lomenicové schodiště zároveň s podrobným návrhem a tvorbou výkresů prováděcí dokumentace.

Základní popis objektu

Je jím nová administrativní budova společnosti Geoindustrie (obr. 18), která leží v průmyslovém areálu ve Velkém Oseku asi 10 km od Kolína. Autorem architektonické studie je Ing. Arch. Radovan Vacík. Budova má čtvercový půdorys o rozměrech přibližně 20x20 m, dvě nadzemní podlaží, jimiž prostupuje osvětlené atrium, podél kterého jsou umístěny všechny kanceláře. Obě patra propojuje středem atria dominantní interiérové schodiště.

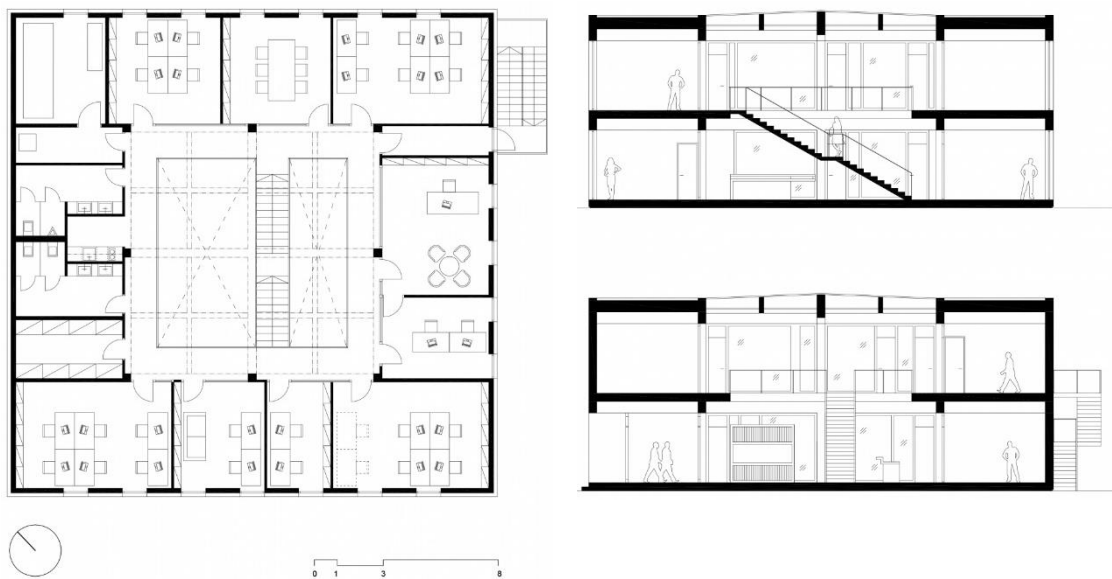


Obrázek 18: Exteriér a interiér budovy Geoindustrie [24].

Konstrukční systém

Objekt má železobetonový konstrukční systém ze sloupů a průvlaků, založený na pilotách. Stropy jsou z předpjatých panelů a dostatek světla v atriu zajišťují šedové světlíky. Prefabrikovaný skelet s pravidelně rozmístěnými okny dobře umožňuje případnou změnu dispozice, vhodnou pro kancelářské prostory. Podrobnější schéma je na konci kapitoly 8.

Konstrukční výška je 3700 mm.



Obrázek 19: Půdorys a řez objektem z architektonické studie [24].

Uvažované materiály

Beton: C35/45 – XC1 – D_{max} 16 – S4. Tento beton bude uvažován při návrhu schodiště, všechny předběžně navrhované prvky (stropy, průvlaky, sloupy) jsou z betonu stejné pevnosti, ale odlišných stupňů vlivu prostředí. Podrobněji jsou rozepsány v příloze 1.

Ocel: B500B

Materiálové charakteristiky

- Beton: $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$
 - Ocel: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $E_s = 200 \text{ GPa}$
- $$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1,4} = 25 \text{ MPa}$$
- $$E_{cm} = 33,5 \text{ GPa}$$
- $$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,1} = 455 \text{ MPa}$$

7.1 Působící zatížení

Stálá zatížení

Skladby

- Obecná skladba podlahy*

Vrstva	Tloušťka [mm]	Obj. tíha [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]
Roznášecí vrstva	50	2300	1,15
Kročejeová izolace	40	130	0,05
EPS 100**	60	20	0,01
CELKEM			1,21

* celý objekt má až na malé výjimky tuto skladbu podlahy, kde nášlapnou vrstvu tvoří pohledový beton, a proto bude tato skladba dále uvažovaná po celé ploše jako nejtěžší

**Vrstva EPS polystyrenu je určena k rozvodu instalací. Celá tloušťka skladby je navržena tak, aby byla její výška vhodná pro napojení schodiště.

- Střešní plášť*

Vrstva	Tloušťka [mm]	Obj. tíha [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]
Izolace	300	20	0,6
Spádová	30-80	800	0,64
CELKEM			1,24

* ve výpočtech se bude dále objevovat pouze jako ostatní stálé zatížení střechy bezpečně i pro místa, kde se nacházejí světlíky

- Obvodový plášť

Vrstva	Tloušťka [mm]	Obj. tíha [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]
Výplňové zdivo*	300	850	2,55
Izolace	200	40	0,08
Fasáda	10	600	0,06
CELKEM			2,69

* Porotherm 30 P+D, tloušťka: 300 mm, objemová hmotnost prvku: 800-870 kg/m³, neprůzvučnost R_w = 52 dB.

Proměnná zatížení

Užitné zatížení (dle ČSN EN 1991 1-1-1 [11])

Místo použití	Kategorie	q_k [kN/m ²]
Kanceláře*	B	3,0
Schodiště**	A	3,0
Nepřístupné střechy	H	0,75
Společné prostory	C1	2,5
Přemístitelné příčky***	-	0,5

* byla zvolena vyšší hodnota vzhledem k překonzolovanému ochozu ve 2.np, kde by v případě vyšší kumulace lidí mohly vznikat velké ohybové momenty

**hodnota uvažována vzhledem k charakteru a velikosti budovy (malá)

***možné nahrazení zatížení od příček plošným zatížením pro lehké příčky (v objektu se nacházejí pouze lehké skleněné příčky tloušťky 10 mm s vlastní vahou < 1,0 kN/m)

Zatížení sněhem

- Velký Osek – sněhová oblast I → char. zatížení sněhem: $s_k = 0,70$ kN/m²
- Součinitel expozice: $C_e = 1,0$
- Součinitel prostupu tepla: $C_p = 1,0$
- Typ střechy: plochá ($\alpha < 30^\circ$) → $\mu = 0,8$

Průměrné char. zatížení střechy sněhem: $s = s_k * \mu * C_e * C_p = 0,56$ kN/m²

Minimální užitné zatížení střechy: $q_k = 0,75$ kN/m²

→ dále bude jako proměnné zatížení střechy uvažováno $q_k = 0,75$ kN/m²

Zatížení větrem

- Velký Osek – větrná oblast II → základní rychlost větru: $v_b = 25$ m/s
- Kategorie terénu: III → $h = 9,0$ m, $c_e(z) = 1,7$
- Hustota větru: $\rho = 1,25$ kg/m³
- Typ střechy: plochá ($\alpha < 30^\circ$) → $\mu = 0,8$

Základní dynamický tlak větru:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 0,39 \text{ kPa}$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = 1,7 * 0,39 = 0,663 \text{ kPa} = 0,663 \text{ kN/m}^2$$

Výše vypočtená zatížení jsou pouze v charakteristických hodnotách: Návrhové hodnoty budou získány přenásobením dílčími bezpečnostními součiniteli, uvažovanými 1,35 pro stálá zatížení, respektive 1,5 pro proměnná.

8 Předběžný návrh rozměrů prvků

V této kapitole bude proveden předběžný statický výpočet; stanoví se krycí vrstvy a vytvoří se návrhy rozměrů jednotlivých nosných prvků a posoudí se jejich proveditelnost.

8.1 Stanovení krycí vrstvy

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma}; \Delta c_{dur,st}; \Delta c_{dur,add} \text{ (uvažováno)} = 0 \text{ mm}$$

- Deskové konstrukce (stropy, schodiště): Výchozí konstrukční třída je S4 (návrhová životnost 50 let), jelikož se jedná o prefabrikáty (vysoký stupeň kontroly kvality provádění), vhodnou pevnostní třídu betonu pro uvažované prostředí a deskové konstrukce, lze snížit konstrukční třídu na výslednou S2 $\rightarrow c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$

$$c_{nom,1} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

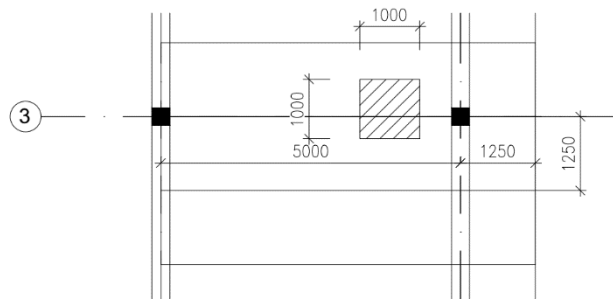
- Ostatní konstrukce: Výchozí konstrukční třída je S4 (návrhová životnost 50 let), jedná se o prefabrikáty (vysoký stupeň kontroly kvality provádění) a vhodná pevnostní třídu betonu pro uvažované prostředí, lze snížit konstrukční třídu na výslednou S3 $\rightarrow c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$

$$c_{nom,2} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 5 = 25 \text{ mm}$$

8.2 Strop

Stropní i střešní desky v celém objektu jsou z lehčených prefabrikovaných předpjatých panelů typu Spiroll. Jsou jednosměrně pnuté, na rozpon 5,0 m, strop nad 1.NP je ještě překonzolován o 1,25 m a tvoří ochoz. V dalším výpočtu bude proveden návrh pouze nejnamáhanějšího výseku a výsledná tloušťka panelu bude použita všude.

Schéma řešené části stropní konstrukce:



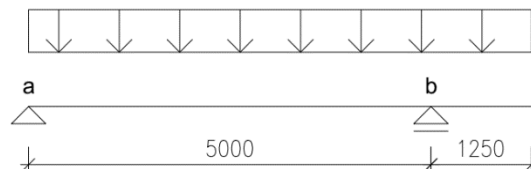
Výpočet plošného zatížení na oboustranně vyztužený stropní panel konzolového typu SPG 16699 výšky 165 mm, šířky 1250 mm:

Název zatížení	Char. [kN/m ²]	γ	Návrhové [kN/m ²]
Vl. tíha panelu	2,7	1,35	3,65
Ostatní stálé	1,2	1,35	1,62
Příčky*	0,8	1,35	1,08
Užitné	3,0	1,5	4,5
CELKEM	7,7		10,88

*příčky jsou v dispozici umístěny rovnoběžně se stropními panely, příp. přímo na průvlacích, a proto byla bezpečně zvolena hodnota zatížení 1 kN/m \rightarrow 1/1,25 (šířka panelu) = 0,8 kN/m²

Největší momentové namáhání v poli vznikne, pokud užité zatížení bude působit pouze v poli (KZS 1). Na konzole vznikne největší namáhání, pokud užité zatížení bude uvažováno alespoň na délce konzoly (KZS 2). Stálé zatížení působí vždy a všude a je rovno hodnotě 6,38 kN/m².

Statické schéma panelu:



Statické ověření z hlediska ohybu:

$$KZS 1: M_a = 5 * B - \frac{f_1 * L_1^2}{2} - \frac{f_2 * L_2 * L_3}{2} = 5 * B - \frac{10,88 * 5^2}{2} - \frac{6,38 * 1,25 * 5,6}{2} = 0 \rightarrow B = 31,7 \text{ kN}$$

$$A = \sum Li * fi - B = 5,0 * 10,88 + 1,25 * 6,38 - 31,7 = 30,68 \text{ kN}$$

$$V = 0 = A - f * x = 30,68 - 10,88 * x \rightarrow x = 2,82m$$

$$M_{ed,pole} = 43,26 \text{ kNm/m}$$

$$M_{ed,podpora} = -4,98 \text{ kNm/m}$$

$$KZS 2: M_a = 5 * B - \frac{f_1 * L_1^2}{2} - \frac{f_2 * L_2 * L_3}{2} = 5 * B - \frac{6,38 * 5^2}{2} - \frac{10,88 * 1,25 * 5,6}{2} = 0 \rightarrow B = 23,6 \text{ kN}$$

$$A = \sum L_i * f_i - B = 5,0 * 6,38 + 1,25 * 10,88 - 23,6 = 21,9 \text{ kN}$$

$$V = 0 = A - f * x = 21,9 - 10,88 * x \rightarrow x = 2,01m$$

$$M_{ed,pole} = 31,1 \text{ kNm/m}$$

$$M_{ed,podpora} = -8,5 \text{ kNm/m}$$

Posouzení maximálních momentů:

$$M_{ed,pole} = 43,26 \text{ kNm/m} < 69,33 \text{ kNm/m} = M_{rd,pole}$$

$$M_{ed,podpora} = -8,5 \text{ kNm/m} < -18,44 \text{ kNm/m} = M_{rd,podpora}$$

Statické ověření z hlediska smyku:

Maximální posouvající síla v místě největší posouvající síly (podpora B, KZS 1):

$$V_{ed,max} = 31,7 \text{ kN}$$

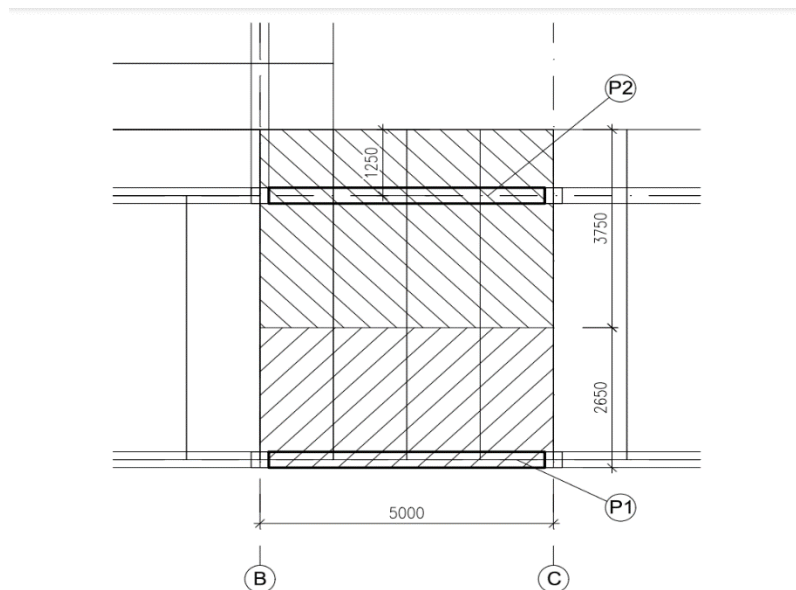
Únosnost ve smyku dle výrobce: $V_{Rd,max} = 57,83 \text{ kN}$

Posouzení: $V_{Ed} = 31,7 \text{ kN} < 57,83 \text{ kN} = V_{Rd}$

Posouzení: Navržený průřez vyhovuje na ohyb i na smyk.

8.3 Průvlaky

Vzhledem k tomu, že není možné bez výpočtu určit nejzatíženější průvlak, budou spočtena zatížení na dva a poté posouzen jako prostý nosník ten, který bude zatížen více a výsledný rozměr použit pro všechny průvlaky v budově, kromě střešních průvlaků v oblasti světlíků – ty jsou navrženy dále. Odhad průřezu pro stanovení vlastní tíhy: 300x500 mm. Schéma výseku stropní konstrukce s označenými průvlaky a zatěžovacími plochami:



Výpočet liniového zatížení na průvlak P1 (délka 4700 mm) – zatěžovací šířka: 2,65 m

Název zatížení	[kN/m ²]	[m]	Char. [kN/m]	γ	Návrhové [kN/m]
Vl. tíha trámu	25*0,3*0,5	-	3,75	1,35	5,06
Stropní panely	2,7	2,65	7,16	1,35	9,66
Ostatní stálé	1,2	2,65	3,18	1,35	4,29
Obvodový plášť	2,69	3,0	8,07	1,35	10,89
Příčky	0,5	2,65	1,33	1,5	1,99
Užitné	3,0	2,65	7,95	1,5	11,93
CELKEM			31,44		43,82

Výpočet liniového zatížení na průvlak P2 (délka 4700 mm) – zatěžovací šířka: 3,75 m.

Název zatížení	[kN/m ²]	[m]	Char. [kN/m]	γ	Návrhové [kN/m]
Vl. tíha trámu	25*0,3*0,5	1	3,75	1,35	5,06
Stropní panely	2,7	3,75	10,13	1,35	13,67
Ostatní stálé	1,2	3,75	4,5	1,35	6,08
Příčky	0,5	3,75	1,88	1,5	2,81
Užitné	3,0	3,75	11,25	1,5	16,88
CELKEM			31,51		44,5

Empirický návrh rozměrů průvlaku P2.

$$\text{výška } h_p = \left(\frac{L}{12} \text{ až } \frac{L}{10} \right) = 416,7 \text{ až } 500,0 \text{ mm}$$

$$\text{šířka } b_p = \left(\frac{h_t}{3} \text{ až } \frac{2h_t}{3} \right) = 166,7 \text{ až } 333,3 \text{ mm}$$

Návrh: $h_p = 500 \text{ mm}$, $b_p = 300 \text{ mm}$

Statické ověření z hlediska ohybu:

Maximální návrhový moment:

$$M_{ed} = \frac{1}{8} * f_d * L^2 = \frac{1}{8} * 44,5 * 4,7^2 = 122,9 \text{ kNm}$$

Statically účinná výška průřezu:

$$d = h_t - c_{nom} - \frac{\emptyset s}{2} = 500 - 25 - \frac{14}{2} = 468 \text{ mm}$$

Odhad ramene vnitřních sil: $z = 0,9 * d = 0,9 * 468 = 421,2 \text{ mm}$

Potřebná plocha vyztužení:

$$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{z * f_{yd}} = \frac{122,9 * 10^6}{421,2 * 435} = 671 \text{ mm}^2$$

Stupeň vyztužení:

$$\rho = \frac{A_{s,req} * 1,2}{A_c} = \frac{1,2 * 671}{300 * 500} = 0,54\%$$

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{a_s * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{1,2 * 671 * 435}{0,8 * 300 * 25} = 58,4 \text{ mm}$$

Skutečná velikost ramene vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 * x = 468 - 0,4 * 58,4 = 444,6 \text{ mm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} * f_{yd} * z = 1,2 * 671 * 435 * 444,6 = 155,7 \text{ kNm}$$

Ověření skutečné poměrné výšky tlačené oblasti za účelem zjištění, zdali bude výztuž v MSÚ za mezí kluzu:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{58,4}{468} = 0,13 < 0,45 = \xi_{max}$$

Statické ověření z hlediska smyku:

Maximální posouvající síla:

$$V_{ed,max} = \frac{1}{2} * f_d * L = \frac{1}{2} * 44,5 * 4,7 = 104,6 \text{ kN}$$

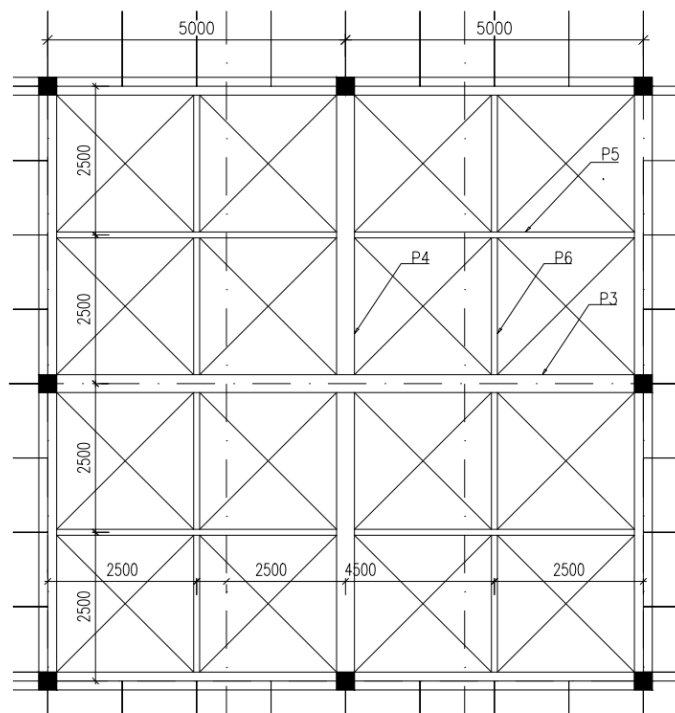
Únosnost tlačené diagonály:

$$V_{Rd,max} = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) * f_{cd} * b_p * z * \frac{\cot\theta}{1 + \cot^2\theta}$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 * \left(1 - \frac{35}{250}\right) * 25 * 300 * 451,6 * \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 806,6 \text{ kN}$$

Posouzení: Navržený průřez vyhovuje na ohyb i na smyk.

Analogický postup návrhu střešních průvlaků P3 – P6 (schéma níže) v oblasti světlíků je proveden v následujících tabulkách:



Průvlak P₃: délka 10,0 m, návrh: h_t = 800 mm, b_t = 300 mm. Navržené dimenze budou platit i pro kratší a méně zatížený průvlak P₄.

Výpočet liniového zatížení na průvlak P₃:

Název zatížení	[kN/m ²]	[m]	Char. [kN/m]	γ	Návrhové [kN/m]
Vl. tíha trámu	25*0,3*0,8	1	6,0	1,35	8,1
Ostatní stálé	1,24	10	12,4	1,35	16,74
Proměnné	0,75	10	7,5	1,5	11,25
CELKEM			25,9		36,1

Průvlak P₅: délka 5,0 m, návrh: h_t = 500 mm, b_t = 300 mm. Navržené dimenze budou platit i pro kratší a méně zatížený průvlak P₆.

Výpočet liniového zatížení na průvlak P₅:

Název zatížení	[kN/m ²]	[m]	Char. [kN/m]	γ	Návrhové [kN/m]
Vl. tíha trámu	25*0,3*0,5	1	3,75	1,35	5,06
Ostatní stálé	1,24	2,5	3,1	1,35	4,19
Proměnné	0,75	2,5	1,89	1,5	2,81
CELKEM			8,74		12,1

Statické ověření z hlediska ohybu a smyku:

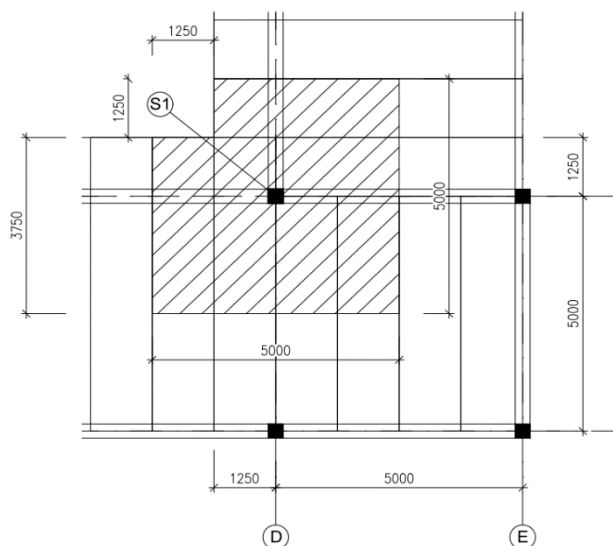
	M _{ed}	D	Z	A _{s,req}	ρ	x	Z _{skut}	M _{Rd}	ξ
	[kNm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[%]	[mm]	[mm]	[kNm]	[-]
P₃	451,3	768	729,6	1422	0,7	123,7	719	533,3	0,16
P₅	37,8	468	444,6	196	0,16	17,1	461	47,2	0,04

	V _{ed,max}	Z	V _{Rd,max}
	[kN]	[mm]	[kN]
P₃	180,5	719	1284
P₅	30,3	461	824

Posouzení: Navržené průřezy střešních průvlaků vyhovují na ohyb i na smyk.

8.4 Sloupy

Bude navržen průřez vnitřního sloupu S1 v 1.NP a jeho rozměr bude použit pro všechny ostatní. Odhad průřezu pro stanovení vlastní tíhy: 300x300 mm. Schéma výseku konstrukce s označeným sloupem a zatěžovací plochou:



Výpočet zatěžovací plochy: $A = a * b - a_1 * b_1 = 5,0 * 5,0 - 1,25 * 1,25 = 23,5 \text{ m}^2$

Výpočet normálové síly N_{ed} v patě sloupu S1 v 1.np

Název zatížení	Výpočet	n [-]	Char. [kN]	γ	Návrhové [kN]
Sloupy	$25 * 0,3 * 0,3 * 3,7$	2	16,65	1,35	22,48
Průvlaky	$25 * 0,3 * 0,5 * 7,1$	2	53,25	1,35	71,89
Stropní panely	$2,7 * 23,5$	2	126,9	1,35	171,32
Ost. stálé-strop	$1,2 * 23,5$	1	28,2	1,35	38,07
Ost. stálé-střecha	$1,24 * 23,5$	1	29,14	1,35	39,34
Příčky	$0,5 * 23,5$	1	11,75	1,5	17,63
Užitné-strop	$3,0 * 23,5$	1	70,5	1,5	105,75
Užitné-střecha	$0,75 * 23,5$	1	17,63	1,5	26,45
CELKEM			354,02		492,93

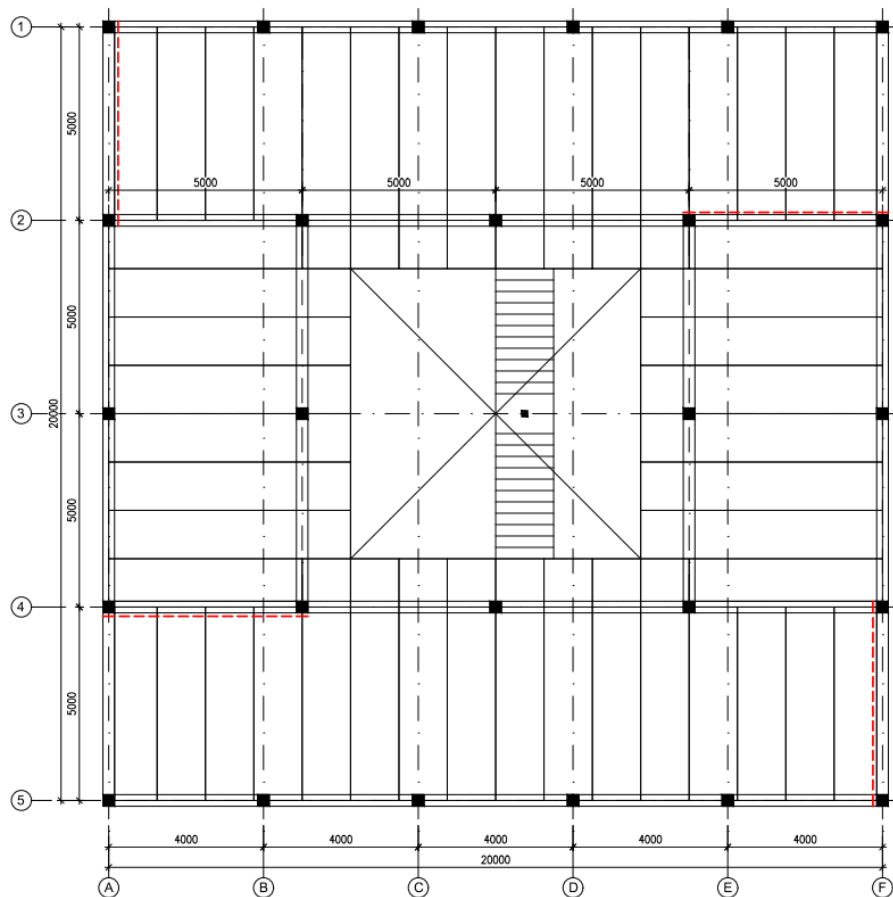
Potřebná průřezová plocha určená ze vztahu pro dostředně tlačený sloup:

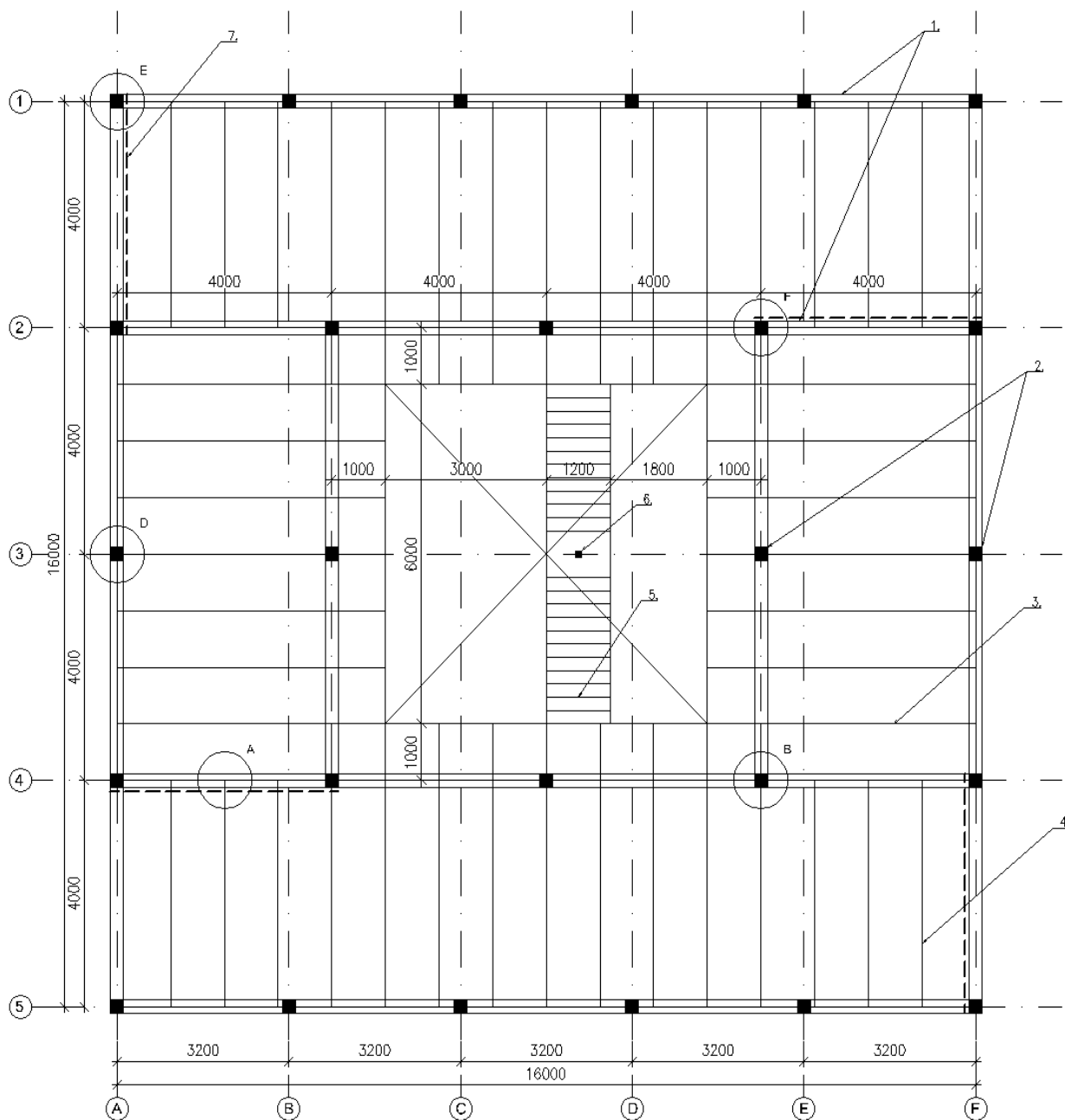
$$A_{c,req} = \frac{N_{ed}}{0,8 * f_{cd} * \rho * \sigma_s} = \frac{492930}{0,8 * 25 * 0,01 * 400} = 6161,6 \text{ mm}^2$$

Vzhledem k zachování jednotných rozměrů průvlaků a sloupů je navržen sloup o rozměrech 300x300 mm ($A_{c,prov} = 90000 \text{ mm}^2$). Průřez díky tomu získá i rezervu na vliv štíhlosti a ohybového momentu.

8.5 Prostorová tuhost

Podélné ztužení bude provedeno předpjatými stěnovými panely Spiroll PPD5300/204 S. Umístěny budou mezi sloupy v 1.NP i 2.NP. Situovány budou ve dvou pětimetrových úsecích v obou směrech tak, aby byla budova ztužena v obou směrech. Stropní panely propojené zálivkovou výztuží vytvoří vodorovnou tuhou desku. Schéma rozmístění podélného ztužení v 1.NP červenou čárkovanou čarou (poloha ve 2.NP je shodná):

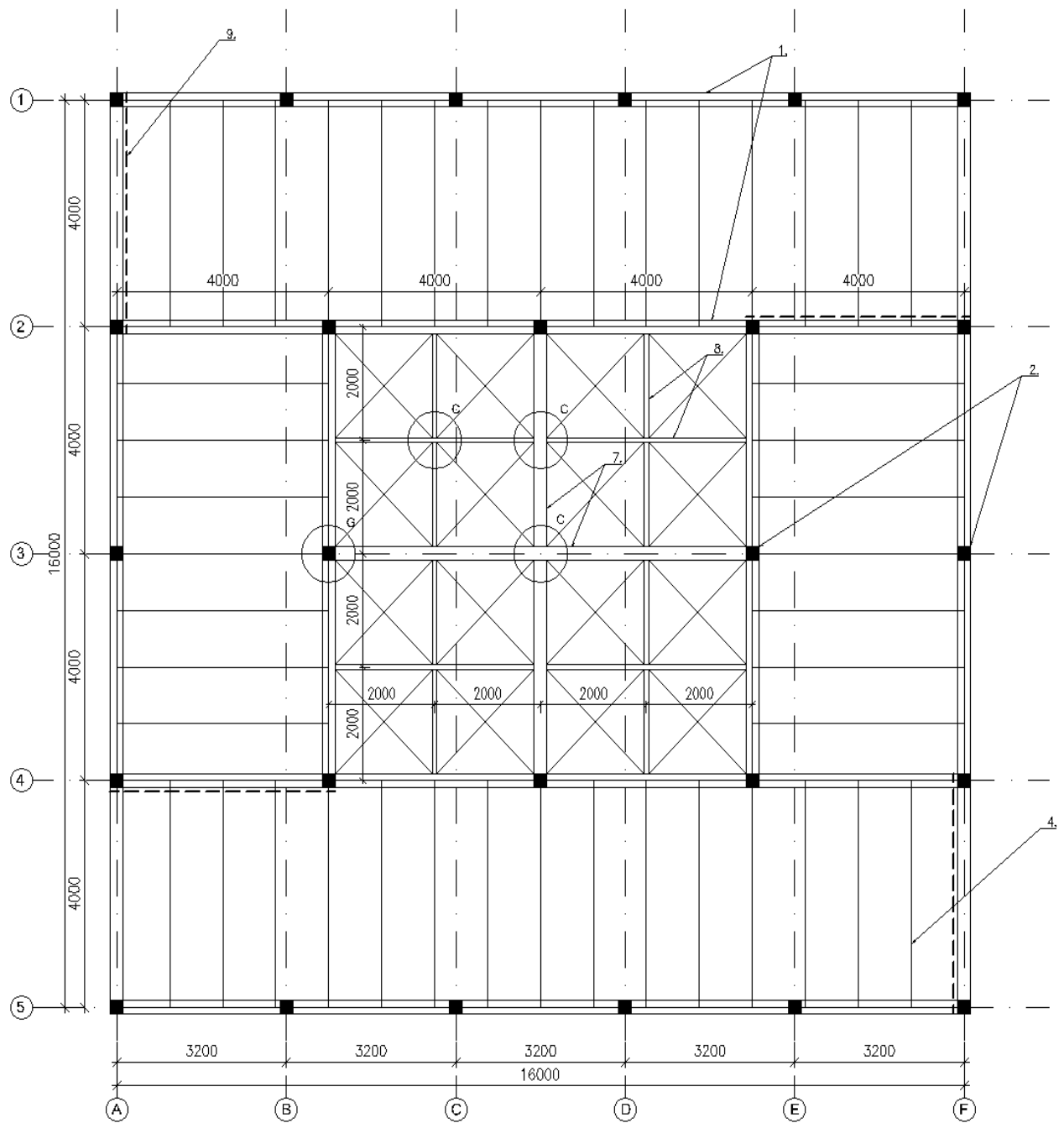




VÝPIS PREFA PRVKŮ:

- 1) PRŮVLAK 300x500 mm
- 2) SLOUP 300x300 mm
- 3) KONZOLVÝ STOPNÍ PANEĽ 6250x1000 nebo x1250 mm
- 4) BĚŽNÝ STROPNÍ PANEĽ 5000x1000 nebo x1250 mm
- 5) SCHODIŠTĚ
- 6) SLOUPEK 200x200 mm
- 7) STĚNOVÉ PANEĽY 5300x1200 mm

Obrázek 20: Schéma konstrukčního systému 1.NP.

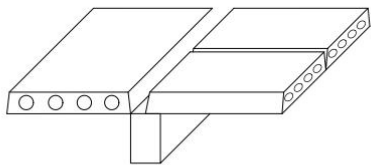


VÝPIS PREFA PRVKŮ:

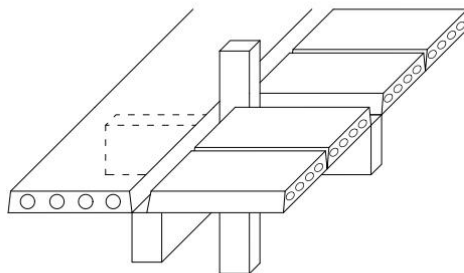
- 1) PRŮVLAK 300x500 mm
- 2) SLOUP 300x300 mm
- 4) BĚŽNÝ STROPNÍ PANEĽ 5000x1000 nebo x1250 mm
- 7) STŘEŠNÍ PRŮVLAK 800x300 mm
- 8) STŘEŠNÍ PRŮVLAK 500x300 mm
- 9) STĚNOVÉ PANEĽY 5300x1200 mm

Obrázek 21: Schéma konstrukčního systému 2.NP.

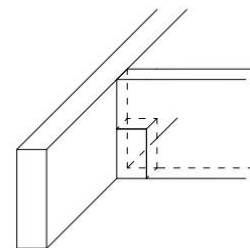
A) STROPNÍ PANEL NA PRŮVLAK



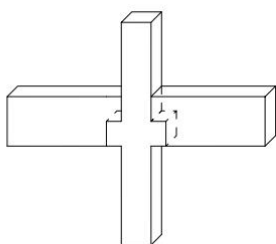
B) KONZOLOVÝ PANEL



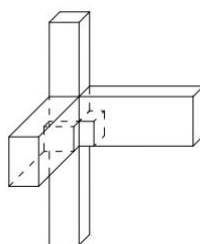
C) STŘEŠNÍ PRŮVLAKY



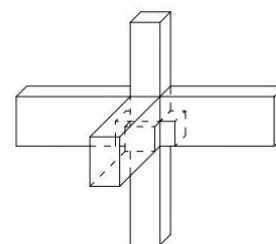
D) PRŮVLAK NA PRŮBĚŽNÝ SLOUP



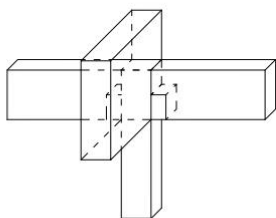
E) PRŮVLAK NA ROHOVÝ SLOUP



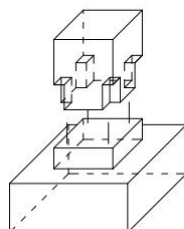
F) PRŮVLAK NA VNITŘNÍ ROHOVÝ SLOUP



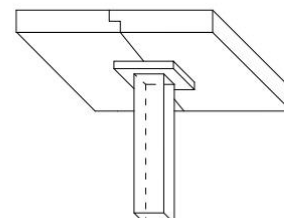
G) PRŮVLAK NA HLAVU SLOUPU



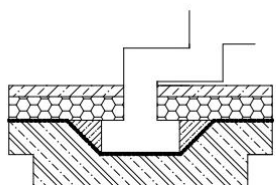
H) SLOUP NA PATKU



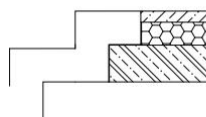
I) PODPORA MEZIPOSESTY



J) ZALOŽENÍ SCHODIŠTĚ



K) ULOŽENÍ SCHODIŠTĚ NA STROPNÍ PANEL



- Průvlaky, jsou uloženy na ozuby, na kterých je pryžová podložka a propojeny jsou pomocí ocelových trnů, jenž jsou vytaženy z ozubu a zainjektovány do otvorů v průvlaku; vzniká kloubový spoj (C-G).
- Sloupy jsou navrženy jako jeden dílec, tzn. jsou průběžné přes obě podlaží, k základovým patkám jsou připojeny ocelovými příložkami, které se svaří s trny vytaženými z patky (D-H).
- Stropní panely jsou mezi sebou propojeny záhlvkovou výztuží. Osazení na průvlak je provedeno na 10 mm vrstvu podkladní podporové malty MC 10, do které je stropní dílec usazen (A,B).
- Schodiště je akusticky odděleno od ostatních konstrukcí pomocí ložisek Schoeck Tronsole typu F, resp. B (I-K).

Obrázek 22: Schéma propojení prefabrikovaných prvků.

9 Podrobný návrh schodiště

V závěrečné kapitole je představen detailní návrh lomenicového schodiště. Je určena základní geometrie, vytvořen výpočetní model, provedeno navržení výztuže, ověření vzniku trhlin a posouzení průhybu. Návrh je proveden ručním výpočtem i ve výpočetním softwaru SCIA Engineer.

Schodiště jsou obecně navrhována jako desky pnuté mezi jednotlivými podporami, nebo jako jednotlivé konzoly umístěné tak, že tvoří samotné stupně. Vytváří tak nejčastější způsob překonávání výškových rozdílů v budovách a propojují jednotlivá podlaží. Mohou mít různá tvarová řešení, počet i délku ramen. Celá schodiště jsou uložena na podestách, jednotlivá ramena mezi dvěma podlažími spojují mezipodesty. Maximální počet schodišťových stupňů v jednom rameni by z důvodu komfortu výstupu neměl přesáhnout 16, respektive 18 stupňů v rodinných domech. Běžná schodiště mají sklon 25-30°.

9.1 Geometrie

Počáteční uvažované rozměry podle normy pro schodiště a šikmé rampy ČSN 73 4130 [14]:

Prostor, do kterého se schodiště musí vejít je 7,5x7,5 m.

- $KV = 3700$ mm (konstrukční výška podlaží)
- $h_s = 0$ mm (výška skladby na schodišťových stupních)
- $h_d = 165$ mm (výška stropních panelů dle předběžného výpočtu)
- $h_p = 80$ mm (výška skladby stropu)
- $b_r = 1500$ mm (průchozí šířka schodišťového ramene)

Určení požadované výšky stupně a počtu stupňů na základě odhadnuté výšky stupně 160 - 170 mm.

$$\frac{KV}{h} = \frac{3700}{160} \sim \frac{3700}{170} = 23,1 \sim 21,8$$

→ zvoleno 22 stupňů

výsledná výška jednotlivého stupně:

$$h = \frac{KV}{n} = \frac{3700}{22} = 168 \text{ mm}$$

Určení šířky stupně na základě Lehmanova vzorce vycházejícího z průměrné délky lidského kroku.

$$b = 630 - 2h = 630 - 2 * 168 = 294 \text{ mm}$$

Sklon schodiště:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h}{b}\right) = \arctan\left(\frac{168}{294}\right) = 29,7^\circ$$

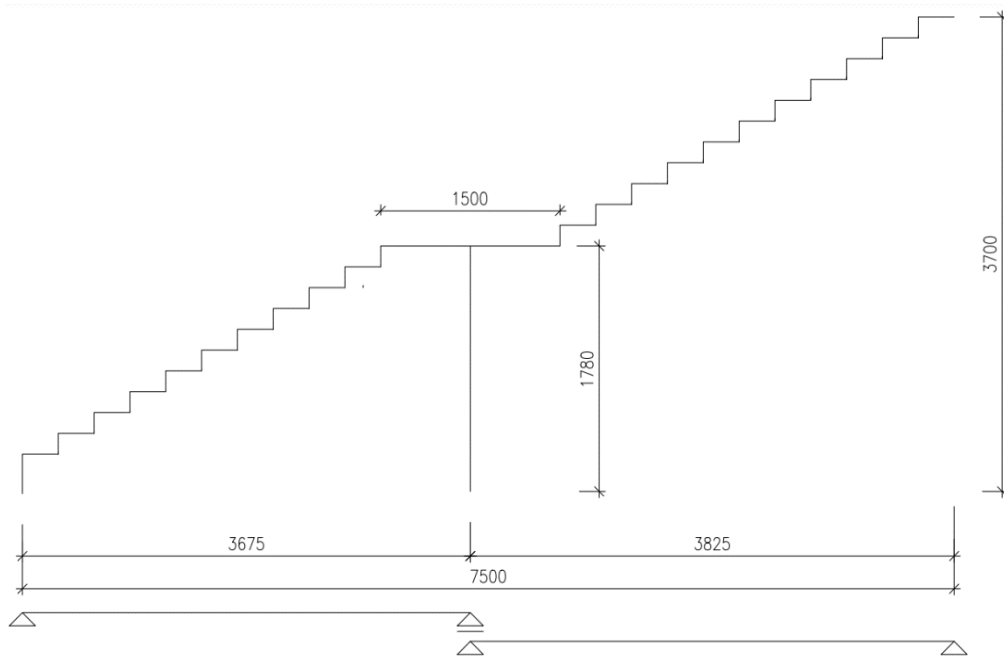
Vzhledem k dispozičnímu uspořádání schodiště není třeba ověřovat podchodnou a průchodnou výšku, obě bezpečně vyhoví.

9.2 Návrh a posouzení

Konstrukční řešení se bude snažit co nejvíce zachovat původní provedení schodiště. To je v něm rozděleno na dvě samostatná na sebe navazující ramena, rozdělená krátkou mezipodestou. Ta se nachází uprostřed a je podepřena sloupkem.

Návrh bude proveden paralelně ručně i numerickou analýzou v programu SCIA Engineer metodou konečných prvků. SCIA Engineer předpokládá lineárně-pružné chování železobetonu, tzn., že nepředpokládá vznik trhlin a tento předpoklad bude ručně ověřen. Oba výpočty by měli být podobné, budou se však lišit, jelikož výpočtový software do výpočtu zahrnuje více okolností. Výsledky budou sloužit ke kontrole obou postupů návrhu. Ručně bude proveden 2D model, ve výpočetním softwaru bude vytvořen prostorový lokální model. Jednotlivé stupně budou modelovány jako desky a stěny a následně propojeny. Uvažované podpory jsou znázorněny na následujících obrázcích.

Volba ručního výpočetního modelu:

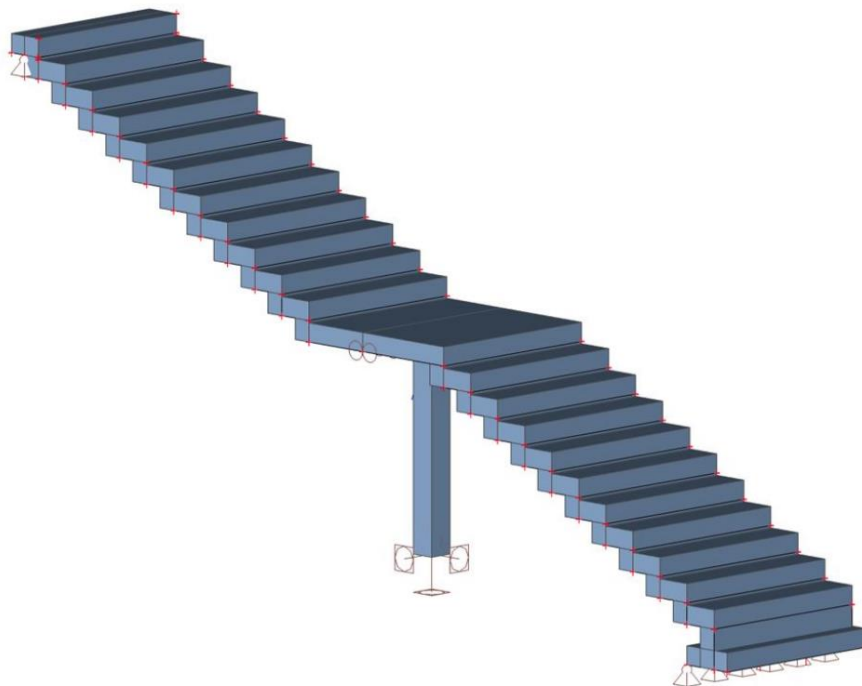


Jedná se o dvě prostě uložená samostatná ramena. Tloušťka desky i vyztužení budou navrženo jednotně na větší rozpětí. Návrh bude proveden na 1 metr šířky schodiště.

Empirický odhad tloušťky desky:

$$h_d = \frac{L}{25} = \frac{3825}{25} = 153 \text{ mm} \rightarrow \text{Návrh: } h_d = 150 \text{ mm}$$

Volba prostorového výpočetního modelu:



Obrázek 23: Axonometrie lokálního výpočetního modelu.

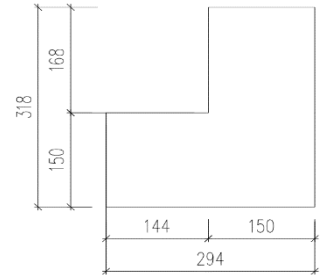
Účinná výška průřezu:

$$d = h_d - c_{nom,1} - \frac{\varnothing_s}{2} = 150 - 20 - \frac{10}{2} = 125,0 \text{ mm}$$

- Výpočet zatížení na 1 m šířky:

Vlastní váha jednoho stupně (tento výsek se poté ve schodišti pravidelně opakuje): $25 \cdot 0,15 \cdot (0,168 + 0,294) = 1,73 \text{ kN/m}$

Počet stupňů na 1 metr délky: $1/0,294 = 3,4$



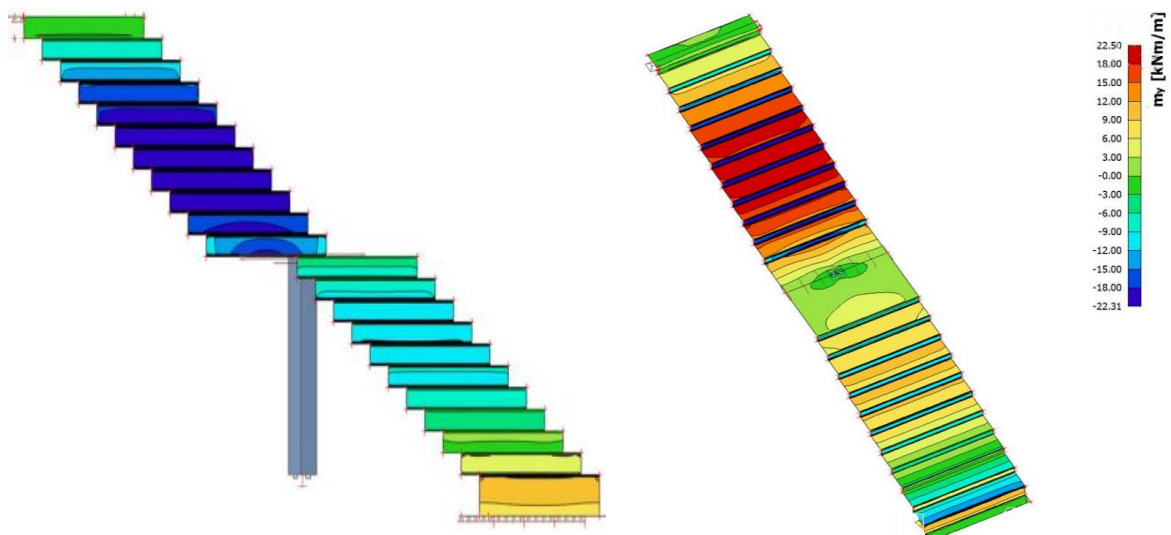
Vlastní tíha mezipodesty je uvažovaná stejná jako vlastní tíha stupňů.

Název zatížení	Char. [kN/m ²]	γ	Návrhové [kN/m ²]
Vl. tíha stupně	$3,4 \cdot 1,73 = 5,88$	1,35	7,94
Užitné	3,0	1,5	4,5
CELKEM	8,88		12,44

- Statické ověření z hlediska ohybu a návrh hlavní nosné výztuže:

Výpočet maximálního ohybového momentu na delším rameni:

$$M_{ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 12,44 \cdot 3,825^2 = 22,75 \text{ kNm/m}$$



Obrázek 24: Průběh ohybového momentu v podstupnicích (vlevo) a stupnicích (vpravo) dle SCIA.

Ve výpočtu momentu se oba výpočty téměř shodují. Je zde názorně vidět teorie průběhů vnitřních sil z kapitoly 6 (obr. 17) a také, že kladné hodnoty momentů ve stupnicích v podstatě odpovídají záporným hodnotám momentů v podstupnicích. Následující návrh výztuže bude proveden na největší momentové namáhání (tedy to z ručního výpočtu).

Odhad ramene vnitřních sil: $z = 0,95 * d = 0,95 * 125 = 118,8 \text{ mm}$

Potřebná plocha výztuže na základě největšího momentového namáhání:

$$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{z * f_{yd}} = \frac{22,75 * 10^6}{118,8 * 435} = 440,2 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Plocha profilu jednoho prutu: $a_s = \pi * \frac{\phi_s^2}{4} = \pi * \frac{10^2}{4} = 78,5 \text{ mm}^2$

Návrh počtu prutů: $n = 6$

Skutečná plocha výztuže:

$$A_{s,prov} = n * a_s = 6 * 78,5 = 471 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{a_{s,prov} * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{471 * 435}{0,8 * 1000 * 25} = 10,24 \text{ mm}$$

Skutečná velikost ramene vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 * x = 125 - 0,4 * 10,24 = 120,1 \text{ mm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} * f_{yd} * z = 471 * 435 * 120,1 = 24,77 \text{ kNm/m}$$

Ověření skutečné poměrné výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{10,24}{125} = 0,082 < 0,45 = \xi_{max}$$

Návrh: Třmínek dvojstřížný uzavřený $\varnothing 10 \text{ mm}/160 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 471 \text{ mm}^2/\text{m}$

Posouzení: Navržený průřez vyhovuje na ohyb.

- *Ověření konstrukčních zásad:*

Minimální plocha vyztužení:

$$a_{s,min} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} bd; 0,0013bd\right)$$

$$a_{s,min} = \max\left(0,26 * \frac{3,2}{500} * 1000 * 125; 0,0013 * 1000 * 125\right)$$

$$a_{s,min} = \max(208; 162,5) = 208 \text{ mm}^2/m$$

Maximální plocha vyztužení:

$$a_{s,max} = 0,04bh = 0,04 * 1000 * 150 = 6000 \text{ mm}^2/m$$

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{max} = \min(2h; 250) = \min(2 * 150; 250) = \min(300; 250) = 250 \text{ mm}$$

Minimální světlá vzdálenost prutů:

$$s_1 = \max(20; 1,2\phi_s; D_{max} + 5) = \max(20; 12; 21) = 21 \text{ mm}$$

Minimální vnitřní průměr zakřivení prutu: Průměr prutu $\leq 16 \text{ mm}$ \rightarrow minimální průměr pro ohyby: $4\phi = 40 \text{ mm}$.

- *Návrh konstrukční výztuže (skutečné rozteče dle výkresu výztuže – Příloha 2):*

Návrh rozdělovací výztuže:

Návrh: $\phi 8 \text{ mm}/250 \text{ mm}$, $A_{s,roz} = 201 \text{ mm}^2/m$

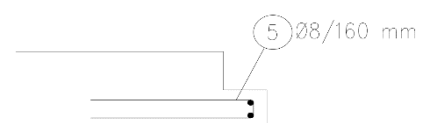
$$a_{s,roz} = 201 \text{ mm}^2/m > 118 \text{ mm}^2/m = 0,25a_{s,prov}$$

$$s_{roz} \leq \min(3h; 400) = \min(450; 400) \leq 400 \text{ mm}$$

Návrh lemovací výztuže:

Návrh: $\phi 8 \text{ mm}/250 \text{ mm}$

Návrh výztuže do ozubů na mezipodestách: Jelikož není předpokládán žádné výrazné namáhání těchto ozubů, bude navržena pouze konstrukční výztuž.



Návrh: $\phi 8 \text{ mm}/250 \text{ mm}$

- *Posouzení rámového rohu:*

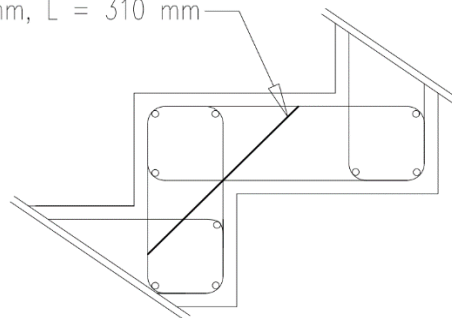
Vzhledem k tomu, že výška průřezu stupnice a podstupnice je stejná ($h_1/h_2 = 1$) a tahová výztuž je ohnuta kolem rámového rohu, není požadováno posouzení třmínkové výztuže. Toto se týká rámových rohů, kde momenty vyvolávají tahová napětí při vnějším povrchu. U rámových rohů s momenty vyvolávající tahová napětí při vnitřním povrchu je třeba použít k posouzení model náhradní příhradoviny. Nicméně navržené překrývající se třmínky principiálně splňují vytvoření výztužné smyčky v oblasti jejich spojení.

Přesto bude vzhledem k bezpečnosti navržena šikmá výztuž v rámových rozích, kde je tahové napětí vyvoláváno při vnitřním líci (rámový roh se tedy otevírá kladným ohybovým momentem). Šikmá výztuž v tomto místě nejúčinněji zabraňuje vzniku a rozvoji prvotních trhlin, které vycházejí přímo z rámového rohu [25].

Návrh: Ø10 mm/160 mm

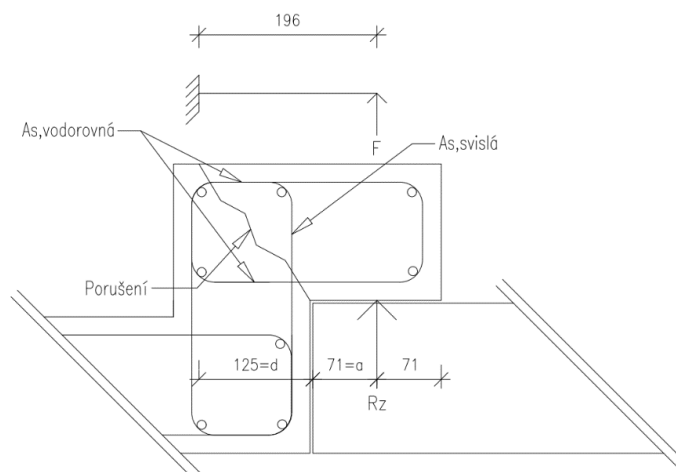
Diagonální výztuž:

Ø10 mm, L = 310 mm



- *Posouzení únosnosti ozubu při uložení na stropní panel:*

Optimální by bylo posoudit únosnost ozubu pomocí příhradové analogie, avšak v této práci bude použita pouze zjednodušená metoda posouzení [27]. Schéma výpočetního modelu:



Svislá reakce:

$$R_z = F = \frac{1}{2} * f_d * L = \frac{1}{2} * 12,44 * 3,83 = 23,82 \text{ kN/m} = 23,82 \text{ kN}$$

Maximální ohybový moment:

$$M_{sd} = R_z * (a + d) = 23,82 * (0,071 + 0,125) = 4,78 \text{ kNm}$$

Plocha vodorovné výztuže:

$$A_{s,vod} = a_s * \frac{b}{s} = 78,5 * \frac{1000}{160} = 490,6 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Únosnost vodorovné výztuže:

$$A_{s,vod} = 490,6 \text{ mm}^2/\text{m} \geq \frac{M_{sd}}{0,9 * d * f_{yd}} = \frac{4,78 * 10^6}{0,9 * 125 * 435} = 97,7 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Plocha svislé výztuže:

$$A_{s,sv} = a_s * \frac{b}{s} = 78,5 * \frac{1000}{160} = 490,6 \text{ mm}^2/\text{m}$$

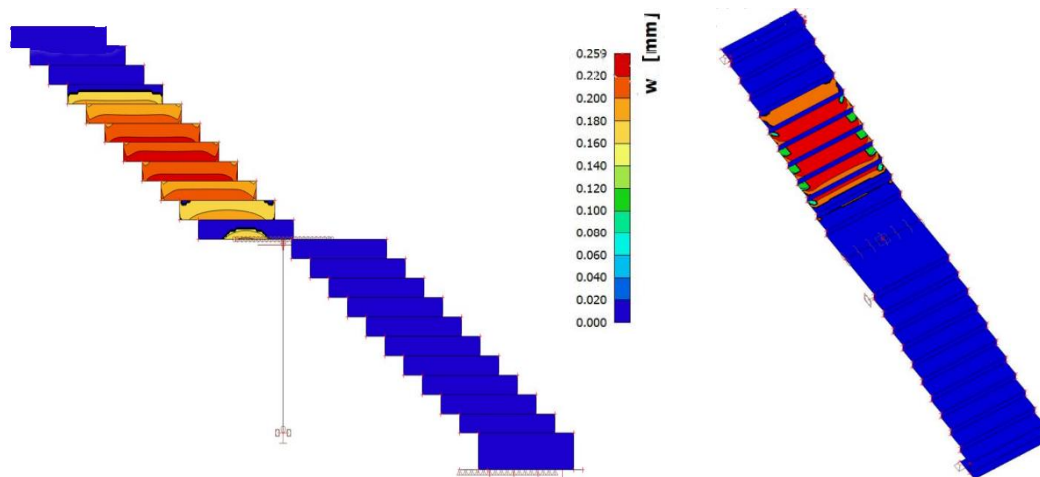
Únosnost vodorovné výztuže:

$$A_{s,sv} = 490,6 \text{ mm}^2/\text{m} \geq \frac{R_z}{f_{yd}} = \frac{23,82 * 10^3}{435} = 54,6 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Posouzení: Výztuž ozubu vyhovuje.

- *Ověření vzniku trhlin*

Pro ověření vzniku a rozvoje trhlin byl použit pouze numerický model, a to z důvodu větší přesnosti výsledků. Pro výpočet byla uvažována kvazistálá kombinace zatížení. Ačkoliv je SCIA Engineer program, který předpokládá lineárně-pružné chování prvků, tedy do vzniku prvních trhlin, v případě posudku mezního stavu použitelnosti (MSP) šířky trhlin nejprve ověří, zda trhliny vzniknou a pokud ano, přizpůsobí výpočet a spočítá skutečnou šířku trhlin na základě změn tuhosti prvku a redistribuce vnitřních sil.



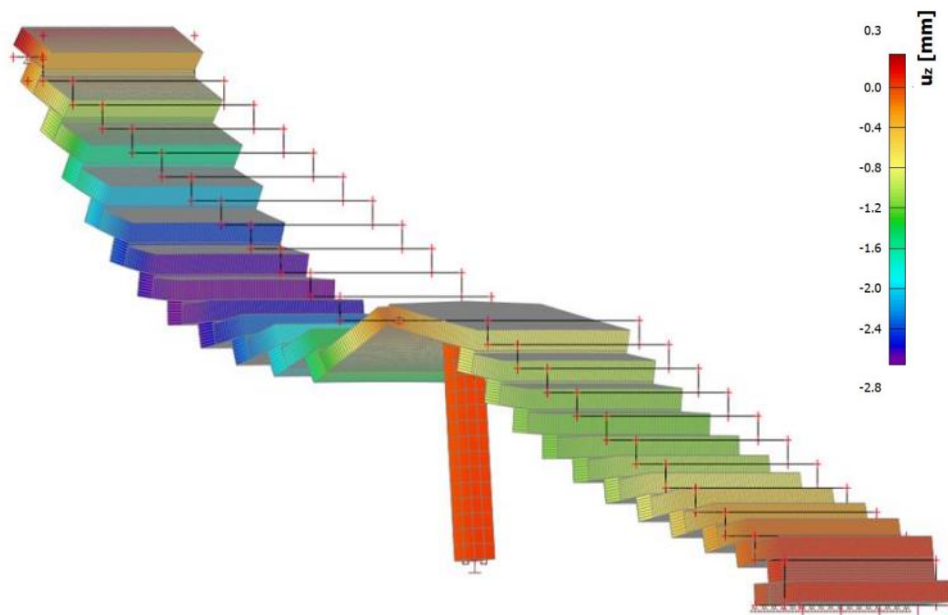
Obrázek 25: Šířka trhlin při spodním povrchu schodiště.

Výpočetní model ukázal vznik trhlin v prostřední části delšího ramene schodiště (obr. 25). Ty by teoreticky mohly dosáhnout šířky až 0,26 mm. Avšak vzhledem k tomu, že doporučená hodnota maximální šířky trhlin dle [25] pro uvažovaný stupeň vlivu prostředí (XC₁) je 0,4 mm, použití nízkého profilu výztuže i malé rozteči prutů, lze považovat tento návrh za bezpečný. Zároveň pro stupeň vlivu prostředí, ve kterém by se schodiště nacházelo, nemá šířka trhliny zásadní vliv na jeho trvanlivost. Uvedená hodnota má spíše vést k přijatelnému vzhledu prvku, což je ale v tomto případě důležité.

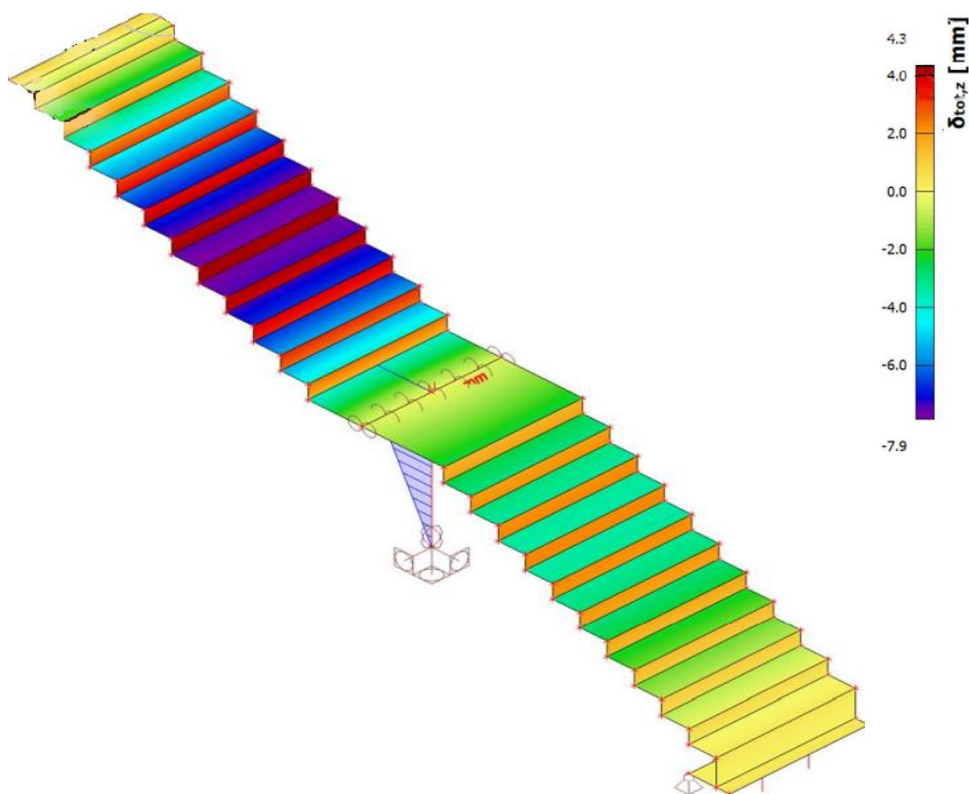
- *Posouzení průhybu*

Jelikož zjištění průhybu ručním výpočtem by přesahovalo rámec této práce, bylo provedeno posouzení MSP průhybu pouze pomocí SCIA Engineer. Byla provedena kalkulace ke zjištění okamžitého průhybu od charakteristické kombinace zatížení a následně spočten normově závislý dlouhodobý průhyb. Při úvaze, jaké zatížení zvolit pro výpočet dlouhodobého průhybu, se přihlédlo k tomu, že jím bude největší část životnosti schodiště vzhledem k charakteru budovy pouze jeho vlastní tíha.

Poněvadž byl vymodelován pouze lokální model, je tím výsledek ovlivněn a není úplně přesný. Pokud by byl uvažován globální model, na celkový průhyb by měl vliv například i průhyb překonzolovaného stopního panelu, na kterém je uloženo schodiště.



Obrázek 26: Prostorové zobrazení okamžitého průhybu.



Obrázek 27: Zobrazení dlouhodobého průhybu.

Maximální hodnota okamžitého průhybu je spočtena na 2,8 mm. V případě dlouhodobého je to 7,9 mm. Limitní průhyb je $\frac{L}{250}$, v tomto případě $\frac{3825}{250} = 15,3 \text{ mm}$, spočtené hodnoty tedy bezpečné vyhovují. Mezní hodnoty při posuzování průhybu mají za cíl předejít deformacím, které by narušili vzhled prvku.

Nicméně skutečný průhyb by byl ještě menší díky tomu, že software předpokládá kloubové uložení ramene přímo v ose sloupu (jak lze vidět na obr. 26). V realitě by natočení ramene nastalo až na hraně sloupu. Dále také v modelu není zohledněna hlavice lokálně podepřené mezipodesty (navržená a posouzená dále), která by pootočení dále posunula. To znamená, že by se celkové rozpětí ramene zkrátilo o 200 mm, a tím by se snížilo i ohybové namáhání (o přibližně 10 %), které průhyb vyvolává.

- *Předběžný návrh sloupku (podpory):*

Sloupek podpírá jeden konec obou částí schodiště přibližně v polovině celkového rozpětí. Je železobetonový a prováděn bude společně s železobetonovým podkladem ve skladbě podlahy. Rozměry pro odhad vlastní tíhy: 200x200 mm, výška 1780 mm. Normálová síla, která do něj působí bude vypočtena jako zatížení od poloviny každé části schodiště (celkem 3,675 m).

Výpočet normálové síly N_{ed} v patě sloupku:

Název zatížení	Výpočet	Šířka [m]	Char. [kN]	γ	Návrhové [kN]
Sloupy	$25 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 1,78$	-	1,78	1,35	2,4
Schodiště*	$5,88 \cdot 3,68$	1,5	32,46	1,35	43,82
Hlavice	$25 \cdot 0,4^2 \cdot 0,05$	-	0,2	1,35	0,27
Užitné	$3 \cdot 3,68$	1,5	16,56	1,5	24,84
CELKEM			51,0		71,0

*dle předchozího výpočtu zatížení schodiště

Potřebná průřezová plocha určená ze vztahu pro dostředně tlačený sloup:

$$A_{c,req} = \frac{N_{ed}}{0,8 \cdot f_{cd} \cdot \rho \cdot \sigma_s} = \frac{71030}{0,8 \cdot 25 \cdot 0,01 \cdot 400} = 888 \text{ mm}^2$$

Vzhledem k možnosti vzniku ohybových momentů a vlivu štíhlosti je navržen sloup o rozměrech 200x200 mm ($A_{c,prov} = 40000 \text{ mm}^2$).

- *Posouzení mezipodesty na protlačení:*

Jelikož je mezipodesta podepřena sloupkem, chová jako lokálně podepřená deska a je třeba jí posoudit na protlačení. Je navržena viditelná hlavice o rozměrech 400x400 mm a výšce 50 mm tak, aby celková tloušťka desky byla 200 mm.

Smyková síla způsobující protlačení se rovná normálové síle působící v patě sloupku bez vlastní tíhy sloupku a hlavice: $V_{ed} = 71,03 - 2,4 - 0,27 = 68,36 \text{ kN}$.

Kontrolované obvody:

$$u_0 = 4a = 1600 \text{ mm}$$

$$u_1 = 4a + 2\pi * 2d = 4 * 400 + 2\pi * 2 * 120 = 3108 \text{ mm}$$

Statically účinná výška:

$$d_x = h_d - c_{nom,1} - 1,5 * \phi_s = 150 - 20 - 1,5 * 10 = 115,0 \text{ mm}$$

$$d_y = h_d - c_{nom,1} - 0,5 * \phi_s = 150 - 20 - 0,5 * 10 = 125,0 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{115 + 125}{2} = 120 \text{ mm}$$

Únosnost tlačené diagonály:

$$V_{ed,0} = \frac{\beta * V_{ed}}{u_0 * d} \leq v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

$$V_{ed,0} = \frac{1,15 * 68360}{1600 * 120} = 0,41 \text{ MPa} \leq 5,16 \text{ MPa} = 0,4 * 0,6 * \left(1 - \frac{35}{250}\right) * 25$$

Ověření, zda deska vyhoví bez výztuže na protlačení:

$$V_{ed,1} = \frac{\beta * V_{ed}}{u_1 * d} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

$$V_{ed,1} = \frac{1,15 * 68300}{3108 * 120} = 0,21 \text{ MPa}$$

$$k_{max} = 1,45 + \frac{1,7 - 1,45}{500} * 1 = 1,45$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{(100 * \rho_l * f_{ck})} = 0,12 * 2,0 * \sqrt[3]{(100 * 0,005 * 35)} = 0,623 \text{ MPa}$$

$$V_{ed,1} = 0,21 \text{ MPa} \leq 0,903 \text{ MPa} = 1,45 * 0,623$$

Posouzení: Mezipodesta jako lokálně podepřená deska na protlačení vyhovuje a není do ní třeba navrhovat dodatečnou smykovou výztuž.

9.3 Dočasné návrhové situace (DNS)

- Výrobní: schodiště může být vyráběno na ležato i na boku.
- Manipulace ve výrobě: Vytažení z formy bude provedeno pomocí vahadla a odformovacích úchytů, které vyrobí sám výrobce a před expedicí budou zapraveny.
- Skladování ve výrobě, doprava i skladování na stavbě: Bude provedeno na proklady na zpevněné ploše. Ramena mezi sebou budou řádně proložena gumovými nebo dřevěnými proklady tak, aby nedošlo k poškození hran prefabrikátů. Uložení bude provedeno naplocho, šikmé části (mezipodesty a podpora) budou vyčnívat směrem nahoru (nebudou sloužit jako koncové body podpor).
- Montáž: Umístění schodiště bude provedeno pomocí jeřábu s dostatečnou nosností. Použijí se zkracovací řetězy, které se uchytí v montážních úchytech na boční straně schodiště. Jejich podrobný návrh je proveden dále. Se schodištěm bude manipulováno tak, aby stupnice při montáži byly přibližně ve vodorovné poloze.
- Konečné stadium: Prefabrikáty budou prostě uloženy na stropní panel, sloupek a podkladní betonovou desku. K propojení (zmonolitnění) s okolními konstrukcemi nedojde.

Různé DNS vyvolají různé namáhání v různých částech schodiště. Žádná z nich ovšem nevytvoří větší absolutní moment, než který byl vypočten při návrhovém zatížení v konečném stádiu uprostřed rozpětí schodiště. I vzhledem k tomu, že celé schodiště je symetricky vyztuženo, bude bezpečně navrženo i na nadpodporové momenty vznikající při manipulaci jeřábem. Zároveň při těchto DNS nevznikne žádná nová rozhodující síla (smyk, kroucení, napětí), která by ovlivnila únosnost.

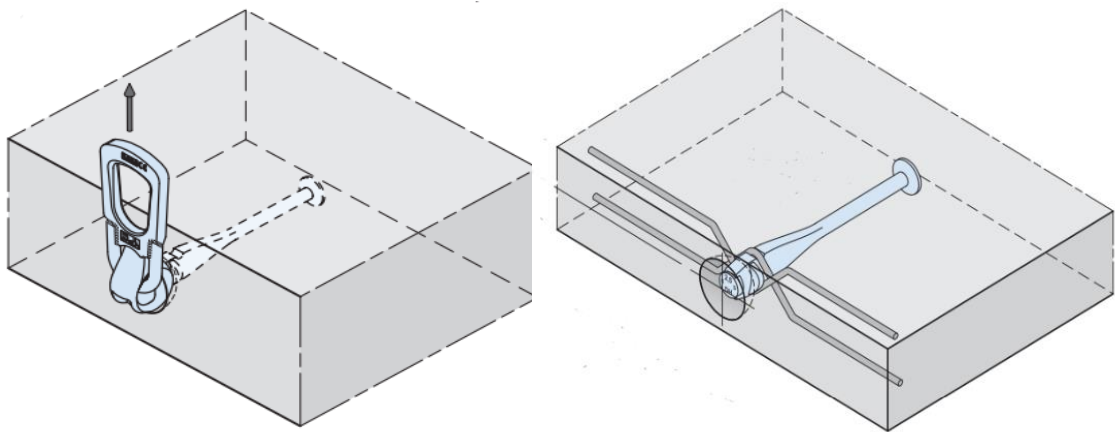
9.4 Návrh manipulačních úchytů

Budou navrženy 4 manipulační úchyty do jednoho ramene, dva z boku každé strany. Jedná se o pozinkované šroubované kloubové úchyty typu 6006-5,0-0240 od firmy Halfen Deha. Kotva je dlouhá 240 mm a bude zajištěna dvěma ocelovými pruty

$\varnothing 16$ mm o délce 400 mm. Únosnost jednoho úchytu je $V_{Rd,1} = 22,3$ kN, únosnost čtyř úchytů: $V_{Rd} = 4 * 22,3 = 89,2$ kN [26].

Celková tíha schodiště (uvažována jako návrhové zatížení od vlastní tíhy, užité zatížení není započítáno): $V_{ed} = 7,94 * 1,5 * 3,72 = 44,3$ kN

Posouzení: Návrh manipulačních úchytů bezpečně vyhovuje i pro případ, že by jeden z úchytů by při manipulaci selhal nebo na účinky dynamických zatížení.



Obrázek 28: Znárodnění ukotvení manipulačního úchytu HALFEN DEHA 6006-5,0-0240 [26].

9.5 Shrnutí

Pro zvolený výpočetní model bylo určeno momentové namáhání, na jehož základě byla navržena hlavní nosná i konstrukční výztuž. Byly ověřeny konstrukční zásady, provedeno posouzení rámových rohů a vytvořen výkres vyztužení (příloha 2). Dále byl posouzen ozub uložení horního ramene na ohyb a smyk a ověřen předpoklad vzniku a rozvoje trhlin v tažené části betonu. Nakonec byl posouzen průhyb schodiště a byly navrženy manipulační úchyty. Jelikož se jedná o návrh prefabrikátu, byly posouzeny všechny DNS, nicméně žádná z nich nevytvořila takové namáhání, na které by již nebyla navržena výztuž.

S ohledem na podrobnost provedené analýzy schodiště a skutečnost, že všechny zkoumané oblasti chování konstrukce vyhověly požadavkům, a to jak konstrukčním, tak estetickým, lze návrh považovat za bezpečný a proveditelný.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit základní souhrn obecných informací týkajících se lomenicových konstrukcí a předběžný návrh administrativní budovy Geoindustrie (konstrukční systém a předběžný návrh základních konstrukčních prvků). Do tohoto prostoru se poté detailně navrhlo lomenicové schodiště a vytvořila se pro něj výrobní dokumentace.

Teoretická část shrnula základní fakta o lomenicových konstrukcích ze zahraničních zdrojů z různých úhlů pohledu a vznikl tak (pravděpodobně) první ucelenější soubor informací týkajících se tohoto tématu v českém jazyce. Může tak posloužit odborné veřejnosti nebo studentům jako prvotní materiál při hlubším zkoumání problematiky.

V praktické části byl nejprve proveden předběžný statický výpočet a navrhnut konstrukční systém. Tím byly vytvořeny okrajové podmínky pro detailnější návrh prefabrikovaného železobetonového lomenicového schodiště, které je dominantou interiéru budovy. Součástí návrhu bylo jeho komplexní posouzení a vytvoření výkresu výztuže k výrobní dokumentaci. Vznikl esteticky velmi zajímavý prvek, při jehož realizaci by bylo spotřebováno méně materiálu, než pokud by se na stejném místě navrhovalo běžné deskové schodiště. Estetická a ekonomická stránka jsou hlavními přednostmi lomenicových konstrukcí, jak bylo řečeno v úvodu této práce. Zároveň je patrné, že kvalitní návrh a provedení takového prvku je náročnější, než pokud by bylo zvoleno konvenční řešení. Jsou zde také zřejmé hlavní problematické oblasti návrhu, kterým je třeba přikládat zvýšenou pozornost.

Pro návrh bylo zvoleno řešení, které koncepčně koresponduje s řešením z architektonické studie. Bylo by ovšem zajímavé uvažovat i o jiných materiálových řešeních schodiště (dřevěné, ocelové) nebo vymyslet jiné statické působení prvku (zavěšení za střešní průvlaky, pnutí na celou délku bez střední podpory...).

Reference

- [1] SEKULARAC, Nenad, Jelena IVANOVIC-SEKULARAC a Jasna CIKIC-TOVAROVIC. Folded structures in modern architecture. *Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering* [online]. 2012, 10(1), 1-16 [cit. 2023-04-05]. ISSN 0354-4605. Dostupné z: doi:10.2298/FUACE1201001S
- [2] Folded plate construction. *DESIGNING BUILDINGS* [online]. Velká Británie: Designing Buildings, 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: www.designingbuildings.co.uk/wiki/Folded_plate_construction
- [3] ŽĎÁRA, Vladimír. *ROZPONOVÉ KONSTRUKCE S PROSTOROVÝM PŮSOBENÍM* [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: pdf prezentace. Přednáška. ČVUT v Praze.
- [4] SALÁK, Martin. *Betonové origami konstrukce*. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [5] BRECHTHOLD, Martin. *Concrete Origami* [online]. 2006, 2006(-), 1 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: www.gsd.harvard.edu/project/concrete-origami-1/
- [6] Vědci zkouší recyklovat beton. V Česku dochází a nové kamenolomy nevznikají. *ČT24 — Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR* [online]. 2021, 2021, 1 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: ct24.ceskatelevize.cz/veda/3367560-vedci-zkousi-recyklovat-beton-v-cesku-dochazi-a-nove-kamenolomy-nevznikaji
- [7] NOVÁK, František. KIELSTEG – lepené panely až do 30m délky. *Dřevařský magazín* [online]. 2011, 12(9), 40-41 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: www.calameo.com/read/005961471cb6b44c2bfoo
- [8] LANGDON, David. AD Classics: Yokohama International Passenger Terminal / Foreign Office Architects (FOA). *ArchDaily* [online]. 2014, 2014(-), 1 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: www.archdaily.com/554132/ad-classics-yokohama-international-passenger-terminal-foreign-office-architects-foa
- [9] United States Air Force Academy Cadet Chapel. *WikiArquitectura* [online]. 2009, 2009(-), 1 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: en.wikiarquitectura.com/building/united-states-air-force-academy-cadet-chapel/
- [10] Nanning International Convention and Exhibition Center, China. *Gmp* [online]. -, -(-), 1 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: www.gmp.de/en/projects/403/nanning-international-convention-and-exhibition-center-china
- [11] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [12] Dílce SPG výšky 165 mm. Strop System [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: stropssystem.cz/stropni-dilec-sph-vysky-165-mm

- [13] KRISHNA, Raju N. Reinforced concrete design – principles and practice. Delhi, Indie: New Age International (P) Ltd., Publishers, 2008. ISBN 8122414605.
- [14] ČSN 73 4130 Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky. Praha: Český normal. institut, 2010.
- [15] Obr.2: AUTOR NEUVEDEN. arquiscopio [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na arquiscopio.com/archivo/2013/02/02/hangares-para-dirigibles-de-orly/?lang=en.
- [16] Obr.3: DALBÉRA. Wikimedia commons [online]. [cit.5.4.2023]. Dostupný na commons.wikimedia.org/wiki/File:Le_Tempodrom_%28Berlin%29_%289623605430%29
- [17] Obr.5: AUTOR NEUVEDEN. PickPic [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na www.pickpic.com/sea-shells-shells-sea-shell-ocean-nature-91894.
- [18] Obr.6: LIMBURG. wikimedia commons [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na [commons.wikimedia.org/wiki/File:\(399\)_7-007_Pfarrkirche_St._Paulus,_Maximilian-Kolbe-Stra%C3%9Fe_4_\(Neuss-Weckhoven\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:(399)_7-007_Pfarrkirche_St._Paulus,_Maximilian-Kolbe-Stra%C3%9Fe_4_(Neuss-Weckhoven).jpg).
- [19] Obr.8: AUTOR NEUVEDEN. DocPlayer [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na docplayer.cz/47115152-Pazici-konstrukce-shee2ng.html.
- [20] Obr.9: AUTOR NEUVEDEN. Ketchum.org [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na www.ketchum.org/ShellTandF/folpl_fram.html.
- [21] Obr.10: AUTOR NEUVEDEN. Avance Treteknikk [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na avance.no/wp-content/uploads/2014/12/screen-shot-2014-12-17-at-10.58.42.png
- [22] Obr.11: AUTOR NEUVEDEN. The Architects Diary [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na thearchitectsdiary.com/modern-tree-house-cube-square-collage-studio/#lg=1&slide=19
- [23] Obr.12: LOW, Geoff. Semantic Scholar [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na www.semanticscholar.org/paper/A-new-international-cruise-ship-terminal-for-Wharf-Low/575076b23030c9bf2a6ffod62c06b71813af6b41
- [24] Obr.17: ALEX SHOOTS BUILDINGS. archiweb [online]. [cit. 5.4.2023]. Dostupný na www.archiweb.cz/b/administrativni-budova-geoindustrie
- [25] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2019.
- [26] HALFEN DEHA KKT KUGELKOPFTRANSPORTANKERSYSTEM Produktinformation Technik. HALFEN [online]. 2022 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: https://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/liftingsystems/HALFEN_DEHA_KKT_22-2-DE.pdf
- [27] BÍLÝ, Petr. Řešení typických poruchových oblastí pomocí STM [online]. [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://people.fsv.cvut.cz/~bilypeti/vyuka/YMVB/YMVB03.pdf>

Seznam příloh

Příloha 1: Technická zpráva statické části

Příloha 2: Výkresy vyztužení schodiště

Příloha 3: Výkresy tvaru schodišťových ramen

Příloha 4: Výkres sestavy dílců montované stropní konstrukce

Příloha 5: Detaily provedení prefabrikovaných prvků

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Bakalářská práce

Příloha 1

Technická zpráva

Autor: Šimon Dvořák

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.

Praha 2023

Obsah

1	Základní údaje	62
1.1	Popis objektu	62
1.2	Seznam použitých norem.....	62
1.3	Seznam využitého softwaru	62
1.4	Materiálové řešení objektu.....	62
2	Zatížení	62
2.1	Stálá zatížení	63
2.2	Užitná zatížení	63
2.3	Zatížení příčkami	63
2.4	Zatížení sněhem	63
2.5	Zatížení větrem	63
3	Nosné konstrukce	63
3.1	Základové konstrukce.....	63
3.2	Svislé konstrukce.....	63
3.3	Vodorovné konstrukce.....	64
3.4	Ztužení objektu	64
4	Svislé komunikační prvky	64
5	Bezpečnost práce a ochrana zdraví	64
6	Závěrečná ustanovení	66

1 Základní údaje

1.1 Popis objektu

Předmětem bakalářské práce je novostavba administrativní budovy nacházející se v průmyslovém areálu ve Velkém Oseku (okres Kolín). Žádné stávající objekty nebudou stavbou dotčeny.

Budova má obdélníkový půdorys a dvě nadzemní podlaží. Rozměry jsou 20 x 20 m. Maximální výška objektu nad okolním terénem dosahuje 8 m. Konstrukční výška podlaží je 3,7 m. Budova je určena pro kancelářské prostory a potřebné zázemí pro zaměstnance.

1.2 Seznam použitých norem

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1 : Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3 : Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN 73 74130 Schodiště a šikmé rampy: Základní ustanovení

1.3 Seznam využitého softwaru

- Autodesk AutoCAD LT 2024
- SCIA Engineer 21.1

1.4 Materiálové řešení objektu

Nosná konstrukce objektu je navržena kompletně ze železobetonu. Typ použitého betonu se liší pouze stupněm vlivu prostředí v závislosti na umístění konstrukce.

- Základy: C35/45 XC2 – Cl 0,2 – Dmax 16 – S4
- Ostatní konstrukční prvky: C35/45 XC1 – Cl 0,2 – Dmax 16 – S4
- Výztuž ŽB konstrukcí: ocel B500B

2 Zatížení

Uvedeny jsou charakteristické hodnoty zatížení. Návrhové hodnoty jsou uvedeny ve statickém výpočtu získány užitím dílčích součinitelů bezpečnosti.

2.1 Stálá zatížení

Vlastní tíha železobetonových konstrukcí je uvažována 25 kN/m^3 – konkrétní hodnoty jsou spočteny nebo generovány výpočtním programem automaticky. Zatížení podlah a pochozí i nepochozí části střechy je rozepsáno ve statickém výpočtu.

2.2 Užitná zatížení

Kancelářské plochy v 1 a 2 NP jsou zatíženy hodnotou 3 kN/m^2 (kategorie B). Pro schodiště je uvažována hodnota $3,0 \text{ kN/m}^2$ (kategorie A). Pro nepochozí střechu s výjimkou běžné údržby a oprav je uvažováno zatížení $0,75 \text{ kN/m}^2$ (kategorie H).

2.3 Zatížení příčkami

Příčky dělicí kancelářské prostory jsou uvažovány jako lehké, skleněné. Bylo stanoveno náhradní zatížení dle ČSN EN 1991-1-1 o hodnotě $0,5 \text{ kN/m}^2$. Přesto v některých výpočtech byla uvažovaná hodnota $1,0 \text{ kN/m}$.

2.4 Zatížení sněhem

Objekt se nachází ve Velkém Oseku, ve sněhové oblasti I v terénu s normální topografií. Podrobný výpočet zatížení sněhem je uveden ve statickém výpočtu. Výsledná charakteristická hodnota zatížení sněhem je uvažována $0,56 \text{ kN/m}^2$.

2.5 Zatížení větrem

Objekt se nachází ve větrné oblasti II, v oblasti na kraji města – kategorie terénu III. Charakteristická hodnota zatížení je uvažována $0,66 \text{ kN/m}^2$.

3 Nosné konstrukce

3.1 Základové konstrukce

Inženýrsko-geologický průzkum nebyl proveden, jelikož překračuje rozsah zadané bakalářské práce. Stavební jáma se nachází v rovném terénu a bude vytyčena oprávněným geodetem. Předpokládané založení železobetonových sloupů je na železobetonových patkách. Do základových konstrukcí bude vložena kotevní výztuž pro železobetonové stěny a sloupy. Železobetonová podlaha bude provedena o tloušťce 200 mm , nesmí být opomenuta také vyrovnávací vrstva o tloušťce 100 mm . Izolace základových konstrukcí bude provedena aplikací asfaltových pásů.

3.2 Svislé konstrukce

Svislé nosné konstrukce tvoří prefabrikované železobetonové sloupy o rozměrech $300 \times 300 \text{ mm}$. Výplňové nenosné obvodové zdivo je z tvárnic Porotherm 30 P+D, tloušťky 300 mm . Na sloupech jsou kloubově uloženy průvlaky a stropní panely.

Vyztužení železobetonových svislých prvků bude zajištěno výztuží B500B podle výkresů výztuže vycházejících z podrobného statického výpočtu. V rámci bakalářské práce není proveden podrobný návrh vyztužení.

3.3 Vodorovné konstrukce

Všechny stropní konstrukce jsou navrženy jako prefabrikované předepjaté železobetonové panely o šířce 1250 mm, respektive 1000 mm a tloušťce 165 mm. Jedná se o jednosměrně pnuté panely, prostě podepřené. Rozpětí je vždy 5,0 m, překonzolované panely tvořící ochoz mají délku 6,25 m. Stropními konstrukcemi budou procházet prostupy pro nutné rozvody instalací, které budou navrženy v souladu s pokyny výrobce. Všechny velké otvory jsou zakresleny ve výkresu tvaru. Další menší prostupy budou provedeny dle požadavků jednotlivých profesí, jejich poloha a rozměry budou odsouhlaseny projektantem.

Stropní konstrukce je uložena na železobetonové průvlaky délek 4,0 nebo 5,0 m a jednotných průřezových rozměrů 300 x 500 mm.

Vyztužení železobetonových vodorovných prvků bude zajištěno výztuží B500B podle výkresů výztuže vycházejících z podrobného statického výpočtu. Ten však přesahuje rámec bakalářské práce, a proto zde není uveden.

3.4 Ztužení objektu

Vodorovné ztužení objektu zajišťují stropní panely, které jsou tuze propojeny záhlvkovou výztuží. Podélné ztužení v obou, na sebe kolmých směrech je zajištěno předepjatými stěnovými panely. S ohledem na rozsah této práce nebyl prováděn podrobný výpočet ověřující prostorovou tuhost.

4 Svislé komunikační prvky

Hlavním schodištěm v objektu je prefabrikované železobetonové lomenicové schodiště, jehož detailní návrh se nachází v praktické části bakalářské práce (kapitola 9). Tloušťka stupňů je jednotná 150 mm, mezipodesta má také tloušťku 150 mm. Na kraji objektu se nachází únikové ocelové schodiště, kterému se nevěnuje žádný podrobnější návrh.

5 Bezpečnost práce a ochrana zdraví

Veškeré stavební práce budou prováděny odbornou firmou k této činnosti způsobilou. Během provozu stavby je nutno dodržovat všechny články platných ČSN a předpisů o bezpečnosti a ochraně zdraví, zejména vyhlášku č.48/1982 Sb. a nařízení vlády č. 591/2006 Sb. o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništi.

Pro zajištění bezpečnosti práce na jednotlivých pracovištích je nutné, aby byly zpracovány provozní předpisy pro jednotlivá pracoviště. V předpisech budou

bezpečnostní a hygienické pokyny pro veškerou činnost na pracovištích (používání pracovních pomůcek, obsluha zařízení apod).

Před započítím prací musí být všichni pracovníci seznámeni se všemi související bezpečnostními předpisy a nařízeními. Pracovníci musí být vybaveni všemi potřebnými ochrannými pomůckami a prostředky. Všechny otvory a zvýšené plošiny musí být opatřeny ochrannými zábradlími. Otvory musí být zakryty pevnými zábranami, aby nemohlo dojít k jejich posunutí. Jednotlivé přístupové cesty musí být zřetelně označeny. Žebříky musí splňovat bezpečnostní předpisy a musí přesahovat minimálně 1100 milimetrů nad pracovní plošinu. Při pracích ve výškách musí být pracovníci speciálně proškoleni. Při provádění montážních prací ve výškách musí být pracovníci jištěni pomocí úvazů, kdy je před každou směnou povinností pracovníků provést kontrolu stavu prostředků. Pokud budou úvazy, nebo jistící lano vykazovat opotřebení, je nutná jejich okamžitá výměna. Stavbyvedoucí musí před započítím prací vypracovat technologický postup prací, který musí být v souladu s platnými vyhláškami a předpisy.

Při provádění stavebních prací i během provozu stavby je nutno dodržovat všechny závazné články platných ČSN a předpisů BOZ. Jedná se zejména o tyto předpisy:

Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce, ve znění změn provedených zákonem č. 585/2006 Sb., část pátá, hlava 1.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb.

Nařízení vlády č. 591/2006 Sb. o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích

Vyhláška č. 18/1979 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu, kterou se určují vyhrazená tlaková zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti ve znění vyhlášky č. 97/1982 Sb., vyhlášky č. 551/1990 Sb., nařízení vlády č. 352/2000 Sb. a vyhlášky č. 118/2003 Sb.

Vyhláška č. 19/1979 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu, kterou se určují vyhrazená zdvihací zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti ve znění vyhlášky č. 552/1990 Sb. nařízení vlády č. 352/2000 Sb. a nařízení vlády č. 394/2003 Sb.

Vyhláška č. 21/1979 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu, kterou se určují vyhrazená plynová zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti ve znění vyhlášky č. 554/1990 Sb., nařízení vlády č. 352/2000 Sb. a vyhlášky č. 395/2003 Sb.

Vyhláška č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice ve znění vyhlášky č. 98/1982 Sb.

Vyhláška č. 73/2010 Sb. o stanovení vyhrazených elektrických technických zařízení, jejich zařazení do tříd a skupin a o bližších podmínkách jejich bezpečnosti (vyhláška o vyhrazených elektrických zařízeních).

Zákon č. 67/2001 Sb., předseda vlády vyhláší úplné znění zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, jak vyplývá ze změn provedených zákonem č. 425/1990 Sb., zákonem č. 40/1994 Sb., zákonem č. 203/1994 Sb., zákonem č. 163/1998 Sb., zákonem č. 71/2000 Sb. a zákonem č. 237/2000 Sb. ve znění pozdějších změn provedených zákonem č. 320/2002 Sb., zákonem č. 413/2005 Sb. a zákonem č. 186/2006 Sb. a prováděcí vyhlášky.

Vyhláška č. 48/1982 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce, kterou se stanoví základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a technických zařízení ve znění vyhlášky č. 324/1990 Sb., vyhlášky č. 207/1991 Sb., nařízení vlády č. 352/2000 Sb. a vyhlášky č. 192/2005 Sb.

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

6 Závěrečná ustanovení

V případě změny podkladů, či vzniku nových skutečností, si projektant vyhrazuje právo posouzení dopadu těchto změn na řešení a eventuální doplnění nebo úpravu projektu.

Veškeré konstrukce musí splňovat platné české zákony, normy, hygienické předpisy a nařízení.

Dodavatel stavby musí dbát montážních a technologických pokynů příslušných výrobců stavebních prvků a konstrukcí uvedených v této dokumentaci.

Dokumentaci lze užívat ve smyslu příslušné smlouvy o dílo. Výkres, či jeho část, může být kopírován nebo jiným způsobem rozšiřován pouze po předchozím souhlasu autora.