



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

**STAVEBNÍ PRŮZKUM A DIAGNOSTIKA
ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE**

SURVEY AND DIAGNOSTICS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Haloun

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jan Haloun
Název	Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Cikrle, P. a kol. NDT zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu CŽV, VUT v Brně, 2010.

Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.

Schmidt, P. s kol. Základy zkušebnictví. Brno, CERM, 2001.

ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.

Příslušné technické normy.

Výběr separátů z databáze ÚSZK k danému tématu.

Projektová dokumentace.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cíle práce – v teoretické části práce provést rešerše doporučené literatury a vypracování podkladů pro řešení diplomové práce. V rámci praktické části provést prvotní prohlídku hodnocené železobetonové konstrukce, předběžné hodnocení stavu a sestavení plánu stavebně technického průzkumu. Provedení a vyhodnocení průzkumu konstrukce. Statický výpočet vybraných částí nosné konstrukce. Závěrečné zhodnocení stavu konstrukce.

Závěr - proveďte krátké shrnutí a jasně a přehledně deklarujte výsledky diplomové práce.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce ve své první části pojednává o současných i minulých metodách používaných při stavebně technických průzkumech. Teoretická část je věnována popisu provádění jednotlivých zkušebních metod a jejich vyhodnocení dle příslušných norem. Podrobnost popisu diagnostických metod je závislá na použitých metodách v praktické části. Praktická část se zaměřuje na stanovení materiálových charakteristik použitých materiálů a způsobu vyztužení železobetonových prvků. Na základě takto stanovených informací byl proveden statický přepočet průvlaku a sloupu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobeton, beton, materiálové charakteristiky, diagnostika, stavebně technický průzkum, sloup, průvlak, výztuž, pevnost v tlaku, modul pružnosti, vývrt, koroze, poruchy, kamenivo

ABSTRACT

The first part of this diploma thesis is about late and current methods used in Engineering surveys. The theoretical part is focused on description of individual testing methods and their evaluation based on relevant standards. Detailed description of diagnostic methods is dependent on methods used in a practical part. The practical part is focused on defining of material characteristics of used materials and way of reinforcing of reinforced concrete elements. Based on those defined pieces of information the static recalculation of girder and pile was made.

KEYWORDS

Reinforced concrete, concrete, materials characteristics, diagnostic, building survey, column, girder, reinforcement, compressive strength, modulus of elasticity, bore, corrosion, disorders, gravel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jan Haloun *Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce*. Brno, 2019.
84 Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 20. 12. 2019

Bc. Jan Haloun

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 20. 12. 2019

Bc. Jan Haloun

autor práce

Poděkování

Následujícím textem bych rád poděkoval především mému vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřeji Antonovi Ph.D. za zprostředkování průzkumu objektu, ale také za poskytnutí potřebných materiálů a rad pro zpracování jednotlivých částí této práce. Dále bych chtěl poděkovat i panu doc. Ing. Petru Cikrlovi, Ph.D. za sdílení skenů z Profometru pro přiložení ke zkoumaným místům.

Obsah

1	Úvod	1
	1.1 Cíle práce.....	1
2	Stavebně technický průzkum (STP)	2
	2.1 Kdy je nutný STP.....	4
	2.2 Hledané parametry užitých materiálů.....	4
	2.2.1 Železobeton.....	4
	2.2.2 Betonářská výztuž.....	5
	2.2.3 Cihelné zdivo.....	6
3	Metody používané pro stavebně technické průzkumy	7
	3.1 Zjišťování jakosti betonu.....	7
	3.1.1 Stanovení pevnosti v tlaku.....	8
	3.1.2 Modul pružnosti betonu.....	17
	3.1.3 Obecné použití ultrazvuku na beton.....	19
	3.1.4 Metody pro stanovení vyztužení.....	23
	3.2 Stanovení pevnosti zdiva.....	29
	3.2.1 Stanovení pevnosti zdících prvků v tlaku.....	30
	3.2.2 Stanovení pevnosti v tlaku malty.....	32
	3.2.3 Stanovení charakteristické pevnosti zdiva dle ČSN ISO 13822.....	35
4	Předmět praktické části	36
5	O objektu	36
6	Provedené sondy a jejich poloha	37
	6.1 Zkoumaná místa.....	37
	6.2 Poloha zkoumaných míst.....	37
	6.3 Jádrové vývrty.....	40
	6.3.1 Jádrové vývrty v 1NP.....	40

6.3.2	Jádrové vývrty ve 2NP.....	47
6.3.3	Zkušební tělesa a vyhodnocení laboratorních zkoušek.....	49
6.4	Vyztužení vybraných prvků.....	52
6.4.1	Vyztužení průvlaků.....	52
6.4.2	Vyztužení sloupů.....	61
6.5	Stanovení pevnosti zdiva.....	64
6.5.1	Pevnost cihel.....	64
6.5.2	Pevnost malty.....	69
7	Statický přepočet vybraných prvků.....	70
7.1	Statický posudek průvlaku P1.....	75
7.2	Statický posudek sloupu S1.....	80
7.2.1	81
7.2.2	Výpočet významných bodů interakčního diagramu.....	81
8	Závěr práce.....	85
9	Bibliografie.....	86
10	Seznam obrázků.....	88
11	Seznam tabulek.....	91

1 Úvod

V současné době není pojem diagnostika stavebních konstrukcí mezi lidmi příliš známý, ale pomalu se začíná více využívat a požadovat zejména při rekonstrukcích stavebních objektů. Využívá se zejména v případech starších budov, které například změnili majitele nebo s nimi současný majitel má jiné plány, než ke kterým byl objekt původně zamýšlen a také navržen. V těchto případech je pak velice důležité zjistit kompletní stavebně technický stav konstrukce, ze kterého se nadále vychází při statickém přepočtu pro nový provoz a návrhu nezbytných sanačních oprav.

Náplní této práce je představení metod používaných při diagnostice stavebních objektů, stanovení komplexního stavebně technického stavu zkoumaného objektu, a na základě stanovených materiálových charakteristik nosných prvků konstrukce, posouzení vybraných prvků na únosnost.

Práce jako taková je tím pádem rozdělena do tří částí. První část se věnuje čistě teoretickému popisu diagnostiky a metod při ní používaných. Druhá část je věnovaná už reálnému průzkumu s využitím metod popsaných v první části a vyhodnocení zjištěných skutečností. Třetí část se zabývá už zmíněným statickým posudkem na únosnost.

1.1 Cíle práce

Cílů této práce je několik. Tím prvním je stručný popis metod dnes využívaných pro diagnostiku stavebních konstrukcí a jejich vyhodnocení. Druhý cíl je zhodnocení aktuálního stavu zkoumaného objektu a stanovení materiálových charakteristik. To je zejména charakteristická pevnost v tlaku betonu a cihelného zdiva. Neméně důležitým aspektem průzkumu je také stanovení vyztužení vybraných prvků, typ a stav použité vyztuže.

2 Stavebně technický průzkum (STP)

Jedná se o soubor činností jejichž výsledkem je hodnocení současného stavu stavebního objektu nebo konstrukce. Při provádění či vyhodnocování STP se zaměřujeme zejména na nálezy, které by mohly přímo i nepřímo ovlivňovat spolehlivost celé konstrukce nebo některé její části jako jsou například staticky závažné trhliny či praskliny, stav jednotlivých nosných prvků (stropní trámy, ocelové válcované profily, betonové průvlaky, desky, sloupy atd.). Vzhledem k velké rozličnosti konstrukčních systémů a použitých materiálů, neexistuje žádný jednotný systém, jak objekty diagnostikovat. Zkrátka co objekt, to originál, a tak se k němu musí při STP i přistupovat.

Po provedení STP v terénu se všechna zjištění shrnou a sepíše se závěrečná zpráva, která zhodnocuje stavebně technický stav konstrukce. Tato zpráva se může provést v následujících třech fázích:

Předběžný STP (základní) se standartně provádí bez přerušení provozu v objektu, před samotným započítím projekční přípravy a určují rozsah a kvalitu obecných informací, které jsou nezbytné pro další postup

Shromažďované informace jsou:

- Vývoj provozu v objektu
- Historie samotného objektu
- Konstrukční uspořádání
- Vady a poruchy způsobené provozem

Je nutno zajistit:

- Seskupení co nejvíce možných materiálů o objektu (výkresy, verbální poznatky, archivní dokumenty atd.)
- Vizualní průzkum objektu, přibližný konstrukční systém a jeho fungování

Podrobný STP (komplexní) se provádí za účelem doplnění informací získaných při základním průzkumu. Doplněním se rozumí:

- Specifikace druhu a kvality použitého materiálu
- Upřesnění konstrukčního uspořádání objektu
- Fotografická dokumentace aktuálního stavu
- Popis geologických a hydrogeologických poměrů v podzákladí objektu
- Popis základových konstrukcí
- Určení možných příčin vzniklých vad a poruch na konstrukci
- Stanovení materiálových charakteristik na základě odebraných vzorků z reprezentativních nosných prvků

Stejně jako u předběžného průzkumu, je vhodné i tuto fázi provádět bez přerušení provozu v objektu. Proto je důležité, při návrhu postupu průzkumu volit takové metody, které umožňují plynulý provoz v objektu.

Doplňující STP se provede v případě zjištění nedostatečného rozsahu podrobného průzkumu [1]

Ze získaných informací o stavebním objektu se zpracuje závěrečná zpráva hodnotící jeho aktuální stav. Závěrečná zpráva by měla shrnovat následující:

- Stručný úvod a základní údaje o konstrukci nebo objektu
- Rozsah prováděného průzkumu
- Hodnocení vodorovných nosných konstrukcí
- Hodnocení svislých nosných konstrukcí
- Hodnocení střešního pláště a s tím i hodnocení krovu
- Popis míry vlhkosti objektu
- Co nejpřesnější popis základových konstrukcí
- Inženýrsko-geologickou charakteristiku podloží objektu
- Komplexní zhodnocení aktuálního stavu konstrukce
- Doporučení pro návrh sanace dle informací z STP [1]

Postup pro provádění jsou uvedeny v normě ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.

2.1 Kdy je nutný STP

Stavebně technický průzkum se lze podle jeho povahy praktikovat na starších i nových stavebních objektech. Závisí však na jeho charakteristice a očekávaných výsledcích. Důvody pro jeho provedení jsou pro jednotlivé specifikace uvedeny níže:

Důvody u nových konstrukcí:

- Kontrola provedení podle projektové dokumentace
- Kontrola kvality provedení (kvalita betonu, kontrola vyztužení...)
- Při kolapsu hledání příčiny

Důvody u starších konstrukcí:

- Celková rekonstrukce objektu
- Požadavek na nástavbu/přístavbu
- Stanovení příčin vzniklých poruch
- Degradace stavebních materiálů
- Změna vlastníka
- Změna provozu v objektu

2.2 Hledané parametry užitých materiálů

2.2.1 Železobeton

V případě železobetonu stanovujeme několik potřebných materiálových charakteristik. Jejich výčet a stručný popis stanovení je následující:

Pevnostní třída

- Pro její zjištění existují dva typy metod → jádrové vývrty (semidestruktivní)
→ Schmidtův tvrdoměr (nedestruktivní)
- Po vyhodnocení výsledků z laboratorních zkoušek dle příslušných norem získáme hledanou pevnostní třídu

Modul pružnosti

- Pro jeho stanovení existují dvě metody → ultrazvuk (dynamický)
→ na jádrových vývrtech (statický)

Objemová hmotnost

- Stanovuje se na odebraných jádrových vývrtech

Karbonatace betonu

- Zkouška míry zkarbonatování se provádí aplikací 1% roztoku fenolftaleinu na odebraný jádrový vývrt → nezkarbonatovaný beton zčaloví

Rovnoměrnost betonu

- Zjišťuje se ultrazvukem nebo z objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a tahu

2.2.2 Betonářská výztuž

Z důvodu velké různorodosti dříve používaných výztuží, je potřeba stanovit následující parametry:

Typ

- V současnosti existuje pouze jediný způsob ověření typu výztuže, a to je sekaná sonda

Průměr

- Dnes lze průměr stanovit i pomocí elektromagnetických indikátorů, ovšem toto stanovení není 100%-tní, a tak se většinou přistupuje ještě k ověření sekanou sondou a změřením posuvným měřítkem

Koroze

- Jediný spolehlivý způsob ověření je opět sekaná sonda

Porušení

- Stanovuje se opět sekanou sondou

Rozmístění a množství

- Několik možností stanovení → elektromagnetický indikátor
→ georadar
→ sekaná sonda

2.2.3 Cihelné zdivo

U cihelného zdiva jakožto kombinace dvou rozdílných materiálů (cihly, malta) se stanovuje nejprve pevnost každé komponenty zvlášť a následně se stanoví celková charakteristická pevnost zdiva.

2.2.3.1 Cihly

Pevnost v tlaku

- Stanovuje pomocí dvou metod → Schmidovým tvrdoměrem (nedestruktivně)
→ na zkušebních tělesech (krychle rozdrčené v lisu) vyrobených z odebraných vzorků reprezentující použité cihly
- Nakonec se provádí upřesnění součinitelem α získaným z poměru výsledků destruktivní/nedestruktivní zkoušky

Charakteristika cihelného střepu a jeho vady

- Stanovuje se několika postupy → vizuálně
→ poklepem (například kladivem)
→ rezonanční zkouškou
- Hledají se lokální trhliny, špatné vypálení, síť trhlin, nekvalitní základní materiál a jiné

2.2.3.2 Malta

Pevnost v tlaku

- V současnosti se dá na místě určit jediným způsobem, a to použitím tzv. Kučerovy upravené vrtačky
- Z hloubky návrtu vrtákem o průměru 8 mm se pomocí kalibračního vztahu určí pevnost malty v tlaku

3 Metody používané pro stavebně technické průzkumy

Z důvodu velké rozmanitosti používaných materiálů, byly postupem času vyvinuty diagnostické metody pro každý materiál zvlášť. Každá ze zmíněných metod nese svá specifika a je jinak náročná na proveditelnost a dává jinak přesné výsledky. Z tohoto důvodu je potřeba vybrat takovou metodu, která nám je schopná poskytnout takové výsledky, jaké přesně potřebujeme. Na popis jednotlivých průzkumných metod v závislosti na materiálu se zaměřuje následující text.

3.1 Zjišťování jakosti betonu

Pro jednoznačné rozhodnutí o jakosti betonu je potřeba nasbírat co možná nejvíce informací. K tomuto účelu máme k dispozici několik zkušebních metod. Některé z těchto metod jsou vůči zkoumané konstrukci poměrně invazivní, jiné naopak vůbec. Musíme ovšem říci, že vypovídající hodnota a přesnost výsledků zkoušek, je ve prospěch metod invazivních neboli destruktivních/semidestruktivních. Destruktivní nebo semidestruktivní metody vytvoří fyzický zásah do zkoumané části konstrukce, a tak musíme volbu, místo a dimenzi této metody dostatečně zvážit.

Vedle destruktivních zkoušek existují ještě zkoušky nedestruktivní. Tyto zkoušky mají buď minimální nebo zcela zanedbatelný (obroušení omítky a zkarbonatované vrstvy betonu) vliv na konstrukci. Hlavní a nejznámější nedestruktivní metodou pro zjišťování pevnosti betonu v tlaku jsou odrazové tvrdoměry nazývané Schmidtovo kladívko. Avšak použití této metody je podmíněno odebráním jádrových vývrtů za účelem upřesnění výsledků.

3.1.1 Stanovení pevnosti v tlaku

3.1.1.1 Jádrové vývrty

Jak už bylo zmíněno výše, jedná se o semidestruktivní zkušební metodu, která nám poskytuje velice přesné výsledky o kvalitě betonu. Při jejím použití se musí brát zřetel na zásah do zkoumaného prvku konstrukce. Proto je velice důležité vybrat pro odběr vývrty takové místo, ve kterém bude vliv na spolehlivost zkoumaného prvku minimální.

Důležitý je ale také výběr průměru vrtáku. Ten by měl mít průměr minimálně trojnásobku největšího zrna kameniva v betonu.

Samotný vrt by měl být veden tam, kde nedojde k porušení, či přerušení betonářské výztuže. Pro nalezení místa bez výztuže se obvykle používají různé indikátory výztuže.



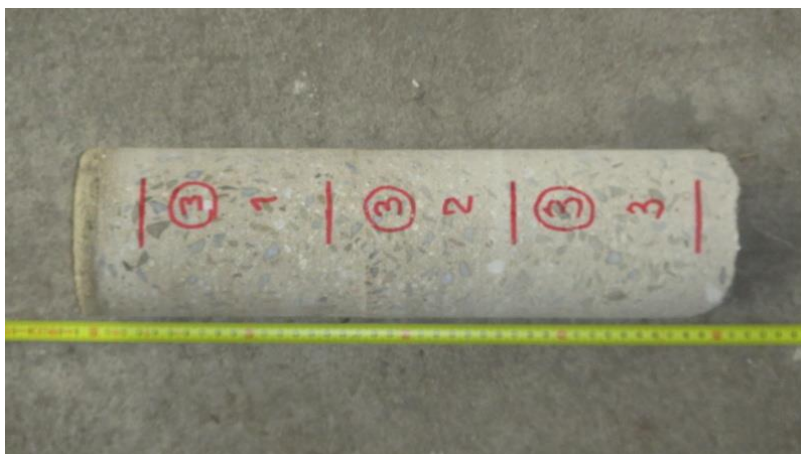
Obrázek 1 Znárodnění odběru jádrového vývrty [14]

3.1.1.1.1 Popis jádrového vývrty

Odebraný vývrt se zpravidla popíše ihned po jeho odvrtání, aby nedošlo k jejich záměně. Poloha odběru se zaznačí do příslušného půdorysného schématu. Následně se vyfotografuje spolu s přiloženým měřidlem. Poté se specifikuje struktura samotného betonu.

Popisují se informace jako:

- Frakce kameniva a největší velikost zrna
- Rovnoměrnost rozložení kameniva
- Zda došlo k porušení nebo přerušení výztuže
- Obsah kaveren, pórů



Obrázek 2 Příklad označení vývrtu

3.1.1.1.2 Míra karbonatace betonu

Karbonatací betonu nazýváme chemický proces, jehož důsledkem je koroze betonářské výztuže. Koroze betonářské výztuže je způsobena působením vody a kyslíku. V mladém betonu je na rozhraní betonu a výztuže slabá vrstva oxidů železa, která je velice hutná a nepropustná. Z počátku má krycí vrstva betonu pH vyšší než 9 a chrání výztuž před korozí. [2]

Postupem času se působením vzdušného CO_2 Ca(OH)_2 rozkládá na CaCO_3 a H_2O . Výsledkem tohoto jevu je pokles pH krycí vrstvy výztuže. V momentě, kdy pH klesne pod 9, dochází k depasivaci betonářské výztuže a začíná její koroze. [2]

Míra karbonatace se provádí pomocí 1% roztoku fenolftaleinu, kterým se odebraný vývrt postříká. V důsledku chemické reakce dojde ke změně barvy nezkarbonatované části betonu na fialovou. Hloubka karbonatace se pak jednoduše změří měřidlem a zapíše.



Obrázek 3 chemické reakce po aplikaci 1% roztoku fenolftaleinu

Procesu karbonatace se dá částečně předejít následujícími preventivními opatřeními:

- Navrhnout beton, s vyšším obsahem Ca(OH)_2 (CEM I)
- Navrhnout beton s nižším vodním součinitelem

→ beton je poté hutnější → méně pórů v betonu → horší pronikání agresivních látek [2]

3.1.1.1.3 Úprava zkušebních těles

Úprava zkušebních těles se provádí pomocí kotoučové pily, kterou se ze surových jádrových vývrtů nařežou jednotlivá zkušební tělesa v poměrech stanovených příslušnou normou ČSN EN 12504-1. Rozměrové poměry jsou následující:

- Pro porovnání s krychelnou pevností je poměr výška/šířka roven 1
- Pro porovnání s válcovou pevností je poměr výška/šířka roven 2

V případě, kdy je průměr vývrtu jiný než 150 mm, norma ČSN EN 12504-1 postupuje následovně:

- Pro vývrt o průměru 100 mm se předpokládají shodné výsledky jako v případě vývrtu o průměru 150 mm → výsledek se nepřepočítává
- Pro vývrty s průměrem menším než 100 mm se musí provést kalibrace na daný typ betonu

Po řezání jsou zkušební tělesa z důvodu zkrápení kotouče pily vodou nasáklé, a tak se musí nechat přirozeně vyschnout. Poté se změří jejich rozměry posuvným měřítkem a zváží se s přesností na 0,1g. [3]



Obrázek 4 Kotoučová pila pro zakoncování zkušebních těles [15]

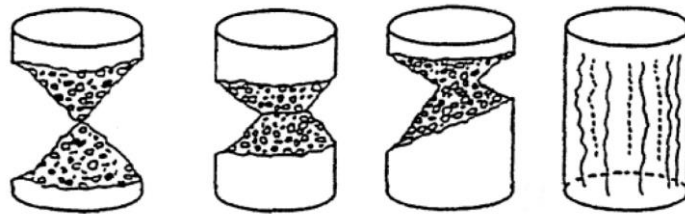
3.1.1.1.4 Vlastní zkouška

Po zakoncování zkušebních těles se přechází k vlastní zkoušce v hydraulickém lisu. Tělesa se vloží do lisu a zatěžují se až do jejich kolapsu. Ze síly v momentě porušení, která se odečte na lisu, se spočítá pevnost betonu v tlaku. To se provede podělením síly v okamžiku porušení průřezovou plochou zkušebního tělesa. Výsledná pevnost se zaokrouhlí na 0,1 MPa.

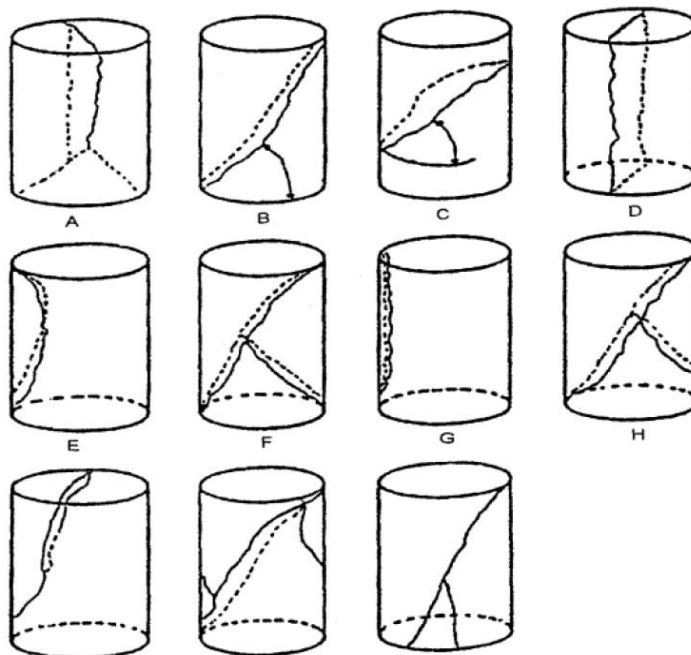
Nezbytnou součástí zkoušky je také kontrola plochy porušení zkušebního tělesa. Správné způsoby porušení jsou znázorněny na přiloženém obrázku. [3]



Obrázek 5 Příklad porušení zkušebního tělesa [16]



Obrázek 7 Optimální porušení zkušebního tělesa dle normy ČSN 12390-3 [4]



Obrázek 8 Nepřijatelné porušení zkušebního tělesa dle ČSN 12390-3 [4]

3.1.1.1.5 Přepočítání výsledků získaných na nenormových tělesech

Při odebírání jádrových vývrtů se musíme snažit co nejméně zasáhnout do zkoušeného prvku a tomu musíme přizpůsobit průměr vrtáku. Zejména pak v hustě vyztužených prvcích nemáme možnost použít takový průměr, jaký uvažuje norma. Z tohoto důvodu se musí provést přepočítání dle zásad uvedených například v ČSN EN 12390 - 3, Z1. Pevnost zkušebního tělesa se přepočítá na rozměry normového tělesa s rozměry $r = 150 \text{ mm}$ a $h = 300 \text{ mm}$. K tomu použijeme součinitel štíhlosti $K_{c,cyl}$ spolu se součinitelem příčného rozměru $K_{c,cube}$. Následně se válcová pevnost přepočítá na pevnost krychelnou pomocí součinitele $K_{cyl,cube}$ z normy ČSN EN 12390 - 3, Z1. [3]

Pevnost v tlaku

Válcovou pevnost stanovíme dle vzorce:

$$f_{c,cyl} = K_{c,cube} \cdot K_{c,cyl} \cdot \frac{F}{A}$$

$K_{c,cube}$	součinitel vyjadřující příčný rozměr tělesa s jiným průměrem než 150 mm. Získává se buď experimentálně nebo se bere jako hodnota 0,95 pro průměr 100 mm nebo 0,91 pro průměr 50 mm. [4]
$K_{c,cyl}$	součinitel opravující štíhlost tělesa λ menší než 2, ale větší než 1, který je planý pro pevnost $f_{c,cyl}$ v intervalu 16 až 60 MPa. [4]
F	síla v okamžiku rozdrčení zkušebního tělesa v lisu [N]
A	Plocha podstavy tělesa [mm^2]

Opravný součinitel $K_{c,cyl}$ stanovíme následovně:

$$K_{c,cyl} = 0,8 + \sqrt{\frac{\lambda - 0,933}{26,667}}$$

Poté se provede přepočítání válcové pevnosti $f_{c,cyl}$ na pevnost krychelnou $f_{c,cube}$:

$$f_{c,cube} = f_{c,cyl} \cdot K_{cyl,cube}$$

Součinitel pro přepočítání válcové pevnosti v tlaku na krychelnou v závislosti na válcové pevnosti [4]

Tabulka 1 Hodnoty převodního součinitele $K_{cyl,cube}$ dle normy ČSN EN 12390-3 [4]

$f_{c,cyl} [MPa]$	8	12	16	20	25	30	35	40
$K_{cyl,cube}$	1,252	1,252	1,252	1,251	1,249	1,246	1,242	1,239
$f_{c,cyl} [MPa]$	45	50	55	60	70	80	90	100
$K_{cyl,cube}$	1,230	1,223	1,215	1,206	1,195	1,184	1,172	1,159

Objemová hmotnost

Objemovou hmotnost stanovíme ze vzorce:

$$D_r = \frac{m_r}{V}$$

m_r hmotnost zkušebního tělesa [kg]

V objem zkušebního tělesa [m³]

3.1.1.1.6 Vyhodnocení výsledků pro charakteristickou pevnost betonu v tlaku dle ČSN EN 13791

Norma uvádí 2 možné způsoby posudku:

Postup A)

Postup požaduje **minimálně 15 zkušebních těles**

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48s \qquad f_{is,nejmenší} + 4$$

- Platí menší z výsledných hodnot
- Musí být ověřeno, že se jedná o normální rozdělení. V případě, kdy tomu tak není, provede se nové vyhodnocení, například rozdělením skupiny vzorků na 2

Postup B)

Postup je určený **pro 3 až 14 vývrtů**

$$f_{ck,ic} = f_{m(n),is} - k \qquad f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4$$

- Platí menší z výsledných hodnot

$f_{ck, is}$	charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]
$f_{m(n), is}$	průměrná pevnost betonu v tlaku stanovená na zkušebních tělesech [MPa]
$f_{is, nejmenší}$	nejmenší pevnost betonu v tlaku stanovená na zkušebních tělesech [MPa]
s	směrodatná odchylka pevnosti v tlaku, v případě, že je menší než 2 MPa použije se hodnota 2 MPa
k	součinitel závislý na počtu vývrtů [5]

Tabulka 2 Hodnoty součinitele k

Počet vývrtů n	3-6	7-9	10-14
Hodnota součinitele k	7	6	5

Pro zařazení betonu do příslušné pevnostní třídy, požaduje norma ČSN EN 13791 dosažení minimálně 85% charakteristické pevnosti v tlaku, stanovené na normových tělesech.

Tabulka 3 Minimální požadovaná pevnost betonu v tlaku v konstrukci dle ČSN EN 13791 [5]

Pevnostní třída betonu dle ČSN EN 206-1	Poměr charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci k charakteristické pevnosti betonu v tlaku stanovené na normových tělesech	Minimální charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci [MPa]	
		$f_{ck, is, cyl}$	$f_{ck, is, cube}$
C8/10	0,85	7	9
C12/15	0,85	10	13
C16/20	0,85	14	17
C20/25	0,85	17	21
C25/30	0,85	21	26
C30/37	0,85	26	31
C35/45	0,85	30	38
C40/50	0,85	34	43
C45/55	0,85	38	47
C50/60	0,85	43	51

3.1.1.1.7 Stanovení pevnosti betonu v tlaku odrazovými tvrdoměry (sklerometry)

Jak již bylo řečeno, pevnost betonu v tlaku lze stanovit dvěma metodami. Tou první je velice přesná semidestruktivní metoda založená na odběru jádrových vývrtů. Druhou metodou je nedestruktivní metoda za použití odrazových tvrdoměrů často nazývaných Schmidtovo kladívko. V důsledku velké ovlivnitelnosti výsledků jako je například špatné čtení hodnoty odrazu, nevhodný povrch zkoušeného prvku, se metoda nemůže používat samotná. Vždy musí být použita jen v kombinaci s jádrovými vývrty.

Druhy sklerometrů

V současnosti jsou na trhu k dostání přístroje od různých výrobců k různému použití. Na základě zkoušených materiálů, bylo vyvinuto několik druhů přístrojů určených pro daný materiál. Rozdíl mezi nimi je ve velikosti energie razníku, konstrukce a velikost samotného zařízení.

1) Schmidt L (Light)

- Pro betonové konstrukce s minimální tloušťkou 60 mm s pevnostní třídou v rozmezí 13-50 MPa
- Energie nárazu razníku je 0,75J

2) Schmidt N (Normal)

- Pro betonové konstrukce s minimální tloušťkou 100 mm s pevnostní třídou v rozmezí 13-50 MPa
- Energie nárazu razníku je 2,25J

3) Silverschmidt

- Založen na modelu N
- Na displeji se zobrazuje přímo pevnost betonu

4) Schmidt M (Masive)

- Pro betonové konstrukce s minimální tloušťkou 200 mm s pevnostní třídou v rozmezí 25-60 MPa
- Energie nárazu razníku je 30J

Pro získání odpovídající hodnoty pevnosti betonu v tlaku je zapotřebí i správný výběr zkušební místa. Zkoušené místo musí splňovat všechny náležitosti z důvodu velké ovlivnitelnosti prostředím.

Zkušební místo musí splňovat:

- Minimální plocha 100x100 mm
- Hladký a suchý povrch
- Obroušená zkarbonatovaná vrstva
- Odstraněná omítka
- Nesmí být příliš blízko výztuže (dostatečná krycí vrstva)
- Žádné trhliny, hnízda šterku nebo porézni beton

Postup zkoušky

Tvrdoměr se přiloží razníkem na zkoušené místo a plynule tlačíme přístroj směrem ke konstrukci, dokud neucítíme úder razníku. Stisknutím aretačního tlačítka umožníme přečtení hodnoty odrazu. Z každého zkušební místa je potřeba získat minimálně 7 platných hodnot. Z tohoto důvodu se doporučuje provést na každém místě alespoň 10 měření. Nutno říci, že směr provedení (svisle, vodorovně) má vliv na výsledek měření. Proto je nutno si zaznačit i směr, ve kterém bylo zkoušení provedeno.

Vyhodnocení zkoušky dle ČSN 731373

Při vyhodnocování výsledků zkoušky norma ČSN 731373 umožňuje použití buď kalibračního vztahu pro daný beton nebo obecný kalibrační vztah, který je uveden v normě. Při vyhodnocení se uvažují jen ty odrazy, které byly provedeny do cementového tmelu a v místě nedošlo k poškození od úderu razníku.

Následně se ke každé hodnotě odrazu přiřadí odpovídající pevnosti v tlaku. Z takto přiřazených pevností, se vypočte aritmetický průměr a stanoví se meze v rozsahu $\pm 20\%$ od průměru. Přiřazené pevnosti, které vybočují z tohoto intervalu se vyloučí. V případě, kdy nám z jednoho zkušební místa zůstalo alespoň 7 hodnot, můžeme toto místo považovat za platné. Ze zbylých hodnot se opět vypočte aritmetický průměr a zaokrouhlí se na celé MPa.

Obecný kalibrační vztah z ČSN 731373:

Vodorovný směr:

$$\text{Přímka A (odraz v intervalu 25-40)} \quad f_{be} = 1,750 \cdot a - 29,00$$

$$\text{Přímka B (odraz v intervalu 41-54)} \quad f_{be} = 1,786 \cdot a - 30,44$$

a hodnota odrazu [-]

Jak již bylo řečeno dříve, metoda zjišťování pevnosti betonu v tlaku odrazovými tvrdoměry, se nesmí používat samostatně. Její použití musí být vždy v kombinaci se stanovením pevnosti v tlaku na jádrových vývrtech. Toto je požadováno kvůli následnému zpřesnění výsledků součinitelem α získaných nedestruktivní metodou Schmidtovým kladívkem.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n f_{bi}}{\sum_{i=1}^n f_{bei}} = \frac{\sum_{i=1}^n f_b \text{ destruktivní}}{\sum_{i=1}^n f_b \text{ nedestruktivní}}$$

n počet měření

f_{bi} výsledek pevnosti stanovený normalizovanou zkouškou v tlaku (destruktivně)

f_{bei} výsledek pevnosti stanovený na témže tělese nedestruktivně

Po vypočtení upřesňujícího součinitele α se jím hodnoty pevnosti získané nedestruktivní metodou přenásobí. Získané hodnoty jsou upřesněné pevnosti betonu v tlaku.

3.1.2 Modul pružnosti betonu

Modul pružnosti E vyjadřuje závislost ztvrdlého betonu mezi napětím a přetvořením. Jde o jednu ze základních charakteristik materiálu, využívanou například pro stanovení dotvarování, průhybů či smršťování. Má přímou souvislost se složením betonové směsi a dá se ovlivnit pouze recepturou betonu. [6]

Z hlediska způsobu měření se dělí na:

- Statický modul pružnosti
- Dynamický modul pružnosti

3.1.2.1 Určení statického modulu pružnosti podle ČSN ISO 1920-10

Statický modul pružnosti E_c se v tomto případě provádí za pomoci hydraulického lisu, alespoň na 3 zkušebních tělesech. Ideální zkušební těleso pro tuto zkoušku bylo mělo mít poměr rozměrů výšky ku šířce roven 2. Musí ale zároveň splnit podmínku, že jeho průměr, je minimálně 3x větší než největší zrno kameniva v betonu. Vhodná šířka zkušební tělesa pro tuto zkoušku je 100 mm. [7]

Postup zkoušky

Zkouška probíhá tak, že těleso umístěné v lisu, se zatíží silou rovnou hodnotě základního napětí (0,5 MPa) a následně se plynule zatíží na 1/3 charakteristické pevnosti betonu v tlaku (horní napětí). Během zatěžování se průběžně zaznamenávají deformace tělesa s odpovídajícím napětím. Ze získaných informací se následně stanoví statický modul pružnosti. [7]

Hodnota statického modulu pružnosti se získá z podílu napětí a poměrného přetvoření viz. následující vztah:

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

σ_a	horní napětí stanovené jako 1/3 pevnosti v tlaku f_c [MPa]
σ_b	základní napětí 0,5 MPa
ε_a	průměrné poměrné přetvoření při horním napětí
ε_b	průměrné poměrné přetvoření při základním napětí [7]

3.1.2.2 Určení dynamického modulu pružnosti betonu

V situacích, kdy není možné ze zkoušené konstrukce odebrat jádrové vývrty pro zkoušku statického modulu pružnosti betonu v tlaku, se využívá přepočtu z dynamického modulu pružnosti. Metody určování dynamického modulu pružnosti jsou proveditelné jak v laboratoři na vzorcích, ale i v terénu přímo na konstrukci. Ke stanovení dynamických modulů pružnosti betonu v tlaku se využívá ultrazvuková a rezonanční metoda. Postupy obou metod jsou popsány v normách ČSN 73 1371, ČSN EN 12504-4 a ČSN 731372.

Ultrazvuková metoda

Tato metoda je založena na rychlosti šíření ultrazvukových vln zkoušeným materiálem. Výslednou hodnotu této metody získáme ze vztahu:

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

D	objemová hmotnost [kg/m ³]
v_L	rychlost šíření ultrazvukových vln [m/s]
k	součinitel rozměrnosti prostředí [-] [8]

Rezonanční metoda

Metoda umožňuje 2 způsoby zkoušky:

- Dynamický modul pružnosti z podélných kmitů [9]

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

- Dynamický modul pružnosti z příčných kmitů [10]

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

f_L, f_f	vlastní frekvence kmitů v podélném i příčném směru [kHz]
L	délka zkoušeného tělesa [m]
i	poloměr setrvačnosti průřezu [m]
c	hodnota získaná z poměru i/L v závislosti na Poissonově koeficientu μ_{br}

3.1.3 Obecné použití ultrazvuku na beton

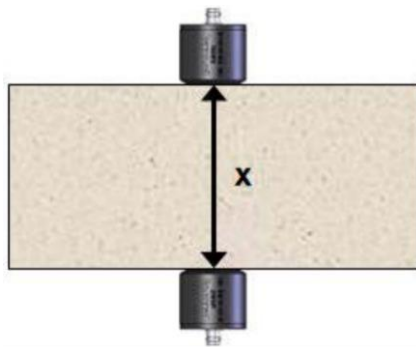
S využitím ultrazvuku je možné stanovit celou řadu vlastností betonu, jako například:

- Mocnost konstrukce (například při betonáži tunelů)
- Rovnoměrnost betonu
- Modul pružnosti
- Ověření přítomnosti kaveren nebo trhlin
- „Pevnost v tlaku“
- Přítomnost cizího tělesa

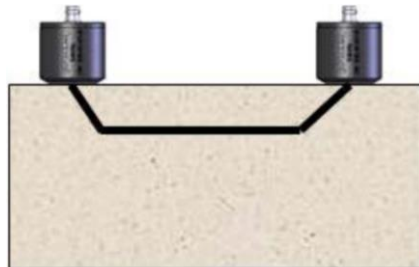
Princip metody

Metoda je založena na rychlosti šíření ultrazvukových vln materiálu a měřením odpovídající doby průchodu známou délkou. Z naměřené doby průchodu se následně spočítá rychlost šíření ultrazvukových impulsů dle normy ČSN EN 12504-4. Poté se na základě stanovené rychlosti hodnotí vlastnosti betonu. Pro prozvučování se ve stavebnictví používají dvě metody.

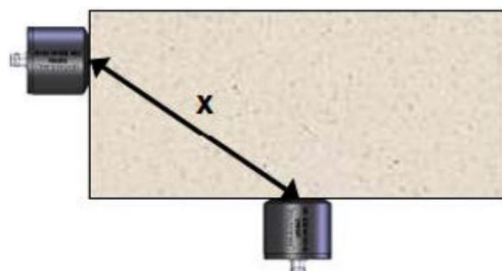
Tou první je metoda se **dvěma sondami**, z nichž jedna je budič a druhá přijímač. V ideálním případě jsou sondy na prozvučované konstrukci umístěné naproti sobě (tzv. přímé prozvučování). V některých případech však tohoto rozmístění není možné docílit, a tak se volí buď metoda polopřímá nebo nepřímá. Znázornění všech metod je vyobrazeno na následujících obrázcích.



Obrázek 10 Přímé prozvučení [17]

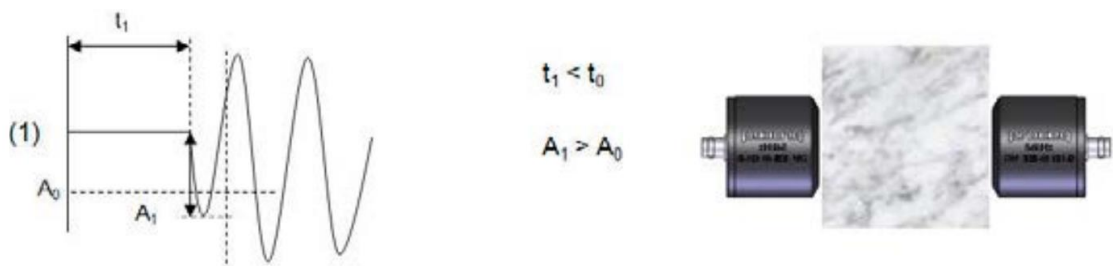


Obrázek 11 Nepřímé prozvučení [17]

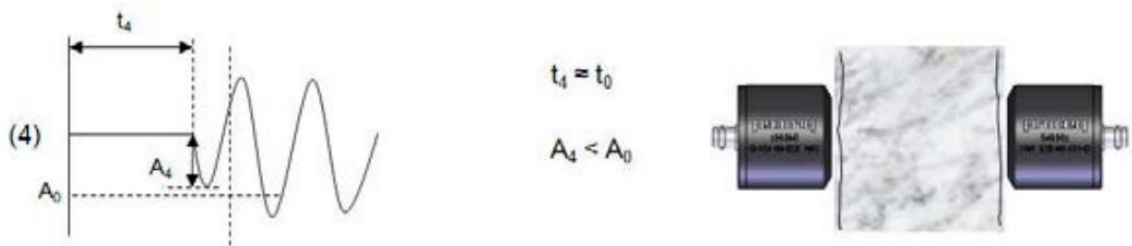


Obrázek 12 Polopřímé prozvučení [17]

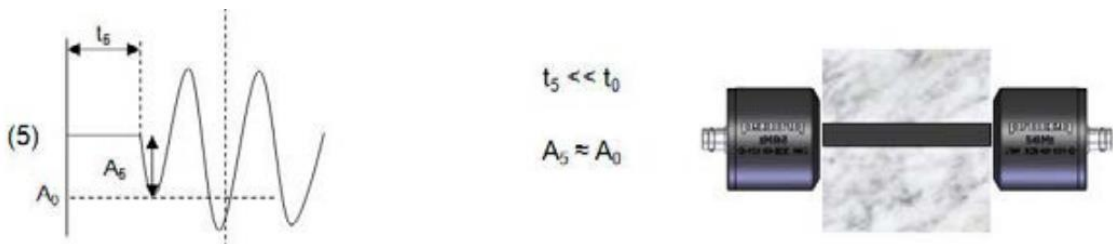
Příklady signálů při prozvučování:



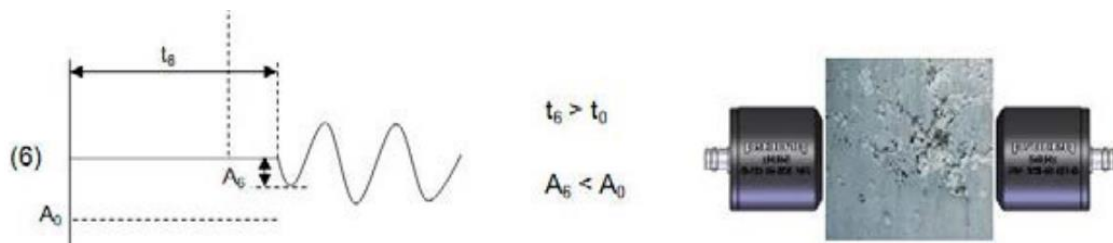
Obrázek 13 Příklad signálu prozvučení kvalitního betonu [17]



Obrázek 14 Příklad signálu prozvučení v případě povrchových poškození [17]



Obrázek 15 Příklad signálu prozvučení přes výztuž [17]



Obrázek 16 Příklad signálu prozvučení přes špatně ztuhlé místo [17]

Ze získaných časů a známé délky dráhy průchodu se stanoví rychlost šíření ultrazvukového impulsu ze vzorce:

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

$$T_0 = T_e - E$$

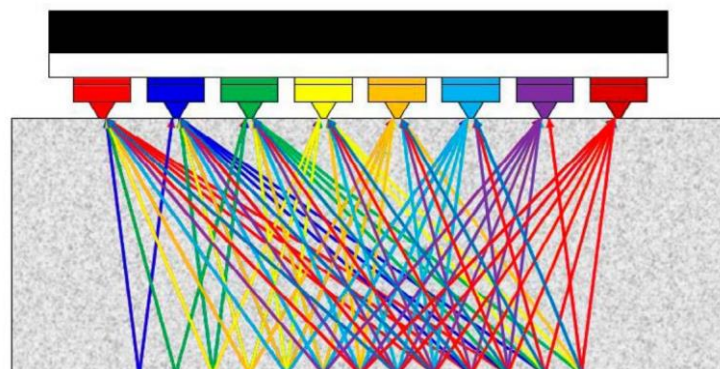
T_i	doba průchodu tělesem [μs]
T_0	mrtvý čas [μs]
T_e	doba průchodu etalonem [μs]
L	uražená vzdálenost impulsem

Na základě vypočtených rychlostí hodnotíme kvalitu zkoušeného betonu. [11]

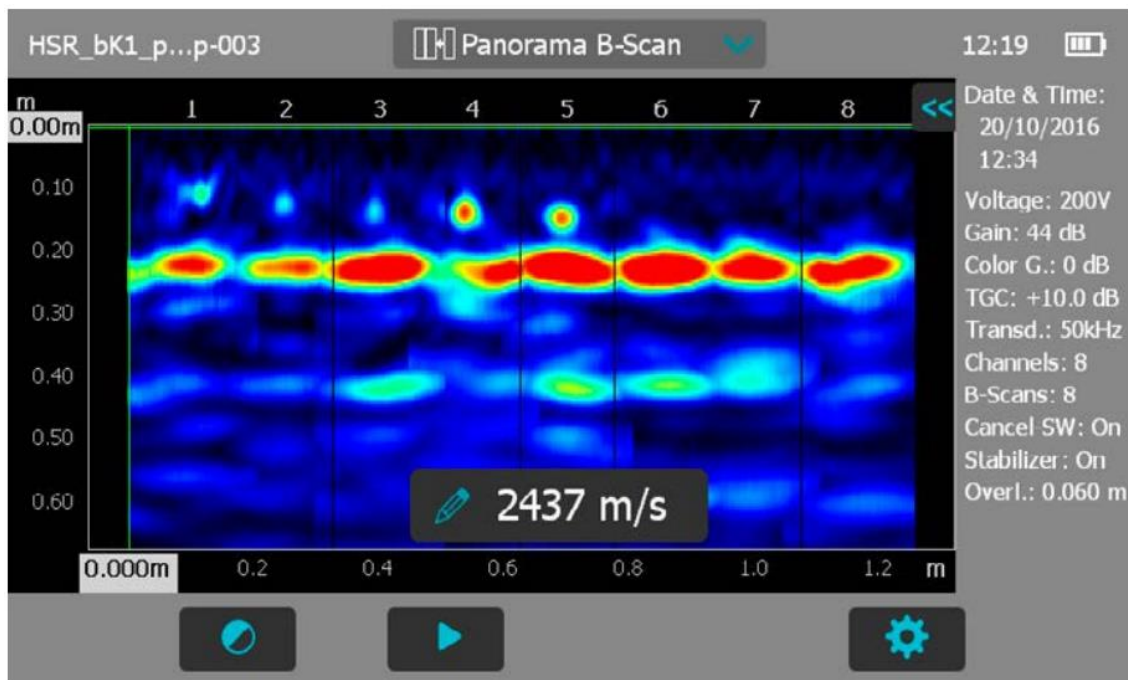
Druhá metoda prozvučování je pomocí **jedné odrazové sondy**. Jedná se poměrně o novou metodu, která umožňuje měření tloušťky konstrukce až do 1 m a hledání dutin uvnitř konstrukce.



Obrázek 17 Odrazová sonda [17]



Obrázek 18 Schéma vysílání a přijímání ultrazvukových impulsů [17]



Obrázek 19 Příklad zobrazení skenu na displeji zařízení [17]

3.1.4 Metody pro stanovení vyztužení

Pro plnohodnotné hodnocení aktuálního stavu konstrukce je potřeba znát také vyztužení nosných prvků. Pro tento účel bylo vyvinuto několik metod, z nichž každá má své úskalí a omezení.

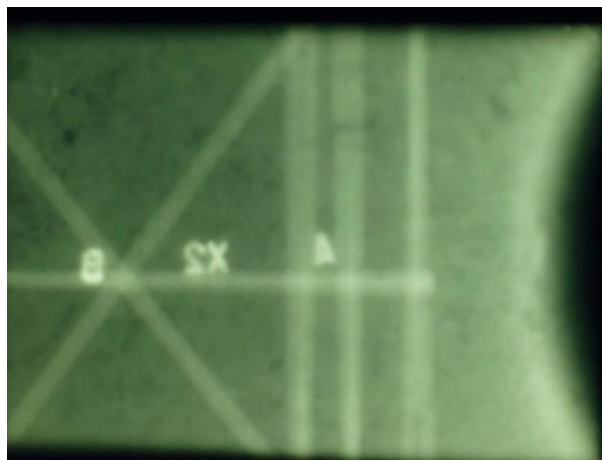
Vyztužení se zjišťuje u nových i starých konstrukcí. U nových je to převážně z důvodu ověření provedení dle projektové dokumentace nebo v případě kolapsu kvůli hledání příčiny. U strašících objektů se stanovení vyztužení provádí z důvodu statického přepočtu a ověření spolehlivosti pro jeho další využití.

Při stanovování vyztužení nás zajímají zejména tyto informace:

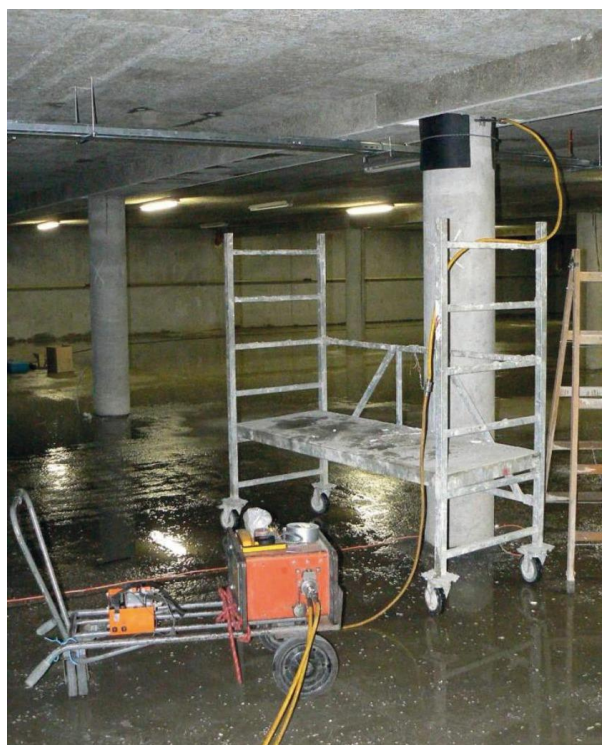
- Typ použité výztuže
- Její průměr
- Mocnost krycí vrstvy
- Vzájemná poloha jednotlivých výztuží
- Aktuální stav s ohledem na korozi
- Poškození výztuže

3.1.4.1 Radiografie

Jedná se o metodu, která svým charakterem spadá do kategorie nedestruktivních zkoušek. Princip je založen na rozptýlení a absorpci gama záření při průchodu materiálem. Absorbce záření je přímo úměrná tloušťce a objemové hmotnosti prozařovaného materiálu. Takto zeslabené gama záření se zaznamenává na radiografický film, který se následně vyvolá. Na vyvolaném snímku jsou poté jasně viditelná světlá místa, která znázorňují polohu výztuže z důvodu větší objemové hmotnosti oceli než betonu. Metoda mimo jiné dokáže rozpoznat i výztuž v několika vrstvách, což bývá pro moderní přístroje problém. Ačkoliv se jedná o velice přesnou metodu zjišťování vyztužení, v dnešní době se z důvodu přísné legislativy prakticky nedá použít. [1]



Obrázek 20 Příklad radiogramu prozářené části konstrukce [18]



Obrázek 21 Radiografická sestava v terénu [19]

3.1.4.2 Elektromagnetické indikátory

Jedná se o metodu, která je založena na principu indukce elektromagnetického napětí. V sondě přístroje jsou umístěny cívky, které jsou periodicky nabíjené proudovými impulsy a vytvářejí tak magnetické pole. Toho se využívá k vytváření vířivých proudů na povrchu vodivého materiálu, které je přístroj schopen zachytit. Na základě těchto zachycených signálů, software zařízení následně vytvoří obraz hledané výztuže.

Využití:

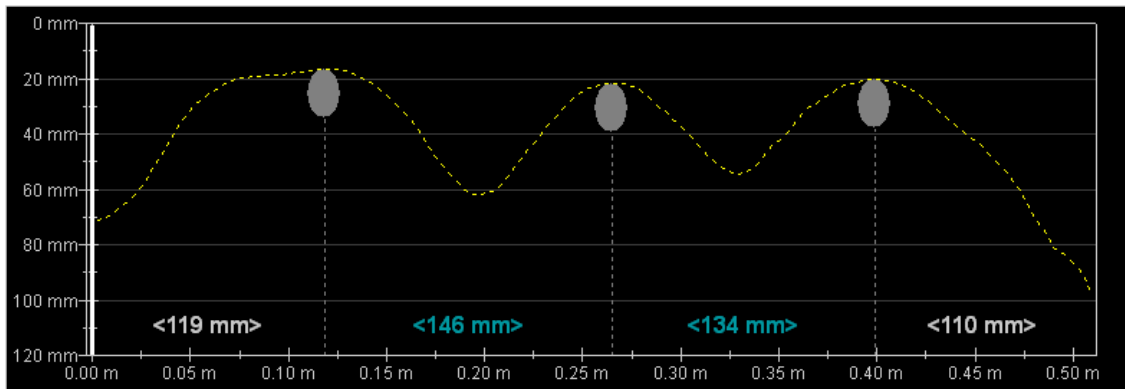
- U nových konstrukcí pro ověření vyztužení dle projektové dokumentace
- Zda je konstrukce vůbec vyztužena
- Stanovení polohy a množství výztuže
- Zjištění průměru a krytí
- Hledání výztuže při odebírání jádrových vývrtů

Omezení metody:

- Běžná sonda 60-100 mm, hloubková sonda 150-220 mm
- Ovlivnitelnost přítomností elektromagnetických polí
- Nerozená výztuž ve více vrstvách nad sebou
- Malá vzájemná vzdálenost sousedních výztuží



Obrázek 22 Přístroj od firmy Proceq Profometer PM 630, sonda a vyhodnocovací zařízení ve formě tabletu [20]



Obrázek 23 Příklad zobrazení skenu výztuže přístrojem Profometer PM 630

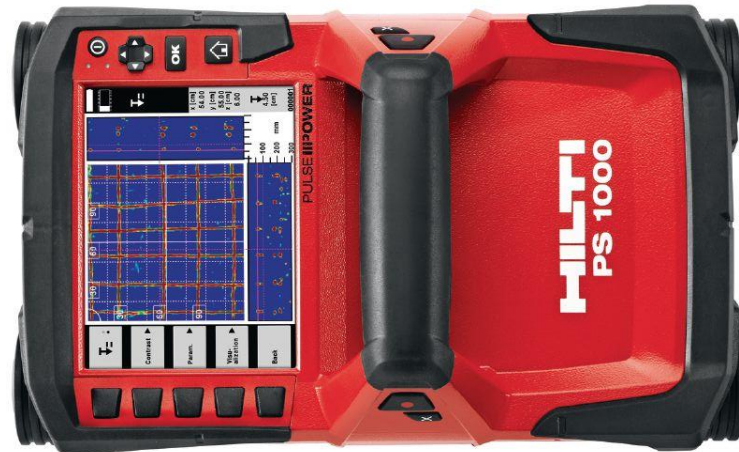
3.1.4.3 Georadar

Princip fungování georeadarů spočívá ve vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických impulsů do zkoumaného prostředí. Takto vysílaný signál se odráží od překážek a nehomogenit a z odražených impulsů přístroj vyhodnocuje obraz. Jak už název napovídá, metoda se využívá převážně ke hledání nehomogenit v zemním prostředí pro lokalizaci například potrubí, kabelů stok, tunelů a podobně. Lze ji ale také využít pro zjišťování dutin za stěnami a ostěním stok, tunelů nebo chodeb a v neposlední řadě také ke hledání a lokalizaci betonářské výztuže při stavebně technických průzkumech.

Použití georadarů při diagnostice stavebních konstrukcí je ve světě považováno za standartní, u nás tato metoda není zatím velice rozšířená. Důvodem by mohl být fakt, že se dosavadní přístroje vyznačovaly vysokou komplikovaností, zdlouhavým měřením v terénu a složitým vyhodnocením naměřených výsledků.

S příchodem přístroje HILTI PS1000 došlo ve využívání georadarů při diagnostice k přelomu. Zařízení je osazeno hned třemi anténami, které dokážou odhalit na rozdíl od elektromagnetických indikátorů výztuž i v několika vrstvách. Velikost přístroje je relativně malá, a tak i manipulace v terénu není problém. Zařízení je vybaveno softwarem pro okamžité zobrazování výsledků, a umožňuje tak nahlížet do betonových konstrukcí v reálném čase. Další nespornou výhodou je možnost zobrazování výsledků ve 2D neb 3D a následné zpracování výsledků v softwaru na PC. To se hodí zejména v případě, kdy je výztuž uložena ve více vrstvách nad sebou.

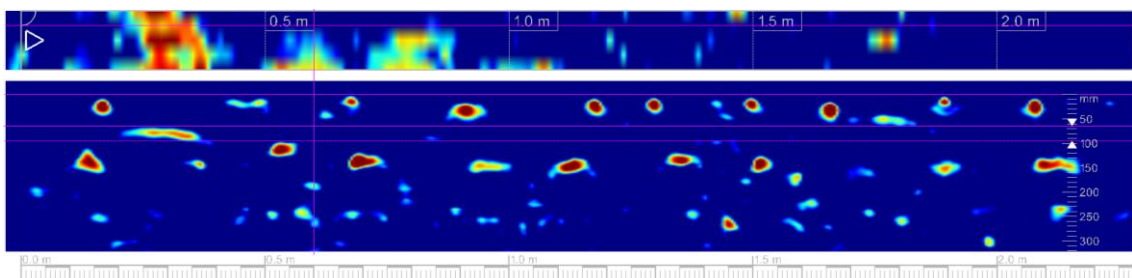
Po konstrukci se pohybuje pomocí čtyř koleček umístěných v rozích přístroje a z jejich pohybu zaznamenává ujetou vzdálenost. Umožňuje také volbu mezi liniovým skenem nebo plošným skenem. Liniový sken spočívá v pohybu sondy jen jedním směrem, kdežto u plošného ve dvou. Při provádění plošného skenu se sonda pohybuje v rastru buď 600 x 600 mm nebo 1200 x 1200 mm. Jeho nevýhodou oproti elektromagnetickým indikátorům je nemožnost určení průměru výztuže. [12]



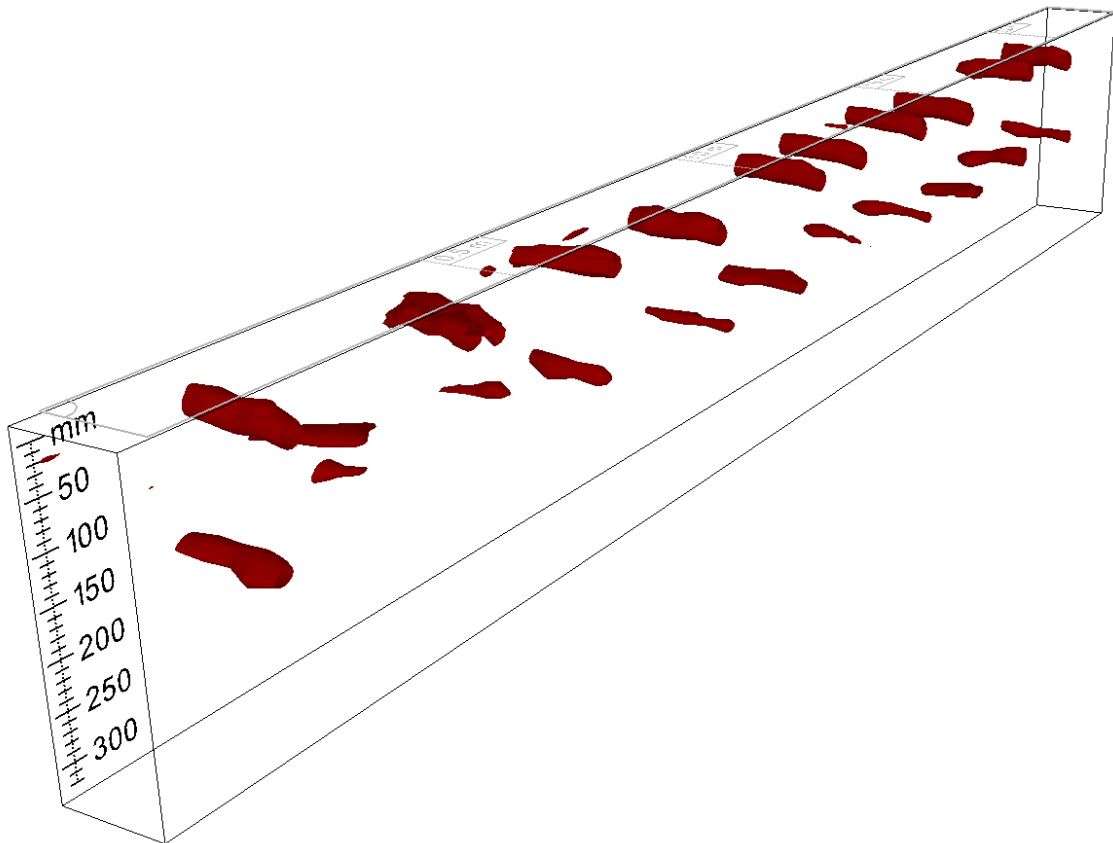
Obrázek 24 Přístroj HILTI PS1000



Obrázek 25 Příklad provádění plošného skenu



Obrázek 26 Zobrazení liniového skenu ve 2D



Obrázek 27 Příklad zobrazení liniového skenu ve 3D pomocí softwaru HILTI Profis PS1000

3.1.4.4 Sekané sondy

Sekaná sonda ve stavební diagnostice je jedna z nejzákladnějších a nejjednodušších metod pro zjišťování betonářské výztuže. Provádí se odstraněním krycí vrstvy za účelem ověření vzájemné polohy prutů, průměru, typu a stavu výztuže. Její největší výhodou je naprostá přesnost získaných informací, ale na druhou stranu je poměrně prašná a hlučná.

Postup provedení sondy je následovný. Pomocí elektromagnetického indikátoru nebo georadaru se naznačí přibližná poloha výztuže. V tomto místě se poté bouracím kladivem odstraní krycí vrstva. Poté se zakreslí a zapíšou všechny dostupné informace o výztuži a místo sondy se v případě požadavku objednatele zapraví sanační maltou.



Obrázek 28 Foto provedené sekané sondy na spodním líci průvlaku z důvodu zjištění výztuže

3.2 Stanovení pevnosti zdiva

Zdivo jako takové je kombinací dvou složek. Jednou složkou jsou kusové zdící prvky a druhou složkou je malta, která je spojuje a zajišťuje jejich vzájemné spolupůsobení. Z toho vyplývá, že vliv na výslednou pevnost mají obě složky. Pro zkoušení pevnosti zdiva jsou dva způsoby.

Způsob A) Zkoušení zdiva v celku (ploché lisy, odebrané pilíře)

B) Zkoušení malty a zdících prvků zvlášť, stanovení jejich pevností samostatně, zhodnocení vyplnění spár, přítomnosti trhlin nebo poruch, ale také vazby zdiva

Zkoušení zdiva jako celku je v praxi problematické z důvodu velké pracnosti, neznámého zatěžovacího schématu a kritérií pro vyhodnocení zkoušky. Proto se v praxi provádí převážně postup B. Tedy stanovení charakteristických pevností zdících prvků a malty zvlášť a z těchto informací stanovení charakteristické pevnosti zdiva f_k . Následně se po zohlednění faktorů ovlivňující pevnost zdiva stanoví výsledná návrhová pevnost zdiva f_d .

3.2.1 Stanovení pevnosti zdících prvků v tlaku

Pro stanovení pevnosti v tlaku existuje několik metod:

1. **Metoda přímá** na tělesech vyjmutých ze zkoušené konstrukce
 - a) V lisu se zkouší pevnost v tlaku celých zdících prvků. Potřeba odebrat z konstrukce značné množství vzorků → těžko proveditelné
 - b) Zkoušením na zkušebních tělesech vyrobených z odebraných vzorků (nařezání z celých cihel, jádrových vývrtů do cihel)
2. **Metoda nepřímá** za použití nedestruktivních a semidestruktivních zkoušek přímo na konstrukci
 - a) Použitím odrazového tvrdoměru Schmidt LB. Zde je nutné použít v kombinaci se zkouškou pevnosti v tlaku na zkušebních tělesech z důvodu upřesnění.
 - b) Jinou metodou, která má vztah k pevnosti zdících prvků

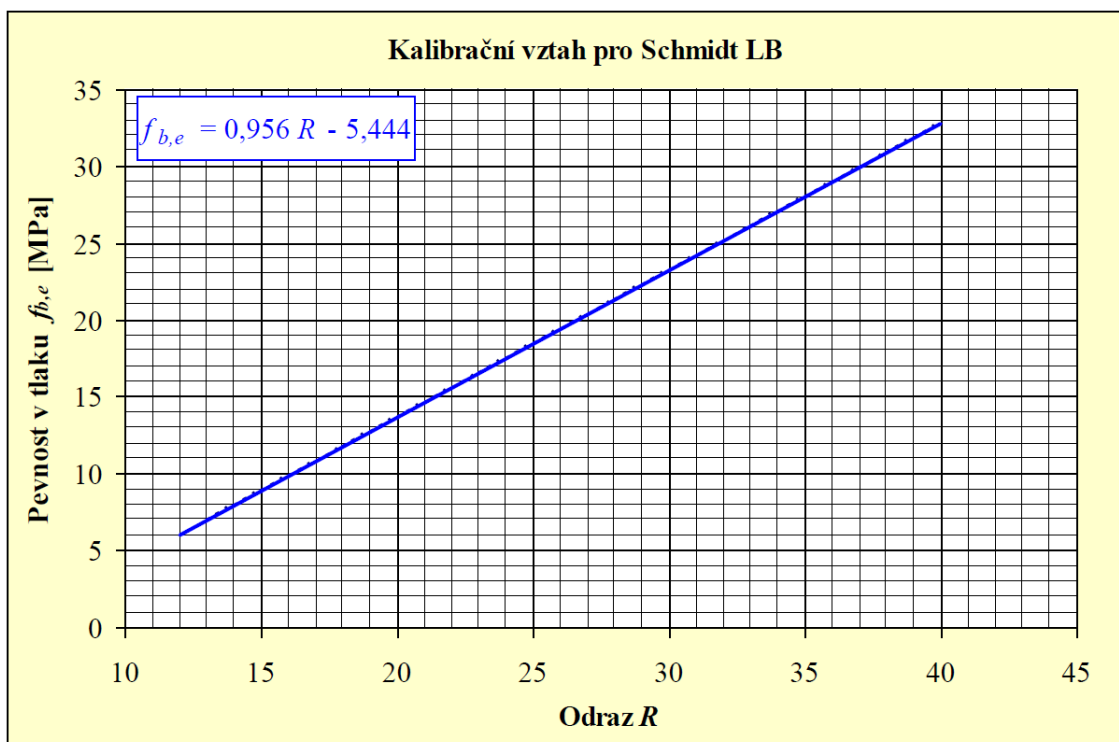
Odběr většího počtu celých zdících prvků je v praxi téměř neproveditelný, a proto se využívá spíše tvrdoměrné metody s upřesněním na zkušebních tělesech vyrobených z odebraných zdících prvků nebo jádrových vývrtů.

3.2.1.1 Stanovení pevnosti v tlaku nedestruktivní metodou

Jedná se o modifikaci nedestruktivní metody zjišťování pevnosti v tlaku na beton dle ČSN 731373 a ČSN 732011. Kladívko Schmidt LB se od kladívka Schmidt L používaného standardně na beton liší pouze v zakulaceném tvaru razníku.



Obrázek 29 Schmidt LB pro cihelné zdivo [21]



Obrázek 30 Kalibrační vztah pro Schmidt LB vytvořený ústavem SZK FAST VUT v Brně

Provedení zkoušky

Způsob provedení zkoušky je prakticky stejný jako u betonu, jen s odlišným kalibračním vztahem. Tvrdoměr se přiloží razníkem na zkoušenou cihlu a plynule tlačíme přístroj směrem ke zdi, dokud neucítíme úder razníku. Stisknutím aretačního tlačítka umožníme přečtení hodnoty odrazu. Z každého zkušebního místa je potřeba získat minimálně 7 platných hodnot. Z tohoto důvodu se doporučuje provést na každém místě alespoň 10 měření. Nutno říci, že směr provedení (svisle, vodorovně) má vliv na výsledek měření. Proto je nutno si zaznačit i směr, ve kterém bylo zkoušení provedeno.

Při vyhodnocení se každé hodnotě odrazu přiřadí odpovídající pevnosti v tlaku podle kalibračního vztahu. Z takto přiřazených pevností, se vypočte aritmetický průměr a stanoví se meze v rozsahu $\pm 20\%$ od průměru. Přiřazené pevnosti, které vybočují z tohoto intervalu se vyloučí. V případě, kdy nám z jednoho zkušebního místa zůstalo alespoň 7 hodnot, můžeme toto místo považovat za platné. Ze zbylých hodnot se opět vypočte aritmetický průměr a zaokrouhlí se na celé MPa.

3.2.1.2 Stanovení pevnosti v tlaku na odebraných vzorcích

Určení pevnosti v tlaku na vzorcích spadá pod normu ČSN EN 772-1, kde je charakterizována jako průměrná pevnost v tlaku zkoušených vzorků. Minimální počet vzorků je 6, ale s ohledem na velikost konstrukce se tento počet mění. Norma také povoluje zkoušet reprezentativní části zdících prvků, zejména pak v případě větších prvků.

Požadovanou charakteristikou pro přepočítání je normalizovaná pevnost v tlaku f_b . Ta se stanoví z pevnosti zdících prvků s vlhkostí 4–8 %. Následně se pevnost přenásobí součinitelem vlivu šířky a výšky δ .

Tabulka 4 Hodnoty součinitele vlivu šířky a výšky δ (lineární interpolace je povolena)

Výška zdícího prvku [mm]	Šířka – nejmenší vodorovný rozměr zdícího prvku [mm]				
	50	100	150	200	≥250
50	0,85	0,75	0,70	0,70	-
65	0,95	0,85	0,75	0,75	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,90	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,10	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,25	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,35	1,15

3.2.2 Stanovení pevnosti v tlaku malty

V současné době se pro zjišťování pevnosti malty in-situ používá jedna metoda. Jde o metodu, při které se používá upravená vrtačka TZÚS, která byla vyvinuta technickým a zkušebním ústavem. V odborné veřejnosti je však známa spíše pod názvem „Kučerova vrtačka“. Princip metody je založen na vzájemném vztahu mezi pevností malty a odporem proti vnikání vrtáku s průměrem 8 mm. Vrtačka je vybavena mechanickým systémem přiklepu, počítadlem otáček a pružinou v pažbě, která má udržovat předepsaný přítlak při vrtání.

Historicky vznikly dvě generace vrtaček. Tou první byla ruční vrtačka s pažbou a zkoušení s ní bylo poměrně fyzicky náročné. Z toho důvodu byla vyvinuta druhá generace s označením PZZ 01, u které byla využita AKU vrtačka. Hlavními rozdíly mezi první a druhou generací je změna průměru vrtáku z 8 mm na 6 mm; počet otáček se nastavoval na základě prstence, kterým se nastavila předpokládaná pevnost malty a přítlak vrtáku byl mechanicky aretován.



Obrázek 31 Ruční a elektrická Kučerova vrtačka

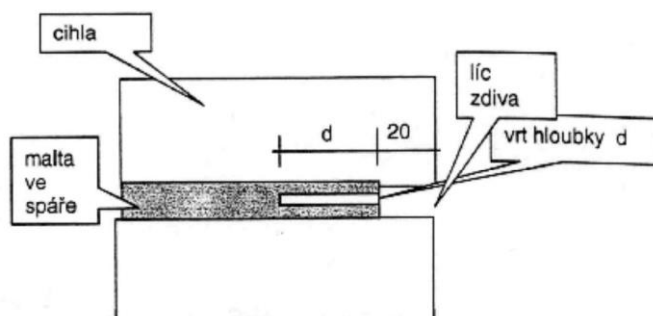
Postup zkoušky

Nejprve je nutno lokalizovat místo, kde je malta tlačaná. V momentě, kdy máme toho místo vytipované, je zapotřebí odstranit omítku v ploše cca 200 x 150 mm. Dále se vyškrábou ložné spáry do hloubky asi 2 cm od líce zdiva, kvůli odstranění zkarbonatované vrstvy malty.

Do takto připravených ložných spár se vedou 3 vrty do každé. Jednotlivé vrty by měli být od sebe vzdáleny minimálně 40 mm a 50 mm od případné hrany zdiva.

V případě vyhodnocení pomocí obecných kalibračních vztahů se při vrtání provádí 25 otáček pro ruční vrtačku a pro elektrickou vrtačku se nastaví 1. stupeň. Použijeme-li jiných kalibračních vztahů, provede se tolik otáček (stupeň), kolik jich bylo provedeno při kalibraci vztahu.

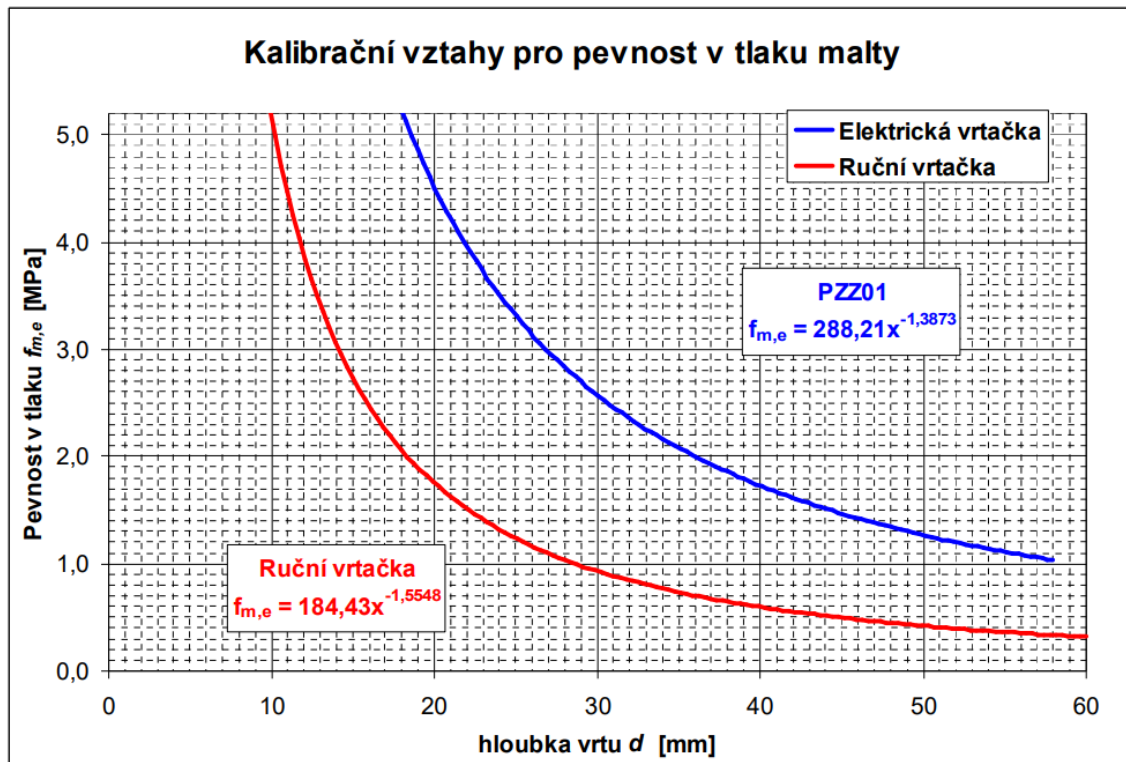
Po ukončení vrtání se hloubky všech vrtů změří posuvným měřítkem. Poté je potřeba ověřit, zda nějaký z vrtů nevybočuje z intervalu ± 30 od aritmetického průměru ze tří vrtů v jedné spáře. Pokud vybočuje jeden ze tří, nahradí se novým vrtem. Pokud ale vybočují 2 z vrtů, zkušební místo se vyloučí celé.



Obrázek 32 Schéma provedení vrtu do ložné spáry

Vyhodnocení

Vyhodnocení pevnosti malty se stanoví na základě obecného kalibračního vztahu a průměrné hloubce vrtu vypočtené ze třech platných měření na jednom zkušebním místě s přesností na 1 mm. Takto získaná pevnost v tlaku se považuje za ekvivalent hodnoty získané na jednom zkušebním tělese. Z vypočtených pevností všech míst se stanoví výběrový průměr pevnosti malty f_m .



Obrázek 33 Kalibrační vztahy pro stanovení pevnosti malty v tlaku při použití ruční nebo elektrické vrtačky odvozené výrobcem

3.2.3 Stanovení charakteristické pevnosti zdiva dle ČSN ISO 13822

Charakteristická pevnost zdiva se stanoví ze vzorce:

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta$$

f_k	charakteristická pevnost v tlaku pro zdivo s vyplněnými spárami [MPa]
K	součinitel závislý na druhu a skupině zdících prvků
f_b	normalizovaná průměrná pevnost v tlaku zdících prvků [MPa]
f_m	průměrná pevnost malty v tlaku [MPa] (minimálně 0,1 MPa)
α	exponent zavádějící tloušťku spár a typ malty (pro nevyztužené zdivo s obyčejnou nebo lehkou maltou $\alpha=0,7$)
β	exponent zavádějící druh malty (obyčejná malta $\beta=0,3$) [13]

Návrhová pevnost zdiva se získá jako podíl charakteristické pevnosti f_k a součinitele γ_m , který zohledňuje pravidelnost zdiva, vyplnění spár maltou, zvýšenou vlhkost a šikmé nebo svislé trhliny.

Součinitel γ_m se stanoví následovně:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3} \cdot \gamma_{m4}$$

γ_{m1}	dílčí součinitel spolehlivosti (pro zdivo z CPP na obyčejné maltě je 2,0)
γ_{m2}	součinitel vyplnění spár a pravidelnosti vazby (hodnoty se pohybují v intervalu mezi 0,85 a 1,2)
γ_{m3}	součinitel vlivu vlhkosti (při vlhkosti od 4 % do 20 % se stanoví interpolací mezi hodnotami 1,0 až 1,25)
γ_{m4}	součinitel zavádějící vliv šikmých nebo svislých trhlin (nabývá hodnot od 1,0 do 1,4; 1,0 je pro zdivo bez trhlin) [13]

Návrhová pevnost zdiva f_d se stanoví:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

4 Předmět praktické části

Účelem této práce je zjištění stavebně technického stavu objektu na základě zjištěných pevnostních charakteristik jednotlivých materiálů a způsobu vyztužení nosných prvků. Tyto charakteristiky byly určeny na odebraných vzorcích z vybraných nosných prvků konstrukce ve spolupráci s objednatelem a statikem.

Z následujících zjištění byla posléze vypracována tato závěrečná zpráva vypovídající o aktuálním stavu objektu, která bude použita jako podklad pro statický výpočet a návrh sanačního řešení.

5 O objektu

Průzkum by prováděn na objektu s adresou Osvětimany 329, Zlínský kraj. Samotný objekt je řešený kombinací železobetonových a zděných prvků. Nosnou funkci v přízemí tvoří železobetonové sloupy, přes které se spojitě táhnou železobetonové průvlaky o čtyřech polích. V prvním patře tvoří konstrukční systém zděné sloupy a železobetonové spojitě průvlaky.



Obrázek 34 Pohled na zkoumaný objekt

6 Provedené sondy a jejich poloha

6.1 Zkoumaná místa

Po dohodě se statikem a objednatelem byla vybrána zkoumaná místa reprezentující všechny nosné prvky statického systému. V rámci průzkumu bylo rozhodnuto o ověření pevnosti betonu, cihel a způsobu vyztužení nosných prvků. Průzkum obsahoval nosné prvky stropních konstrukcí nad oběma podlažími konkrétně sloupy a průvlaky. Konkrétní počet zkoumaných míst byl dohodnut s objednatelem. Rozmístění jednotlivých míst je označen v příložených schématech půdorysů.

6.2 Poloha zkoumaných míst

V konstrukci byly provedené tyto zkoušky:

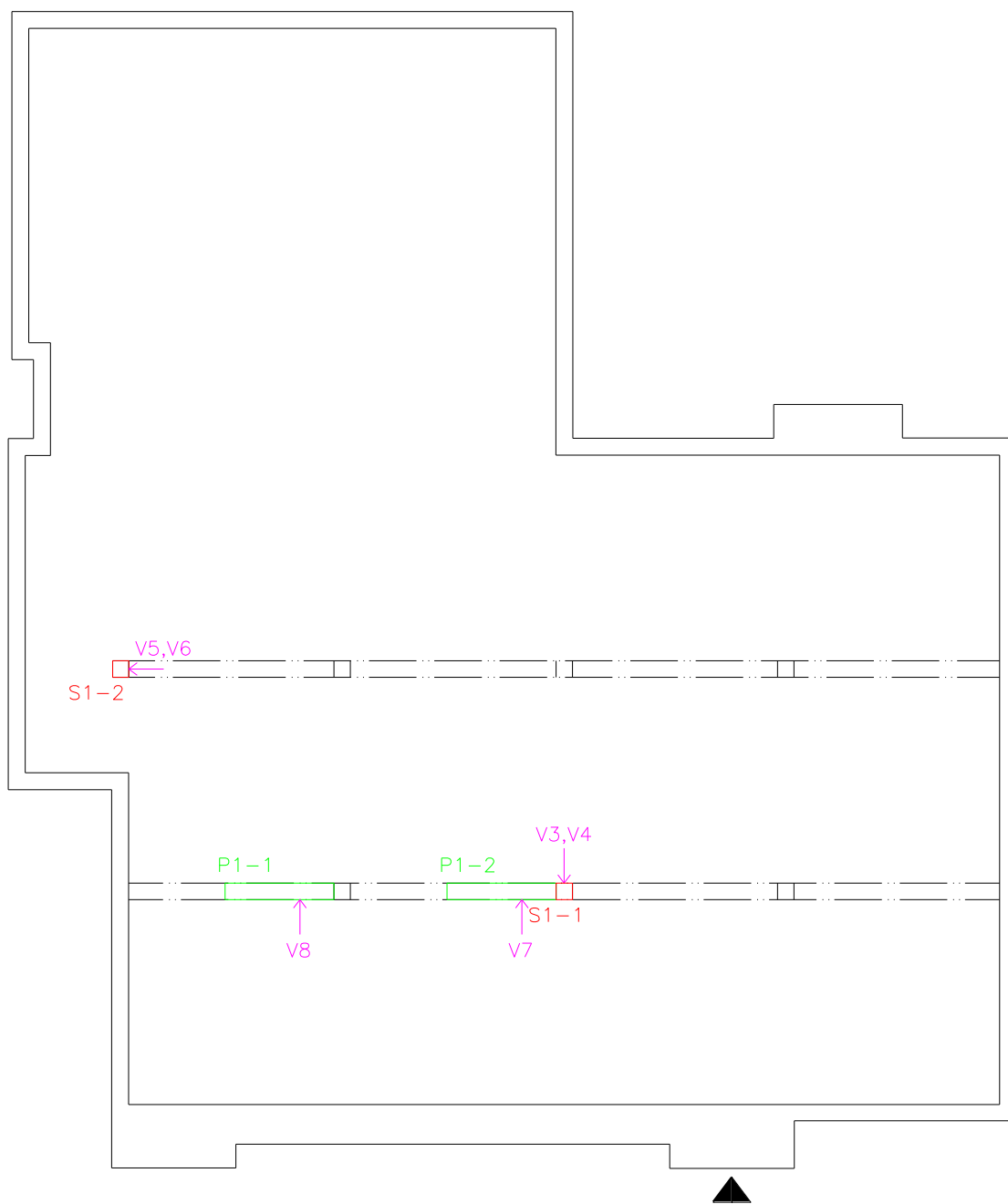
Zkoumané prvky v 1NP

Tabulka 5 Zkoušky pro stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku

Prvek	Označení	Počet
Sloup	V3, V4, V5, V6	4
Průvlak	V7, V8	2

Tabulka 6 Zkoušky pro zjištění způsobu vyztužení byly v případě průvlaku provedeny v blízkosti sloupu a v polovině rozpětí

Prvek	Označení	Počet
Sloup	S1-1, S1-2	2
Průvlak (spodní líc)	P1-1, P1-2	2



Obrázek 35 Zakreslení polohy zkoumaných míst ve schématickém půdorysu 1NP

Zkoumané prvky ve 2NP

Tabulka 7 Zkoušky pro stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku

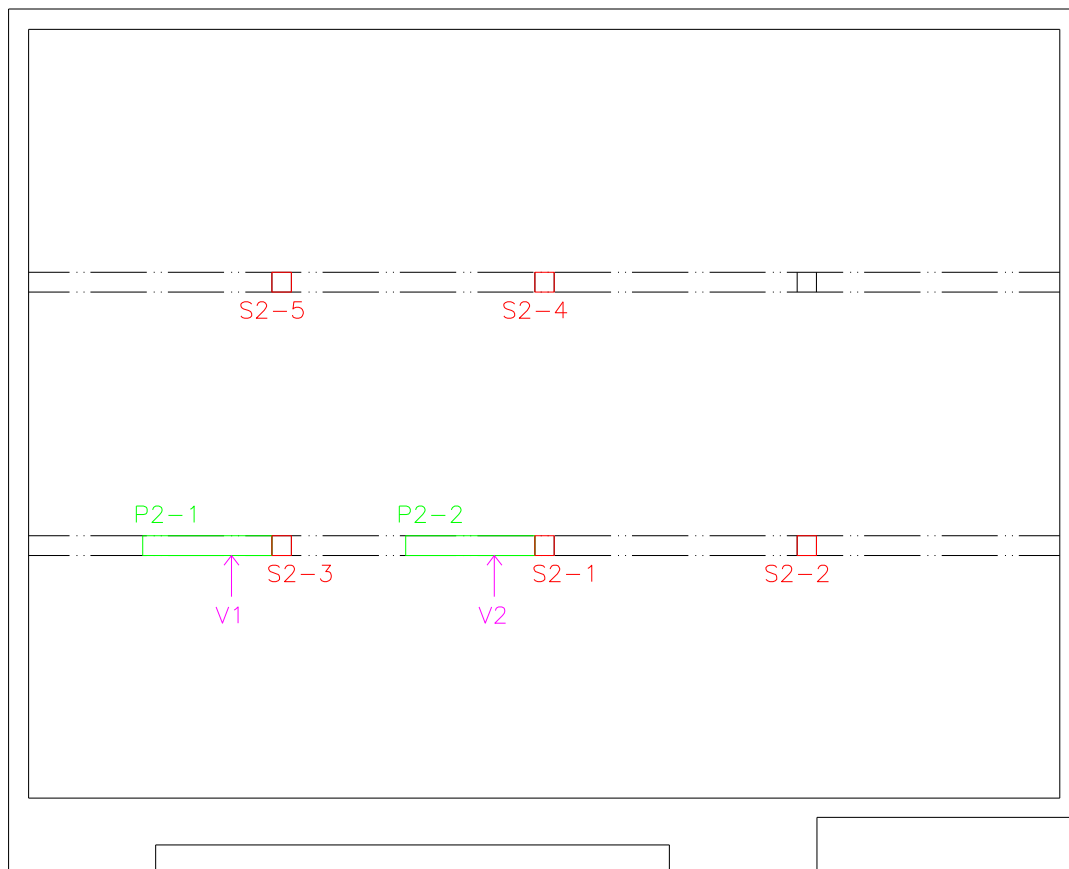
Prvek	Označení	Počet
Průvlak	V1, V2	2

Tabulka 8 Pro stanovení pevnosti zdiva z CPP

Prvek	Označení	Počet
Sloup	S2-1, S2-2, S2-3, S2-4, S2-5	5

Tabulka 9 Zkoušky pro zjištění způsobu vyztužení byly v případě průvlaku provedeny v blízkosti sloupu a v polovině rozpětí

Prvek	Označení	Počet
Průvlak	P2-1, P2-2	2



Obrázek 36 Zakreslení polohy zkoumaných míst do schématického půdorysu 2NP

6.3 Jádrové vývrty

Pro ověření charakteristické pevnosti betonu v tlaku byla použita metoda jádrových vývrtů. Vyšetřované konstrukční prvky jsou natolik masivní, že nedojde k narušení spolehlivosti v důsledku provedení vývrtu.

Odebrání jádrových vývrtů bylo provedeno vrtačkou HILTI DD200 a potřebným příslušenstvím jako je jádrový vrták s diamantovou korunkou, stojan pro vrtání, barel s vodou a vodní čerpadlo. Z důvodu již probíhající rekonstrukce nebylo potřeba vytékající vodu od vrtáku odsávat. Při vrtání byl použit vrták o průměru 75 mm. Před vlastním vrtáním bylo za pomoci elektromagnetického indikátoru a radaru nalezeno vhodné místo, kde nedojde k převrtání betonářské výztuže.

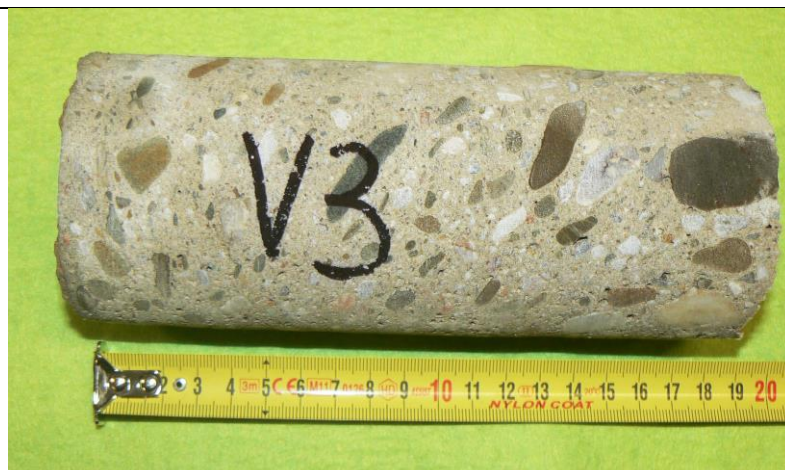
6.3.1 Jádrové vývrty v 1NP

V 1NP bylo odebráno celkem 6 vývrtů z toho 4 ze železobetonových sloupů a 2 z taktéž železobetonových průvlaků. Pro odebrání byl použit vrták o průměru 75 mm a délka návrtů se pohybovala v rozmezí od 110 mm do 200 mm. Při odebrání vzorků nedošlo v ani jednom případě k převrtání celého průřezu výztuže.


Vývrt V3	<ul style="list-style-type: none"> - vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně ze sloupu S1-1 v 1NP ve výšce 1470 mm
Informace o vývrtu	<ul style="list-style-type: none"> - délka odebraného vývrtu je cca 180 mm - při odebírání vývrtu nebyla převrtána žádná výztuž
Informace o betonu	<ul style="list-style-type: none"> - těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm - beton hutný s mírnou pórovitostí a póry do 2 mm



Obrázek 37 Pohled na sloup S1-1 na místo odebraných vývrtů V3 a V4



Obrázek 38 Foto odebraného vývrtu V3

<p>Vývrt V4</p>	<ul style="list-style-type: none"> - vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně ze sloupu S1-1 v 1NP ve výšce 1160 mm
<p>Informace o vývrtu</p>	<ul style="list-style-type: none"> - délka odebraného vývrtu je cca 110 mm - při odebrání vývrtu nebyla převrtána žádná výztuž
<p>Informace o betonu</p>	<ul style="list-style-type: none"> - těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm - beton hutný s mírnou pórovitostí a póry do 2 mm
	
<p>Obrázek 39 Foto odebraného vývrtu V4 ze sloupu S1-1</p>	

Vývrt V5	<ul style="list-style-type: none"> - vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně ze sloupu S1-2 v 1NP ve výšce 1570 mm
Informace o vývrtu	<ul style="list-style-type: none"> - délka odebraného vývrtu je cca 145 mm - při odebrání vývrtu nebyla převrtána žádná výztuž
Informace o betonu	<ul style="list-style-type: none"> - těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm - beton hutný s mírnou pórovitostí a póry do 2 mm; místy 5 mm

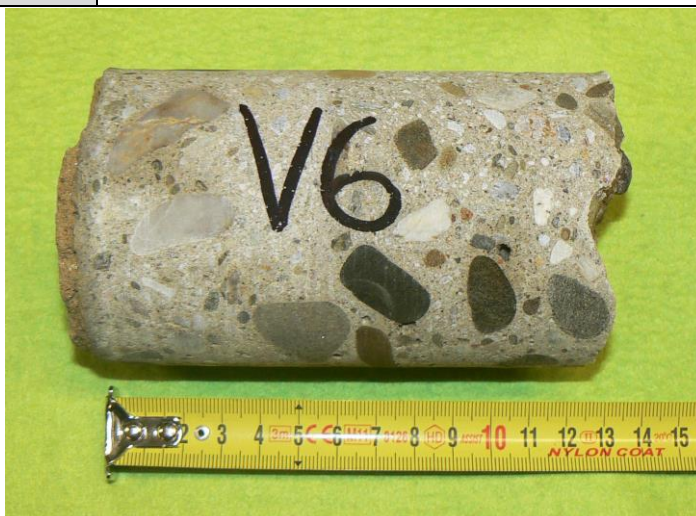


Obrázek 40 Pohled na sloup S1-2 s odebranými vývrti V5 a V6



Obrázek 41 Foto na odebraný vývrt V5 ze sloupu S1-

Vývrt V6	<ul style="list-style-type: none"> - vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně ze sloupu S1-2 v 1NP ve výšce 1260 mm
Informace o vývrtu	<ul style="list-style-type: none"> - délka odebraného vývrtu je cca 125 mm - při odebrání vývrtu nebyla převrtána žádná výztuž
Informace o betonu	<ul style="list-style-type: none"> - těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm - beton hutný s mírnou pórovitostí a póry do 2 mm

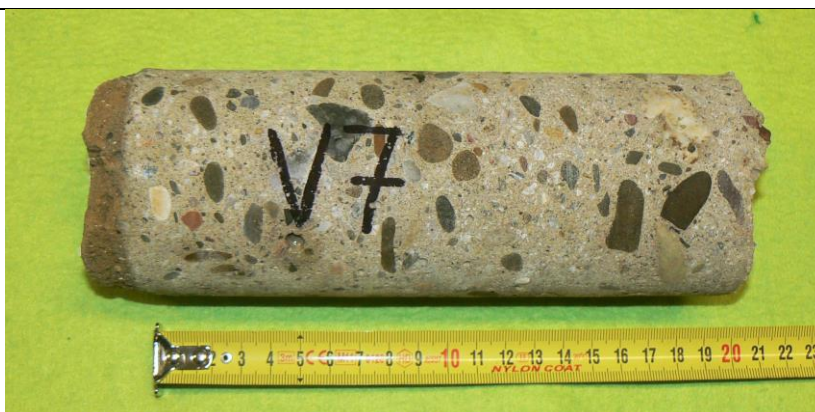


Obrázek 42 Foto odebraného vývrtu V6 ze sloupu S1-2

Vývrt V7	<ul style="list-style-type: none"> - vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně z průvlastku P1-2 v 1NP ve vzdálenosti 1150 mm od sloupu
Informace o vývrtnu	<ul style="list-style-type: none"> - délka odebraného vývrtnu je cca 200 mm - při odebrání vývrtnu nebyla převrtána žádná výztuž
Informace o betonu	<ul style="list-style-type: none"> - těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm - beton hutný s mírnou pórovitostí a póry do 2 mm; místy 5 mm



Obrázek 43 Pohled na průvlastku P1-2 s odebraným vývrtnem V7

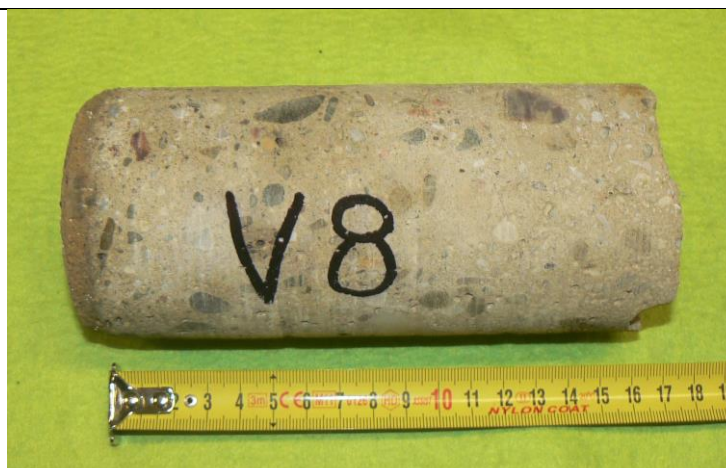


Obrázek 44 Foto odebraného vývrtnu V7

Vývrt V8	<ul style="list-style-type: none"> - vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně z průvlaku P1-1 v 1NP ve vzdálenosti 1780 mm od sloupu
Informace o vývrtu	<ul style="list-style-type: none"> - délka odebraného vývrtu je cca 160 mm - při odebírání vývrtu nebyla převrtána žádná výztuž
Informace o betonu	<ul style="list-style-type: none"> - těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm - beton hutný s mírnou pórovitostí a póry do 3 mm; místy 5 mm



Obrázek 45 Pohled na průvlak P1-1 s odebraným vývrtem V8



Obrázek 46 Foto vývrtu V8

6.3.2 Jádrové vývrty ve 2NP

Ve 2NP byly odebrány z důvodu sloupů z cihelného zdiva pouze 2 vývrty z průvlaků s délkou 110 a 120 mm a průměrem 75 mm. Ani u jednoho nedošlo taktéž k převrtání celého průřezu výztuže.

Vývrt V1	<ul style="list-style-type: none">- vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně z průvlaku P2-2 v 2NP ve vzdálenosti 1050 mm od sloupu
Informace o vývrtu	<ul style="list-style-type: none">- délka odebraného vývrtu je cca 120 mm- při odebrání vývrtu byla porušena smyková výztuž
Informace o betonu	<ul style="list-style-type: none">- těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm- beton hutný s nízkou pórovitostí a póry do 3 mm



Obrázek 47 Pohled na průvlak P2-2 s odebraným vývrtem V1



Obrázek 48 Foto odebraného vývrtu V1

Vývrt V2	<ul style="list-style-type: none"> - vývrt o průměru 75 mm byl odebrán vodorovně z průvlaku P2-2 v 2NP ve vzdálenosti 1050 mm od sloupu
Informace o vývrtu	<ul style="list-style-type: none"> - délka odebraného vývrtu je cca 120 mm - při odebírání vývrtu byla porušena výztuž
Informace o betonu	<ul style="list-style-type: none"> - těžené kamenivo frakce 0-16 mm s maximální velikostí zrn 30 mm - beton hutný s nízkou pórovitostí a póry do 3 mm



Obrázek 49 Pohled do vývrtu V2 z průvlaku P2-2 a do vývrtu s porušenou výztuží



Obrázek 50 Foto odebraného vývrtu V2

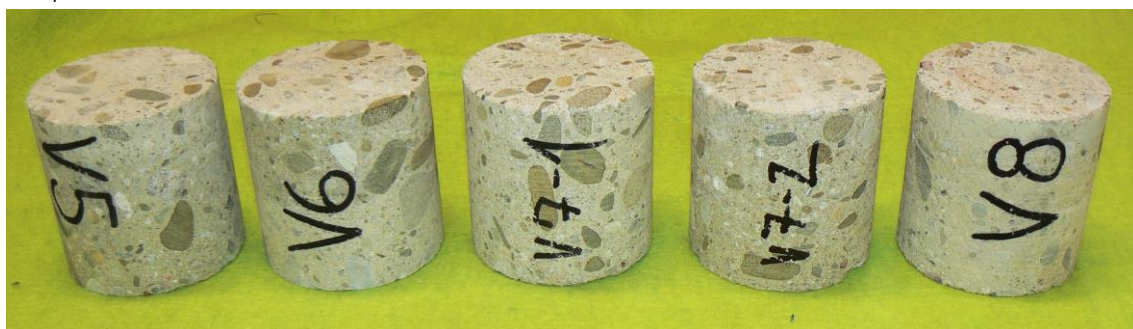
6.3.3 Zkušební tělesa a vyhodnocení laboratorních zkoušek

6.3.3.1 Zkušební tělesa

Z odebraných osmi jádrových vývrtů byly následně v laboratoři pilou s diamantovým kotoučem pod vodou nařezány zkušební tělesa z jednotlivých reprezentativních prvků konstrukce. Celkem bylo získáno 9 těles, které se následně vložili do hydraulického lisu a zatěžovali až do jeho porušení. Ze získaných hodnot působících sil při porušení se dle normy ČSN EN 13791 [5] postup B vyhodnotila pevnostní třída betonu.



Obrázek 51 Nařezaná zkušební tělesa V1, V2 pochází z průvlaku v 2NP a tělesa V3, V4 jsou ze sloupů 1NP



Obrázek 52 Vyrobená zkušební tělesa V5, V6 jsou ze sloupů a tělesa V7-1, V7-2, V8 pochází z průvlaků 1NP

Hodnoty získané z laboratorních zkoušek jsou zapsány a vyhodnoceny v následujících tabulkách.

6.3.3.2 Vyhodnocení laboratorních zkoušek

6.3.3.2.1 Vyhodnocení zkušebních těles ze sloupů

Tabulka 10 Naměřené veličiny a objemová hmotnost vzorků ze sloupů

Označení tělesa	Naměřené veličiny			
	d	L	m	D _r
	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m ³]
V3	75,40	78,00	716,8	2058
V4	75,40	77,20	736,8	2137
V5	75,30	77,10	743,9	2167
V6	75,40	76,90	753,4	2194

Tabulka 11 Stanovení válcové a krychelné pevnosti v tlaku na vzorcích ze sloupů

Označení tělesa	Dílčí výsledky						
	F	λ	K _{c,cyl}	K _{c,cube}	K _{cyl,cube}	f _{c,cyl}	f _{c,cube}
	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[Mpa]	[Mpa]
V3	45,0	1,034	0,862	0,93	1,251	8,08	<u>10,1</u>
V4	78,5	1,024	0,858	0,93	1,251	14,04	<u>17,6</u>
V5	87,0	1,024	0,858	0,93	1,251	15,60	<u>19,5</u>
V6	91,0	1,020	0,857	0,93	1,252	16,25	<u>20,3</u>

Tabulka 12 Statistické vyhodnocení dílčích pevností betonu v tlaku na vzorcích ze sloupů

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost betonu	D _r	2130	[kg/m ³]
Průměrná hodnota krychelné pevnosti betonu	m _x	16,9	[MPa]
Minimální hodnota krychelné pevnosti betonu	m _{min}	10,1	[MPa]
Výběrová směrodatná odchylka krychelné pevnosti	s _x	4,7	[MPa]
Výsledný variační součinitel	V _x	27,6	[%]
Počet platných vzorků	n	4	[n]
Součinitel odhadu 5%-ního kvantilu	k _n	1,73	[-]
Charakteristická pevnost betonu v tlaku	f _{ck,is}	9,9	[MPa]
Pevnostní třída dle ČSN EN 206		C8/10	

6.3.3.2.2 Vyhodnocení zkušebních těles z průvlaků

Tabulka 13 Naměřené veličiny a objemová hmotnost vzorků z průvlaků

Označení tělesa	Naměřené veličiny			
	d	L	m	D _r
	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m ³]
V1	75,10	77,90	736,9	2136
V2	75,40	77,30	729,9	2115
V7-1	75,30	77,40	733,3	2127
V7-2	75,40	77,70	722,7	2083
V8	75,30	78,10	730,5	2100

Tabulka 14 Stanovení válcové a krychelné pevnosti betonu v tlaku na vzorcích z průvlaků

Označení tělesa	Dílčí výsledky						
	F	λ	K _{c, cyl}	K _{c, cube}	K _{cyl, cube}	f _{c, cyl}	f _{c, cube}
	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[Mpa]	[Mpa]
V1	76,2	1,037	0,863	0,93	1,252	13,81	<u>17,3</u>
V2	72,4	1,025	0,859	0,93	1,252	12,96	<u>16,2</u>
V7-1	52,5	1,028	0,860	0,93	1,252	9,43	<u>11,8</u>
V7-2	45,2	1,031	0,860	0,93	1,252	8,10	<u>10,1</u>
V8	57,0	1,037	0,863	0,93	1,252	10,27	<u>12,9</u>

Tabulka 15 Statistické vyhodnocení dílčích pevností betonu v tlaku na vzorcích z průvlaků

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost betonu	D _r	2110	[kg/m ³]
Průměrná hodnota krychelné pevnosti betonu	m _x	13,7	[MPa]
Minimální hodnota krychelné pevnosti betonu	m _{min}	10,1	[MPa]
Výběrová směrodatná odchylka krychelné pevnosti	s _x	3,0	[MPa]
Výsledný variační součinitel	V _x	22,0	[%]
Počet platných vzorků	n	5	[n]
Součinitel odhadu 5%-ního kvantilu	k _n	1,73	[-]
Charakteristická pevnost betonu v tlaku	f _{ck, is}	6,7	[MPa]
Pevnostní třída dle ČSN EN 206	C6/7,5		

Z výše uvedených tabulek 11 a 8 vyplývají následující pevnostní třídy betonu:

- Sloupy **C8/10**
- Průvlaky **C6/7,5**

Z těchto získaných pevností je zřejmé, že pevností třídy betonu nedosahují minimální pevnostní třídy C12/15, která je v současnosti požadována normou ČSN EN 1992-1 pro konstrukční beton.

6.4 Vyztužení vybraných prvků

Pro zjišťování způsobu vyztužení vybraných prvků byla použita kombinace destruktivních a nedestruktivních metod. Nejprve se elektromagnetickým indikátorem nebo radarem zjistila přibližná poloha, průměr a krytí hledané výztuže. Po naznačení polohy výztuže na konstrukci se v tomto místě provedla sekaná sonda. Poté došlo k zápisu zjištěných informací a zapravení zkoumaného místa.

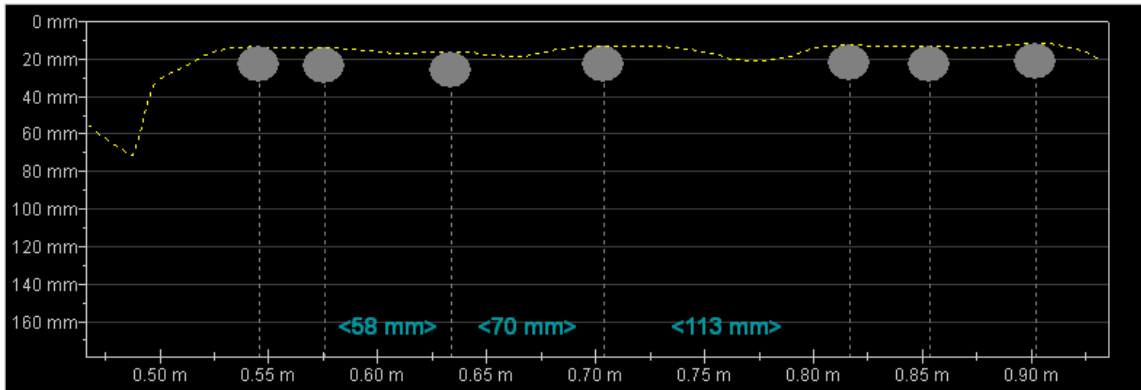
Při vyšetřování vyztužení se zjišťuje:

- Poloha jednotlivých výztuží
- Tloušťka krycí vrstvy
- Stav a porušení výztuže
- Její typ a průměr

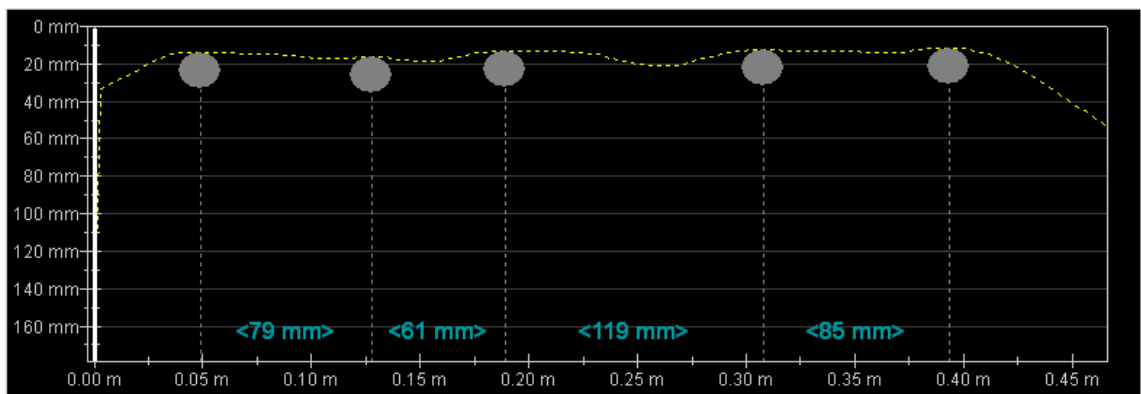
6.4.1 Vyztužení průvlaků

Pro zjištění vyztužení průvlaků byly zkoumány 4 reprezentativní průvlaky, a na každém byly provedeny 2 sondy, jedna v polovině rozpětí a druhá v blízkosti vetknutí do sloupu. Ze zjištění vyplývá, že hlavní výztuž je tvořena hladkou výztuží v různých průměrech, zatímco třmínky jsou všechny z hladké výztuže s průměrem 6 mm. Po odstranění krycí vrstvy nebylo v žádném zkoumaném místě zjištěno jakékoli poškození nebo závažná koroze výztuže ohrožující spolehlivost konstrukce. Poloha jednotlivých sond je zaznačena v příložených schématech půdorysů viz. výše.

Sonda P1-1	<ul style="list-style-type: none"> - sondy byly provedeny na spodním líci průvlaku P1-1 v 1NP v polovině rozpětí a ve vetknutí průvlaku do sloupu 	
Průvlak	<ul style="list-style-type: none"> - průvlak bez známek poškození nebo poruch - nebyly nalezeny žádné trhliny 	
Výztuž	<ul style="list-style-type: none"> - jednotlivé výztuže nebyli nijak poškozeny - třmínky s povrchovou korozí - hlavní výztuž s povrchovou korozí 	
Zjištěná výztuž v L/2	Položka 1	7 průměrů hladké výztuže $\varnothing 25$ s krytím cca 10-25 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 0-5 mm po cca 200 mm
<i>Obrázek 53 Schéma vyztužení průvlaku P1-1 v L/2</i>		
Zjištěná výztuž ve vetknutí	Položka 1	5 průměrů hladké výztuže $\varnothing 25$ s krytím cca 10 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 0-5 mm po cca 200 mm
	Ohyby	2 průměry se ohybají vzhůru cca 300 mm od líce sloupu
<i>Obrázek 54 Schéma vyztužení průvlaku P1-1 ve vetknutí</i>		



Obrázek 55 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-1 v polovině rozpětí pro zjištění hlavní výztuže (Profometer PM 630)

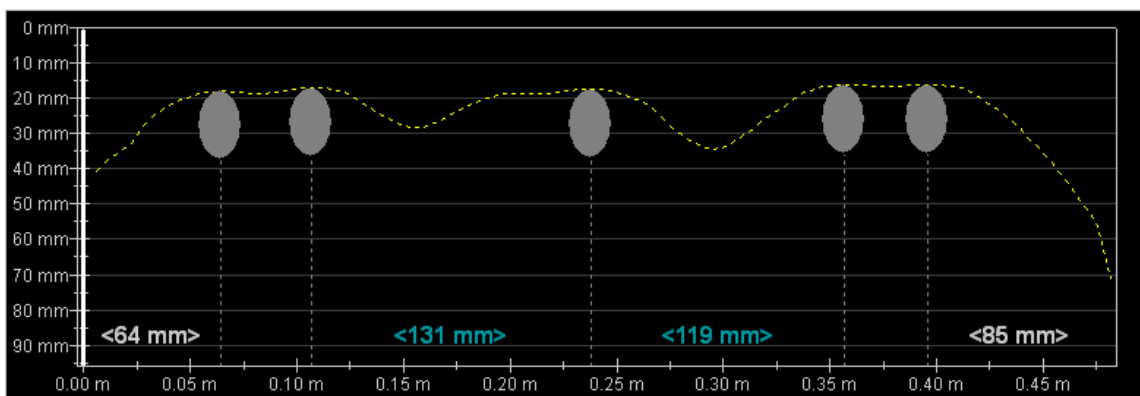


Obrázek 56 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-1 v blízkosti vetknutí do sloupu za účelem zjištění výztuže při spodním líci (Profometer PM 630)

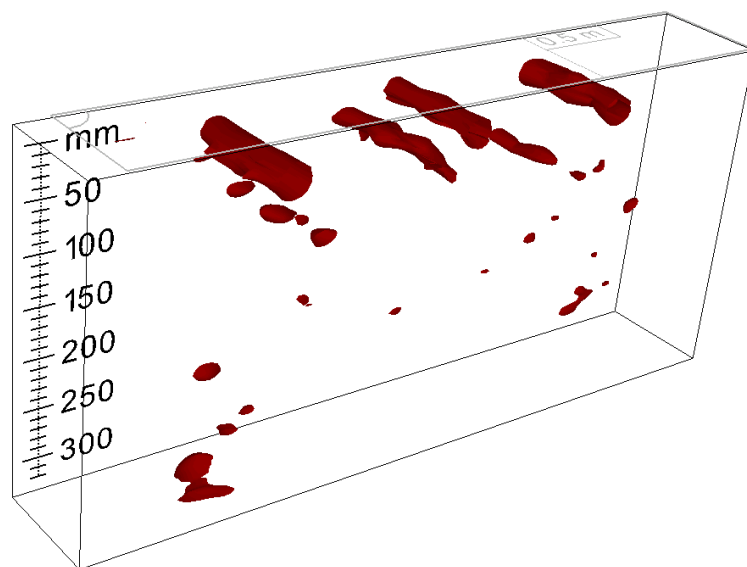


Obrázek 57 Sekaná sonda provedená na spodním líci průvlaku P1-1 v polovině rozpětí

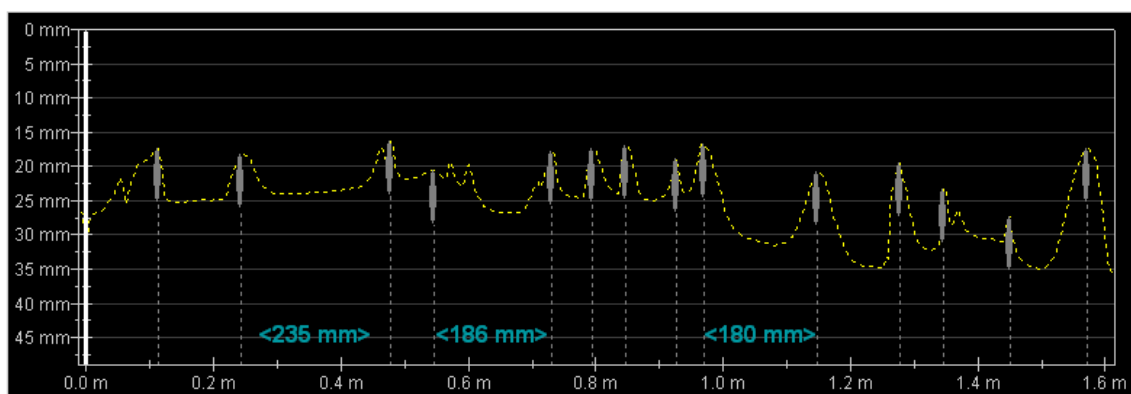
Sonda P1-2	<ul style="list-style-type: none"> - sondy byly provedeny na spodním líci průvlaku P1-2 v 1NP v polovině rozpětí a ve vetknutí průvlaku do sloupu 	
Průvlak	<ul style="list-style-type: none"> - průvlak bez známek poškození nebo poruch - nebyly nalezeny žádné trhliny 	
Výztuž	<ul style="list-style-type: none"> - jednotlivé výztuže nebyli nijak poškozeny - třmínky s povrchovou korozí - hlavní výztuž s povrchovou korozí 	
Zjištěná výztuž v L/2	Položka 1	6 průměrů hladké výztuže $\varnothing 25$ s krytím cca 15-30 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 5-10 mm po cca 200 mm
<i>Obrázek 58 Schéma vyztužení průvlaku P1-2 v L/2</i>		
Zjištěná výztuž ve vetknutí	Položka 1	4 průměrů hladké výztuže $\varnothing 25$ s krytím cca 15 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 5-10 mm po cca 200 mm
	Ohyby	2 průměry se ohybají vzhůru cca 400 mm od líce sloupu
<i>Obrázek 59 Schéma vyztužení průvlaku P1-2 v blízkosti vetknutí</i>		



Obrázek 60 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-2 v polovině rozpětí (Profometer PM 630)

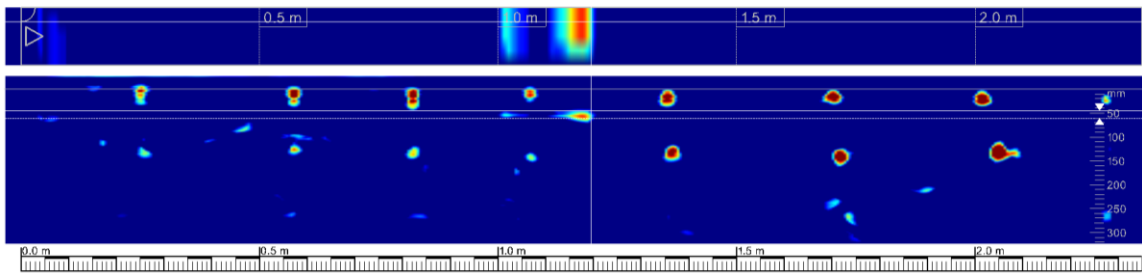


Obrázek 61 3D zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-2 v blízkosti vetknutí (HILTI PS1000)

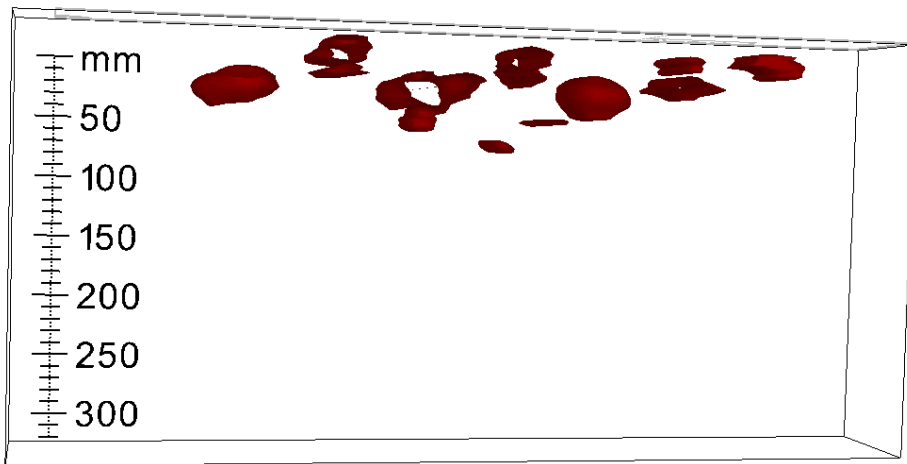


Obrázek 62 Zobrazení skenu boční strany průvlaku P1-2 za účelem zjištění vzdáleností třmínek (Profometer PM 630)

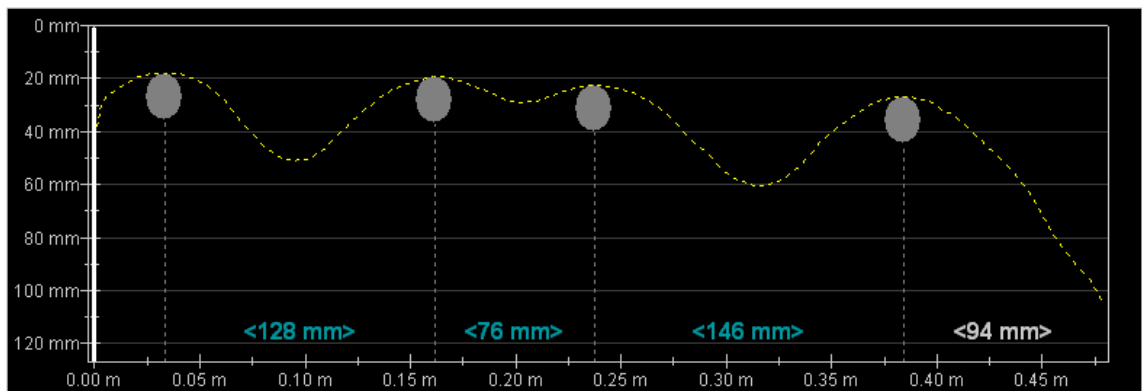
Sonda P2-1	<ul style="list-style-type: none"> - sondy byly provedeny na spodním líci průvlaku P2-1 v 1NP - v polovině rozpětí a ve vetknutí průvlaku do sloupu 	
Průvlak	<ul style="list-style-type: none"> - průvlak bez známek poškození nebo poruch - nebyly nalezeny žádné trhliny 	
Výztuž	<ul style="list-style-type: none"> - jednotlivé výztuže nebyly nijak poškozeny - třmínky s povrchovou korozí - hlavní výztuž s povrchovou korozí 	
Zjištěná výztuž v L/2	Položka 1	8 průměrů hladké výztuže $\varnothing 20$ s krytím cca 10-25 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 3-5 mm po cca 290 mm
<i>Obrázek 63 Schéma vyztužení průvlaku P2-1 v L/2</i>		
Zjištěná výztuž ve vetknutí	Položka 1	4 průměrů hladké výztuže $\varnothing 20$ s krytím cca 10 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 3-5 mm po cca 200 mm
	Ohyby	2 průměry se ohýbají vzhůru cca 400 mm od líce sloupu a 2 průměry ve vzdálenosti cca 900 mm od líce sloupu
<i>Obrázek 64 Schéma vyztužení průvlaku P2-1 v blízkosti vetknutí</i>		



Obrázek 65 Radarový 2D sken boku průvlaku P2-1 za účelem lokalizace třmínků; na snímku lze jasně vidět vnitřní pruty čtyř-střížných třmínků (HILTI PS1000)

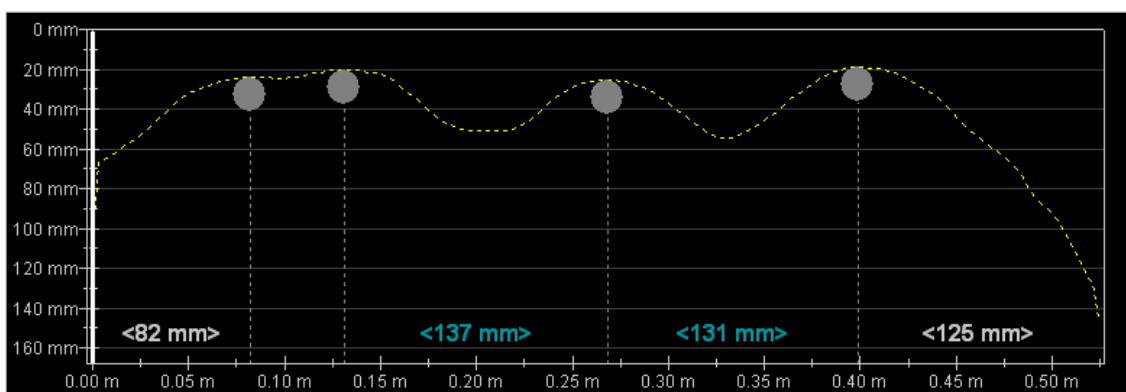


Obrázek 66 Zobrazení 3D skenu spodního líce průvlaku P2-1 v polovině rozpětí za účelem lokalizace hlavní výztuže (HILTI PS1000)

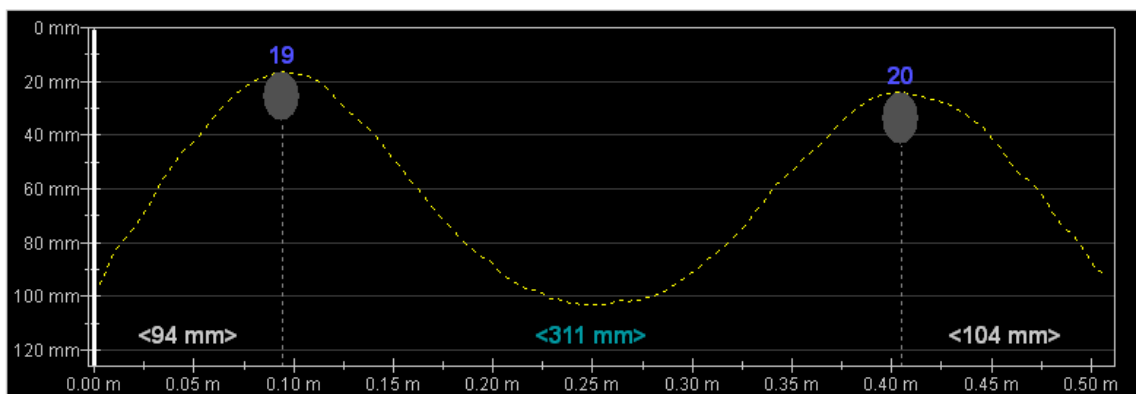


Obrázek 67 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P2-1 v blízkosti vetknutí (Profometer PM630)

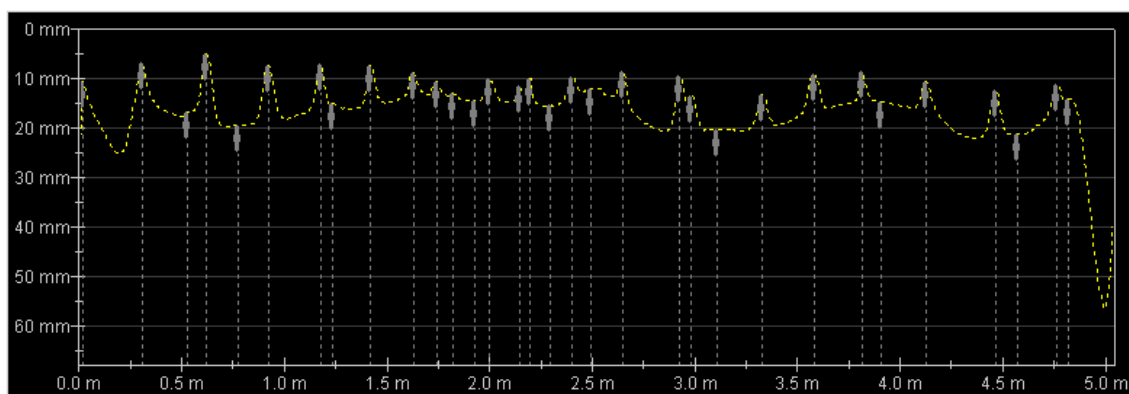
Sonda P2-2	<ul style="list-style-type: none"> - sondy byly provedeny na spodním líci průvlaku P2-2 v 2NP - v polovině rozpětí a ve vetknutí průvlaku do sloupu 	
Průvlak	<ul style="list-style-type: none"> - průvlak bez známek poškození nebo poruch - nebyly nalezeny žádné trhliny 	
Výztuž	<ul style="list-style-type: none"> - jednotlivé výztuže nebyly nijak poškozeny - třmínky s povrchovou korozí - hlavní výztuž s povrchovou korozí 	
Zjištěná výztuž v L/2	Položka 1	3 průměry hladké výztuže $\varnothing 16$ s krytím cca 15-20 mm 2 průměry hladké výztuže $\varnothing 20$ s krytím cca 15 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 5-10 mm po cca 280 mm
<i>Obrázek 68 Schéma vyztužení průvlaku P2-2 v L/2</i>		
Zjištěná výztuž ve vetknutí	Položka 1	2 průměry hladké výztuže $\varnothing 20$ s krytím cca 15 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 5-10 mm po 300 mm
	Ohyby	2 průměry se ohýbají vzhůru cca 500 mm od líce sloupu a 1 průměr ve vzdálenosti cca 300 mm od líce sloupu
<i>Obrázek 69 Schéma vyztužení průvlaku P2-2 v blízkosti vetknutí</i>		



Obrázek 70 Sken spodního líce průvlaku P2-2 za účelem lokalizace hlavní výztuže uprostřed rozpětí (Profometer PM630)



Obrázek 71 Zobrazení skenu v blízkosti vetknutí za účelem nalezení výztuže při spodním okraji (Profometer PM630)



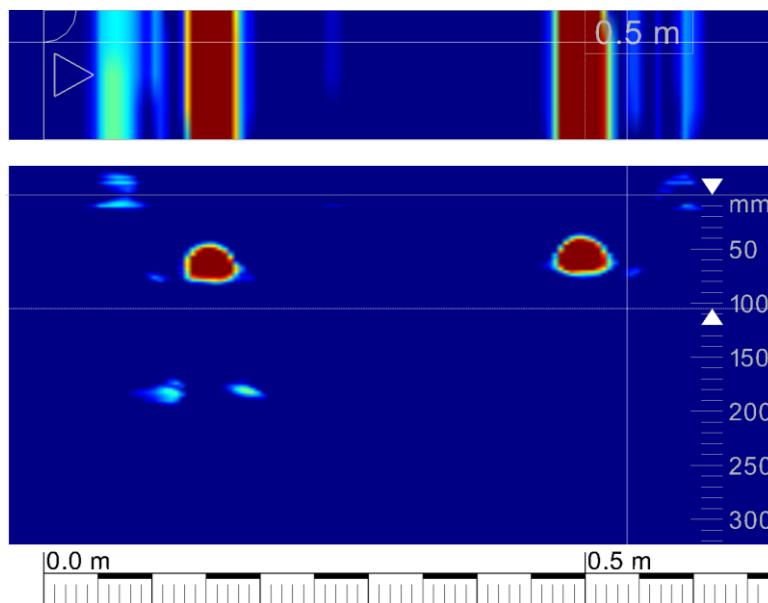
Obrázek 72 Sken spodního líce průvlaku P2-2 pro zjištění vzájemné vzdálenosti třmínek (Profometer PM630)

6.4.2 Vyztužení sloupů

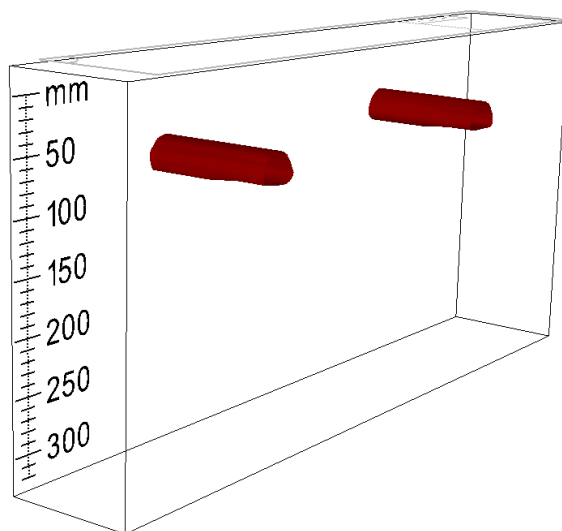
Za účelem zjištění vyztužení sloupů byly provedeny 2 sondy na dvou sloupech v 1NP. Po odstranění krycí vrstvy bylo zjištěno, že podélná výztuž je tvořena hladkou výztuží o průměru 16 mm a třmínky z hladké výztuže s průměrem 6 mm.

Ani v jednom případě nebylo zjištěno žádné porušení nebo zkorodování výztuže, které by ohrožovalo spolehlivost konstrukce. Poloha obou sond je zakreslena ve schématu půdorysu 1NP viz. výše.

Sonda S1-1	<ul style="list-style-type: none"> - sonda byla provedena na sloupu S1-1 v 1NP tak, aby byly zjištěny všechny výztuže 	
Sloup	<ul style="list-style-type: none"> - sloup bez známek poškození nebo poruch - nebyly nalezeny žádné trhliny 	
Výztuž	<ul style="list-style-type: none"> - jednotlivé výztuže nebyli nijak poškozeny - třmínky s povrchovou korozí - hlavní výztuž s povrchovou korozí 	
Zjištěná výztuž	Položka 1	4 průměry hladké výztuže $\varnothing 16$ s krytím cca 30-55 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 25-50 mm po cca 250 mm
<p><i>Obrázek 73 Schéma vyztužení sloupu S1-1</i></p>		

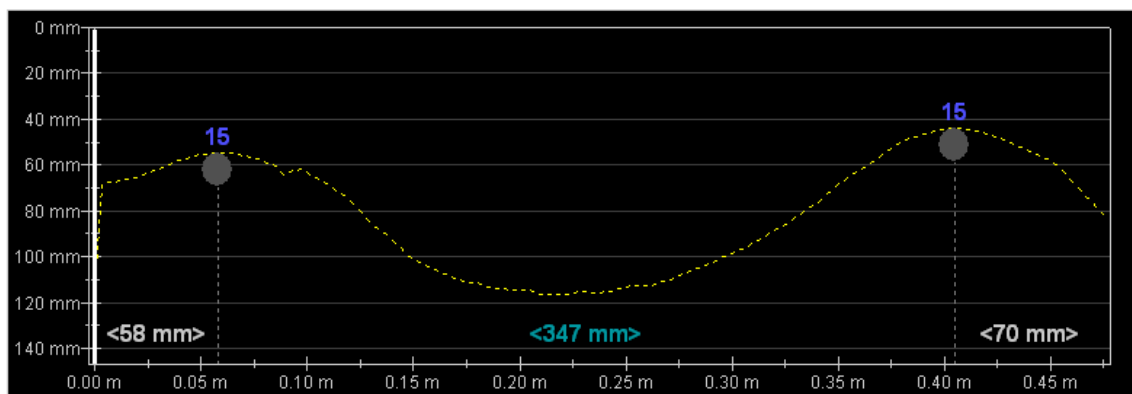


Obrázek 74 2D sken boční strany sloupu S1-1 (HILTI PS1000)

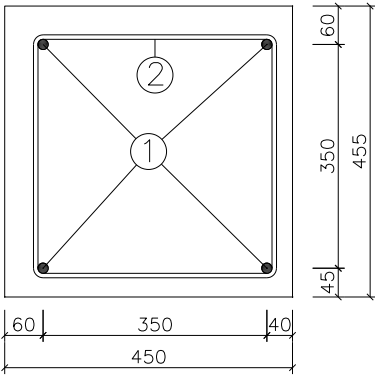


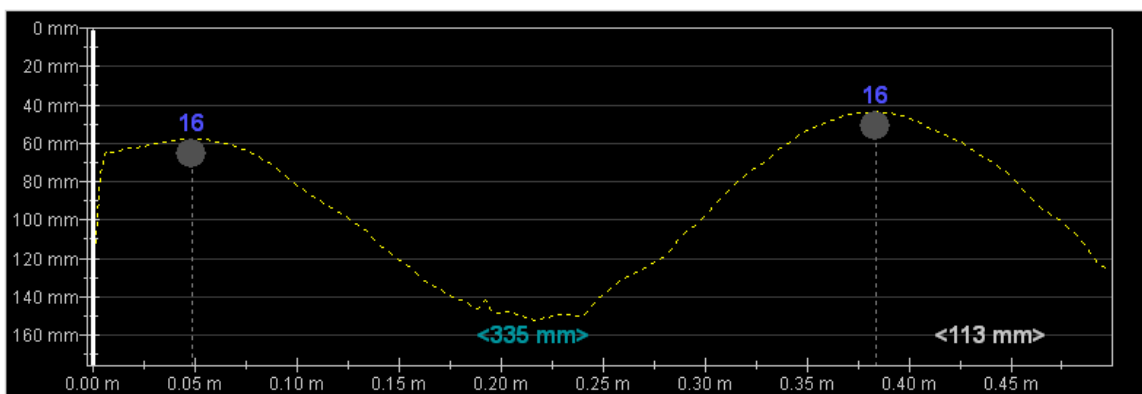
Obrázek 75 Zobrazení skenu boční strany sloupu S1-1 ve 3D (HILTI PS1000)

Ostatní stálé



Obrázek 76 Sken stejné stěny sloupu S1-1 pro porovnání výsledků z HILTI PS1000

Sonda S1-2	<ul style="list-style-type: none"> - sonda byla provedena na sloupu S1-2 v 1NP tak, aby byly zjištěny všechny výztuže 	
Sloup	<ul style="list-style-type: none"> - sloup bez známek poškození nebo poruch - nebyly nalezeny žádné trhliny 	
Výztuž	<ul style="list-style-type: none"> - jednotlivé výztuže nebyli nijak poškozeny - třmínky s povrchovou korozí - hlavní výztuž s povrchovou korozí 	
Zjištěná výztuž	Položka 1	4 průměry hladké výztuže $\varnothing 16$ s krytím cca 30-55 mm
	Položka 2	Třmínky z hladké výztuže $\varnothing 6$ s krytím cca 25-50 mm nepravidelně rozmístěny
		
<p>Obrázek 77 Schéma vyztužení sloupu S1-2</p>		



Obrázek 78 Sken boční strany sloupu S1-2 za účelem zjištění množství, polohy a průměru výztuže (Profometer PM630)

6.5 Stanovení pevnosti zdiva

Pro stanovení pevnosti cihel byla použita nedestruktivní metoda odrazovým tvrdoměrem Schmidt LB, který je určen pro tento účel a pro stanovení pevnosti malty byla použita semidestruktivní metoda pomocí upravené ruční vrtačky TZÚS často nazývaná jako Kučerova vrtačka. Výsledky zkoušek jsou zapsané v následujících tabulkách.

6.5.1 Pevnost cihel

Tabulka 16 Hodnoty odrazu Schmidtova kladívka na cihlách ve sloupech 2NP

Sloup S2-1										
Hodnoty odrazu Schmidtova kladívka LB										
1	25	32	30	32	33	31	31	36	37	34
2	36	37	32	30	35	35	34	30	33	34
Sloup S2-2										
1	35	32	34	33	34	32	30	29	32	31
2	18	25	18	22	22	24	19	25	25	23
3	32	34	28	29	35	34	33	32	28	30
Sloup S2-3										
1	35	35	32	38	33	35	36	37	30	32
2	37	30	32	33	34	34	37	35	36	30
3	38	33	30	36	38	36	36	37	33	34
4	30	30	28	32	28	30	34	30	28	28
Sloup S2-4										
1	26	28	25	28	29	27	30	29	27	25
2	25	27	28	26	25	25	26	25	27	25
3	32	29	30	35	30	28	32	35	28	34
4	35	35	32	28	32	33	35	34	34	35
Sloup S2-5										
1	28	25	30	28	29	26	30	29	30	27
2	32	34	34	32	31	33	33	31	31	30
3	32	33	32	33	28	33	32	31	32	33
4	28	32	33	31	30	33	34	32	28	35

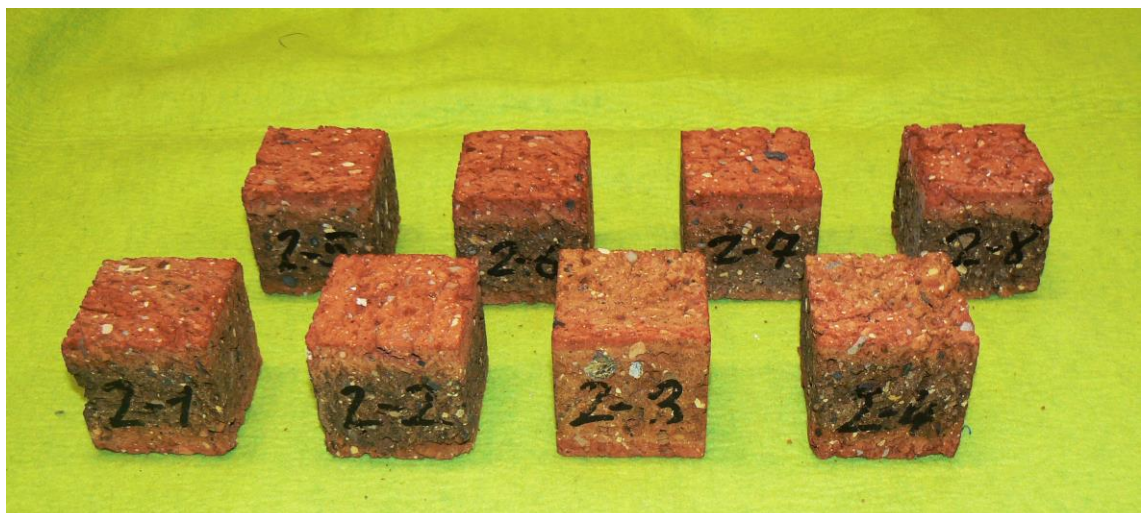
Pro upřesnění nedestruktivních zkoušek cihel, byly z hromady suti pocházející z již vybouraných zdí, vybrány 2 cihly, které na pohled odpovídaly cihlám použitým ve sloupech 2NP. Z těchto dvou cihel byly v laboratoři nařezány zkušební tělesa.



Obrázek 79 Odebrané cihly C1 a C2 z hromady suti



Obrázek 80 Celkem 10 zkušebních těles bylo vyřezáno z cihly č.1



Obrázek 81 Celkem 8 zkušebních těles bylo vyřezáno z cihly č.2

Tabulka 17 Výsledky laboratorních zkoušek zkušebních těles z vybraných cihel

Označení prvku	Zkušební těleso	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Hmotnost [g]	Síla v tlaku Fc [kN]
Cihla C1	C1-1	48,9	48,7	49,3	199,58	35,5
	C1-2	49,4	49,8	50,5	210,65	20,0
	C1-3	49,3	49,6	50,6	211,94	21,5
	C1-4	48,3	49,4	49,2	207,29	20,0
	C1-5	48,9	49,2	50,8	208,66	26,0
	C1-6	48,9	49,3	49,5	206,37	31,5
	C1-7	48,9	49,3	49,6	208,64	26,9
	C1-8	49,0	49,5	49,3	205,10	23,0
	C1-9	49,7	49,2	49,3	209,24	20,7
	C1-10	49,3	49,1	50,6	211,69	22,5
Cihla C2	C2-1	49,1	49,2	49,1	193,2	24,7
	C2-2	49,1	49,0	49,1	196,5	28,5
	C2-3	48,7	49,5	50,1	196,2	31,8
	C2-4	49,6	49,1	49,3	193,8	27,2
	C2-5	48,7	49,1	49,2	193,5	24,0
	C2-6	49,6	49,6	49,3	196,0	30,0
	C2-7	49,1	49,1	48,6	192,5	23,1
	C2-8	49,9	49,1	48,8	191,9	26,4

Tabulka 18 Výsledky laboratorních zkoušek zkušebních těles z vybraných cihel

Označení prvku	Zkušební těleso	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Pevnost v tlaku vzorku $f_{b,p}$ [MPa]	δ_p/δ_u	Pevnost v tlaku celé cihly $f_{b,u}$ [MPa]
Cihla C1	C1-1	1699,9	14,9	1,103	16,4
	C1-2	1695,6	8,1	1,103	9,0
	C1-3	1712,9	8,8	1,103	9,7
	C1-4	1765,8	8,4	1,103	9,2
	C1-5	1707,3	10,8	1,103	11,9
	C1-6	1729,4	13,1	1,103	14,4
	C1-7	1744,9	11,2	1,103	12,3
	C1-8	1715,2	9,5	1,103	10,5
	C1-9	1735,7	8,5	1,103	9,3
	C1-10	1728,3	9,3	1,103	10,3
Průměr		1720	10,2		11,3
Cihla C2	C2-1	1628,8	10,2	1,103	11,3
	C2-2	1663,2	11,8	1,103	13,1
	C2-3	1624,9	13,2	1,103	14,6
	C2-4	1614,1	11,2	1,103	12,3
	C2-5	1645,0	10,0	1,103	11,1
	C2-6	1616,3	12,2	1,103	13,5
	C2-7	1643,1	9,6	1,103	10,6
	C2-8	1605,2	10,8	1,103	11,9
Průměr		1630	11,1		12,3

Tabulka 19 Upřesněné výsledky nedestruktivních zkoušek

Označení vzorku	$f_{be,u}$ [MPa]										$f'_{be,u}$ [MPa]	meze $\pm 20\%$	$f_{be,u}$ [MPa]	α	$f_{be,u}$ [MPa]	
S2-1 1	18	25	23	25	26	24	24	29	30	27	25,2	20,2	30,3	26,0	0,51	13,3
S2-1 2	29	30	25	23	28	28	27	23	26	27	26,7	21,3	32,0	26,7		13,7
S2-2 1	28	25	27	26	27	25	23	22	25	24	25,3	20,3	30,4	25,3		13,0
S2-2 2	12	18	12	16	16	18	13	18	18	17	15,7	12,5	18,8	16,7		8,5
S2-2 3	25	27	21	22	28	27	26	25	21	23	24,7	19,7	29,6	24,7		12,6
S2-3 1	28	28	25	31	26	28	29	30	23	25	27,3	21,9	32,8	27,3		14,0
S2-3 2	30	23	25	26	27	27	30	28	29	23	26,9	21,5	32,2	26,9		13,8
S2-3 3	31	26	23	29	31	29	29	30	26	27	28,1	22,5	33,7	28,1		14,4
S2-3 4	23	23	21	25	21	23	27	23	21	21	23,0	18,4	27,7	23,0		11,8
S2-4 1	19	21	18	21	22	20	23	22	20	18	20,8	16,6	24,9	20,8		10,6
S2-4 2	18	20	21	19	18	18	19	18	20	18	19,3	15,5	23,2	19,3		9,9
S2-4 3	25	22	23	28	23	21	25	28	21	27	24,5	19,6	29,4	24,5		12,5
S2-4 4	28	28	25	21	25	26	28	27	27	28	26,4	21,1	31,7	26,4		13,5
S2-5 1	21	18	23	21	22	19	23	22	23	20	21,5	17,2	25,8	21,5		11,0
S2-5 2	25	27	27	25	24	26	26	24	24	23	25,2	20,2	30,3	25,2		12,9
S2-5 3	25	26	25	26	21	26	25	24	25	26	25,1	20,0	30,1	25,1		12,8
S2-5 4	21	25	26	24	23	26	27	25	21	28	24,8	19,8	29,7	24,8	12,7	
Průměr: $f'_{be,u}$															12,4	
Počet platných měření: n															17	
Výběrová směrodatná odchylka: s_r															1,58	
Hodnota součinitele t_n															0,33	
Zaručený průměr: $f_{b,u} = f'_{be,u} - t_n \cdot s_r$															11,91	
Součinitel vlivu šířky a výšky zdícího prvku: δ															0,77	
Normalizovaná pevnost: $f_b = f_{b,u} \cdot \delta$															9,17	

Z výše uvedených hodnot pevností získaných destruktivní metodou dvou vybraných cihel a výsledků pevností získaných nedestruktivní metodou byl jejich poměrem získán upřesňující součinitel $\alpha=0,51$. Tímto součinitelem byly následně přenásobeny hodnoty pevností z nedestruktivní metody, čímž byla po pronásobení dalšími součiniteli získána finální pevnost cihel $f_b = 9,17$ MPa.

6.5.2 Pevnost malty

Tabulka 20 Výsledky semidestruktivní zkoušky malty ruční Kučerovou vrtačkou

Zkušební místo	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	d ₃ [mm]	d _m [mm]	Meze		f _{m,i} [MPa]
					d _{min}	d _{max}	
M1	8	7	9	8	5,6	10,4	7,3
M2	11	9	9	10	7	13	5,1
M3	9	9	7	8	5,6	10,4	7,3
M4	8	7	7	7	4,9	9,1	9,0
M5	7	7	6	7	4,9	9,1	9,0
M6	15	12	12	13	9,1	16,9	3,4
M7	7	6	7	7	4,9	9,1	9,0
M8	10	10	11	10	7	13	5,1
M9	5	6	10	7	4,9	9,1	-
M10	4	5	4	4	2,8	5,2	-
M11	8	10	12	10	7	13	5,1
Průměr: m _x							6,69
Počet platných měření: n							9
Výběrová směrodatná odchylka: s _x							2,01
Hodnota součinitele t _n							0,47
Pevnost f _m =m _x - s _x · t _n							5,75

Z pevnosti cihel $f_d = 9,17$ MPa a pevnosti malty $f_m = 4,64$ MPa byla za použití součinitelů, které zohledňují vlastnosti zdiva jako je míra vyplnění spár maltou, vazba, vlhkost nebo trhliny vypočtena návrhová pevnost zdiva v tlaku f_d .

Tabulka 21 Výsledná návrhová pevnost zdiva v tlaku f_d

f _k [MPa]	γ _{m1}	γ _{m2}	γ _{m3}	γ _{m4}	γ _m	f _d [MPa]
4,38	2,0	1,20	1,00	1,00	2,40	1,83

7 Statický přepočet vybraných prvků

Tato část je věnována statickému přepočtu vybraných prvků konstrukce na základě zjištěných materiálových charakteristik a způsobu vyztužení jednotlivých prvků. Statický přepočet byl proveden na průvlaku P1 v polovině rozpětí s využitím informací získaných sondou P1-1 a jádrovým vývrtem V8. Druhým posuzovaným prvkem je železobetonový sloup S1 v 1NP, na kterém byla provedena sonda S1-1 za zjištěním vyztužení a odebrány jádrové vývrty V3 a V4.

Stanovení zatížení

Ze zjištěných rozměrů a skladby stropu nad 1NP, bylo vypočteno charakteristické zatížení působící na průvlak. Jednotlivé rozměry a zatěžovací šířky jsou znázorněny na obrázku 80, 81 a konkrétní hodnoty v tabulce 22.

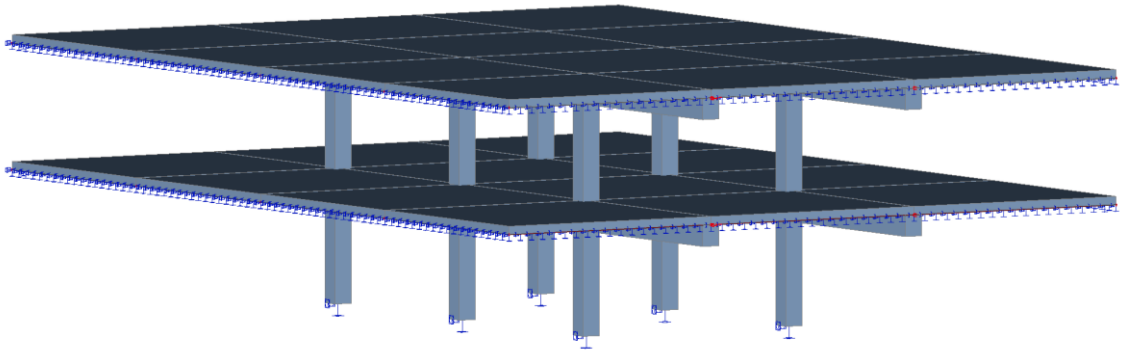
Tabulka 22 Hodnoty vypočteného charakteristického zatížení na konstrukci

Zatížení		Hodnota [kN/m ²]
Stálé	Stropní panely nad 2NP	Scia
	Vlastní tíha průvlaku nad 2NP	Scia
	Zděný sloup ve 2NP	Scia
	Stropní panely	Scia
	Vlastní tíha průvlaku	Scia
	Vlastní tíha sloupu	Scia
Ostatní stálé	Betonová mazanina	1,25
	Skladba střechy	2
Proměnné	Kategorie B-kanceláře	3
	Sníh na střeše	0,93

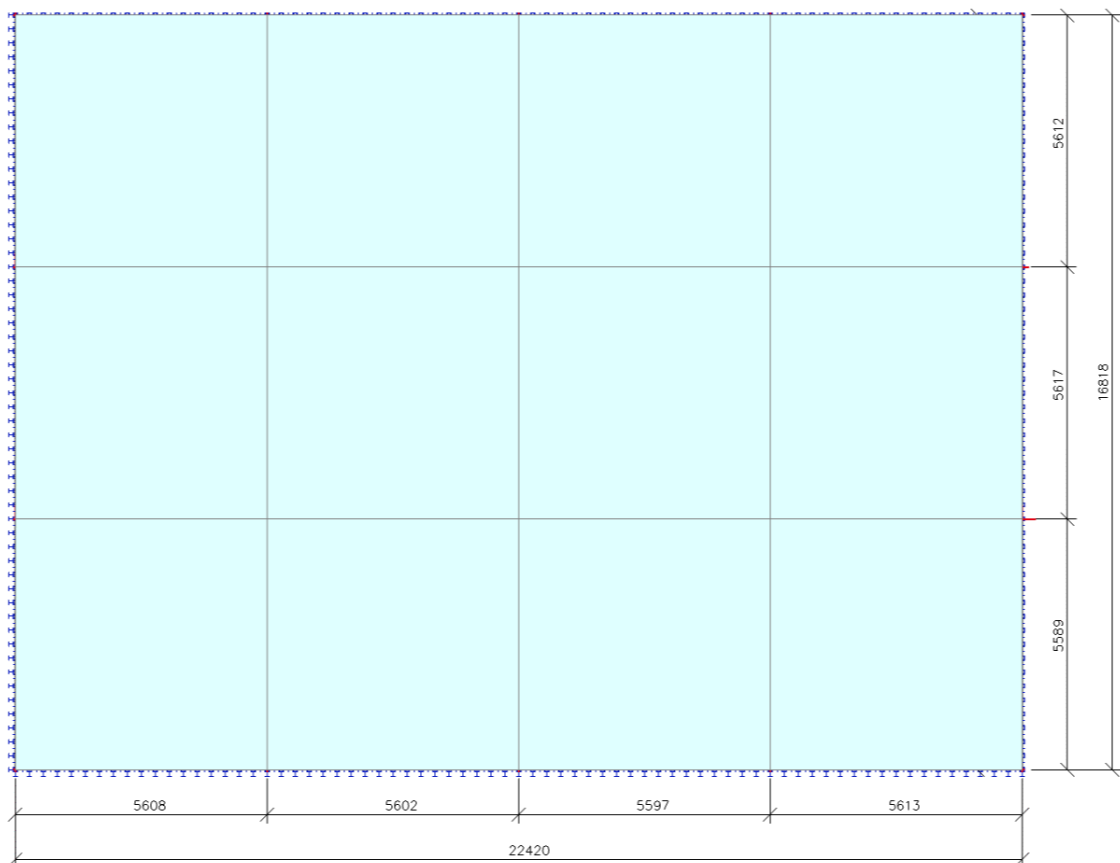
S využitím programu Scia Engineer byl sestaven zjednodušený model celé konstrukce včetně zatížení za účelem přesného stanovení průběhu vnitřních sil na jednotlivých prvcích. Grafický výstup z programu je zachycen na přiložených obrázcích.

Model konstrukce

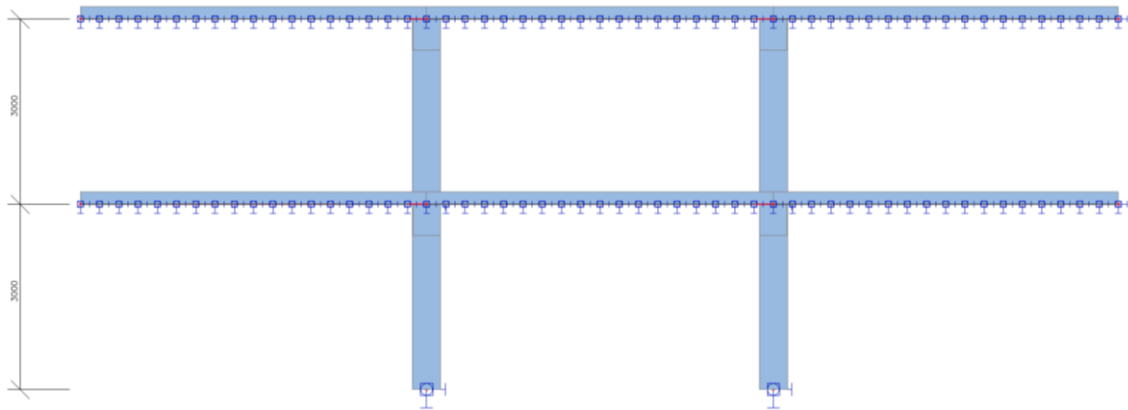
Při modelování byly sloupy zadány jako vetknuté do základové desky a okraje stropních desek jsou na koncích podporovány liniovou podporou namísto stěn, z důvodu lepší čitelnosti konstrukce na pohled.



Obrázek 82 Zjednodušený model sestavený v programu Scia Engineer



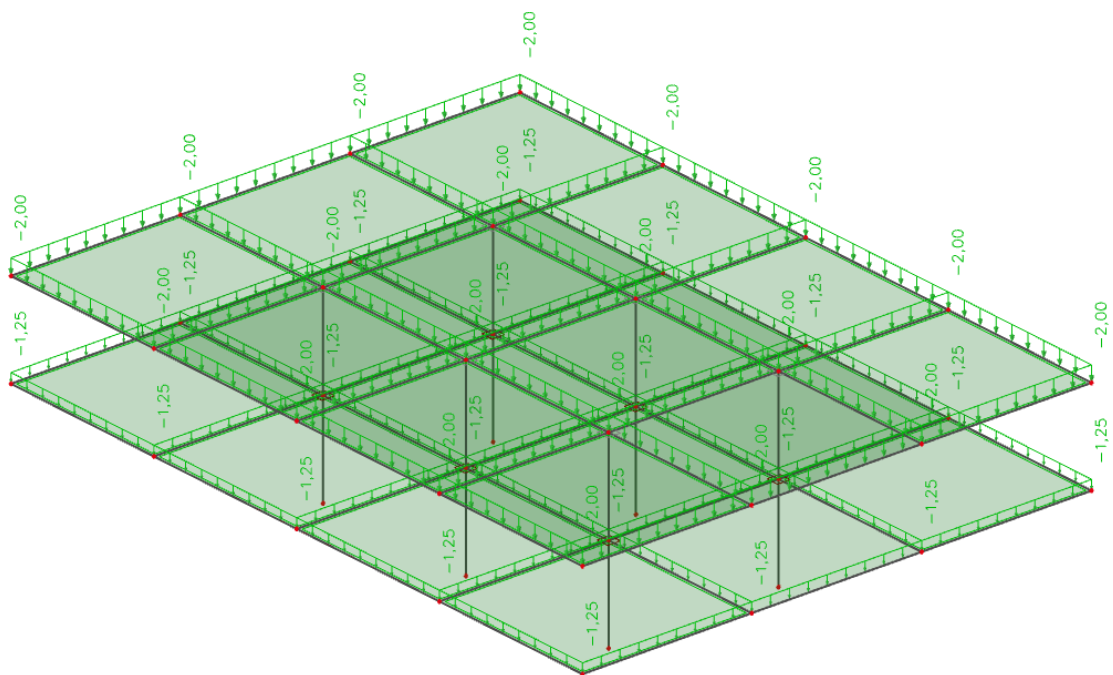
Obrázek 83 Půdorysné rozměry modelu



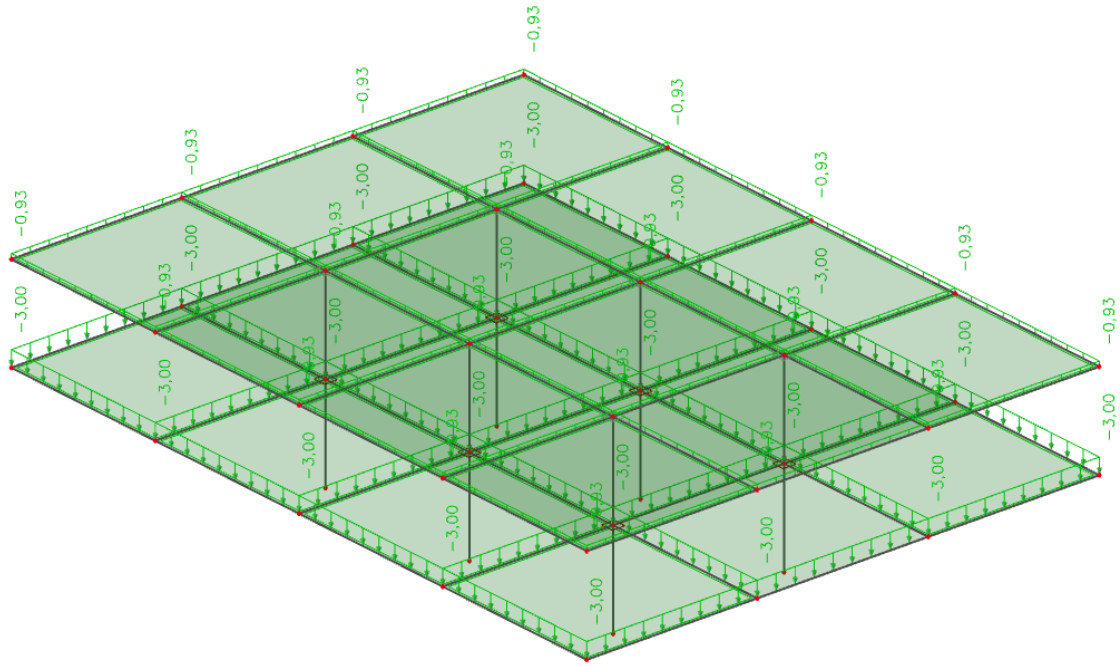
Obrázek 84 Výškové rozměry modelu

Zatížení na model

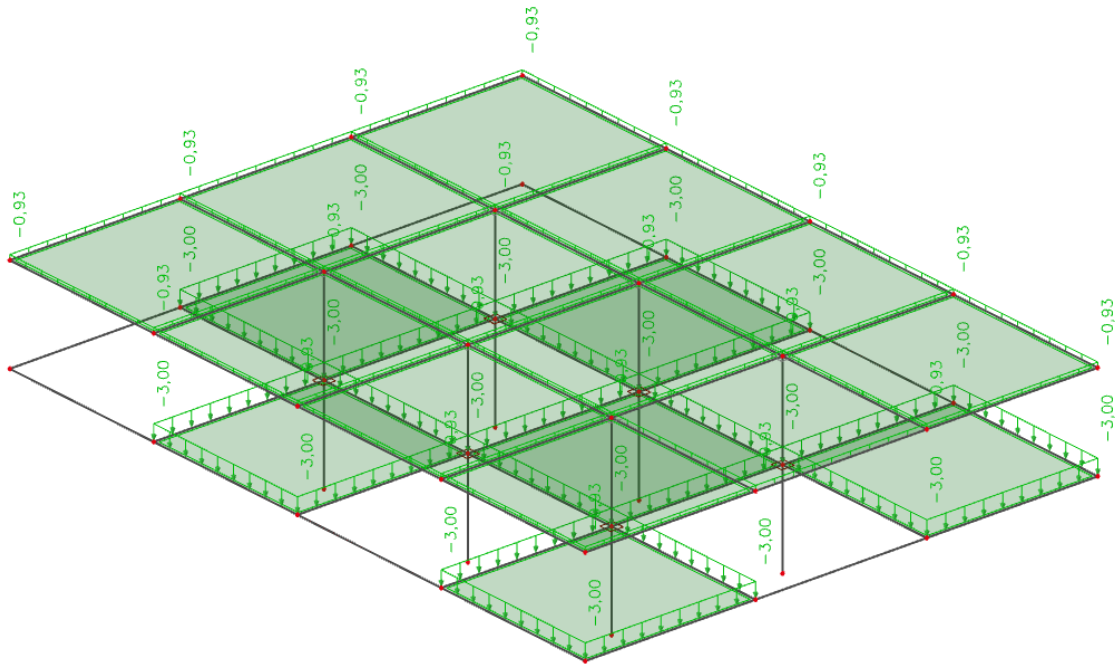
Vlastní tíhu si program na základě zadání počítá sám, proto se konstrukce zatěžuje zvlášť pouze ostatním stálým zatížením a proměnným zatížením. Jejich hodnoty jsou vypsány v tabulce 22.



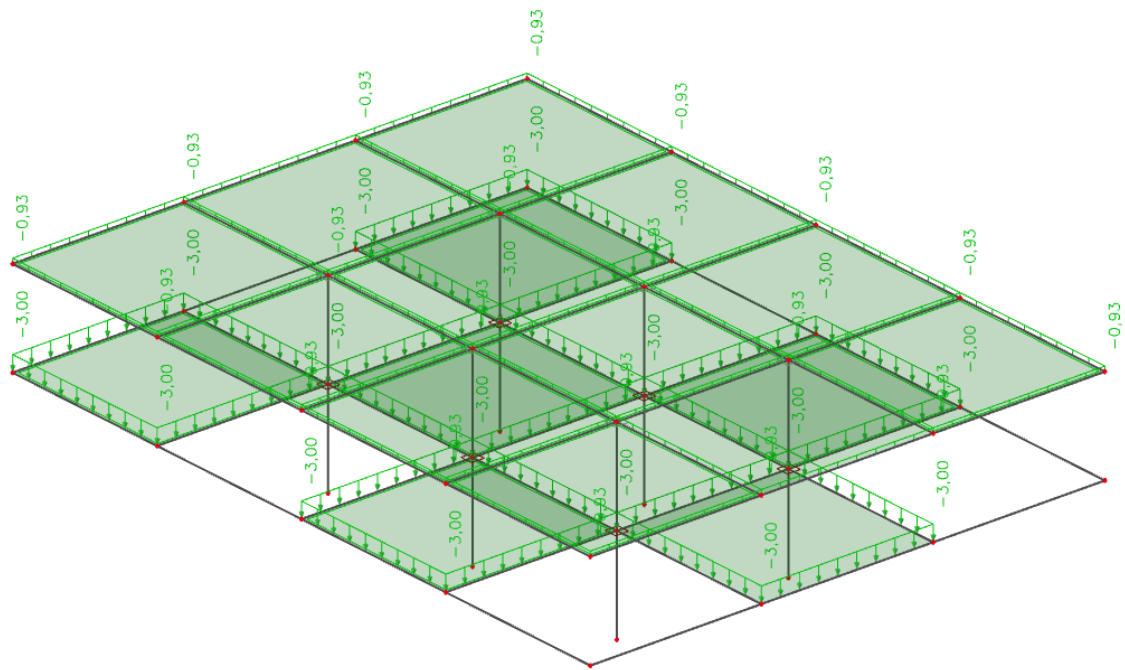
Obrázek 85 Ostatní stálé zatížení (betonová mazanina a skladba střechy) působící na model



Obrázek 86 Proměnné zatížení (kategorie B a sněh) na celé ploše



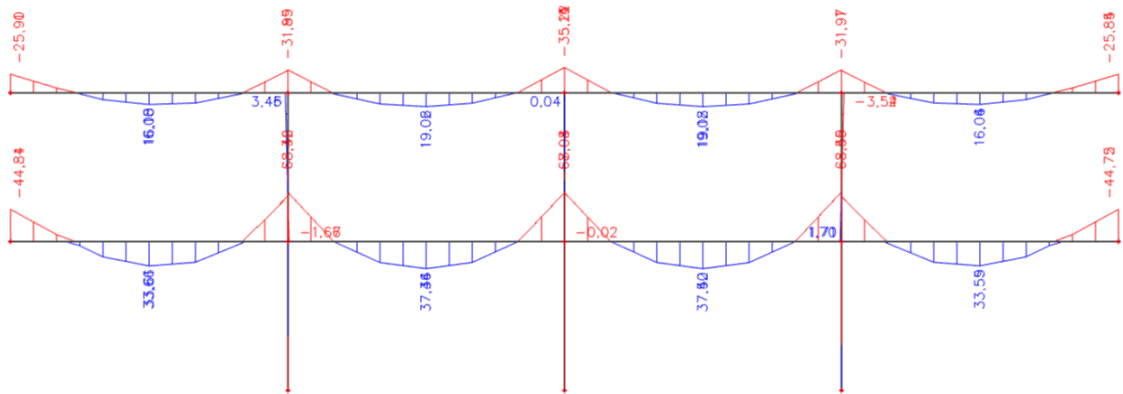
Obrázek 87 Proměnné zatížení šach 1



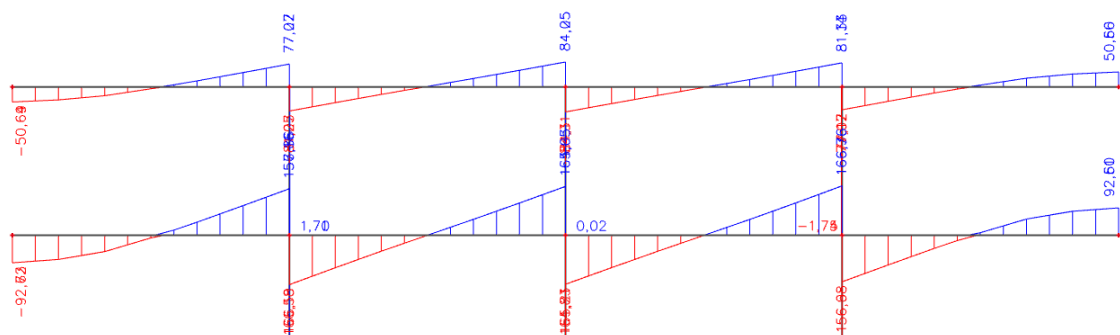
Obrázek 88 Proměnné zatížení šach 2

Vnitřní síly

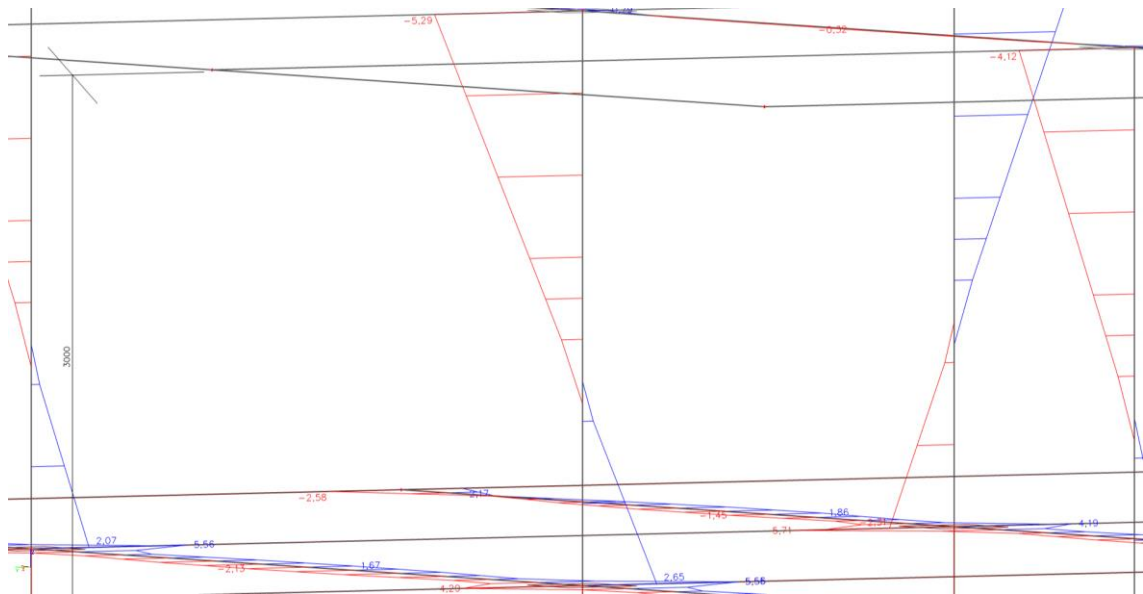
Na takto zatíženém modelu byl spuštěn výpočet vnitřních sil. Jejich průběhy jsou znázorněny na přiložených obrázcích.



Obrázek 89 Průběh ohybových momentů na průvlaku



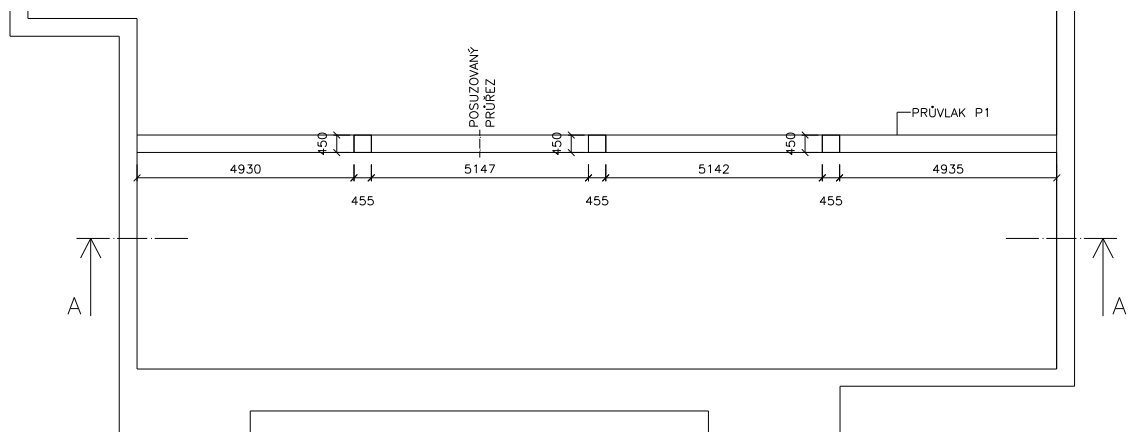
Obrázek 90 Průběh posouvajících sil na průvlaku



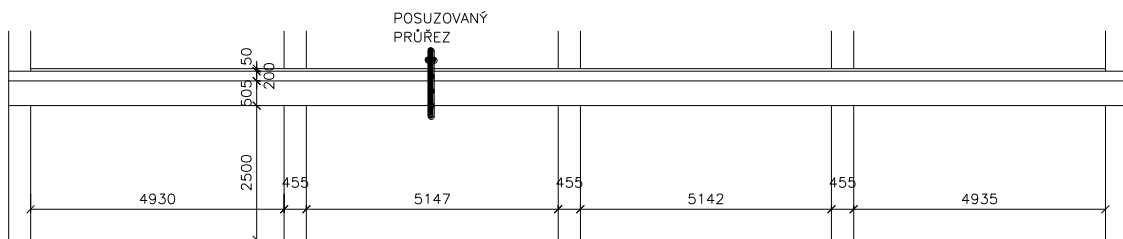
Obrázek 91 Průběh ohybových momentů na sloupu

7.1 Statický posudek průvlaku P1

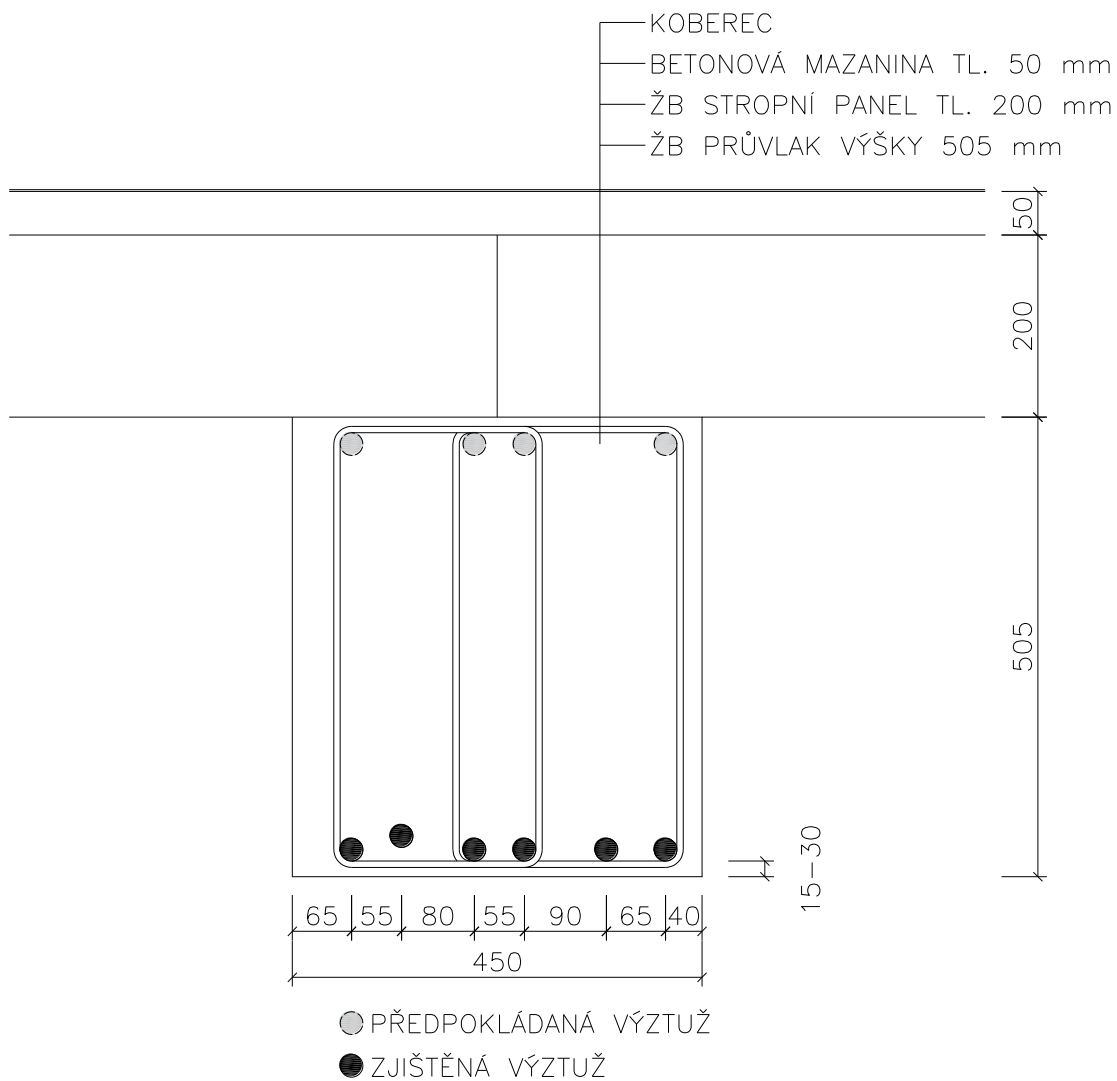
Průvlak P1 je řešený jako spojitý nosník o čtyřech polích. Na koncích je průvlak uložen na obvodové zdi a po délce je podporován třemi sloupy umístěnými přibližně ve čtvrtinách jeho rozpětí. Posuzovaný průřez se nachází v levém vnitřním poli přibližně uprostřed rozpětí, z důvodu přesné znalosti vyztužení. Všechny důležité rozměry jsou na znázorněny na přiložených schématech.



Obrázek 92 Půdorysné schéma 1NP s vyznačeným posuzovaným průřezem průvlaku P1



Obrázek 94 Podélný řez konstrukcí A-A



Obrázek 93 Schematický příčný řez průvlakem a skladbou stropu nad 1NP

Materiálové charakteristiky průvlaku P1

Na základě stavebně technického průzkumu a vyhodnocení laboratorních zkoušek byly stanoveny a vypočteny následující materiálové charakteristiky průvlaku P1.

f_{ck} Charakteristická pevnost v tlaku [MPa]

$f_{cm} = f_{ck} [MPa] + 8$ Střední hodnota pevnosti v tlaku [MPa]

$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}}$ Střední hodnota pevnosti v tahu [MPa]

$E_{cm} = 9500 \cdot f_{cm}^{\frac{1}{3}}$ Střední hodnota modulu pružnosti [GPa]

S využitím těchto vztahů byly stanoveny charakteristiky materiálu zapsané do tabulek 22.

Tabulka 23 Materiálové charakteristiky betonu průvlaku P1

Beton C6/7,5					
f_{ck} [MPa]	f_{cd} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	f_{cm} [MPa]	E_{cm} [GPa]	ϵ_{cu} [10^{-4}]
7,50	5	1,15	15,50	23,66	-3,8

Tabulka 24 Materiálové charakteristiky výztuže v průvlaku P1

Ocel 10 372			
f_{yk} [MPa]	f_{yd} [MPa]	E_s [GPa]	ϵ_s [-]
230	200	210	0,2

Posouzení na ohyb

Tabulka 25 Základní veličiny pro výpočet M_{Rd}

Veličina	Hodnota	Veličina	Hodnota
A_c	0,2 m ²	λ	0,8
A_{s1}	0,0034 m ²	b	0,45 m
Y_t , výztuže	0,241 m	Z_t , výztuže	0,023 m
f_{yd}	200 MPa	h	0,505 m

Z důvodu nejasného vyztužení při horním líci průvlaku, bude při výpočtu únosnosti uvažováno pouze vyztužení při spodním líci. Toto řešení výpočtu je v tomto případě přikloněno na stranu bezpečnou.

Výpočet M_{Rd}

$$M_{Ed} = 37,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

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

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 0,0034 \cdot 200 = 687,2 \text{ kN}$$

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{\lambda \cdot b \cdot f_c} = \frac{0,0034 \cdot 200 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,45 \cdot 5 \cdot 10^3} = 0,382 \text{ m}$$

$$x_c = x \cdot \lambda = 0,382 \cdot 0,8 = 0,305 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,505 - 0,023 = 0,482 \text{ m}$$

$$z = d - a_c = d - \frac{x_c}{2} = 0,482 - \frac{0,305}{2} = 0,329 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_y \cdot z = 0,0034 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0,329 = 226,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 226,03 \text{ kNm} > M_{Ed} = 36,36 \text{ kN} \rightarrow \textbf{Vyhovuje}$$

Konstrukční zásady

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \text{ a současně } A_{s,min} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{1,15}{230} \cdot 0,45 \cdot 0,482 = 0,00028184 \text{ m}^2 < A_{s1} = 0,0034 \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{Vyhovuje}$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot 0,45 \cdot 0,482 = 0,00028197 \text{ m}^2 < A_{s1} = 0,0034 \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{Vyhovuje}$$

$$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ m}^2 > A_{s1} = 0,0034 \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{Vyhovuje}$$

Posouzení na smyk

Tabulka 26 Základní veličiny potřebné k výpočtu V_{Rd}

Veličina	Hodnota	Veličina	Hodnota
α_{cw}	1	b_w	0,45 m
s	0,2 m	$\cot(\theta), \operatorname{tg}(\theta)$	1

$$V_{Ed} = 166,59 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{7,5}{250}\right] = 0,582$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,482 = 0,434 \text{ m}$$

$$A_{sw} = 4 \cdot (\pi \cdot r^2) = 4 \cdot (\pi \cdot 0,003^2) = 0,0001131 \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \operatorname{tg}(\theta)} = \frac{1 \cdot 0,45 \cdot 0,434 \cdot 0,582 \cdot 5}{1 + 1} = 284,03 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta) = \frac{0,0001131}{0,2} \cdot 0,434 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 1 = 49,06 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_{Rd} = \min(284,03 \text{ kN}; 49,06 \text{ kN}) = 49,06 \text{ kN} < V_{Ed} = 166,59 \text{ kN} \rightarrow \text{Nevyhovuje}$$

Konstrukční zásady

Podélná vzdálenost:

$$s = 0,2 \text{ m}$$

$$s_{max} \leq 0,75d \cdot (1 + \cot\alpha) = 0,75 \cdot 0,482 \cdot (1 + 0) = 0,362 \text{ m} > s = 0,2 \text{ m} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Příčná vzdálenost větví třmínku:

$$s_t = 0,345 \text{ m}$$

$$s_{t,max} \leq 0,75d = 0,75 \cdot 0,482 = 0,362 \text{ m} > s_t = 0,345 \text{ m} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Stupeň vyztužení:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} = \frac{0,0001131}{0,2 \cdot 0,45} = 0,0013$$

$$\rho_{min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{7,5}}{230} = 0,00095$$

$$\rho_w = 0,0013 > \rho_{min} = 0,00095 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Vypočtená únosnost průvlaku P1 v ohybu $M_{Rd}=226,3 \text{ kNm} > M_{Ed}=37,36 \text{ kNm}$. Z hlediska ohybové únosnosti je tedy průvlak výrazně předdimenzován a splňuje i požadované konstrukční zásady. Jinak je tomu však při posouzení na účinky smykových sil. Vypočtená smyková únosnost se třmínky $V_{Rd,s} = 49,06 \text{ kN} < V_{Ed} = 166,56 \text{ kN}$. Z toho vyplývá, že na smykovou únosnost naopak hrubě nevyhovuje.

7.2 Statický posudek sloupu S1

Sloup S1 v konstrukčním systému objektu slouží jako jedna z mezilehlých podpor průvlaku P1. Výpočet byl proveden na základě zjištěných informací o vyztužení, které byly získány sekanou sondou S1-1. Pevnost betonu byla stanovena na zkušebních tělesech vyrobených z jádrových vývrtů V3 a V4 odebraných z tohoto sloupu.

Tabulka 27 Základní veličiny pro posouzení sloupu na kombinaci N_{Ed} a M_{Ed}

Veličina	Hodnota	Veličina	Hodnota
σ_s	200 MPa	ϵ_{s1}	1‰
A_c	0,2 m ²	λ	0,8
b	0,455 m	h	0,45 m

Tabulka 28 Materiálové charakteristiky betonu sloupu C8/10

Beton C8/10					
f_{ck} [MPa]	f_{cd} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	f_{cm} [MPa]	E_{cm} [GPa]	ϵ_{cu} [10^{-4}]
8,00	5,33	1,20	16,00	24	-3,7

7.2.1

7.2.2 Výpočet významných bodů interakčního diagramu

$$d = h - d_1 = 0,45 - 0,04 = 0,41 \text{ m}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot 0,008^2 = 0,0004 \text{ m}^2$$

Bod 0

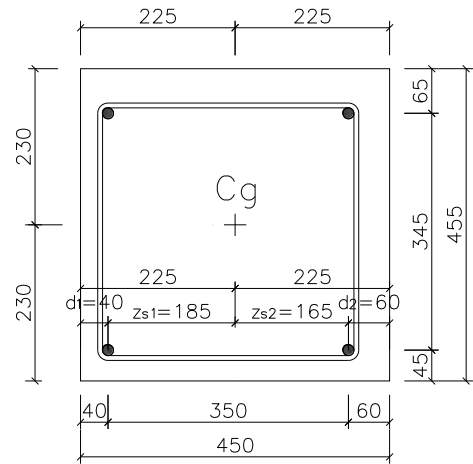
$$x = h$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 0,0004 \cdot 200 \cdot 10^3 = 80,4 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = F_{s1}$$

$$F_c = A_c \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 5,33 \cdot 10^3 = 1092 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = -1092 - 80,4 - 80,4 = \mathbf{1252,8 \text{ kN}}$$



Obrázek 95 Schematický řez sloupem S1

Bod 1

$$x = d = 0,41 \text{ m}$$

$$F_{s2} = 80,4 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot \sigma_s = 0,455 \cdot 0,8 \cdot 0,41 \cdot 200 \cdot 10^3 = 795,9 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x}{2} = \frac{0,45}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,41}{2} = 0,061 \text{ m}$$

$$N_{Rd,1} = -F_c - F_{s2} = -795,9 - 80,4 = \mathbf{876,4 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,1} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_{s2} = 795,9 \cdot 0,061 + 80,4 \cdot 0,165 = \mathbf{63,43 \text{ kNm}}$$

Bod 2

$$x_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{s2}} \cdot d_2 = \frac{3,7}{3,7 + 1} \cdot 0,41 = 0,323 \text{ m}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = 80,4 \text{ kN}$$

$$F_{c,bal} = b \cdot \lambda \cdot x_{bal,1} \cdot \sigma_s = 0,45 \cdot 0,8 \cdot 0,323 \cdot 5,33 \cdot 10^3 = 626,2 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x_{bal,1}}{2} = \frac{0,45}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,323}{2} = 0,096 \text{ m}$$

$$N_{Rd,2} = -F_{c,bal} - F_{s2} - F_{s1} = -626,2 - 80,4 - 80,4 = \mathbf{787,1 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,2} = F_{c,bal} \cdot z_c + F_s \cdot (z_{s2} + z_{s1}) = 626,3 \cdot 0,096 + 80,4 \cdot (0,165 + 0,185) = \mathbf{88,2 \text{ kNm}}$$

Bod z

$$x_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{s2}} \cdot d_2 = \frac{3,7}{3,7 - 1} \cdot 0,06 = 0,082 \text{ m}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = 80,4 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x_{bal,2} \cdot \sigma_s = 0,455 \cdot 0,8 \cdot 200 \cdot 10^3 = 159,5 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x_{bal,2}}{2} = \frac{0,45}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,082}{2} = 0,192 \text{ m}$$

$$N_{Rd,z} = -F_c - F_{s2} + F_{s1} = -159,5 - 80,4 + 80,4 = \mathbf{-159,5 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,z} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot (z_{s2} + z_{s1}) = 159,5 \cdot 0,192 + 80,4 \cdot (0,165 + 0,185) = \mathbf{58,79 \text{ kNm}}$$

Bod 3

$$F_{s1} = 80,4 \text{ kN}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot \sigma_c = 0,455 \cdot 0,8 \cdot x \cdot 200 \cdot 10^3 = 1940,1 \cdot x \text{ kN}$$

$$N_{Rd,3} = 0 \text{ kN} \rightarrow F_{s1} - F_c = 0 \rightarrow x = \frac{80,4}{1940,1} = 0,041 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,7}{x} \cdot (0,41 - 0,041) = 32,9 \text{ ‰} > 1 \text{ ‰} \rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot x \cdot \sigma_s = 0,455 \cdot 0,8 \cdot 0,041 \cdot 200 \cdot 10^3 = 80,42 \text{ kN}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - \frac{\lambda \cdot x}{2} = \frac{0,45}{2} - \frac{0,8 \cdot 0,041}{2} = 0,21 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = \mathbf{0 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,3} = F_c \cdot z_c + F_{s1} \cdot z_{s1} = 80,42 \cdot 0,21 + 80,4 \cdot 0,185 = \mathbf{31,64 \text{ kNm}}$$

Bod 4

$$F_{s1} = 80,4 \text{ kN}$$

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

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

$$N_{Rd,4} = F_s = \mathbf{80,4 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_{s1} = 80,4 \cdot 0,185 = \mathbf{14,9 \text{ kNm}}$$

Bod 5

$$F_{s1} = F_{s2} = 80,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,5} = F_{s2} + z_{s2} = 80,4 \cdot 0,165 = \mathbf{160,8 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,5} = -F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = -80,4 \cdot 0,165 + 80,4 \cdot 0,185 = \mathbf{1,61 \text{ kNm}}$$

Hodnoty zatížení a stanovení účinků 1. a 2. řádu

$$M_{Ed} = 5,29 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 494,74 \text{ kN}$$

Účinky 1. řádu

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$\beta = 0,5$$

$$L_0 = \beta \cdot L = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25 \text{ m}$$

$$i = 0,13 \text{ m}$$

$$e = \frac{L_0}{400} = \frac{1,25}{400} = 0,0031 \text{ m}$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot \left(\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} + \frac{e}{1000} \right) = 494,74 \cdot \left(\frac{5,29}{494,74} + \frac{0,0031}{1000} \right) = 5,292 \text{ kNm}$$

Úprava vnitřních sil v důsledku účinků 1. řádu $\rightarrow [M_{0Ed}; N_{Ed}] = [5,292; 494,74]$

Účinky 2. řádu

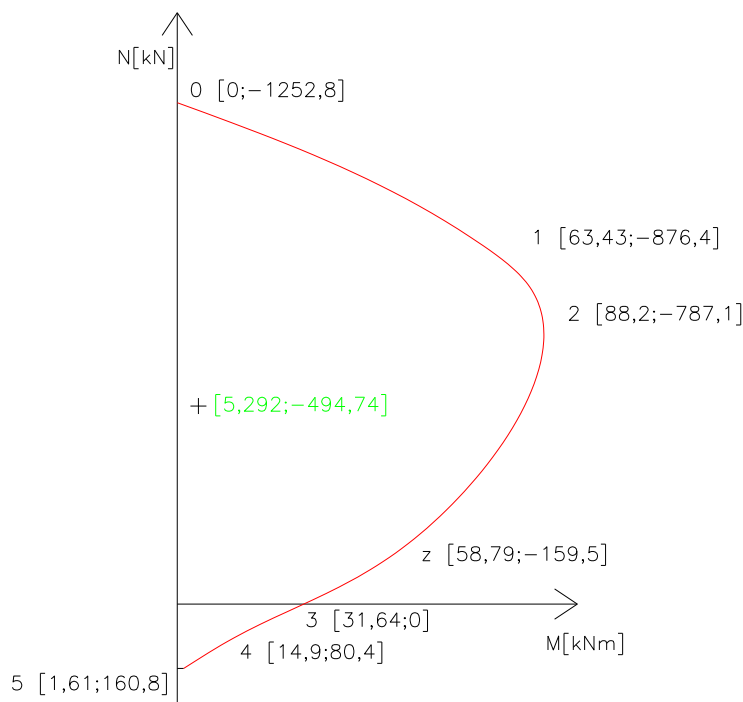
$$A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{494,74}{0,4 \cdot 5,33 \cdot 10^3} = 0,453$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,453}} = 16,01$$

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{0,13}{0,13} = 9,62 < \lambda_{lim} = 16,01 \rightarrow \text{Účinky 2. řádu můžeme zanedbat}$$

Posouzení sloupu S1 pomocí interakčního diagramu.



Obrázek 96 Interakční diagram sestavený z výše vypočtených bodů a vyneseními hodnotami zatížení M_{0Ed} a N_{Ed} (červená křivka vymezuje oblast pro posudek; zelená značí posuzované hodnoty zatížení)

Vynesené hodnoty M_{0Ed} a N_{Ed} se nacházejí uvnitř červené hranice interakčního diagramu.

Z toho vyplývá, že sloup kritériím **vyhovuje**.

8 Závěr práce

Cílem této diplomové práce bylo teoretické rozebrání metod používaných při stavebně technických průzkumech, s podrobností závislou na prováděných metodách v praktické části práce. V první části došlo k seznámení s metodami a postupy používaných u stavebních průzkumů pro železobetonové konstrukce, s tím spojená lokalizace betonářské výztuže a zjišťování informací o ní a jako poslední přišly na řadu zděné konstrukce. U těch bylo vysvětleno stanovování pevnosti jednotlivých komponent zdiva a následné stanovení výsledné pevnosti.

Na základě provedeného průzkumu a odebraných jádrových vývrtů z betonu byla z laboratorních zkoušek na zkušebních tělesech stanovena pevnostní třída betonu ve sloupech C6/7,5 a v průvlacích C8/10. Použité kamenivo bylo těžené s frakcí od 0 do 16 mm. Struktura betonu byla uspokojivá hutná s malými póry. Způsob vyztužení byl zjišťován nedestruktivními a destruktivními metodami. Výsledky lokalizace jsou znázorněny řezy jednotlivými prvky ve druhé části práce. Laboratorními zkouškami a zkouškami insitu byla stanovena výsledná návrhová pevnost zdiva $f_d = 1,83$ MPa.

Ve třetí části práce jsem se věnoval statickému posouzení prvků v 1NP a to průvlastu P1 a sloupu S1. Průvlak byl posuzován na účinky ohybového momentu v jednom z jeho mezilehlých polí uprostřed rozpětí. Toto místo bylo pro posudek zvoleno z důvodu přesné znalosti vyztužení prvku získané ze sondy P1-1. Přepočtem byla stanovena ohybová únosnost $M_{Rd} = 226,03$ kNm, která proti návrhovému momentu vyvozeným zatížení $M_{Ed} = 36,36$ kNm mnohonásobně vyhověla. Průvlak byl posouzen také na smyk kdy vypočtená smyková únosnost činila pouze $V_{Rd} = 46,06$ kN a návrhová hodnota zatížení $V_{Ed} = 166,59$ kN, z čehož vyplývá, že na smyk prvek nevyhoví. Z toho důvodu je nutno provést dodatečné zesílení smykové výztuže průvlastu. Toto zesílení může být provedeno více způsoby, ale pro lepší proveditelnost bych navrhol sanační řešení od firmy Hilti, konkrétně kotvy HZA-P. To spočívá ve vlepení dodatečné výztuže do šikmo vyvrtných děr ze spodního líce směřující do oblasti nad sloupem. Pro spojení kotvy a betonu se v tomto případě používá lepicí hmota Hilti.

Druhým posuzovaným prvkem byl sloup S1 v 1NP. Sloup byl posuzován na účinky kombinace momentu a normálové síly získaných pomocí programu Scia Engineer. Vynesený bod návrhového zatížení spadal do oblasti interakčního diagramu díky čemuž prvek vyhověl.

9 Bibliografie

- [1] [CIKRLE, Petr. *NDT Zkoušení ve stavebnictví*. Listopad 2010. Brno: Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební VUT v Brně, 2010. ISBN 978-80-214-4198-9.
- [2] [*Karbonatace betonu (Carbonation of concrete)* [online]. ebeton.cz, b.r. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/karbonatace-betonu>
- [3] [Pevnost betonu v tlaku na jádrových vývrtech. [Http://szk.fce.vutbr.cz](http://szk.fce.vutbr.cz) [online]. Brno: VUT, c2012–2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/2016/ESF_C2_N%C3%A1vod_v%C3%BDvrt.pdf
- [4] [*ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 1. 10. 2009. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [5] [*ČSN EN 13791 (731303) Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. 1. 7. 2007. Praha: ÚNMZ, 2007.
- [6] [Modul pružnosti. In: [Www.ebeton.cz](http://www.ebeton.cz) [online]. Praha 4: CZ SVB, s.r.o., 2015 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/modul-pruznosti>
- [7] [*ČSN ISO 1920-10 Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. 1. 8. 2016. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [8] [DOC.ING. PETR CIKRLE, a ING.VLASTIMIL BÍLEK.PH.D. Modul pružnosti vysokopevných betonů různého složení. *Beton TKS*. 2010, **2010**(5), 40-44. ISSN 1213-3116.
- [9] [CIKRLE P., KOCÁB D. a POSPÍCHAL O. Zkoušení betonu ultrazvukovou impulsovou metodou. *Beton*. Praha: Beton TKS, s.r.o., 2013, **2013**(3), 74-79. ISSN 1213-3116.

- [CIRKLE P, a KOCÁB D. *Workshop NDT ...: non-destructive testing : proceedings ...* 2010.
- [10] Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, s. 141-146. ISBN bn978-80-7204-723-9.
- [ČSN EN 12504-4 (731303) *Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu.* 1. 3. 2005. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [11]
- [ING.ANTON, Ondřej, Ph. D., Petr, Ph. D. DOC.CIKRLE a Věra, Ph. D. ING.HEŘMÁNKOVÁ. Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech. *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Brno: FAST VUT v Brno, Ústav stavebního zkušebnictví, 2014 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technicky-pruzkumech>
- [12]
- [ČSN ISO 13822 (730038) *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí.* 1. 1. 2015. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [13]
- [9207802953758.jpg. In: *Www.jadrove-vrty.cz* [online]. Praha: Josef Kuneš, 2019 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://jadrove-vrty.cz/elements/images/uploads/16168/9207802953758.jpg>
- [14]
- [1110251452110_2.jpg. In: *Www.strojeprozkusebnictvi.cz* [online]. Brno: LABTECH s.r.o., 2011 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: https://www.strojeprozkusebnictvi.cz/files/products_fotogaleries/product_photogallery_big/0/1110251452110_2.jpg
- [15]
- [D_3_Diagnosticky_pruzum_MMP.pdf. In: *Www.pbabi.datlab.eu* [online]. Praha: ČVUT, 2016 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: www.pbabi.datlab.eu/D_3_Diagnosticky_pruzum_MMP.pdf
- [16]
- [Pundit_2_Operating_Instructions_English.pdf. In: *Www.proceq.com* [online]. Switzerland: Proceq, 2017 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Pundit%20Operating%20Instructions_English.pdf
- [17]
- [016245o5.jpg. In: *Www.stavba.tzb-info.cz* [online]. Brno: tzb,info.cz, 2014 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0162/016245o5.jpg>
- [18]
- [0162/016245o7.jpg. In: *Www.stavba.tzb-info.cz* [online]. Brno: tzb,info.cz, 2014 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0162/016245o7.jpg>
- [19]

[Proceq-PM-P30-1.jpg. In: *Www.parsrotest.com* [online]. Ankara: parsrotest.com, [20] 2015 [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://parsrotest.com/wp-content/uploads/2018/10/Proceq-PM-P30-1.jpg>

[Schmidtovo-kladivko-proceq-typeLB.jpg. In: *Www.proinex.cz* [online]. Ostrava: [21] proinex.cz, 2017 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/images/stories/mereni-kvality-betonu/proceq/schmidtovo-kladivko-proceq-typeLB.jpg>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 Znázornění odběru jádrového vývrtu [14]	8
Obrázek 2 Příklad označení vývrtu	9
Obrázek 3 chemické reakce po aplikaci 1% roztoku fenolftaleinu	9
Obrázek 4 Kotoučová pila pro zakoncování zkušebních těles [15]	10
Obrázek 5 Příklad porušení zkoušeného tělesa [16]	11
Obrázek 6 Optimální porušení zkušebního tělesa dle normy ČSN 12390-3 [4]	11
Obrázek 7 Nepřijatelné porušení zkušebního tělesa dle ČSN 12390-3 [4]	11
Obrázek 8 Přímé prozvučení [17]	20
Obrázek 9 Nepřímé prozvučení [17]	20
Obrázek 10 Polopřímé prozvučení [17]	20
Obrázek 11 Příklad signálu prozvučení kvalitního betonu [17]	21
Obrázek 12 Příklad signálu prozvučení v případě povrchových poškození [17]	21
Obrázek 13 Příklad signálu prozvučení přes výztuž [17]	21
Obrázek 14 Příklad signálu prozvučení přes špatně zhutněné místo [17]	21
Obrázek 15 Odrazová sonda [17]	22
Obrázek 16 Schéma vysílání a přijímání ultrazvukových impulsů [17]	22
Obrázek 17 Příklad zobrazení skenu na displeji zařízení [17]	23
Obrázek 18 Příklad radiogramu prozářené části konstrukce [18]	24
Obrázek 19 Radiografická sestava v terénu [19]	24
Obrázek 20 Přístroj od firmy Proceq Profometer PM 630, sonda a vyhodnocovací zařízení ve formě tabletu [20]	25

Obrázek 21 Příklad zobrazení skenu výztuže přístrojem Profometer PM 630	26
Obrázek 22 Přístroj HILTI PS1000	27
Obrázek 23 Příklad provádění plošného skenu	27
Obrázek 24 Zobrazení liniového skenu ve 2D	27
Obrázek 25 Příklad zobrazení liniového skenu ve 3D pomocí softwaru HILTI Profis PS1000	28
Obrázek 26 Foto provedené sekané sondy na spodním líci průvlaku z důvodu zjištění výztuže	29
Obrázek 27 Schmidt LB pro cihelné zdivo [21]	30
Obrázek 28 Kalibrační vztah pro Schmidt LB vytvořený ústavem SZK FAST VUT v Brně	31
Obrázek 29 Ruční a elektrická Kučerova vrtačka	33
Obrázek 30 Schéma provedení vrtu do ložné spáry	33
Obrázek 31 Kalibrační vztahy pro stanovení pevnosti malty v tlaku při použití ruční nebo elektrické vrtačky odvozené výrobcem	34
Obrázek 32 Pohled na zkoumaný objekt	36
Obrázek 33 Zakreslení polohy zkoumaných míst ve schématickém půdorysu 1NP	38
Obrázek 34 Zakreslení polohy zkoumaných míst do schématického půdorysu 2NP	39
Obrázek 35 Pohled na sloup S1-1 na místo odebraných vývrtů V3 a V4	41
Obrázek 36 Foto odebraného vývrtu V3	41
Obrázek 37 Foto odebraného vývrtu V4 ze sloupu S1-1	42
Obrázek 38 Pohled na sloup S1-2 s odebranými vývrty V5 a V6	43
Obrázek 39 Foto na odebraný vývrt V5 ze sloupu S1-2	43
Obrázek 40 Foto odebraného vývrtu V6 ze sloupu S1-2	44
Obrázek 41 Pohled na průvlak P1-2 s odebraným vývrtem V7	45
Obrázek 42 Foto odebraného vývrtu V7	45
Obrázek 43 Pohled na průvlak P1-1 s odebraným vývrtem V8	46
Obrázek 44 Foto vývrtu V8	46
Obrázek 45 Pohled na průvlak P2-2 s odebraným vývrtem V1	47
Obrázek 46 Foto odebraného vývrtu V1	47
Obrázek 47 Pohled do vývrtu V2 z průvlaku P2-2 a do vývrtu s porušenou výztuží	48
Obrázek 48 Foto odebraného vývrtu V2	48
Obrázek 49 Nařezaná zkušební tělesa V1, V2 pochází z průvlaku v 2NP a tělesa V3, V4 jsou ze sloupů 1NP	49
Obrázek 50 Vyrobená zkušební tělesa V5, V6 jsou ze sloupů a tělesa V7-1, V7-2, V8 pochází z průvlaků 1NP	49
Obrázek 51 Schéma vyztužení průvlaku P1-1 v L/2	53
Obrázek 52 Schéma vyztužení průvlaku P1-1 ve vetknutí	53

Obrázek 53 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-1 v polovině rozpětí pro zjištění hlavní výztuže (Profometer PM 630)	54
Obrázek 54 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-1 v blízkosti vetknutí do sloupu za účelem zjištění výztuže při spodním líci (Profometer PM 630)	54
Obrázek 55 Sekaná sonda provedená na spodním líci průvlaku P1-1 v polovině rozpětí	54
Obrázek 56 Schéma vyztužení průvlaku P1-2 v L/2	55
Obrázek 57 Schéma vyztužení průvlaku P1-2 v blízkosti vetknutí	55
Obrázek 58 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-2 v polovině rozpětí (Profometer PM 630)	56
Obrázek 59 3D zobrazení skenu spodního líce průvlaku P1-2 v blízkosti vetknutí (HILTI PS1000)	56
Obrázek 60 Zobrazení skenu boční strany průvlaku P1-2 za účelem zjištění vzdáleností třmínků (Profometer PM 630)	56
Obrázek 61 Schéma vyztužení průvlaku P2-1 v L/2	57
Obrázek 62 Schéma vyztužení průvlaku P2-1 v blízkosti vetknutí	57
Obrázek 63 Radarový 2D sken boku průvlaku P2-1 za účelem lokalizace třmínků; na snímku lze jasně vidět vnitřní pruty čtyř-střížných třmínků (HILTI PS1000)	58
Obrázek 64 Zobrazení 3D skenu spodního líce průvlaku P2-1 v polovině rozpětí za účelem lokalizace hlavní výztuže (HILTI PS1000)	58
Obrázek 65 Zobrazení skenu spodního líce průvlaku P2-1 v blízkosti vetknutí (Profometer PM630)	58
Obrázek 66 Schéma vyztužení průvlaku P2-2 v L/2	59
Obrázek 67 Schéma vyztužení průvlaku P2-2 v blízkosti vetknutí	59
Obrázek 68 Sken spodního líce průvlaku P2-2 za účelem lokalizace hlavní výztuže uprostřed rozpětí (Profometer PM630)	60
Obrázek 69 Zobrazení skenu v blízkosti vetknutí za účelem nalezení výztuže při spodním okraji (Profometer PM630)	60
Obrázek 70 Sken spodního líce průvlaku P2-2 pro zjištění vzájemné vzdálenosti třmínků (Profometer PM630)	60
Obrázek 71 Schéma vyztužení sloupu S1-1	61
Obrázek 72 2D sken boční strany sloupu S1-1 (HILTI PS1000)	62
Obrázek 73 Zobrazení skenu boční strany sloupu S1-1 ve 3D (HILTI PS1000)	62
Obrázek 74 Sken stejné stěny sloupu S1-1 pro porovnání výsledků z HILTI PS1000	62
Obrázek 75 Schéma vyztužení sloupu S1-2	63

Obrázek 76 Sken boční strany sloupu S1-2 za účelem zjištění množství, polohy a průměru výztuže (Profometer PM630)	63
Obrázek 77 Odebrané cihly C1 a C2 z hromady suti	65
Obrázek 78 Celkem 10 zkušebních těles bylo vyřezáno z cihly č.1	65
Obrázek 79 Celkem 8 zkušebních těles bylo vyřezáno z cihly č.2	65
Obrázek 80 Zjednodušený model sestavený v programu Scia Engineer	71
Obrázek 81 Půdorysné rozměry modelu	71
Obrázek 82 Výškové rozměry modelu	72
Obrázek 83 Ostatní stálé zatížení (betonová mazanina a skladba střechy) působící na model	72
Obrázek 84 Proměnné zatížení (kategorie B a sních) na celé ploše	73
Obrázek 85 Proměnné zatížení šach 1	73
Obrázek 86 Proměnné zatížení šach 2	74
Obrázek 87 Průběh ohybových momentů na průvlaku	74
Obrázek 88 Průběh posouvajících sil na průvlaku	74
Obrázek 89 Průběh ohybových momentů na sloupu	75
Obrázek 90 Půdorysné schéma 1NP s vyznačeným posuzovaným průřezem průvlaku P1	75
Obrázek 92 Schematický příčný řez průvlakem a skladbou stropu nad 1NP	76
Obrázek 91 Podélný řez konstrukcí A-A	76
Obrázek 93 Schematický řez sloupem S1	81
Obrázek 94 Interakční diagram sestavený z výše vypočtených bodů a vyneseními hodnotami zatížení M_{0Ed} a N_{Ed} (červená křivka vymezuje oblast pro posudek; zelená značí posuzované hodnoty zatížení)	84

11 Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnoty převodního součinitele $K_{cyl,cube}$ dle normy ČSN EN 12390-3 [4]	13
Tabulka 2 Hodnoty součinitele k	14
Tabulka 3 Minimální požadovaná pevnost betonu v tlaku v konstrukci dle ČSN EN 13791 [5]..	14
Tabulka 4 Hodnoty součinitele vlivu šířky a výšky δ (lineární interpolace je povolena)	32
Tabulka 5 Zkoušky pro stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku	37
Tabulka 6 Zkoušky pro zjištění způsobu vyztužení byly v případě průvlaku provedeny v blízkosti sloupu a v polovině rozpětí	37
Tabulka 7 Zkoušky pro stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku	39
Tabulka 8 Pro stanovení pevnosti zdiva z CPP	39

Tabulka 9 Zkoušky pro zjištění způsobu vyztužení byly v případě průvlatu provedeny v blízkosti sloupu a v polovině rozpětí	39
Tabulka 10 Naměřené veličiny a objemová hmotnost vzorků ze sloupů.....	50
Tabulka 11 Stanovení válcové a krychelné pevnosti v tlaku na vzorcích ze sloupů.....	50
Tabulka 12 Statistické vyhodnocení dílčích pevností betonu v tlaku na vzorcích ze sloupů	50
Tabulka 13 Naměřené veličiny a objemová hmotnost vzorků z průvlatů	51
Tabulka 14 Stanovení válcové a krychelné pevnosti betonu v tlaku na vzorcích z průvlatů.....	51
Tabulka 15 Statistické vyhodnocení dílčích pevností betonu v tlaku na vzorcích z průvlatů	51
Tabulka 16 Hodnoty odrazu Schmidtova kladívka na cihlách ve sloupech 2NP	64
Tabulka 17 Výsledky laboratorních zkoušek zkušebních těles z vybraných cihel	66
Tabulka 18 Výsledky laboratorních zkoušek zkušebních těles z vybraných cihel	67
Tabulka 19 Upřesněné výsledky nedestruktivních zkoušek.....	68
Tabulka 20 Výsledky semidestruktivní zkoušky malty ruční Kučerovou vrtačkou	69
Tabulka 21 Výsledná návrhová pevnost zdiva v tlaku f_d	69
Tabulka 22 Hodnoty vypočteného charakteristického zatížení na konstrukci	70
Tabulka 23 Materiálové charakteristiky betonu průvlatu P1	77
Tabulka 24 Materiálové charakteristiky vyztuže v průvlatu P1	77
Tabulka 25 Základní veličiny pro výpočet M_{Rd}	77
Tabulka 26 Základní veličiny potřebné k výpočtu V_{Rd}	79
Tabulka 27 Základní veličiny pro posouzení sloupu na kombinaci N_{Ed} a M_{Ed}	80
Tabulka 28 Materiálové charakteristiky betonu sloupu C8/10.....	80