

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta stavební**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Brno, 2026**

**Bc. Martin Horvát**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

## PRŮZKUM A HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍ KONSTRUKCE

SURVEY AND EVALUATION EXISTING CONSTRUCTION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTERS'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. MARTIN HORVÁT**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**doc. Ing. PETR CIKRLE, Ph.D.**

**BRNO 2026**

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav stavebního zkušebnictví
Student:	<b>Bc. Martin Horvát</b>
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Petr Cikrle, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2025/26
Studijní program:	N0732A260026 Stavební inženýrství - konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Průzkum a hodnocení existující konstrukce**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Popis objektu a nosné konstrukce.

Návrh průzkumu, výběr diagnostických metod.

Průzkum železobetonové konstrukce.

Statický výpočet vybrané části nosné konstrukce.

Závěr.

#### **Cíle a výstupy diplomové práce:**

Teoretická část: Stručný přehled metody a postupů použitých v praktické části práce.

Identifikace objektu, prohlídka nosné konstrukce objektu, dokumentace stavu.

Předběžné zhodnocení stavu objektu, výběr kritických míst a zpracování plánu průzkumu - výběr diagnostických metod, postup zkoušení a vyhodnocení.

Provedení nedestruktivních zkoušek in situ.

Odběr vzorků, laboratorní zkoušky.

Zpracování a vyhodnocení výsledků zkoušek.  
Statický výpočet vybrané části nosné konstrukce.  
Zhodnocení výsledků průzkumu a návrh opatření pro případnou rekonstrukci.  
Závěr.

**Seznam doporučené literatury a podklady:**

Cikrle, P. a kol. NDT zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu CŽV. VUT v Brně, 2010.  
Balayssac, J.P., Garnier, V. Non-destructive Testing and Evaluation of Civil Engineering Structures. 1st Edition Amsterdam, ISTE Press - Elsevier, 2017.  
Čermák, F., Pume, D. Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí. Praha: ABF, 1993. Stavby a rekonstrukce.  
Holický, M. Hodnocení existujících konstrukcí. 1. vydání Praha: ČVUT, 2018.  
Normy ČSN EN 13791, ČSN ISO 13822, ČSN 730038, ČSN EN 206, a další.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 21. 03. 2025

L.S.

prof. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.

vedúcí ústavu

doc. Ing. Petr Cikrle, Ph.D.

vedúcí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CS., MBA, dr. h. c.

děkan

## **ABSTRAKT**

Diplomová práca sa zaoberá komplexným diagnostickým posúdením vybraných železobetónových nosných prvkov existujúceho objektu, so zameraním na stanovenie materiálových vlastností betónu, skutočného usporiadania výstuže a hodnotenie stavu konštrukcie z hľadiska jej ďalšej použiteľnosti.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Diagnostika konštrukcie, georadar, profometer, jadrové vývrty, historická výstuž, karbonatizácia betónu, krytie výstuže, lokalizácia výstuže, statický výpočet

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with a comprehensive diagnostic assessment of selected reinforced concrete load-bearing elements of an existing structure, with a focus on the determination of the material properties of concrete, the actual arrangement of reinforcement, and the evaluation of the structural condition in terms of its further usability.

## **KEYWORDS**

Structural diagnostics, ground-penetrating radar (GPR), cover meter, core drilling, historical reinforcement, concrete carbonation, concrete cover, reinforcement localization, structural analysis

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

HORVÁT, Martin. *Průzkum a hodnocení existující konstrukce*. Diplomová práce. Petr CIKRLE (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2026.

HORVÁT, Martin. *Průzkum a hodnocení existující konstrukce*. Online, diplomová práce. Petr CIKRLE (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2026. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/169222>. [cit. 2026-01-10].

## **VYHLÁSENIE O PÔVODNOSTI PRÁCE**

Vyhlasujem, že som diplomovú prácu s názvom *Průzkum a hodnocení existující konstrukce* spracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje.

V Brne, dňa 15. 1. 2026

---

Bc. Martin Horvát

autor práce

## **VYHLÁSENIE O ZHODNEJ LISTINNEJ A ELEKTRONICKEJ FORME PRÁCE**

Vyhlasujem, že odovzdaná diplomová práca s názvom *Průzkum a hodnocení existující konstrukce* sa zhoduje s odovzdanou listinnou podobou.

V Brne, dňa 15. 1. 2026

---

Bc. Martin Horvát

autor práce

## **POĎAKOVANIE**

Na tomto mieste by som sa chcel poďakovať svojmu školiteľovi práce pánovi doc. Ing. Petrovi Cikrlemu Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a trpezlivosť počas spracovávania diplomovej práce. Zároveň ďakujem aj pánovi Ing. Jířimu Strnadovi Ph.D. za pomoc a konzultácie pri riešení statického výpočtu. Poďakovanie patrí aj mojim priateľom za podporu počas štúdia. V neposlednom rade by som sa chcel poďakovať svojej rodine za neustálu podporu a pochopenie a svojej snúbenici za trpezlivosť a povzbudenie počas celého obdobia štúdia.

# OBSAH

ÚVOD .....	11
CIELE PRÁCE.....	12
1 HODNOTENIE EXISTUJÚCICH KONŠTRUKCIÍ.....	13
1.1 Zisťovanie kvality betónu .....	13
1.1.1 Nedeštruktívne metódy .....	13
1.1.2 Ultrazvukové meranie rýchlosti impulzu Pundit PL – 200 .....	14
1.1.3 Deštruktívne metódy .....	16
1.2 Metódy zisťovania polohy krytia výstuže.....	17
1.2.1 Georadar.....	17
1.2.2 Hilti PS 1000 X – SCAN.....	20
1.2.3 Metóda elektromagnetickej indukcie .....	22
1.3 Historický vývoj betonárskej výstuže v 50. až 60. rokoch 20. storočia.....	26
1.3.1 Betonárska oceľ Rs – 40.....	37
2 PRAKTICKÁ ČASŤ .....	39
2.1 Popis objektu.....	39
2.2 Popis prvkov .....	41
2.2.1 Základy.....	42
2.2.2 Zvislé a vodorovné nosné konštrukcie .....	46
2.3 Odber vzoriek.....	60
2.4 Stanovenie objemovej hmotnosti .....	61
2.5 Výpočet dynamického modulu pružnosti.....	62
2.6 Stanovenie pevnosti betónu v tlaku .....	64
2.7 Stanovenie hĺbky karbonatizácie betónu.....	65
2.8 Vyhodnotenie skúšok betónu podľa normy ČSN EN 13791 .....	67
3 STATICKÝ VÝPOČET.....	71
ZÁVER.....	91
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....	92
ZOZNAM VELIČÍN, SYMBOLOV A SKRATIEK.....	94
ZOZNAM OBRÁZKOV .....	96
ZOZNAM TABULIEK .....	99

# ÚVOD

Problematika prieskumu a hodnotenia existujúcich nosných konštrukcií predstavuje významnú súčasť procesov, spojených s rekonštrukciou, modernizáciou a zmenou užívania stavebných objektov. Presné poznanie skutočného stavu konštrukcie je nevyhnutným predpokladom pre spoľahlivé statické posúdenie a následný návrh vhodných technických opatrení. V praxi sa často stretávame s objektmi, ktorých dokumentácia je neúplná alebo nezodpovedá skutočnému vyhotoveniu, prípadne konštrukciám, ktoré boli dlhodobo namáhané prevádzkou, či pôsobením vonkajších vplyvov. Z tohto dôvodu je potrebné realizovať systematický stavebno-technický prieskum, ktorý umožní overiť materiálové vlastnosti, tvar a vystuženie nosných prvkov, ako aj identifikovať prípadné poruchy a rizikové miesta konštrukcie.

Diplomová práca sa zameriava na prieskum a hodnotenie existujúcej železobetónovej konštrukcie na vybranom objekte, konkrétne hotela Strojař. Súčasťou riešenia je identifikácia skúmaného objektu, obhliadka a popis jeho nosného konštrukčného systému, zdokumentovanie zistených porúch a vypracovanie predbežného zhodnotenia jeho technického stavu. Na základe zistených skutočností je navrhnutý plán diagnostického prieskumu, zahŕňajúci výber vhodných deštruktívnych aj nedeštruktívnych metód, spôsob ich aplikácie a následné vyhodnotenie výsledkov meraní.

V rámci prieskumu sú odoberané vzorky betónu a vykonané laboratórne skúšky, vrátane stanovenia pevnosti v tlaku, objemovej hmotnosti, dynamického modulu pružnosti a hĺbky karbonatizácie. Paralelne sú aplikované metódy in situ, zamerané na určenie tvaru, vystuženia a geometrie vybraných nosných prvkov. Získané údaje tvoria podklad pre statické posúdenie vybranej časti nosnej konštrukcie a pre návrh prípadných sanačných opatrení a úprav objektu pred jeho ďalším využitím. Opísaný prístup zodpovedá metodike uplatňovanej v reálnych stavebno-technických prieskumoch a vychádza z aktuálne platných technických noriem a odborných postupov.

Táto diplomová práca vznikla v spolupráci s firmou Průzkumy staveb s.r.o., ktorá poskytla súčinnosť a niektoré údaje o prieskume konštrukcie. Táto diplomová práca je spracovaná na základe týchto podkladov samostatne a nemôže byť posudzovaná v súčinnosti s výsledkami výskumu daného projektu.

## CIELE PRÁCE

Cieľom diplomovej práce je komplexne preskúmať a zhodnotiť stav existujúcej železobetónovej konštrukcie vybraného objektu a na základe získaných výsledkov posúdiť jej únosnosť, prevádzkyschopnosť a možnosti ďalšej rekonštrukcie. V rámci riešenia práce je najskôr vykonaná identifikácia objektu, spolu s popisom jeho konštrukčného a dispozičného riešenia. Nasleduje vizuálna obhliadka nosných prvkov, zdokumentovanie zistených porúch a degradačných prejavov a vypracovanie predbežného zhodnotenia technického stavu konštrukcie, na základe ktorého sú určené kritické miesta vhodné na podrobnejší diagnostický prieskum.

Ďalším cieľom práce je návrh a realizácia plánu diagnostického prieskumu, zahŕňajúceho výber vhodných deštruktívnych aj nedeštruktívnych diagnostických metód, stanovenie postupu zhotovenia skúšok a následného spracovania nameraných údajov. Súčasťou prieskumu je vykonanie meraní in situ, odber jadrových vývrtov z vybraných nosných prvkov a následné laboratórne stanovenie materiálových vlastností betónu. Získané výsledky sú vyhodnotené v súlade s príslušnými technickými normami a následne použité ako vstupné údaje pre statický výpočet vybratej časti nosnej konštrukcie.

Záverečnou ambíciou práce je na základe komplexnej analýzy výsledkov prieskumu vypracovať celkové zhodnotenie stavu konštrukcie a formulovať odporúčania, týkajúce sa ďalšieho užívania objektu, prípadnej sanácie alebo rekonštrukcie nosných prvkov. Takto formulované ciele umožňujú prepojiť výsledky diagnostického prieskumu s reálnymi požiadavkami na posudzovanie existujúcich stavebných konštrukcií v technickej praxi.

# 1 HODNOTENIE EXISTUJÚCICH KONŠTRUKCIÍ

V dnešnej dobe sa kladie veľký dôraz na hodnotenie funkčnosti existujúcich konštrukcií pre ich významnú ekonomickú hodnotu. Norma ČSN ISO 13822 [1] kladie dôraz na kvalifikované rozhodovanie o možnosti bezpečného prevádzkovania konštrukcie, nutnosti jej úpravy či zosilnenie alebo spôsob užívania, teda predĺženie životnosti. Veľkou nutnosťou je zhromažďovanie vstupných informácií o posudzovanej konštrukcii. Medzi kľúčové podklady patria projektová dokumentácia, údaje o výstavbe, rekonštrukciách, zmenách využitia, ako aj informácie o mimoriadnych udalostiach či poškodeniach. V prípade chýbajúcich dokumentácií je vhodné doplniť ju obhliadkou objektu, diagnostickým prieskumom a skúškami materiálov. Tieto činnosti slúžia pre spresnenie geometrických, materiálových a prevádzkových parametrov, ktorú sú následne použité vo výpočtových modeloch.

Súčasťou hodnotenia je aj analýza zaťaženia, ktorým je konštrukcia vystavená. Tu treba zohľadniť potrebu posúdenia pôvodne uvažovaného zaťaženia, ale aj možné zmeny, spôsobené novým využitím objektu, zmenou technológie alebo zvýšením užitočného zaťaženia. V konštrukciách dlhodobu prevádzkovaných treba zohľadniť aj namáhanie, ak je podložené meraním.

V dôsledku preukázania nevyhovujúcej spoľahlivosti, je možnosť prijatia nápravných opatrení, ako sú zásahy do nosných prvkov, zosilnenie alebo opravy, zmena prevádzkových podmienok, obmedzenie užívania, pravidelná údržba, či monitoring stavu. Výsledný výber opatrení má teda vychádzať z technického posúdenia, ekonomických súvislostí a požiadavkou na ďalšie využitie objektu [1].

## 1.1 Zisťovanie kvality betónu

### 1.1.1 Nedeštruktívne metódy

V priebehu posledných desaťročí sa dostáva do popredia problematika hodnotenia technického stavu historických a starších železobetónových konštrukcií. Budovy realizované od začiatku 20. storočia až po 60. roky minulého storočia dnes vo viacerých prípadoch vykazujú prejavy materiálovej degradácie, najmä v dôsledku karbonatizácie betónu a prenikania chloridov. Tieto javy vedú ku korózii výstuže, vzniku trhlin a zníženiu spoľahlivosti nosných prvkov. Tieto objekty majú významné architektonické a kultúrne hodnoty, pri ktorých je potrebné zachovanie pôvodného vzhľadu, tvaru a materiálových charakteristík.

Dôsledkom toho sú v oblasti diagnostiky čoraz častejšie uplatňujúce sa nedeštruktívne metódy, umožňujúce posudzovať skutočný stav materiálu, bez nutnosti výrazného zásahu do konštrukcie. Tieto

metódy prinášajú podstatné vstupné údaje pre návrh sanácie, dlhodobý monitoring či vhodnosť v ďalšom používaní stavby. Vedecké štúdie dokazujú, že tieto metódy sú kľúčovým nástrojom pri hodnotení stavu historických budov. Umožňujú:

- identifikovať zdroje poškodenia,
- sledovať vývoj degradačných procesov v čase,
- minimalizovať potrebu odberu jadrových vývrtov a iných deštruktívnych zásahov,
- úplne nedeštruktívne odhaliť najslabšie miesta konštrukcie.

Medzi hlavné využívané metódy patria:

- ultrazvukové metódy,
- odrazové tvrdomery,
- elektromagnetické metódy (georadar).

V prípadoch kombinácií nedeštruktívnych metód s deštruktívnymi, teda ultrazvuku s tvrdomerom, spolu s jadrovými vývrtmi, sa jedná o najefektívnejší a metodicky najspolahlivejší spôsob hodnotenia betónu v teréne. Medzi veľké výhody týchto metód patrí ich schopnosť odhaliť vnútorné poruchy, dutiny, šírenie trhlín, či priebeh korózných procesov, bez poškodenia povrchu skúmanej konštrukcie. Pre spresnenie korelačných vzťahov medzi meranými parametrami a skutočnou pevnosťou je vhodné doplniť aj deštruktívne skúšky (vývrty) [2], [3].

### **1.1.2 Ultrazvukové meranie rýchlosti impulzu Pundit PL – 200**

Prístroj Pundit PL – 200 je prenosné meracie zariadenie, určené na ultrazvukové meranie rýchlosti impulzu v betóne a iných stavebných materiáloch. Táto metóda patrí medzi uznávané nedeštruktívne skúšky a umožňuje hodnotiť kvalitu betónu, jeho homogenitu, prítomnosť trhlín, dutín alebo iných vnútorných porúch bez fyzického zásahu do konštrukcie. Prístroj je navrhnutý pre terénne použitie, pričom jeho robustná konštrukcia a dotykový displej uľahčujú meranie priamo na stavbe, bez potreby náročného laboratórneho vybavenia.

Pundit PL – 200 sa skladá z prenosného dotykového 7 – palcového farebného displeja, s inertným pamäťovým úložiskom, s možnosťou pripojenia k PC softvéru pre analýzu a export dát. Prístroj využíva ultrazvukové impulzy s frekvenciou približne 20 až 500 kHz, čo mu umožňuje efektívne prenášať signály cez betónové materiály s rôznou kvalitou a štruktúrou. Rýchlosť impulzu sa meria s vysokým rozlíšením ( $0,1 \mu\text{s}$ ) a výsledky sa interpretujú na základe šírenia ultrazvukových vln v materiáli. Prístroj je napájaný lithium-polymérovou batériou, ktorá pri bežnom pracovnom režime

zabezpečuje meranie niekoľko hodín bez dobíjania. Pundit PL – 200 je zostrojený tak, aby odolával bežným podmienkam na stavbách, prachu, či miernej vlhkosti.



Obr. 1: Pundit PL – 200 [7].

Ultrazvuková rýchlosť pulzu je založená na šírení zvukových vĺn, vyslaných sondou, prechádzajú materiálom a sú zaznamenané druhou sondou. Väčšia rýchlosť signálu spravidla koreluje s vyššou kvalitou a pevnosťou betónu, zatiaľ čo nižšia rýchlosť znamená nižšiu kvalitu betónu. Nižšia rýchlosť môže súčasne indikovať možné poruchy, prítomnosť trhlín, či dutín. Prístroj ponúka niekoľko režimov merania pri hodnotení betónu:

- základné meranie rýchlosti impulzu pre odhad kvality betónu,
- meranie rýchlosti signálu po povrchu pre zistenie nepravidelností,
- line scan – posúdenie kvality pozdĺž určitej osi prvku,
- area scan – 2D mapa vybraného úseku betónu,
- odhad hĺbky zvislých trhlín.

Tieto meracie režimy umožňujú získať komplexný obraz o stave skúšaného objektu, identifikovať potenciálne problémy a rozhodnúť o ďalšom postupe.

V praxi sa meranie pomocou Pundit PL – 200 využíva predovšetkým pri hodnotení kvality betónu v nosných prvkoch, mostných konštrukciách, stĺpoch, doskách či iných betónových objektoch.

Ďalej sa využíva na vyšetovanie jadrových vývrtov, stanovenie dynamického modulu a odhadu statického modulu pružnosti v tlaku. Výsledky týchto meraní sa často používajú v kombinácii s deštruktívnymi metódami, ako sú jadrové vývrty a poskytujú dôležitý podklad pre rozhodovanie o potrebe sanácie, monitoringu alebo posúdenia životnosti konštrukcie [6].

### 1.1.3 Deštruktívne metódy

Deštruktívne metódy založené na odoberaní jadrových vývrtov patria medzi najpresnejšie postupy určovania reálnej pevnosti betónu v existujúcich konštrukciách. Odber jadrových vývrtov predstavuje lokálne invazívny zásah do konštrukcie, pri ktorom sa vzorka valcového tvaru odoberá diamantovým jadrovým vrtákom.

Norma ČSN EN 12504 – 1 [4] stanovuje minimálne požiadavky na rozmery vzoriek. Najčastejšie sa používajú priemery 75 – 100 mm, ojedinele používané až 150 mm. Veľkosť zvoleného priemeru jadrového vývrtu závisí od štruktúry betónu, množstva výstuže a rozmerov prvku. Podľa normy sa za relevantný považuje výsledok z vývrtu s priemerom väčším, alebo rovným 75 mm. Norma zároveň odporúča dodržať vhodný pomer výšky k priemeru, ktorý má významný vplyv na výslednú hodnotu pevnosti v tlaku. Priemer vývrtu by mal byť aspoň trikrát väčší ako je najväčšia veľkosť zŕn kameniva, inak to môže mať vplyv na výsledky pevnosti v tlaku. V prípade extrémne vystužených prvkov sa môže použiť priemer vývrtov 50 mm, avšak počet skúšobných telies pre stanovenie pevnosti v tlaku sa musí zvýšiť, a teda je potrebné odobrať z jedného miesta tri skúšobné telesá. Ak má teleso odlišný tvarový pomer, je potrebné výsledky upraviť korekčným koeficientom.

Miesto odoberania jadrových vývrtov musí byť zvolené tak, aby vzorka reprezentovala skutočný stav materiálu a nebola ovplyvnená okrajovými javmi. Odbery sa preto nevykonávajú v blízkosti hrán prvkov, škár, kotevných detailov, ani v miestach s predpokladaným výskytom výstuže. Vzorky, ktoré obsahujú výstuž v pozdĺžnom smere osi, sa nepovažujú za platné, a teda je potrebné odobrať náhradný vývrt. Pri odbere sa tiež sleduje orientácia vývrtu (vodorovná/ zvislá), keďže môže ovplyvniť výsledky v dôsledku smerového rozloženia pórov a vrstiev betónu. Vzorky musia byť odobraté tak, aby nedošlo k ich poškodeniu alebo nadmernému zahrievaniu pri vŕtaní, preto sa používa technika s chladením pomocou vody.

Po odbere nasleduje príprava telies, kde konce vývrtov musia byť zarovnané pomocou brúsenia tak, aby boli ploché a rovnobežné. Následne sú vývrty skladované v podmienkach zabraňujúcich strate vlhkosti až do vykonania skúšky v tlaku, keďže vlhkostný stav betónu výrazne ovplyvňuje nameranú pevnosť. Samotná skúška sa vykonáva podľa zásad skúšania valcových telies, avšak s prihliadnutím na prípadnú prítomnosť výstuže, vrstiev rozdielnej kvality betónu alebo pórovitosti.

Výsledná hodnota pevnosti jadra tak predstavuje najspoľahlivejší ukazovateľ skutočnej pevnosti betónu in situ a slúži ako referenčný podklad pri posudzovaní únosnosti existujúcich konštrukcií a návrhu prípadných opatrení [3], [4].



Obr. 2: Jadrový vrták [5].

## 1.2 Metódy zisťovania polohy krytia výstuže

### 1.2.1 Georadar

Georadar patrí medzi najvýznamnejšie nedeštruktívne diagnostické metódy používané pri hodnotení stavu železobetónových konštrukcií. Princíp metódy spočíva v šírení elektromagnetických vln prostredím a v zaznamenávaní ich odrazov na rozhraniach materiálov, s rozdielnymi elektromagnetickými vlastnosťami. Rýchlosť šírenia elektromagnetickej vlny v betóne závisí od relatívnej permitivity prostredia a je možné ju vyjadriť vzťahom:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

kde:

$c$  je rýchlosť svetla vo vákuu,

$\epsilon_r$  je relatívna permitivita prostredia.

Na základe nameraných odrazov je možné vytvárať záznamy v podobe líniových scanov alebo plošných radargramov, na ktorých sa zobrazujú výstuže, dutiny, delaminácie či iné nehomogenity materiálu:

$$d = \frac{vt}{2} \quad (2)$$

kde:

$t$  je čas šírenia impulzu tam a späť.



*Obr. 3: Meranie obdĺžnikového stĺpu pomocou Hilti PS 1000 X-Scan.*

Jednou z najväčších výhod georadaru je jeho rýchlosť a možnosť získania kontinuálnych záznamov bez zásahu do konštrukcie. Metóda umožňuje realizovať merania na veľkých plochách v relatívne krátkom čase, čo je obzvlášť významné pri diagnostike mostných objektov alebo veľkorozponových prvkov. V porovnaní s akustickými metódami má georadar lepšiu prestupnosť v prostredí so vzduchovými dutinami, čo umožňuje identifikovať poruchy aj v oblastiach s delaminovanými vrstvami krycej betónovej vrstvy. Okrem polohy výstuže je georadar citlivý aj na zmeny vlhkosti, zvýšenú pórovitosť alebo prítomnosť chloridov, keďže tieto faktory ovplyvňujú dielektrické vlastnosti betónu. Na rozhraní dvoch materiálov s rozdielnou permitivitou dochádza k čiastočnému odrazu impulzu, ktorého intenzita je charakterizovaná koeficientom odrazu.

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2} + \sqrt{\varepsilon_1}} \quad (3)$$

kde:

$\sqrt{\varepsilon_1}$  a  $\sqrt{\varepsilon_2}$  sú relatívne permitivity susediacich prostredí.

Čím je rozdiel medzi nimi väčší, tým je odraz výraznejší a lepšie čitateľný. Vďaka tomu je metóda vhodná nielen na lokalizáciu zabudovaných prvkov, ale aj na orientačné posúdenie materiálovej homogenity a možného zhoršenia stavu betónu, vplyvom prevádzkových alebo environmentálnych podmienok .

Použitie georadaru je podmienené viacerými obmedzeniami, ktoré súvisia najmä s interakciou elektromagnetických vln s výstužou. Ocel'ová výstuž spôsobuje výrazné odrazy signálu, čo vedie k zhoršenej čitateľnosti oblastí nachádzajúcich sa pod ňou. Pri malej osovej vzdialenosti prútov dochádza k zlučovaniu odrazových hyperbol, čo sťažuje interpretáciu radargramu. Identifikácia malých dutín alebo trhlín môže byť náročná najmä v prípade, že sú vyplnené vzduchom. Výraznejšie sa prejavujú defekty vyplnené vodou alebo vlhkosťou, keďže rozdiel permitív je väčší a koeficient odrazu R nadobúda vyššie hodnoty.

Presnosť merania výrazne závisí od zvolenej frekvencie antény. Vyššie frekvencie poskytujú lepšie rozlíšenie, avšak s menším dosahom, zatiaľ čo nižšie frekvencie umožňujú preniknúť do väčšej hĺbky, za cenu nižšej detailnosti zobrazenia. Preto je pri diagnostike vhodná voľba kompromisu medzi rozlišovacou schopnosťou a hĺbkovým dosahom, prípadne využitie multifrekvenčných zariadení, ktoré umožňujú kombinovať výhody oboch prístupov. Interpretácia nameraných údajov je do veľkej miery závislá od odborných skúseností diagnostika, znalosti konštrukčného riešenia a od správneho

nastavenia meracieho postupu. V praxi sa často kombinuje geometrický výpočet hĺbky s kalibráciou rýchlosti vlny na miestach so známou hrúbkou alebo s výsledkami iných diagnostických metód.

$$d = \frac{ct}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

V kombinácii s ďalšími NDT technikami môže georadar tvoriť dôležitý podklad pre celkové posúdenie stavu konštrukcie.

V posledných rokoch dochádza k výraznému rozvoju georadarových zariadení, najmä v oblasti multifrekvenčnej technológie a spracovania dát. Novšie prístroje umožňujú pracovať v širšom frekvenčnom rozsahu počas jedného merania, čo zvyšuje flexibilitu pri hodnotení prvkov rôznych hrúbok. Súčasťou vývoja je aj pokročilá vizualizácia výsledkov, 3D zobrazovanie a možnosť dopĺňovania poznámok priamo počas merania. Tieto funkcie prispievajú k presnejšej interpretácii a k lepšiemu prepojeniu meraní s dokumentáciou objektu. Výsledky výskumov preukazujú, že georadar sa javí ako jedna z najspoľahlivejších a najefektívnejších metód pri diagnostike železobetónových prvkov, pokiaľ je správne zvolený merací postup, frekvenčný rozsah a interpretácia výstupov je realizovaná v kontexte ďalších dostupných údajov o konštrukcii [8], [9], [10].

### 1.2.2 Hilti PS 1000 X – SCAN

Zariadenie Hilti PS 1000 X – Scan je profesionálny neinvazívny radarový skener (GPR – Ground Penetrating Radar), určený na diagnostiku železobetónových konštrukcií. Tento merací systém umožňuje lokalizáciu skrytých prvkov v betóne, ako sú výstuže, predpínacie laná, potrubia či elektrické vedenia, bez potreby fyzického zásahu do materiálu. Radarové merania sa vykonávajú vysielaním elektromagnetických vĺn, ktoré sa odrážajú od rozhraní materiálov, s odlišnými elektromagnetickými vlastnosťami a tieto odrazy sa interpretujú ako obraz vnútorných štruktúr.

Z hľadiska konštrukcie je PS 1000 X – Scan kompaktné zariadenie s hmotnosťou približne 3 kg vrátane batérií, čo umožňuje relatívne ľahkú manipuláciu pri meraniach na rôznych typoch konštrukcií. Prevádzkový čas na jedno nabitie je až 4 hodiny a pamäť prístroja umožňuje uloženie približne 200 snímok merania, ktoré je možné následne spracovať a archivovať.



Obr. 4: Hilti PS 1000 X – Scan [11].

Technické parametre zariadenia poskytujú informácie o hĺbke detekcie a presnosti merania. PS 1000 X – Scan dokáže detegovať objekty v betóne do hĺbky približne 300 mm. Presnosť určenia hĺbky je  $\pm 10$  mm pre objekty umiestnené do 100 mm od povrchu a  $\pm 15$  % pre objekty uložené hlbšie. Presnosť lokalizácie v pôdoryse je rádovo  $\pm 10$  mm, zatiaľ čo minimálna vzdialenosť medzi dvomi detekovateľnými susediacimi objektami je približne 40 mm.

Hilti PS 1000 X – Scan je vybavený viacerými režimami merania, ktoré zlepšujú jeho praktickú využiteľnosť na stavbách a pri diagnostike betónových prvkov. Medzi hlavné režimy patrí:

- rýchly režim pre orientačné zistenie prítomnosti zabudovaných prvkov,
- režim, pri ktorom sa zaznamenávajú dáta pre neskoršiu detailnejšiu analýzu,
- režim plošného skenovania betónovej plochy v mriežke, ktorý umožňuje 2D aj 3D vizualizáciu vnútorných prvkov.

Výstupy z merania môžu byť zobrazované priamo na integrovanom farebnom displeji prístroja v reálnom čase. Okrem toho sa údaje dajú exportovať do počítača a spracovať cez profesionálny softvér, ktorý umožňuje vytvárať detailné 2D a 3D modely, generovať reporty, označovať polohy prvkov a porovnávať výsledky z rôznych meraní. Praktický postup práce so skenerom začína prípravou povrchu (napr. odstránením voľných nečistôt a vyznačením rastra pre Imagescan), následným výberom vhodného režimu skenovania a postupným vedením prístroja po povrchu. Pri plošných skenoch sa často

používa pravidelná mriežka skenovacích línií, ktorá zabezpečuje rovnomerné pokrytie skúmanej oblasti a umožňuje zostaviť celkovú vizualizáciu z viacerých čiarových sekvencií. Použitie PS 1000 X – Scan prináša viaceré výhody pre diagnostiku betónových konštrukcií:

- georadar poskytuje okamžitú informáciu o polohe a hĺbke skrytých prvkov, čo výrazne urýchľuje diagnostický proces a znižuje riziko poškodenia konštrukcie pri následných zásahoch,
- integrovaný displej zobrazuje výsledky priamo na mieste merania, čo zjednodušuje orientáciu a okamžité rozhodovanie pri práci,
- režim Imagescan umožňuje plošné vizualizácie vnútorných prvkov, ktoré poskytujú komplexné zobrazenie štruktúry betónu a uľahčujú interpretáciu dát,
- skener dokáže detegovať nielen kovové prvky (výstuže či káble), ale aj plastové potrubia, drevené elementy či iné anomálie betónu na základe rozdielov v odrazoch elektromagnetických vln.

Napriek svojim výhodám má Hilti PS 1000 X – Scan aj určité obmedzenia, ktoré vyplývajú z charakteru georadarovej technológie:

- maximálna detekčná hĺbka je približne 300 mm. Pri veľmi hrubých prvkoch alebo pri silne vystuženom betóne môže byť detekcia objektov v hlbších vrstvách problematická,
- pri nízkej vzdialenosti medzi výstužnými prútmi sa odrazy môžu prekryvať, čo sťažuje presnú identifikáciu jednotlivých prvkov alebo geometrických detailov v radarových snímkach,
- presnosť merania môže byť ovplyvnená podmienkami na stavenisku, ako je vlhkosť betónu, prítomnosť kovových prvkov veľkého objemu alebo nepravidelná geometria povrchu [11].

### 1.2.3 Metóda elektromagnetickej indukcie

Metóda elektromagnetickej indukcie na princípe vírivých prúdov patrí medzi nedeštruktívne diagnostické postupy, využívané najmä pri skúmaní železobetónových a trámových stropných konštrukcií. Jej princíp spočíva v hodnotení elektromagnetickej odozvy ocelevej výstuže na pôsobenie magnetického poľa. Na základe zmeny indukovaného signálu je možné určiť polohu, počet a smer uloženia výstužných prútov v betónovej konštrukcii, pričom pri modernejších sondách možno orientačne stanoviť aj ich priemer a hrúbku krycej vrstvy betónu. Metóda sa využíva predovšetkým v staticky významných oblastiach, ako sú stredy rozpätí a okrajové zóny, namáhané na šmyk, kde je znalosť skutočného priebehu výstuže kľúčová pre následné statické posúdenie.

V bežnej diagnostickej praxi sa metóda často kombinuje so sekanými sondami. Najskôr sa meraním in situ zistí predpokladaná poloha výstuže a až následne sa na vhodnom mieste lokálne odstráni krycia vrstva betónu, s cieľom overiť smer a skladbu výstuže kontaktným meraním. Tento postup minimalizuje rozsah nevratných zásahov do konštrukcie a zároveň umožňuje zvýšiť presnosť výsledkov. V prípadoch, keď nie je možné sekať sondy z dôvodu rizika oslabenia prvku alebo pri podozrení na nadmernú kryciu vrstvu („utopenie výstuže“), sa metóda vírivých prúdov dopĺňa o rádiometrické a radiografické merania.

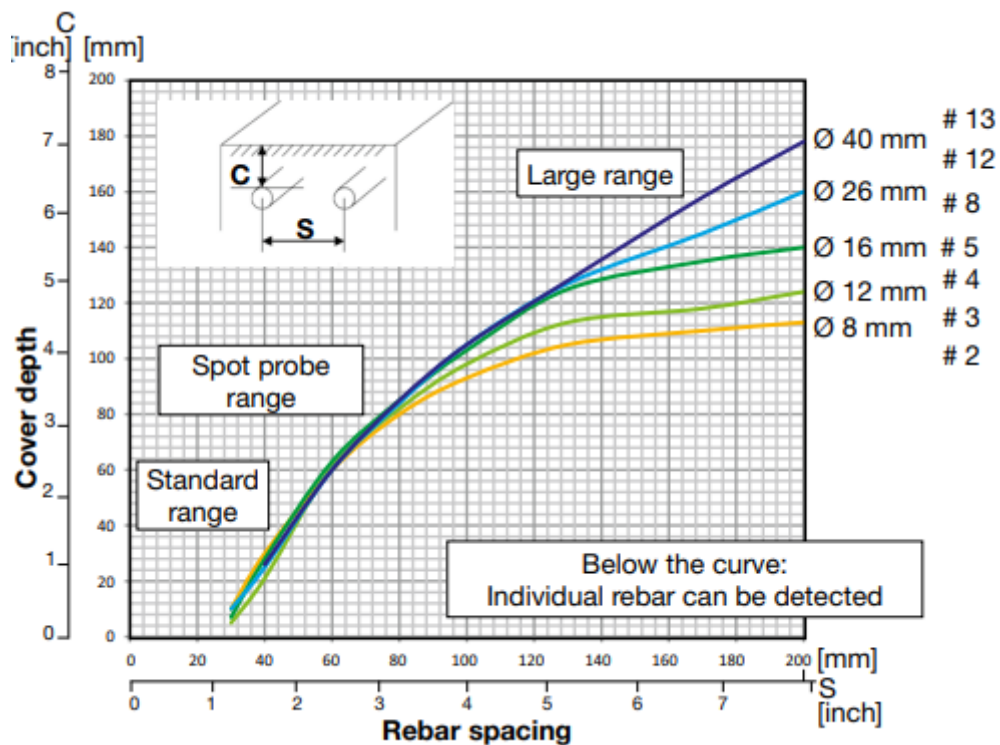
Metóda elektromagnetickej indukcie má viacero výhod:

- rýchlosť,
- mobilita,
- schopnosť získať dôležité informácie bez poškodenia konštrukcie.

Medzi nevýhody patrí:

- presnosť, meranie môže byť ovplyvnené hrúbkou krycej vrstvy, prítomnosťou viacerých vrstiev výstuže či interferenciou s oceľovými prvkami v okolí.

Z tohto dôvodu sa odporúča jej výsledky vždy interpretovať v nadväznosti na vizuálne pozorovanie, projektovú dokumentáciu a doplnkové diagnostické metódy [15].



Obr. 5: Graf znázorňuje vzťah medzi hĺbkou krycej vrstvy betónu a vzájomným rozostupom výstužných prútov pri použití elektromagnetickej indukčnej metódy na princípe vírivých prúdov, detekcie výstuže [16].

### 1.2.3.1 Profometer PM – 630

Prístroj Profometer PM – 300 patrí medzi nedeštruktívne diagnostické zariadenia určené na zisťovanie polohy výstuže v železobetónových konštrukciách. Jeho činnosť je založená na princípe elektromagnetickej indukcie, pri ktorej meracia sonda vytvára striedavé magnetické pole. V prítomnosti oceľovej výstuže dochádza k vzniku vírivých prúdov a následnej zmene magnetickej odozvy materiálu. Tieto zmeny sú vyhodnocované elektronikou prístroja a prevádzané na merané hodnoty, ktoré umožňujú identifikovať polohu a priebeh výstužných prútov v konštrukcii.

Profometer PM – 300 je určený predovšetkým na lokalizáciu výstuže a na určovanie hrúbky krycej vrstvy betónu nad výstužnými prútmi. Výsledky merania poskytujú informácie o skutočnom uložení výstuže v konštrukcii, ktoré je možné porovnať s projektovou dokumentáciou a následne použiť pri statickom posúdení prvkov. Zariadenie je využiteľné najmä pri diagnostike nosných prvkov, kde nie je žiaduce vykonávať invazívne sondážne zásahy, prípadne tam, kde je potrebné minimalizovať zásahy do konštrukcie.



Obr. 6: Profometer PM – 630 [11].

Výhodou prístroja je možnosť vykonávať merania priamo na povrchu konštrukcie, bez jej poškodenia, čo umožňuje rýchle získanie orientačných informácií o rozložení výstuže. Na druhej strane, presnosť určenia priemeru prútov a rozlíšenia viacerých vrstiev výstuže je limitovaná meracím princípom a závisí od hrúbky krycej vrstvy, vzdialenosti rebier a od geometrie prvku. Z tohto dôvodu sa merania profometerom v diagnostickej praxi často kombinujú s doplnujúcimi metódami, ako sú otvorené sondy alebo rádiografické merania, ktoré umožňujú detailnejšie overenie výsledkov. Profometer PM – 300 tak predstavuje efektívny nástroj pre orientačnú identifikáciu priebehu výstuže a kontrolu krycej vrstvy betónu, pričom získané údaje slúžia ako významný podklad pre posúdenie technického stavu železobetónových konštrukcií a návrh prípadných sanačných opatrení [16].



*Obr. 7: Meranie kruhového stĺpu pomocou Profometer PM – 630.*

### 1.3 Historický vývoj betonárskej výstuže v 50. až 60. rokoch 20. storočia

Stavba, ktorá bude posudzovaná v praktickej časti pochádza pravdepodobne z konca 50. a začiatku 60. rokov 20. storočia. Toto obdobie je špeciálne z hľadiska vystužovania, a preto bude v tejto kapitole rozobratý vývoj najmä z hľadiska druhov a kvality betonárskej výstuže.

Stavebníctvo v Československu prechádzalo dynamickým rozvojom, ktorý bol spojený najmä s industrializáciou výstavby, rastom podielu železobetónových konštrukcií a rozšírením prefabrikovaných stavebných prvkov. Tento trend vytváral zvýšené požiadavky na kvalitu, pevnosť a mechanické vlastnosti betonárskej ocele, pričom zároveň bolo potrebné racionalizovať jej spotrebu. Z tohto dôvodu sa rozvinul rozsiahly výskum zameraný na vývoj nových druhov betonárskych ocelí, na zvyšovanie ich medze klzu a na zlepšovanie spolupráce ocele s betónom, prostredníctvom úpravy povrchu a technológií spracovania. Výsledky týchto snáh sa prejavili najmä v rokoch 1953–1963, kedy sa postupne prechádzalo od tradičných hladkých tyčí k profilovaným a za studena spracovaným oceľovým výstužiam, s podstatne vyššími pevnostnými charakteristikami.

Základné druhy betonárskej ocele, používané v tomto období, boli klasifikované podľa spôsobu výroby, povrchovej úpravy a mechanických vlastností. Najstaršou skupinou boli ocele, valcované za tepla, v podobe hladkých tyčí, ktoré predstavovali tradičný typ výstuže v menej namáhaných železobetónových prvkoch. Tieto ocele sa vyznačovali nižšou medzou klzu, vyššou tvárnosťou a boli vhodné najmä pre pomocné a rozdeľovacie výstuže a konštrukčne menej náročné prvky. So zvyšovaním nárokov na nosnosť konštrukcií však ich význam postupne klesal a boli nahrádzané výkonnejšími typmi výstuže.

Prelomovým krokom vo vývoji betonárskych ocelí bolo zavedenie profilovaných tyčí typu **ROXOR**, ktoré priniesli výrazné zlepšenie adhézie medzi oceľou a betónom, vďaka rebrovaniu povrchu. Profilovanie umožnilo lepši prenos šmykových napätí v styčnej ploche a viedlo k zvýšeniu únosnosti železobetónových prvkov, bez potreby zväčšovania prierezu výstuže. Ocele tohto typu dosahovali vyššiu medzu klzu a boli používané predovšetkým v nosníkoch, stropných doskách, rámoch a iných ťažko namáhaných konštrukčných prvkoch. Ich uplatnenie zároveň umožnilo znižovať celkovú spotrebu ocele pri zachovaní alebo zvyšovaní únosnosti konštrukcií, čo bolo v podmienkach plánovaného hospodárstva mimoriadne významné.

Ďalšou významnou skupinou novo vyvíjaných výstužných materiálov boli ocele, spracované za studena, známe pod označením **TOR**. Tieto tyče vznikali tvarovaním a pretváraním za studena, čo viedlo k výraznému zvýšeniu medze klzu a pevnosti v ťahu, často až na hodnoty presahujúce dovtedajšie bežné druhy ocele. Zároveň sa vyznačovali menšími priermi, presnejšou geometriou a vhodnosťou pre prefabrikovanú výrobu. V 60. rokoch sa tak ocele typu TOR stali kľúčovým

materiálom, najmä pre veľkpanelovú a montovanú výstavbu, kde sa kládol dôraz na rýchlosť montáže, úsporu materiálu a opakovateľnosť výrobných procesov. Významnú úlohu mali aj v tenkostenných železobetónových prvkoch a pri výrobe stropných a stenových dielcov.

Osobitnú skupinu tvorili ocele ťahané za studena vo forme drôtov a jemných tyčí, využívané predovšetkým v zváraných sieťach a prvkoch s malou hrúbkou. Tieto ocele sa uplatňovali v doskových, škrupinových a iných subtílnych konštrukciách, kde bolo potrebné dosiahnuť vysokú pevnosť pri minimálnej hmotnosti výstuže. Výskum sa v ich prípade sústreďoval nielen na dosahovanie vyšších pevnostných hodnôt, ale aj na správanie pri zváraní, únavovej záťaži a dlhodobom namáhaní, čo súviselo s rastúcim rozšírením prefabrikovaných konštrukčných systémov.

Súbežne s technologickým vývojom prebiehala v 60. rokoch aj racionalizácia výroby a zavádzanie nových výrobných postupov v hutníckom priemysle. Betonárska oceľ sa začala vyrábať nielen valcovaním za tepla, ale aj tvarovaním a spracovaním za studena, čím sa dosahovala vyššia homogenita mechanických vlastností a stabilnejšia kvalita výrobkov. Postupne sa zavádzala mechanizácia a automatizácia výroby výstuže, normalizovali sa priemery a tvary tyčí a zjednocovali sa normy označovania a klasifikácie ocelí. Tieto opatrenia mali za cieľ nielen zvýšiť technickú úroveň stavebných konštrukcií, ale aj zabezpečiť efektívne hospodárenie s materiálovými zdrojmi v rámci stavebnej výroby.

Vývoj betonárskych ocelí v 60. rokoch tak predstavoval kľúčový posun od tradičných hladkých tyčí smerom k profilovaným a za studena spracovaným vysokohodnotným oceliam. Tento proces umožnil znižovať spotrebu materiálu, zvyšovať únosnosť a spoľahlivosť železobetónových konštrukcií a zároveň vytvoril technický základ pre rozvoj prefabrikácie a industrializovanej výstavby, ktorá sa stala dominantným stavebným smerom tohto obdobia [17].

Tab. 1: Akostný sortiment betonárskych ocelí v ČSSR, ocele valcované za tepla [17].

Označenie podľa RVHP	Hutný zdroj	Mezda klzu $\sigma_{Kt0,2}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Pevnosť $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Ťažnosť $\delta_s$ [%]
-	technologické odstrihy	21	max. 50	24
A II	zámerne neukľudnená a poloukľudnená tavba	30	min. 45	19
A III	zámerne ukludnená tavba	40	min. 55	14
A IV	zámerne ukludnená tavba	60	bude určené neskôr	bude určené neskôr

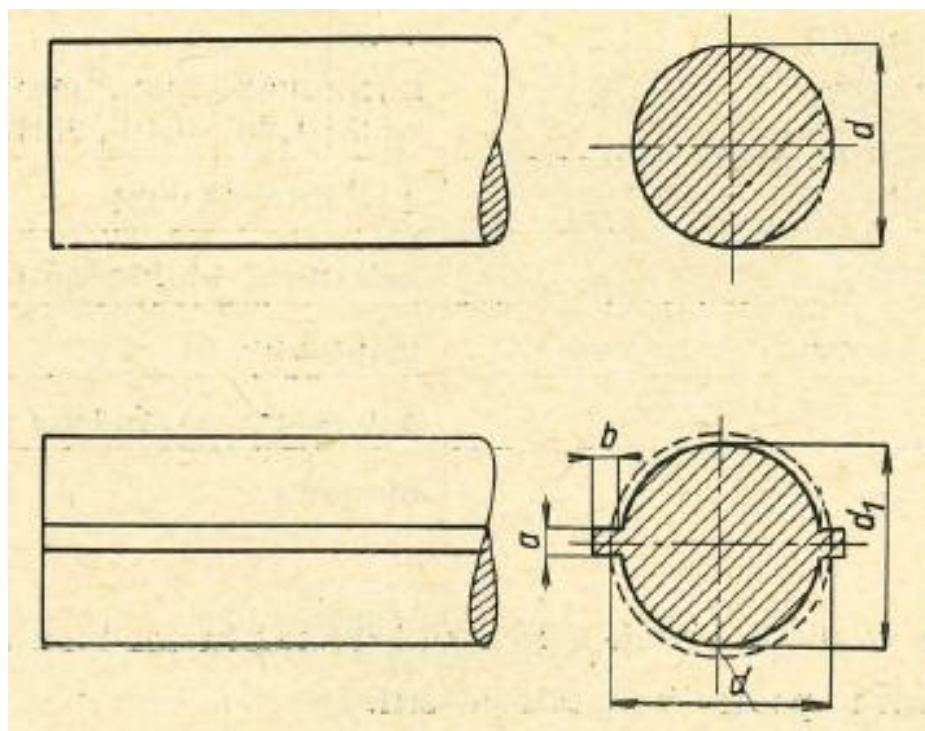
- 1) *Technologické odstrihy – odrezané koncové časti ingotov (liatí kovový blok), hlavne z hlbokoťažných a mäkkých ocelí, ktoré vznikajú pri výrobe a ďalej sa používajú ako polovýrobok na ďalšie spracovanie*
- 2) *Neukľudnená oceľ - oceľ, ktorá bola vyrobená bez pridania ukludňujúcich prísad.*
- 3) *Ukludnená oceľ – oceľ, ktorá je zbavená vo väčšej miere plynov uskladňujúcimi prísadami ako sú: Fe, Si, Al.*

Tab. 2: Tabuľka ocelí tvárnených za studena [17].

Označenie podľa RVHP	východiskový materiál	Mezda klzu $\sigma_{Kt0,2}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Pevnosť $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Ťažnosť $\delta_5$ [%]
AK II	technologické odstrihy skrúcaním	30	min. 40	min. 12
AK III	A II skrúcaním	40	min. 50	min. 10
AK IV	A III skrúcaním	60	bude určené neskôr	10
AK V	A IV ťahaním	90	bude určené neskôr	bude určené neskôr
zvárané siete	zámerne ukludnená tavba	50	60	$\delta_{10} = \text{min. } 6\%$

Tab. 3: Tabuľka ocele 10 210 [17].

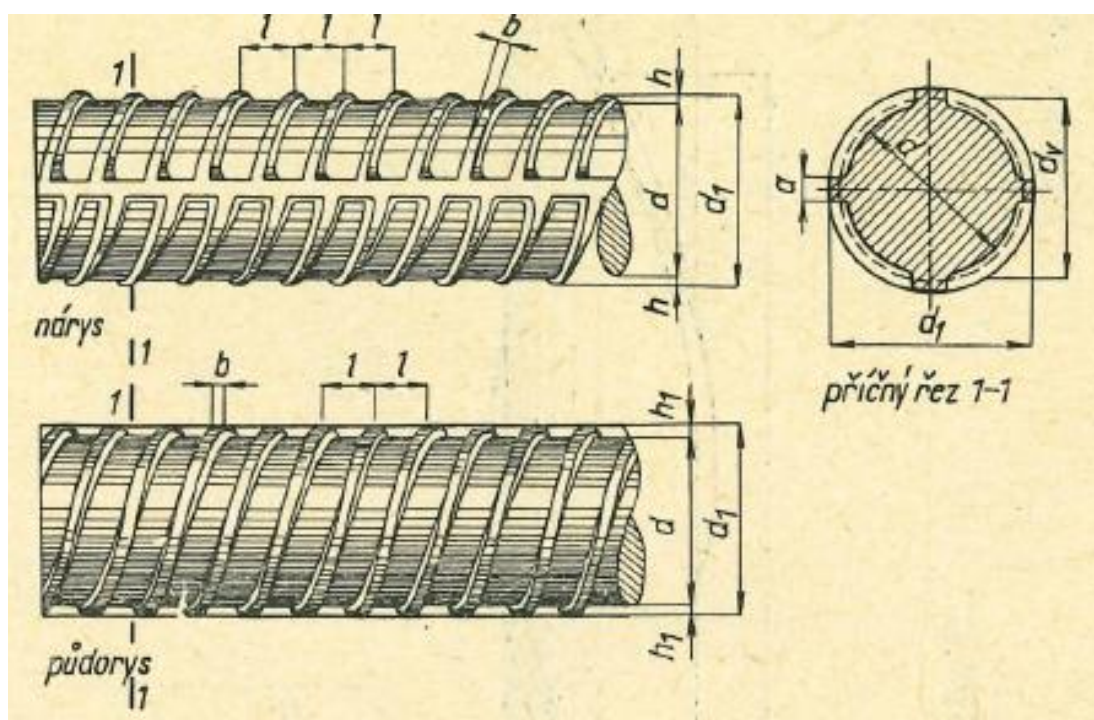
Betonárska oceľ	10 210
Označenie materiálu	10 210 ( skôr označované 10 002)
Tvar tyčí, povrchová úprava	kruhový prierez hladký alebo s dvomi pozdĺžnymi výstupkami
Priemer [mm]	5,5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt_{0,2}}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	21
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	max. 50
Najmenšia ťažnosť [%]	24
Zvárateľnosť	náročná
Kotvenie prútov	s polkruhovými hákmi
Výroba	valcované za tepla



Obr. 8: Betonárska oceľ 10 210 [17].

Tab. 4: Tabuľka ocele 10 300 – R30 [17].

Betonárska oceľ	10 300 – R30
Označenie materiálu	10 300 ( skôr označované 10 002)
Tvar tyčí, povrchová úprava	kruhový prierez, kde rovnobežne s osou tyče prebiehajú dva pozdĺžne výstupky a medzi nimi v tvare špirály s rovnakým zmyslom stúpania priečne rebrá
Priemer [mm]	6; 7; 8 (od roku 1962 nahradené TOR 30); 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40 50; 60
Najmenšia medza klzu $\sigma_{kt_{0,2}}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	30
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	min. 45
Najmenšia ťažnosť [%]	19
Zvárateľnosť	náročná
Kotvenie prútov	bez hákov
Výroba	valcované za tepla

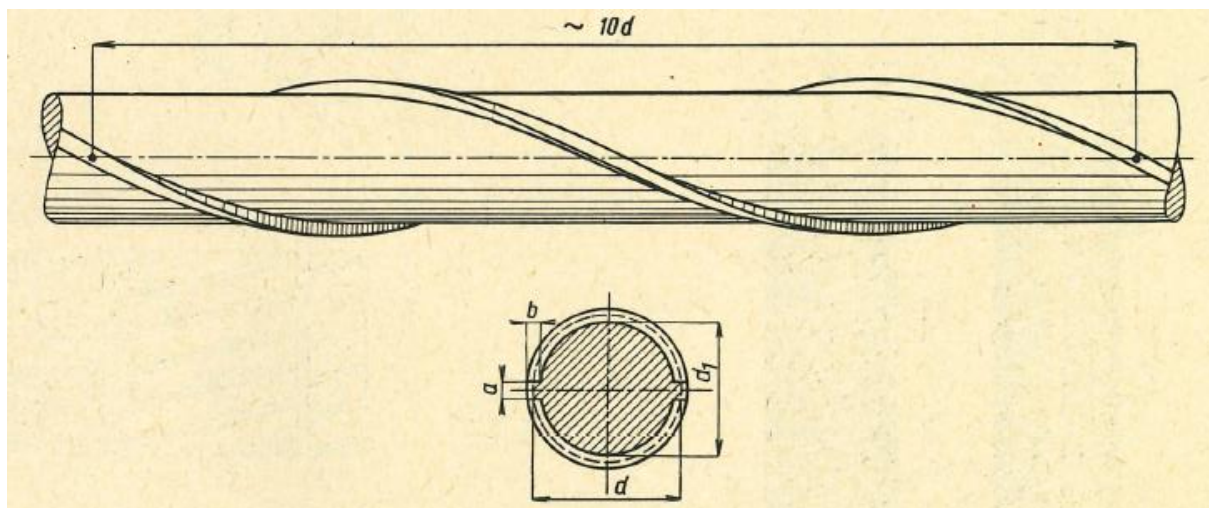


Obr. 9: Betonárska oceľ 10 300 – R30 [17].

Tab. 5: Tabuľka ocele 10 302 – TOR 30 [17].

Betonárska oceľ	10 302 – TOR 30
Označenie materiálu	10 302
Tvar tyčí, povrchová úprava	kruhový prierez s dvomi priebežnými pozdĺžnymi diametrálne umiestnenými výstupkami, ktoré tvoria na povrchu tyče dve pravotočivé špirály
Priemer [mm]	6; 7; 8; (10; 12 nahradené od roku 1962 R 30); 14; 16; 18; 20; (22; 25; 28; 32) *)
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt_{0,2}}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	30
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	min. 40
Najmenšia ťažnosť [%]	12
Zvárateľnosť	zváranie nie je povolené
Kotvenie prútov	bez hákov do priemerov 20 mm, u väčších zatiaľ s hákmi
Výroba	krútené za studena

\*) pre priemery  $\varnothing 14$  a viac navrhnutý nový tvar s účinnejšiu úpravou povrchu pre zvýšenie súdržnosti s betónom



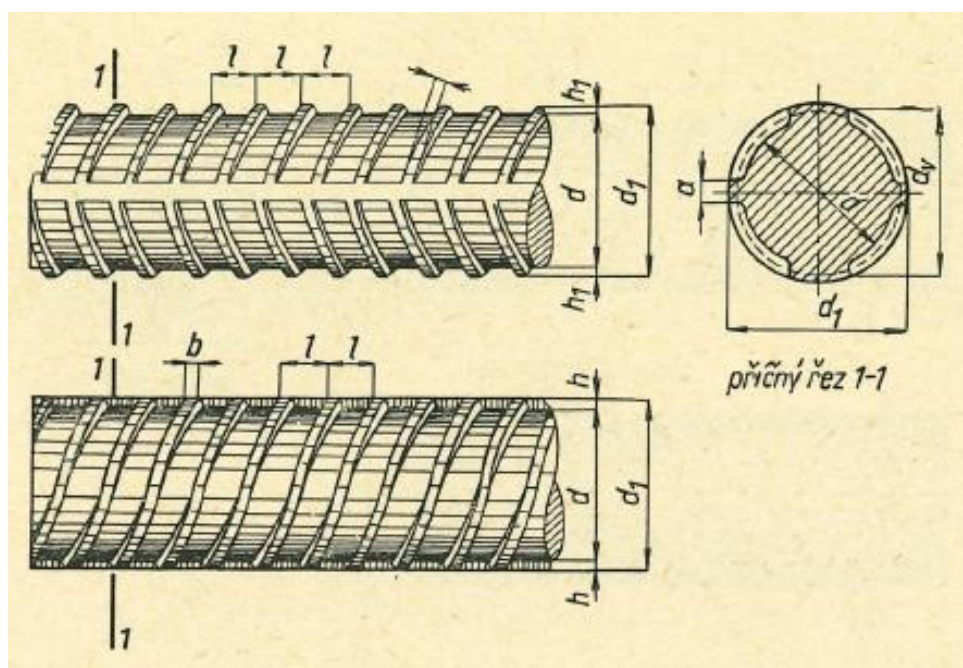
Obr. 10: Betonárska oceľ 10 302 – TOR 30 [17].

Tab. 6: Tabuľka ocele 10 400 – Rs 40 [17].

Betonárska oceľ	10 400 – Rs 40
Označenie materiálu	10 400
Tvar tyčí, povrchová úprava	kruhový prierez s dvomi diametrálne umiestnenými výstupkami, medzi nimi súčasne, tj. s opačným stúpaním, prebiehajú po špirále rebrá
Priemer [mm]	6; 7 ( zatiaľ nevyrábaný); (8; 10; 12; *); 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32 (36; 40; 45; 50) **)
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt_{0,2}}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	40
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	min. 55
Najmenšia ťažnosť [%]	14
Zvárateľnosť	zaručená
Kotvenie prútov	bez hákov
Výroba	martinská uľudnená oceľ

\*)  $\varnothing 8$  a  $10$  mm sa budú do roku 1965 vyrábať z únikových ocelí, akosť odpovedá oceli 10 512

\*\*) podľa ČSN 41 0400 sa má vyrábať do  $\varnothing 40$  mm, stavebníctvo požaduje tiež  $\varnothing 45$  a  $50$  mm pre špeciálne inžinierske stavby, zatiaľ vyrábané do  $\varnothing 32$  mm



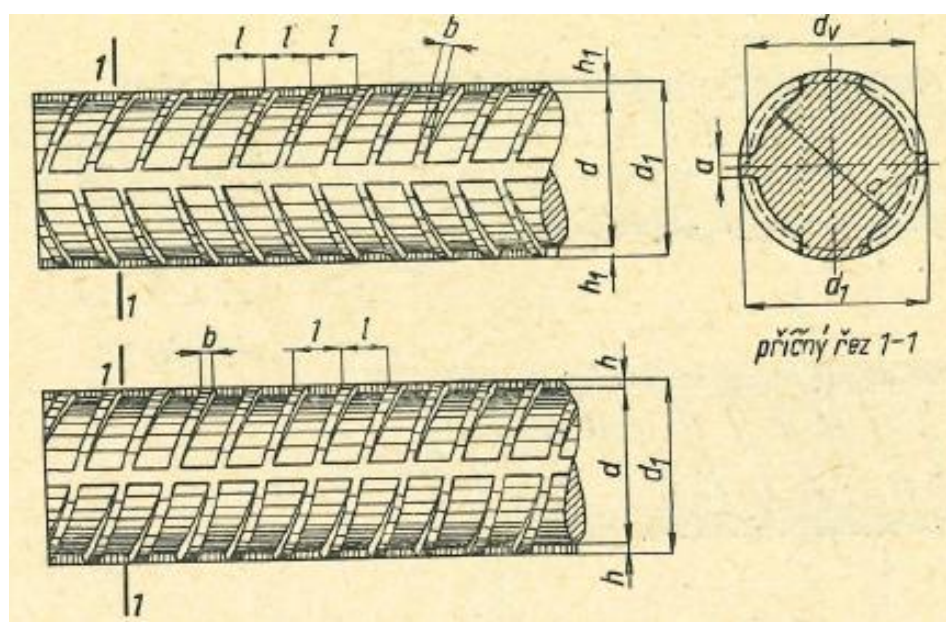
Obr. 11: Betonárska oceľ 10 400 – Rs 40 [17].

Tab. 7: Tabuľka ocele 10 401 – R 40 [17].

Betonárska oceľ	10 401 – R 40
Označenie materiálu	10 401 ( plstí od 1.3.1962)
Tvar tyčí, povrchová úprava	rovnaká ako u oceli Rs 40, oceľ R 40 má pre ľahšie odlíšenie od oceli Rs 40 okrem dvoch pozdĺžnych výstupkov ďalšie dva úzke pozdĺžne výronky o nepatrnej ploche priečneho rezu
Priemer [mm]	6; 7 ( zatiaľ nevyrábaný); (8; 10; 12; *); 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32 (36; 40; 45; 50) **)
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt0,2}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	40
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	min. 55
Najmenšia ťažnosť [%]	12
Zvárateľnosť	náročná
Kotvenie prútov	bez hákov
Výroba	valcované za tepla

\*)  $\varnothing 8$  a  $10$  mm sa budú do roku 1965 vyrábať z únikových ocelí, akosť odpovedá oceli 10 512

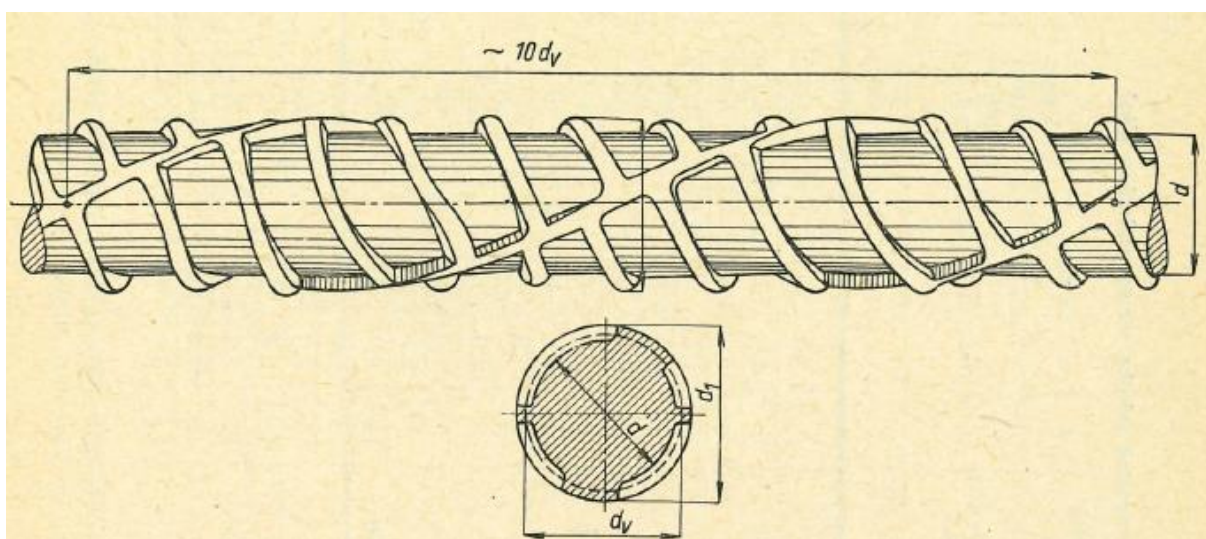
\*\*\*) podľa ČSN 41 0400 sa má vyrábať do  $\varnothing 40$  mm, stavebníctvo požaduje tiež  $\varnothing 45$  a  $50$  mm pre špeciálne inžinierske stavby, zatiaľ vyrábané do  $\varnothing 32$  mm



Obr. 12: Betonárska oceľ 10 401 – R 40 [17].

Tab. 8: Tabuľka ocele 10 402 – RK 40 [17].

Betonárska oceľ	10 402 – RK 40 ( do roku 1962 nevyrábaná)
Označenie materiálu	10 404021 ( plstí od 1.3.1962)
Tvar tyčí, povrchová úprava	kruhový prierez, z oceli R 30 zkrucovaním za studena; pozdĺžne priebežne, diametrálne umiestnené výstupky tvoria v oceli RK 40 dve špirály, ich výška závitú sa rovná 10 násobku priemeru tyče, medzi špirálovitými výstupkami prebiehajú priečne, avšak zkrucovaním pretvorené rebrá
Priemer [mm]	6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt0,2}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	40
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	min. 50
Najmenšia ťažnosť [%]	10
Zvárateľnosť	zváranie nie je povolené
Kotvenie prútov	bez hákov
Výroba	krútené za studena z R 30



Obr. 13: Betonárska oceľ 10 402 – RK 40 [17].

Tab. 9: Tabuľka ocele 10 600 – R 60 [17].

Betonárska oceľ	10 600 – R 60 ( vo vývoji *)
Označenie materiálu	10 600.0
Tvar tyčí, povrchová úprava	kruhový prierez s dvoma pozdĺžnymi výstupkami a priečnymi rebrami ( tvar zatiaľ nie je stanovený)
Priemer [mm]	10; 12; 14; 16; 18; 20 **
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt_{0,2}}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	60
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	min. 90 ***
Najmenšia ťažnosť [%]	8 **
Zvárateľnosť	náročná
Kotvenie prútov	ako predpínacia výstuž
Výroba	válcované za tepla

\*) oceľ v štádiu vývoja, do roku 1965 sa nepočíta s hromadnou výrobou

\*\*) priemerová rada nebola zatiaľ stanovená

\*\*\*) hodnoty sú informatívne, budú overené a upresnené

Tab. 10: Tabuľka ocele 10 902 – RT 90 [17].

Betonárska oceľ	10 902 – RT 90 ( vo vývoji *)
Označenie materiálu	10 902
Tvar tyčí, povrchová úprava	tvar zatiaľ nie je stanovený
Priemer [mm]	10 - 20**
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt_{0,2}}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	90
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	bude určené
Najmenšia ťažnosť [%]	bude určené
Zvárateľnosť	zvarovanie nie je povolené
Kotvenie prútov	ako predpínacia výstuž
Výroba	deformácia za studena natiahnutím

\*) oceľ v štádiu vývoja, do roku 1965 sa nepočíta s hromadnou výrobou

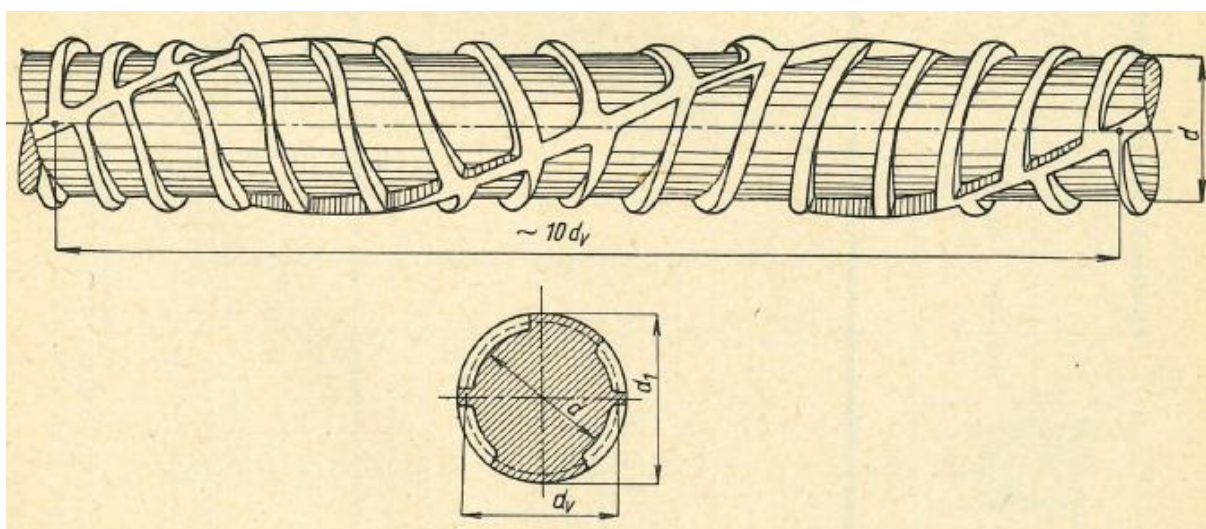
\*\*) bude upresnené podľa vhodnosti použitia

Tab. 11: Tabuľka ocele 10 602 – RK 60 [17].

Betonárska oceľ	10 602 – RK 60
Označenie materiálu	10 602
Tvar tyčí, povrchová úprava	kruhový prierez, z oceli Rs 40 alebo R 40 skrucovaním za studena, pozdĺžne priebežné, diametrálne umiestnené výstupky tvoria u oceli RK 60 dve ľavotočivé špirály, ich výška závitú je $10d_v$ , medzi špirálovitými pozdĺžnymi výstupkami prebiehajú priečne, avšak skrucovaním pretvorené rebrá
Priemer [mm]	8; 10; 12; 14; 16; 18 *
Najmenšia medza klzu $\sigma_{Kt_{0,2}}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	60 **
Pevnosť v ťahu $\sigma_{Pt}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	bude určené
Najmenšia ťažnosť [%]	10 **
Zvárateľnosť	zvarovanie nie je povolené
Kotvenie prútov	ako predpínacia výstuž
Výroba	krútené za studena z oceli Rs 40 alebo R 40

\*) bude upresnené v praxi, podľa vhodnosti použitia

\*\*\*) bude určená statickým skúmaním



Obr. 14: Betonárska oceľ 10 602 – RK 60 [17].

### 1.3.1 Betonárska oceľ Rs – 40

Oceľ Rs 40 patrí medzi vysokohodnotné betonárske ocele so zvýšenou pevnosťou, určené najmä pre vystužovanie železobetónových a prefabrikovaných prvkov. V porovnaní s bežnými hladkými betonárskymi oceľami je charakteristická vyššou medzou klzu a pevnosťou v ťahu, ako aj zlepšenou príľnavosťou k betónu, vďaka tvarovanému povrchu. Tieto vlastnosti umožňujú znížiť množstvo použitej výstuže pri zachovaní požadovanej únosnosti prvkov konštrukcií.

Oceľ Rs 40 sa vyrábala z nízkouhlíkových ocelí, určených pre betonárske účely, ktoré sú po primárnom hutníckom spracovaní ďalej za studena tvárnené (najčastejšie pretáhovaním, lisovaním alebo skrútením). Takto vzniká výrazné spevnenie materiálu, prejavujúce sa zvýšením pevnosti a medze klzu pri zachovaní primeranej tvárnosti. Povrch prútov je upravený do rebrovaného alebo profilovaného tvaru, čím sa dosiahne vyššia adhézia medzi oceľou a betónom. Profily sú navrhnuté tak, aby zlepšovali prenos šmykových napätí v styku oceľ – betón a minimalizovali riziko vytrhnutia prúta z betónu pri vysokých ťahových zaťaženiach. Výroba prebiehala v štandardizovaných priemeroch (typicky v rozsahu stredných priemerov výstuže, používaných pre siete a prútovú výstuž), čo umožňuje ich jednoduché zaraďovanie do sortimentu zvaraných sietí a prefabrikovaných výstužných prvkov.

V dôsledku studeného tvárnenia dosahuje oceľ Rs 40 vyššie pevnostné parametre ako bežná hladká betonárska oceľ – najmä zvýšenú medzu klzu a pevnosť v ťahu. To umožňuje navrhovať menšie prierezy výstuže pri rovnakom zaťažení, prípadne znižovať množstvo prútov v priereze. Zároveň však treba počítať s tým, že vyšší stupeň spevnenia vedie k nižšej zostatkovej ťažnosti, v porovnaní s mäkkšími oceľami, a preto je potrebné dodržiavať predpisy pre minimálne priemery ohybov a obmedziť opakované ohýbanie alebo narovnávanie prútov. Rebrovaný povrch ocele Rs 40 výrazne zlepšuje spoluprácu betónu a výstuže. V praxi to znamená menšie požiadavky na zakotvenie a kratšie kotevné dĺžky v porovnaní s hladkými prútmi, čo je výhodné najmä v oblastiach so zvýšenou koncentráciou výstuže alebo v prvkoch menších rozmerov.

V období zavedenia ocele Rs 40 bola táto výstuž určená predovšetkým pre:

- zvarané výstužné siete a priestorové výstužné prvky, používané v doskách a stenách,
- prefabrikované železobetónové prvky, kde vyššia pevnosť a dobrá príľnavosť ocele umožňovali optimalizovať výšku prierezov a množstvo výstuže,
- husté vystuženie v zónach vysokých ohybových a šmykových namáhání (podpory, prievlaky, konzoly a pod.),
- prvky, kde bolo z ekonomických dôvodov vhodné nahradiť väčší počet prútov z bežnej ocele menším počtom prútov Rs 40.

Oceľ Rs 40 sa odporúča používať predovšetkým v staticky a únosne dobre preverených konštrukciách, pri ktorých sa zohľadnia jej špecifiká (vyššia pevnosť, nižšia ťažnosť, obmedzenia pri zvaraní a ohýbaní). Pri návrhu detailov je nutné dodržiavať normové požiadavky na minimálne priemery ohybov, dĺžky zakotvenia a technologické predpisy výrobcu, aby sa neovplyvnila únosnosť a trvanlivosť konštrukcie.

Hlavné prínosy ocele Rs 40:

- vyššia pevnosť a medza klzu → možnosť úspory materiálu,
- rebrovaný povrch → zlepšená priľnavosť k betónu a kratšie kotevné dĺžky,
- vhodnosť pre sériovú výrobu zvaraných sietí a prefabrikovaných výstuží.

Obmedzenia a požiadavky:

- nižšia tvárnosť, nutné dbať na polomery ohybov a obmedziť dodatočné tvarovanie,
- pri zvaraní výstuže je potrebné rešpektovať normové požiadavky na zvarateľnosť a tepelné ovplyvnenie materiálu [17].



*Obr. 15: Betonárska výstuž Rs 40.*

## 2 PRAKTICKÁ ČASŤ

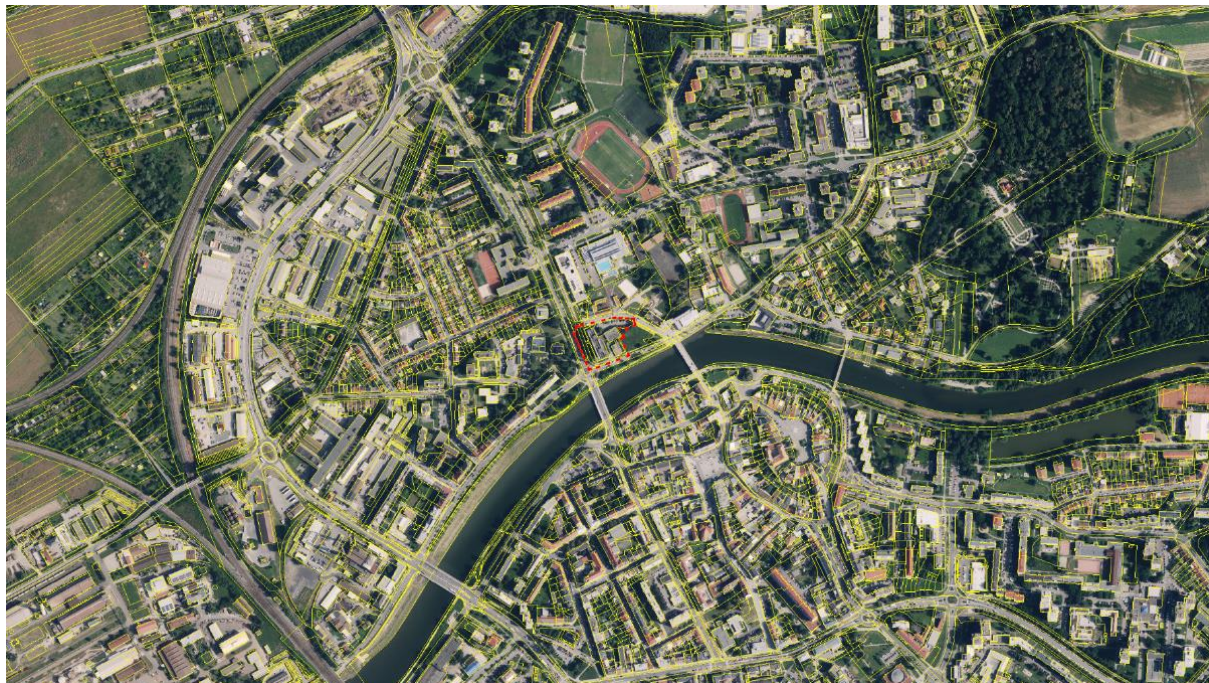
### 2.1 Popis objektu

Stavebný technický prieskum (ďalej iba STP) bol prevádzaný na objekte, nachádzajúcom sa v meste Přerov v Olomouckom kraji, v blízkosti rieky Bečva. Bývalý hotel Strojař, na ulici Velká Dlážka 336/2, bol vybudovaný ako železobetónová monolitická konštrukcia v prvej polovici 60. rokov minulého storočia. Hotel sa nachádza v katastrálnom území mesta Přerov [734713] pod číslom parcely: 3820. Súčasťou bolo 144 bytových jednotiek s 369 lôžkami. Komplex tvoria tri navzájom prepojené objekty: hlavná deväťpodlažná obytná budova v jeho juhovýchodnej časti, dvojpodlažný objekt reštaurácie v severozápadnej časti a jednopodlažná technická budova v juhozápadnej časti. Všetky časti sú navzájom spojené komunikačnými „krčkami“.



*Obr. 16: Pohľad na hotel Strojař.*

Stojař je postavený na dolnom toku rieky Bečva na nivných (fluviálnych) kvartérnych usadeninách, pre ktoré sú typické nespevnené usadeniny ako piesky, či štrky a miestami ílovito-hlinené náplavy.



Obr. 17: Poloha hotela Stojař v rámci mesta Přerov [19].



Obr. 18: Geologická mapa hotela Stojař [19].

Podstatná časť objektu hlavnej budovy je určená na demoláciu do úrovne jedného podlažia - vzniknutý stavebný odpad nebude nákladne odvážaný na skládku, ale využitý na stavbu umelého kopca so zeleným kobercom v areáli, prístupný verejnosti. V prízemnej časti pôvodnej budovy vznikne po prestavbe verejná knižnica. V ďalších etapách výstavby budú k objektu pristavené dve obytné budovy orientované na južnú stranu.



*Obr. 19: Búrané a zachované časti [20].*

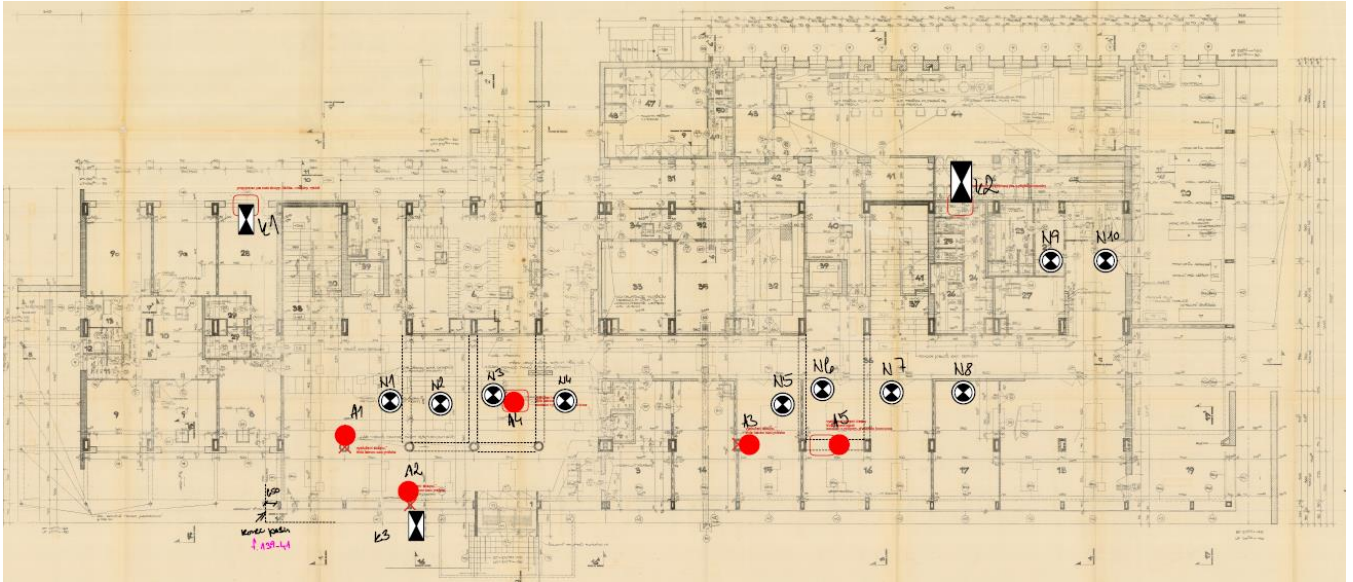
## 2.2 Popis prvkov

Nosný systém 1.NP hlavnej budovy tvorí železobetónový monolitický skelet, od 2.NP a vyššie sú zvislé a vodorovné konštrukcie zo železobetónových prefabrikovaných panelov. Bližšie špecifikovanie STP bolo iba 1.NP hlavnej obytnej budovy, preto ostatné konštrukcie nebudú ďalej skúmané.

Nosný systém 1.NP tvorí monolitický železobetónový skelet, s prievlakmi orientovanými naprieč. Základy nachádzajúce sa pod stĺpmi sú z veľkej pravdepodobnosti zhotovené ako betónové pätky, medzi ktorými sú betónové prahy, zatiaľ čo v juhovýchodnej predsadenej časti sú pod ŽB stĺpmi základové pásy.

Zvislé nosné konštrukcie sú tvorené železobetónovými stĺpmi, vonkajšími obdĺžnikového prierezu a vnútornými kruhového prierezu. Obvodový plášť medzi stĺpmi je z tehlového muriva. Vodorovné nosné konštrukcie sú tvorené prične orientovanými prievlakmi, medzi ktorými sú

v pozdĺžnom smere ťahané ŽB dosky a stužujúce trámy. Pod prievlakmi sú inštalované rovné pohľady z rabcového pletiva s betónovými ččkami a omietkou. Nášľapné vrstvy podláh sú z keramických dlažieb alebo kobercov.



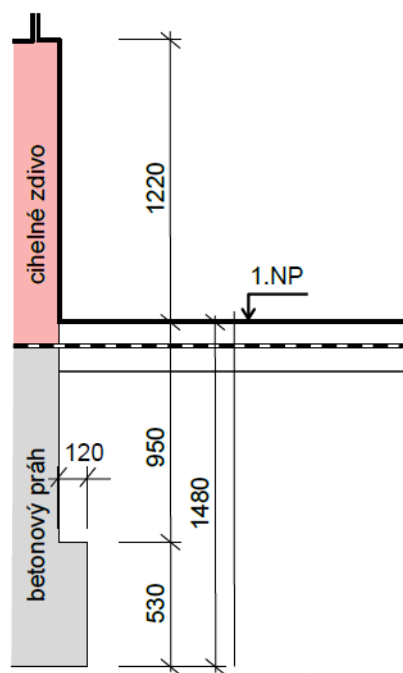
Obr. 20: Polohy sond v objekte.

## 2.2.1 Základy

Na overenie existencie a z dôvodu určenia rozmerov betónových prahov medzi základovými pätkami stĺpov, boli zo strany interiéru zrealizované dve prieskumné sondy, pod označením K1 a K2. Pri krajnom stĺpe v preadsadenej juhozápadnej časti objektu bola navyše vykopaná sonda K3, so smerom k základovej konštrukcii objektu. Zistené údaje sú znázornené nižšie a polohy jednotlivých sond vyznačené vo výkresovej dokumentácii na obrázku 20.

Sonda K1 potvrdila prítomnosť betónového prahu, nachádzajúceho sa medzi stĺpmi, na ktorom je uložený obvodový plášť z tehlového muriva. Betónový prah sa v úrovni 0,95 m pod podlahou 1. nadzemného podlažia rozširuje o 0,12 m. Základová špára sa nachádza v úrovni 1,48 m. Skladba podlahy 1.NP:

- PVC 2 mm
- betónová mazanina 100 mm
- asfaltový pás 5 mm
- podkladný betón + kari sieť 100 mm
- násyp s kameňmi 750 mm
- zemina



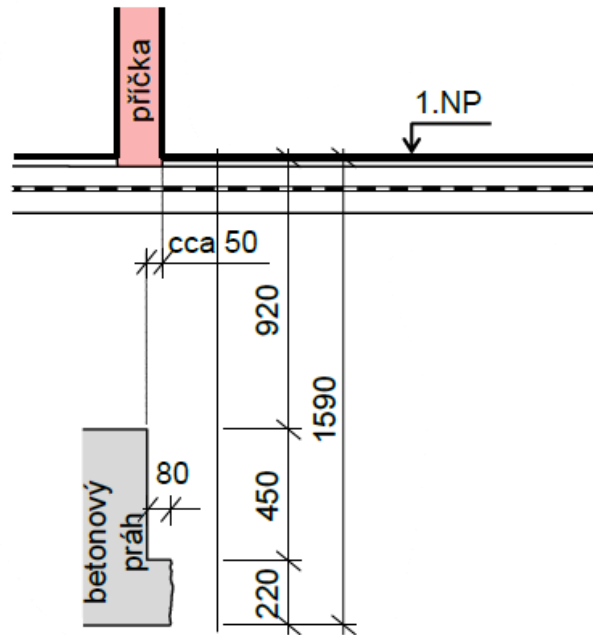
Obr. 21: Schéma sondy K1.



Obr. 22: Sonda K1.

Sonda K2 preukázala, že medzi stĺpmi sa nachádza betonový práh, pričom jeho horná hrana leží 0,92 m pod úrovňou podlahy 1. nadzemného podlažia. V hĺbke 1,37 m pod podlahou 1.NP sa práh rozširuje o 0,08 m. Základová špára tohto prahu je situovaná 1,59 m pod úrovňou podlahy 1.NP. Skladba podlahy 1.NP:

- keramická dlažba 7 mm
- cementové lepidlo 25 mm
- betonová mazanina 70 mm
- asfaltový pás 5 mm
- podkladný betón + kari sieť 80 mm
- zemina



Obr. 23: Schéma sondy K2.



Obr. 24: Sonda K2.

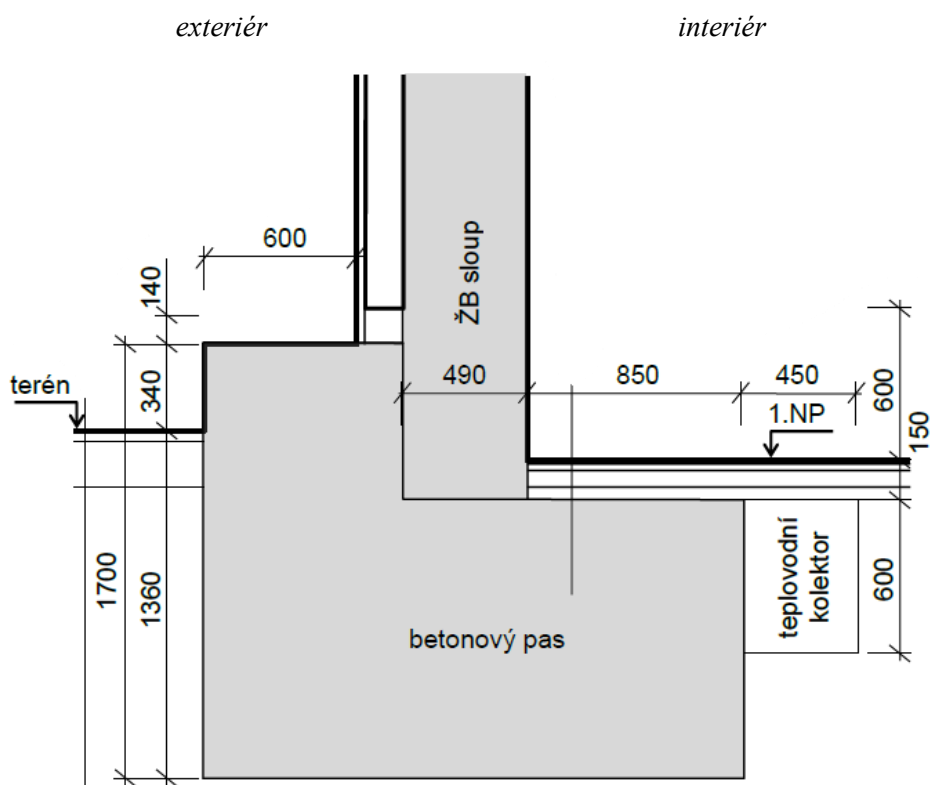
Sonda K3 ukázala, že krajné stĺpy na juhozápadnej strane objektu sú založené na betónovom základovom páse, ktorý ma v priečnom reze tvar pripomínajúci písmeno L. Betónový pás vystupuje až k úrovni terénu z exteriérovej strany, kde nesie presklený obvodový plášť. Základová špára sa nachádza približne 1,7 m pod hornou hranou betónového pásu zo strany exteriéru. V interiéri vedie vo vzdialenosti 0,85 m od líca stĺpu teplovodný kolektor.

Skladba podlahy exteriér:

- betónová dlažba 40 mm
- pieskové lôžko 200 mm
- zemina + stavebná suť

Skladba podlahy interiér:

- keramická dlažba 8 mm
- cementové lepidlo 2 mm
- betónová mazanina 25 mm
- betónová mazanina 25 mm
- betónová mazanina 65 mm
- betónová mazanina 50 mm
- betónový pás



Obr. 25: Sonda K3.

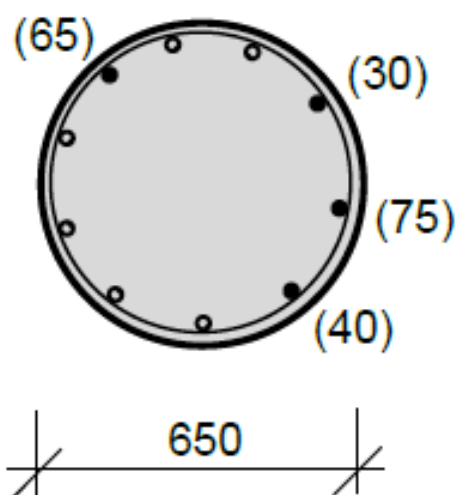
V rámci stavebného technického prieskumu bola na monolitických železobetónových doskách nad 1.NP zisťovaná pevnosť betónu v tlaku za pomoci deštruktívnych skúšok. Pri ich odoberaní bol zároveň overený tvar a výstuž jednotlivito vybraných železobetónových prvkov.

## 2.2.2 Zvislé a vodorovné nosné konštrukcie

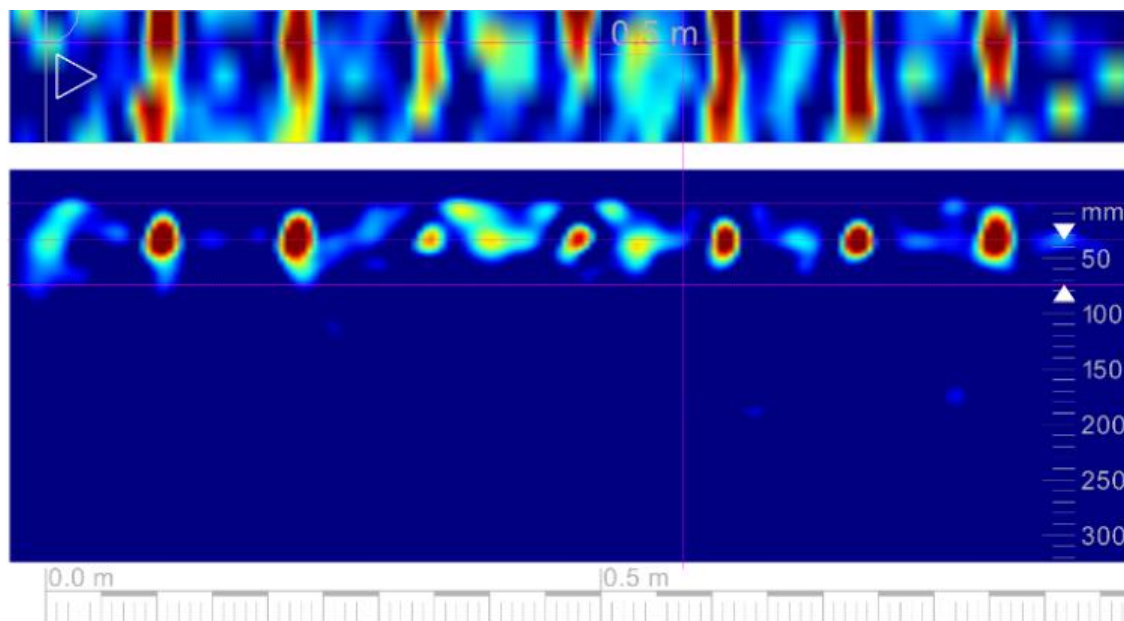
Na vybraných zvislých a vodorovných konštrukciách bol zisťovaný ich typ, tvar a prípadné vystuženie jednotlivých prvkov pomocou elektromagnetického indikátora Proceq Profometer PM – 630 a georadaru Hilti PS 1000. Nasledovalo odstránenie krycej vrstvy betónu. Vo výsledku bolo realizovaných päť sond, ktoré boli označené A1 – A5. Poloha sond je uvedená na obrázku 20 a nami zistené hodnoty zaznamenané v nasledujúcich schematických nákresoch, v ktorých:

- výstuž určená nedeštruktívnym meraním je znázornená prázdny krúžkom,
- výstuž kde boli prevedené aj sekané sondy plným krúžkom,
- hodnoty uvedené v zátvorkách predstavujú hrúbku krycej vrstvy,
- rozmery nosných prvkov sú uvádzané bez omietok.

Vnútorň kruhový stĺp A1 bol obložený dreveným profilom, ktorý musel byť odstránený z dôvodu prevedenia potrebných meraní. Železobetónový stĺp, nachádzajúci sa v 1.NP, mal použitú ako hlavnú výstuž, historicky používajúcu sa výstuž začiatkom 60. rokov, do ktorých spadá výstavba hotela. Ide o výstuž typu 10 400 – R40. Hlavnú výstuž teda tvorí profil 10 x Ø 20 a ako strmienka bola použitá hladká kruhová výstuž Ø 8, ovíjaná. Jednotlivé tvrdenia boli overené pomocou sekaných sond.



Obr. 26: Schéma stredového stĺpa A1, kruhového prierezu. Hlavná výstuž Ø 20 (10 400 – R40) mm.



*Obr. 27: Účelom tohto skenu prostredníctvom systému Hilti PS 1000 bolo lokalizovať polohu ovíjaných strmienkov v priereze stĺpa A1, overiť ich rozmiestnenie a hĺbku uloženia pod povrchom betónu.*



*Obr. 28: Pohľad na stredový kruhový stĺp A1.*

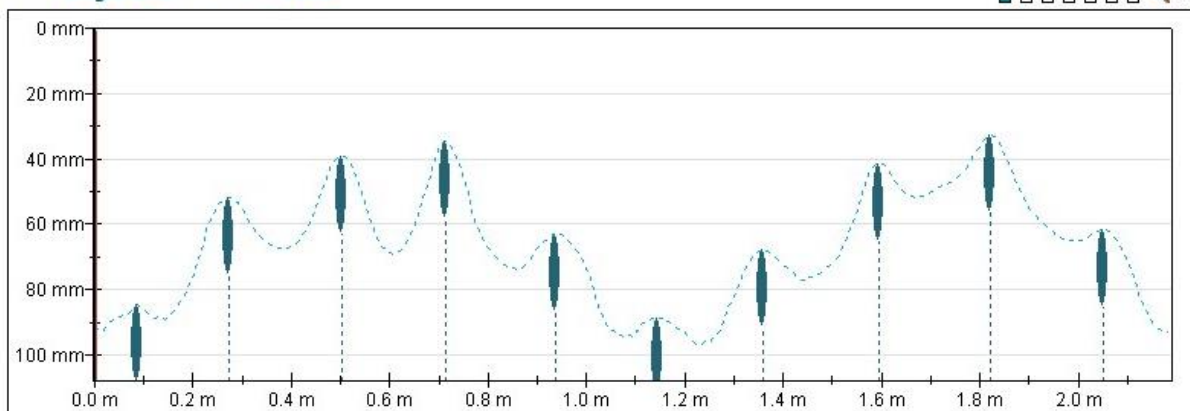


Obr. 29: Sekaná sonda stĺpa A1, hlavná výstuže R40.

Name	Date & Time	Mode	Rebars	Lines	Distance	Snapshots	Unit
Sloup A1. Hlavní výztuž	10/09/2025 11:25 AM	Single-Line	10	1	2.187 m	0	Metric

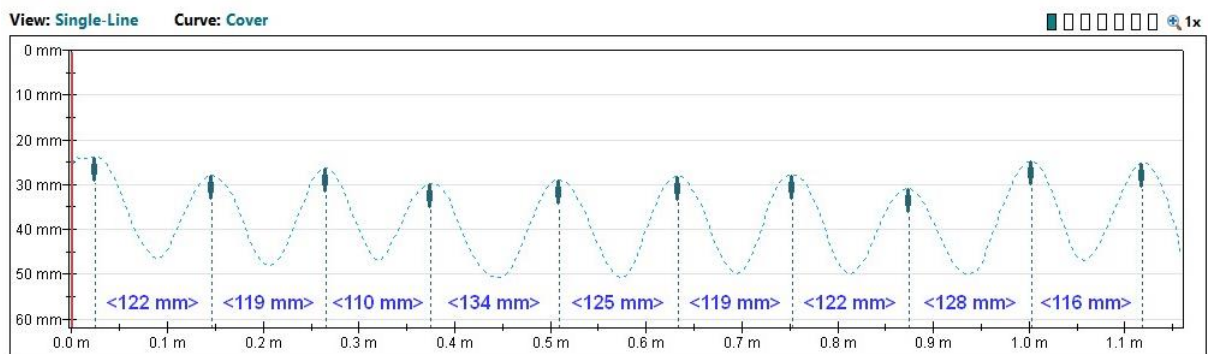
View: **Single-Line** Curve: **Cover**

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1x

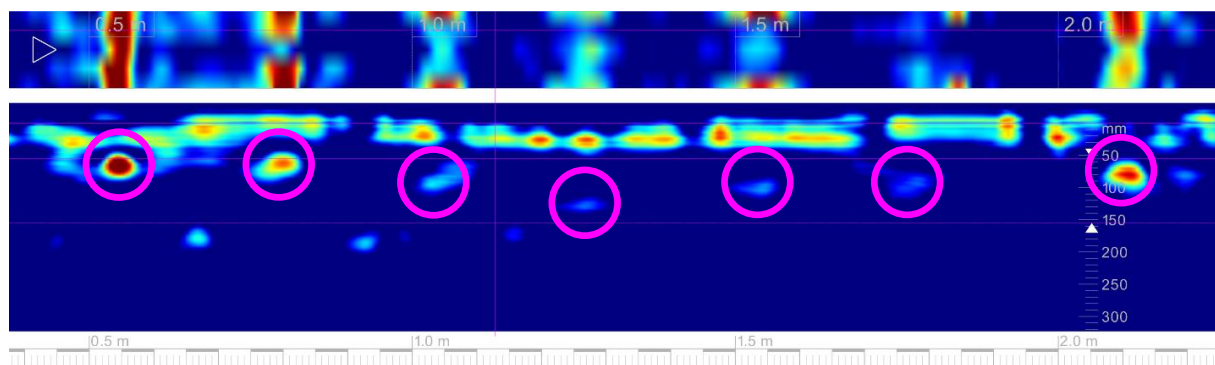


Obr. 30: Meranie hlavnej výstuže stĺpa A1 profometrom bolo vykonané v režime Single-Line pozdĺž jednej meracej línie s celkovou dĺžkou 2,187 m, pričom bolo identifikovaných 10 výstužných prútov. Krytie hlavnej výstuže sa pohybuje približne v intervale od 40 mm do 100 mm, pričom jeho hodnota sa pozdĺž prvku výrazne mení.

Name	Date & Time	Mode	Rebars	Lines	Distance	Snapshots	Unit
Sloup A1, Trmínky	10/09/2025 11:29 AM	Single-Line	10	1	1.157 m	0	Metric

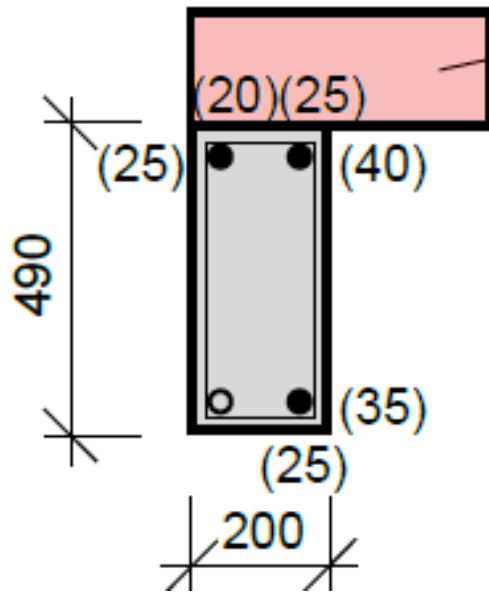


Obr. 31: Obrázok znázorňuje výsledok nedeštruktívneho merania polohy výstuže v železobetónovom stĺpe A1 pomocou profometru. Graf zobrazuje priebeh krycej vrstvy betónu a polohu jednotlivých strmienok  $\varnothing 8$  mm pozdĺž meranej línie s celkovou dĺžkou 1,157 m. Z vlnového priebehu je možné identifikovať pravidelné rozmiestnenie strmienok, pričom ich vzájomné vzdialenosti sa pohybujú približne v rozmedzí 110 až 135 mm.



Obr. 32: Susedný kruhový stĺp, bez odstránenia obkladu. Výstuž viditeľná aj keď iba slabo.

Krajný železobetónový stĺp A2 obdĺžnikového prierezu s tehlovou predstenou. Hlavná výstuž je umiestnená v rohoch a ide o  $4 \times \varnothing 12$  (10 400 – R40), ktorých krytie je približne 20 až 40 mm. Strmienka použitá opäť hladká, kruhová výstuž  $\varnothing 6$ ,  $a = 200$  mm.



Obr. 33: Schéma obvodového stĺpa A2, obdĺžnikového prierezu. Hlavná výstuž  $\varnothing 12$  (10 400 – R40).



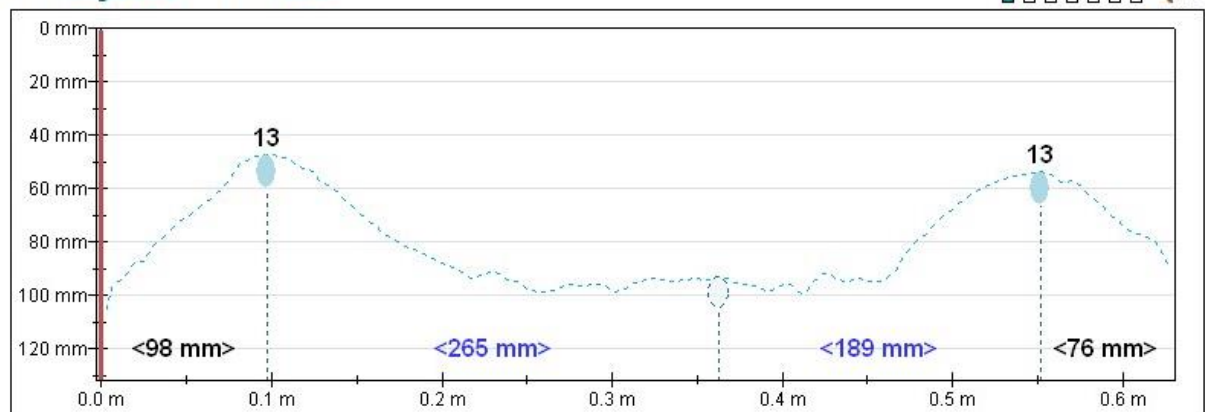
Obr. 34: Pohľad na vonkajší stĺp A2.



Obr. 35: Výstuž stĺpa A2 Ø 12 mm R40, strmienka hladká kruhová výstuž Ø 6 mm.

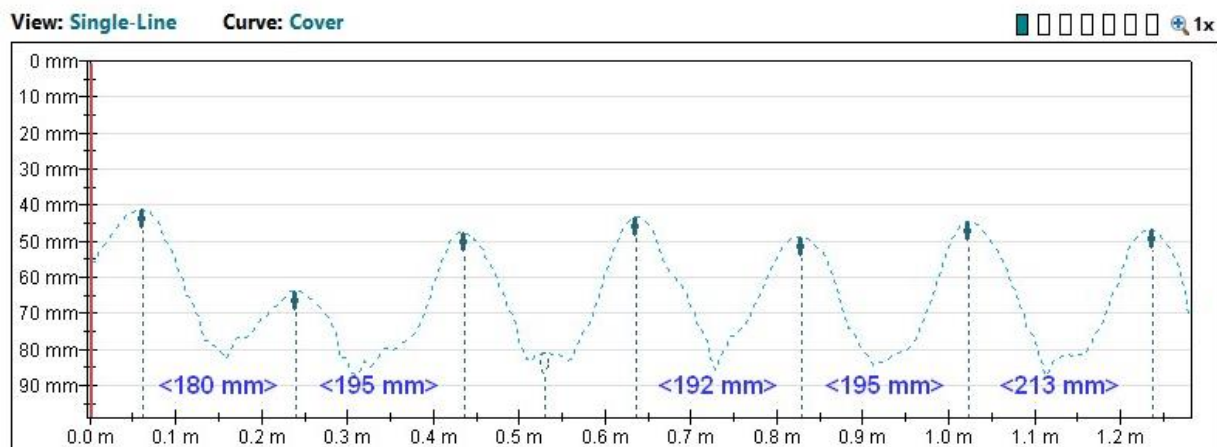
Name	Date & Time	Mode	Rebars	Lines	Distance	Snapshots	Unit
Sloup A2 obvodový - hlavní pr...	10/09/2025 11:16 AM	Single-Line	3	1	0.627 m	2	Metric

View: Single-Line Curve: Cover



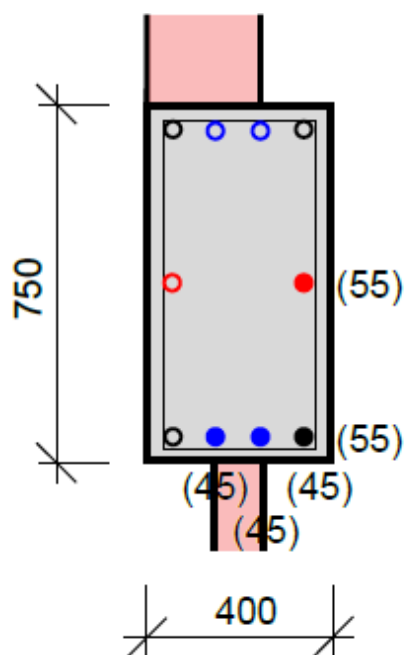
Obr. 36: Meranie stĺpa A2 bolo pomerne presné, keďže namiesto reálne zisteného priemeru výstuže Ø 12 mm bol zariadením Profometer odhadnutý priemer Ø 13 mm, čo možno považovať za veľmi dobrú zhodu. Z grafického výstupu vyplýva, že krytie výstuže sa pohybuje približne v intervale 47 až 54 mm.

Name	Date & Time	Mode	Rebars	Lines	Distance	Snapshots	Unit
Sloup A2 Obvodový trminky	10/09/2025 11:17 AM	Single-Line	8	1	1,279 m	0	Metric



Obr. 37: Meranie bolo vykonané s celkovou dĺžkou 1,279 m, pričom bolo identifikovaných 8 strmienkov naprieč stĺpom A2. Z grafu je možné odčítať, že krytie strmienkovej výstuže sa pohybuje približne v intervale 40 až 80 mm. Zobrazené vzdialenosti medzi jednotlivými strmienkami sa pohybujú približne v rozmedzí 180 až 213 mm, čo zodpovedá relatívne pravidelnému rozstupu strmienkov pozdĺž prvku.

Vnútorňý železobetónový stĺp A3 o rozmeroch 400 x 750 mm, ktorého hlavná výstuž sa skladala z kombinácie prútov  $\varnothing 12$ ,  $\varnothing 16$  a  $\varnothing 25$  usporiadaných po obvodě obdĺžnikového prierezu. Strmienka sú tvorené prútmi  $\varnothing 10$  mm (10 400 – R40) s približným rozstupom 250 mm. Hrúbka krycej vrstvy betónu sa pohybuje približne v rozsahu 45 až 55 mm, čo je v schéme vyznačené pri jednotlivých stranách prierezu.



Obr. 38: Schéma vnútorného stĺpa A3, obdĺžnikového prierezu. Čierna farba  $\varnothing 16$  (10 400 – R40) mm, červená  $\varnothing 12$  (10 300 – R30) mm, modrá  $\varnothing 25$  (10 400 – R40) mm.



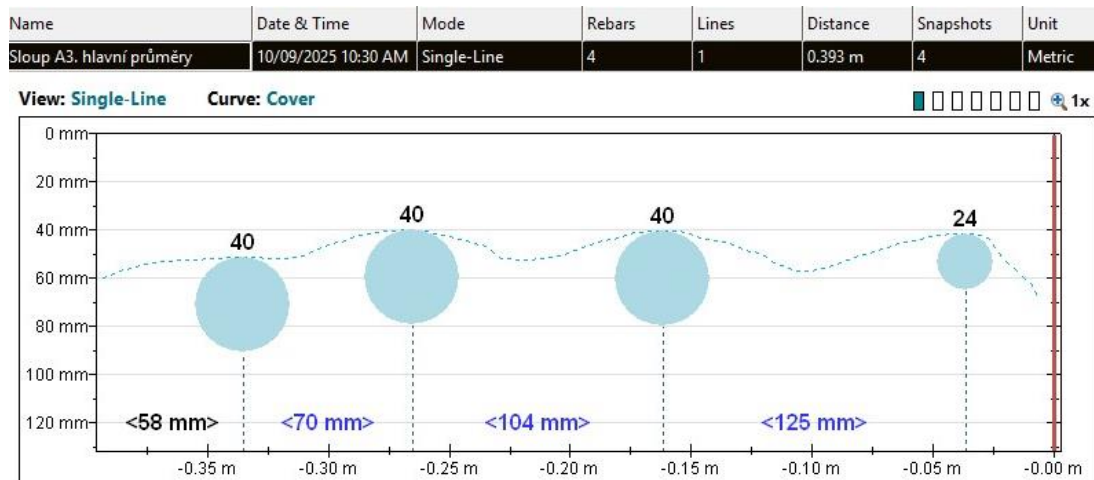
*Obr. 39: Hlavná stredová výstuž stĺpa A3,  $\varnothing$  12 mm R30, z dlhšej strany stĺpa (750 mm). Strmienka  $\varnothing$  10 mm R40.*



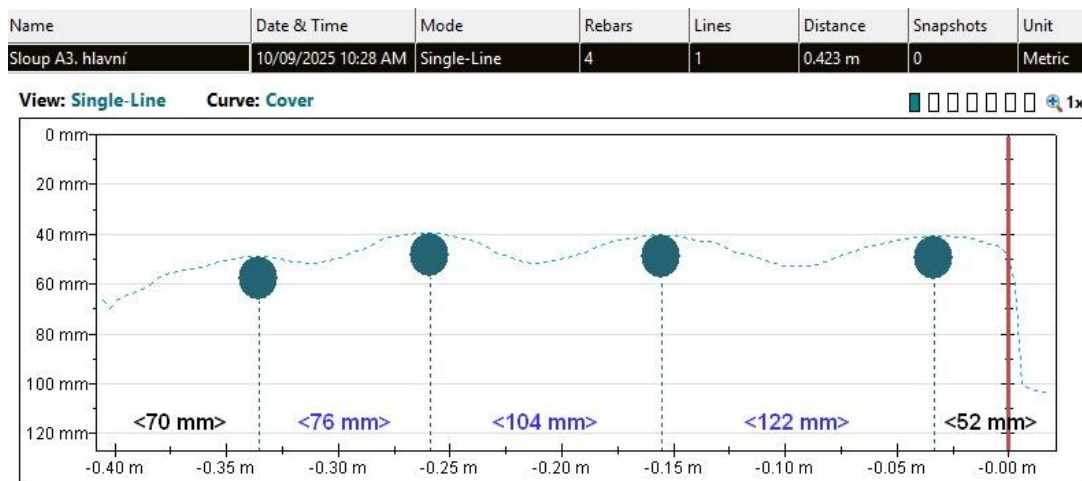
*Obr. 40: Hlavná stredová výstuž stĺpa A3,  $\varnothing$  25 mm R40, z kratšej strany stĺpa (400 mm).*



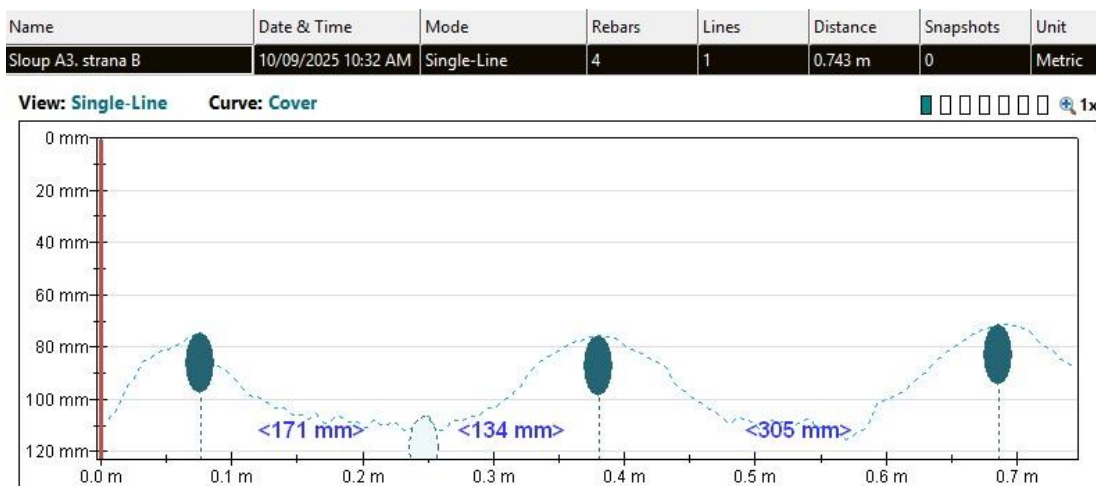
Obr. 41: Pohľad na stĺp A3.



Obr. 42: Pri hlavnej výstuži stĺpa A3 (strana 400 mm) došlo k veľkému nadhodnoteniu meraných priemerov (až na 40 mm), kde na krajoch išlo o priemery  $\varnothing 16$  mm a v strede  $\varnothing 25$  mm. Hodnoty boli nadhodnotené z dôvodu umiestnenia elektrickej rozvodne za stenou.



Obr. 43: Poloha hlavnej výstuže stĺpa A3 (strana 400 mm). Krytie výstuže 40 – 50 mm.



Obr. 44: Poloha hlavnej výstuže stĺpa A3 (strana 750 mm). Krytie výstuže 70 – 78 mm.

Sonda A4 obsahuje železobetónový prievlak, s nadväzujúcou stropnou doskou nad 1.NP, schematicky znázornenými na obrázku 38. V oblasti prievlaku je znázornená hlavná pozdĺžna výstuž, pozostávajúca z ôsmich prútov  $\varnothing 25$  (10 400 – R40) mm, uložených pri spodnom líci s krytím v rozsahu 15 až 30 mm. Strmienka v prievlaku neboli v rámci prieskumu zisťované. Na krajných výstužiacich sú navarené pásoviny (v schéme zobrazené modrou farbou) vynášajúce podhľad, pozostávajúci s rabcového pletiva s betónovými vločkami + omietka. Zistená výstuž dosky:

- Hlavná horná výstuž dosky pri podpore pozostáva z prútov  $\varnothing 10$  (10 400 – R40), a 35, 270, 50, 135 mm, krytie od horného líca dosky 15 – 25 mm.
- Hlavná dolná výstuž dosky pri podpore pozostáva z prútov  $\varnothing 10$  (10 400 – R40), a 10, 85, 230, 80, 10, 180 mm, krytie od horného líca dosky 50 – 70 mm.
- Hlavná výstuž dosky v poli sa skladá z prútov  $\varnothing 10$  (10 400 – R40), a 150 mm, krytie od spodného líca dosky 10 - 15 mm.

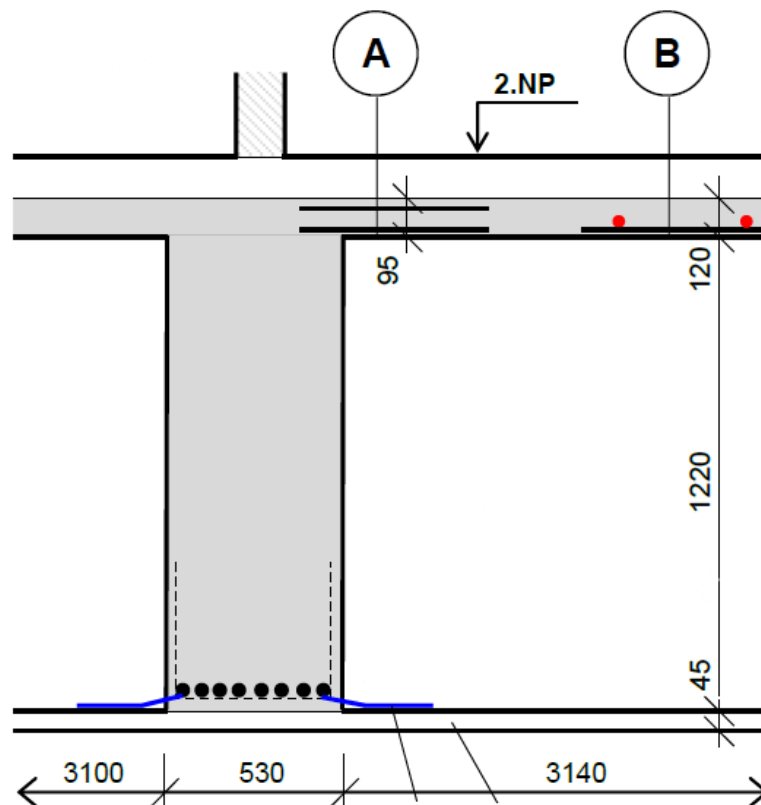
- Rozdeľovacia výstuž dosky v poli (zobrazená červene) pozostáva z hladkej kruhovej výstuže  $\emptyset$  6, a 190 mm, kde krytie od spodného líca dosky je 20 – 25 mm.

Skladba podlahy A:

- koberec 5 mm
- PVC 2 mm
- betónová mazanina 55 mm
- asfaltová lepenka 1 mm
- násyp 65 mm
- ŽB doska 95 mm

Skladba podlahy B:

- koberec 5 mm
- PVC 2 mm
- betonová mazanina s kari sieťou 110 mm
- ŽB doska 120 mm



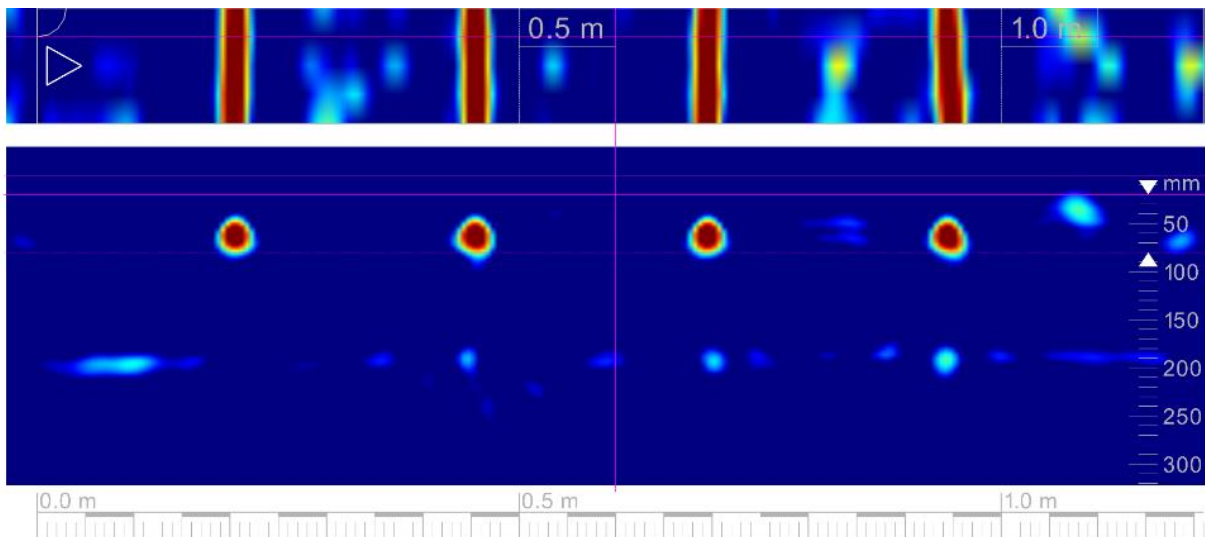
Obr. 45: Schéma sondy A4.



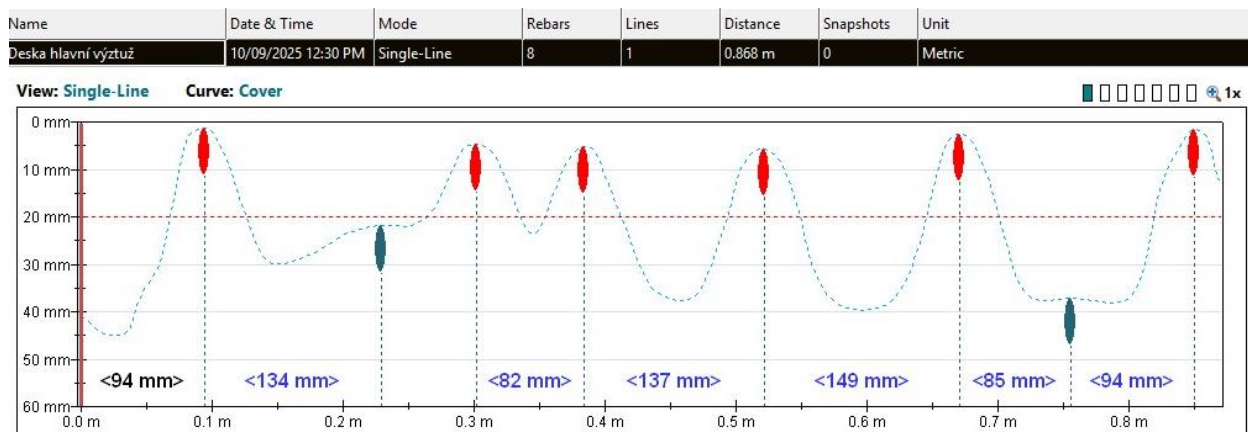
*Obr. 46: Prievlak sondy A4 obsahujúci hlavnú pozdĺžnu výstuž  $\varnothing 25$  (10 400 – R40) mm. V mieste okrajových prúťov navarené pásoviny držiace podhlad tvorený rabicovým pletivom, betónovými vločkami a omietkou.*



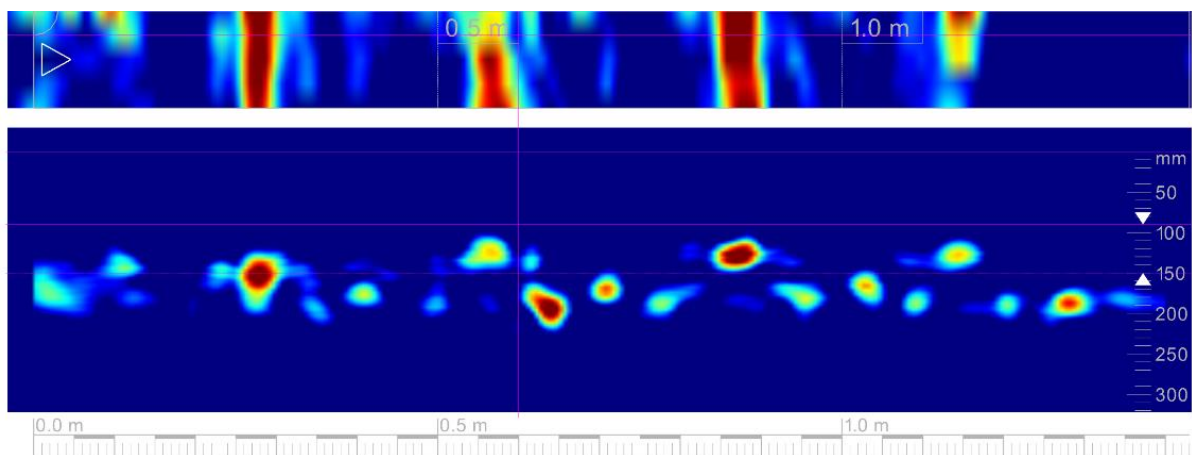
*Obr. 47: Hlavná horná výstuž dosky pri podpore  $\varnothing 10$  (10 400 – R40), hlavná dolná výstuž dosky pri podpore  $\varnothing 10$  (10 400 – R40).*



Obr. 48: Horná výstuž dosky, tesne vedľa prievlakov.

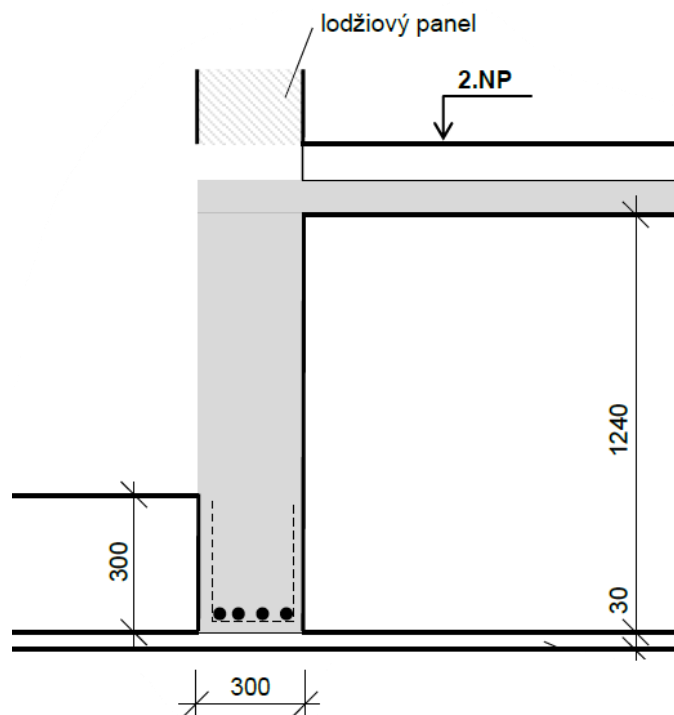


Obr. 49: Hlavná výstuž dosky v meranej dĺžke 0,868 m, pričom identifikovaných bolo 8 výstužných prútov. Krytie hlavnej výstuže sa pohybuje približne od 10 do 45 mm. Vzájomné rozostupy medzi jednotlivými prútmí sú v nepravidelnom rozostúpení, a to od 82 do 149 mm.



Obr. 50: Horná výstuž dosky, ďalej od prievlaku, iba v náznakoch.

Stužujúci železobetónový trám nad 1.NP obdĺžnikového prierezu označený A5. Hlavná pozdĺžna výstuž pozostáva zo štyroch prútov  $\varnothing 14$  (10 400 – R40), uložených pri spodnom líci s krytím 20 – 30 mm. Strmienková výstuž trámu nebola v rámci diagnostického prieskumu identifikovaná. Na spodnom líci trámu je rabicové pletivo s betónovými vložkami a omietkou.



Obr. 51: Schéma sondy A5.



Obr. 52: Prievlak sondy A5 obsahujúci hlavnú pozdĺžnu výstuž  $\varnothing 14$  (10 400 – R40) mm. V mieste okrajových prútov navarené pásoviny, podobne ako u sondy, držiace podhl'ad.

## 2.3 Odber vzoriek

V rámci stavebno technického prieskumu boli z monolitických železobetónových dosiek nad 1. NP odobraté vzorky betónu, na účely stanovenia jeho mechanických a fyzikálnych vlastností. Odber vzoriek bol realizovaný metódou jadrových vývrtov, ktoré radíme medzi deštruktívne metódy skúšania betónu v existujúcich konštrukciách.

Celkovo bolo odobratých 10 jadrových vývrtov, označených N1 až N10, s menovitým priemerom  $\varnothing$  75 mm. Vzorky pochádzali výhradne zo železobetónových dosiek nad prvým nadzemným podlažím objektu. Miesta odberov boli zvolené tak, aby čo najlepšie reprezentovali kvalitu betónu v skúmanej konštrukcii.



Obr. 53: Skúšobné vzorky N1 až N4.



Obr. 54: Skúšobné vzorky N5 až N8.



Obr. 55: Skúšobné vzorky N9 až N10.

Odobraté vývrty boli v laboratóriu upravené na skúšobné telesá valcového tvaru so štíhlostným pomerom 1 : 1, v súlade s platnými technickými normami. Pri vizuálnom posúdení bolo zistené, že ide o obyčajný betón, s obsahom prírodného ťaženého kameniva. Maximálna veľkosť zŕn kameniva sa pohybovala okolo 20 mm, miestami 35 mm. Pórovitosť betónu bola hodnotená mierna až stredná.

## 2.4 Stanovenie objemovej hmotnosti

Objemová hmotnosť betónu bola zisťovaná na jadrových vývrtoch, odobratých z monolitckej železobetónovej dosky, nad 1. nadzemným podlažím objektu. Skúšky boli vykonané v súlade s platnou normou ČSN EN 12390 – 7 [12], pričom hodnoty boli stanovené na vzorkách v rovnakom stave ako boli dodané do laboratória, teda pri prirodzenej vlhkosti betónu.

Namerané hodnoty objemovej hmotnosti betónu sa v priemere pohybovali v hodnotách 2140 – 2300 kg/m<sup>3</sup>. Priemerná objemová hmotnosť dosiahla 2220 kg/m<sup>3</sup>. Uvedené rozpätie hodnôt poukazuje na určitú nehomogenitu betónu, ktorá je však pri betónoch starších konštrukcií bežná. Zistené rozdiely v objemovej hmotnosti jednotlivých vzoriek sú spôsobené predovšetkým kolísajúcim podielom a rozložením hrubého kameniva v betónovej zmesi.

Tab. 12: Stanovenie objemovej hmotnosti.

Vzorka	Časť konštrukcie	Priemer $d$ [mm]	Výška $h$ [mm]	Hmotnosť $m$ [g]	Objemová hmotnosť $D$ [kg/m <sup>3</sup> ]
N1	Doska	73,7	73,6	683,9	2180
N2	Doska	73,6	73,4	668,3	2140
N3	Doska	73,5	74,4	676,8	2140
N4	Doska	73,6	73,6	710,3	2270
N5	Doska	73,7	74,4	685,4	2160
N6	Doska	73,6	74,9	734,0	2300
N7	Doska	73,6	76,0	717,8	2220
N8	Doska	73,6	75,0	706,7	2210
N9	Doska	73,6	73,6	710,3	2270
N10	Doska	73,7	73,4	708,2	2260
Priemer		73,6	74,2	700,2	2220

Na základe dosiahnutých hodnôt je možné konštatovať, že skúmaný betón zodpovedá charakteristikám obyčajného hutného betónu, pričom zistené hodnoty objemovej hmotnosti sú v súlade s predpokladanými vlastnosťami betónov používaných v čase realizácie posudzovanej konštrukcie.

## 2.5 Výpočet dynamického modulu pružnosti

Ďalšou skúmanou vlastnosťou na telesách, odobratých prostredníctvom jadrových vývrtov, bolo stanovenie hodnoty dynamického modulu pružnosti  $E_{cu}$ , kde bol následne odhadnutý statický modul pružnosti. Skúšky boli realizované na vzorkách odobratých z viacerých miest konštrukcie, aby bolo možné posúdiť variabilitu parametrov v rámci hodnotenia objektu.

Stanovenie modulu pružnosti sa uskutočnilo nepriamou metódou na základe ultrazvukových meraní. Na skúšobných telesách bola meraná rýchlosť šírenia ultrazvukového impulzu, z ktorej bol následne vypočítaný dynamický modul pružnosti  $E_{cu}$ . Tento parameter charakterizuje správanie materiálu pri veľmi malých deformáciách a krátkodobom zaťažení. Z hodnoty dynamického modulu bol následne pomocou normového zmenšovacieho súčiniteľa odhadnutý statický modul pružnosti  $E_c$ , ktorý sa používa v navrhovaní a ktorý zodpovedá skutočnému správaniu betónu pri dlhodobjšom statickom zaťažení.

Na výpočet statického modulu z dynamického bol použitý znižovací súčiniteľ  $\kappa_u$  podľa normy ČSN 73 2011 [13], avšak musel byť stanovený lineárnou interpoláciou, keďže norma ho priamo neuvádza. Tento postup zohľadňuje skutočnosť, že dynamický modul je spravidla vyšší než statický.

$$\kappa_u = 0,78$$

Výsledky meraní sú spracované v tabuľke „Stanovenie dynamického modulu pružnosti“, ktorá obsahuje hodnoty rýchlosti šírenia ultrazvukovej vlny pre jednotlivé vzorky, ich priemery a z nich odvodené hodnoty dynamického a statického modulu pružnosti. Rýchlosť ultrazvukových vln sa pohybovala približne v intervale od 3270 do 4220 m/s. Z týchto hodnôt vyplýval dynamický modul pružnosti približne v rozsahu od 21 do 36 GPa. Po aplikovaní redukčného súčiniteľa sa odhadovaný statický modul pružnosti pohyboval približne v rozmedzí 17 až 30 GPa. Tieto výsledky poukazujú na zreteľnú variabilitu vlastností betónu v skúmanej konštrukcii.

Veľký rozptyl nameraných hodnôt možno vysvetliť rozdielnou kvalitou betónu v jednotlivých miestach odberu, odlišnými podmienkami zrenia, stupňom karbonatácie či lokálnymi poruchami materiálu. Vyššie hodnoty rýchlosti ultrazvuku a modulu pružnosti zvyčajne indikujú kompaktnejšiu mikroštruktúru betónu, zatiaľ čo nižšie hodnoty môžu súvisieť s vyššou pórovitosťou, mikrotrhlinami alebo zvýšenou vlhkosťou.

Tab. 13: Stanovenie dynamického modulu pružnosti.

Vzorka	Rýchlosť šírenia UZ vlnenia $v_L$ [m/s]				Modul pružnosti $E_{cu}$ [GPa]	Modul pružnosti $E_c$ [GPa]
	“1”	“2”	“3”	Priemer	dynamický	statický
N1	4044	4089	4089	4070	32,5	25,4
N2	3367	3414	3479	3420	22,5	17,6
N3	3701	3777	3796	3760	27,3	21,3
N4	4182	42056	4254	4210	36,3	28,3
N5	3916	3875	3937	3910	29,7	23,2
N6	3881	3881	3861	3870	31,1	24,3
N7	3800	3781	3744	3770	28,5	22,2
N8	3289	3233	3275	3270	21,3	16,6
N9	4158	4206	4304	4220	36,4	28,4
N10	3968	3968	3989	3970	32,2	25,1
Minimum				3270	21,3	16,6
<b>Priemer</b>				<b>3849</b>	<b>29,8</b>	<b>23,2</b>

## 2.6 Stanovenie pevnosti betónu v tlaku

Skúšky pevnosti v tlaku boli realizované na valcových skúšobných telesách, zhotovených z jadrových vývrtov odobratých zo železobetónovej stropnej dosky nad 1. NP objektu. Z každého jadrového vývrtu bolo vyrobené jedno teleso so štíhlostným pomerom približne 1 : 1, pričom telesá boli použité nielen na stanovenie pevnosti v tlaku, ale aj na meranie objemovej hmotnosti a modulu pružnosti betónu. Odobraté vzorky predstavujú bežný hutný betón s frakciou kameniva do približne 22 - 25 mm a s prevažne miernou až strednou pórovitosťou.

Skúška pevnosti v tlaku prebiehala na valcových telesách so štíhlosťou 1 : 1, ktoré boli skúšané za pomoci lisu, z dôvodu zistenia maximálnej hodnoty porušenia  $F$  [kN]. Z nameraných maximálnych zaťažovacích síl bola určená kocková pevnosť v tlaku  $f_{c,1:1}$ . Následne bola podľa normy ČSN EN 12504 – 1 [4] táto hodnota prevedená na ekvivalentnú valcovú pevnosť  $f_{c,2:1}$  (pevnosť v tlaku in situ), a to pomocou korekčného súčiniteľa dĺžkovej štíhlosti  $CLF = 0,82$ , ktorý zohľadňuje rozdiel medzi skúškou na krátkych valcových telesách a štandardizovanými telesami so štíhlosťou 2 : 1. Takto získaná hodnota bola ďalej použitá pri stanovení charakteristickej pevnosti betónu podľa normy ČSN EN 13791 [14].

Tab. 14: Stanovenie pevnosti betónu v tlaku.

Vzorka	Max. sila $F$ [kN]	Štíhlosť $\lambda$ [-]	Pevnosť $f_{c, 1:1}$ [MPa]	Faktor $CLF$ [-]	Pevnosť $f_{c, is, 2:1}$ [MPa]
N1	143,5	1,00	33,7	0,82	27,6
N2	125,0	1,00	29,4	0,82	24,1
N3	123,9	1,01	29,2	0,82	24,0
N4	184,6	1,00	43,4	0,82	35,6
N5	139,5	1,01	32,7	0,82	26,8
N6	131,1	1,02	30,8	0,82	25,3
N7	141,8	1,03	33,3	0,82	27,3
N8	116,9	1,02	27,5	0,82	22,5
N9	191,7	1,00	45,1	0,82	37,0
N10	143,0	1,00	33,5	0,82	27,5
Minimum			27,5		22,5
<b>Priemer</b>			<b>33,9</b>		<b>27,8</b>

## 2.7 Stanovenie hĺbky karbonatizácie betónu

Hĺbka karbonatizácie betónu bola hodnotená na odrezkoch zo všetkých odoberaných jadrových vývrtov z dosky nad 1. NP. Na tento účel bol použitý fenolftaleinový indikačný test, ktorý predstavuje bežnú orientačnú metódu na posudzovanie zníženia alkality betónu v dôsledku karbonizačných procesov. Po aplikovaní roztoku fenolftaleínu na čerstvo obnažený povrch betónu dochádza pri hodnote  $\text{pH} \geq 9,5$  k vzniku ružovo-fialového zafarbenia. Oblasti bez zafarbenia indikujú znížené pH a teda prítomnosť zóny karbonatizácie. Pri lokálne slabšej reakcii sa predpokladá čiastočne karbonatizovaná prechodová zóna.



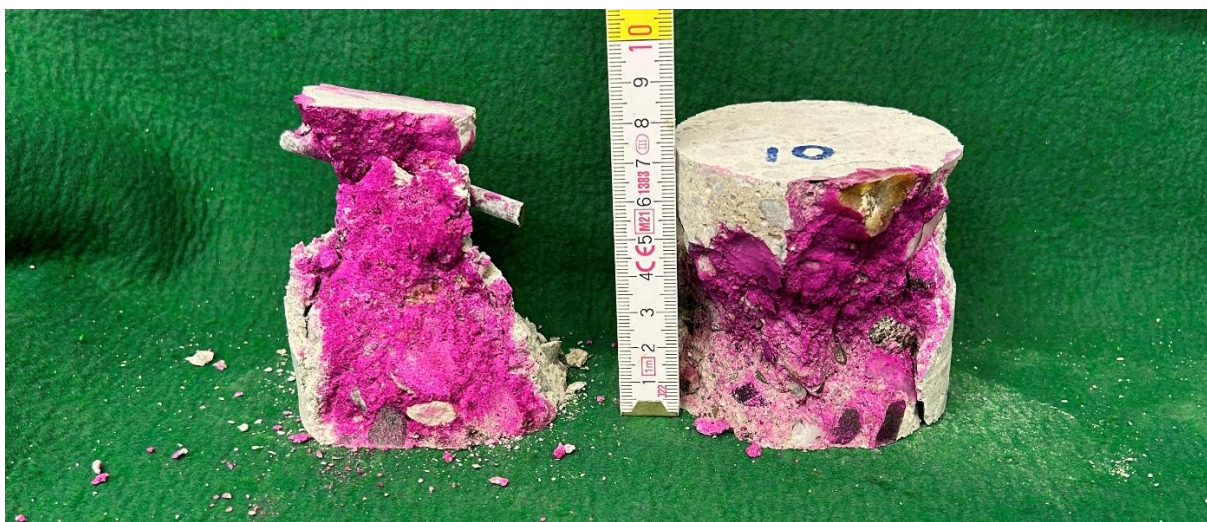
Obr. 56: Stanovenie miery karbonatizácie na skúšobných telesách N1 až N4 po skúške v tlaku.

Na vzorkách N2 až N4 mierna reakcia zdola.



Obr. 57: Stanovenie miery karbonatizácie na skúšobných telesách N5 až N8 po skúške v tlaku. Vzorka

N8 bola skarbonatizovaná v celom rozsahu.



Obr. 58: Stanovenie miery karbonatizácie na skúšobných telesách N9 a N10 po skúške v tlaku. U oboch slabšia karbonatizácia zdola, vzorka N9 spolu s hladkou výstužou Ø 5,5.

Tab. 15: Stanovenie hĺbky karbonatizácie.

Vzorka	Zhora d [mm]	Poznámka	Zdola d [mm]	Poznámka
N1	10		15	mierne slabšia reakcia
N2	5		45	z toho 20 mm slabšia reakcia
N3	4		30	mierne, z toho do 10 mm stredne
N4	5		35	slabšia reakcia (miestami)
N5	5		4	úplne, do 27 mm slabšia, do 45 mm lepšia
N6	4		20	miestami
N7	5		15	slabšia, do 37 mierne
N8	celý prierez skarbonatizovaný			
N9	4		5	Slabšia reakcia, hladká výstuž $\phi$ 5,5 mm
N10	3		25	slabšia reakcia

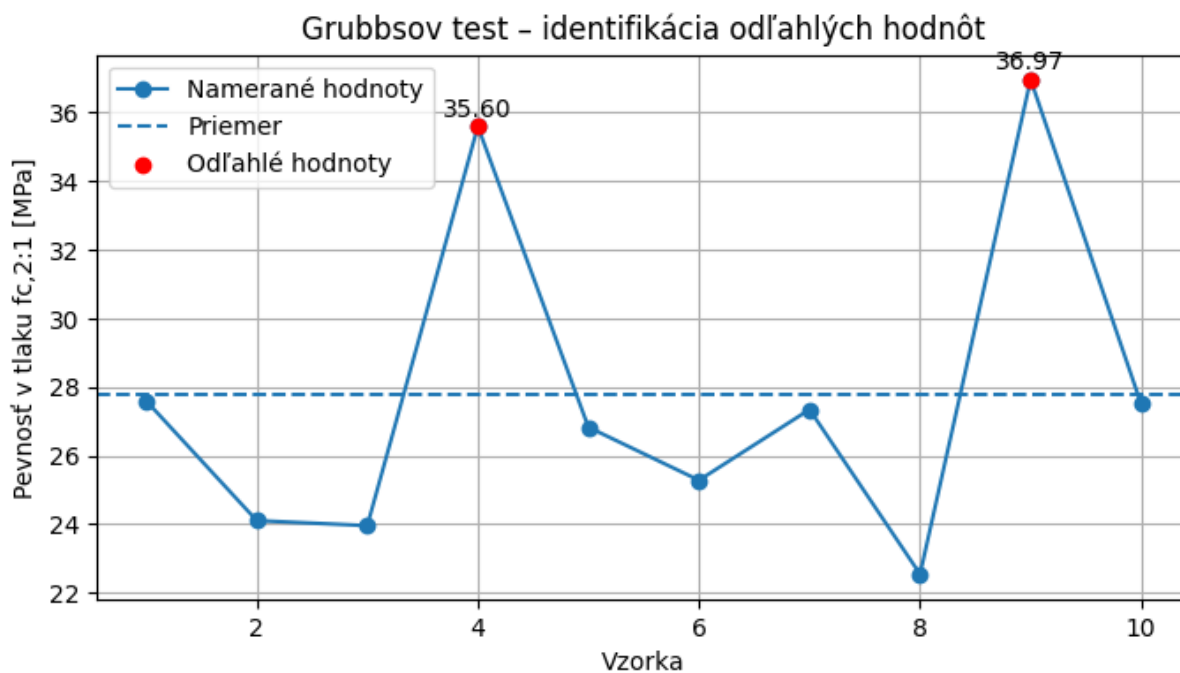
Meranie sa vykonalo na krajových rezoch vývrtov (z hornej aj spodnej strany dosky). V prípade kratších telies bola hĺbka karbonatizácie doplnená meraním na ploche vzorky po jej rozdrvení v tlakovej skúške. Fotodokumentácia výsledkov testu je nižšie (najmä s vyobrazením vzoriek po postreku fenolftaleínom), kde je zreteľný kontrast medzi neskarbonatizovaným jadrom a skarbonatizovaným povrchom.

Výsledky meraní ukázali, že karbonatizácie prebiehala rozdielne z hornej a spodnej strany dosky. Z hornej strany sa hĺbka karbonatizácie pohybovala spravidla v intervale približne 1 – 10 mm, zatiaľ čo zo spodnej strany bola zaznamenaná hĺbka 1 – 45 mm. U niektorých vzoriek bola zo spodnej strany pozorovaná iba slabšia reakcia do hĺbky 15 – 30 mm, čo poukazuje na postupný prechod medzi karbonatizačnou a alkalickou časťou betónu. Výnimočná bola vzorka N8, ktorá bola podľa výsledkov testu skarbonatizovaná v celom priereze.

Zistené hodnoty potvrdzujú, že karbonatizácia je v posudzovanej konštrukcii lokálne prehĺbená, pravdepodobne v dôsledku rozdielných podmienok expozície spodného líca dosky (vlhkosť a prevádzkové zaťaženie). V kontexte životnosti železobetónovej konštrukcie je tento jav významný najmä z hľadiska rizika rozpadu alebo oslabenia ochrannej vrstvy výstuže a možného urýchlenia korózných procesov, čo je potrebné zohľadniť v následnom statickom a materiálovom hodnotení konštrukcie.

## **2.8 Vyhodnotenie skúšok betónu podľa normy ČSN EN 13791**

Charakteristická pevnosť betónu v tlaku in situ bola určená na základe výsledkov tlakových skúšok z jadrových vývrtov z dosky nad 1. NP. Skúšobné telesá so štíhlostným pomerom 1 : 1 boli najskôr vyhodnotené z hľadiska kockovej pevnosti, ktorá bola následne prepočítaná na ekvivalentnú valcovú pevnosť pomocou konverzného súčiniteľa, podľa príslušnej normy. Pri štatistickom spracovaní boli dve vzorky (N4 a N9) s výrazne vyššími hodnotami identifikované ako odľahlé a zo súboru vyradené, pričom ďalšie vyhodnotenie prebehlo na základe minimálne ôsmich výsledkov jadrových vývrtov, uvedené v norme ČSN EN 13791 [14].



Obr. 59: V grafe je znázornený priebeh nameraných hodnôt pevnosti betónu v tlaku  $f_{c,2:1}$  spolu s výsledkom Grubbsovho testu. Jednotlivé body predstavujú hodnoty získané zo skúšok jadrových vývrtov, pričom prerušovaná čiara znázorňuje aritmetický priemer celého súboru. Červenou farbou sú vyznačené hodnoty identifikované ako odľahlé. Na základe Grubbsovho testu boli zo súboru vyradené dve hodnoty, konkrétne 36,97 MPa a 35,60 MPa, ktoré vykazovali najväčšiu odchýlku od priemeru. Zvyšné hodnoty po odstránení odľahlých údajov tvoria súbor, ktorý lepšie reprezentuje skutočné vlastnosti skúmaného betónu. Tento očistený súbor bol následne použitý na výpočet charakteristických hodnôt a ďalšie štatistické spracovanie.

Grubbsov test sa používa na identifikáciu jednej odľahlej hodnoty, v súbore meraných údajov, za predpokladu normálneho rozdelenia dát. Test porovnáva najväčšiu absolútnu odchýlku hodnoty od aritmetického priemeru so smerodajnou odchýlkou súboru.

Najskôr sa vypočíta aritmetický priemer nameraných hodnôt podľa vzťahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Následne sa určí smerodajná odchýlka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

Pre každú hodnotu sa vypočíta jej absolútna odchýlka od priemeru. Hodnota s najväčšou odchýlkou sa použije na výpočet Grubbovej štatistiky:

$$G = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (7)$$

Vypočítaná hodnota  $G$  sa porovná s kritickou hodnotou  $G_{krit}$ , ktorá závisí od počtu meraní a zvolenej hladiny významnosti (zvyčajne  $\alpha = 0,05$ ). Ak platí:

$$G > G_{krit} \quad (8)$$

potom sa daná hodnota považuje za štatisticky významnú odľahlú hodnotu a môže byť z ďalšej analýzy vylúčená.

$$f_{ck, is} = f_{c, m(n)is} - k_n s \quad (9)$$

$$25,6 - 2,00 * 2,05 = \mathbf{21,5 MPa}$$

$$f_{ck, is} = f_{c, is, lowest} + M \quad (10)$$

$$22,5 + 4 = \mathbf{26,5 MPa}$$

kde:

$f_{ck, is}$  charakteristická pevnosť betónu v tlaku ( $f_{c, 2:1}$ , valcová),

$f_{c, m(n)is}$  priemerná pevnosť betónu v tlaku ( valcová), ktorá bola stanovená na  $n$  počtoch vývrtoch,

$k_n$  súčiniteľ závislí na počte  $n$  vývrtoch, udáva norma ČSN EN 13791 [14],

s celková smerodajná odchýlka odpovedajúca variačnému koeficientu 8 %,

$M$  hodnota založená na hodnote  $f_{c, is, lowest}$  uvedená v norme ČSN EN 13791 [14],

$f_{c, is, lowest}$  najmenšia zistená hodnota zistená na jadrových vývrtoch.

Tab. 16: Hodnoty  $k_n$  pre vzorec 5 [14].

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

Tab. 17: Hodnoty  $M$  pre vzorec 6 [14].

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

Charakteristická pevnosť betónu v tlaku in situ bola stanovená postupom podľa normy ČSN EN 13791 [17], a to porovnaním dvoch hodnotiacich kritérií – kritéria, založeného na priemernej hodnote súboru a kritéria, založeného na minimálnej nameranej hodnote. Rozhodujúcou sa stala hodnota vypočítaná z priemernej pevnosti, pri ktorej bola charakteristická valcová pevnosť určená na  $f_{ck, is} = 21,5$  MPa. Na základe tejto hodnoty bol skúmaný betón klasifikovaný ako betón pevnostnej triedy **C 20/25**, v zmysle normy ČSN EN 206+A2 [18].

### 3 STATICKÝ VÝPOČET

#### Stropná doska nad 1.NP

#### Zaťaženie stropnej konštrukcie

#### Zaťaženie vlastnou tiažou

Zaťaženie vlastnou tiažou sa previedlo v programe Scia Engineer.

#### Ostatné stále zaťaženie

Ostatné stále zaťaženie je vypočítané na základe prieskumu a zmeraných hodnôt uvedených v tabuľke 18 nižšie. Uvažované zaťaženie sa berie v závislosti či sa jedná o typické podlažie alebo strechu.

Tab. 18: Skladba podlahy + stále zaťaženie.

Vrstva	Hrúbka [mm]	Objemová hmotnosť [kN/m <sup>3</sup> ]	Zaťaženie [kN/m <sup>2</sup> ]
Koberec	8,00	0,20	0,00
PVC fólia	-	-	0,00
Cementový betónový poter	55,00	24,00	1,32
Asfaltová lepenka	-	0,00	0,10
Násyp – škvára	65,00	8,00	0,52
Zaťaženie g			≐2,00 kN/m <sup>2</sup>

Tab. 19: Plochá strecha – skladba a zaťaženie (budova 60 roky).

Vrstva	Hrúbka [mm]	Objemová hmotnosť [kN/m <sup>3</sup> ]	Zaťaženie [kN/m <sup>2</sup> ]
Štrkový násyp	50,00	18,00	0,90
Asfaltová hydroizolácia (2xIPA)	-	-	0,20
Cementový spádový poter	40,00	22,00	0,88
Tepelná izolácia (škvára/porobetón)	80,00	6,00	0,48
Parozábrana	-	-	0,10
Zaťaženie g			≐2,6 kN/m <sup>2</sup>

## Premenné kategórie B a H

Premenné zaťaženie B = 2 kN/m, premenné zaťaženie H, ide o plochú strechu so zaťažením H = 0,4 kN/m

### Vietor

- Lokalita: Přerov (nížinná, ČR),
- výška budovy: h = 36m,
- terén: III (polia, otvorené prostredie),
- charakteristická rýchlosť vetra:  $v_0 = 24$  m/s,
- súčiniteľ smeru:  $c_{dir} = 1,0$ ,
- súčiniteľ sezóny:  $c_{season} = 1,0$ ,
- predná stena: tlak,
- zadná stena: nasávanie (vztlak).

Základný rýchlostný tlak:

$$q_0 = 0,613 * v_0^2$$

$$q_0 = 0,613 * 24^2 = 0,613 * 576 \approx 353 \text{ Pa} \approx 0,35 \text{ kN/m}^2$$

Súčiniteľ výšky a terénu:

$$q(z) = q_0 * c_e * c_{dir} * c_{season} = 0,35 * 1,5 * 1,0 * 1,0 \approx 0,525 \text{ kN/m}^2$$

Súčiniteľ tvaru steny:

- predná stena (náveterná):  $c_{pe} = +1,0$ ,
- zadná stena (záveterná):  $c_{pe} = -0,3$

$$p = q(z) * c_{pe} = 0,525 * 1,0 \approx 0,53 \text{ kN/m}^2$$

$$p = q(z) * c_{pe} = 0,525 * (-0,3) \approx -0,16 \text{ kN/m}^2$$

Zjednodušené bezpečné hodnoty:

- predná stena: **+0,60 kN/m<sup>2</sup>**,
- zadná stena: **-0,20 kN/m<sup>2</sup>**.

### Sneh

- tvarový súčiniteľ:  $\mu = 0,80$ ,
- charakteristická hodnota:  $s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$

$$s_1 = \mu * 1,0 * 1,0 * s_k = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

## Kombinácie

### Mezní stav únosnosti

Rce 6.10 a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Rce 6.10 b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{PP} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

### Mezní stav použitelnosti

Charakteristická

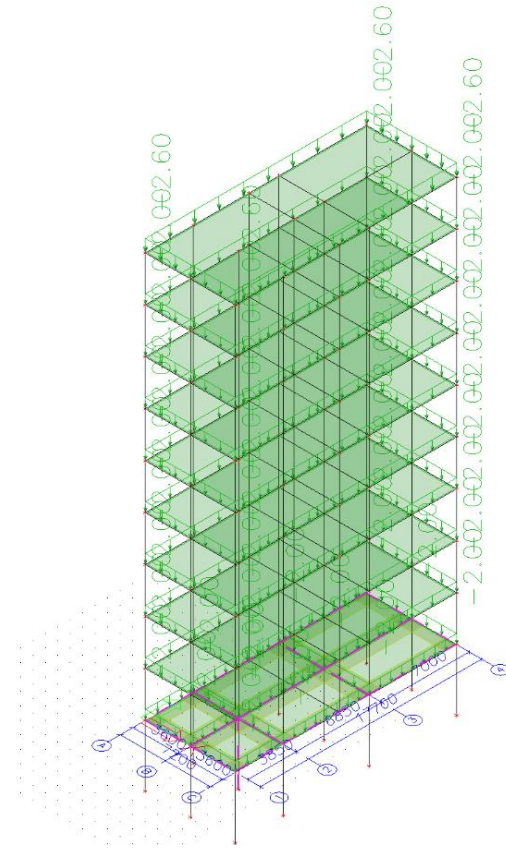
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá

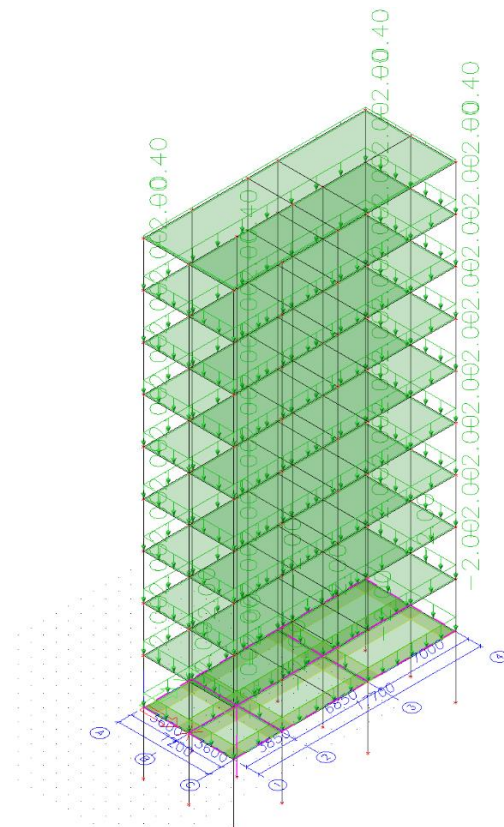
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvázistála

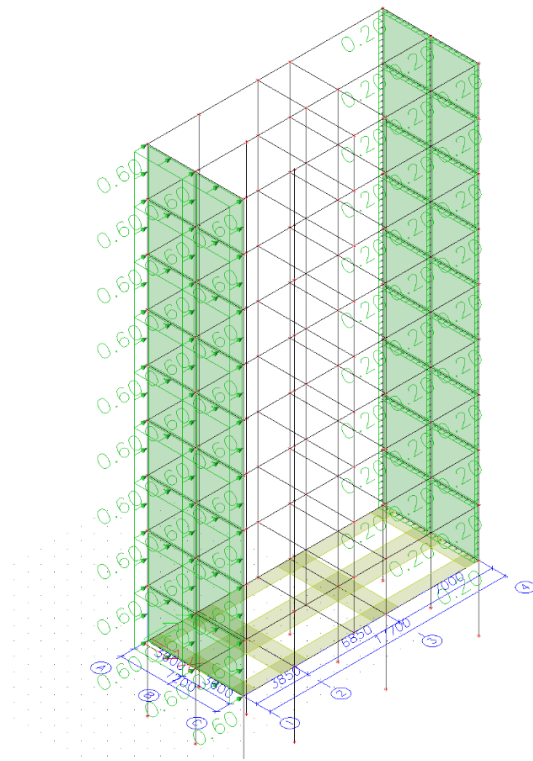
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$



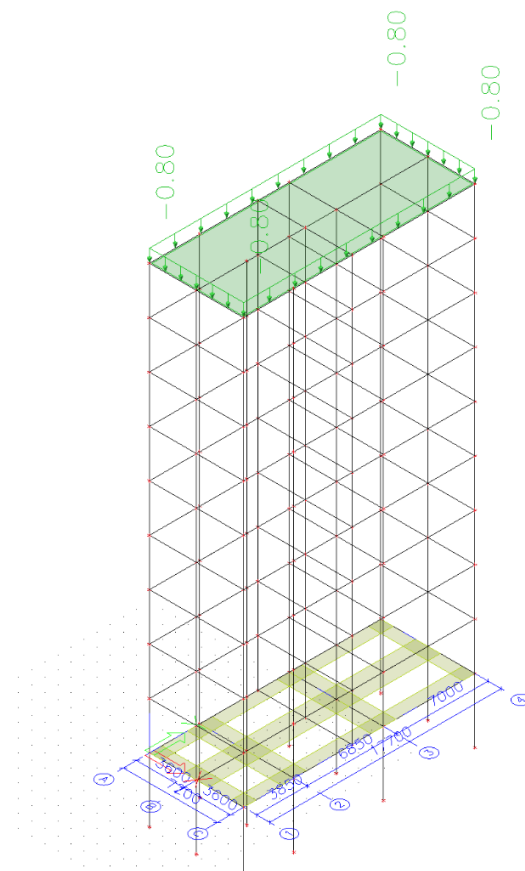
Obr. 60: Ostatné stále zaťaženie.



Obr. 61: Premenné zaťaženie.



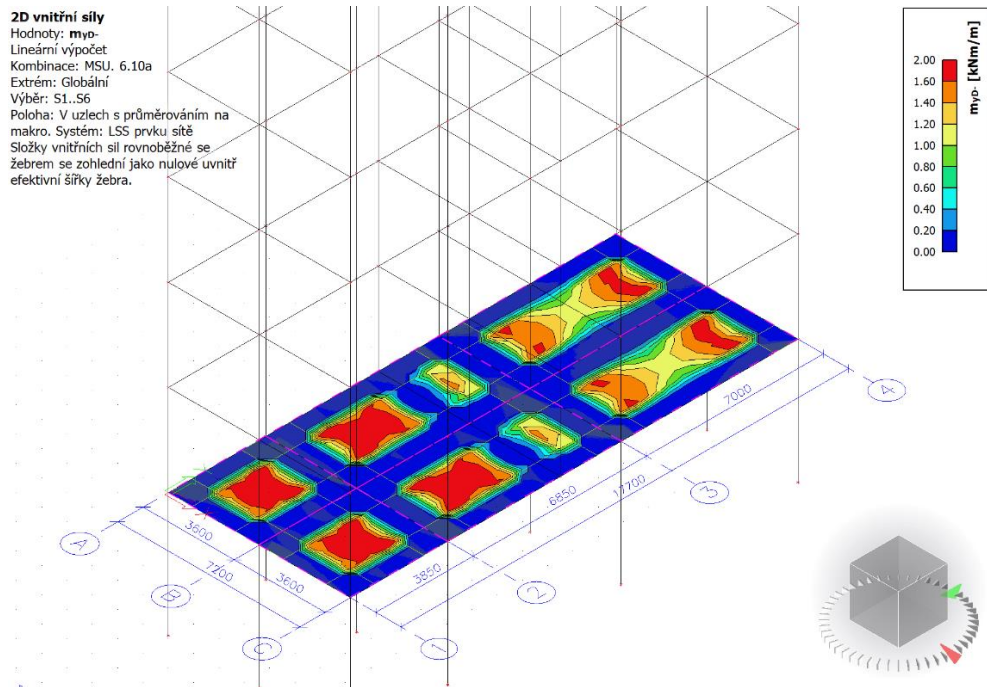
Obr. 62: Zataženie vetrom.



Obr. 63: Zataženie snehom.

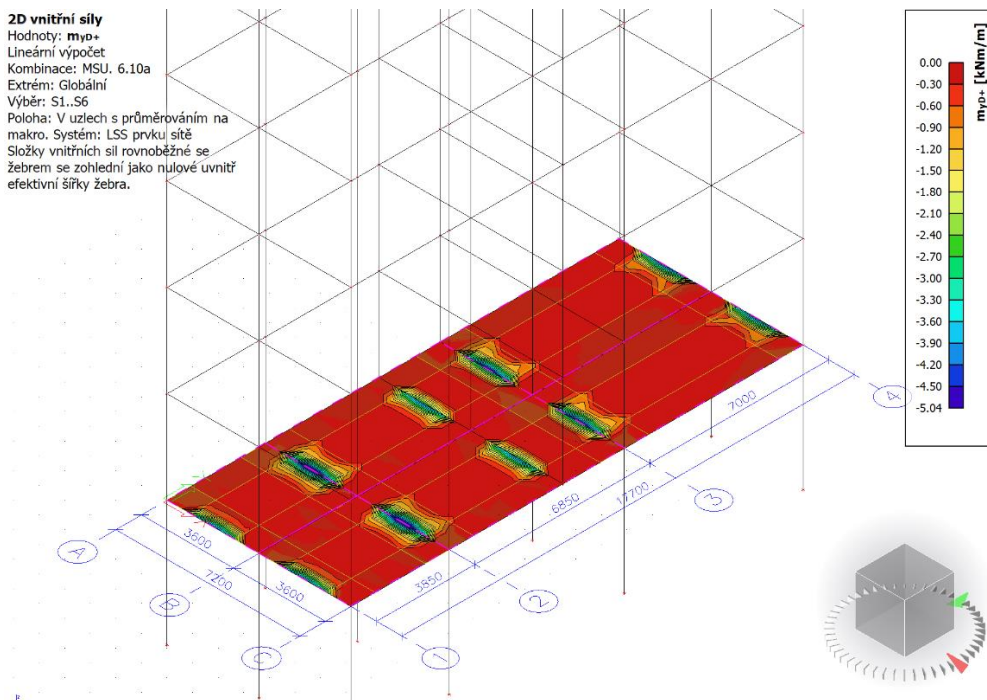
V mojom výpočte mi vyšla kombinácia 6.10 a ako najnepriaznivejšia a preto budem vo výpočte uvažovať túto kombináciu.

Maximálny moment pre pole:  $M_{ed} = 2,00 \text{ kNm}$



Obr. 64: Maximálny moment v poli.

Maximálny moment pre podporu:  $M_{ed} = 5,04 \text{ kNm}$



Obr. 65: Maximálny moment nad podporou.

## Materiálové charakteristiky

Tab. 20: Materiálové charakteristiky.

Betón C20/25		Betonárska výstuž B420B	
f <sub>ck</sub>	20 MPa	f <sub>yk</sub>	420MPa
γ <sub>c</sub>	1,5	Y <sub>s</sub>	1,15
f <sub>cd</sub>	13,33 MPa	E <sub>s</sub>	200GPa
f <sub>ctm</sub>	2,2	ε <sub>yd</sub>	1,83‰
E <sub>cm</sub>	30 GPa	f <sub>yd</sub>	365,22 MPa
ε <sub>cu</sub>	0,0035		
F <sub>cm</sub>	28 MPa		
f <sub>ctk:0,05</sub>	1,54 MPa		

## Krytie výstuže

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

$$c_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max (c_{min, b}; c_{mid, dur}, 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

## Mezní stav únosnosti

## Posúdenie na ohyb

## V POLI

Tab. 21: MSÚ pole.

M <sub>ed</sub> [kNm]	2,00
Výstuž	Ø 10 150 mm Asx = 0,000524 m <sup>2</sup>

$$d_1 = c_{nom} + \text{Ø}/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h_d - d_1 = 70 \text{ mm}$$

**Nutná plocha výstuže:**

$$a_{s,reg} = \frac{b * d * f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$
$$a_{s,reg} = \frac{1 * 0,07 * 13,33 * 10^3}{365,22 * 10^3} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 2,00}{1 * 0,07^2 * 13,33 * 10^3}} \right)$$
$$= 0,0000794 \text{ m}^2$$

**Kontrola pretvorenia výstuže:**

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{b * \lambda * f_{cd}} = \frac{0,000524 * 365,22}{1 * 0,8 * 13,33} = 0,018$$
$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} * (d - x) = \frac{3,5 * 10^{-3}}{0,018} * (0,07 - 0,018) = 10,1\text{‰}$$
$$\underline{\varepsilon_s = 10,1\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 1,83\text{‰} \text{ OK}}$$

**Moment na medzi únosnosti:**

$$M_{rd,x} = F_{sz}$$
$$F_s = A_s * f_{yd} = 0,000524 * 365,22 * 10^3 = 191,38 \text{ kN}$$

**Rameno vnútorných síl:**

$$z = d - 0,5 * \lambda * x = 0,07 - 0,5 * 0,8 * 0,018 = 0,0628 \text{ m}$$
$$M_{rd,x} = F_s * z = 191,38 * 0,0628 = 12,01 \text{ kNm}$$
$$\underline{M_{rd,x} = 12,01 \text{ kNm} > 2,00 \text{ kNm} \text{ OK}}$$

**Kontrola miery vystuženia:**

$$A_s > A_{s,min}$$
$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm} * b * d}{f_{yk}} = 0,26 * \frac{2,2 * 1 * 0,07}{420} = 0,0000953 \text{ m}^2$$
$$\underline{0,0013 * b * d = 0,000091 \text{ m}^2 \text{ OK}}$$

**Osová vzdialenosť medzi prútmi:**

$$s < s_{max} = \min(2h; 300 \text{ mm}) = (190; 300)$$
$$\underline{s = 150 \text{ mm} < s = 300 \text{ mm} \text{ OK}}$$

**Kontrola rozdeľovacej výstuže:**

$$A_{s,rmin} = 0,2 * A_s = 0,2 * 0,000524 = 0,000104 \text{ m}^2$$

Zmerané: Ø 6 190 mm (hladká, kruhová),  $A_{s,r} = 0,000149 \text{ m}^2$

$$\underline{A_{s,r} = 0,000149 \text{ m}^2 > A_{s,rmin} = 0,000104 \text{ m}^2 \text{ OK}}$$

**NAD PODPOROU**

Výstuže vo vzdialenosti a = 10, 85, 230, 80, 10, 180.. spriemerované, následne vydelené počtom prútov.

Tab. 22: MSÚ podpora.

$M_{ed}$ [kNm]	5,04
Výstuž	Ø 10 100 mm $A_{sx} = 0,000785 \text{ m}^2$

$$d_1 = c_{nom} + \text{Ø}/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h_d - d_1 = 70 \text{ mm}$$

**Nutná plocha výstuže:**

$$a_{s,reg} = \frac{b * d * f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$a_{s,reg} = \frac{1 * 0,07 * 13,33 * 10^3}{365,22 * 10^3} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 5,04}{1 * 0,07^2 * 13,33 * 10^3}} \right)$$

$$= 0,000205 \text{ m}^2$$

**Kontrola pretvorenia výstuže:**

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{b * \lambda * f_{cd}} = \frac{0,000785 * 365,22}{1 * 0,8 * 13,33} = 0,0268 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} * (d - x) = \frac{3,5 * 10^{-3}}{0,0268} * (0,07 - 0,0268) = 5,6\text{‰}$$

$$\underline{\varepsilon_s = 5,6\text{‰} > \varepsilon_{vd} = 1,83\text{‰} \text{ OK}}$$

**Moment na medzi únosnosti:**

$$M_{rd,x} = F_{sz}$$

$$F_s = A_s * f_{yd} = 0,000785 * 365,22 * 10^3 = 286,70 \text{ kN}$$

**Rameno vnútorných síl:**

$$z = d - 0,5 * \lambda * x = 0,07 - 0,5 * 0,8 * 0,0268 = 0,0593 \text{ m}$$

$$M_{rd,x} = F_s * z = 286,70 * 0,0593 = 17,00 \text{ kNm}$$

$$\underline{\underline{M_{rd,x} = 17,00 \text{ kNm} > 5,04 \text{ kNm OK}}}$$

**Kontrola miery vystuženia:**

$$A_s > A_{s,min}$$

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm} * b * d}{f_{yk}} = 0,26 * \frac{2,2 * 1 * 0,07}{420} = 0,0000953 \text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{0,0013 * b * d = 0,000091 \text{ m}^2 \text{ OK}}}$$

**Osová vzdialenosť medzi prútmi:**

$$s < s_{max} = \min(2h; 300 \text{ mm}) = (190; 300)$$

$$\underline{\underline{s = 100 \text{ mm} < s = 300 \text{ mm OK}}}$$

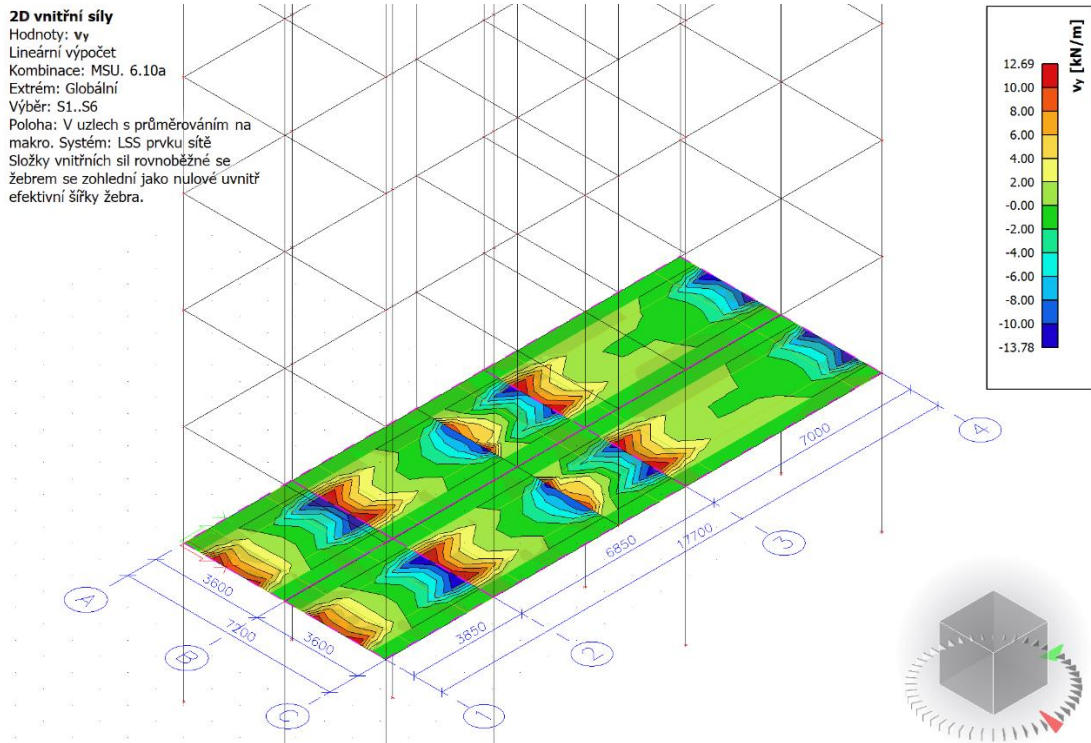
**Kontrola rozdeľovacej výstuže:**

$$A_{s,rmin} = 0,2 * A_s = 0,2 * 0,000785 = 0,000157 \text{ m}^2$$

Zmerané: Ø 6 190 mm (hladká, kruhová),  $A_{s,r} = 0,000149 \text{ m}^2$

$$\underline{\underline{A_{s,r} = 0,000149 \text{ m}^2 > A_{s,rmin} = 0,000157 \text{ m}^2 \text{ NEVYHOVUJE}}}$$

Na existujúcej železobetónovej doske bola zistená lokálna odchýlka v ploche rozdeľovacej výstuže približne 5 % oproti normovej minimálnej hodnote. Táto odchýlka nemá podstatný vplyv na bezpečnosť, únosnosť ani stabilitu konštrukcie. V prípade výskytu trhlin sa odporúča ich sanácia injektážou, prípadne lokálne zosilnenie pomocou FRP lamiel.



Obr. 66: Síla  $V_{ed}$ .

## Posúdenie na šmyk

$$V_{ed} \leq V_{RD,c}$$

$$V_{ed} = 13,78 \text{ kN}$$

$$V_{RD,c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$K = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{70}} = 2,69$$

$$\mathbf{k \leq 2,00}$$

$$\rho_i = \frac{A_s}{b * d} = \frac{1,49 * 10^{-4}}{1 * 0,07} = 0,0021$$

$$V_{RD,c} = 0,12 * 2 * (100 * 0,0021 * 20)^{\frac{1}{3}} * 1 * 0,07 = 27,2 \text{ kN}$$

$$V_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 2^{\frac{3}{2}} * 20^{\frac{1}{2}} = 0,44$$

$$V_{RD,c} > cv_{min} * b * d = 0,44 * 1 * 70 = 30,8 \text{ kN}$$

$$\underline{V_{ed} = 13,78 \text{ kN} \leq V_{RD,c} = 30,8 \text{ kN OK}}$$

### Kotevná délka

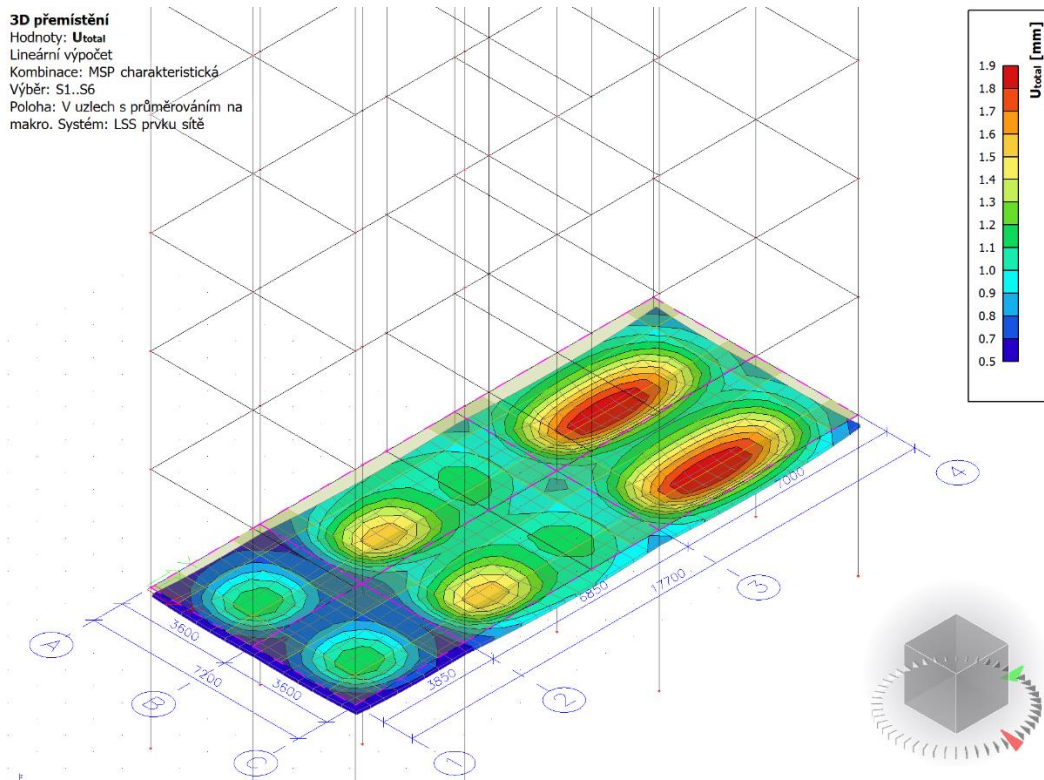
$$f_{bd} = 2,25 * n1 * n2 * f_{ctd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = act * \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = 1 * \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} * \frac{Q_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} * \frac{74,48}{2,7} = 68,96 \text{ mm}$$

### Mezní stav použitelnosti

#### Priehyb



Obr. 67: Priehyb dosky.

Limitní priehyb:

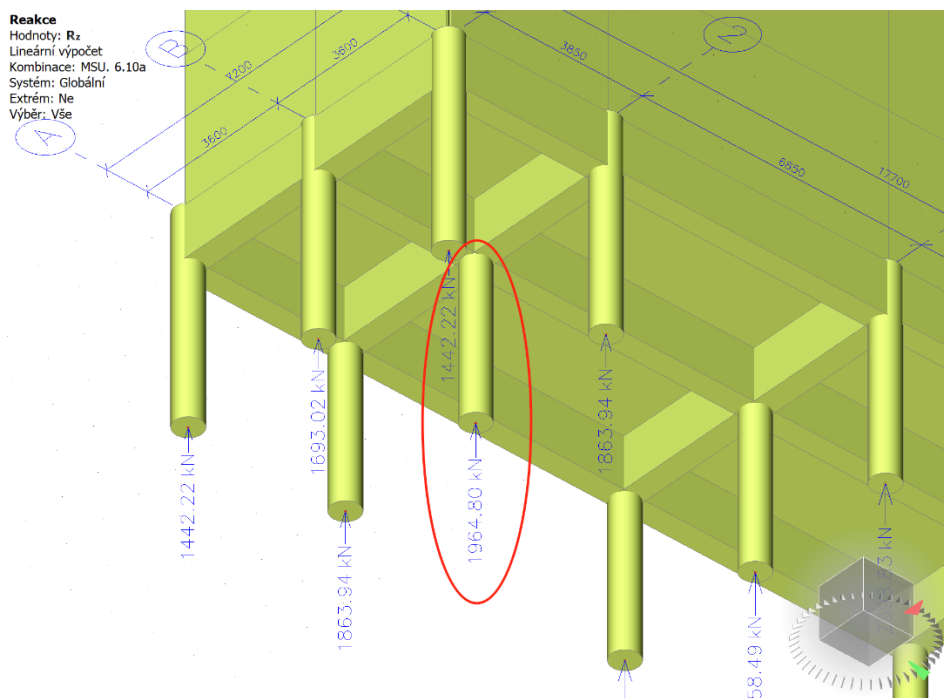
$$W_{max} = \frac{L}{250} = \frac{7000}{250} = 28 \text{ mm}$$

$$\underline{1,9 \text{ mm} < 28 \text{ mm OK}}$$

## Stĺp v 1.NP

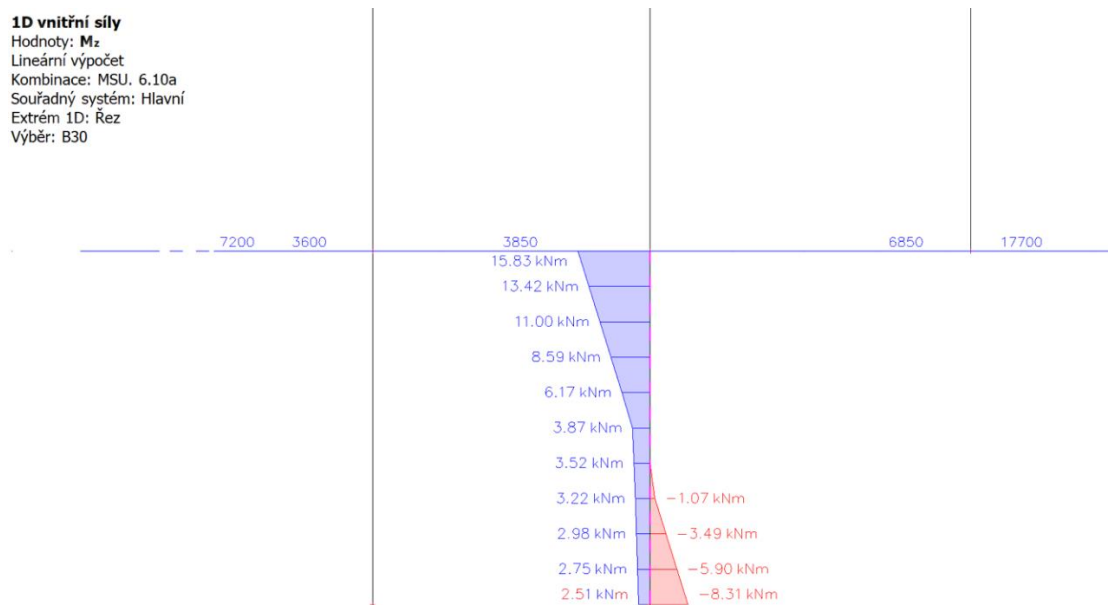
### Sily pôsobiace na stĺp MSÚ

Normálová sila:



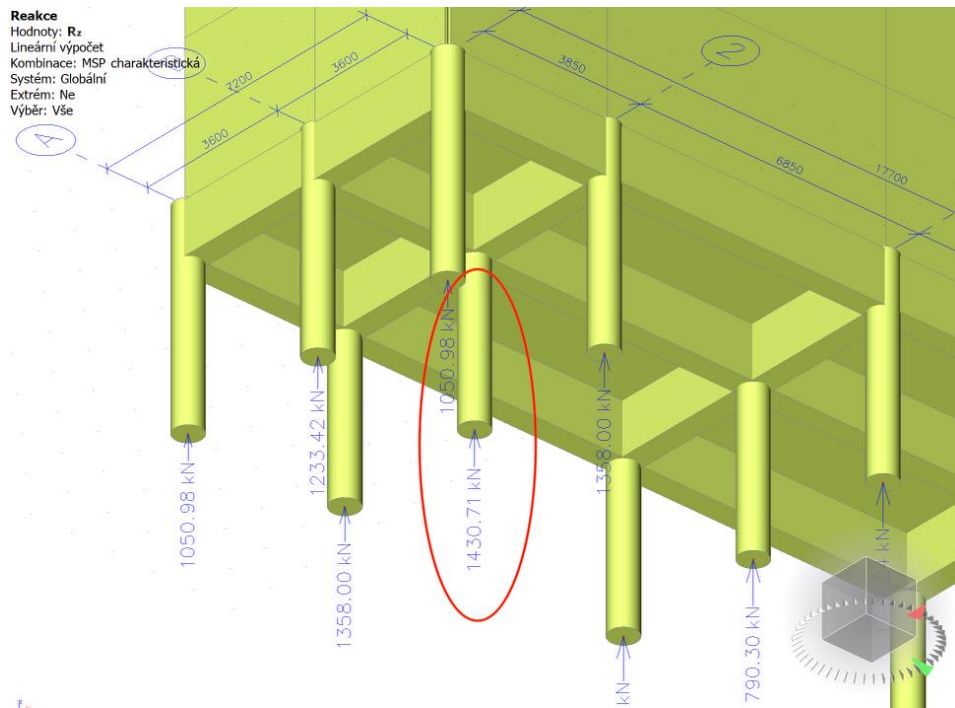
Obr. 68: Normálová sila.

Priebeh momentov:

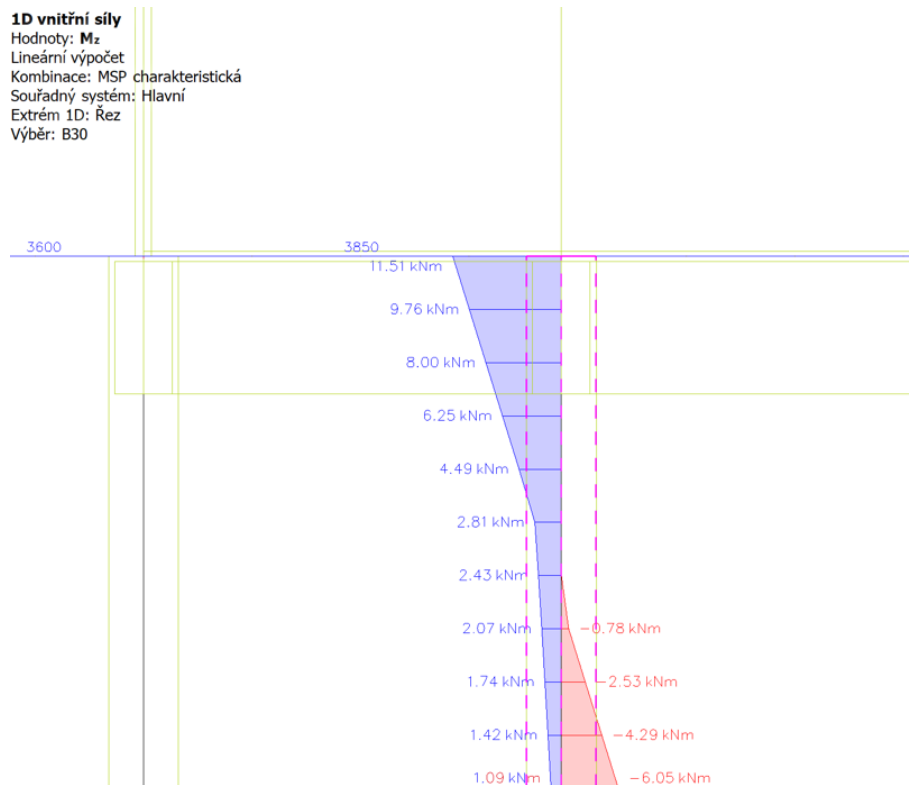


Obr. 69: Priebeh momentov stĺp A1.

## Sily pôsobiace na stĺp MSP – charakteristická

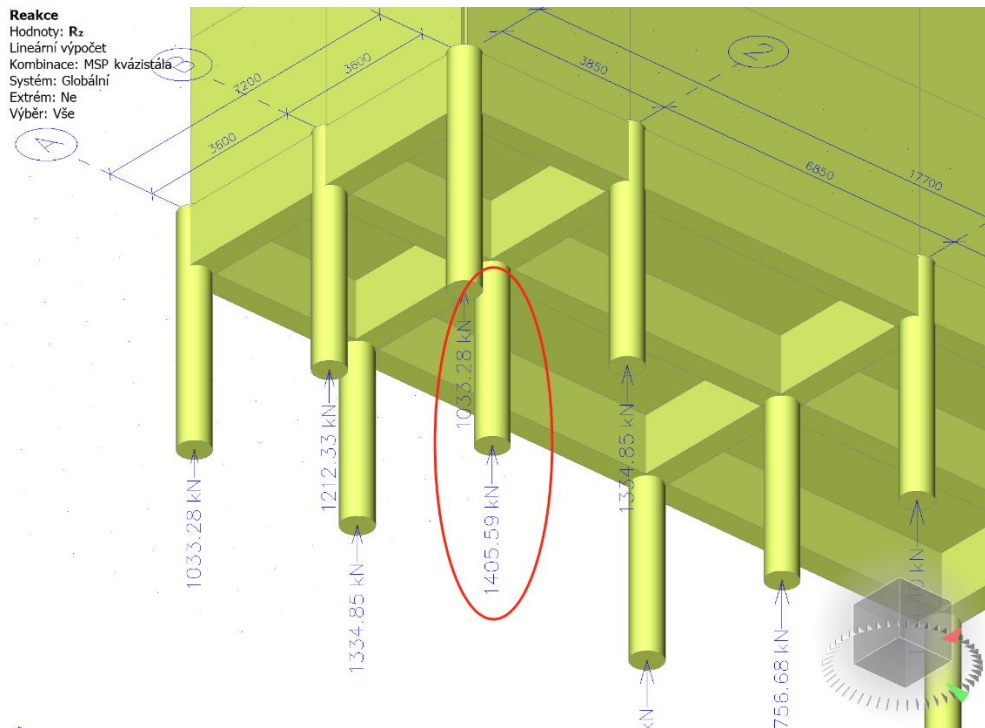


Obr. 70: MSP – charakteristická.

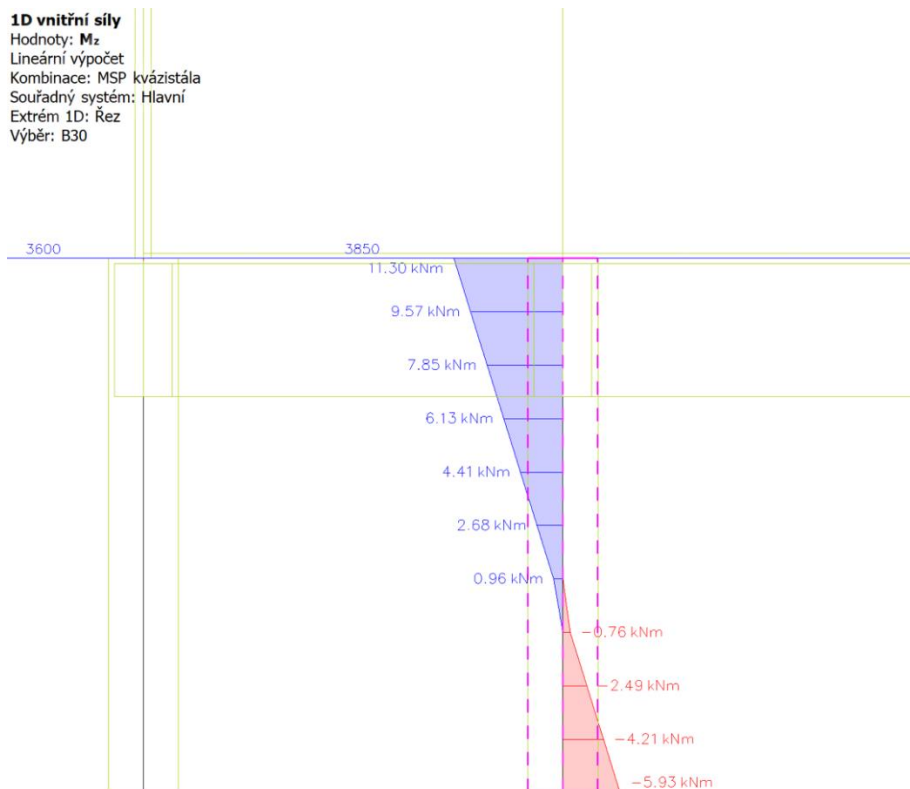


Obr. 71: MSP – momenty, charakteristická.

## Sily pôsobiace na stĺp MSP – kvázistála



Obr. 72: MSP – kvázistála.



Obr. 73: MSP – momenty, kvázistála.

# Posúdenie

## Projekt

Datum : 1/13/2026

## Norma

Norma **EN 1992-1-1/Česko.**

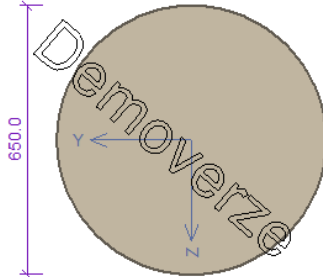
Minimální stupeň vyztužení desky dle ČSN 73 1201

## 1 Dílec 1

### 1.1 Vstupní data

Typ prvku: sloup  
Prostředí: X0  
Délka dílce: 4.90m

#### Průřez



#### Materiály

##### Beton: C 20/25

$f_{ck} = 20.0 \text{ MPa}$ ;  $f_{ctm} = 2.2 \text{ MPa}$ ;  $E_{cm} = 30000 \text{ MPa}$

##### Ocel podélná: B420B

$f_{yk} = 420.0 \text{ MPa}$ ;  $E_s = 200000 \text{ MPa}$

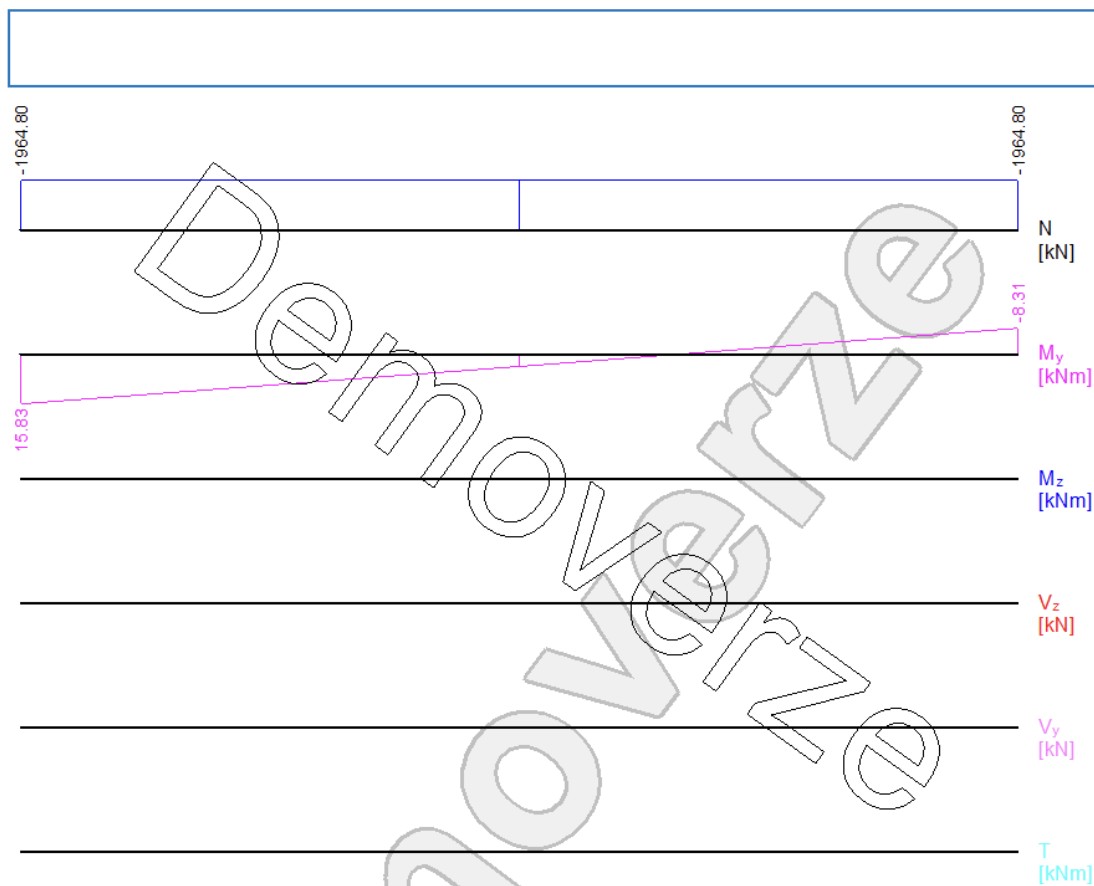
##### Ocel příčná: B420B

$f_{yk} = 420.0 \text{ MPa}$ ;  $E_s = 200000 \text{ MPa}$

#### Vnitřní síly

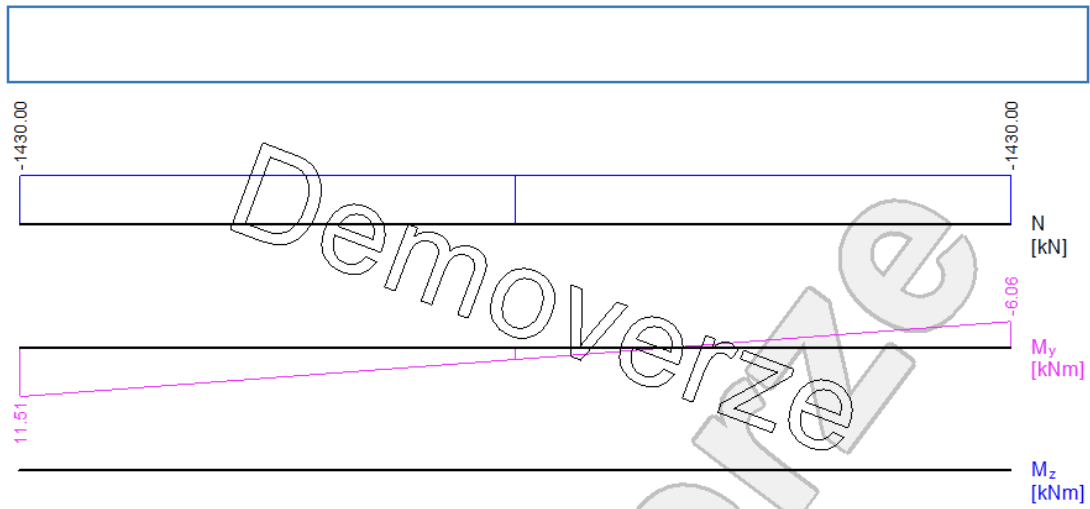
Zat. případ 1 - základní návrhová (MSÚ)								
Poloha [m]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	$M_{Edz}$ [kNm]	$V_{Edz}$ [kN]	$V_{Edy}$ [kN]	$T_{Ed}$ [kNm]	$R_z$ [kN]	$RO_x$ [kNm]
0.00	-1964.80	15.83	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
2.45	-1964.80	3.87	-	-	-	-	-	-
4.90	-1964.80	-8.31	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-

1

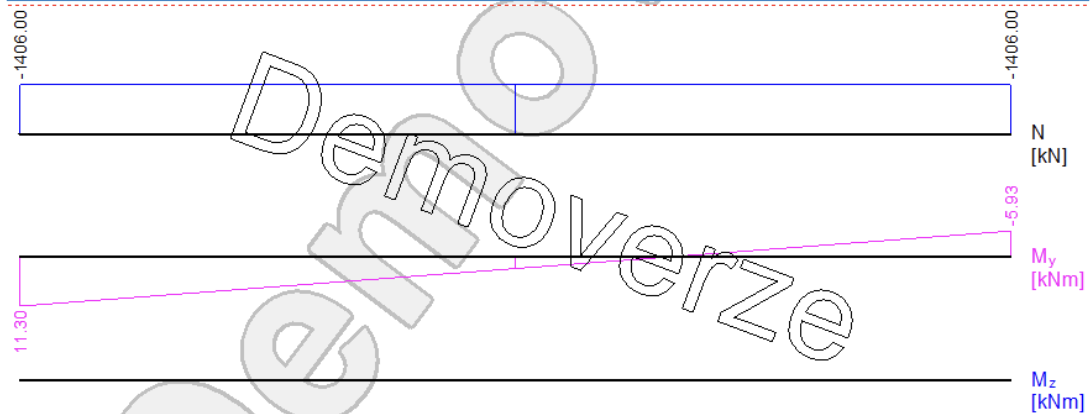


**Zat. případ 2 - charakteristická (MSP)**

Poloha [m]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	$M_{Edz}$ [kNm]
0.00	-1430.00	11.51	0.00
2.45	-1430.00	2.81	-
4.90	-1430.00	-6.06	0.00

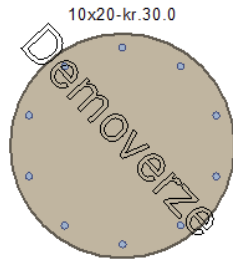


Zat. případ 3 - kvazistálá (MSP)			
Poloha [m]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	$M_{Edz}$ [kNm]
0.00	-1406.00	11.30	0.00
2.45	-1406.00	2.68	-
4.90	-1406.00	-5.93	0.00



**Podélná výztuž**

Úsek č.: 1, (0.00m - 4.90m)  
Kruh: 10ks x profil 20, krytí 30.0 mm



S tlačnou výztuží je počítáno.

### Smyková výztuž

Úsek č.: 1, (0.00m - 4.90m)

### Obvodové třmínky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 130.0 mm

### Minimální krytí

Třída konstrukce: S4

$$c_{\min} = \max(c_{\min,b}; c_{\min,dur}; 10) = \max(8; 10; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} + \varnothing_s = 10 + 10 + 8 = 28 \text{ mm}$$

## 1.2 Výsledky

Kritický řez v bodě  $x = 0.000\text{m}$  - Zat. případ 1

### Posouzení min. a max. stupně výztužení

Sloup (celková výztuž):

$$\rho_s = 0.00952 \geq \rho_{s,\min} = 0.002 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0.00952 \leq \rho_{s,\max} = 0.04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení konstrukčních zásad třmínků

$$\text{Minimální průměr třmínků } d = 6 \text{ mm} \leq 8 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Maximální vzdálenost třmínků } s_{\text{cl,max}} = 300,0 \text{ mm} \geq 130,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení mezního stavu únosnosti

#### Zat. případ 1

$$N_{\text{Ed}} = -1964.80 \text{ kN} \leq N_{\text{Rd}} = -5549.68 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Edy}} = 15.83 \leq M_{\text{Rdy}} = 477.39 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Edz}} = 0.00 \leq M_{\text{Rdz}} = 0.00 \text{ kNm}$$

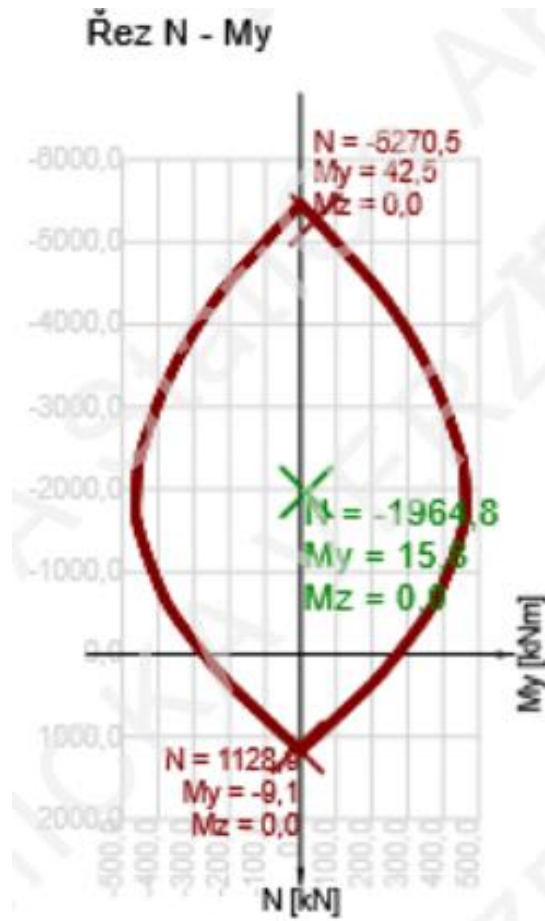
Posouzení průřezu na tlak a ohyb **Vyhovuje**

Průřez není namáhán smykem.

Průřez není namáhán kroucením.

**Mezní stav únosnosti VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE**



Obr. 74: Interačný diagram  $N - My$ .

Tab. 23: Výsledky pre kombináciu: Základní MSÚ.

$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	Hodnota [%]	Mez [%]	Posudok
-1964,8	15,8	0,0	37,3	100,0	OK

## ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberala komplexným prieskumom a hodnotením existujúcej železobetónovej nosnej konštrukcie s cieľom stanoviť jej aktuálny technický stav, overiť skutočné materiálové a geometrické vlastnosti a posúdiť jej ďalšiu použiteľnosť. Riešenie práce vychádzalo z metodiky uplatňovanej v reálnej diagnostickej praxi a rešpektovalo požiadavky platných technických noriem a odborných postupov .

V teoretickej časti boli spracované základné princípy hodnotenia existujúcich konštrukcií, vrátane prehľadu nedeštruktívnych a deštruktívnych diagnostických metód používaných pri zisťovaní kvality betónu a polohy výstuže. Pozornosť bola venovaná najmä ultrazvukovým metódam, georadaru a metódam elektromagnetickej indukcie, ako aj problematike historického vývoja betonárskej výstuže v období 50. a 60. rokov 20. storočia, čo bolo kľúčové pre správnu interpretáciu výsledkov prieskumu.

Praktická časť práce bola zameraná na aplikáciu vybraných diagnostických metód na objekte hotela Strojář v meste Přerov. Na základe vizuálnej obhliadky, meraní in situ a laboratórnych skúšok jadrových vývrtov boli stanovené rozhodujúce materiálové charakteristiky betónu, skutočné usporiadanie výstuže a hrúbka krycej vrstvy. Získané údaje umožnili spresniť vstupné parametre pre statický výpočet vybraných nosných prvkov.

Výsledky statického posúdenia preukázali, že analyzované prvky vyhovujú požiadavkám na únosnosť pri uvažovanom zaťažení. Na železobetónovej doske bola však zistená lokálna odchýlka v ploche rozdeľovacej výstuže približne 5 %. Táto minimálna odchýlka nemá zásadný vplyv na bezpečnosť ani stabilitu konštrukcie. Z uvedeného dôvodu sa navrhuje jej ďalšie monitorovanie, pričom v prípade vzniku trhlin je vhodné uvažovať o lokálnych sanačných zásahoch a prípadnej úprave prevádzkových podmienok.

Záverom možno konštatovať, že kombinácia nedeštruktívnych a deštruktívnych diagnostických metód predstavuje efektívny nástroj na získanie komplexného obrazu o stave existujúcich železobetónových konštrukcií. Správna interpretácia výsledkov a ich prepojenie so statickým výpočtom umožňujú kvalifikované rozhodovanie o ďalšom využívaní objektu, návrhu sanačných opatrení a predĺžení jeho životnosti. Práca zároveň potvrdzuje význam systematického prístupu k diagnostike ako neoddeliteľnej súčasťou moderného stavebného inžinierstva.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [2] G. Boccacci, F. Frasca, C. Bertolin, a A. M. Siani, „Diagnosis of Historic Reinforced Concrete Buildings: A Literature Review of Non-Destructive Testing (NDT) Techniques" [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321624001689>
- [3] M. Beßling, M. Groh, V. Koch, M. Auras, J. Orłowsky, a B. Middendorf, „Repair and Protection of Existing Steel-Reinforced Concrete Structures with High-Strength, Textile-Reinforced Mortars" [online]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/10/1615>
- [4] ČSN EN 12504 – 1 *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [5] DIAMANTOVÝ JÁDROVÝ VRTACÍ STROJ OD 250-CA [online] [cit. 2025-12-23]. Dostupné z: [https://www.hilti.cz/c/CLS\\_POWER\\_TOOLS\\_7125/CLS\\_DIAMOND\\_CORING\\_7125/r12321865](https://www.hilti.cz/c/CLS_POWER_TOOLS_7125/CLS_DIAMOND_CORING_7125/r12321865)
- [6] Pundit PL-200 Ultrasonic Pulse Velocity Tester [online]. Dostupné z: [https://www.pcte.com.au/product/pundit-pl-200?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.pcte.com.au/product/pundit-pl-200?utm_source=chatgpt.com)
- [7] Proceq Pundit PL200 [online] [cit. 2025-12-23]. Dostupné z: <https://www.abbeyspares.co.uk/proceq-pundit-pl200.html>
- [8] GEHRIG, Michael, Derek MORRIS a John BRYANT. Ground Penetrating Radar for Concrete Evaluation Studies. ResearchGate [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/252266154\\_Ground\\_Penetrating\\_Radar\\_for\\_Concrete\\_Evaluation\\_Studies](https://www.researchgate.net/publication/252266154_Ground_Penetrating_Radar_for_Concrete_Evaluation_Studies)
- [9] Looking into Concrete – Multiple Frequency Usage in Radar Products to Detect Structural Parameters and Defects Faster and More Accurately. In: 15th Asia Pacific Conference for NonDestructive Testing [online]. Dostupné z: <https://www.ndt.net/search/docs.php3?showForm=off&id=22264>
- [10] Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. First Printing. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2013. ISBN 0-87031-820-9.

- [11] Hilti PS 1000 X-Scan Concrete Scanner – Technical Data. [hiltips1000hire.co.uk / Hilti](https://www.hilti.com/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_SENSORS_7127/r6436760). [online] [cit. 2025-12-23] Dostupné z: [https://www.hilti.com/c/CLS\\_MEA\\_TOOL\\_INSERT\\_7127/CLS\\_CONCRETE\\_SCANNERS\\_SENSORS\\_7127/r6436760](https://www.hilti.com/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_SENSORS_7127/r6436760)
- [12] ČSN EN 12390 – 7 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [13] ČSN 73 2011 *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [14] ČSN EN 13791 *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [15] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID. Diagnostika stavebních konstrukcí: Přednášky. 2005.
- [16] „Made in Switzerland Design Patent Pending Made in Switzerland ® Operating Instructions“, 2017 [online ] [cit. 2025-12-31] . Dostupné z: [https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Profometer\\_Operating%20Instructions\\_English\\_high.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Profometer_Operating%20Instructions_English_high.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- [17] POLESNÝ, J. *Výztuže*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1963.
- [18] ČSN EN 206 + A2 *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [19] Česká geologická služba. [online] [cit. 2026-1-11 ] Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/#>
- [20] SVOBODOVÁ BLAHA; ALMANNAI FISCHER. *Přerov: revitalizace lokality Strojář*. [online]. [cit. 2026-01-16]. Dostupné ako PDF

## ZOZNAM VELIČÍN, SYMBOLOV A SKRATIEK

<b>PC</b>	počítač
<b>kHz</b>	kilohertz
<b><math>\mu</math>s</b>	mikrosekunda
<b>mm</b>	milimeter
<b>Obr</b>	obrázok
<b>c</b>	rýchlosť svetla vo vákuu
<b>v</b>	rýchlosť šírenia elektromagnetickej vlny v prostredí
<b><math>\epsilon_r</math></b>	relatívna permitivita prostredia
<b>d</b>	hĺbka
<b>t</b>	čas priebehu signálu
<b><math>\sqrt{\epsilon_1} \text{ a } \sqrt{\epsilon_2}</math></b>	relatívne permitivity susediacich prostredí
<b>R</b>	koeficient odrazu elektromagnetickej vlny
<b><math>f_c</math></b>	je pevnosť v tlaku
<b>F</b>	je maximálne zaťaženie pri porušení
<b><math>A_c</math></b>	je prierezová plocha telesa kde pôsobí tlak
<b>max</b>	maximum
<b>min</b>	minimum
<b>s</b>	Sekunda
<b>kN</b>	kilonewton
<b>m</b>	meter
<b>m<sup>3</sup></b>	meter kubický
<b>kg</b>	kilogram
<b>m/s</b>	meter/sekundu
<b>MPa</b>	megapascal
<b>GPa</b>	gigapascal
<b>V</b>	objem
<b>Ø</b>	priemer
<b>STP</b>	stavebný technický prieskum
<b>K</b>	kopaná sonda
<b>A</b>	prvok
<b>N</b>	jadrový vývrt
<b>D</b>	objemová hmotnosť
<b><math>\kappa_u</math></b>	zmenšovací súčiniteľ
<b><math>E_{cu}</math></b>	dynamický modul pružnosti

<b>E<sub>c</sub></b>	statický modul pružnosti
<b>v<sub>L</sub></b>	rýchlost šíření ultrazvukového vlnění
<b>NP</b>	nadzemné podlaží
<b>CLF</b>	súčiniteľ dĺžkovej štihlости
<b>ČSN</b>	Česká technická norma
<b>ČSEN EN</b>	Česká verzia európskej normy
<b>GPR</b>	georadar
<b>ŽB</b>	železobetón

## ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. 1** Pundit PL – 200 [7]
- Obr. 2** Jadrový vrták [5]
- Obr. 3** Meranie obdĺžnikového stĺpu pomocou Hilti PS 1000 X-Scan
- Obr. 4** Hilti PS 1000 X-Scan [11]
- Obr. 5** Graf znázorňuje vzťah medzi hĺbkou krycej vrstvy betónu a vzájomným rozstupom výstužných prútov pri použití elektromagnetickej indukčnej metódy na princípe vírivých prúdov, detekcie výstuže [16]
- Obr. 6** Profometer PM-630 [11]
- Obr. 7** Meranie kruhového stĺpu pomocou Profometer PM – 630
- Obr. 8** Betonárska oceľ 10 210 [17]
- Obr. 9** Betonárska oceľ 10 300 – R30 [17]
- Obr. 10** Betonárska oceľ 10 302 – TOR 30 [17]
- Obr. 11** Betonárska oceľ 10 400 – Rs 40 [17]
- Obr. 12** Betonárska oceľ 10 401 – R 40 [17]
- Obr. 13** Betonárska oceľ 10 402 – RK 40 [17]
- Obr. 14** Betonárska oceľ 10 602 – RK 60 [17]
- Obr. 15** Betonárska výstuž Rs 40
- Obr. 16** Pohľad na hotel Strojář
- Obr. 17** Poloha hotela Strojář v rámci mesta Přerov [19]
- Obr. 18** Geologická mapa hotela Strojář [19]
- Obr. 19** Búrané a zachované časti
- Obr. 20** Polohy sond v objekte
- Obr. 21** Schéma sondy K1
- Obr. 22** Sonda K1
- Obr. 23** Schéma sondy K2
- Obr. 24** Sonda K2
- Obr. 25** Sonda K3
- Obr. 26** Schéma stredového stĺpa A1, kruhového prierezu
- Obr. 27** Účelom tohto skenu prostredníctvom systému Hilti PS 1000 bolo lokalizovať polohu ovíjaných strmienkov v priereze stĺpa A1, overiť ich rozmiestnenie a hĺbku uloženia pod povrchom betónu
- Obr. 28** Pohľad na stredový kruhový stĺp A1
- Obr. 29** Sekaná sonda stĺpa A1, hlavná výstuže R40
- Obr. 30** Meranie hlavnej výstuže stĺpa A1 profometrom

- Obr. 31** Obrázok znázorňuje výsledok nedeštruktívneho merania polohy výstuže v železobetónovom stĺpe A1 pomocou profometru
- Obr. 32** Susedný kruhový stĺp, bez odstránenia obkladu
- Obr. 33** Schéma obvodového stĺpa A2, obdĺžnikového prierezu
- Obr. 34** Pohľad na vonkajší stĺp A2
- Obr. 35** Výstuž stĺpa A2  $\varnothing$  12 mm R40, strmienka hladká kruhová výstuž  $\varnothing$  6 mm
- Obr. 36** Meranie stĺpa A2
- Obr. 37** Meranie bolo vykonané s celkovou dĺžkou 1,279 m, pričom bolo identifikovaných 8 strmienkov naprieč stĺpom A2
- Obr. 38** Schéma vnútorného stĺpa A3, obdĺžnikového prierezu
- Obr. 39** Hlavná stredová výstuž stĺpa A3,  $\varnothing$  12 mm R30, z dlhšej strany stĺpa (750 mm)
- Obr. 40** Hlavná stredová výstuž stĺpa A3,  $\varnothing$  25 mm R40, z kratšej strany stĺpa (400 mm)
- Obr. 41** Pohľad na stĺp A3
- Obr. 42** Pri hlavnej výstuži stĺpa A3 (strana 400 mm) došlo k veľkému nadhodnoteniu meraných priemerov (až na 40 mm), kde na krajoch išlo o priemery  $\varnothing$  16 mm a v strede  $\varnothing$  25 mm
- Obr. 43** Poloha hlavnej výstuže stĺpa A3 (strana 400 mm). Krytie výstuže 40 – 50 mm
- Obr. 44** Poloha hlavnej výstuže stĺpa A3 (strana 750 mm). Krytie výstuže 70 – 78 mm
- Obr. 45** Schéma sondy A4
- Obr. 46** Prievlak sondy A4 obsahujúci hlavnú pozdĺžnu výstuž  $\varnothing$  25 (10 400 – R40) mm
- Obr. 47** Hlavná horná výstuž dosky pri podpore  $\varnothing$  10 (10 400 – R40), hlavná dolná výstuž dosky pri podpore  $\varnothing$  10 (10 400 – R40)
- Obr. 48** Horná výstuž dosky, tesne vedľa prievlakov
- Obr. 49** Hlavná výstuž dosky v meranej dĺžke 0,868 m, pričom identifikovaných bolo 8 výstužných prútov
- Obr. 50** Horná výstuž dosky, ďalej od prievlaku, iba v náznakoch
- Obr. 51** Schéma sondy A5
- Obr. 52** Prievlak sondy A5 obsahujúci hlavnú pozdĺžnu výstuž  $\varnothing$  14 (10 400 – R40) mm
- Obr. 53** Skúšobné vzorky N1 až N4
- Obr. 54** Skúšobné vzorky N5 až N8
- Obr. 55** Skúšobné vzorky N9 až N10
- Obr. 56** Stanovenie miery karbonatizácie na skúšobných telesách N1 až N4 po skúške v tlaku
- Obr. 57** Stanovenie miery karbonatizácie na skúšobných telesách N5 až N8 po skúške v tlaku
- Obr. 58** Stanovenie miery karbonatizácie na skúšobných telesách N9 a N10 po skúške v tlaku
- Obr. 59** V grafe je znázornený priebeh nameraných hodnôt pevnosti betónu v tlaku  $f_{c,2:1}$  spolu s výsledkom Grubbsovho testu
- Obr. 60** Ostatné stále zaťaženie

- Obr. 61** Premenné zaťaženie
- Obr. 62** Zaťaženie vetrom
- Obr. 63** Zaťaženie snehom
- Obr. 64** Maximálny moment v poli
- Obr. 65** Maximálny moment nad podporou
- Obr. 66** Sila  $V_{ed}$
- Obr. 67** Priehyb dosky
- Obr. 68** Normálová sila
- Obr. 69** Priebeh momentov stĺp A1
- Obr. 70** MSP – charakteristická
- Obr. 71** MSP – momenty, charakteristická
- Obr. 72** MSP – kvázistála
- Obr. 73** MSP – momenty, kvázistála
- Obr. 74** Interačný diagram N – My

## ZOZNAM TABULIEK

- Tab. 1** Akostný sortiment betonárskych ocelí v ČSSR, ocele valcované za tepla [17]
- Tab. 2** Tabuľka ocelí tvárnených za studena
- Tab. 3** Tabuľka oceli 10 210 [17]
- Tab. 4** Tabuľka oceli 10 300 – R30 [17]
- Tab. 5** Tabuľka oceli 10 302 – TOR 30 [17]
- Tab. 6** Tabuľka oceli 10 400 – Rs 40 [17]
- Tab. 7** Tabuľka oceli 10 401 – R 40 [17]
- Tab. 8** Tabuľka oceli 10 402 – RK 40 [17]
- Tab. 9** Tabuľka oceli 10 600 – R 60 [17]
- Tab. 10** Tabuľka oceli 10 902 – RT 90 [17]
- Tab. 11** Tabuľka oceli 10 602 – RK 60 [17]
- Tab. 12** Stanovenie objemovej hmotnosti
- Tab. 13** Stanovenie dynamického modulu pružnosti
- Tab. 14** Stanovenie pevnosti betónu v tlaku
- Tab. 15** Stanovenie hĺbky karbonatizácie
- Tab. 16** Hodnoty  $k_n$  pre vzorec 5 [14]
- Tab. 17** Hodnoty  $M$  pre vzorec 6 [14]
- Tab. 18** Skladba podlahy + stále zaťaženie
- Tab. 19** Plochá strecha – skladba a zaťaženie (budova 60 roky)
- Tab. 20** Materiálové charakteristiky
- Tab. 21** MSÚ pole
- Tab. 22** MSÚ podpora
- Tab. 23** Výsledky pre kombináciu: Základní MSÚ