



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

## STAVEBNÍ PRŮZKUM A DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

SURVEY AND DIAGNOSTICS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dominika Richterová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2022



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	NPC-SIK Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Specializace</b>	bez specializace
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavebního zkušebnictví

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Dominika Richterová
<b>Název</b>	Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2021
<b>Datum odevzdání</b>	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

---

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT



## PODKLADY A LITERATURA

Cíkrle, P. a kol. Diagnostické metody ve stavebnictví. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2011  
Adámek, J., Hobst, L., Cíkrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.

Holický, M. a kol. Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí. 1. vydání Praha: ČVUT, 2007.  
Bažant, Z., Klusáček, L. Statika při rekonstrukcích objektů. Skriptum VUT v Brně FAST, CERM Brno, 2002

Pume, D., Čermák, F. a kol.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, Praha, Arch 1998.  
ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí a další platné normy.

Projektová dokumentace a podklady od vlastníka objektu.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je provedení prohlídky, stavebně technického průzkumu a zhodnocení stavu vybraného objektu.

Teoretická část:

Rešerše literatury – obecný systém hodnocení existujících konstrukcí, metodika průzkumu vodorovných a svislých nosných konstrukcí dle materiálů a typů konstrukcí řešených v rámci praktické části.

Praktická část:

Prvotní prohlídka objektu, dokumentace stavu a poruch.

Identifikace a popis svislých a vodorovných nosných konstrukcí.

Předběžné hodnocení stavu, sestavení plánu stavebně statického průzkumu.

Provedení a vyhodnocení zkoušek in situ a laboratorních zkoušek materiálů odebraných z konstrukcí (rozsah bude upřesněn až v rámci průzkumu). Přehledné zpracování výsledků průzkumu včetně jednoduché schématické výkresové dokumentace. Zhodnocení stavu konstrukce. Ideový návrh opatření, pokud vyplynou z výsledků hodnocení.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá zejména stavebním průzkumem a diagnostikou železobetonové konstrukce. V první, tedy teoretické části, se práce věnuje popisu jednotlivých metod pro zkoušení konstrukcí, a také se zabývá jejich vyhodnocením. V praktické části se tato diplomová práce zaměřuje zejména na zjištění materiálových charakteristik, a také na zjištění vyztužení jednotlivých částí konstrukce. Na základě zjištěných informací se práce v poslední části zaměřuje na statické posouzení vybraných prvků konstrukce.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Diagnostika, Stavebně technický průzkum, beton, železobeton, výztuž, betonářská výztuž, pevnost v tlaku, vývrt, modul pružnosti, objemová hmotnost, tvrdoměrná metoda, sloup, průvlak, konstrukce

## **ABSTRACT**

The main theme of this diploma thesis is a building survey and diagnostics of a reinforced concrete construction. In the first, theoretical part the focus lies on a description of each method for testing constructions and their evaluation. The second, practical part focuses mainly on finding of material characteristics and reinforcement of parts of the construction. On basis of obtained information, the final part of this paper focuses on static assessment of chosen parts of the construction.

## **KEYWORDS**

Diagnostics, building survey, concrete, reinforced concrete, reinforcement, concrete reinforcement, compressive strength, bore, modulus of elasticity, bulk density, hardness testing method, column, girder, construction

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Dominika Richterová *Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce*.  
Brno, 2022. 108 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 3. 1. 2022

---

Bc. Dominika Richterová

autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 3. 1. 2022

---

Bc. Dominika Richterová

autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala zejména vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za poskytnutí potřebných informací, čas strávený nad mou prací a za ochotu a pomoc při zpracovávání této práce. Poděkování patří také pracovníkům Ústavu stavebního zkušebnictví Vysokého učení technického v Brně za cenné rady i během studia, a dále také všem, kteří mi byli nápomocni při vzniku této diplomové práce.

## Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Cíle práce.....	10
2	Stavebně technický průzkum.....	11
2.1	Důvody provádění stavebně technického průzkumu.....	12
2.2	Fáze stavebně technického průzkumu.....	12
2.3	Zjišťované parametry materiálů.....	14
2.3.1	Beton.....	14
2.3.2	Betonářská výztuž.....	14
3	Zkušební metody.....	15
3.1	Stanovení pevnosti betonu v tlaku.....	16
3.1.1	Metoda jádrových vývrtů.....	17
3.1.2	Tvrdoměrné metody – metoda odrazových tvrdoměrů.....	25
3.2	Stanovení rovnoměrnosti betonu.....	31
3.2.1	Metoda průchodová – ultrazvuk.....	32
3.3	Stanovení modulu pružnosti betonu.....	35
3.3.1	Statický modul pružnosti.....	35
3.3.2	Dynamický modul pružnosti.....	36
3.4	Metody pro zjišťování výztuže.....	37
3.4.1	Radiografie.....	38
3.4.2	Georadar.....	39
3.4.3	Elektromagnetické indikátory výztuže.....	41
3.4.4	Metoda sekaných sond.....	42
4	Praktická část.....	43
4.1	Popis zkoumaného objektu.....	43
4.2	Cíle prováděných prací.....	44
4.3	Metody použité pro stavebně technický průzkum.....	46

4.4	Provedené sondy .....	47
4.5	Jádrové výtvy .....	50
4.5.1	Úprava výtvtů na zkušební tělesa .....	53
4.5.2	Měření provedená na zkušebních tělesech .....	53
4.6	Pevnost betonu pomocí Schmidtova tvrdoměru .....	57
4.7	Zjištění tvaru a vyztužení .....	61
5	Statické posouzení vybraných prvků .....	75
5.1	Model konstrukce .....	75
5.2	Stanovení zatížení .....	77
5.3	Zobrazení výsledků .....	82
5.4	Posouzení průvlaku P1 .....	86
5.4.1	Materiálové charakteristiky .....	87
5.4.2	Posouzení průvlaku P1 na ohyb .....	87
5.4.3	Posouzení průvlaku P1 na smyk .....	89
5.5	Posouzení sloupu S1 .....	91
5.5.1	Materiálové charakteristiky .....	91
5.5.2	Výpočet bodů iteračního diagramu .....	92
6	Závěr .....	100
7	Bibliografie .....	102
8	Seznam obrázků .....	105
9	Seznam tabulek .....	107

# 1 Úvod

I když je diagnostika stavebních konstrukcí v dnešní době stále málo známá, je jednou z důležitých a zásadních částí současného stavebnictví. Tato diplomová práce se zabývá pouze železobetonovou konstrukcí, diagnostika je však velmi rozsáhlejší. Můžeme ji použít pro konstrukce ocelové, dřevěné, zděné, či pro konstrukce z jiných materiálů. Můžeme ji použít také pro nově vybudované objekty, pro historické stavby, ale například i pro mostní konstrukce.

Diagnostiku stavebních konstrukcí využíváme zejména pro zjišťování kvality a spolehlivosti konstrukce a jejich částí, kontrolu tvaru a určení stavu a rozmístění materiálu v konstrukci. Práce začínáme na základě požadavku, který je dán poruchami konstrukce, rekonstrukcemi objektu, nebo například požadavkem na změnu užití stavby (nejčastěji při změně majitele). Práce můžeme provádět také z důvodu nepřesné či neúplné projektové dokumentace, nebo kvůli ověření vyztužení konstrukce a jejich částí. Nejčastější důvod pro zahájení diagnostiky stavebních konstrukcí u nově budovaných staveb je objevení poruch a vad na objektu. V takovémto případě je nutné zjistit příčinu jejich existence a co nejdříve ji odstranit [1].

Diagnostika stavebních konstrukcí a jednotlivé diagnostické metody se s postupem času čím dál více inovují, vyvíjejí, zlepšují a přizpůsobují současné době. To vše je dáno zejména díky rychlému vývoji techniky a technologií výstavby [2].

## 1.1 Cíle práce

Diplomová práce je rozdělena do tří částí. První část je věnována teorii diagnostiky železobetonových konstrukcí, ve které jsou popsány používané metody pro stavebně technický průzkum konstrukce a jejich částí. Druhou částí, a také druhým cílem, je zjištění současného stavu konstrukce, kde zapadá také materiálový průzkum jednotlivých nosných částí konstrukce.

U betonu bude zjišťována zejména jeho kvalita – pevnost betonu v tlaku, objemová hmotnost, struktura, karbonatace, a také bude zjišťován dynamický modul pružnosti betonu pomocí metody prozvučování. U výztuže bude zjišťována poloha výztuže v konstrukci a jejich nosných částech, kvalita výztuže, průměr a typ.

V poslední, tedy třetí části, bude na vybraných nosných prvcích konstrukce proveden statický posudek, který je nedílnou součástí diagnostiky stavebních konstrukcí. Posuzovanými prvky budou průvlaky a železobetonové sloupy skeletu.



## 2 Stavebně technický průzkum

Stavebně technický průzkum je soubor určitých činností, díky kterým dokážeme zhodnotit aktuální stav dané konstrukce či objektu, jejich funkci a využití. Provádíme jej zejména pokud potřebujeme při rekonstrukci, přístavbě či nástavbě zjistit spolehlivé aktuální informace o konstrukci – její technický stav, provedení konstrukce, vlastnosti jednotlivých prvků konstrukce. Je jedním z nejdůležitějších kroků předprojektové přípravy. Při provádění stavebně technického průzkumu je důležité přistupovat ke každému objektu individuálně, jelikož v dnešní době existuje již mnoho stavebních materiálů, konstrukčních řešení i stavebních provedení. Při provádění stavebně technického průzkumu tedy nelze najít pouze jedno možné provedení pro všechny existující konstrukce [2].

Zaměřujeme se zde zejména na informace o objektu, které mohou ovlivnit spolehlivost konstrukce nebo jejích částí. Mohou to být například trhliny či statický stav nosných prvků konstrukce (například trámy, průvlaky, sloupy, desky). Po vyhodnocení stavebně technického průzkumu jsme schopni určit míru poškození konstrukce a jejích částí, a dále také navrhnout potřebné opravy konstrukce, vhodné pracovní postupy, popřípadě rozhodnout o jejím stržení [2].

Na základě stavebně technického průzkumu se zpracuje závěrečná zpráva, která je souborem informací, které byly při stavebně technickém průzkumu zjištěny. Jsou to zejména tyto informace:

- Základní údaje o zkoumané konstrukci
- Aktuální stav konstrukce a jejích částí
- Konstrukční uspořádání objektu
- Rozsah stavebně technického průzkumu
- Práce, které byly při stavebně technickém průzkumu prováděny
- Popis vlhkosti objektu
- Popis základů objektu, jeho podloží
- Vyhodnocení krovu objektu
- Vyhodnocení nosných částí konstrukce (svislých i vodorovných)

## 2.1 Důvody provádění stavebně technického průzkumu

Stavebně technický průzkum můžeme provádět jak u nových, tak u starších konstrukcí. Závisí zejména na očekávaných výsledcích, na povaze stavebně technického průzkumu, a také na jeho charakteristice [1].

Stavebně technický průzkum u nových konstrukcí [1]:

- Kontrola provedení stavby podle projektové dokumentace, srovnání stavby s projektovou dokumentací
- Kontrola kvality provedení konstrukce a jejích částí
- Kontrola kvality materiálů konstrukce
- Zjištění příčiny kolapsu konstrukce či jejích částí

Stavebně technický průzkum u starších konstrukcí [1]:

- Při rekonstrukci objektu či jeho částí
- Při přístavbě či nástavbě
- Při změně vlastníka
- Při změně druhu provozu v objektu
- Pro zjištění poruch, degradací, a jejich příčin

## 2.2 Fáze stavebně technického průzkumu

Na základě již zmíněné závěrečné zprávy a jejich jednotlivých stupňů se může stavebně technický průzkum dělit do několika fází [3]:

### **Předběžný stavebně technický průzkum**

Jinak se také nazývá stavebně technický průzkum základní. Jak již vyplývá z názvu, je první a základní fází technické zprávy o objektu. Je prováděn ještě před zahájením projektových činností, slouží totiž právě jako podklad pro tyto činnosti. Provádí se pomocí nedestruktivních metod. Slouží zejména pro obecné vyhodnocení konstrukce a shrnutí jejího celkového stavu. Dále také pro vyhledávání informací, které jsou potřebné pro určení postupů a druhů prováděných prací, jako jsou například historie objektu, výstavba objektu, jeho provoz, konstrukční uspořádání, vady a poruchy objektu vzniklé na základě provozu, ale také informace o blízkém okolí objektu. Důležité jsou také údaje o dříve prováděných rekonstrukcích a opravách [3], [4].

Předběžný stavebně technický průzkum se standardně provádí bez přerušení provozu v objektu. V této fázi je také nutné zajistit co nejvíce možných dokumentů a materiálů o objektu, jako například projektovou dokumentaci, archivní dokumenty či verbální poznatky. Předběžný stavebně technický průzkum se zpracovává jako pasport objektů [3].

### **Podrobný stavebně technický průzkum**

Jinak se také nazývá stavebně technický průzkum komplexní. Je další fází technické zprávy, která slouží pro doplnění informací, které jsme získali při stavebně technickém průzkumu předběžném. Hlavním úkolem podrobného průzkumu je získat co nejvíce detailní informace o konstrukci a jejích částech. Je při něm využito nedestruktivních, destruktivních či semidestruktivních metod [5].

Stejně jako u průzkumu předběžného je výhodou, pokud práce provedeme bez přerušení provozu objektu. Proto bychom měli volit takové metody, které nevyklučují běžný provoz, nebo ho alespoň příliš nenarušují [3].

Pracujeme zde již s konkrétními materiály, hodnotíme jejich vlastnosti a kvalitu. Dalším úkolem podrobného průzkumu je upřesnění a porovnání projektové dokumentace se stojícím objektem, významné je zejména jeho konstrukční uspořádání. Při této fázi se určují geologické a hydrologické poměry v základech konstrukce, popis těchto konstrukcí a jejich aktuální stav. U podrobného průzkumu provádíme odběr vzorků, provádíme práce potřebné k odhalení vad a poruch konstrukce, k určení příčin jejich vzniku a také ke stanovení materiálových charakteristik. Provádí se také analýza kritických míst objektu [5].

### **Doplňující stavebně technický průzkum**

Doplňující nebo také doplňkový stavebně technický průzkum je poslední fází technické zprávy. Slouží nám k detailnímu doplnění již uskutečněných fází průzkumu dle zadaných požadavků. Provádí se pouze při zjištění nedostatečného provedení podrobného stavebně technického průzkumu či kvůli přehodnocení sporných závěrů. Doplnující průzkum je prováděn těsně před zahájením prací na objektu (např. před zahájením rekonstrukce), tedy v průběhu projektování [3].

V této fázi jsou použity zejména destruktivní metody, které vyžadují odebírání vzorků a jejich následné zkoušení v laboratoři. Ze získaných informací ze všech fází průzkumu se následně vyhotoví již zmíněná závěrečná zpráva [5].

## 2.3 Zjišťované parametry materiálů

### 2.3.1 Beton

V případě betonové či železobetonové konstrukce můžeme určit mnoho materiálových charakteristik betonu pomocí metod popsanych v kapitole 3 níže. Jsou to například:

- **Objemová hmotnost betonu** – pomocí metody jádrových vývrtů
- **Pevnost betonu v tlaku** – pomocí metody jádrových vývrtů a odrazových tvrdoměrů
- **Karbonatace betonu** – zkouší se na odebraných jádrových vývrtech
- **Rovnoměrnost betonu** – pomocí ultrazvuku, nebo z objemové hmotnosti betonu či pevnosti v tlaku, tahu
- **Modul pružnosti betonu** – pomocí ultrazvuku pro modul pružnosti dynamický, nebo metoda jádrových vývrtů pro modul pružnosti statický
- **Vlhkost, vodotěsnost a mrazuvzdornost betonu**
- **Chemické vlastnosti betonu**

### 2.3.2 Betonářská výztuž

Z důvodu velké různorodosti betonářské výztuže v konstrukcích je u ní třeba stanovit:

- **Uložení a množství výztuže** – pomocí metody elektromagnetických indikátorů výztuže, pomocí georadaru či metodou sekaných sond
- **Typ výztuže** – metodou sekaných sond
- **Průměr výztuže** – metodou sekaných sond (změření posuvným měřítkem), nebo metodou elektromagnetických indikátorů výztuže (ta však není stoprocentní, ověřuje se právě pomocí metody sekané sondy)
- **Koroze výztuže** – metodou sekaných sond
- **Poruchy a vady výztuže** – metodou sekaných sond

## 3 Zkušební metody

V diagnostice je pro zkoušení materiálů používáno velké množství metod. Nejčastější rozdělení těchto metod je na metody destruktivní, nedestruktivní a semidestruktivní. Nejvýhodnějšími metodami jsou semidestruktivní a nedestruktivní metody. Při správné kombinaci těchto metod a zvolení vhodného zkušebního postupu nám metody společně dají poměrně přesné výsledky o stavu konstrukce a materiálových charakteristikách. Destruktivních zkoušek je využíváno pouze ojediněle, jejich využití je vhodnější v laboratořích [6].

### **Destruktivní metody**

Destruktivní zkoušky probíhají nejčastěji v laboratořích. Při užití destruktivních metod dochází k plnému porušení zkoumaného vzorku či k jeho nevratnému poškození. Používají se zejména pro určení pevnostních charakteristik materiálu, statického modulu pružnosti, objemové hmotnosti či ke stanovení pórovitosti a vlhkosti. Zkoušený prvek musí být odstraněn a následně nahrazen prvkem novým, který splní statickou funkci původního odebraného vzorku [6].

### **Nedestruktivní metody**

Při nedestruktivních zkouškách nedochází k žádnému, nebo k minimálnímu poškození zkoumaného vzorku či konstrukce. Narušena také není statická funkce konstrukce, nedochází zde totiž k přímému zásahu [2].

Oproti zkouškám destruktivním bývají většinou méně náročné (jak na provedení, tak i na potřebné vybavení), jsou i relativně levné. Naopak jsou však méně přesné jako zkoušky destruktivní, proto jimi bývají často doplňovány. Hlavní nevýhodou nedestruktivních metod je jejich vyhodnocování. To probíhá pomocí korelačních vztahů z jiných vlastností, které již byly zjištěny. Proto je u nedestruktivních zkoušek větší možnost chyb [6].

### **Semidestruktivní metody**

Při semidestruktivních metodách je zasahováno do konstrukce, ale pouze v minimálním rozsahu. Práce provádíme tak, aby nebyla narušena statická funkce konstrukce. Nerovnosti, které vzniknou díky zásahu do konstrukce pomocí semidestruktivních metod, a zasažená místa by měla být řádně zapravena [2].

### 3.1 Stanovení pevnosti betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku je dána velikostí napětí, kterým působíme na beton přesně v tom momentě, kdy dojde k zániku jeho celistvosti, tedy v momentě porušení zkušebního tělesa. Pomocí zjištěných hodnot určujeme danou pevnostní třídu [7].

Pevnostní třída se určuje podle krychelné či válcové pevnosti betonu. Jedná se o označení betonu udávající nám jeho jakost a můžeme ji zjistit pomocí dvou metod. První z nich je metoda jádrových vývrtů, druhou je metoda odrazových tvrdoměrů. Druhy a popis pevnostních tříd obyčejného, lehkého a těžkého betonu nám udává norma ČSN EN 206+A2 [8].

Tabulka 1 Třídy pevnosti betonu v tlaku dle normy ČSN EN 206+A2 [8]

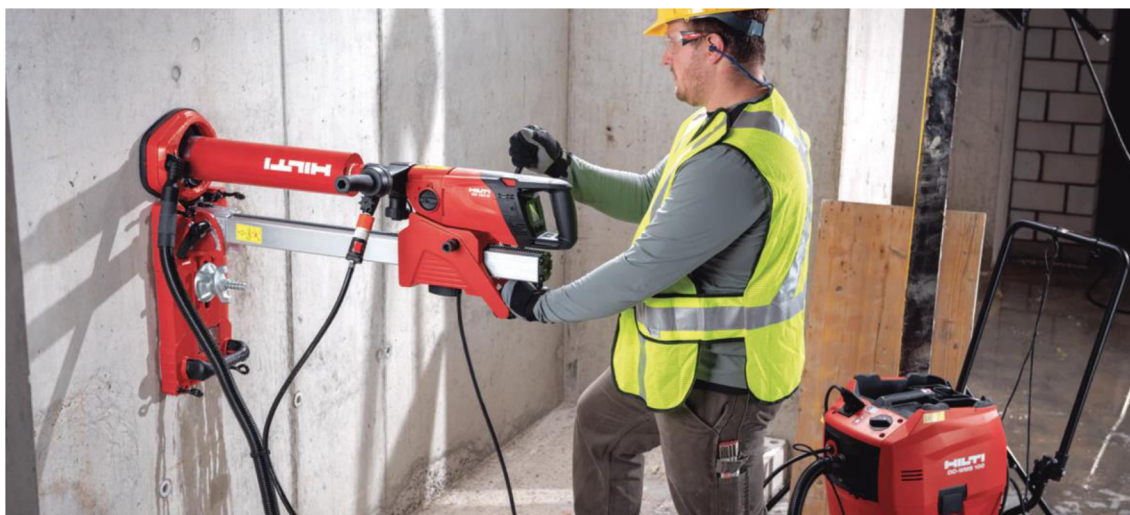
Třída pevnosti v tlaku	Minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Minimální charakteristická krychelná pevnost $f_{ck,cube}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

### 3.1.1 Metoda jádrových vývrtů

Metoda jádrových vývrtů je základní semidestruktivní zkouškou pro zjištění pevnosti betonu v tlaku. V kombinaci s nedestruktivními metodami nám poskytuje velice přesné informace o kvalitě betonu použitého v konstrukci [9].

Jelikož se jedná o metodu, při které nastává značný zásah do zkoumané konstrukce, existují jistá pravidla, která se při odběru jádrového vývrtu musí dodržovat. Před započatím prací je například nutné zvážit účel zkoušení konstrukce. Velice důležité je pro odběr vývrtů vybrat to nejvhodnější místo tak, aby zásah do konstrukce neměl vliv na celkovou spolehlivost zkoumaného prvku, a aby nedošlo k poškození výztuže v betonu (toho docílíme například pomocí nedestruktivních metod elektromagnetických indikátorů výztuže či georadaru). Zpravidla se jádrové vývrty odebírají z míst tlačného betonu a hledáme přesně takové místo, ve kterém konstrukci oslabíme co možná nejméně. Nejlepším místem pro minimální oslabení konstrukce je v místě nulového ohybového momentu [10], [11].

Jádrové vývrty se provádí pomocí speciálních vrtných souprav, takzvaných jádrových vrtaček. Vrtačky jsou osazené dutým vrtákem, který je zakončený diamantovými břity. Vrtáky musí být při vrtání chlazený vodou. Pro zkoumání betonových konstrukcí se jejich průměr pohybuje od 25 do 200 mm, přičemž jsou odstupňovány po 25 mm. Samotný vrt se provádí do hloubky rovnající se minimálně průměru vývrtu. Průměr vrtáku by měl být minimálně stejný, lépe větší než trojnásobek průměru největšího zrna kameniva obsaženého v betonu [10], [11].



Obrázek 1 Provádění jádrového vývrtu pomocí vrtné soustavy [12]

Při vrtání se vrtačka umístí na stojan připevněný ke konstrukci. Pokud máme vrtačku připravenou, začneme vrtat, přičemž vrt můžeme provádět ve vodorovném, ale i svislém směru. Až dosáhneme požadované hloubky, opatrně vyjmeme vývrt z vrtné hlavice pomocí kladívka a sekáče. Pokud se nám vývrt rozpadá, je krátký nebo nevyhovuje jiným požadavkům, je potřeba provést nový [10], [11].

V současné době existují dvě platné normy, ve kterých je znatelný rozdíl v počtu odebraných vzorků. Norma ČSN EN 73 2011 nám udává, že se pro upřesnění nedestruktivních zkoušek má odebrat minimálně 9 vzorků. Můžeme ovšem odebrat pouze 3 vzorky, a to v případě, pokud konstrukci rovnoměrně rozdělíme a vzorky budou reprezentovat oblast nejlepší, průměrné a nejhorší jakosti betonu, přičemž každý ze 3 vzorků bude reprezentovat jednu oblast [13].

Nová norma ČSN EN 13 791 s účinností od 1.11. 2021 nám udává počet odběrů vzorků pro odhad charakteristické pevnosti na minimálně [11]:

- 8 platných výsledků zkoušek pevnosti v tlaku v konstrukci, které jsou založeny na vývrtech průměru  $\geq 75$  mm [11]
- 12 platných výsledků zkoušek pevnosti v tlaku v konstrukci, přičemž je každý založen na jednotlivém vývrtnu průměru 50 mm a současně má maximální velikost zrna  $\leq 16$  mm [11]
- 3 platné výsledky zkoušek pevnosti v tlaku v konstrukci, které jsou založené na vývrtech průměru  $\geq 75$  mm pro zkušební oblast, která má celkový objem do 10 m<sup>3</sup> a obsahuje jeden až tři prvky (malá zkušební oblast), včetně provedení alespoň jednoho vývrtnu z každého prvku konstrukce [11]

### 3.1.1.1 Popis jádrových vývrtů

Nezbytným krokem po odebrání vývrtů z konstrukce je jejich popis. Díky většímu množství odebraných vzorků hrozí jejich záměna, proto by popis vývrtů měl probíhat přímo na místě, ihned po odebrání. Tím se vyvarujeme pozdějším možným komplikacím. Je také vhodné zaznačit si místo odebrání jednotlivých vzorků například do půdorysného schématu zkoumané konstrukce [10].

Při popisu vzorku je důležité dbát na to, aby informace psané na povrchu vzorku byly napsány nesmazatelně. Sledujeme zejména základní a důležité informace o kamenivu, výztuži a zhutnění betonu. U kameniva se na vývrtnu sleduje zejména jeho frakce, největší velikost zrna a rovnoměrnost jeho rozložení v betonu. Pokud se ve vzorku vyskytuje výztuž, je důležité popsat



zejména zda byla porušena či přerušena. Při zjišťování informací o ztuhnutí betonu sledujeme hlavně dutiny, kaverny, póry. Popisujeme jejich umístění, velikost a celkový obsah [14], [10].

Popsaný vzorek se následně přiloží k měřidlu, a spolu s ním se vyfotografuje. Změříme jeho délku a také průměr se zaokrouhlením na 1 mm. Po provedení popisu vývrtu se vývrt osuší hadříkem či jinou suchou utěrkou a umístí se do uzavíratelné utěsněné nádoby, aby nedošlo k výměně vlhkosti s okolím [14], [10].



Obrázek 2 Označení a dokumentace jádrového vývrtu [15]

### 3.1.1.2 Karbonatace betonu

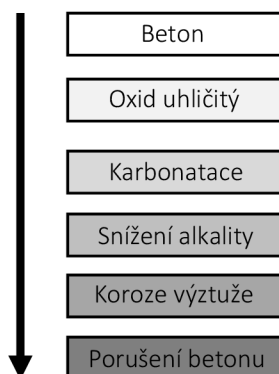
Pojmem karbonatace betonu se označuje chemický proces, který se týká zejména koroze ocelové výztuže použité v konstrukci. Začíná hned od okamžiku výroby, a pokračuje po celou dobu provozu konstrukce. Vzniká díky působení oxidu uhličitého a díky vlhkosti, která je absorbovaná z okolního prostředí. Právě díky působení těchto aspektů dochází postupem času ke změně vlastností materiálu. Sníží se tím jeho alkalická rovnováha a tvorba oxidu vápenatého [16].

#### Proces karbonatace

U mladého betonu je mezi výztuží a samotným betonem tenká nepropustná vrstva, která je složená z oxidů železa. Tato vrstva je chráněna vrstvou krycí, která má na začátku pH v číslech 9 a více (vysoké pH). Ve styku betonu s okolním prostředím (přesněji s oxidem uhličitým –  $\text{CO}_2$ ) dochází k chemické reakci. Oxid uhličitý tak proniká společně s kyslíkem do betonu. Díky chemickým reakcím dochází k úbytku hydroxidu vápenatého –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Ten se rozkládá na uhličitán vápenatý a vodu –  $\text{CaCO}_3$  a  $\text{H}_2\text{O}$ .

V průběhu této reakce hodnota pH krycí vrstvy klesá. Jsou tak oslabeny ochranné vlastnosti materiálu. V tomto momentě vzniká prostředí, které je vhodné pro vývoj koroze [16], [17].

Rychlost karbonatace je určena zejména pórovitostí betonu. Čím větší je pórovitost betonu v krycí vrstvě, tím vyšší je rychlost karbonatace, a čas potřebný k neutralizaci  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  v krytí je menší [16].



Obrázek 3 Schéma průběhu karbonatace [16]

#### Zjištění míry karbonatace

Pro zjištění míry karbonatace se využívá 1% roztoku fenolftaleinu. Pro provedení této zkoušky potřebujeme zkušební těleso zkoušeného betonu, které jednoduše roztokem postříkáme, například rozprašovačem. V důsledku chemické reakce by mělo dojít ke zbarvení betonu do fialova. Ta část, která se zbarví fialově, je část nezkarbonatovaná. Ta, která svou barvu nezmění, podlehla karbonataci. Hloubku karbonatace zjistíme jednoduše, a to pomocí jakéhokoliv délkového měřidla [14].



Obrázek 4 Zjištění míry karbonatace na odebraných vývrtech [18]

### Ochrana před karbonatací

Nejllepším způsobem, jak zabránit karbonataci betonu jsou preventivní opatření. Můžeme například zvýšit obsah  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  v betonu již ve fázi výroby, a to použitím portlandského cementu. Dále také můžeme při výrobě betonu snížit jeho vodní součinitel. Čím má beton nižší součinitel (je hutnější), tím hůř do něj pronikají nežádoucí agresivní látky z okolního prostředí [19].

#### 3.1.1.3 Úprava zkušebních těles

Pro zjištění pevnosti betonu v tlaku je nezbytné provést úpravu odebraného vzorku na zkušební tělesa. Úprava probíhá pomocí kotoučové stolní pily, díky které se z odebraných vzorků nařezou zkušební tělesa potřebná pro zkoušky pevnosti betonu v tlaku. Pila je opatřena diamantovým kotoučem, který se během řezání musí zkrápět vodou. Kvůli zkrápění se musí zkušební tělesa po řezání a upravení nechat vyschnout. Po vysušení probíhá měření jejich hmotnosti a rozměrů [10].

Zkušební tělesa musí svými rozměry vyhovovat normě ČSN EN 12504-1, a to:

- Porovnávání s krychelnou pevností – poměr výšky ku šířce je roven 1 [10]
- Porovnávání s válcovou pevností – poměr výšky ku šířce je roven 2 [10]

Při zkoušení těles, která jsou jiného průměru než 150 mm, postupujeme následovně:

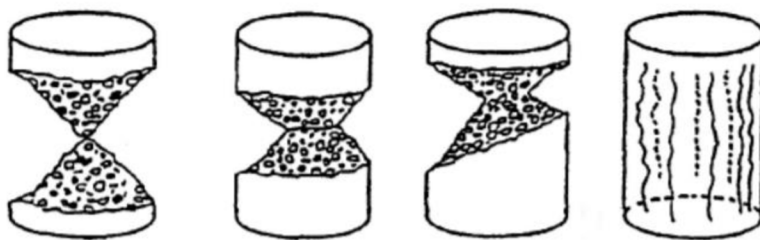
- Pokud má vývrt průměr 100 mm, tak se výsledky považují za shodné s vývrtem průměru 150 mm – výsledek se tudíž nepřepočítává [10]
- Pokud má vývrt průměr menší než 100 mm, tak se provede kalibrace [10]

#### 3.1.1.4 Průběh zkoušky

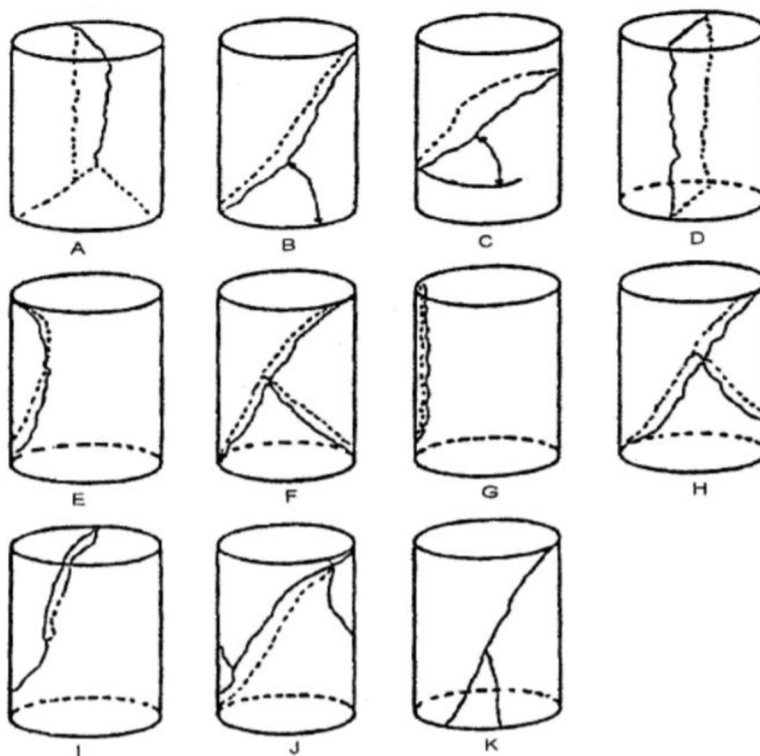
Pokud máme správně upravená tělesa, změříme je pomocí posuvného měřítka s přesností na 0,1 mm, zvážíme na váze s přesností 1,0 g a můžeme zahájit zkoušku pro zjištění pevnosti betonu v tlaku. Samotná zkouška probíhá v hydraulickém lisu. V první fázi je nutné těleso do lisu správně uložit. Provedeme očištění kontaktních ploch lisu, ze zkušebního tělesa odstraníme zbytky uvolněného materiálu po úpravě těchto těles. Zkušební těleso umístíme mezi tlačné desky lisu, přičemž se kromě přídavných desek či středících bloků nesmí použít žádná jiná podložka. Zkušební těleso ve tvaru krychle usadíme tak, aby byl směr zatěžování kolmý na směr uložení betonu a můžeme zahájit zatěžování vzorku [20].

V hydraulickém lisu těleso zatěžujeme do té doby, dokud nedojde ke kolapsu zkušebního vzorku. V závislosti na síle, kterou jsme naměřili při kolapsu vzorku a ploše tělesa vypočítáme pevnost betonu v tlaku (síla ku ploše), kterou zaokrouhlíme na desetinu MPa [10], [20].

Po provedení této zkoušky je velice důležité správně určit druh porušení tělesa. Norma ČSN EN 12390-3 nám udává vhodné a nevhodné porušení zkušebního vzorku. Vhodné porušení vzorku je ve tvaru přesýpacích hodin, nevhodně vzniká například při rozpůlení vzorku, oddělení krajní či jiné části vzorku, rozdělení vzorku na různé části [20].



Obrázek 5 Vhodné porušení zkušebních vzorků dle normy ČSN EN 12390-3 [20]



Obrázek 6 Nevhodné porušení zkušebních vzorků dle normy ČSN EN 12390-3 [20]

### 3.1.1.5 Pevnost betonu v tlaku podle normy ČSN EN 73 2011

Pevnost betonu v tlaku podle normy ČSN EN 73 2011 se vypočítá pomocí kombinace metod destruktivních a metod nedestruktivních. Pro výpočet pevnosti betonu v tlaku se nejdříve veškeré naměřené hodnoty pevnosti betonu v tlaku stanovené nedestruktivně vynásobí součinitelem upřesnění  $\alpha$  [13]:

$$\alpha = \frac{\sum f_{be}}{\sum f_{c,is}}$$

$\alpha$  ... Součinitel upřesnění [-]

$f_{be}$  ... Pevnost betonu v tlaku pomocí nedestruktivních metod [MPa]

$f_{c,is}$  ... Pevnost betonu v tlaku pomocí destruktivních metod [MPa]

Dalším krokem ve výpočtu je stanovení výběrové směrodatné odchylky, což je odchylka pevností stanovených pomocí nedestruktivních metod, a také stanovení reziduální směrodatné odchylky a následný výpočet výběrové směrodatné odchylky [13]:

$$s_r = \sqrt{s^2 + s_{rez}^2}$$

$s$  ... Výběrová směrodatná odchylka stanovená nedestruktivně

$s_r$  ... Výběrová směrodatná odchylka

$s_{rez}$  ... Reziduální směrodatná odchylka vypočítaná při kalibraci

Charakteristická pevnost betonu v tlaku konstrukce či její části se poté vypočítá podle vztahu z normy ČSN EN 73 2011 [13]:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - \beta_n \cdot s_r \quad \text{nebo} \quad f_{ck,is} = f_{is,min} - \beta_n \cdot s_r$$

$f_{m(n),is}$  ... Průměrná pevnost betonu v tlaku – pro rovnoměrný beton [MPa]

$f_{is,min}$  ... Nejmenší zjištěná pevnost na vývrtech – pro nerovnoměrný beton [MPa]

$\beta_n$  ... Součinitel odhadu 5 % kvantilu, hodnota z tabulky v normě [-]

### 3.1.1.6 Pevnost betonu v tlaku podle normy ČSN EN 13791

Pevnost betonu v tlaku podle normy ČSN EN 13791 se určuje buď pouze na základě výsledků zkoušek na vývrtech, nebo na základě kombinací dat z nepřímého zkoušení a zkoušení vývrtů [11].

#### Pevnost betonu v tlaku pouze na základě jádrových vývrtů

Charakteristickou pevnost betonu v tlaku určíme jako nižší z hodnot [11]:

$$f_{ck,is} = f_{c,m(n)is} - k_n \cdot s \quad \text{nebo} \quad f_{ck,is} = f_{c,is,lowest} + M$$

$f_{c,m(n)is}$  ... Průměrná pevnost betonu v tlaku [MPa]

$f_{c,is,lowest}$  ... Nejmenší zjištěná pevnost na vývrtech [MPa]

Přičemž hodnoty  $k_n$  a  $M$  se stanoví podle tabulek z normy ČSN EN 13791:

Tabulka 2 Hodnoty  $k_n$  dle normy ČSN EN 13791 [11]

n	8	10	12	16	20	30	$\infty$
$k_n$	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64

Tabulka 3 Hodnoty rozpětí  $M$  dle normy ČSN EN 13791 [11]

Hodnota $f_{c,is,lowest}$ [MPa]	Rozpětí $M$ [MPa]
$\geq 20$	4
$\geq 16 < 20$	3
$\geq 12 < 16$	2
$< 12$	1

#### Pevnost betonu v tlaku na základě kombinace dat z nepřímého zkoušení a vývrtů

Prvním krokem při výpočtu je sestavení grafu, kde osa x představuje výsledky nepřímých zkoušek a osa y pevnost v tlaku v konstrukci. U takto sestaveného grafu hodnoty proložíme křivkou lineární regrese a určíme rovnici lineární regrese. Pomocí této rovnice vypočítáme hodnoty  $f_{c,is,reg}$ , kde jsou obsaženy jak destruktivní tak nedestruktivní zkoušky. Hodnoty z regresivní rovnice následně využijeme pro odhad charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci [11].

Střední hodnota pevnosti betonu v tlaku se odhaduje jako [11]:

$$f_{c,m(m)is} = \Sigma f_{c,is,reg} / m$$

Výpočet směrodatné odchylky [11]:

$$s = \sqrt{s_c^2 + s_e^2}$$

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,is} - f_{c,is,reg})^2}{n-2}} \quad s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_{c,is,reg} - f_{c,m(m)is})^2}{m-1}}$$

n ... počet párů výsledků zkoušek používaných pro vytvoření korelační křivky [-]

m ... Počet odhadovaných hodnot pevnosti v tlaku [-]

Charakteristická pevnost betonu v tlaku [11]:

$$f_{ck,is} = f_{c,m(n)is} - k_n \cdot s$$

Přičemž  $k_n$  určíme z tabulky výše (stejně jako u stanovení pevnosti betonu v tlaku pouze na základě jádrových vývrtů) [11].

### 3.1.2 Tvrdoměrné metody – metoda odrazových tvrdoměrů

Tvrdost materiálu vyjadřujeme jako odpor materiálu vůči jeho plastické deformaci. Na rozdíl od pevnosti jí není možné definovat jako fyzikální veličinu. Obecný vztah mezi pevností a tvrdostí materiálu neexistuje. Existují pouze kalibrační vztahy, které nám vyjadřují závislost mezi naměřenou tvrdostí a příslušnou pevností materiálu [21].

Mimo metodu jádrových vývrtů lze pevnost betonu v tlaku stanovit metodou odrazových tvrdoměrů, takzvaných Schmidtových kladívek. Patří do tvrdoměrných metod, které se dělí na vrypové, vtiskové a odrazové. V praxi se metody vrypové a vtiskové používají jen zřídka, větší využití mají právě metody odrazové, tedy metody odrazových tvrdoměrů [21].

Mezi její základní výhody patří například to, že je zcela nedestruktivní metodou, je zde velká dostupnost tvrdoměrů a provedení této zkoušky je relativně jednoduché. Zásadní nevýhodou je, že se tato zkouška nemůže používat samostatně, a to zejména kvůli nepřesnosti výsledků. Tyto nepřesnosti mohou vzniknout například díky špatně zvolené četnosti zkušebních míst a jejich rozmístění, špatně zvolené poloze tvrdoměru, nevhodnosti povrchu konstrukce, či nezkušenostem a chybám pracovníka (může vzniknout například odchylka čtením). Právě díky tomuto se metoda odrazových tvrdoměrů kombinuje s metodou jádrových vývrtů [21], [22].

Zkoušet můžeme přímo na konstrukci nebo na odebraném vzorku. Odrazové tvrdoměry fungují na principu odrazení se od pevné překážky. Na základě tohoto odrazu se dále určí pevnost betonu v tlaku odečtením hodnoty z tvrdoměru a pomocí kalibračních vztahů [22].

### 3.1.2.1 Základní rozdělení tvrdoměrů

Druhy odrazových tvrdoměrů se liší zejména energií rázu, velikostí i konstrukcí přístroje. Každý typ je vhodné použít na jiný druh konstrukce či jiné druhy materiálů. Rozhoduje také krychelná pevnost betonu v tlaku. Tvrdoměry rozdělujeme do několika skupin [21]:

#### **Schmidt L**

Jinak také Schmidt Light je odrazový tvrdoměr s rázovou energií 0,735 J. Slouží zejména pro zkoušení tenkostěnných prvků, křehkých materiálů a konstrukcí do tloušťky 100 mm. Krychelná pevnost betonu v tlaku je v rozmezí 13-50 MPa [22], [23].

#### **Schmidt N**

Jinak také Schmidt Normal je odrazový tvrdoměr s rázovou energií 2,207 J. Je určen pro objekt tloušťky minimálně 100 mm při pevném uchycení. Krychelná pevnost betonu v tlaku je v rozmezí 17-60 MPa. Schmidt N je základním typem odrazových tvrdoměrů [22], [23].

#### **Schmidt M**

Jinak také Schmidt Masive je odrazový tvrdoměr s rázovou energií 30 J. Používá se pro konstrukce s tloušťkou nad 200 mm, a pevnostní třídou 25-60 MPa [22], [23].

#### **SilverSchmidt**

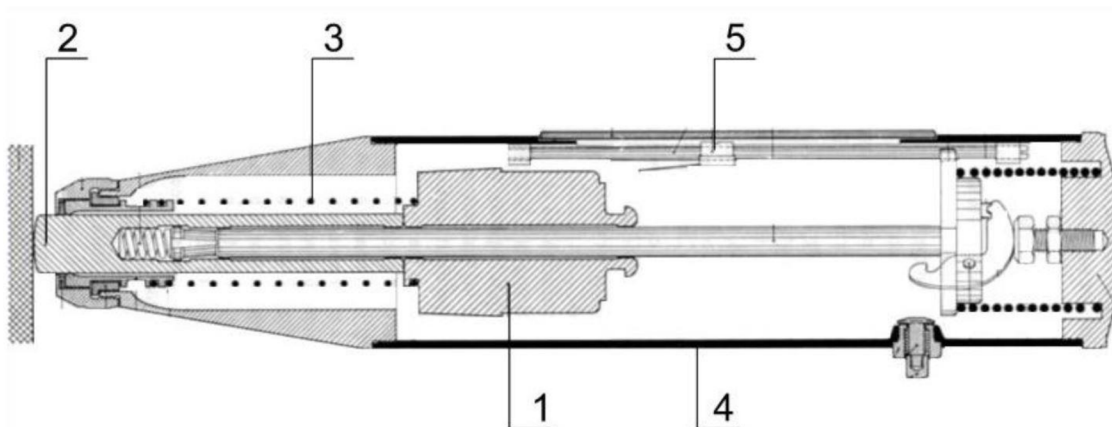
Odrazový tvrdoměr Silverschmidt je založen na principu odrazového tvrdoměru Schmidt N. Je to elektronické kladívko, u kterého se nám na displeji ukazuje pevnost betonu v tlaku. Umožňuje nám měřit v různých směrech bez úhlové korelace. Koeficient dopadu se určí na základě rychlosti před a po odrazu v blízkosti dopadu razníku. Navíc umožňuje zkoušet i betony vyšších pevností, přibližně do 100 MPa, a také převod do požadovaných jednotek (například MPa, N/mm<sup>2</sup>) [21], [22].

SilverSchmidt má pogumované tělo, které zlepšuje úchop přístroje a chrání přístroj před nečistotami a prachem. Mezi razníkem, kterým je přístroj ukončen, a displejem, který nám ukazuje výsledné hodnoty a zobrazuje nastavení přístroje, je umístěn USB konektor pro připojení přístroje s počítačem [21].



Tabulka 4 Rozsah použití jednotlivých druhů tvrdoměrů [22], [23]

Druh tvrdoměru	Krychelná pevnost betonu v tlaku [MPa]	Nejmenší tloušťka vrstvy betonu [mm]	Nejmenší šířka zálivky [mm]
Schmidt N	17-60	100	30
Schmidt L	13-50	60	30
Schmidt M	25-60	200	nepoužívá se
SilverSchmidt	10-100	100	30



Obrázek 7 Základní části odrazových tvrdoměrů [24]

Odrazový tvrdoměr se skládá z pěti základních částí. Je to beran (1), razník (2), tažná pružina (3), pouzdro (4) a stupnice (5). Beran je u Schmidtových tvrdoměrů vzdálen od razníku, a pružina je napnuta mezi beranem a razníkem. Razník se před úderem vloží kolmo ke zkoušené ploše na povrch materiálu, a tlakem na pouzdro se napíná tažná pružina. Ta po napnutí uvolní beran, a ten dopadne na razník. Energie vzniklá nárazem beranu razníku se projeví vtiskem do povrchu materiálu a odrazí beran zpět. Beran s sebou při návratu zpět do původní polohy vezme značku a posune ji na stupnici, ze které se odečítá hodnota. Pro další měření se musí značka opětovným úderem vrátit na původní pozici [21], [24].

### 3.1.2.2 Tvrdoměrná zkouška a její vyhodnocení

Před prováděním samotné zkoušky je nutné vybrat vhodné místo pro zkoušení. Plocha tohoto místa musí být minimálně velikosti 100x100 mm a vzdálena od hrany konstrukce či zkušebního tělesa minimálně 30 mm. Povrch zkoušeného místa musí být suchý a hladký, očištěný od nečistot. Důležité je, že se zkouší pouze povrchová vrstva betonu. Nutné je tedy i odstranění stávající omítky a obroušení vrstvy betonu, která podlehlá karbonataci.

Dále je potřeba vybrat takové místo, které je neporušené, tedy bez prasklin, trhlin a podobných vad, a má dostatečnou krycí vrstvu [22].

Na povrchu, který splňuje všechna výše uvedená kritéria, můžeme začít provádět samotnou zkoušku. Je důležité mít razník umístěn blízko ideální poloze, tedy co nejvíce kolmo ke zkoušenému povrchu materiálu. Na poloze tvrdoměru totiž závisí odečtená hodnota odrazu. Úder je nutné směřovat do místa s cementovým tmelem, nikoliv do místa s kamenivem. Po stlačení tvrdoměru a nárazu stiskneme aretační tlačítko, které nám umožní přečíst hodnotu odrazu a stupnici tvrdoměru. Pokud zkusíme přímo na konstrukci, pak od sebe jednotlivé údery musí být vzdáleny minimálně 50 mm [22].

Za platné místo měření se považuje takové místo, na kterém je minimálně 7 platných měření. Obvykle se na jednom zkušebním místě provádí 10 měření, z důvodu možné neplatnosti některých z nich. Každé zkoušené místo je vyhodnocováno individuálně. K hodnotě každého odrazu se přiřadí jeho pevnost. Dále se stanoví aritmetický průměr těchto pevností. Ty pevnosti, jejichž hodnoty nejsou v rozmezí 20 % od vypočítaného aritmetického průměru jsou vyřazeny. Poté je vypočítán nový aritmetický průměr ze zbylých platných měření a postup se opakuje. Pokud je ve zkušebním místě méně než 7 platných odrazů, zkušební místo je bráno za neplatné [22].

Provádění a vyhodnocování zkoušky pomocí odrazových tvrdoměrů nám udává norma ČSN EN 73 1373, podle které se k vyhodnocení zkoušek využívá kalibračních vztahů. Pro upřesnění kalibračního vztahu pomocí součinitele  $\alpha$  je dle normy potřeba [22]:

- Vyhотовit minimálně 9 vzorků (krychlí nebo válců), které jsou vyhotovené ze stejných složek jako beton zkoumané konstrukce, které jsou zhutněné a ošetřované co nejvíce stejným způsobem jako beton konstrukce, a které jsou přibližně stejně staré jako beton zkoumané konstrukce [22]
- Vyjmout ze zkoumané konstrukce minimálně:
  - 3 tělesa, na objem zkoumané konstrukce nepřesahující 10 m<sup>3</sup> [22]
  - 6 těles, na objem zkoumané konstrukce nepřesahující 50 m<sup>3</sup> [22]
  - 9 těles, na objem konstrukce přesahující 50 m<sup>3</sup> [22]
  - 3 tělesa, pokud byly konstrukce či dílce nedestruktivně zkoušeny na zkušebních místech, pokud byly vyhodnoceny pevnosti betonu v tlaku s nezaručenou přesností, a to z těch míst, která vykazovala pevnost minimální, maximální a průměrnou [22]

Součinitel  $\alpha$  se stanoví ze vztahu [22]:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n f_{bi}}{\sum_{i=1}^n f_{bei}}$$

$f_{bi}$  ... Pevnost betonu v tlaku stanovená z i-tého měření stanovená destruktivně

$f_{bei}$  ... Pevnost betonu v tlaku s nezaručenou přesností stanovená nedestruktivně

$n$  ... Počet zkušebních vzorků

Krychelná pevnost betonu v tlaku se určí ze vztahu [22]:

$$f_c = \alpha \cdot f_{bei}$$

Pevnost betonu v tlaku s nezaručenou pevností se určí ze vztahu [22]:

$$f_{bei} = f'_{bei} \cdot \alpha_t \cdot \alpha_w$$

Pokud zkoušíme beton, který je starší než 56 dní a pro kalibrační vztahy nebyly odebrané vzorky z konstrukce, tak se hodnota  $f'_{bei}$  násobí součinitelem stáří  $\alpha_w$ , který je pro stáří betonu [22]:

- 57–180 dní ...  $\alpha_w = 0,95$
- 181–360 dní ...  $\alpha_w = 0,93$
- Nad 360 dní ...  $\alpha_w = 0,90$

Pokud zkoušíme beton, který je jiný než vlhký, tak se hodnota  $f'_{bei}$  násobí součinitelem vlhkosti  $\alpha_w$ , který je pro beton [22]:

- Suchý ...  $\alpha_w = 0,85$
- Přirozeně vlhký a vlhký ...  $\alpha_w = 1,00$
- Nasycený vodou ...  $\alpha_w = 1,05$

$f'_{bei}$  se určí z kalibračního vztahu pro stanovení pevnosti v tlaku podle tabulky z normy ČSN EN 73 1373:

Tabulka 5 Určení  $f'_{bei}$  podle normy ČSN EN 73 1373 [22]

$\alpha$	$f'_{bei}$ [MPa] při směru zkoušení:				
	Vodorovně	Směrem dolů		Směrem nahoru	
		Svisle	Úhel 45°	Svisle	Úhel 45°
24	-	19	18	-	-
25	16	21	19	-	-
26	18	22	21	-	-
27	19	24	22	-	-
28	21	26	24	14	16
29	22	27	26	15	17
30	24	29	27	17	19
31	25	30	29	18	20
32	27	32	30	20	22
33	28	33	32	21	24
34	30	35	34	23	25
35	32	37	35	25	27
36	33	39	37	26	28
37	35	41	39	28	30
38	37	42	41	30	32
39	39	44	42	32	34
40	41	46	44	34	36
41	42	47	46	35	38
42	44	49	48	37	40
43	46	51	50	39	41
44	48	52	51	41	43
45	50	54	53	43	45
46	52	56	55	45	47
47	53	58	57	47	49
48	55	60	59	49	51
49	57	62	61	51	53
50	59	64	62	52	55
51	61	-	-	54	57
52	63	-	-	56	59
53	-	-	-	58	61
54	-	-	-	60	63
55	-	-	-	62	-

Vztahy pro výpočet pevnosti betonu v tlaku s nezaručenou přesností pro Schmidt N [22]:

- Vodorovný směr
  - Příímka A  $f_{be} = 1,750 \cdot \alpha - 29,000$
  - Příímka B  $f_{be} = 1,786 \cdot \alpha - 30,440$
- Směr svisle dolů
  - Příímka A  $f_{be} = 1,562 \cdot \alpha - 17,813$
  - Příímka B  $f_{be} = 1,667 \cdot \alpha - 21,667$
- Směr svisle nahoru
  - Příímka A  $f_{be} = 1,857 \cdot \alpha - 40,708$
  - Příímka B  $f_{be} = 1,923 \cdot \alpha - 43,611$

Příímka A ... Pro hodnotu odrazu  $\alpha$  v rozmezí 25–40

Příímka B ... Pro hodnotu odrazu  $\alpha$  v rozmezí 41–54

## 3.2 Stanovení rovnoměrnosti betonu

Rovnoměrnost betonu se určuje zejména ze stanovených hodnot měřených vlastností, jako například pevnost v tlaku, pevnost v tahu, z objemové hmotnosti či pomocí rychlosti šíření impulzů ultrazvukových vln. Pokud sledujeme rovnoměrnost betonu na konstrukci, sledujeme ji pouze tehdy, pokud na povrchu betonu nejsou viditelné žádné poruchy a vady, které nám při měření mohou narušit sledovanou vlastnost betonu [13].

Zkouší se na zkušebních místech na konstrukci, které jsou pravidelně rozložené. Počet zkušebních míst nám udává norma ČSN EN 73 2011, záleží hlavně na velikosti plochy povrchu konstrukce. Pokud zkoumáme konstrukci, která má objem menší než 1 m<sup>3</sup> či plochu menší než 5 m<sup>2</sup>, podle normy se vyžaduje provedení nejméně 6 zkoušek. Rovnoměrnost se vyhodnotí na základě statistických ukazatelů, jako například variačního součinitele [13].

Beton konstrukce, její části či prvku po provedení zkoušek můžeme vyhodnotit jako rovnoměrný nebo nerovnoměrný. Beton je rovnoměrný tehdy, pokud variační součinitel v souboru znaků a rozdíl  $\Delta$  znaků, které jsou stanoveny a zkušebních místech vedle sebe a nad sebou, není větší než hodnoty uvedené v tabulce normy ČSN EN 73 2011 [13].

Tabulka 6 Statistické vyhodnocování podle normy ČSN EN 73 2011 [13]

Zkoušená vlastnost betonu	Třída betonu	Statistické vyhodnocení	
		v [%]	Δ [%]
Pevnost betonu v tlaku	C 12/15	16	30
	C 16/20	16	30
	C 25/30	14	30
	C 30/37–C 50/60	12	30
Pevnost betonu v tahu	C 12/15	22	40
	C 16/20	20	40
	C 25/30	18	30
	C 30/37–C 50/60	16	30
Rychlost šíření impulzů ultrazvukových vln	C 12/15	4	7,5
	C 16/20	4	7,5
	C 25/30	3,5	7,5
	C 30/37–C 50/60	3	7,5
Objemová hmotnost	Pro všechny třídy	2,5	4

### 3.2.1 Metoda průchodová – ultrazvuk

S využitím ultrazvuku lze kromě stanovení rovnoměrnosti betonu stanovit také například mocnost konstrukce, modul pružnosti materiálu (dynamický), pevnost betonu a přítomnost cizího tělesa, kaveren či dutin. Jedná se o metodu nedestruktivní a vyhodnocuje se na základě rychlosti šíření ultrazvukových vln materiálem. Měření průchodů těchto vln by se mělo provádět při teplotách od 10 °C do 30 °C. Pokud měříme při jiných teplotách, je nutné hodnotu času průchodu ultrazvukových vln opravit pomocí korekčního součinitele. Ten se stanovuje experimentálně pro daný beton konstrukce [25].

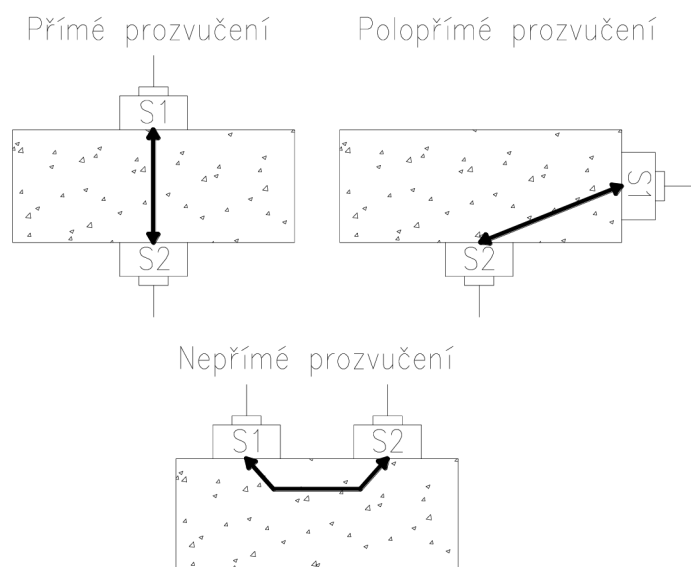
Pro výpočet rychlosti šíření ultrazvukových vln nám slouží doba průchodu. Ta je závislá na délce prostupu ultrazvukových vln materiálem. Výpočet pro rychlost šíření ultrazvukových vln nám udává norma ČSN EN 12504-4. Pro provádění zkoušek pomocí ultrazvuku používáme dvě metody – metodu dvou sond a modernější metodu jedné sondy [25].

### 3.2.1.1 Metoda dvou sond

První a starší metodou používanou pro prozvučování betonových konstrukcí je metoda dvou sond. Jedna z těchto sond je takzvaným budičem, druhá přijímačem. Celkem existují tři možnosti prozvučování metodou dvou sond [25].

První a ideální možností je prozvučování přímé. Při něm jsou budič a přijímač umístěny přímo naproti sobě. Další možností je prozvučování nepřímé či polopřímé. Tohoto prozvučování využíváme v případech, kdy není možné na konstrukci docílit přímého prozvučování, tedy polohy budiče a přijímače naproti sobě. U polopřímého prozvučování jsou sondy umístěny na protilehlých stranách (ne však naproti sobě), nebo na stranách sousedních. U prozvučování nepřímého jsou sondy umístěny vedle sebe (jedná se o měření povrchových vln [25]).

Rychlost šíření ultrazvukového impulsu je zjišťována na takzvané měřící základně. Ta musí být dostatečně dlouhá, aby nám nestejnorodý beton neovlivnil výsledky měření. Pokud prozvučujeme konstrukci přímo, je za měřící základnu považována nejkratší vzdálenost mezi sondami. Při prozvučování polopřímém se délka základny měří mezi středem budiče a středem přijímače, přičemž přesnost základny závisí na velikostech sond. Při prozvučování nepřímém se délka základny neměří, ale provede se řada měření s různými vzdálenostmi sond [25].



Obrázek 8 Umístění sond při přímém, polopřímém a nepřímém prozvučování [25]

Rychlost šíření ultrazukového impulsu se vypočítá následovně [25]:

$$v = \frac{L}{T_i - T_0}$$

L ... délka prostupu impulsu [m]

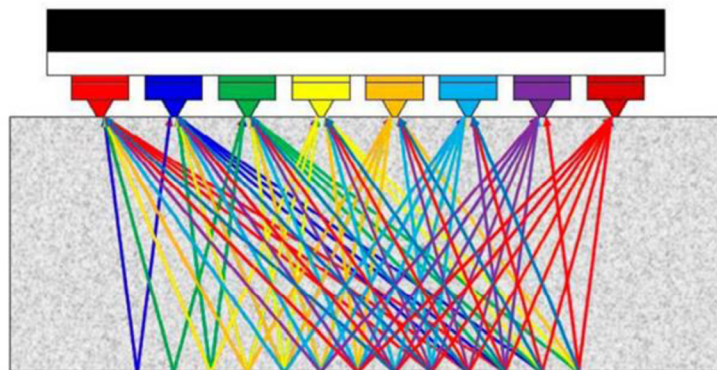
T<sub>i</sub>... doba průchodu konstrukcí [μs]

T<sub>0</sub> ... mrtvý čas [μs] T<sub>0</sub> = T<sub>e</sub> - E

T<sub>e</sub> ... doba průchodu etalonem [μs]

### 3.2.1.2 Metoda jedné sondy

Druhou metodou prozvučování konstrukcí je metoda jedné sondy. Jedná se o metodu modernější. Využíváme pouze jedné sondy. Zásadní výhodou je, že dokáže proniknout do hloubky konstrukce až 1 m. Další z výhod je také jednodušší způsob měření nebo hledání dutin v betonu uvnitř konstrukce [26], [27].



Obrázek 9 Vysílání impulsů pomocí jedné odrazové sondy [27]



Obrázek 10 Odrazová sonda [27]



## 3.3 Stanovení modulu pružnosti betonu

Modul pružnosti je jednou z nejzákladnějších charakteristik materiálu. Používá se například pro určení dotvarování konstrukce, smršťování či jejich průhybů. Značí se  $E$  a vyjadřuje nám vztah mezi přetvořením a napětím daného materiálu [28].

Beton, který má vyšší modul pružnosti, je méně náchylný k deformacím. Nastanou u něj tedy deformace menší. Vyšší modul pružnosti má také například zralý beton oproti betonu mladému. Modul pružnosti rozdělujeme na statický a dynamický [28].

### 3.3.1 Statický modul pružnosti

Statický modul pružnosti se značí  $E_c$ . Je zjišťován pomocí Hookova zákona ze vzniklých deformací. Zkouška prováděná pro zjištění statického modulu pružnosti je popsána v normě ČSN ISO 1920-10, a spočívá ve zkoušení nejméně 3 zkušebních těles pomocí hydraulického lisu. Nejvhodnější šířka tělesa pro zkoušení je 100 mm. Při zkoušení je důležité, aby každé těleso splňovalo rozměr největšího zrna kameniva ve vzorku. Ten musí být minimálně 3x menší než průměr zkušebního tělesa [29].

Při zkoušce nejdříve umístíme centricky zkušební vzorek do hydraulického lisu. Poté těleso v lisu zatěžujeme silou, která je rovna základnímu napětí, tedy 0,5 MPa. Dalším postupem je plynulé zatížení vzorku na hodnotu 1/3 charakteristické pevnosti betonu v tlaku, což je takzvané napětí horní. Při zatěžování vzorku se průběžně kontrolují a zaznamenávají jeho vzniklé deformace a napětí, při kterých daná deformace vznikla. Ze všech těchto informací se dále určí statický modul pružnosti, podle následujícího vzorce [29]:

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b}$$

$\sigma_a$  ... horní napětí [MPa]

$\sigma_b$  ... základní napětí [MPa]

$\varepsilon_a$  ... průměrné poměrné přetvoření při horním napětí

$\varepsilon_b$  ... průměrné poměrné přetvoření při základním napětí

### 3.3.2 Dynamický modul pružnosti

Druhým modulem pružnosti materiálu je modul dynamický. Ten zjišťujeme pouze tehdy, pokud není možné odebrání vzorků pro zkoušku v hydraulickém lisu a zjištění modulu pružnosti statického. Dynamický modul pružnosti nám tedy slouží pouze přepočítání na statický modul pružnosti v tlaku. Pro zjištění dynamického modulu pružnosti používáme dvě metody – rezonanční a ultrazvukovou. Postupy těchto metod jsou podrobně popsány v normách ČSN EN 73 1371, ČSN EN 73 1372 A ČSN EN 12504-4 [25], [30], [31].

#### 3.3.2.1 Metoda rezonanční

Rezonanční metoda se provádí pomocí přístrojů, které nám zaznamenávají a měří rezonanční frekvenci. Z toho tedy vyplývá, že základní veličinou pro metodu rezonanční je frekvence, tedy kmitočet. Je to počet period kmitání tělesa za jednotku času. Frekvence může být podélných (longitudálních), příčných (ohybových) nebo krouživých (torzních) kmitání [31].

Dynamický modul pružnosti určený z podélných kmitů [31]:

$$E_{dyn,FL} = 4 \cdot L^2 \cdot f_L^2 \cdot \rho$$

Dynamický modul pružnosti určený z příčných kmitů [31]:

$$E_{dyn,FF} = 0,0789 \cdot c \cdot L^4 \cdot f_f^2 \cdot \rho \cdot i^{-2}$$

$f_l, f_f$  ... vlastní frekvence kmitů v podélném ( $f_l$ ) a příčném ( $f_f$ ) směru [kHz]

$L$  ... délka zkoušeného tělesa [m]

$i$  ... poloměr setrvačnosti průřezu [m]

$c$  ... korekční součinitel [-]

$\rho$  ... objemová hmotnost betonu [ $\text{kg/m}^3$ ]

Používané zkušební zařízení musí splňovat následující kritéria [31]:

- Přesnost přístroje má být nejméně  $\pm 1 \%$  [31]
- Budič a snímač nesmí hmotností a svou vazbou se vzorkem ovlivnit kmitání samotného tělesa o více než  $\pm 1 \%$  vlastního kmitočtu [31]
- Zařízení pro rezonanční metodu musí umožnit zjištění kmitočtů mechanického kmitání tělesa [31]
- Musí být pravidelně kontrolována přesnost a funkce přístroje použitého pro rezonanční metodu [31]

### 3.3.2.2 Metoda ultrazvuková

Pomocí této metody sledujeme šíření ultrazvukových vln materiálem, jak již bylo vysvětleno v kapitole výše. Hodnotu dynamického modulu pružnosti pomocí ultrazvukové metody získáme následovně [30]:

$$E_{dyn,U} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \cdot 10^{-6}$$

$\rho$  ... objemová hmotnost betonu [ $\text{kg/m}^3$ ]

$v_L$  ... rychlost šíření vln [ $\text{m/s}$ ]

$k$  ... součinitel rozměrnosti prostředí [-]

## 3.4 Metody pro zjišťování výztuže

Důležitou součástí diagnostiky staveb je také zjištění výztuže v betonových konstrukcích. Tu zjišťujeme jak u nových konstrukcí, tak u starých. U nových konstrukcí zjišťujeme výztuž zejména kvůli ověření a porovnání vyztužení se stávající projektovou dokumentací. Dalším důvodem je zjištění vyztužení konstrukce při jejím kolapsu, kdy je potřeba zjistit příčinu selhání konstrukce. U starých konstrukcí stanovujeme vyztužení zejména kvůli ověření spolehlivosti konstrukce a jejich částí, či statickému přepočtu a určení dalšího využití konstrukce [32].

Zjištění vyztužení je také výhodné pro jiné metody pro zkoušení betonu konstrukce. Díky správné lokalizaci výztužných prvků můžeme například zabránit přerušení nebo jinému poškození betonářské výztuže, například při zkoumání konstrukce pomocí jádrových vývrtů [32].

Při provádění metod pro stanovení vyztužení zjišťujeme zejména tyto parametry [32]:

- Průměr a typ použité výztuže
- Poloha jednotlivých použitých výztuží, krycí vrstva použité výztuže
- Aktuální stav použité výztuže, zjištění vad a poruch výztuží

### 3.4.1 Radiografie

Nejpřesnější metodou používanou pro zjištění výztuže v konstrukci je radiografie. Jedná se o metodu nedestruktivní, při které nedochází k žádnému porušení konstrukce či narušení jejího stávajícího stavu. Nejvhodnější je zejména pro konstrukce, které jsou hustě a vysoce vyztuženy, jelikož je díky ní možné zjistit výztuž nad sebou ve více vrstvách, či pruty, které jsou velice blízko sebe. Tuto výhodu nám jiná metoda nenabízí [32], [33].

Metoda je založena na rozptýlení a absorpci záření gama v konstrukci, přičemž nejčastějším zdrojem je izotop  $^{60}\text{Co}$ . Absorpce je závislá na objemové hmotnosti materiálu a jeho tloušťce. Díky rozdílné objemové hmotnosti oceli a betonu je záření zeslabováno v místě s ocelovou výztuží, která je v materiálu obsažena [32], [33].

Záření, které projde materiálem, se zaznamenává na radiografický film, který se následně vyvolá. Po vyvolání radiografického filmu lze na snímku vidět světlejší místa, která nám znázorňují právě výztuž obsaženou v konstrukci. To vše proto, že má ocel větší objemovou hmotnost než beton. Díky tomuto zobrazení jde snadno určit průměr výztuže a její umístění [32], [33].

Záření gama však patří mezi ionizující záření. V dnešní době se velmi radikálně zpřísňují veškeré předpisy, které se týkají ochrany osob před účinky ionizujícího záření. V roce 2017 vzešel v platnost Atomový zákon, který nám právě tyto předpisy a podmínky použití radiografie zpřísňuje. Z tohoto důvodu, i když je radiografie nejpřesnější metodou pro zjištění vyztužení konstrukce, je tato metoda v dnešní době prakticky nepoužitelná [32], [33].



Obrázek 11 Detail radiogramu [32]

### 3.4.2 Georadar

Další nedestruktivní metodou používanou pro zjištění vyztužení konstrukce je zaměření vyztuže pomocí georadaru. Zejména v současné době, kdy je největší poptávka po nedestruktivních diagnostických metodách, dochází k prudkému rozvoji a rozšíření této technologie. Přístroj funguje na principu vysílání signálu – vysokofrekvenčních elektromagnetických impulsů do zkoumané konstrukce či prostředí. Vysílaný signál se následně odraží od překážek, a na základě odražených impulsů si vytváří obraz [33].

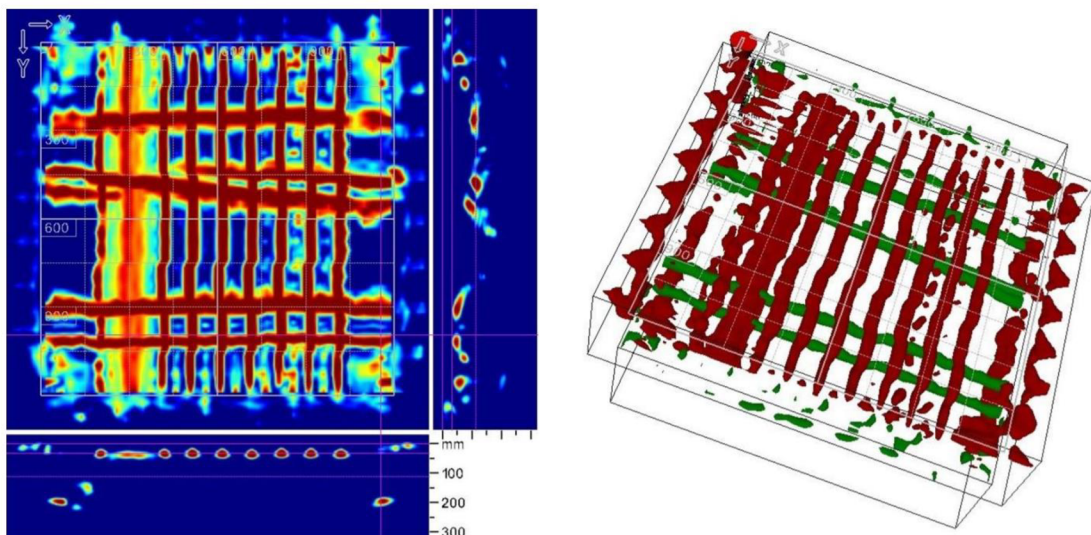
V počátcích byl georadar používán zejména pro geologické práce, přesněji pro zjišťování nehomogenit v zemním prostředí. Jeho použití je vhodné zejména ke zjištění umístění potrubí, kanalizací, stok, tunelů, inženýrských sítí, dutin a podobně. Speciální druhy georadarů jsou používány také v kriminalistice, archeologii, nebo například v armádě při hledání bomb, min, skrytých podzemních cest či skladišť munice. V neposlední řadě je užíván také ve stavebním zkušebnictví pro lokalizaci betonářské vyztuže v konstrukci [33], [34].

Metoda georadaru u nás zatím není velmi rozšířená. Nejvyužívanější georadar u nás je přístroj HILTI PS 1000, který se stal průkopníkem použití georadaru při provádění stavebně technických průzkumů. Umožňuje nám zjištění vyztuže v několika vrstvách, a také skenování rozsáhlých ploch. Další jeho výhodou je jednoduchost práce a manipulace s přístrojem, a to díky jeho malým rozměrům a nízké hmotnosti. Díky softwaru georadaru HILTI PS 1000 získáme vyhodnocení měření ihned po ukončení měření. Software nám také umožňuje zobrazení a zpracování dat do 2D či 3D modelů [33].



Obrázek 12 Přístroj HILTI PS 1000 [35]

Přístroj se po zkoumané ploše pohybuje díky čtyřem kolečkům, která jsou umístěna v rozích přístroje. Z pohybu koleček přístroj odečítá překonanou vzdálenost. Přístroj nám také umožňuje volbu mezi skenem liniovým a plošným. Liniový sken nám umožňuje pohyb sondy pouze jedním směrem, zatímco sken plošný ve dvou. Při plošném skenu využíváme předem připraveného rastru o ploše 600x600 mm nebo 1200x1200 mm, dle potřeby. Mezi zásadní nevýhodu tohoto přístroje patří nemožnost zjištění průměru výztuže [33].



Obrázek 13 Vlevo liniový sken, Vpravo zobrazení výsledků ve 3D [34]



Obrázek 14 Ukázka práce s přístrojem HILTI PS 1000 [35]



### 3.4.3 Elektromagnetické indikátory výztuže

Metoda použití elektromagnetických indikátorů výztuže je metodou nedestruktivní, určenou pro zjištění vyztužení konstrukce. Využívá přístroje, který pracuje na principu indukce elektromagnetického napětí. Přístroj pracuje s magnetickými vlastnostmi ocelové výztuže či s tvorbou vířivých proudů [32], [33], [36].

Jednou ze základních částí je sonda, uvnitř které jsou umístěny cívky. Ty jsou periodicky nabíjeny pomocí proudových impulsů a vytvářejí magnetické pole. Toho se využívá ke tvorbě vířivých proudů na povrchu vodivého materiálu. Vířivé proudy je přístroj schopen zachytit. Software přístroje následně na základě zachycených signálů vytváří obraz výztuže [36].

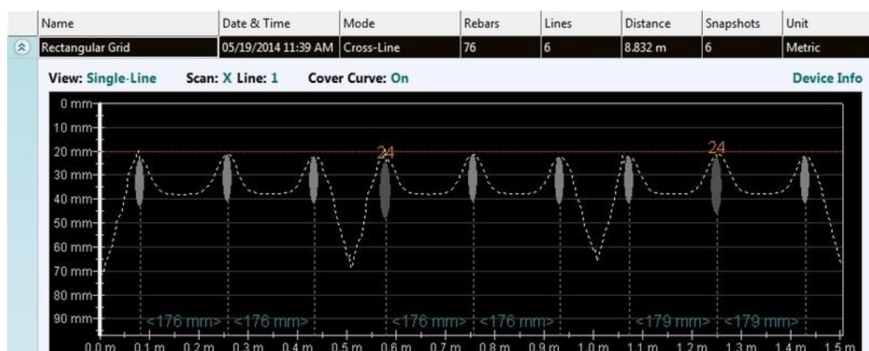
Přístroj se používá zejména pro zjištění, zda je konstrukce vyztužena či pro ověření projektové dokumentace u nových konstrukcí. Dále také pro zjištění polohy výztuže, jejího průměru, krytí a jejího množství. Využívá se také pro hledání výztuže před odebráním jádrových vývrtů [36].

Elektromagnetické indikátory výztuže mají bohužel svá omezení. Jejich dosah činí pouze 60 až 100 mm. Pokud použijeme hloubkovou sondu, zvětší se jejich dosah alespoň na 150 až 220 mm. Dále zde hrozí riziko ovlivnění výsledků přítomností elektromagnetických polí či ovlivnění výsledků díky přítomnosti blízké výztuže. Pomocí elektromagnetického indikátoru také nelze zjistit korozi výztuže, výztuž ve více vrstvách nad sebou a ani druh výztuže [36].

Mezi nejlépe hodnocené elektromagnetické indikátory patří přístroj Profometer PM-6 případně PS 200 Ferroskan. Zásadní výhodou těchto přístrojů je přímé vytvoření obrazu pomocí softwaru přístroje ze skenování konstrukce. Umožňují nám určení průměru výztuže a zjištění jejího krytí. Při srovnání těchto dvou přístrojů vyšel pro zjištění průměru a krytí výztuže lépe Profometer PM-6. Přístroj PS 200 Ferroskan nám však oproti přístroji Profometer PM-6 umožňuje navíc bezdrátový přenos dat, což přispívá k pohodlnější manipulaci s přístrojem [36].



Obrázek 15 Vlevo Profometer PM-6, VPravo PS 200 Ferroskan [36]



Obrázek 16 Příklad zobrazení skenu přístroje Profometer PM-6 [37]

### 3.4.4 Metoda sekaných sond

Jednou z nejvíce používaných metod pro stanovení vyztužení konstrukce je semidestruktivní metoda sekaných sond. Je nejzákladnější metodou, a zároveň nejprůkaznější. Díky této metodě lze většinou zjistit veškeré hledané parametry – poloha výztuže, její míra koroze, průměr, typ, vady a poruchy [32].

Její nejzásadnější výhodou je fakt, že jsme s výztuží v přímém kontaktu. Můžeme si na ni sáhnout, jakkoliv ji přeměřit a můžeme zjišťovat její poruchy a vady přímo na konstrukci. Nevýhodou této metody je však pracnost jejího provedení. Dále také prašnost při provádění, kterou však jde omezit (díky průmyslovým vysavačům) použitím průmyslových vysavačů. Další velkou nevýhodou je také hlučnost při provádění [32].

Metoda spočívá v odstranění krycí vrstvy výztuže bouracím kladivem. To nám vede k odhalení použité výztuže. Před prováděním této metody se ve většině případů používá georadar či elektromagnetický indikátor výztuže, které nám ukáží přibližné umístění výztuže. Tímto se při sekání sond vyhneme kontaktu výztuže s bouracím kladivem, a tím i jakémukoli jejímu porušení či poškození. Veškeré informace zjištěné o výztuži v konstrukci se zapíšou. Pokud má objednatel požadavek na zapravení sond, sondy se zapraví sanační maltou [32].



Obrázek 17 Příklad sekání sondy



## 4 Praktická část

Na základě požadavku objednavatele a architekta byl proveden stavebně technický průzkum objektu Esslerovy textilní továrny v Brně, a to z důvodu zjištění aktuálního stavu nosné konstrukce, tedy železobetonového monolitického skeletu před dalším využíváním objektu.

Samotný průzkum konstrukce se týkal zejména sloupů, průvlaků a trémových desek. Po počátečním přezkoumání objektu a v rámci dodržení vlastností stavby byly stanoveny počty zkoumaných míst a určeny metody, které budou při průzkumu použity. Byla provedena i fotodokumentace jednotlivých míst.

V rámci stavebně technického průzkumu byla zjišťována zejména pevnost betonu v tlaku nosné konstrukce a jejích částí. Stavebně technický průzkum zahrnoval také zjištění vyztužení konstrukce, stavu výztuže a zjišťování tvaru nosných železobetonových prvků. Z následujících zjištění byla vypracována závěrečná zpráva, která nám udává jasné informace o aktuálním stavu objektu a slouží jako podklad pro statické vyhodnocení objektu, popřípadě pro návrh sanačního opatření.

### 4.1 Popis zkoumaného objektu

Esslerova textilní továrna se nachází v Brně – Obřany a je bývalou textilkou, která stojí přímo u Obřanského mostu nad řekou Svitavou. Původně, kolem roku 1835, se zde místo textilní továrny nacházel Slámův mlýn s náhonem a jezem. Firma E. E. Essler tuto budovu koupila až kolem roku 1900, a v roce 1915, kdy vlastnictví této budovy převzal Adolf Essler od svého otce, se budova stala tkalcovnou a úpravnou. V době obsazení tehdejšího Československa Německem byl majitel továrny a jeho rodina umístěni do koncentračních táborů, a továrna byla označena jako židovský majetek. V roce 1948 byl továrně přidělen nový majitel. Továrna několikrát změnila své firemní názvy a majitele, avšak textilní výroba v ní probíhala stále. Její provoz byl ukončen až v roce 1992 [38].

Objekt je samostatně stojící budova o čtyřech podlažích. Budova není podsklepena. Věžovitá část objektu má šest nadzemních podlaží, a taktéž není podsklepena.

Nosná konstrukce objektu je řešena jako železobetonový monolitický skelet. Ten je tvořen železobetonovými sloupy v sedmi příčných řadách. Osová vzdálenost sloupů jednotlivých řad je 5100 mm, osová vzdálenost sloupů v příčné řadě je 8000 mm. Na sloupech jsou uloženy průvlaků v příčném směru, mezi kterými jsou provedeny železobetonové trémové

desky. Jednotlivá příčná pole mají stejné rozpětí, kromě krajního pole na jižní straně objektu. To má rozpětí větší – 8100 mm.

Nosná střešní konstrukce je řešena stejným způsobem jako konstrukce stropní. Jediný rozdíl je její provedení ve spádu, a jsou v ní umístěny světlíky. Střešní konstrukcí je sedlová střecha. Světlík je ocelová konstrukce, která je vyplněná drátosklem.

Fasáda je z velkého procenta prosklená. Okna na fasádě jsou tvořena ocelovými rámy, které jsou vyplněné jednoduchým zasklením. Mezi železobetonovou monolitickou konstrukcí a okny jsou parapety a dělicí sloupky z plných pálených cihel. V místě spojovacího koridoru mezi jednotlivými podlažími je umístěno schodiště a výtahová šachta, z části je v tomto prostoru umístěno i sociální zázemí.



*Obrázek 18 Esslerova továrna v Brně*

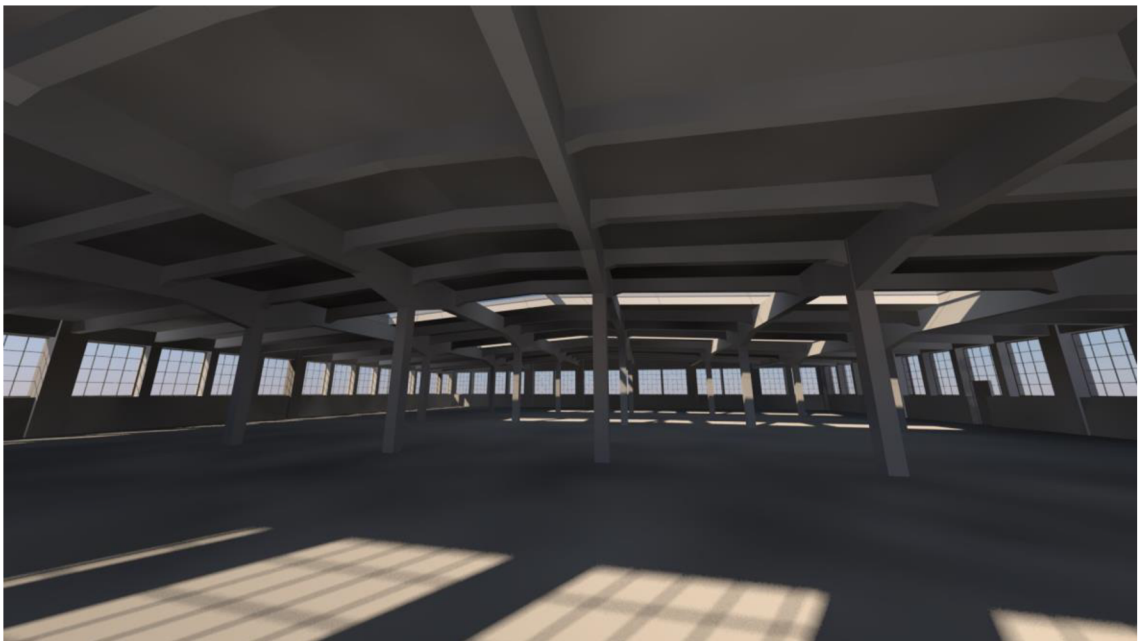
## 4.2 Cíle prováděných prací

Cílem praktické části bylo vyhodnocení kvality betonu a zjištění vyztužení konstrukce. U betonu byla vyhodnocena pevnost betonu v tlaku a následně se beton zařadil do příslušné pevnostní třídy. Zjišťováno bylo také zda beton splňuje požadavky současných norem pro beton do nosných železobetonových konstrukcí. Při zjišťování vyztuže se zjišťoval zejména stav vyztuže, umístění vyztuže, její typ, a probíhalo porovnání vyztužení konstrukce s existující projektovou dokumentací.

Požadavkem investora bylo zjištění aktuálního stavu konstrukce pro následné statické posouzení vybraných prvků. Hlavním cílem investora bylo zjištění, zda je nutné nebo doporučeno budovu strhnout, či může být po nutných úpravách použita pro další záměry, které se týkají kompletní rekonstrukce a revitalizace objektu. V rámci průzkumných prací byly vyhotoveny vizualizace možného budoucího vzhledu objektu, viz obrázky níže.



*Obrázek 19 Vizualizace budovy*



*Obrázek 20. Vizualizace vnitřních prostor budovy*

## 4.3 Metody použité pro stavebně technický průzkum

### **Beton**

Pro zkoušení betonu byly nejdříve provedeny nedestruktivní zkoušky pevností betonu pro jednotlivé prvky železobetonové monolitické konstrukce pomocí Schmidtova tvrdoměru typu N. Jednalo se o sloupy, průvlaky, trámy a desky. Výsledky tvrdoměrných zkoušek pomocí Schmidtova tvrdoměru byly následně vyhodnoceny podle obecného kalibračního vztahu z normy ČSN EN 73 1373 [22].

Dále byla na konstrukci použita semidestruktivní metoda jádrových vývrtů. Jádrové vývrty byly odebrány ze sloupů, průvlaků a železobetonových trámů. Vývrty byly poté předány do laboratoře, kde se zjistily jejich rozměry, hmotnost, objemová hmotnost, proběhlo ultrazvukové měření, pevnostní zkouška v lise, vyhodnocení dynamického modulu pružnosti a také sledování karbonatace betonu na vzorcích.

Veškeré práce, které byly provedeny pro zjištění pevnosti betonu v tlaku, byly provedeny pouze v omezeném rozsahu pro prvotní zjištění stavu konstrukce a jejich částí. Výsledky těchto zkoušek slouží jako podklad pro základní statický výpočet, jehož výsledkem by měla být informace, zda konstrukci zanechat a provést nezbytné sanace, nebo bude vhodnější konstrukci zcela odstranit.

### **Betonářská výztuž**

Na předem vybraných místech konstrukce byl zjišťován tvar, druh a množství výztuže, která byla použita v konstrukci. Jako první byla použita nedestruktivní metoda elektromagnetického indikátoru výztuže Profometer PM-630. Následně byla na předem určených místech odsekána krycí vrstva betonu a provedeny tak sekané sondy pro zjištění výztuže. V rámci omezeného rozsahu průzkumných prací byly pro zjišťování výztuže vybrány pouze typické nosné prvky.

## 4.4 Provedené sondy

Při zjišťování pevnosti betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru byly zkoušky provedeny na celkem 54 zkušebních místech. Označení jednotlivých míst bylo podle jejich umístění (S – sloup, P – průvlak, T – trám, D – deska). Rozmístění zkoušených míst je znázorněno na schématech níže.

*Tabulka 7 Zkušební místa – Schmidtvův tvrdoměr*

Zkoumaný prvek konstrukce	Označení	Počet
Sloup	1–18 S	18
Průvlak	19–34 P	16
Trám	35–46 T	12
Deska	47–54 D	8

U metody jádrových vývrtů bylo provedeno celkem 6 vývrtů do konstrukce. Jádrové vývrty byly jmenovitého průměru 75 mm s označením N1 – N6. Vývrty byly odebrány ze železobetonových sloupů, průvlaků a trámů. Umístění jádrových vývrtů je znázorněno na schématech níže.

*Tabulka 8 Zkušební místa – jádrové vývrty*

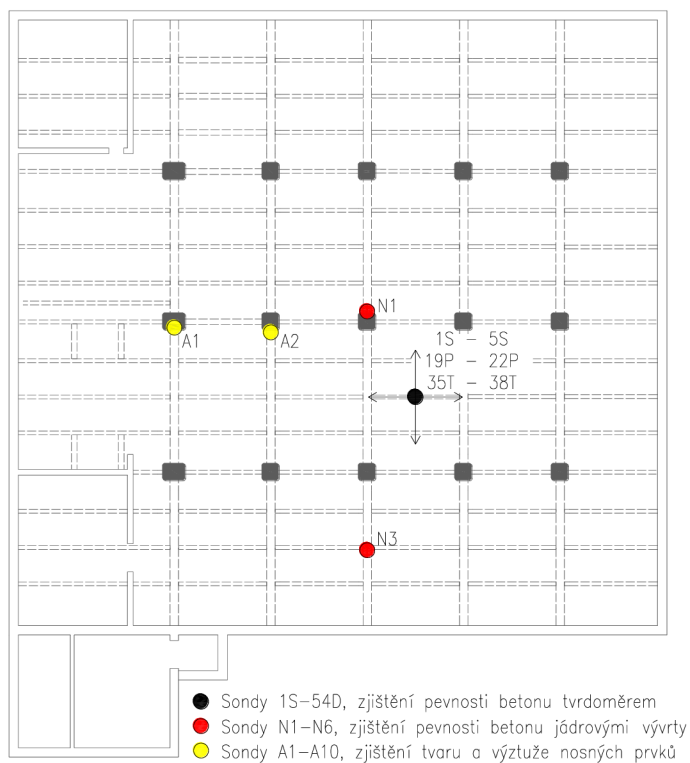
Zkoumaný prvek konstrukce	Označení	Počet
Sloup	N1, N2	2
Průvlak	N3, N4	2
Trám	N5, N6	2

U metody sekaných sond bylo provedeno celkem 10 sond. Místa železobetonové monolitické konstrukce, které byly vybrány pro tuto metodu jsou znázorněny na schématech níže. V těchto místech bylo provedeno také měření pomocí elektromagnetických indikátorů výztuže.

*Tabulka 9 Zkušební místa – sekané sondy*

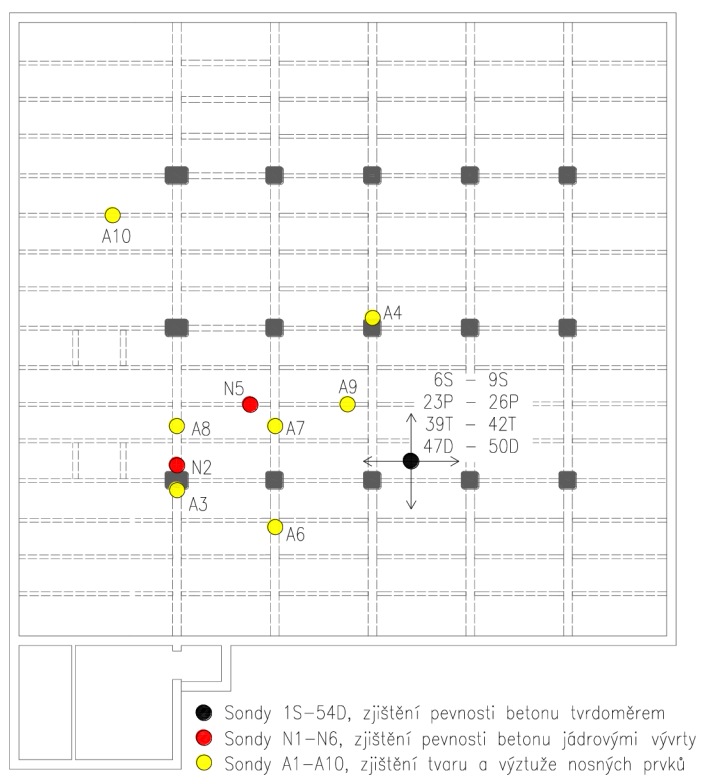
Zkoumaný prvek konstrukce	Označení	Počet
Sloup	A1, A2, A3, A4, A5	5
Průvlak	A6, A7, A8	3
Trám	A9, A10	2

1.NP



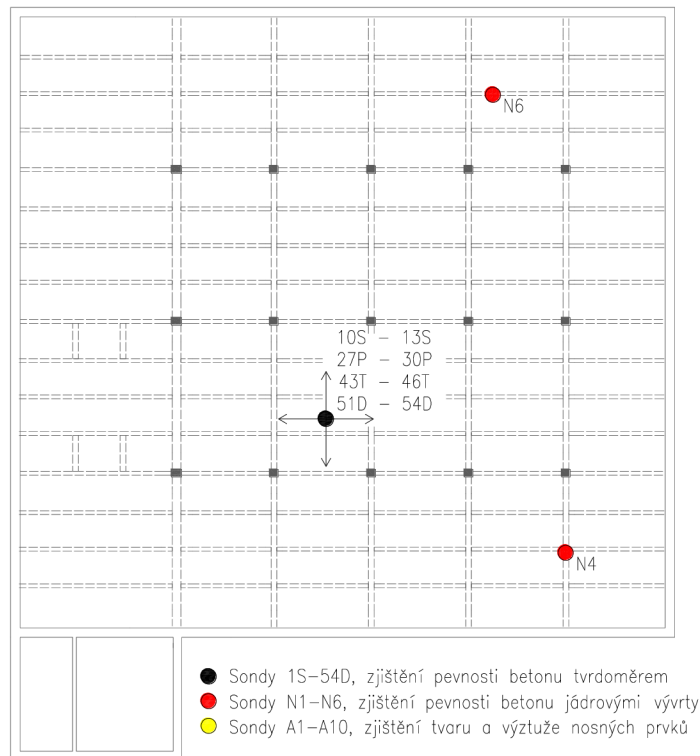
Obrázek 21 Provedené sondy v 1 .NP

2.NP



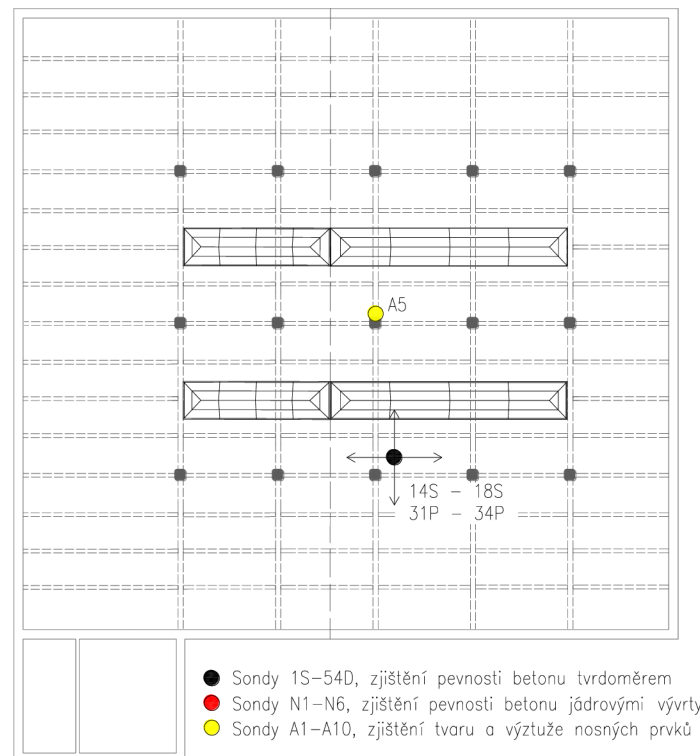
Obrázek 22 Provedené sondy ve 2.NP

3.NP




Obrázek 23 Provedené sondy ve 3.NP


4.NP



Obrázek 24 Provedené sondy ve 4.NP

## 4.5 Jádrové výtvy

Vývrt N1	
	
Popis vývrtu	Popis a struktura betonu
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vývrt vodorovně do sloupu</li> <li>• Průměr vývrtu 75 mm</li> <li>• Délka vývrtu 132–155 mm</li> <li>• Lícová plocha byla obroušená</li> <li>• Konec vývrtu odlomený v konstrukci za prutem výztuže <math>\varnothing 6</math> mm s krytím 130/151 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Těžené kamenivo frakce 0–16 mm s maximální velikostí zrn 50 mm</li> <li>• Bylo použito málo hrubého kameniva</li> </ul>

Vývrt N2	
	
Popis vývrtu	Popis a struktura betonu
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vývrt vodorovně do sloupu</li> <li>• Průměr vývrtu 75 mm</li> <li>• Délka vývrtu 155–180 mm</li> <li>• Lícová plocha byla obroušená</li> <li>• Konec vývrtu odlomený v konstrukci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Těžené kamenivo frakce 0–16 mm s maximální velikostí zrn 40 mm</li> <li>• Bylo použito málo hrubého kameniva</li> </ul>



### Vývrt N3



Popis vývrtu	Popis a struktura betonu
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vývrt do průvlastku</li><li>• Průměr vývrtu 75 mm</li><li>• Délka vývrtu 132–155 mm</li><li>• Na lícové ploše byla tenká omítka a bílá malba</li><li>• Konec vývrtu odlomený v konstrukci</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Těžené kamenivo frakce 0–16 mm s maximální velikostí zrn 25 mm</li><li>• Bylo použito málo hrubého kameniva</li></ul>

### Vývrt N4



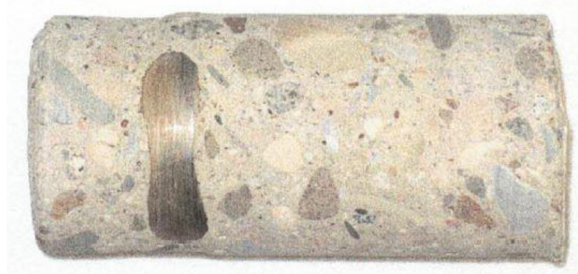
Popis vývrtu	Popis a struktura betonu
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vývrt do průvlastku</li><li>• Průměr vývrtu 75 mm</li><li>• Délka vývrtu 170–190 mm</li><li>• Na lícové ploše byla tenká omítka a bílá malba</li><li>• Konec vývrtu odlomený v konstrukci</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Těžené kamenivo frakce 0–16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm</li><li>• Bylo použito málo hrubého kameniva</li><li>• Ve vývrtu byla ocel <math>\varnothing 7,2</math> s krytím 22 mm</li><li>• Ve vývrtu byla šikmá ocel <math>\varnothing 7,2</math> s krytím 112/170 mm</li></ul>

### Vývrt N5



Popis vývrtu	Popis a struktura betonu
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vývrt do trámu přes celou šířku</li><li>• Průměr vývrtu 75 mm</li><li>• Délka vývrtu 140–148 mm</li><li>• Lícová plocha byla obroušená</li><li>• Na hladkém konci vývrtu byla bílá malba</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Těžené kamenivo frakce 0–16 mm s maximální velikostí zrn 25 mm</li><li>• Bylo použito málo hrubého kameniva</li><li>• Beton s mírnou pórovitostí, póry do 3 mm</li></ul>

### Vývrt N6



Popis vývrtu	Popis a struktura betonu
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vývrt do trámu přes celou šířku</li><li>• Průměr vývrtu 75 mm</li><li>• Délka vývrtu 156–160 mm</li><li>• Lícová plocha byla obroušená</li><li>• Na hladkém konci vývrtu byla bílá malba</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Těžené kamenivo frakce 0–16 mm s maximální velikostí zrn 25 mm</li><li>• Bylo použito málo hrubého kameniva</li><li>• Na boční ploše byl řez ocelí Ø16 mm s krytím 35/37 mm</li><li>• Beton s mírnou pórovitostí, póry do 3 mm</li></ul>

### 4.5.1 Úprava vývrtů na zkušební tělesa

Jádrové vývrty byly provedeny pomocí jádrové vrtačky s veškerým příslušenstvím (stojan, čerpadlo, barel s vodou, jádrový vrták průměru 75 mm). Všechny vývrty byly provedeny ve vodorovném směru a z jednotlivých částí konstrukce odlomeny. Do laboratoře byly vývrty dodány bez dalších úprav.

Po zjištění informací o jednotlivých vývrtech a betonu použitého ve vývrtech se v laboratoři provedla úprava vývrtů na zkušební tělesa pro zkoušení pevnosti betonu v tlaku. Úprava probíhala řezáním na speciální pile Vymyslicky SP 40 P s diamantovým pilovým listem a vodním výplachem.

Postupně byly odřezány nerovné začátky a konce vývrtů. Délka vývrtů byla upravena tak, aby byla co nejvíce srovnatelná s jeho průměrem. Z vývrtu N6 byla vyrobena dvě zkušební tělesa, která byla označena doplňkovým symbolem A a B.

### 4.5.2 Měření provedená na zkušebních tělesech

Na zkušebních tělesech proběhlo hned několik měření. Ze všeho nejdříve byly stanoveny rozměry zkušebních těles pomocí posuvného měřítka s digitální indikací. Hmotnost vzorků se stanovila pomocí váhy s digitální indikací s přesností na 1 g. Poté se prováděly zkoušky pro zjištění objemové hmotnosti, ultrazvukové měření vzorků, a zkouška v lisech pro stanovení pevnosti betonu v tlaku. Na vzorcích byla také sledována a stanovena míra karbonatace betonu.

#### 4.5.2.1 Objemová hmotnost a pevnost betonu v tlaku

Zkouška pro stanovení pevnosti betonu v tlaku byla provedena na zkušebním lisu WPM DrMB 60, a to při nastavení rozsahu působící síly 300 kN. Vyhodnocení probíhalo podle platných norem. Vzhledem k tomu, že měly zkušební tělesa nenormové rozměry, byly použity převodní součinitele podle ČSN EN 12390-3/Z1 [20].

Válcová pevnost betonu v tlaku  $f_{c,cyl}$  byla vypočítaná ze zjištěné síly, která byla maximální silou při deformaci vzorku, a ze skutečné plochy tělesa. Opravný součinitel  $k_{c,cyl}$  byl odvozen z tabulky podle poměru délky a průměru válce. Pro převod válcové pevnosti na krychelnou pevnost  $f_{c,cube}$  byl použit opravný součinitel  $k_{cyl/cube}$ . Použit byl také již zmíněný převodní součinitel  $K_{c,cube}$  sloužící pro převod krychelné pevnosti vyhodnocené na zkušebním tělese s průměrem 75 mm na pevnost zkušebního tělesa základního rozměru. Byla použita hodnota  $K_{c,cube} = 0,93$  [20].

Tabulka 10 Vyhodnocení objemové hmotnosti betonu

Označení	N1	N2	N3	N4	N5	N6	
<b>Tvar</b> [-]	válec	válec	válec	válec	válec	válec	válec
<b>Průměr</b> [mm]	74,0	73,8	74,1	74,0	74,0	74,0	74,3
<b>Výška</b> [mm]	73,2	73,2	74,0	70,0	74,7	74,5	73,9
<b>Hmotnost</b> [g]	690	685	672	652	702	750	716
<b>Objemová hmotnost</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	<b>2190</b>	<b>2190</b>	<b>2110</b>	<b>2170</b>	<b>2190</b>	<b>2340</b>	<b>2240</b>

Tabulka 11 Vyhodnocení krychelné pevnosti betonu v tlaku

Označení	N1	N2	N3	N4	N5	N6	
<b>Rozsah</b> [kN]	300	300	300	300	300	300	300
<b>Indikace</b> [‰]	373	310	389	362	497	287	247
<b>Síla</b> [kN]	111,9	93,0	116,7	108,6	149,1	86,1	74,1
<b>Plocha</b> [mm <sup>2</sup> ]	4301	4278	4312	4301	4301	4301	4336
<b>Poměr</b> [-]	0,989	0,992	0,999	0,946	1,009	1,007	0,995
<b>K<sub>c,cyl</sub></b> [-]	0,846	0,847	0,850	0,822	0,854	0,853	0,848
<b>Válcová pevnost</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	22,0	18,4	23,0	20,8	29,6	17,1	14,5
<b>K<sub>cyl/cube</sub></b> [-]	1,251	1,251	1,250	1,251	1,246	1,252	1,252
<b>K<sub>c,cube</sub></b> [-]	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
<b>Krychelná pevnost</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>25,6</b>	<b>21,4</b>	<b>26,7</b>	<b>24,1</b>	<b>34,3</b>	<b>19,9</b>	<b>16,9</b>

#### 4.5.2.2 Ultrazvukové měření zkušebních těles

Ultrazvukové měření bylo na zkušebních tělesech provedeno pomocí ultrazvukové impulsové metody, jejíž vyhodnocení a postup provádění je popsán v normě ČSN EN 73 1371. Byl použit přístroj TICO s kmitočtem 54 kHz. Doba průchodu ultrazvuku tělesem byla stanovena na měřících základnách ve směru, který byl rovnoběžný s podélnou osou zkušebního tělesa. Pro každé těleso byly stanoveny dvě doby průchodu ultrazvuku tělesem [30].

Z měření doby průchodu tělesem byly vypočítány rychlosti šíření ultrazvuku. Dále se z objemové hmotnosti vyhodnotil dynamický modul pružnosti betonu zkušebních těles [30].

Tabulka 12 Vyhodnocení dynamického modulu pružnosti betonu

Označení	N1	N2	N3	N4	N5	N6	
<b>Základna</b> [mm]	73,2	73,2	74,0	70,0	74,7	74,5	73,9
<b>Objemová hmotnost</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	2190	2190	2110	2170	2190	2340	2240
<b>Doba průchodu</b> [μs]	21,6	23,8	24,9	22,9	22,8	23,2	22,8
	21,3	23,6	23,6	22,8	22,6	23,3	22,9
<b>Mrtvý čas</b> [μs]	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
<b>Rychlost</b> [m/s]	3725	3350	3224	3341	3583	3506	3544
	3783	3381	3418	3357	3617	3489	3527
<b>Rychlost průměrná</b> [m/s]	3754	3366	3321	3349	3600	3498	3536
<b>Modul E<sub>bu</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>27800</b>	<b>22300</b>	<b>20900</b>	<b>21900</b>	<b>25500</b>	<b>25800</b>	<b>25100</b>

### 4.5.2.3 Míra karbonatace

Míra karbonatace betonu byla zjišťována na zkušebních tělesech pomocí lihového roztoku fenolftaleinu. Pokud by pH nabývalo hodnoty menší než 9,5, je beton nebezpečně zkarbonatovaný a po nástřiku roztokem se nezabarví. V takovémto případě nechrání výztuž proti korozi vlivem působení agresivního prostředí. Pokud má beton pH vyšší než 9,5, pak beton výztuž chrání a nepodlehne karbonataci. V tomto případě se beton zbarví do fialova [16], [19].

Zkouška karbonatace byla provedena po rozdrčení zkušebních těles ve zkušebním lise. Pro spolehlivé stanovení hloubky karbonatace bylo posouzení provedeno i na rozlomených odřezaných začátcích a koncích vývrtů.

*Tabulka 13 Vyhodnocení míry karbonatace betonu na odebraných vzorcích*

Označení	Karbonatace
N1	Beton zkarbonatovaný do hloubky 15 mm
N2	Beton zkarbonatovaný do hloubky 30 mm
N3	Beton zkarbonatovaný do hloubky 20 mm
N4	Beton nebyl výrazně zkarbonatovaný
N5	Beton nebyl výrazně zkarbonatovaný
N6	Beton nebyl zkarbonatovaný

## 4.6 Pevnost betonu pomocí Schmidtova tvrdoměru

V rámci průzkumu konstrukce byly provedeny nedestruktivní zkoušky pevnosti betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru. Hodnoty změřené na 54 zkušebních místech byly následující:

Tabulka 14 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – sloupy

SLOUPY Zkušební místo		Pevnost betonu v tlaku		
		$f_R$	$f_R \cdot \alpha_t \cdot \alpha_w$	$f_c$
		[N/mm <sup>2</sup> ]		
1.NP	1S	53,9	48,5	32,2
	2S	37,6	33,8	22,5
	3S	30,3	27,2	18,1
	4S	25,8	23,2	15,4
	5S	40,9	36,8	24,4
2.NP	6S	44,8	40,3	26,8
	7S	51,4	46,2	30,7
	8S	40,3	36,2	24,1
	9S	49,8	44,8	29,8
3.NP	10S	38,6	34,8	23,1
	11S	31,7	28,5	19,0
	12S	43,0	38,7	25,7
	13S	38,7	34,8	23,1
4.NP	14S	39,6	35,6	23,7
	15S	49,5	44,6	29,6
	16S	45,2	40,7	27,0
	17S	46,4	41,8	27,7
	18S	43,7	39,3	26,1

Z vyhodnocení v oblasti sloupů bylo vyloučeno zkušební místo pro jeho velkou odlehlost od ostatních hodnot (v tabulce vyznačeno **černou barvou**).

Tabulka 15 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – průvlaky

PRŮVLAKY Zkušební místo		Pevnost betonu v tlaku		
		$f_R$	$f_R \cdot \alpha_t \cdot \alpha_w$	$f_c$
		[N/mm <sup>2</sup> ]		
1.NP	19P	43,8	39,4	26,2
	20P	42,4	38,1	25,3
	21P	34,6	31,1	20,7
	22P	45,1	40,6	27,0
2.NP	23P	34,0	30,6	20,3
	24P	32,4	29,2	19,4
	25P	33,6	30,3	20,1
	26P	31,6	28,4	18,9
3.NP	27P	39,5	35,6	23,6
	28P	34,9	31,4	20,9
	29P	35,3	31,8	21,1
	30P	42,3	38,1	25,3
4.NP	31P	38,1	34,3	22,8
	32P	38,4	34,6	23,0
	33P	41,8	37,6	25,0
	34P	31,1	28,0	18,6

Z vyhodnocení v oblasti průvlaků nebylo vyloučeno žádné zkušební místo.



Tabulka 16 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – trámy

TRÁMY Zkušební místo		Pevnost betonu v tlaku		
		$f_R$	$f_R \cdot \alpha_t \cdot \alpha_w$	$f_c$
		[N/mm <sup>2</sup> ]		
1.NP	35T	39,2	35,3	23,4
	36T	34,8	31,3	20,8
	37T	47,9	43,1	28,6
	38T	40,8	36,7	24,4
2.NP	39T	37,7	33,9	22,5
	40T	41,5	37,4	24,8
	41T	40,3	36,3	24,1
	42T	40,9	36,8	24,4
3.NP	43T	30,7	27,6	18,4
	44T	44,9	40,4	26,8
	45T	30,1	27,1	18,0
	46T	36,6	32,9	21,9

Z vyhodnocení v oblasti trámů nebylo vyloučeno žádné zkušební místo.

Tabulka 17 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – desky

DESKY Zkušební místo		Pevnost betonu v tlaku		
		$f_R$	$f_R \cdot \alpha_t \cdot \alpha_w$	$f_c$
		[N/mm <sup>2</sup> ]		
2.NP	47D	41,6	37,4	24,9
	48D	36,9	33,2	22,1
	49D	38,6	34,7	23,1
	50D	40,3	36,3	24,1
3.NP	51D	41,6	37,4	24,9
	52D	35,8	32,2	21,4
	53D	36,9	33,2	22,1
	54D	39,8	35,8	23,8

Z vyhodnocení v oblasti desek nebylo vyloučeno žádné zkušební místo.

Tabulka 18 Vyhodnocení součinitele upřesnění

Zkušební místo		Vývrt	$f_R$	$f_R \cdot \alpha_t \cdot \alpha_w$	$f_c$	Součinitel upřesnění	
						$\alpha$	
						Jednotlivě	Celkově
1.NP	3S	N1	30,3	27,2	25,6	0,940	0,664
2.NP	8S	N2	40,3	36,2	21,4	0,591	
1.NP	20P	N3	42,4	38,1	26,7	0,700	
3.NP	27P	N4	39,5	35,6	24,1	0,678	
2.NP	41T	N5	40,3	36,3	34,3	0,945	
3.NP	44T	N6/A	44,9	40,4	19,9	0,492	
3.NP	44T	N6/B	44,9	40,4	16,9	0,418	

Statistické vyhodnocení pevnostní třídy betonu v tlaku bylo provedeno dle ČSN ISO 13822 po jednotlivých železobetonových prvcích (sloupy, průvlaky, trámy, desky) nad 1.NP – 4.NP, přičemž metodika vyhodnocení byla následující [39]:

$$f_{ck} = f_{m(n)} - s_f \cdot k_n$$

$f_{ck}$  ... Charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku

$f_{m(n)}$  ... Průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku

$s_f$  ... Výběrová směrodatná odchylka

$k_n$  ... Koeficient podle počtu měření

Tabulka 19 Vyhodnocení pevnostní třídy betonu jednotlivých částí konstrukce [39]

	Sloupy	Průvlaky	Trámy	Desky
n [-]	17	16	12	8
$f_{m(n)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	25,50	22,38	23,18	23,28
$s_f$ [N/mm <sup>2</sup> ]	3,88	2,75	3,13	1,34
$k_n$ [-]	1,81	1,82	1,89	2,00
$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>18,48</b>	<b>17,37</b>	<b>17,28</b>	<b>20,60</b>
PEVNOSTNÍ TŘÍDA	C 16/20	C 16/20	C 16/20	C 16/20

Na základě zjištěných hodnot charakteristických krychelných pevností betonu v tlaku  $f_{ck}$  18,48 N/mm<sup>2</sup>, 17,37 N/mm<sup>2</sup>, 17,28 N/mm<sup>2</sup> a 20,60 N/mm<sup>2</sup> a tabulky 1 z ČSN EN 13791, lze betonu zkoumaných železobetonových monolitických sloupů, průvlaků, trámů a desek přiřadit pevnostní třídu C 16/20 [11].

Zjištěné objemové hmotnosti jednotlivých prvků byly v rozmezí 2110–2340 kg/m<sup>3</sup>, průměrná hodnota je 2200 kg/m<sup>3</sup>. Z objemových hmotností a rychlostí šíření ultrazvuku byly vyhodnoceny dynamické moduly pružnosti betonu vzorků, které mají hodnoty v rozmezí 20900–27800 N/mm<sup>2</sup>. Průměrný dynamický modul pružnosti betonu je 24200 N/mm<sup>2</sup>.

## 4.7 Zjištění tvaru a vyztužení

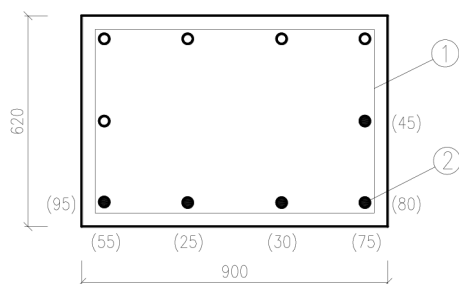
U předem vybraných prvků železobetonové monolitické konstrukce byl zjišťován tvar výztuže, její umístění, druh a množství. Výztuž byla zjišťována pomocí nedestruktivní metody elektromagnetických indikátorů výztuže Profometer PM-630. Po dokončení těchto zkoušek byly provedené sekané sondy. Sond bylo provedeno celkem 10. Zjištěná výztuž je zakreslena a zachycena ve schématech a na fotografiích níže.

U sond A6 – A10 je naznačena pouze nosná stropní konstrukce bez skladby podlahy. Na mnoha místech byly podlahy již odstraněny.

Legenda pro schematické výkresy zjištěné výztuže:

- Výztuž zjištěna pomocí nedestruktivních metod a provedení sekané sondy
- Výztuž zjištěna pouze pomocí nedestruktivních metod

Sonda A1	
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém sloupu</li> <li>- 1.NP</li> <li>- Výška sloupu po desku – 4950 mm</li> </ul>
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ze dvou stran sloupu ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>
Zjištěná výztuž	1 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 6</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 425 mm</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>
	2 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hlavní nosná výztuž <math>\varnothing 28</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>

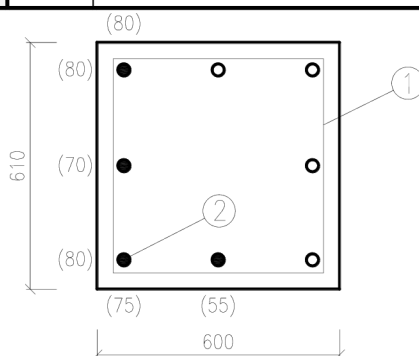


Obrázek 25 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A1 – sloup



Obrázek 26 Sonda A1 – sloup

Sonda A2	
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém sloupu</li> <li>- 1.NP</li> <li>- Výška sloupu po desku – 4950 mm</li> </ul>
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ze dvou stran sloupu ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>
Zjištěná výztuž	1 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 6</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 435 mm</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>
	2 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hlavní nosná výztuž <math>\varnothing 28</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>

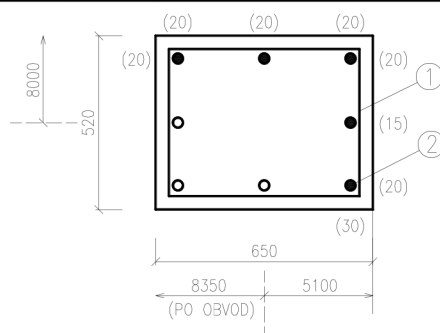


Obrázek 27 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A2 – sloup



Obrázek 28 Sonda A2 – sloup

Sonda A3		
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém sloupu</li> <li>- Sloup na větším rozpětí</li> <li>- 2.NP</li> <li>- Výška sloupu po desku – 3890 mm</li> </ul>	
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>	
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ze dvou stran sloupu ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>	
Zjištěná výztuž	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 7</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 370 mm</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hlavní nosná výztuž <math>\varnothing 32</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>

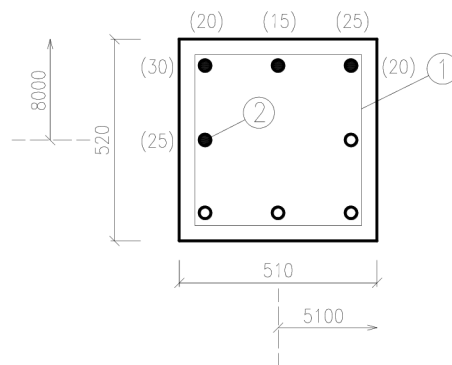


Obrázek 29 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A3 – sloup



Obrázek 30 Sonda A3 – sloup

Sonda A4	
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém sloupu</li> <li>- 2.NP</li> <li>- Výška sloupu po desku – 3890 mm</li> </ul>
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ze dvou stran sloupu ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>
Zjištěná výztuž	1 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 7</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 375 mm</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>
	2 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hlavní nosná výztuž <math>\varnothing 30</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>



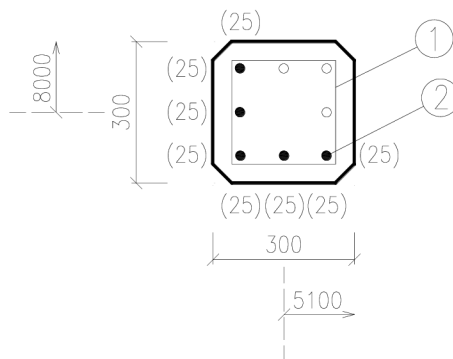
Obrázek 31 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A4 – sloup



Obrázek 32 Sonda A4 – sloup



Sonda A5	
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém sloupu</li> <li>- 4.NP</li> <li>- Výška sloupu po desku – 4550 mm</li> </ul>
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ze dvou stran sloupu ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>
Zjištěná výztuž	1 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 5,5</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 500 mm</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>
	2 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hlavní nosná výztuž <math>\varnothing 30</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> </ul>



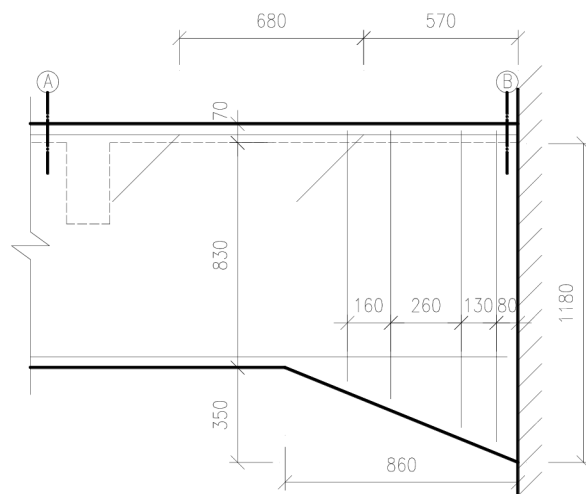
Obrázek 33 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A5 – sloup



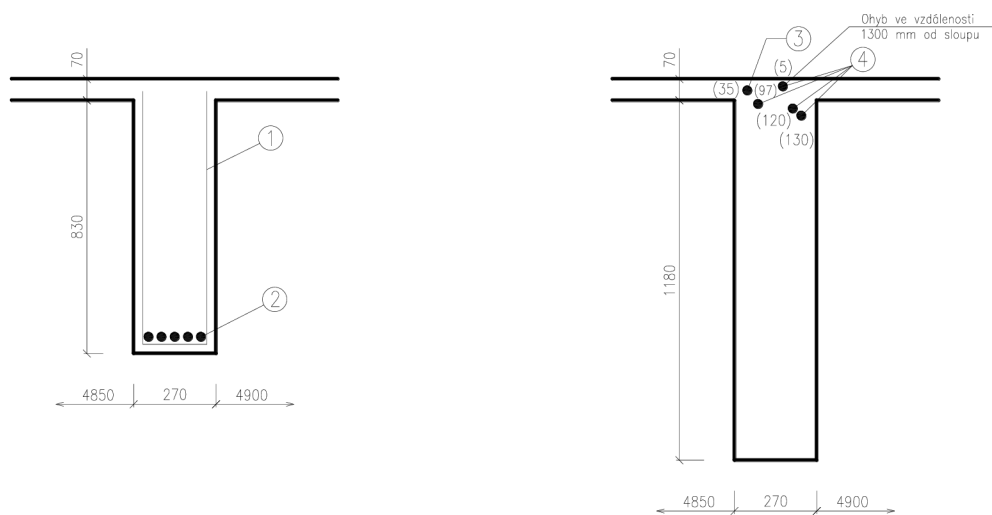
Obrázek 34 Sonda A5 – sloup



Sonda A6		
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém průvlaku</li> <li>- Krajní průvlak</li> <li>- 2.NP</li> </ul>	
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>	
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>	
Zjištěná výztuž	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 6</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 570 mm</li> <li>- V poli</li> </ul>
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spodní výztuž 5 <math>\varnothing 25</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí 40–80 mm</li> <li>- V polovině rozpětí</li> </ul>
	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horní výztuž <math>\varnothing 18</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> <li>- V místě vetknutí</li> </ul>
	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horní výztuž <math>\varnothing 25</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> <li>- V místě vetknutí</li> </ul>



Obrázek 35 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A6 – průvlak v místě vetknutí

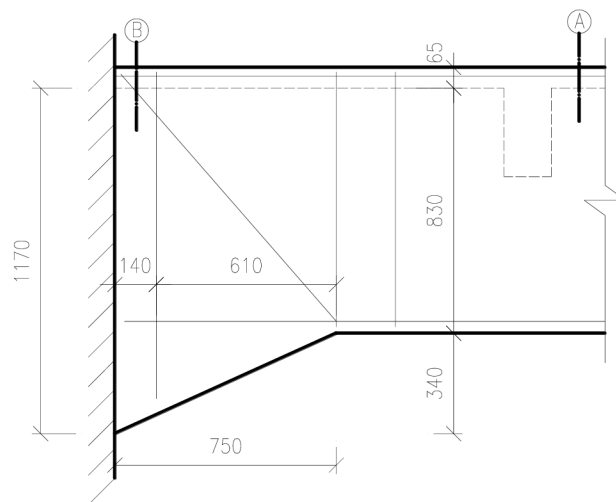


Obrázek 36 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A6 – průvlak, vlevo v polovině rozpětí, vpravo v místě vetknutí

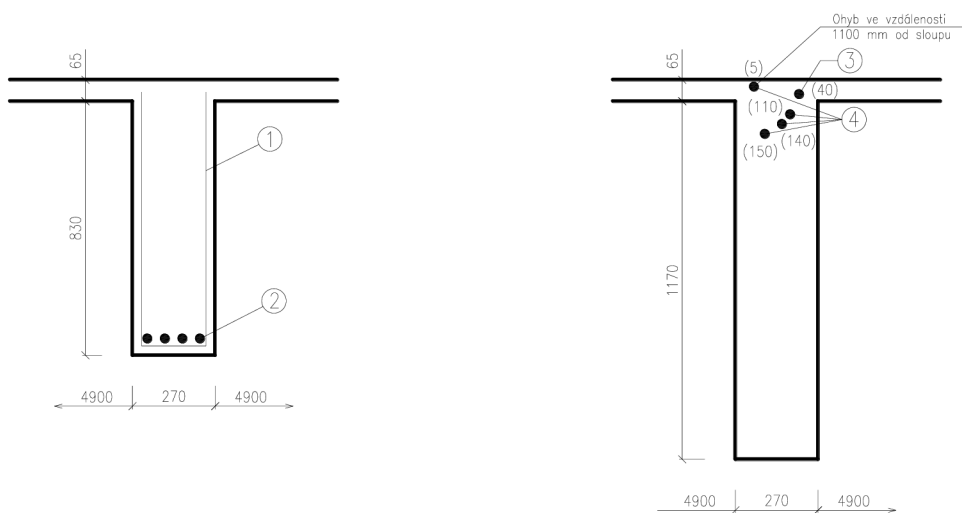


Obrázek 37 Sonda A6 – průvlak

Sonda A7		
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém průvlaku</li> <li>- Střední průvlak</li> <li>- 2.NP</li> </ul>	
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>	
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>	
Zjištěná výztuž	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 6</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 400 mm</li> <li>- V poli</li> </ul>
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spodní výztuž 4 <math>\varnothing 20</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí 30–45 mm</li> <li>- V polovině rozpětí</li> </ul>
	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horní výztuž <math>\varnothing 18</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> <li>- V místě vetknutí</li> </ul>
	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horní výztuž <math>\varnothing 25</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> <li>- V místě vetknutí</li> </ul>



Obrázek 38 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A7 – průvlak v místě vetknutí

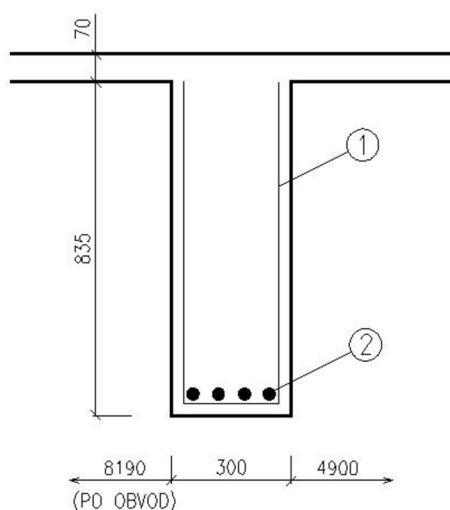


Obrázek 39 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A7 – průvlak, vlevo v polovině rozpětí, vpravo v místě vetknutí



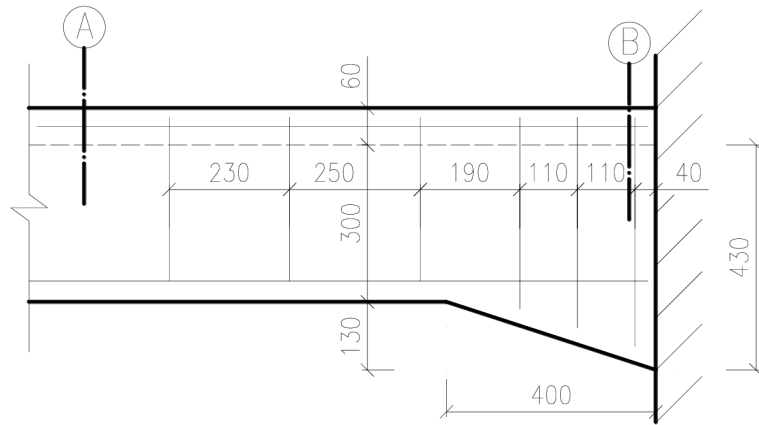
Obrázek 40 Sonda A7 – průvlak

Sonda A8		
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém průvlaku</li> <li>- Průvlak na větším rozpětí</li> <li>- 2.NP</li> </ul>	
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>	
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>	
Zjištěná výztuž	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 8</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 265 mm</li> <li>- Krytí viz schéma výztuže – čísla v závorkách</li> <li>- V poli</li> </ul>
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spodní výztuž 4 <math>\varnothing 24</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí 40–50 mm</li> <li>- V polovině rozpětí</li> </ul>

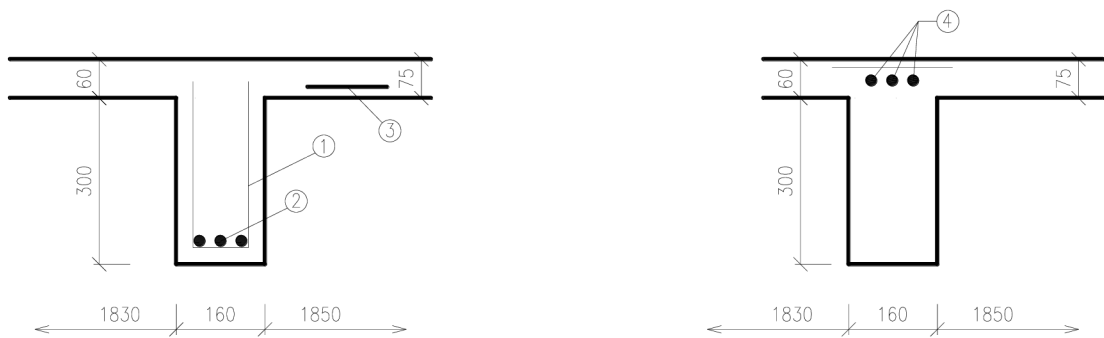


Obrázek 41 Vlevo schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A8 – průvlak (v polovině rozpětí), vpravo sonda A8 – průvlak

Sonda A9		
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém trámu</li> <li>- 2.NP</li> </ul>	
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>	
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>	
Zjištěná výztuž	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 6</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 700 mm</li> <li>- V poli</li> </ul>
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spodní výztuž <math>\varnothing 14</math> mm + 2 <math>\varnothing 16</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí 40–80 mm</li> <li>- V polovině rozpětí</li> </ul>
	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Výztuž <math>\varnothing 7</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi výztuží cca 115 mm</li> <li>- Krytí 15–35 mm</li> </ul>
	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horní výztuž 3 <math>\varnothing 16</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí 50–60 mm</li> <li>- V místě vetknutí</li> </ul>



Obrázek 42 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A9 – trám v místě vetknutí

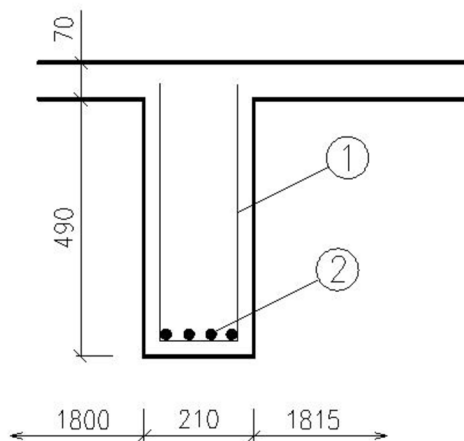


Obrázek 43 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A9 – trám, vlevo v polovině rozpětí, vpravo v místě vetknutí



Obrázek 44 Sonda A9 – trám

Sonda A10		
Popis sondy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda v železobetonovém trámu</li> <li>- Trám na větším rozpětí</li> <li>- 2.NP</li> </ul>	
Použité metody	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630</li> <li>- Sekaná sonda</li> </ul>	
Postup prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poloha veškeré výztuže zjištěna pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže</li> <li>- Poloha výztuže ověřena pomocí metody sekaných sond</li> </ul>	
Zjištěná výztuž	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Třmínek <math>\varnothing 6</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Vzdálenost mezi třmínky cca 630 mm</li> </ul>
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spodní výztuž 4 <math>\varnothing 24</math> mm</li> <li>- Hladká kruhová výztuž</li> <li>- Krytí 20–35 mm</li> <li>- V polovině rozpětí</li> </ul>



Obrázek 45 Vlevo schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A10 – trám (v polovině rozpětí), vpravo sonda A10 – trám



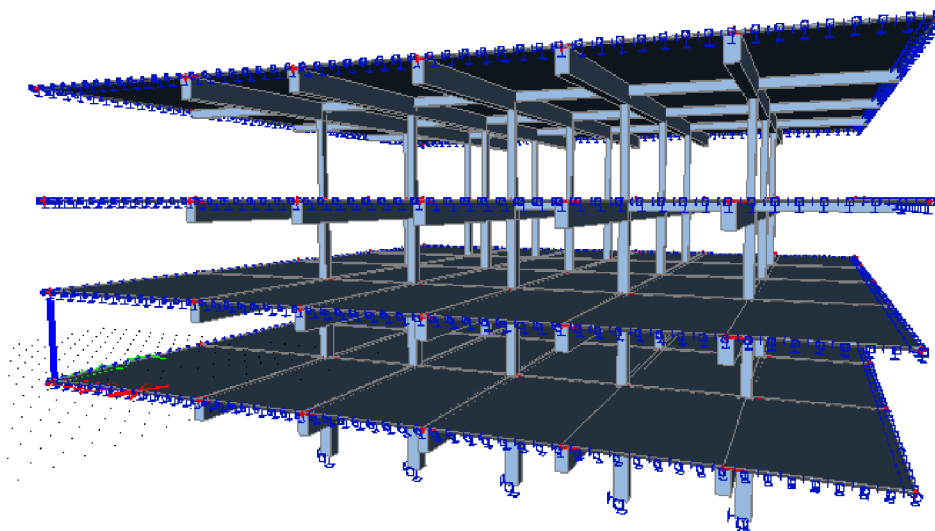
## 5 Statické posouzení vybraných prvků

Poslední částí této diplomové práce je posouzení vybraných prvků zkoumané konstrukce. Ve statickém posudku je řešeno ověření únosnosti železobetonového průvlastku (značení průvlastku dále jako P1) v polovině rozpětí. Byl vybrán nejvíce zatížený průvlastek, který je umístěn ve 3.NP. Dále bude posouzen železobetonový sloup (značení sloupu dále jako S1) umístěný ve 2.NP, na kterém byla provedena sonda A4.

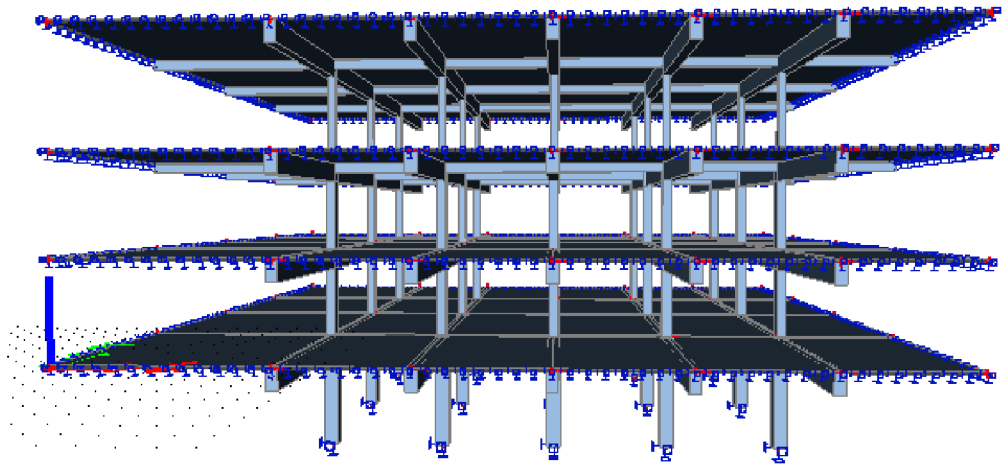
Při určování vstupních hodnot zatížení bylo uvažováno s rekonstrukcí budovy na kancelářské prostředí. Bylo počítáno s nově navrženou skladbou podlahy a byl zachován původní železobetonový skelet.

### 5.1 Model konstrukce

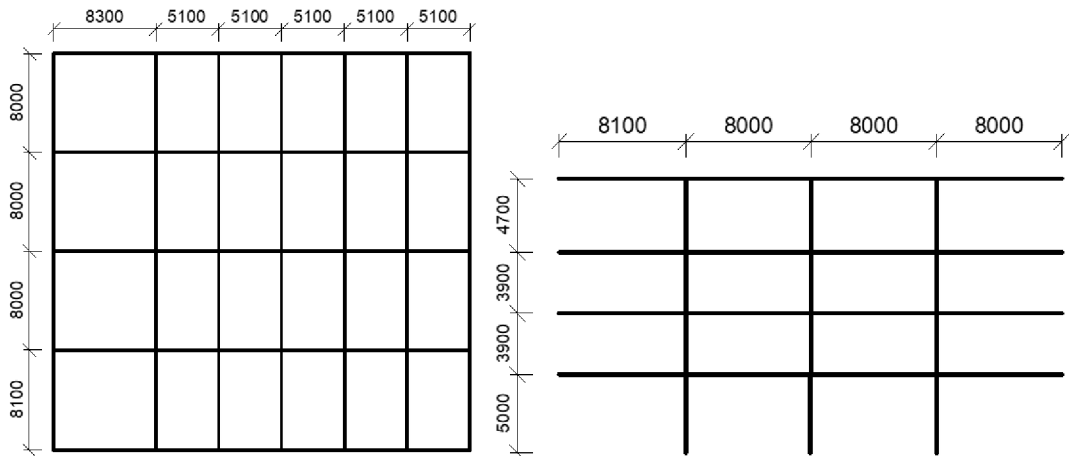
Pro výpočet zatížení byl sestaven zjednodušený model konstrukce v programu SCIA Engineer včetně působícího zatížení. Železobetonové sloupy jsou uvažovány jako vetknuté do základové desky, okraje desek jsou podporovány pomocí liniové podpory, jako náhrada za boční stěny. Ty do modelu nebyly umístěny z důvodu lepší přehlednosti v modelu a viditelnosti jeho vnitřních částí konstrukce. Model a veškeré potřebné výstupy z programu SCIA Engineer jsou viditelné na přiložených obrázcích níže.



Obrázek 46 Model konstrukce – pohled 1



Obrázek 47 Model konstrukce – pohled 2



Obrázek 48 Vlevo půdorys modelu konstrukce, vpravo řez modelu konstrukce

## 5.2 Stanovení zatížení

### Skladba běžného podlaží:

• Laminátová podlaha	0,045 kN/m <sup>2</sup>
• Tlumící podložka	0,004 kN/m <sup>2</sup>
• Betonová mazanina	1,25 kN/m <sup>2</sup>
• Pěnový polystyren	0,012 kN/m <sup>2</sup>
Celkem	1,311 kN/m <sup>2</sup>

### Skladba střechy:

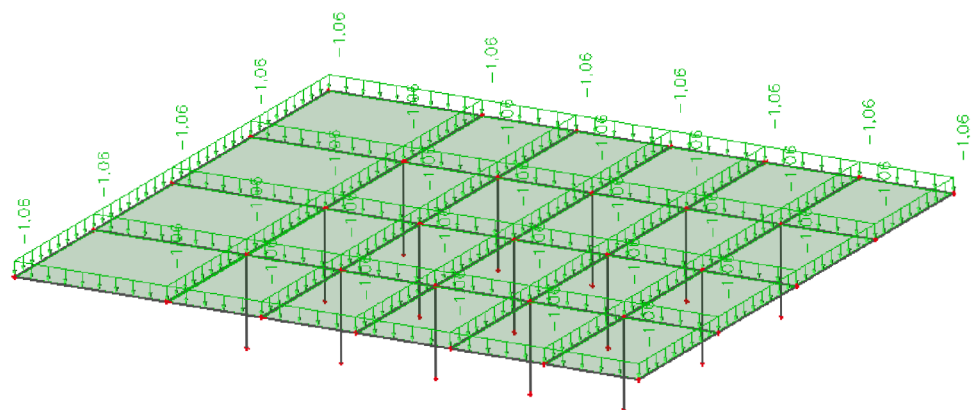
• Ochranné a filtr. textilie	0,03 kN/m <sup>2</sup>
• Hydroizolace	0,01 kN/m <sup>2</sup>
• Pěnový polystyren	0,28 kN/m <sup>2</sup>
• EPS 100	0,70 kN/m <sup>2</sup>
• Asfaltový pás	0,04 kN/m <sup>2</sup>
Celkem	1,06 kN/m <sup>2</sup>

Tabulka 20 Zatížení působící na model konstrukce

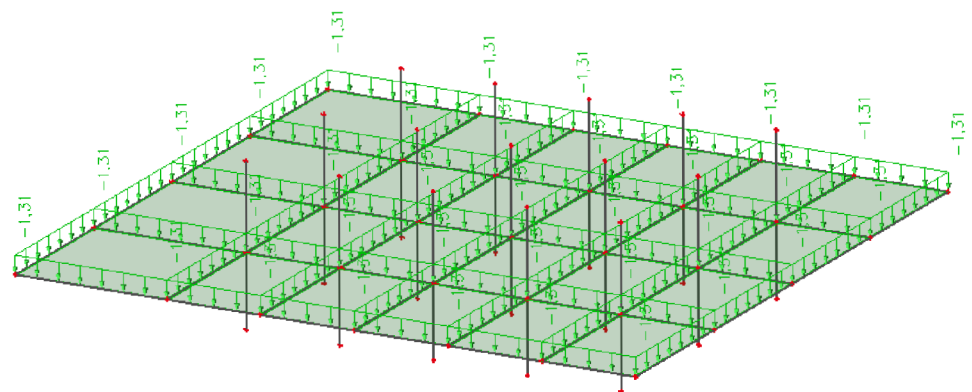
Zatížení		Zatěžovací stav	Hodnota [kN/m <sup>2</sup> ]
Stálé	Vlastní tíha konstrukce	ZS1	SCIA Engineer
Ostatní stálé	Skladba běžného podlaží	ZS2	2,371
	Skladba střechy		
Proměnné	Kat. B – kancelářské plochy	ZS3, ZS4, ZS5	2,5
	Sníh	ZS3, ZS4, ZS5	0,8

ZS1, tedy **vlastní tíha**, je programem SCIA Engineer vyhodnocována automaticky. Z důvodu větší přehlednosti v modelu jsou další zatěžovací stavy (ZS2 – ZS5) zobrazeny po jednotlivých patrech, viz následující obrázky.

### ZS2 – Ostatní stálé zatížení

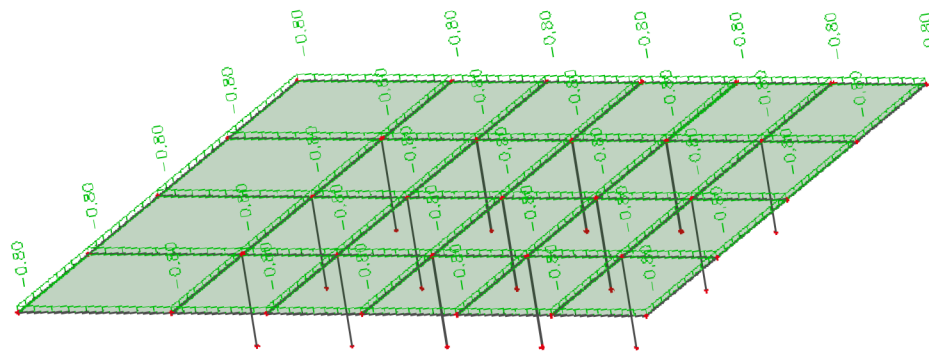


Obrázek 49 ZS2 – Ostatní stálé zatížení – střešní konstrukce

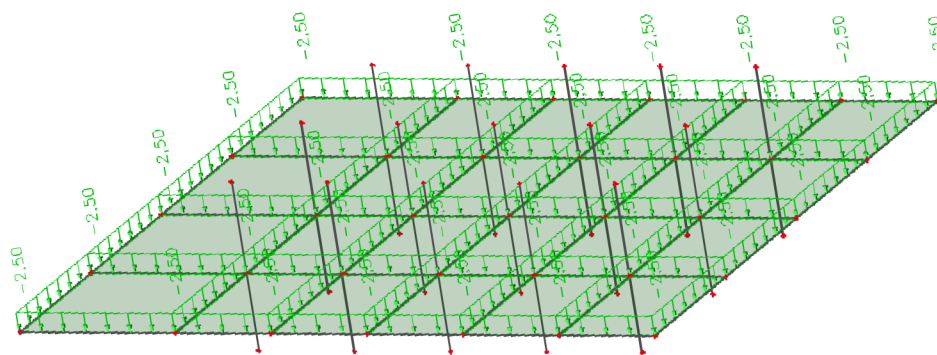


Obrázek 50 ZS2 – Ostatní stálé zatížení – běžné podlaží (podlaha ve 2.NP – 4.NP)

ZS3 – Proměnné zatížení plné

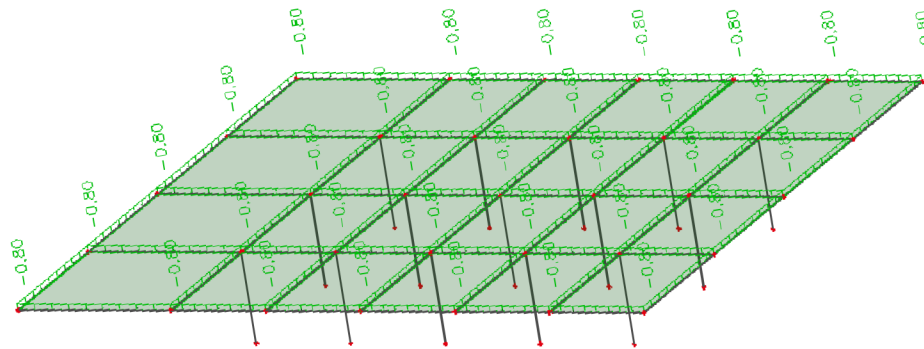


Obrázek 51 ZS3 – Proměnné zatížení plné – střešní konstrukce

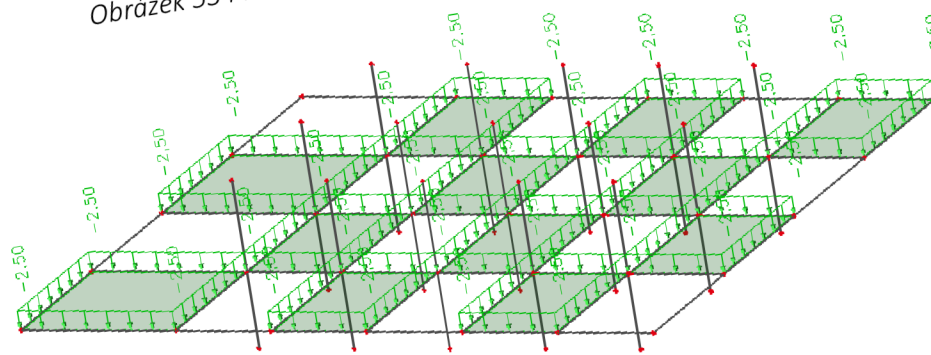


Obrázek 52 ZS3 – Proměnné zatížení plné – běžné podlaží (podlaha ve 2.NP - 4.NP)

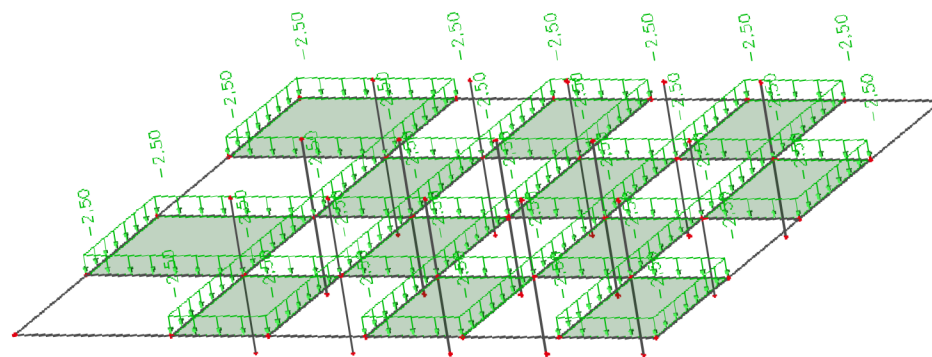
ZS4 – Proměnné zatížení – šach 1



Obrázek 53 Proměnné zatížení šach 1 – střešní konstrukce

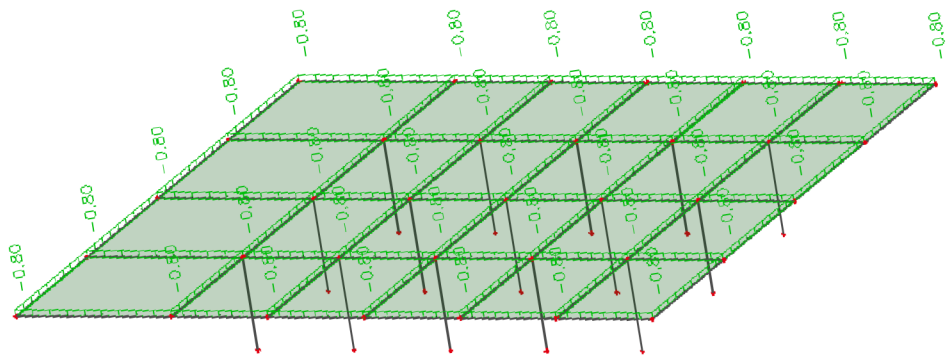


Obrázek 54 Proměnné zatížení šach 1–2.NP a 4.NP

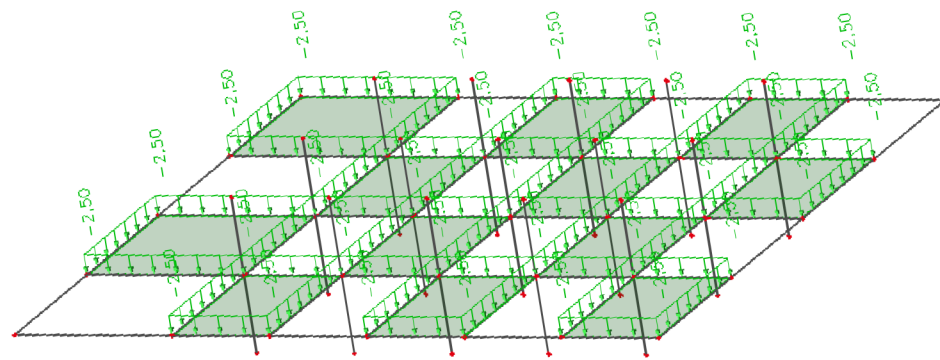


Obrázek 55 Proměnné zatížení šach 1–3.NP

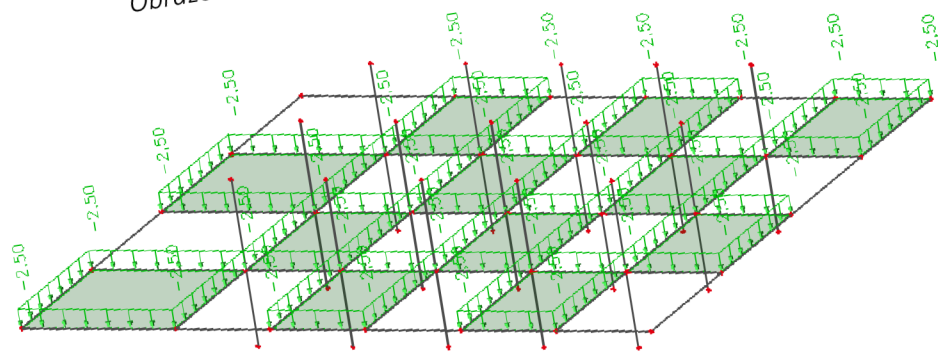
ZS5 – Proměnné – šach 2



Obrázek 56 Proměnné zatížení šach 2 – střešní konstrukce



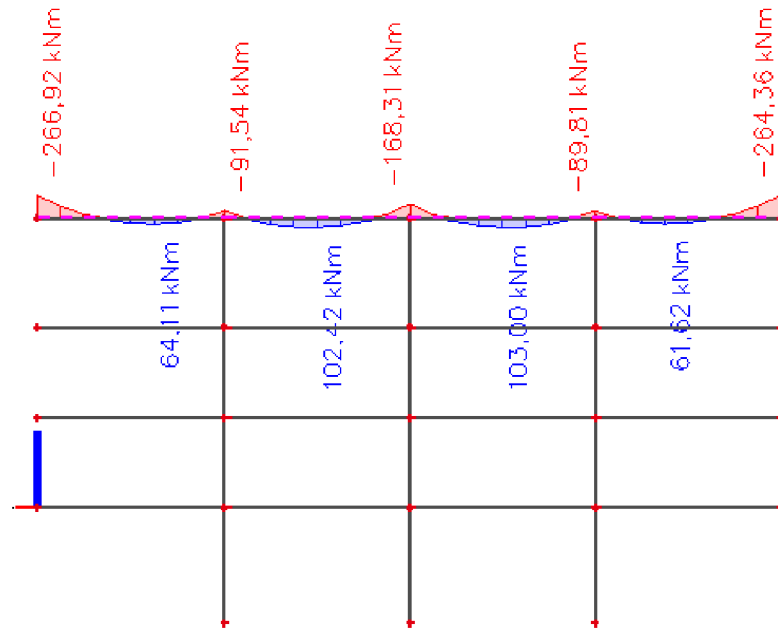
Obrázek 57 Proměnné zatížení šach 2–2.NP a 4.NP



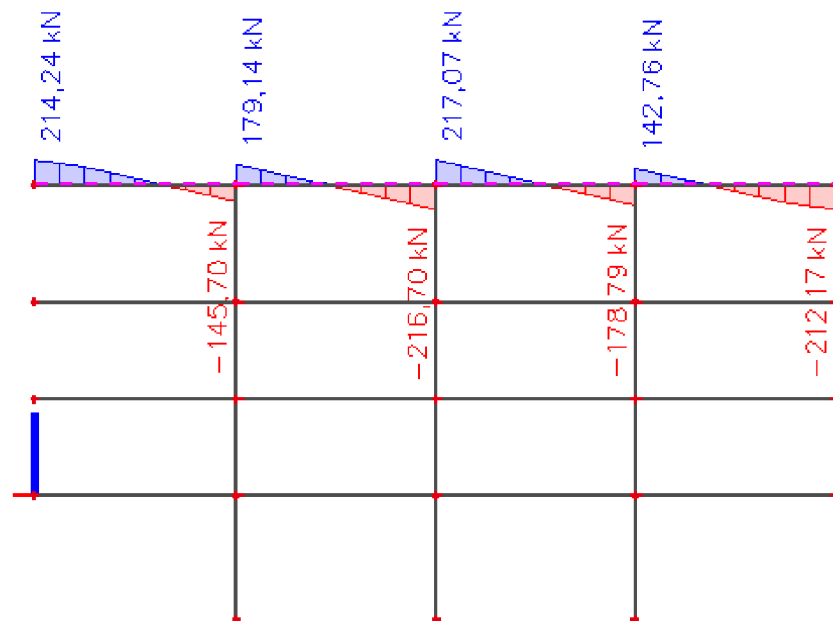
Obrázek 58 Proměnné zatížení šach 2–3.NP

### 5.3 Zobrazení výsledků

Z důvodu větší přehlednosti jsou výsledky posouvajících sil a ohybových momentů zobrazeny po jednotlivých patrech, viz následující obrázky.

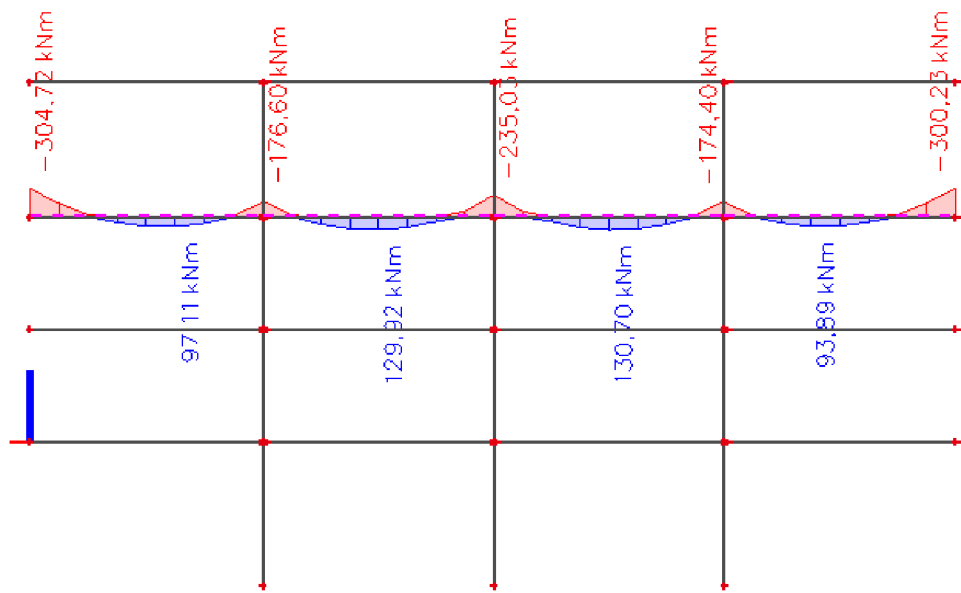


Obrázek 59 Střešní konstrukce – ohybové momenty

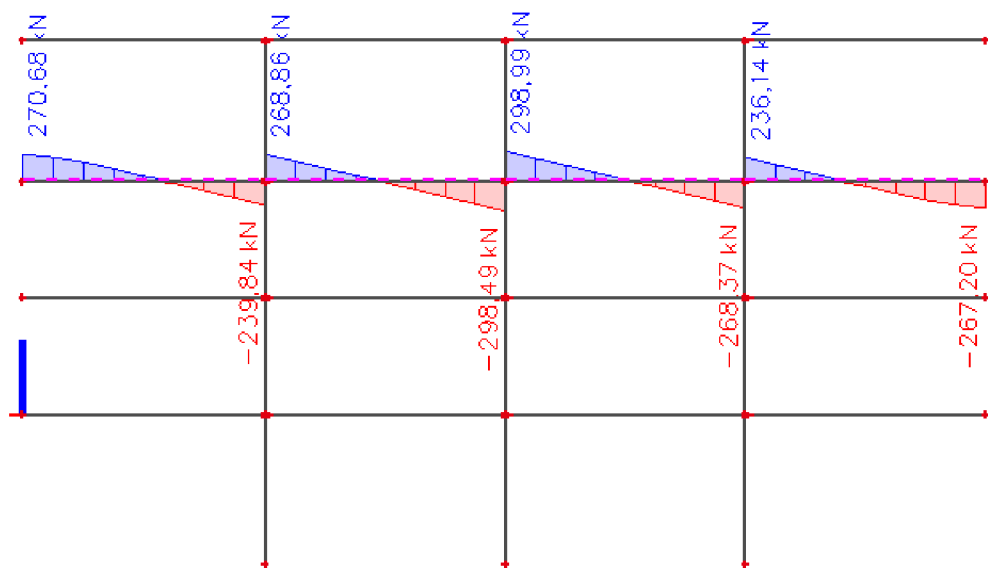


Obrázek 60 Střešní konstrukce – posouvající síly

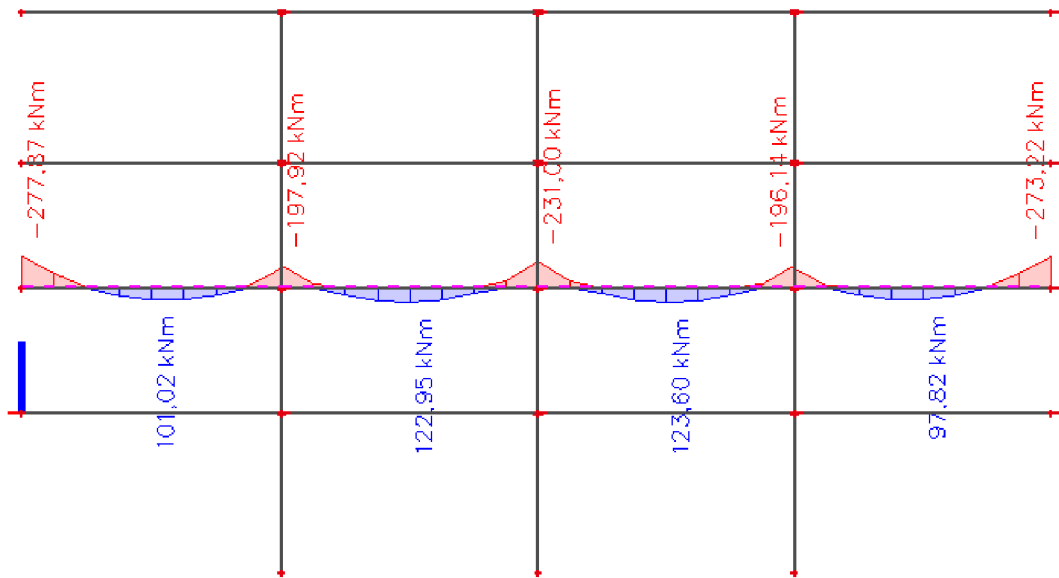




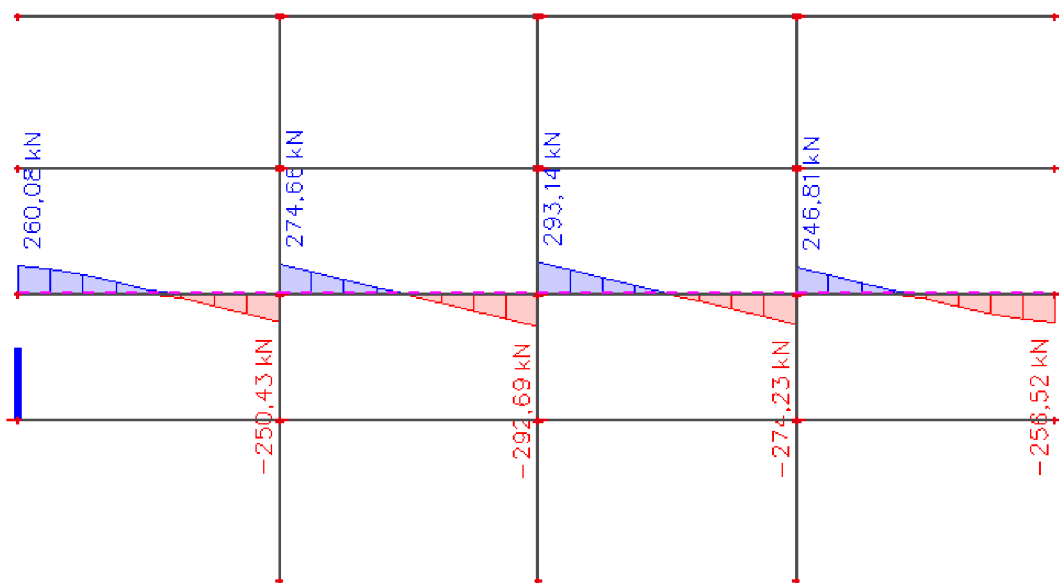
Obrázek 61 Podlaha ve 4.NP – ohybové momenty



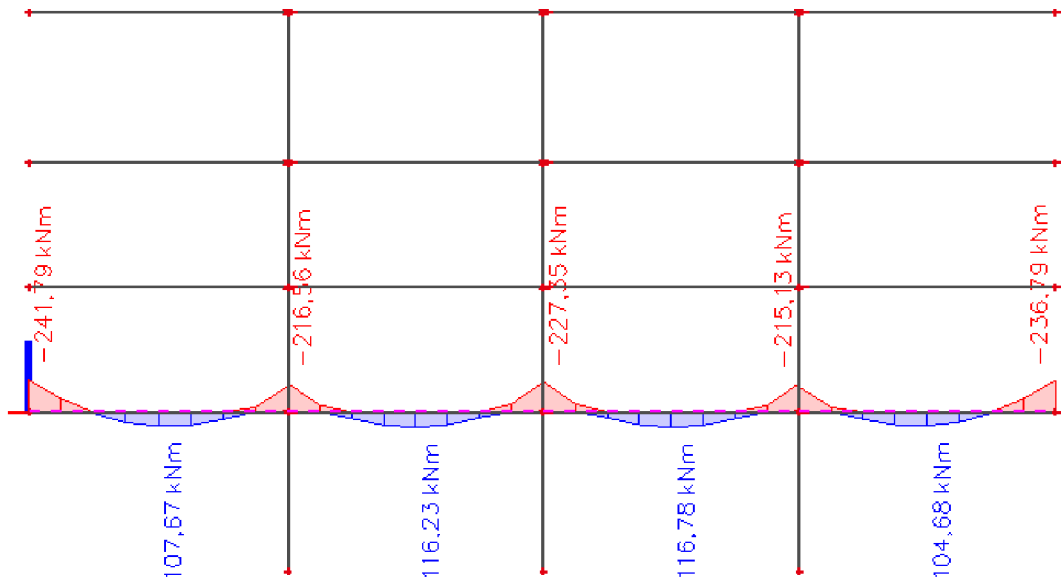
Obrázek 62 Podlaha ve 4.NP – posouvající síly



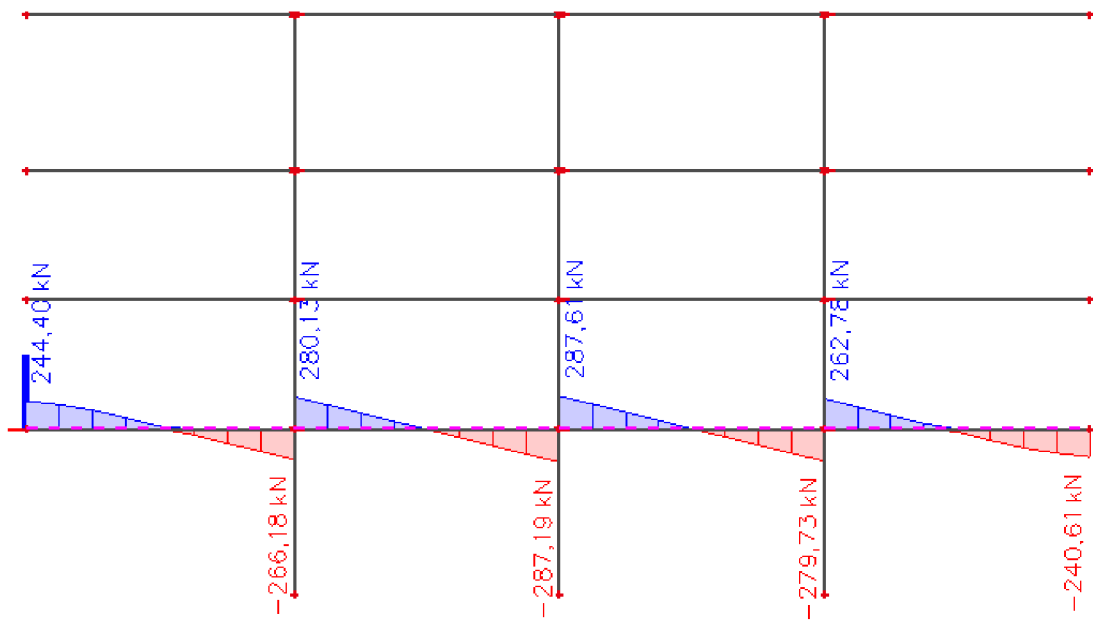
Obrázek 63 Podlaha ve 3.NP – ohybové momenty



Obrázek 64 Podlaha ve 3.NP – posouvající síly



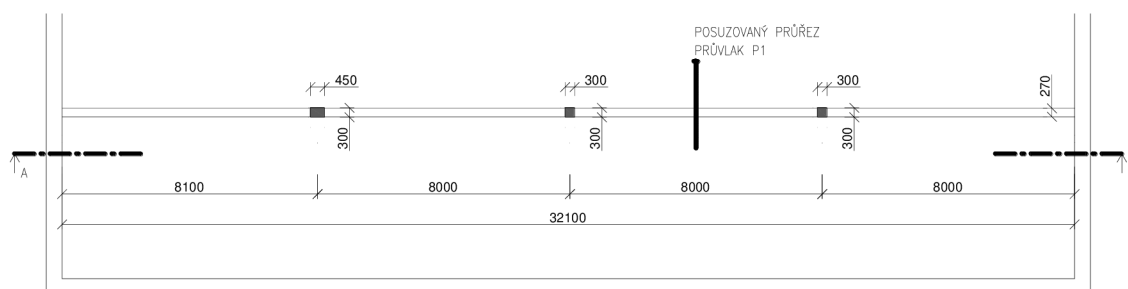
Obrázek 65 Podlaha ve 2.NP – ohybové momenty



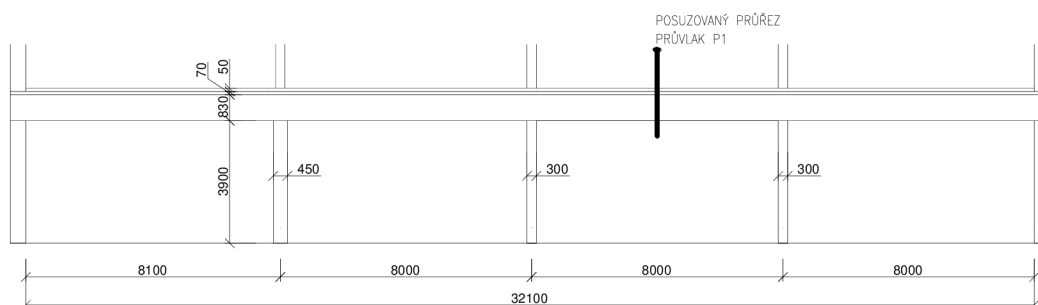
Obrázek 66 Podlaha ve 2.NP – posouvající síly

## 5.4 Posouzení průvlaku P1

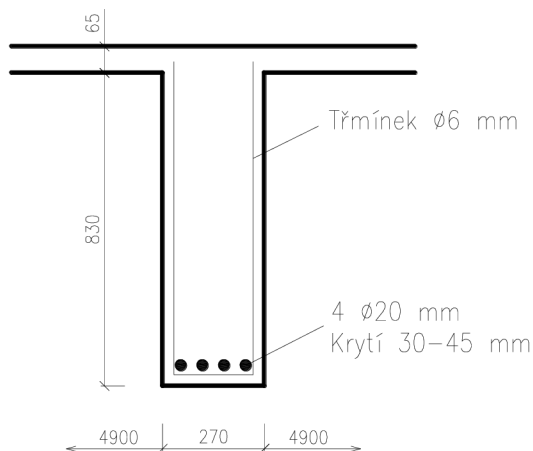
Průvlak P1 je v konstrukci řešen jako spojitý nosník o čtyřech polích. Je podporován celkem třemi sloupy o rozměrech 300x300 mm, a osových vzdálenostech 8000 mm. Výjimkou je levé krajní pole, kde je osová vzdálenost 8100 mm a rozměr krajního sloupu je 300x450 mm. Na obou koncích je průvlak uložen do obvodové zdi objektu. Umístění jednotlivých částí, rozměry, vyztužení průvlaku a další potřebné informace jsou zobrazeny na schématu níže.



Obrázek 67 Schematický výkres půdorysu průvlaku P1



Obrázek 68 Schematický výkres řezu A-A průvlaku P1



Obrázek 69 Schematický výkres vyztužení průvlaku P1

## 5.4.1 Materiálové charakteristiky

### Beton C16/20

$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$	... Charakteristická pevnost v tlaku
$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 16/1,5 = 10,67 \text{ MPa}$	... Návrhová pevnost v tlaku
$f_{ctm} = 1,9 \text{ MPa}$	... Střední hodnota pevnosti v tahu
$f_{cm} = 24 \text{ MPa}$	... Střední hodnota pevnosti v tlaku
$E_{cm} = 29 \text{ GPa}$	... Střední hodnota modulu pružnosti
$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$	... Mezní poměrné přetvoření betonu

### Betonářská výztuž 10 372 – jedná se o odhad pro možnost výpočtu

$f_{yk} = 230 \text{ MPa}$	... Charakteristická mez kluzu oceli
$f_{yd} = f_{ck}/\gamma_c = 230/1,15 = 200 \text{ MPa}$	... Návrhová mez kluzu oceli
$E_s = 210 \text{ GPa}$	... Modul pružnosti oceli

## 5.4.2 Posouzení průvlaku P1 na ohyb

### 5.4.2.1 Vstupní hodnoty

$$\lambda = 0,8$$

$$A_{s1} = 1,257 \text{ mm}^2$$

$$b = 0,27 \text{ m}$$

$$h = 0,83 \text{ m}$$

$$y_{t,výztuž} = 0,135 \text{ m}$$

$$z_{t,výztuž} = 0,0375 \text{ m}$$

### 5.4.2.2 Výpočet ohybového momentu $M_{Rd}$

$$M_{Ed} = 130,70 \text{ kNm}$$

$$\text{Posudek: } M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$\text{Výpočet } M_{Rd}: M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_y \cdot z$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1,257 \cdot 200 = 251,40 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = F_{cc}$$

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1,257 \cdot 200}{0,8 \cdot 0,27 \cdot 10,67 \cdot 10^3} = 0,109 \text{ m}$$

$$x_c = x \cdot \lambda = 0,109 \cdot 0,8 = 0,0872 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,83 - 0,0375 = 0,7925 \text{ m}$$

$$z = d - a_c = d - \frac{x_c}{2} = 0,7925 - \frac{0,0872}{2} = 0,7489 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_y \cdot z = 1,257 \cdot 200 \cdot 0,7489 = 188,27 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \rightarrow 130,70 \text{ kNm} < 188,27 \text{ kNm} \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

### 5.4.2.3 Konstrukční zásady

$$\text{Posudek 1: } A_{s,min} \leq A_s$$

$$\text{Posudek 2: } A_{s,max} \geq A_s$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{1,9}{230} \cdot 0,27 \cdot 0,7925 = 4,6 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Posudek 1: } A_{s,min} \leq A_s \rightarrow 0,00046 \text{ m}^2 < 0,001257 \text{ m}^2 \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

$$A_{s,min} > 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 0,27 \cdot 0,7925 = 2,78 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Posudek 1: } A_{s,min} \leq A_s \rightarrow 0,000278 \text{ m}^2 < 0,001257 \text{ m}^2 \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,27 \cdot 0,83 = 8,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Posudek 2: } A_{s,max} \geq A_s \rightarrow 0,00896 \text{ m}^2 > 0,001257 \text{ m}^2 \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

$$0,00046 \text{ m}^2 (0,000278 \text{ m}^2) < 0,001257 \text{ m}^2 < 0,00896 \text{ m}^2 \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

### 5.4.3 Posouzení průvlaku P1 na smyk

#### 5.4.3.1 Vstupní hodnoty

$$\alpha_{cw} = 1$$

$$d = 0,7925 \text{ m}$$

$$b_w = 0,27 \text{ m}$$

$$\cot(\theta) = 1$$

$$\operatorname{tg}(\theta) = 1$$

#### 5.4.3.2 Výpočet posouvající síly $V_{Rd}$

$$V_{Ed} = 298,99 \text{ kN}$$

$$\text{Posudek: } V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$\text{Výpočet } V_{Rd}: V_{Rd} = \min(V_{Rd,max}; V_{Rd,s})$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{16}{250}\right) = 0,562$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,7925 = 0,713 \text{ m}$$

$$A_{sw} = 4 \cdot (\pi \cdot r^2) = 4 \cdot (\pi \cdot 0,003^2) = 0,000113 \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \operatorname{tg}(\theta)} = \frac{1 \cdot 0,27 \cdot 0,713 \cdot 0,562 \cdot 10,67 \cdot 10^3}{1 + 1} = 577,20 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta) = \frac{0,000113}{0,4} \cdot 0,713 \cdot 200 \cdot 1 \cdot 10^3 = 46,345 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,max}; V_{Rd,s}) = \min(577,20; 46,345) = 46,345 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \rightarrow 298,99 \text{ kN} > 46,345 \text{ kN} \times \text{NEVYHOVUJE}$$

### 5.4.3.3 Konstrukční zásady

*Podélná vzdálenost:*

$$s = 0,4 \text{ m}$$

$$s_{max} \leq 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot 0,7925 \cdot (1 + 0) = 0,594 \text{ m}$$

$$s_{max} \geq s \rightarrow 0,594 \text{ m} > 0,400 \text{ m} \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

*Příčná vzdálenost:*

$$s_t = 0,21 \text{ m}$$

$$s_{t,max} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,7925 = 0,594 \text{ m}$$

$$s_{t,max} \geq s_t \rightarrow 0,594 \text{ m} > 0,210 \text{ m} \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} = \frac{0,000113}{0,4 \cdot 0,27} = 0,00209$$

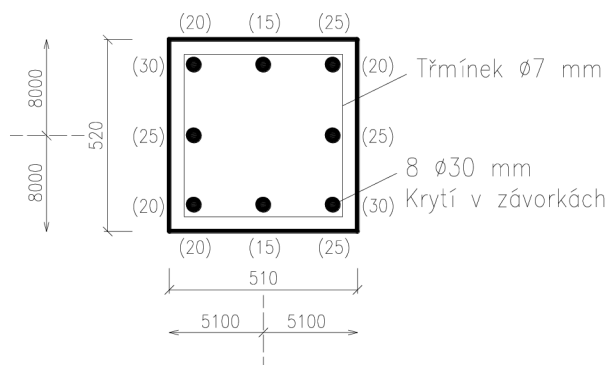
$$\rho_{min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{16}}{230} = 0,00139$$

$$\rho_{min} \leq \rho_w \rightarrow 0,00139 < 0,00209 \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$



## 5.5 Posouzení sloupu S1

Sloup S1 je železobetonový sloup o rozměrech 510x520 mm, nacházející se ve 2.NP zkoumaného objektu. Na tomto sloupu byla provedena sonda A4 pro zjištění jeho vyztužení. Sloup S1 nám ve druhém patře slouží jako jedna ze tří mezilehlých podpor železobetonového průvlastku. Rozměry sloupu a další potřebné informace jsou znázorněny na schématu níže.



Obrázek 70 Schematický výkres zjištěné výztuže sloupu S1

### 5.5.1 Materiálové charakteristiky

#### Beton C16/20

$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$	... Charakteristická pevnost v tlaku
$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 16/1,5 = 10,67 \text{ MPa}$	... Návrhová pevnost v tlaku
$f_{ctm} = 1,9 \text{ MPa}$	... Střední hodnota pevnosti v tahu
$f_{cm} = 24 \text{ MPa}$	... Střední hodnota pevnosti v tlaku
$E_{cm} = 29 \text{ GPa}$	... Střední hodnota modulu pružnosti
$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$	... Mezní poměrné přetvoření betonu

#### Betonářská výztuž 10 372 – jedná se o odhad pro možnost výpočtu

$f_{yk} = 230 \text{ MPa}$	... Charakteristická mez kluzu výztuže
$f_{yd} = f_{ck}/\gamma_c = 230/1,15 = 200 \text{ MPa}$	... Návrhová mez kluzu výztuže
$E_s = 210 \text{ GPa}$	... Modul pružnosti oceli

## 5.5.2 Výpočet bodů iteračního diagramu

### 5.5.2.1 Vstupní hodnoty

$$b = 510 \text{ mm}$$

$$h = 520 \text{ mm}$$

$$A_c = b \cdot h = 0,51 \cdot 0,52 = 0,2652 \text{ m}^2$$

$$\sigma_s = 180 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c2} = 2 \text{ ‰}$$

#### **Spodní výztuž**

$$3 \text{ } \varnothing 30 \text{ mm}$$

$$C_{s,1} = (20+15+25) / 3 = 20 \text{ mm}$$

$$A_{st,1} = 2,12 \cdot 10^{-3}$$

$$d_1 = 3 \cdot (c_s + \varnothing/3) = 3 \cdot (0,02+0,03/3) = 0,09 \text{ m}$$

#### **Horní výztuž**

$$3 \text{ } \varnothing 30 \text{ mm}$$

$$C_{s,2} = (20+15+25) / 3 = 20 \text{ mm}$$

$$A_{st,2} = 2,12 \cdot 10^{-3}$$

$$d_2 = 3 \cdot (c_s + \varnothing/3) = 3 \cdot (0,02+0,03/3) = 0,09 \text{ m}$$

### 5.5.2.2 Bod 0

$$x = h = 0,52 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{c2} = \varepsilon_{s,1} = \varepsilon_{s,2} = 2,0 \text{ ‰}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \min(f_{yd}; E_s \cdot \varepsilon_s) = \min(200; 210 \cdot 2) = \min(200; 420) = 200 \text{ MPa}$$

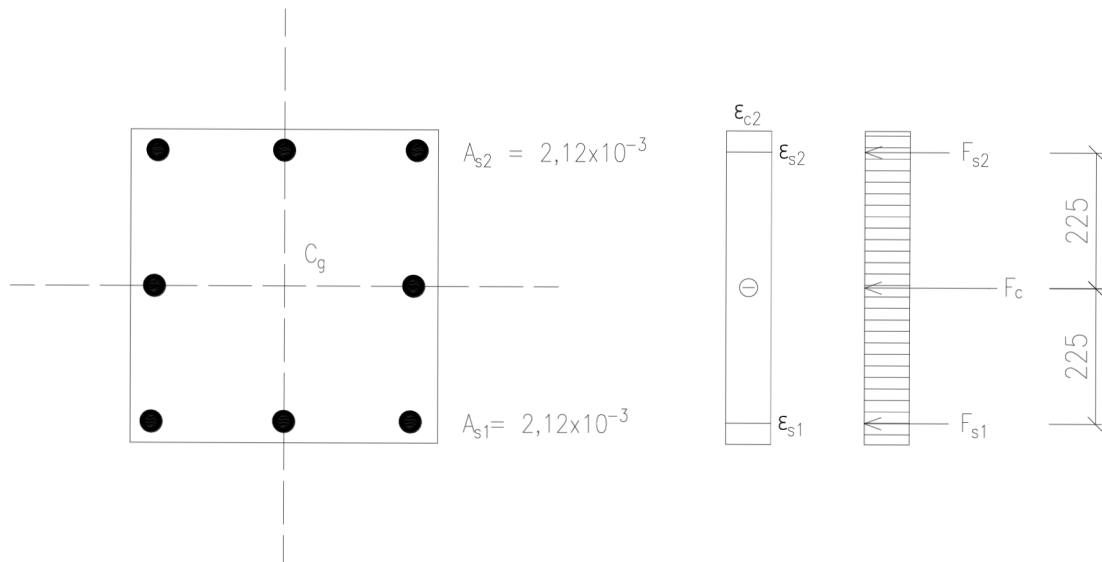
$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_c = A_c \cdot f_{cd} = 0,2652 \cdot 10,67 \cdot 10^3 = 2829,684 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = -F_{s1} - F_{s2} - F_c = -424 - 424 - 2829,684 = \mathbf{-3677,684 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,0} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} = 2829,684 \cdot 0 + 424 \cdot 0,26 - 424 \cdot 0,26 = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$



Obrázek 71 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 0

### 5.5.2.3 Bod 1

$$x = d = h - d_1 = 0,52 - 0,09 = 0,43 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s1} = 0 \text{ ‰} \rightarrow \sigma_{s1} = 0 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{200 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3} = 0,95 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (x - d_2) = \frac{3,5}{0,43} \cdot (0,43 - 0,09) = 2,767 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = 2,767 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 0,95 \text{ ‰} \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

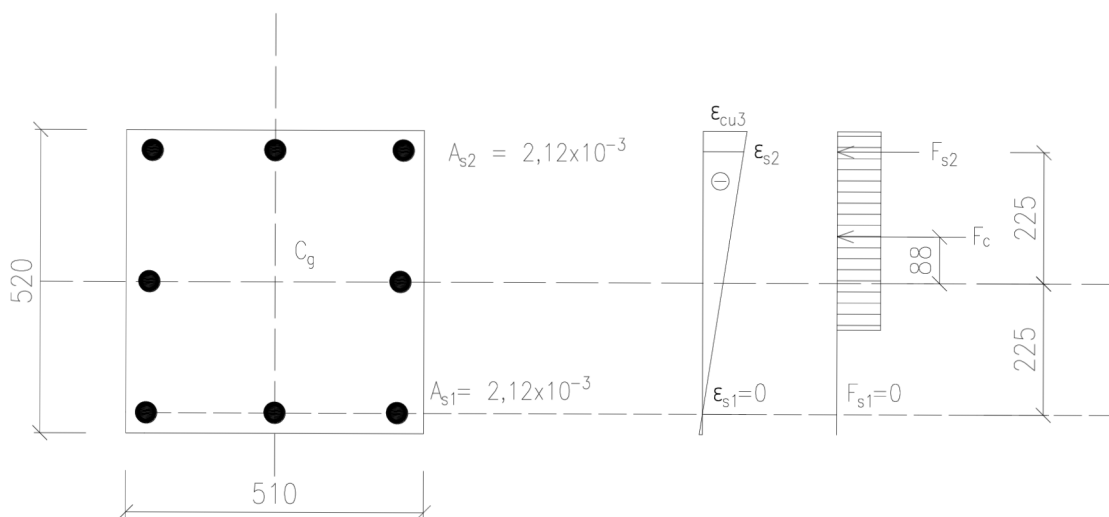
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot \sigma_c = 0,51 \cdot 0,8 \cdot 0,43 \cdot 10,67 \cdot 10^3 = 2089,61 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x}{2} = \frac{0,52}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,43}{2} = 0,088 \text{ m}$$

$$N_{Rd,1} = -F_c - F_{s2} = -2089,61 - 424,0 = \mathbf{-2513,61 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,1} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} = 2089,61 \cdot 0,088 + 424 \cdot 0,225 = \mathbf{279,32 \text{ kNm}}$$



Obrázek 72 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 1

### 5.5.2.4 Bod 2

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 0,95 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$x = x_{bal1}$$

$$x_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{s1}} \cdot d = \frac{3,5}{3,5 + 0,95} \cdot 0,43 = 0,338 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x_{bal1}} \cdot (x_{bal1} - d_2) = \frac{3,5}{0,338} \cdot (0,338 - 0,09) = 2,56 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = 2,56 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 0,95 \text{ ‰} \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

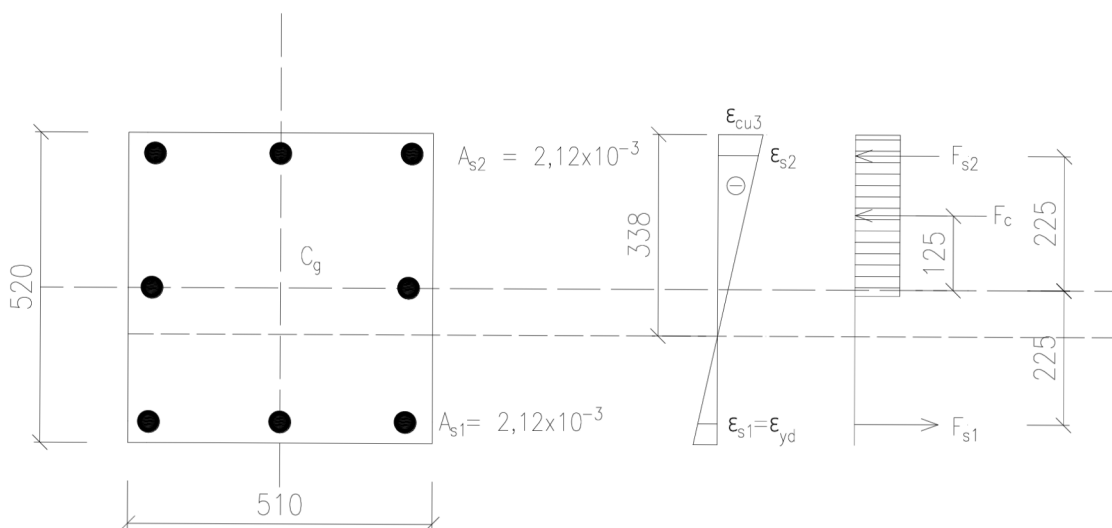
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal1} \cdot \sigma_c = 0,51 \cdot 0,8 \cdot 0,338 \cdot 10,67 \cdot 10^3 = 1471,44 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x_{bal1}}{2} = \frac{0,52}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,338}{2} = 0,125 \text{ m}$$

$$N_{Rd,2} = -F_c - F_{s2} - F_{s1} = -1471,44 - 424 - 424 = -2319,44 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = 1471,44 \cdot 0,125 + 2 \cdot 424 \cdot 0,225 = 374,73 \text{ kNm}$$



Obrázek 73 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 2

### 5.5.2.5 Bod Z

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = 0,95 \text{ ‰}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$x = x_{bal2}$$

$$x_{bal2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{s2}} \cdot d_2 = \frac{3,5}{3,5 - 0,95} \cdot 0,09 = 0,124 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x_{bal2}} \cdot (d - x_{bal2}) = \frac{3,5}{0,124} \cdot (0,43 - 0,124) = 8,64 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = 8,64 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 0,95 \text{ ‰} \rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

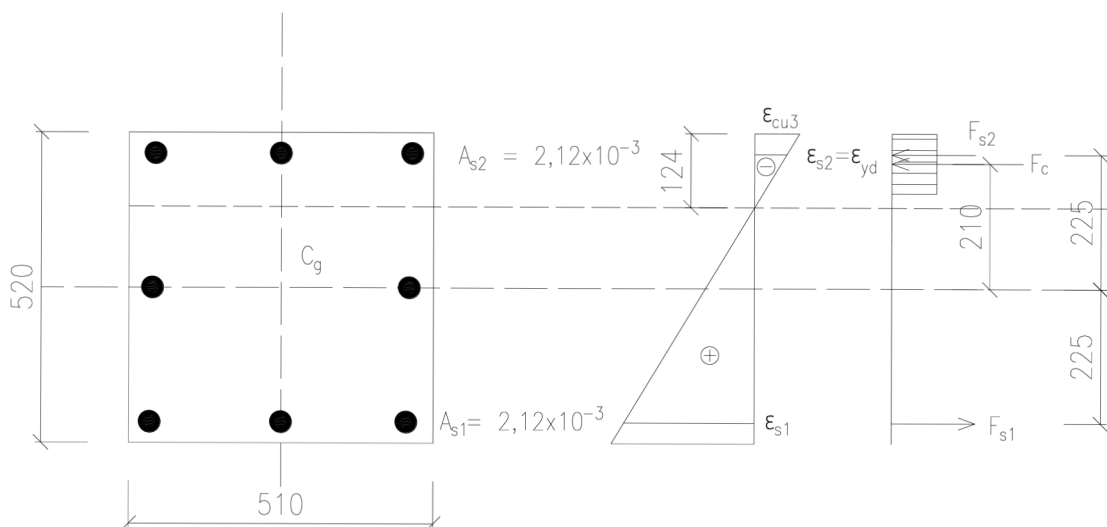
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal2} \cdot \sigma_c = 0,51 \cdot 0,8 \cdot 0,124 \cdot 10,67 \cdot 10^3 = 539,82 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x_{bal2}}{2} = \frac{0,52}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,124}{2} = 0,21 \text{ m}$$

$$N_{Rd,z} = -F_c - F_{s2} + F_{s1} = -539,82 - 424 + 424 = -539,82 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,z} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = 539,82 \cdot 0,21 + 2 \cdot 424 \cdot 0,225 = 304,16 \text{ kNm}$$



Obrázek 74 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě Z

### 5.5.2.6 Bod 3

$$\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{yd} \rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot \sigma_c = 0,51 \cdot 0,8 \cdot x \cdot 10,67 \cdot 10^3 = 4353,36 \cdot x$$

*Předpoklad:*  $N_{Rd,3} = 0 \text{ kN}$

$$N_{Rd,3} = F_{s1} - F_c \rightarrow 424 - 4353,36 \cdot x = 0 \rightarrow x = 0,097 \text{ m}$$

*Ověření předpokladu:*

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5}{0,097} \cdot (0,43 - 0,097) = 12,02 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = 12,02 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 0,95 \text{ ‰} \rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd} = 200 \text{ MPa} \rightarrow \text{Předpoklad platí}$$

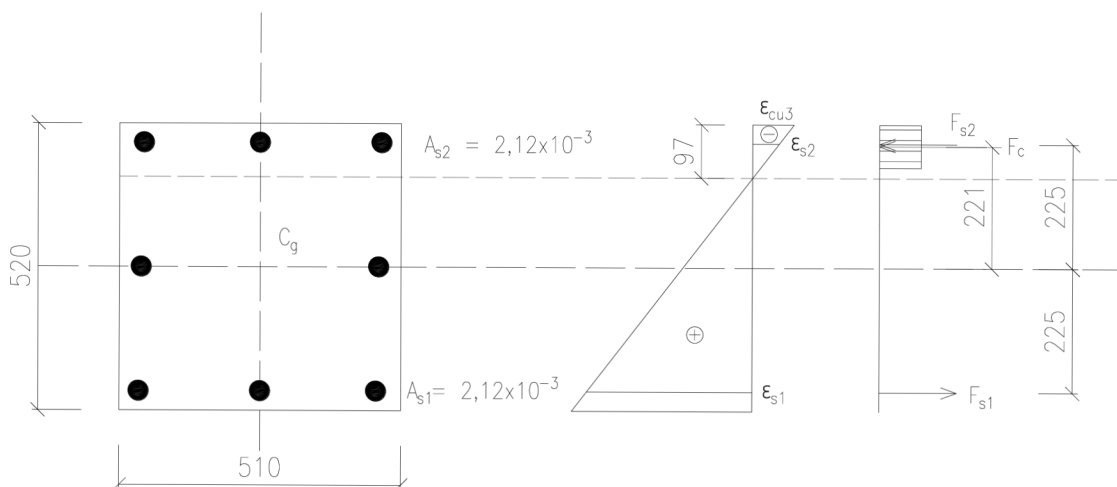
$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot \sigma_c = 0,51 \cdot 0,8 \cdot 0,097 \cdot 10,67 \cdot 10^3 = 422,28 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x}{2} = \frac{0,52}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,097}{2} = 0,221 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_{s1} = -422,28 + 424 = \mathbf{1,72 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,3} = F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} = 422,28 \cdot 0,221 + 424 \cdot 0,225 = \mathbf{188,72 \text{ kNm}}$$



Obrázek 75 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 3

### 5.5.2.7 Bod 4

*Ve spodní výztuži je dosaženo mezního přetvoření  $\varepsilon_{ud}$  nebo meze kluzu.*

*V tlačené části průřezu přetvoření nedosahuje mezních hodnot.*

$$\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{yd} \rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{s2} \approx 0 \rightarrow \sigma_{s2} = 0 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = \mathbf{424,0 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,3} = F_{s1} \cdot z_{s1} = 424 \cdot 0,225 = \mathbf{95,4 \text{ kNm}}$$

### 5.5.2.8 Bod 5

*V průřezu je v celé ploše dosaženo mezního přetvoření většího, než mez kluzu.*

*Průřez je plně tažen.*

$$\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{yd} \rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd} \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 200 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

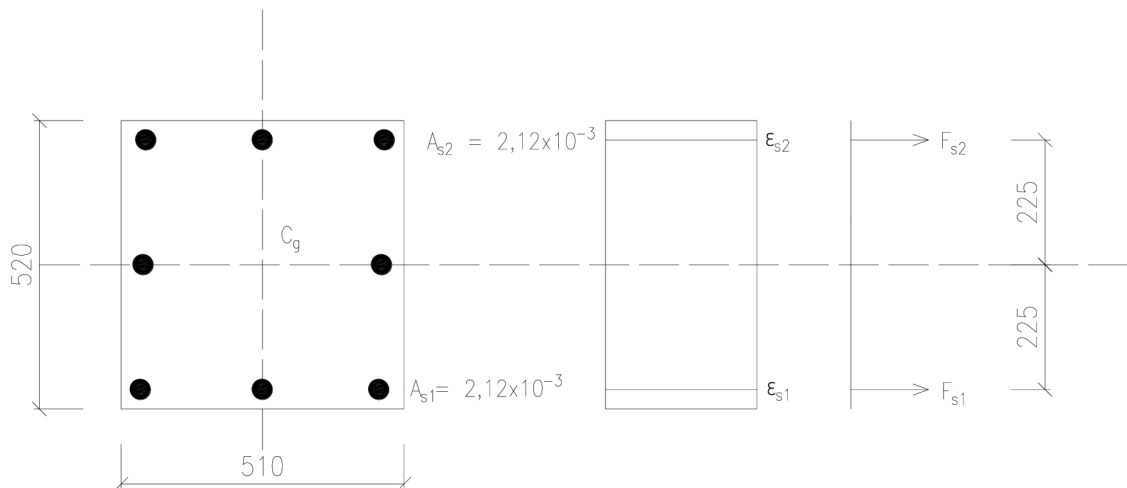
$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 2,12 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^3 = 424,0 \text{ kN}$$

$$F_c = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,4} = F_{s2} + F_{s1} = 424 + 424 = \mathbf{848,0 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,3} = -F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s2} = -424 \cdot 0,225 + 424 \cdot 0,225 = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$





Obrázek 76 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 5

### 5.5.2.9 Stanovení účinků 1. a 2. řádu

$M_{Ed} = 8,25 \text{ kNm}$ ;  $N_{Ed} = 1472,43 \text{ kN}$  → Hodnoty z programu SCIA Engineer

Moment 1. řádu:

$$L = 3,9 \text{ m}$$

$$\beta = 0,5$$

$$L_0 = \beta \cdot L = 0,5 \cdot 3,9 = 1,95 \text{ m}$$

$$e = \frac{L_0}{400} = \frac{1,95}{400} = 0,0049 \text{ m}$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot \left( \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} + \frac{e}{1000} \right) = 1472,43 \cdot \left( \frac{8,25}{1472,43} + \frac{0,0049}{1000} \right) = 8,26 \text{ kNm}$$

Úprava vnitřních sil →  $[M_{0Ed} = 8,26; N_{Ed} = 1472,43]$

Moment 2. řádu:

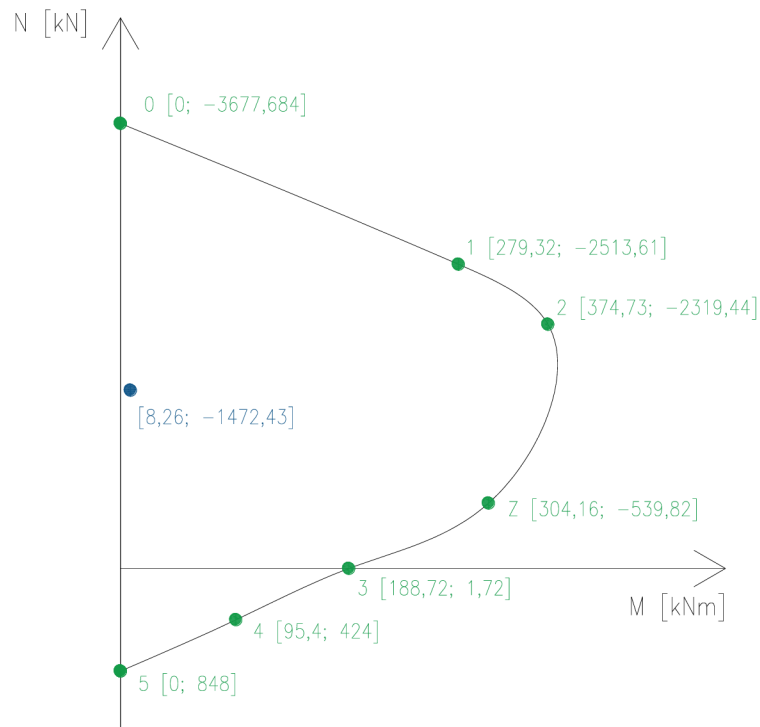
$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7;$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1472,43}{0,2652 \cdot 10,67 \cdot 10^3} = 0,520$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,52}} = 14,95$$

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{1,95}{0,2} = 9,75 < \lambda_{lim} = 14,95 \rightarrow \text{Účinky 2. řádu zanedbáváme}$$

### 5.5.2.10 Iterační diagram sloupu



Obrázek 77 Iterační diagram sloupu S1

→ *SLOUP VYHOVÍ*

## 6 Závěr

Cílů této diplomové práce bylo hned několik. Prvním z nich bylo rozebrání a popsání diagnostických metod v teoretické části. Tato část byla věnována také popisu jednotlivých materiálových charakteristik a zjišťovaných vlastností materiálů použitých v konstrukci. Pozornost byla věnována výhradně betonu a betonářské výztuži. Došlo také k seznámení s metodikou zkoušení konstrukcí, která byla následně využita v praktické části této práce.

Praktická část měla za cíl vyhodnocení materiálových charakteristik. Dále také zjištění tvaru a vyztužení jednotlivých prvků konstrukce či zjištění a zhodnocení jejího aktuálního stavu. Na základě požadavku objednatele byl proveden stavebně technický průzkum budovy, a to zejména z důvodu zjištění aktuálního stavu železobetonového monolitického skeletu před jeho dalším využitím.

Na základě průzkumu objektu byla pomocí kombinace metod jádrových vývrtů a tvrdoměrných zkoušek zjištěna pevnostní třída betonu sloupů, průvlaků, trámů i desek,

a to C16/20. Kamenivo, které bylo použito pro výrobu betonu, bylo těžené, frakce 0–16 mm. Ve všech případech bylo použito málo hrubého kameniva. Hloubka karbonatace betonu byla do 30 mm.

Zjišťovány byly také objemové hmotnosti betonu v jednotlivých prvcích. Ty byly v rozmezí od  $2110 \text{ kg/m}^3$  do  $2340 \text{ kg/m}^3$ , přičemž průměrná hodnota byla  $2200 \text{ kg/m}^3$ . Objemová hmotnost běžného betonu se udává v rozmezí od  $2000 \text{ kg/m}^3$  do  $2500 \text{ kg/m}^3$ . Ze zjištěných objemových hmotností a z rychlostí šíření ultrazvukových vln byl dále vyhodnocen dynamický modul pružnosti jednotlivých konstrukčních prvků. Moduly byly v rozmezí od  $20900 \text{ N/mm}^2$  do  $27800 \text{ N/mm}^2$ , přičemž průměrný dynamický modul pružnosti byl  $24200 \text{ N/mm}^2$ . Dynamický modul pružnosti pro běžný beton se udává v rozmezí od  $30000 \text{ N/mm}^2$  do  $50000 \text{ N/mm}^2$  [40], [41].

Vyztužení konstrukce bylo zjišťováno pomocí kombinace nedestruktivní metody elektromagnetických indikátorů výztuže a semidestruktivní metody sekaných sond. Schémata zjištěného vyztužení jednotlivých prvků jsou znázorněna v praktické části práce. Bylo zjištěno použití hladké výztuže jak pro třmínky, tak pro hlavní nosnou výztuž.

Poslední částí práce byl statický posudek vybraných prvků konstrukce. Pro výpočet zatížení působícího na konstrukci byl vytvořen model v programu SCIA Engineer, se kterým se dále pracovalo. Jako první prvek byl vybrán nejvíce zatížený průvlak P1, umístěn ve 3.NP. Byl posuzován na účinky ohybového momentu uprostřed rozpětí jednoho ze středních polí. Návrhový moment  $M_{Ed} = 130,70 \text{ kNm}$  byl porovnán s vypočtenou ohybovou únosností průvlaku  $M_{Rd} = 188,27 \text{ kNm}$ . Jelikož hodnota ohybové únosnosti průvlaku P1 převyšuje hodnotu jeho návrhového momentu, můžeme říct, že průvlak vyhoví na ohyb. Splněny byly také konstrukční zásady. Návrhová hodnota zatížení smykem pro průvlak P1 byla  $V_{Ed} = 298,99 \text{ kN}$ , přičemž vypočítaná smyková únosnost byla pouze  $V_{Rd} = 46,345 \text{ kN}$ . Z výsledků je patrné, že průvlak P1 nevyhoví na smyk. Z tohoto důvodu je nutno na konstrukci provést dodatečné zesílení smykové výztuže. Toho můžeme docílit například použitím kompozitních tkanin. Práce spočívají v nalepení tkaniny na očištěný povrch betonu konstrukce pomocí epoxidové pryskyřice. Docílíme tím nejen zvětšení smykové únosnosti prvku, ale i zvýšení celkové tuhosti prvku. Konstrukční zásady průvlaku P1 v příčném i podélném směru vyhoví [42].

Dalším prvkem, který byl posuzován, byl sloup S1 ve 2.NP. Byl vybrán nejvíce namáhaný sloup o nejmenších rozměrech tak, aby byl výpočet proveden na stranu bezpečnou. Sloup byl posuzován na účinky kombinace normálové síly a momentu, které byly získány taktéž z programu SCIA Engineer. Z výsledného iteračního diagramu ve třetí části práce je patrné, že bod návrhového zatížení leží v oblasti iteračního diagramu. Sloup tedy vyhoví.

## 7 Bibliografie

- [1] Stavebně technické průzkumy. *EARCH*. Praha 1 - Staré Město, 2005, 2005(3)
- [2] *DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ: přednášky*. Listopad 2005. Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [3] *Standardizace postupů při znaleckém posuzování cihelného zdiva*. Brno, 2013. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. LEONARD HOBST, CSc.
- [4] *Stavebně-technický průzkum historického objektu v obci Roudno*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Rezek.
- [5] MENCL, Vojtěch. *Stavebně technické průzkumy*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-87438-27-5.
- [6] VLČEK, Milan. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. 3. vydání. Brno: Era group, 2003. ISBN 8073660733.
- [7] Pevnost betonu v tlaku. *Ebeton*. 2016, 2016(3), 1-2.
- [8] ČSN EN 206+A2: *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 1.10.2021. Praha: unzm, 2021.
- [9] *KOMPLEXNÍ DIAGNOSTIKA KONSTRUKCE BYTOVÉHO DOMU PŘED REKONSTRUKCÍ*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. LEONARD HOBST, CSc.
- [10] ČSN EN 12504-1: *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. 1.3.2021. Praha: unzm, 2021.
- [11] ČSN EN 13791: *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. 1.10.2021. Praha: unzm, 2021.
- [12] DIAMANTOVÝ JÁDROVÝ VRTACÍ STROJ DD 150-U. In: *HILTI* [online]. Praha: Hilti, 2020 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: [https://www.hilti.cz/c/CLS\\_POWER\\_TOOLS\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_CORING\\_MACHINE\\_SU\\_B\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_CORING\\_MACHINE\\_7124/r9021697?itemCode=2204025](https://www.hilti.cz/c/CLS_POWER_TOOLS_7124/CLS_DIAMOND_CORING_MACHINE_SU_B_7124/CLS_DIAMOND_CORING_MACHINE_7124/r9021697?itemCode=2204025)
- [13] ČSN 73 2011: *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. 1.5.2021. Praha: unzm, 2021.

- [14] *Vývrty: odběr, popis a zkoušení v tlaku*. Brno, 2015. Dostupné také z:  
[http://szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF\\_C3\\_N%C2%A0vod.pdf](http://szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C3_N%C2%A0vod.pdf)
- [15] Označení a dokumentace jádrového vývrtnu. In: *Ústav stavebního zkušebnictví* [online]. Brno: szk, 2019 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z:  
[http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/M\\_C3\\_2016\\_N%C3%A1vod\\_v%C3%BDvrt.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/M_C3_2016_N%C3%A1vod_v%C3%BDvrt.pdf)
- [16] *Karbonatace betonu a její vliv na nosnou konstrukci staveb*. Plzeň, 2021. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta aplikovaných věd. Vedoucí práce Ing. Luděk Vejvara, Ph.D.
- [17] *Aspekty navrhování staveb zaměřené na životnost*. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.
- [18] Jádra vývrtů z úložného prahu po aplikaci roztoku fenolftaleinu. In: *Teststav* [online]. Ostrava: Teststav, 2020 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/112441978-Diagnosticky-pruzkum.html>
- [19] Karbonatace betonu. *Ebeton*. 2020, 2020(1), 1-2.
- [20] ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 1.4.2020. Praha: unMZ, 2020.
- [21] *Využití nedestruktivních a destruktivních zkušebních metod pro určení pevnosti betonu v tlaku*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. DALIBOR KOCÁB, Ph.D.
- [22] ČSN 73 1373: *Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. 1.10.2011. Praha: unMZ, 2011.
- [23] Tvrdoměrné zkoušení betonu: Část II. *Časopis beton*. 2019, 2019(2), 1-6.
- [24] *Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce*. Brno, 2020. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
- [25] ČSN EN 12504-4: *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu*. 1.12.2021. Praha: unMZ, 2021.
- [26] Vývoj metody pro nedestruktivní stanovení tloušťky vnitřní stěny tunelu. *Tzbinfo*. 2016, 2016(19), 1-4.

- [27] *Pundit 2 Operating Instructions*. Schwerzenbach, 2017. Dostupné také z:  
<https://www.scribd.com/document/362732692/Pundit-2-Operating-Instructions-English-1>
- [28] Modul pružnosti. *Ebeton*. 2021, 2021(1), 1-2.
- [29] ČSN ISO 1920-10: Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. 1.7.2016. Praha: unMZ, 2016.
- [30] ČSN 73 1371: Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu. 10/2011. Praha: unMZ, 2011.
- [31] ČSN 73 1372: Nedestruktivní zkoušení betonu - Rezonanční metoda zkoušení betonu. 06/2012. Praha: unMZ, 2012.
- [32] Průkazné stanovení vyztužení železobetonové konstrukce a vhodné NDT metody. *Tzbinfo*. 2017, 2017(9), 1-6.
- [33] Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech. *Tzbinfo*. 2014, 2014(1), 1-6.
- [34] *Možnost využití radaru při průzkumech mostů*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.
- [35] SKENER BETONU PS 1000 X-SCAN. In: *HILTI* [online]. Praha: Hilti, 2020 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z:  
[https://www.hilti.cz/c/CLS\\_MEA\\_TOOL\\_INSERT\\_7127/CLS\\_CONCRETE\\_SCANNERS\\_7127/r6436760](https://www.hilti.cz/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r6436760)
- [36] Moderní metody používané nejenom při diagnostice mostů. In: *Tzbinfo* [online]. Praha: ČTK, 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/22831-moderni-metody-pouzivane-nejenom-pri-diagnostice-mostu>
- [37] Proceq Profometer 630 AI. In: *Metesco Nederland* [online]. Nizozemsko, Oosterpark Weg: Metesco, 2020 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z:  
<https://www.metesco.nl/verhuur/bouw/inspectieapparatuur/proceqprofometer630ai>
- [38] Areál bývalé Esslerovy přádelny. *Památková katalog*. 2015, 2015(1.06), 1-4.
- [39] ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. 1.1.2015. Praha: unMZ, 2015.

- [40] Hmotnost betonu. *Ebeton*. 2021, 2021(2), 1-2.
- [41] *EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍCH STATICKÝ MODUL PRUŽNOSTI BETONU S VYUŽITÍM NEDESTRUKTIVNÍCH ZKUŠEBNÍCH METOD*. Brno, 2016. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. PETR CIKRLÉ, Ph.D.
- [42] *Úvod do zesilování kompozitními tkaninami*. Praha, 2019. Dostupné také z: [http://www.betosan.cz/wp-content/uploads/prednaska\\_zesilovani.pdf](http://www.betosan.cz/wp-content/uploads/prednaska_zesilovani.pdf)

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1 Provádění jádrového vývrtu pomocí vrtné soustavy [12].....	17
Obrázek 2 Označení a dokumentace jádrového vývrtu [15].....	19
Obrázek 3 Schéma průběhu karbonatace [16] .....	20
Obrázek 4 Zjištění míry karbonatace na odebraných vývrtech [18] .....	20
Obrázek 5 Vhodné porušení zkušebních vzorků dle normy ČSN EN 12390-3 [20] .....	22
Obrázek 6 Nevhodné porušení zkušebních vzorků dle normy ČSN EN 12390-3 [20] .....	22
Obrázek 7 Základní části odrazových tvrdoměrů [24] .....	27
Obrázek 8 Umístění sond při přímém, polopřímém a nepřímém prozvučování [25] .....	33
Obrázek 9 Vysílání impulsů pomocí jedné odrazové sondy [27] .....	34
Obrázek 10 Odrazová sonda [27].....	34
Obrázek 11 Detail radiogramu [32].....	38
Obrázek 12 Přístroj HILTI PS 1000 [35] .....	39
Obrázek 13 Vlevo liniový sken, Vpravo zobrazení výsledků ve 3D [34] .....	40
Obrázek 14 Ukázka práce s přístrojem HILTI PS 1000 [35] .....	40
Obrázek 15 Vlevo Profometer PM-6, Vpravo PS 200 Ferrosan [36].....	41
Obrázek 16 Příklad zobrazení skenu přístroje Profometer PM-6 [37] .....	42
Obrázek 17 Příklad sekání sondy .....	42
Obrázek 18 Esslerova továrna v Brně .....	44
Obrázek 19 Vizualizace budovy .....	45
Obrázek 20. Vizualizace vnitřních prostor budovy.....	45
Obrázek 21 Provedené sondy v 1 .NP .....	48
Obrázek 22 Provedené sondy ve 2.NP.....	48
Obrázek 23 Provedené sondy ve 3.NP .....	49
Obrázek 24 Provedené sondy ve 4.NP .....	49
Obrázek 25 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A1 – sloup.....	62
Obrázek 26 Sonda A1 – sloup .....	62
Obrázek 27 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A2 – sloup.....	63

Obrázek 28 Sonda A2 – sloup .....	63
Obrázek 29 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A3 – sloup.....	64
Obrázek 30 Sonda A3 – sloup .....	64
Obrázek 31 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A4 – sloup.....	65
Obrázek 32 Sonda A4 – sloup .....	65
Obrázek 33 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A5 – sloup.....	66
Obrázek 34 Sonda A5 – sloup .....	66
Obrázek 35 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A6 – průvlak v místě vetknutí.....	68
Obrázek 36 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A6 – průvlak, vlevo v polovině rozpětí, vpravo v místě vetknutí.....	68
Obrázek 37 Sonda A6 – průvlak .....	68
Obrázek 38 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A7 – průvlak v místě vetknutí.....	70
Obrázek 39 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A7 – průvlak, vlevo v polovině rozpětí, vpravo v místě vetknutí.....	70
Obrázek 40 Sonda A7 – průvlak .....	70
Obrázek 41 Vlevo schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A8 – průvlak (v polovině rozpětí), vpravo sonda A8 – průvlak.....	71
Obrázek 42 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A9 – trám v místě vetknutí.....	73
Obrázek 43 Schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A9 – trám, vlevo v polovině rozpětí, vpravo v místě vetknutí.....	73
Obrázek 44 Sonda A9 – trám .....	73
Obrázek 45 Vlevo schematický výkres zjištěné výztuže v místě sondy A10 – trám (v polovině rozpětí), vpravo sonda A10 – trám .....	74
Obrázek 46 Model konstrukce – pohled 1 .....	75
Obrázek 47 Model konstrukce – pohled 2 .....	76
Obrázek 48 Vlevo půdorys modelu konstrukce, vpravo řez modelu konstrukce .....	76
Obrázek 49 ZS2 – Ostatní stálé zatížení – střešní konstrukce.....	78
Obrázek 50 ZS2 – Ostatní stálé zatížení – běžné podlaží (podlaha ve 2.NP – 4.NP) .....	78
Obrázek 51 ZS3 – Proměnné zatížení plné – střešní konstrukce .....	79
Obrázek 52 ZS3 – Proměnné zatížení plné – běžné podlaží (podlaha ve 2.NP - 4.NP).....	79
Obrázek 53 Proměnné zatížení šach 1 – střešní konstrukce.....	80
Obrázek 54 Proměnné zatížení šach 1–2.NP a 4.NP .....	80
Obrázek 55 Proměnné zatížení šach 1–3.NP .....	80
Obrázek 56 Proměnné zatížení šach 2 – střešní konstrukce.....	81
Obrázek 57 Proměnné zatížení šach 2–2.NP a 4.NP .....	81
Obrázek 58 Proměnné zatížení šach 2–3.NP .....	81
Obrázek 59 Střešní konstrukce – ohybové momenty .....	82
Obrázek 60 Střešní konstrukce – posouvající síly .....	82



Obrázek 61 Podlaha ve 4.NP – ohybové momenty.....	83
Obrázek 62 Podlaha ve 4.NP – posouvající síly.....	83
Obrázek 63 Podlaha ve 3.NP – ohybové momenty.....	84
Obrázek 64 Podlaha ve 3.NP – posouvající síly.....	84
Obrázek 65 Podlaha ve 2.NP – ohybové momenty.....	85
Obrázek 66 Podlaha ve 2.NP – posouvající síly.....	85
Obrázek 67 Schematický výkres půdorysu průvlaku P1.....	86
Obrázek 68 Schematický výkres řezu A-A průvlaku P1.....	86
Obrázek 69 Schematický výkres vyztužení průvlaku P1.....	86
Obrázek 70 Schematický výkres zjištěné výztuže sloupu S1.....	91
Obrázek 71 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 0.....	93
Obrázek 72 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 1.....	94
Obrázek 73 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 2.....	95
Obrázek 74 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě Z.....	96
Obrázek 75 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 3.....	97
Obrázek 76 Průběh přetvoření a napětí sloupu v bodě 5.....	99
Obrázek 77 Iterační diagram sloupu S1.....	100

## 9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Třídy pevnosti betonu v tlaku dle normy ČSN EN 206+A2 [8].....	16
Tabulka 2 Hodnoty $K_n$ dle normy ČSN EN 13791 [11].....	24
Tabulka 3 Hodnoty rozpětí $M$ dle normy ČSN EN 13791 [11].....	24
Tabulka 4 Rozsah použití jednotlivých druhů tvrdoměrů [22] [23].....	27
Tabulka 5 Určení $f_{bei}$ podle normy ČSN EN 73 1373 [22].....	30
Tabulka 6 Statistické vyhodnocování podle normy ČSN EN 73 2011 [13].....	32
Tabulka 7 Zkušební místa – Schmidtův tvrdoměr.....	47
Tabulka 8 Zkušební místa – jádrové vývrty.....	47
Tabulka 9 Zkušební místa – sekané sondy.....	47
Tabulka 10 Vyhodnocení objemové hmotnosti betonu.....	54
Tabulka 11 Vyhodnocení krychelné pevnosti betonu v tlaku.....	54
Tabulka 12 Vyhodnocení dynamického modulu pružnosti betonu.....	55
Tabulka 13 Vyhodnocení míry karbonatace betonu na odebraných vzorcích.....	56
Tabulka 14 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – sloupy.....	57
Tabulka 15 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – průvlaky.....	58
Tabulka 16 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – trámy.....	59
Tabulka 17 Pevnost betonu v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru – desky.....	59

Tabulka 18 Vyhodnocení součinitele upřesnění .....	60
Tabulka 19 Vyhodnocení pevnostní třídy betonu jednotlivých částí konstrukce [38] .....	60
Tabulka 20 Zatížení působící na model konstrukce .....	77