

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Jan Voříšek

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Diagnostika mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n. (mimo) -
Pardubice - Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Jan Voříšek

Bakalářská práce

2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan Voříšek
Osobní číslo: D13278
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: Dopravní stavitelství
Název tématu: Diagnostika mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614
Pardubice hl.n. (mimo) - Pardubice - Rosice nad Labem-jihní
zhlaví.
Zadávací katedra: Katedra dopravního stavitelství

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Proveďte diagnostiku (ultrazvukový snímač) stavu nátěru mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n. (mimo) - Pardubice-Rosice nad Labem-jihní zhlaví. V rámci měření rovněž ověřte v nezbytném rozsahu tloušťky základního materiálu nosných částí.

- Program zkoušky (dle potřeby)
- Deník zkoušky
- Zprávu o měření (dle potřeby)
- Protokol o zkoušce
- Metodiku měření
- Fotodokumentace

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- Manuál k ultrazvukovému tloušťkoměru TT300
- Manuál k ultrazvukovému tloušťkoměru CM-8821
- Bakalářská práce Bc. Fišer, Pardubice 2011
- Diplomová práce Ing. Collino, Pardubice 2007
- Protokol o podrobné mostní prohlídce ŠŽDC 2013 - důvěrné
- Literatura související s principu ultrazvukového měření

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.

Katedra dopravního stavitelství

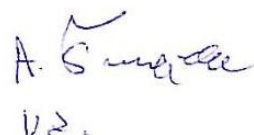
Datum zadání bakalářské práce: **30. listopadu 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2016**



doc. Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Vladimír Doležel, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. února 2016

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti, vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1. autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Benešově dne 30. 7. 2016

Jan Voříšek

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Bohumilu Culkovi, Ph.D. nejen za pomoc, připomínky a usměrnění, které mi poskytl, ale především také za trpělivost, se kterou mou bakalářskou práci vedl. Dále děkuji Ing. Petru Novákovi a Ing. Ivanu Fialovi za poskytnuté informace a výkresové materiály ocelové konstrukce zkoumaného mostu.

Anotace

Práce je věnována diagnostice mostní ocelové konstrukce za pomoci ultrazvukové nedestruktivní metody. Konkrétně se jedná o měření tloušťky vrstvy nátěru a tloušťky základního materiálu pomocí ultrazvukových přístrojů. V první části se práce zabývá stručným popisem metod nedestruktivního zkoušení. Druhá část popisuje teorii ultrazvuku a blíže specifikuje ultrazvukovou nedestruktivní metodu. V poslední části práce jsou popsány použité ultrazvukové přístroje (CM-8821 a MT280) při diagnostice a jsou zde shrnuty výsledky měření.

Klíčová slova

Ocelová mostní konstrukce, diagnostika, ultrazvuk, ultrazvukové přístroje, tloušťka nátěru, tloušťka materiálu

Annotation

The work is dedicated to the diagnosis of bridge steel construction with the help of ultrasonic nondestructive methods. Specifically, the measurement of the thickness of paint layers and plate thickness using ultrasonic instruments. The first part deals with a brief description of NDT methods. The second part describes the theory of ultrasound and further specifies ultrasonic nondestructive method. The last part describes the used ultrasonic devices (CM-8821 and MT280) for diagnosis and are summarized measurement results.

Keywords

Steel bridge construction, diagnostics, ultrasound, ultrasound equipment, paint thickness, thickness of material.

Obsah

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK	10
1. ÚVOD	11
1.1 Zkoumaný železniční most „Ke Trojici“	11
2. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ (NDT)	12
2.1 Moderní nedestruktivní defektoskopie.....	12
2.2 Klasifikace metod NDT	12
2.3 Vizuální metoda	13
2.4 Akustická emise	13
2.5 Termografie.....	14
2.6 Průmyslová radiologie	15
2.7 Magnetická defektoskopie	16
2.8 Elektro-magnetická defektoskopie (metoda vířivými proudy)	17
2.9 Kapilární defektoskopie	17
3. ULTRAZUK – NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ.....	19
3.1 Historie ultrazvuku a jeho využití	19
3.2 Základní principy a pojmy ultrazvuku	20
3.2.1 Definice Ultrazvuku	20
3.2.2 Ultrazukové vlnění (princip, veličiny a vztahy).....	20
3.2.3 Druhy ultrazukových vln.....	23
3.2.4 Rychlosti šíření ultrazukových vln.....	25
3.3 Ultrazukové sondy	26
3.3.1 Piezoelektrický jev	26
3.3.2 Akustické vazba	26
3.3.3 Piezoelektrické sondy.....	27
3.3.4 Ultrazukové pole sondy.....	28
3.4 Využití ultrazvuku v technické praxi	29
3.5 Metody zkoušení ultrazukem	29
3.5.1 Impulzová odrazová metoda	30
3.5.2 Průchodová odrazová metoda	30
3.6 Měření tloušťky materiálu ultrazukem.....	31

4. MĚŘENÍ POMOCÍ ULTRAZVUKOVÝCH PŘÍSTROJŮ	32
4.1 Digitální tloušťkoměr povlakových nátěrů CM-8821	32
4.1.1 Základní charakteristika přístroje CM-8821	32
4.1.2 Popis jednotlivých částí přístroje	33
4.1.3 Kalibrace přístroje CM-8821	33
4.2 Ultrazvukový tloušťkoměr MT280	33
4.2.1 Základní charakteristika přístroje MT280	33
4.2.2 Popis jednotlivých částí přístroje MT 280	35
5. ULTRAZVUKOVÁ DIAGNOSTIKA MOSTU „KE TROJICI“	36
5. 1 Cíl.....	36
5.2 Popis konstrukce	36
5.3 Zkušební metoda	37
5.4 Měřené veličiny a specifikace měřených bodů	37
5.5 Specifikace použitých přístrojů.....	39
5.6 Měřicí místa (rozmístění bodů na konstrukci)	39
5.7 Naměřené údaje.....	40
5.7.1 Měření tloušťky nátěru.....	41
5.7.2 Měření tloušťky základního materiálu	44
5.7.3 Vyhodnocení jednotlivých prvků konstrukce	45
6. ZÁVĚR	47
7. POUŽITÁ LITERATURA.....	49
Příloha č. 1 - Mostní ocelová konstrukce (základní rozměry)	
Příloha č. 2 - Měřené body na konstrukci	
Příloha č. 3 - Protokol o podrobné prohlídce	
Příloha č. 4 - Fotodokumentace	
Příloha č. 5 - Deník měření	

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Pohled na mostní konstrukci zprava	11
Obrázek 2: Schéma principu akustické emise a jeho detekce.[6].....	14
Obrázek 3: Infračervené spektrum [8]	15
Obrázek 4: Princip prozařování ionizačním zářením. [2].....	16
Obrázek 5: Detekce trhliny v závislosti na jejím směru vůči toku magnetického pole. [11] ...	16
Obrázek 6: Vířivé proudy – princip. [2]	17
Obrázek 7: Kapilární metoda – postup. [14].....	18
Obrázek 8: Harmonické kmitání elementu [16]	20
Obrázek 9: Podélné vlny. [4]	23
Obrázek 10: Příčné vlny. [4].....	24
Obrázek 11: Povrchové vlny. [4].....	24
Obrázek 12: Nahoře dilatační desková vlna, dole ohybová desková vlna.[4]	25
Obrázek 13: a) přímá sonda b) dvojitá sonda c) úhlová sonda. [16]	27
Obrázek 14: Fotografie jednotlivých sond. [19].....	28
Obrázek 15: Teoretické ultrazvukové pole sondy. [2].....	28
Obrázek 16: Impulzová odrazová metoda: a) kontaktní vazba, b) bezkontaktní vazba, c) imerzní vazba. [2]	30
Obrázek 17: Průchodová odrazová metoda: a) kontaktní vazba b) bezkontaktní vazba. [2]....	30
Obrázek 18: Popis jednotlivých částí přístroje. [21].....	33
Obrázek 19: Struktura a vzhled přístroje [22]	35
Obrázek 20: Části hlavní jednotky.....	35
Obrázek 21: Rozmístění bodů na konstrukci – tloušťka nátěru.....	39
Obrázek 22: Rozmístění bodů na konstrukci – tloušťka materiálu.....	40
Tabulka 1: Rychlosti ultrazvukových vln v materiálech. [4].....	25
Tabulka 2: Digitální tloušťkoměr – příslušenství.[21]	32
Tabulka 3: Digitální tloušťkoměr – specifikace. [21].....	32
Tabulka 4: Ultrazvukový tloušťkoměr – příslušenství [22].....	34
Tabulka 5: Ultrazvukový tloušťkoměr – specifikace [22].....	34
Tabulka 6: Popis částí hlavní jednotky [22]	35
Tabulka 7: Měřené veličiny.	37
Tabulka 8: Specifikace měřených míst na konstrukci – tloušťka nátěru.	38
Tabulka 9: Specifikace měřených míst na konstrukci – tloušťka základního materiálu.	38
Tabulka 10: Použité přístroje a pomůcky.	39
Tabulka 11: Vyhodnocení jednotlivých prvků na ocelové konstrukci.	46

1. ÚVOD

Cílem bakalářské práce je seznámení s defektoskopickými metodami neboli metodami nedestruktivního zkoušení. Podrobněji je zde pak popsána ultrazvuková metoda a její praktické využití na železniční ocelové mostní konstrukci „Ke Trojici“ při měření tloušťky vrstev nátěru a tlouštěk základního materiálu za pomoci vybraných ultrazvukových přístrojů.

1.1 Zkoumaný železniční most „Ke Trojici“

Železniční most se nachází ve Východních Čechách, v Pardubickém kraji, v okrese Pardubice na železniční trati: Pardubice hl.n. (mimo) - Pardubice - Rosice nad Labem - jižní zhlaví v km 1,589, traťový úsek 1614. Souřadnice středu objektu: GPS: 50°2'7.345"N, 15°44'46.724"E. Mostní konstrukce se nachází v širé trati a je umístěna přes účelovou zpevněnou komunikaci. Zleva k objektu přiléhá traťový úsek 1611 Havlíčkův Brod (mimo) (viaZETOR H.B) – Pardubice – Rosice nad Labem – jižní zhlaví. Evidenční km 91,305.

Most byl vyroben v roce 1871, ale k obnově a opravě samotné mostní ocelové konstrukce došlo v roce 2004 (vyznačeno na úložném prahu opěry). Jedná se tedy o ocelovou, prostou, plnostěnnou trémovou konstrukci bez mostovky. Most je zkonstruovaný jako jednopólový, jednokolejný. Jednotlivé tvary „I“, „L“ a „U“ profilů, tvořící základní prvky (hlavní nosníky, příčníky, podélná ztužení, konzole nesoucí chodníkové rampy), jsou spojeny pomocí nýtů. Fotodokumentace mostní konstrukce je součástí Přílohy č. 4.



Obrázek 1: Pohled na mostní konstrukci zprava

2. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ (NDT)

Nedestruktivní zkoušení, neboli nedestruktivní defektoskopie je diagnostická metoda, která je na základě měřitelných, nebo sledovaných fyzikálních jevů schopna odhalit primárně vady v materiálech (kovových i nekovových) bez toho aniž by došlo k porušení daného zkoumaného výrobku. V dnešní době je dokonce možné takovéto vady přesně stanovit, lokalizovat a odhalit jejich rozměry. Cílem defektoskopie ovšem nemusí vždy být jen hledání vnitřních vad, ale také zjištění, zda má výrobek stále správné rozměry a zda je podle daných technických podmínek provozuschopný. [1], [2]

Nedestruktivní defektoskopie (NDT) nepředstavuje jednu všeobecnou metodu, ale zahrnuje řadu metod, a to z důvodu, že neexistuje žádná univerzální metoda, nedestruktivní analýzy, kterou by bylo možné využít za všech podmínek a okolností. [2]

2.1 Moderní nedestruktivní defektoskopie

- Zkoumá celistvost výrobku a tím zajišťuje garanci spolehlivosti.
- Předchází selháním výrobků vlivem poruch.
- Zajišťuje spokojenost zákazníka.
- Vylepšuje design výrobků.
- Řídí výrobní procesy.
- Snižuje výrobní náklady.
- Zajišťuje úroveň deklarované kvality.
- Zlepšuje provozní připravenost.

2.2 Klasifikace metod NDT

Existuje systém, který klasifikuje šest hlavních kategorií NDT. Tento systém vytvořil Americký výbor (NMAB – The Materials Advisory Board):

- Vizuelní
- Pronikavé záření (radiace)
- Magneticko-elektrické
- Mechanické vibrace
- Termální
- Chemické/elektrochemické

2.3 Vizuální metoda

Vizuální kontrola je jednoduchá metoda nedestruktivní defektoskopie, kterou lze v určitých případech provádět dokonce pouhým okem. Můžeme pomocí ní kontrolovat povrch materiálu, jeho vady (trhliny, praskliny, koroze atd.) a také kontrolovat samotný tvar daného objektu. [3]

Rozeznáváme 2 druhy vizuální kontroly:

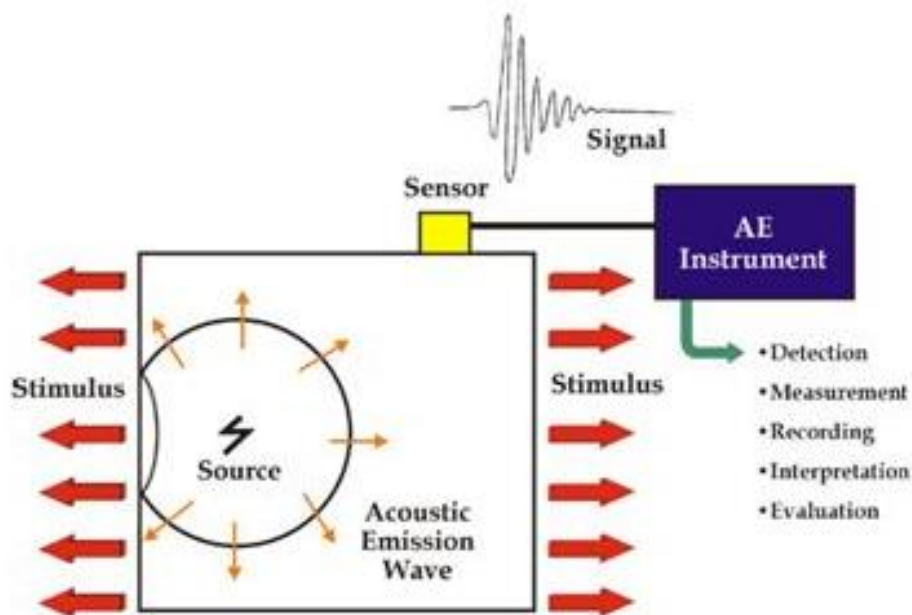
- Přímá vizuální kontrola – provádí se pomocí pouhého oka nebo s pomocí jednoduchých pomůcek jako je (např. lupa, zrcátko). Měla by být zajištěna optimální vzdálenost oka pozorovatele od objektu (600mm), úhel mezi okem a pozorovanou plochou na které se daný objekt nachází (30°) a také by mělo být zajištěno dostatečné osvětlení (minimálně 500 luxů). [4]
- Nepřímá vizuální kontrola – v případech, kdy je sledovaný objekt z určitého důvodu nepřístupný. Je potřeba použít dokonalejších pomůcek např. videoskop, přístroje s optickými vlákny (endoskopy, přístroje se světelnými vlákny apod.) [4]

2.4 Akustická emise

Akustická emise je nejen fyzikální jev při, němž vznikají akustické signály (vlny) vysílané mechanicky nebo tepelně namáhaným tělesem, ale jedná se zároveň také o nedestruktivní pasivní metodu, která je na tomto jevu založena. [5]

Při uvolnění energie ve zdroji, vlivem vnitřních nebo vnějších sil, dochází k transformaci této energie na impulzy, které se šíří materiálem jako elastické napěťové vlny. Potom, co vlna dopadne na povrch tělesa, částečně dojde k jejímu odrazu a částečně k další transformaci na povrchovou či deskovou vlnu. Senzor umístěný na zdroji převede mechanické vlnění na elektrický signál a tento signál označujeme jako akustickou emisi (obr. 2). Pro detekci mechanického vlnění se používají širokopásmové piezoelektrické senzory (detekce od 100kHz do 4MHz). [2]

Akustická emise se využívá například při detekci a lokalizaci vnitřních mikrotrhlin, rozevírání a svírání ve stěnách, u konstrukcí mostů apod. [2]



Obrázek 2: Schéma principu akustické emise a jeho detekce.[6]

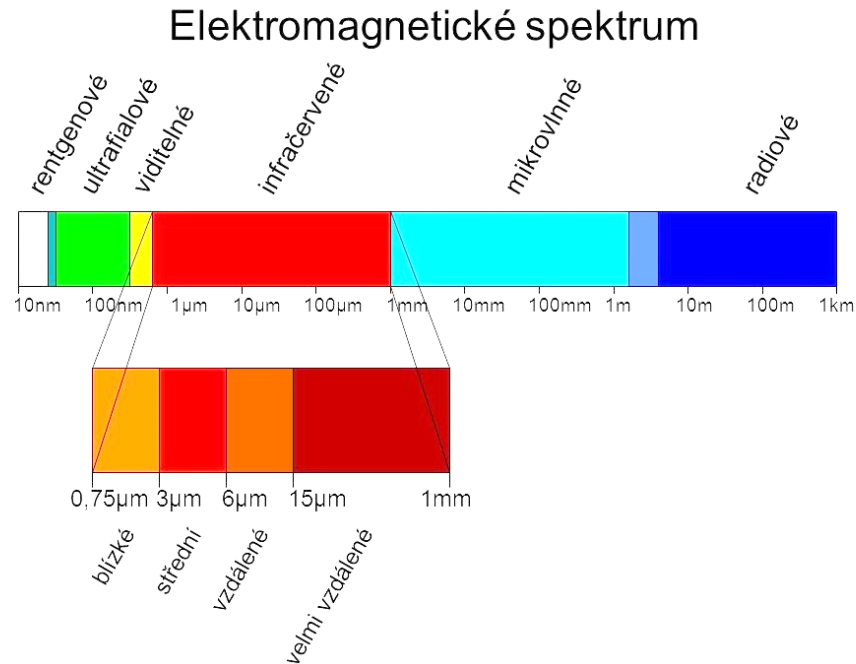
2.5 Termografie

Termografie je nedestruktivní metoda založená na zobrazení a vyhodnocení teplotního pole povrchu testovaného objektu. [2]

Jednotlivé metody termografie můžeme rozdělit na: dotykovou, bezdotykovou a pasivní, aktivní. K získání teplotního pole (termogramu) u dotykové metody se využívají indikátory na bázi kapalných krystalů se záznamem CCD kamerou. Bezdotyková termografie je založena na základě infračerveného spektra (obr. 3) elektromagnetického záření, které vyzařuje daný objekt, oblast vlnových délek pro dané spektrum je od 0,75 μm do 15 μm . Pro nedestruktivní testování materiálu objektu se využívá krátkovlnná oblast infračerveného záření pod 2 μm do 5 μm a dlouhovlnná oblast záření od 7 μm do 13 μm . [2], [7]

Pasivní termografie – zobrazování teplotních polí povrchů elektrických nebo mechanických objektů, při jejichž činnosti vzniká teplo (vliv tření; např. převodovka). Jako hodnotící veličina je daný teplotní rozdíl ve vybraných místech. [2]

Aktivní termografie – při aktivní termografii je v tělese vyvolána tepelná vlna. Její vliv na teplotu povrchu tělesa poté snímá termografická kamera. Defekty v podpovrchové vrstvě se projevují rozdílností teplot na povrchu tělesa. Zdroj tepla, jako je halogenová lampa, pulzní laser nebo dokonce teplý proudící vzduch, se umísťuje vně tělesa. [2]



Obrázek 3: Infračervené spektrum [8]

2.6 Průmyslová radiologie

Jedná se o další metodu nedestruktivního zkoušení materiálů, která pracuje na základě použití rentgenového (ionizačního) záření, gama záření a také neutronů, elektronů a protonů. Vlnové délky rentgenového záření se pohybují od 10^{-14} m do 10^{-19} m, gama záření od $5 \cdot 10^{-13}$ m do 10^{-10} m. [9]

Princip této metody spočívá v prozařování daného materiálu (objektu) ionizačním zářením, kdy při průchodu materiálem dochází k jeho zeslabení. Zeslabení se mění v důsledku povrchových i vnitřních materiálových vad (trhlin, dutin, směšků aj.). [9]

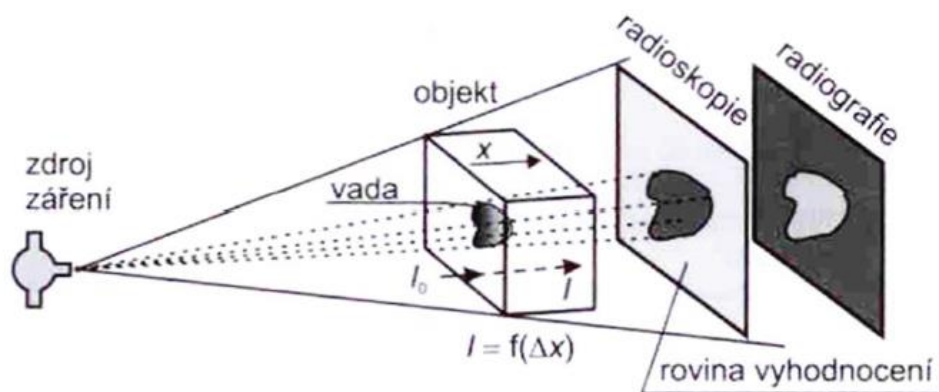
Dle ČSN EN 1330-3: „je zeslabení definováno jako snížení intenzity svazku rentgenového nebo gama záření při průchodu látkou, způsobené absorbcí a rozptylem“

Průmyslové rentgeny pro nedestruktivní defektoskopii se dají rozdělit do dvou skupin [9]:

- radiografie – rentgenování na film nebo paměťovou folii.
- radioskopie – rentgenování v reálném čase, za pomoci zesilovače obrazu nebo pomocí detektoru, který převádí rentgenové záření do oblasti viditelného světla.

Na obr. č. 4 je znázorněn princip prozařování ionizačním zářením.

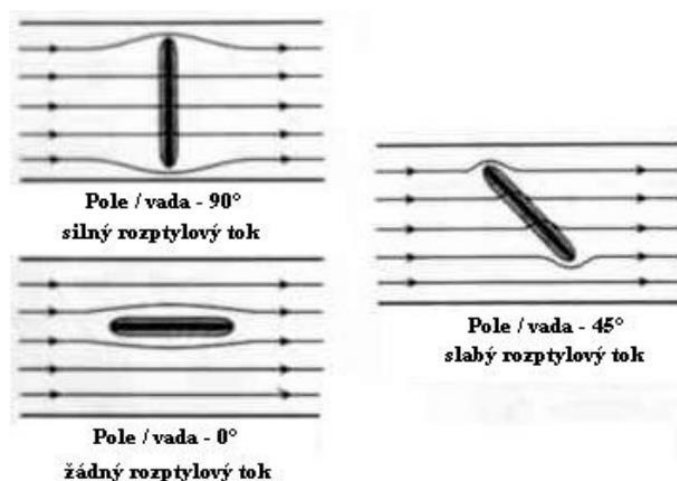
Kde, I_0 je dopadající intenzita záření
 I je intenzita záření procházející materiálem



Obrázek 4: Princip prozařování ionizačním zářením. [2]

2.7 Magnetická defektoskopie

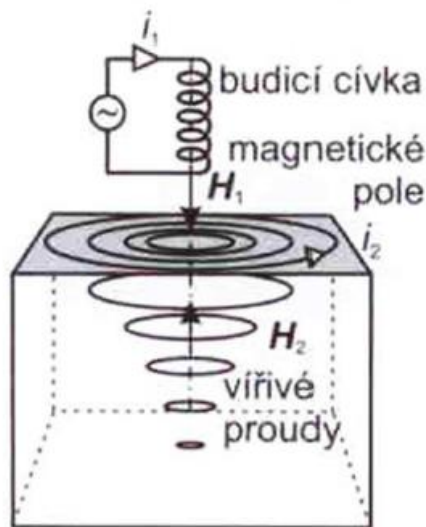
Princip magnetické defektoskopie spočívá v zmagetizování objektu, na který je nanesen zkušební prostředek (prášek nebo suspenze) a následném vyhodnocení magnetického toku v okolí poškozeného místa. Použití této metody je možné pouze na feromagnetických materiálech (jdou zmagetizovat) a lze s ní detekovat pouze trhliny na povrchu nebo těsně pod povrchem (max. 10mm). Trhlina musí být kolmo na magnetické pole, tedy ve směru toku elektrického proudu. Pokud je s magnetickým polem rovnoběžná, pak detekce dané trhliny je téměř nulová (viz. obr. 5). Trhlinu můžeme, díky nanesenému zkušebnímu prostředku, též zviditelnit pod UV osvětlením. [10], [11]



Obrázek 5: Detekce trhliny v závislosti na jejím směru vůči toku magnetického pole. [11]

2.8 Elektro-magnetická defektoskopie (metoda vířivými proudy)

Zkoušky vířivými proudy fungují na bázi elektromagnetické indukce. Jestliže se nachází vodivá smyčka (cívka snímače) v proměnném magnetickém poli, které je generováno budicí cívkou, vzniká v ní indukované elektrické pole – tzv. vířivé proudy, které prochází zkoumaným předmětem. S přibývajícím hloubkou vniku elektromagnetického pole, klesá proudová hustota (obr. 6). Případné defekty v daném objektu vyvolají změny v tomto elektro-magnetickém poli a tyto změny jsou posléze zaznamenány. [2], [12]



Obrázek 6: Vířivé proudy – princip. [2]

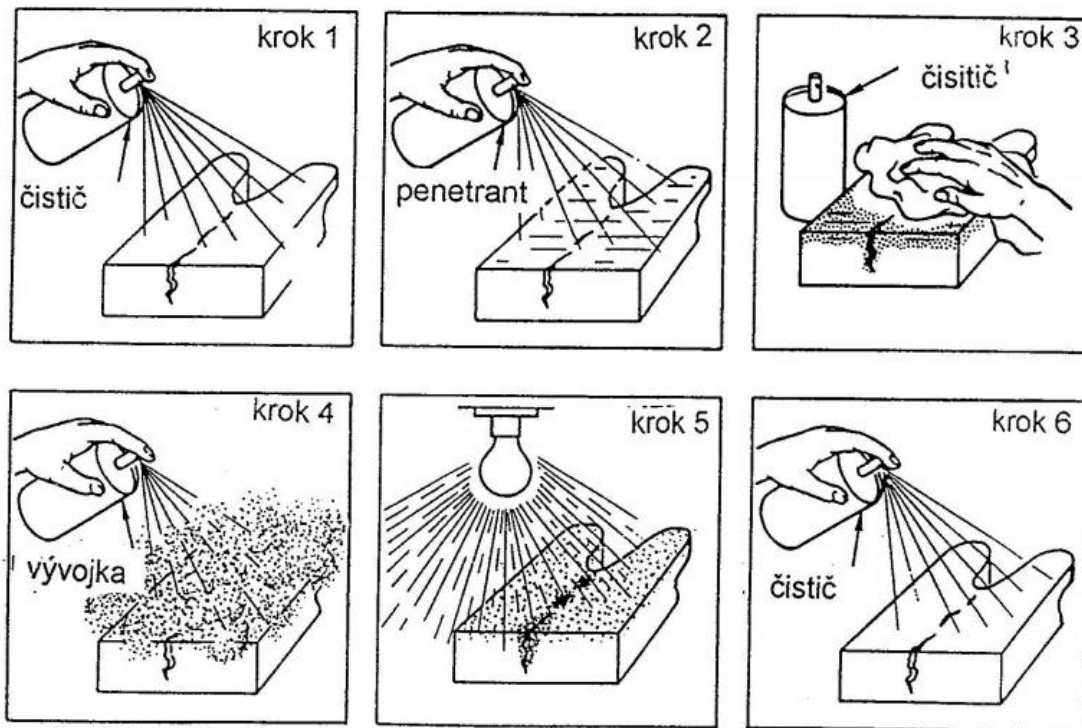
Tato metoda se využívá především pro detekci diskontinuit, jakou jsou: trhliny, praskliny, měření tloušťky sten, kontrola povrchových vrstev kovů, měření tloušťky laků, kontrola mechanického napětí, kontrola záměn materiálů apod. [12]

2.9 Kapilární defektoskopie

Jedna z nejstarších defektoskopických metod. Vyvinula se již v 19. století ze zkoušek těsnosti spojů pomocí petroleje a vápenného mléka. [12]

Daná metoda pracuje na principu kapilární elevace, tj. fyzikální jev, který popisuje chování kapalin na povrchu materiálů. Na očištěný povrch zkoušené součásti se nanáší vhodný penetrační prostředek, který během svého působení proniká do případných defektů. Po určité době se povrch součásti očistí od přebytečného detekčního prostředku, osuší se její povrch a nanese vývojka. Defekty, ve kterých se uchytil detekční prostředek, se postupem času začnou zvýrazňovat.

Vyhodnocení se provádí u větších vad prakticky hned, menší vady se vyhodnocují asi po 5-20 min. Přestože se metoda využívá především pro kovové materiály (austenitické oceli, slitiny barevných kovů apod.), je možno kapilární metodu použít prakticky pro všechny materiály s výjimkou materiálů porézních nebo materiálů reagujících s penetrantem. [13], [14]



Obrázek 7: Kapilární metoda – postup. [14]

3. ULTRAZUK – NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ

3.1 Historie ultrazvuku a jeho využití

Ultrazvuk v dnešní době nachází uplatnění téměř ve všech oborech přírodních věd i ve všech odvětví techniky. Rozeznáváme dva druhy ultrazvuku. Aktivní, který pracuje s velkými intenzitami, díky nimž může obrábět, čistit součásti, dá se s jeho pomocí svářet, vyrábět emulze a lze se s ním setkat i v lékařské terapii. Naproti tomu ultrazvuk pasivní, s malými intenzitami, je vhodný pro diagnostické účely a pro různé měřicí techniky jako je třeba právě nedestruktivní zkoušení. [15]

Za průkopníka pasivní ultrazvukové metody se dá považovat sovětský fyzik S. J. Sokolov, který v letech 1929 -1935 zkoumal a studoval použití ultrazvukových vln k detekci kovových předmětů a také publikoval návrh postupu zjišťování vnitřních nehomogenit prostředí ultrazvukem. V roce 1931 fyzik Mulhauser získal patent pro používání ultrazvukových vln k detekování vad v pevných látkách. Firestone a Simons vyvinuli pulsní ultrazvukovou kontrolu na bázi pulsní-echo metody. Největší rozmach ovšem přichází až v 50. letech. V této době se lze setkat s ultrazvukovými defektoskopy téměř ve všech strojírenských odvětví, v dopravě, chemii, stavebnictví, geofyzice a nebo také v lékařství, kdy Japonští průzkumníci začali zkoumat ultrazvuk v oblasti lékařské diagnostiky. V té době Japonští vědci představili výsledky ultrazvuku při detekci žlučových kamenů nebo nádorů. V 60. letech vědci ve Spojených státech přišli s mnoha novými objevy a navázali různými vylepšeními na objevy předchozí. Naučili se používat ultrazvuk například k detekci počínající rakoviny, k vizualizaci nádorů atd. a to vše při zobrazení v reálném čase za pomoci CRT obrazovky. [15]

Ultrazvuk nachází uplatnění i mimo pole defektoskopie a lékařství, ať už je to měření tloušťek, elastických konstant, mechanických napětí, statických tlaků nebo měření výšek hladin kapalin, průtoku kapalin a plynů v potrubí. Chemický průmysl pak využívá ultrazvuku například k laboratorní a provozní průmyslové analýze vlastností kapalin (koncentrace, hustota, viskozita). [15]

3.2 Základní principy a pojmy ultrazvuku

3.2.1 Definice Ultrazvuku

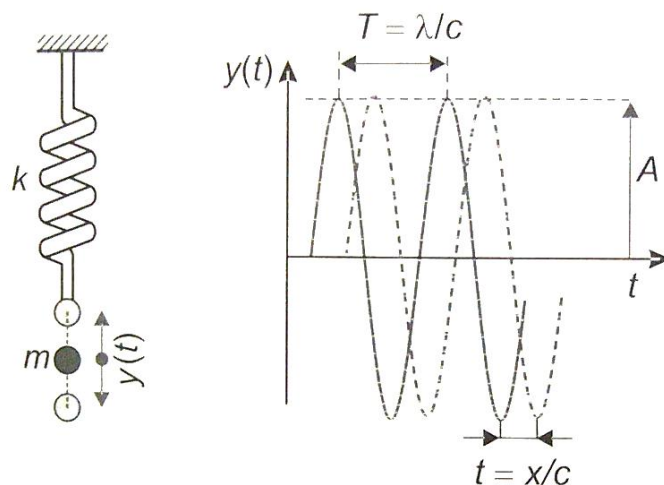
„Ultrazvuk, stejně jako zvuk a hluk, je definován jako mechanické kmitání částic (hmotných elementů) kolem rovnovážné polohy, šířící se ultrazvukovou vlnou v pružném prostředí ve frekvenčním rozsahu nad 20 kHz.“ [16]

Pro defektoskopii se běžně užívá frekvenční rozsah od 100 kHz do 50 MHz, výjimečně až do 200 MHz.

3.2.2 Ultrazvukové vlnění (princip, veličiny a vztahy)

Ultrazvukové (resp. zvukové) vlny vznikají v důsledku vynuceného kmitání jednotlivých částic kolem jejich rovnovážné polohy. Částice svou kmitavou energii přenáší prostřednictvím pružných vazeb na částice sousední, čímž vzniká vlna šířící se prostředím rychlostí c , která závisí na fyzikálních vlastnostech tohoto prostředí a na typu vlny. Vlny musí být vždy vázány na hmotné prostředí (pevná, kapalná nebo plynná forma skupenství), které umožní jejich přenos. Všechny částice kmitají s totožnou amplitudou A , ale s různým fázovým posunutím. Toto kmitání molekul částic se opakuje v pravidelných vzdálenostech (vlnová délka λ) a s určitým časovým intervalem (doba kmitu, perioda T). [16], [17]

Z výše uvedeného vyplývá, že ultrazvukové vlnění lze popsat prostřednictvím harmonického, lineárního, netlumeného oscilátoru o jednom stupni volnosti. Každé vychýlení hmotného elementu (částice) z rovnovážné polohy je vráceno do své původní polohy tzv. pružnou silou (obr. 7). [16]



Obrázek 8: Harmonické kmitání elementu [16]

U netlumeného harmonického lineárního oscilátoru je pohyb bodu periodický a harmonický. Harmonické kmitání hmotných elementů při malých amplitudách y je charakterizováno vlnovou rovnicí pro jeden směr šíření [16]:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = c^2 \frac{d^2y}{dx^2}. \quad (3.1)$$

Partikulární řešení výše uvedené rovnice dává okamžitou akustickou výchylku y pro šíření harmonické vlny, rychlostí c , ve směru x a dané hodnotě dráhy x [18]:

$$y = A \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right). \quad (3.2)$$

Po úpravě [16]:

$$y = A \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right). \quad (3.2)$$

kde A je amplituda výchylky (m),
 ω je úhlová rychlost ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$),
 T je perioda, doba kmitu (s),
 λ je vlnová délka (m),
 c je rychlost šíření vlny prostředím ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),
 x je souřadnice polohy částice (m),
 f je frekvence kmitů částice (Hz).

Úhlová rychlost ω částice kmitající kolem své rovnovážné polohy má rovnici:

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}. \quad (3.3)$$

Mezi dobou kmitu T a frekvencí f platí následující vztah:

$$T = \frac{1}{f}. \quad (3.4)$$

Vlnová délka λ je závislá na době kmitu T a rychlosti vlnění c :

$$\lambda = c \cdot T. \quad (3.5)$$

Rychlost šíření ultrazvuku c je materiálová konstanta, kterou určují pružnostní konstanty materiálu E (modul pružnosti v tahu), G (modul pružnosti ve smyku) a μ (Poissonovo číslo). [17]

Tzn., že rychlost šíření ultrazvuku je závislé na materiálu, ve kterém se šíří, ale také na typu vlny, pomocí které se šíří. Druhy vln a rychlosti šíření v některých materiálech jsou popsány v kapitolách 3.2.3 resp. 3.2.4.

Akustická rychlost (v) kmitající částici je dána derivací vztahu (3.2) [16]:

$$v = \frac{dy}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right). \quad (3.6)$$

Akustický tlak (p), je potom dán pomocí vztahu [16]:

$$p = \rho \cdot c \cdot v = p_A \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = A \cdot \omega \cdot \rho \cdot c \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right), \quad (3.7)$$

kde p_A je amplituda akustického tlaku,
 ρ je hustota prostředí.

Akustický tlak p je pro měření ultrazvukem klíčový, jelikož je úměrný elektrickému napětí na pólech ultrazvukové piezoelektrické sondy.

Akustický odpor (akustická impendace) Z pro rovinnou podélnou vlnu je dán vztahem [16]:

$$Z = \rho \cdot c \quad [Pa \cdot s \cdot m^{-1}]. \quad (3.8)$$

Potom akustický tlak [16]:

$$p = Z \cdot v = Z \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right). \quad (3.9)$$

Při ultrazvukovém vlnění dochází k přenosu energie, která se šíří prostředím stejně rychle jako samotná vlna. Pro popis přenášené energie se zavádí další veličiny:

Měrný výkon N rovinné vlny, pro který platí vztah [16]:

$$N = \frac{P}{S \cdot \cos \vartheta}. \quad (3.10)$$

Při $\cos \vartheta = 1$ je

$$N = p \cdot v = \rho \cdot c \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot \cos^2 \omega \left(t - \frac{x}{c} \right). \quad (3.11)$$

kde $S \cdot \cos \vartheta$ je průmět plochy S do kolmého směru šíření vlny,

P je množství akustické energie za jednotku času ($P = \rho \cdot S \cdot v$).

Dále se v souvislosti s přenášenou energií zavádí tzv. Intenzita vlny I pro níž platí [16]:

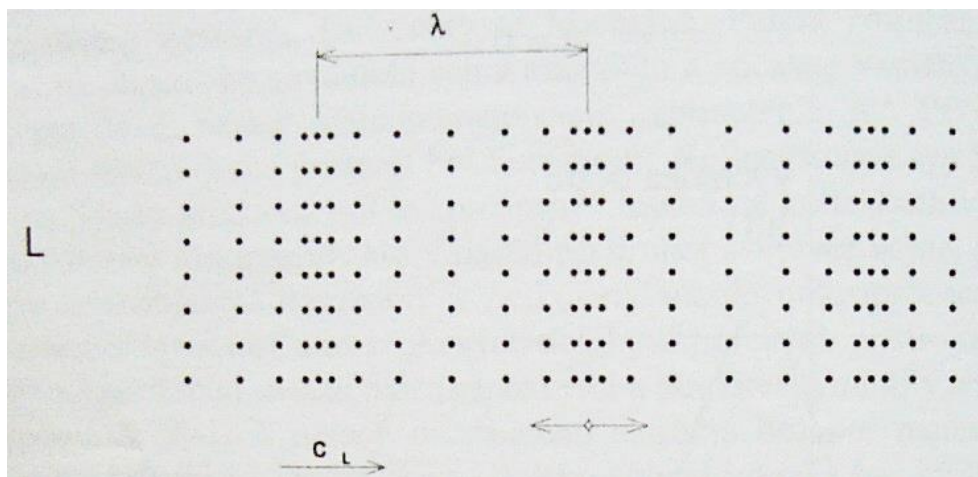
$$I = \frac{dP}{dS}. \quad (3.12)$$

3.2.3 Druhy ultrazvukových vln

V hmotného prostředí složeného z kmitajících částic může zvukové vlnění probíhat různými způsoby. Druhy vln lze popisovat podle směru, ve kterém kmitají částice v prostředí, vzhledem ke směru, ve kterém se šíří vlny. Zvukové vlny v pevných látkách se mohou šířit ve čtyřech základních režimech. Rozeznáváme tedy 4 základní druhy vln [4], [16]:

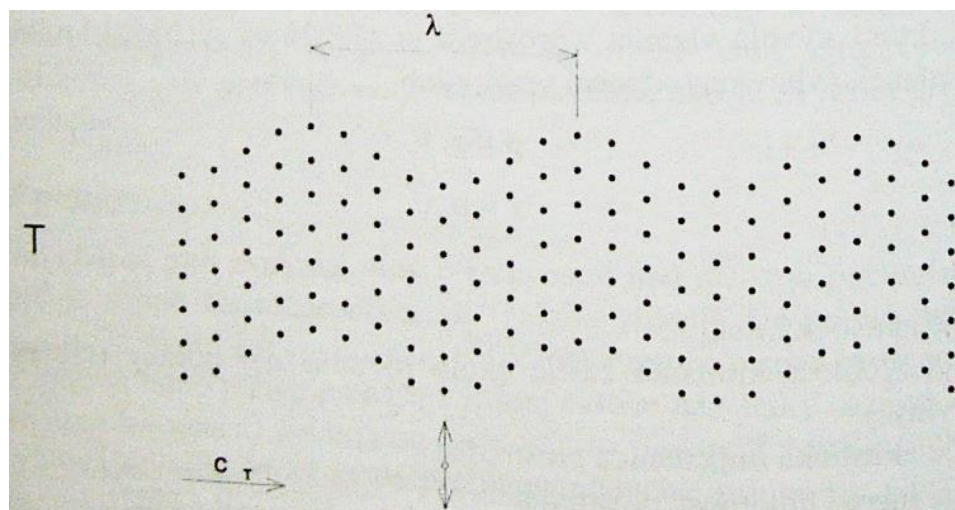
- Podélné vlny
- Příčné vlny
- Povrchové (Rayleighovy) vlny
- Deskové vlny

U podélných vln dochází k tahovým a tlakovým silám v daném prostředí, proto se jejich šíření může uskutečňovat jen v prostředí dostatečně pružném, tuhém, kapalném i plynném. Rychlost šíření podélných vln označujeme c_L (obr. 9) [4], [16]:



Obrázek 9: Podélné vlny. [4]

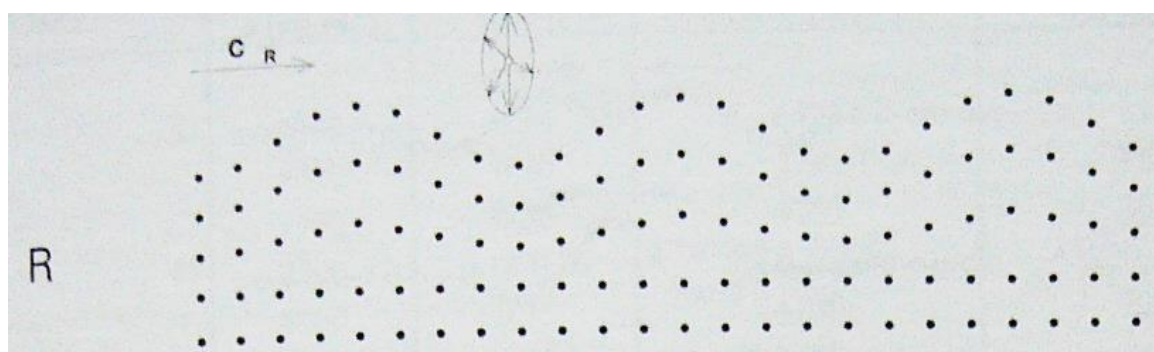
U příčných vln dochází k tomu, že částice kmitají kolmo na směr šíření vlny. Příčná vlna se může šířit jen v prostředí, které umožňuje dostatečný přenos smykových sil a z toho důvodu se nešíří v plynech ani kapalinách, nýbrž jen v látkách tuhých. Rychlost příčné vlny označujeme c_T (obr. 10). [4], [16]



Obrázek 10: Příčné vlny. [4]

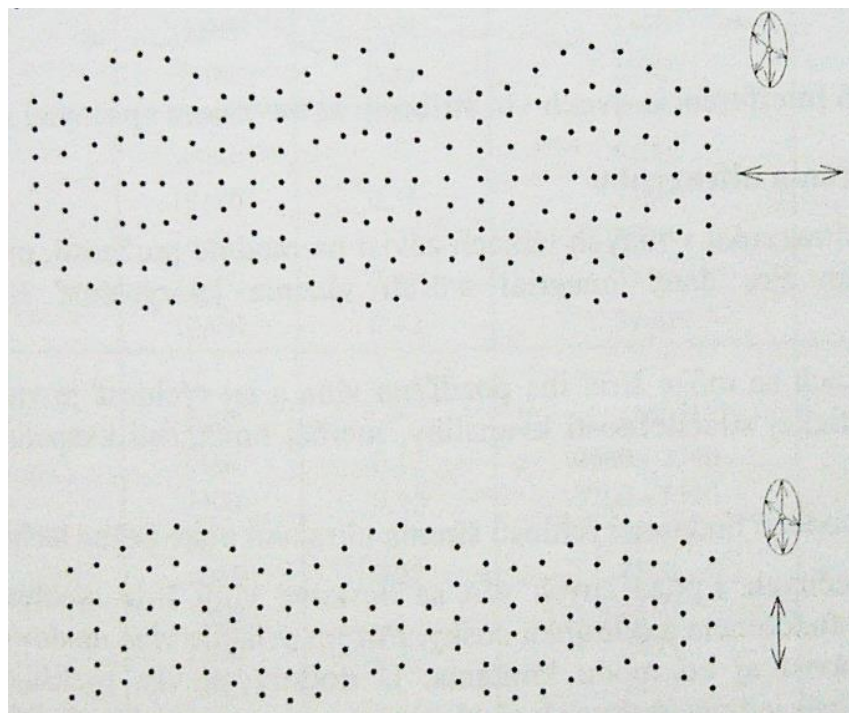
Příčné a podélné vlny jsou způsoby šíření ultrazvuku v ultrazvukovém měření používané nejčastěji a platí, že pro daný materiál je: $c_T < c_L$. [4]

Povrchové (Rayleighovy) vlny se šíří na volném povrchu pevné látky do hloubky a jejich částice prostředí postupují po eliptických drahách. Rychlost povrchové vlny se označuje c_R (obr. 11) [4], [16]



Obrázek 11: Povrchové vlny. [4]

Deskové vlny mohou vznikat v tenkých materiálech (např. tenké plechy), tedy v materiál, které mají velmi podobnou vlnovou délku λ s jejich tloušťkou. Dají se rozdělit na dvě skupiny: dilatační (symetrické) a ohybové (asymetrické). U dilatačních ve střední části vlny dochází ke kmitání částic jako u vln podélných a u ohybových částice ve střední části kmitají jako u vln příčných. Rychlost šíření deskových vln se označuje c_D . (obr. 12) [4], [16]



Obrázek 12 Nahoře dilatační desková vlna, dole ohybová desková vlna. [4]

3.2.4 Rychlosti šíření ultrazvukových vln

Následující tabulka znázorňuje rychlosti šíření ultrazvukových vln (podélných C_L a příčných C_T) v některých, kovových i nekovových, materiálech [4]:

Materiál	C_L [m/s]	C_T [m/s]
KOVY		
Hliník	6320	3130
Hořčík	5780	3050
Měď	4700	2260
Zinek	4170	2410
Ocel feritická	5920	3250
NEKOVY		
Sklo	5570	3515
Porcelán	5300 - 5500	3500 - 3700
Guma tvrdá	2405	
Polystyrén	9	

Tabulka 1: Rychlosti ultrazvukových vln v materiálech. [4]

3.3 Ultrazvukové sondy

Ultrazvuková sonda je elektroakustické zařízení, které obsahuje jeden nebo více měničů pro transformaci elektrické energie na energii mechanickou (sonda/vysílač) a mechanické na elektrickou (sonda/přijímač). Elektrický signál z přijímače se označuje jako ultrazvukový signál.

V dnešní době jsou používány jen dva typy elektroakustických měničů:

- **Piezelektrický měnič**
- **Elektromagnetický měnič (EMAT)** – princip „vířivých proudů“

3.3.1 Piezelektrický jev

Piezelektrický jev je schopnost krystalu generovat na povrchu elektrický náboj při jeho deformování. V krystalové mřížce polárního dielektrika (piezelektrická látka) se srovnají ionty (kladné, záporné) a každá doména získá elektrický dipól (dvojice elektrických nábojů), na povrchu měniče pak vznikne elektrický náboj = přímý piezelektrický jev. Touto schopností disponují pouze modifikace krystalu křemene (monokrystalický křemen, křišťál, apod.). Piezelektrické měniče se v dnešní době vyrábí z piezokeramických materiálů a piezelektrických polymerů. [16], [17]:

3.3.2 Akustická vazba

Akustická vazba neboli tzv. akustické rozhraní je prostor mezi sondou a zkoušeným předmětem. Je pomocí ní zajištěn přenos akustické energie. Rozeznáváme tři typy těchto vazeb [16], [17]:

- **Kontaktní** – mezera mezi sondou a měřeným objektem je vyplněna pomocí tzv. vazebního prostředí. Lze použít například hustý olej, petrolej, želatinu atd.
- **Imerzní** – v tomto případě je měřený objekt ponořen do vody, kde jsou vlastnosti vazebního prostředí neměnné. Vhodná metoda pro zkoušení materiálu s hrubým nebo tvarovaným povrchem.
- **Bezkontaktní** – je tvořena vzduchem.

3.3.3 Piezoelektrické sondy

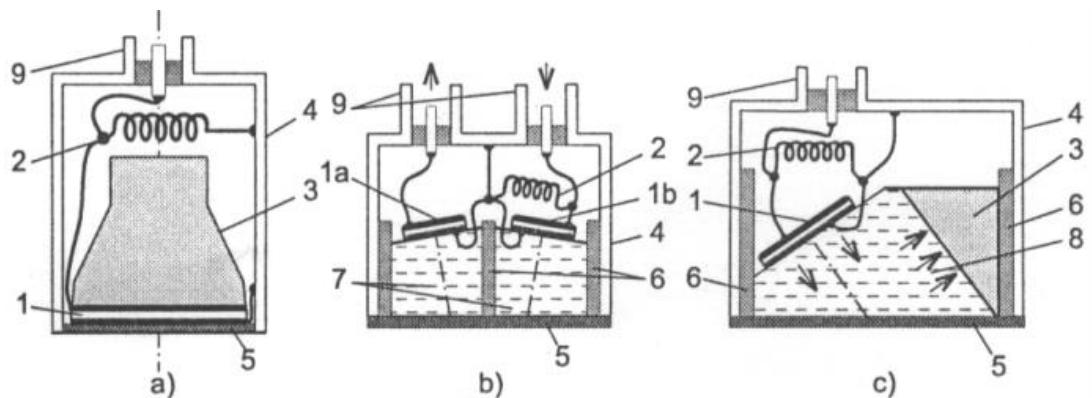
- **Přímé sondy** – jsou nejvýkonnější a nejčastěji využívané sondy. Mají jeden měnič pro vysílání nebo přijímání akustických (nejčastěji podélných) vln, pomocí něhož jsou akustické vlny šířeny do zkoumaného objektu.

Používají se pro výpočet pružnostních konstant materiálů (E , G , μ), apod. a to za pomoci rychlosti nebo útlumu podélných/příčných vln v daném materiálu.

Při defektoskopii tenkých materiálů je u přímých sond nepostradatelná tzv. předsádka. Ta může být tuhá nebo kapalná a slouží k vytvoření akustické zpoždovací dráhy. S touto pomocí lze vyhodnotit vady těsně pod povrchem.

- **Úhlové sondy** – ultrazvukový svazek je do materiálu vyslán pod určitým úhlem. Měnič vysílá podélné vlny, které jsou po průchodu transformovány na vlny příčné. Nutností je zamezit šíření podélných i příčných vln, kvůli jejich rozdílným rychlostem.
- **Dvojitá sonda** – používají se pro detekci vad v malé hloubce. Dvojitá sonda disponuje dvěma akusticky izolovanými měniči, kdy jeden měnič slouží jako vysílač a druhý jako přijímač ultrazvukových vln. Tvar měničů je kruhový nebo půlkruhový. [16]

Všechny typy výše uvedených ultrazvukových sond jsou znázorněny na následujícím obrázku (obr. 13):

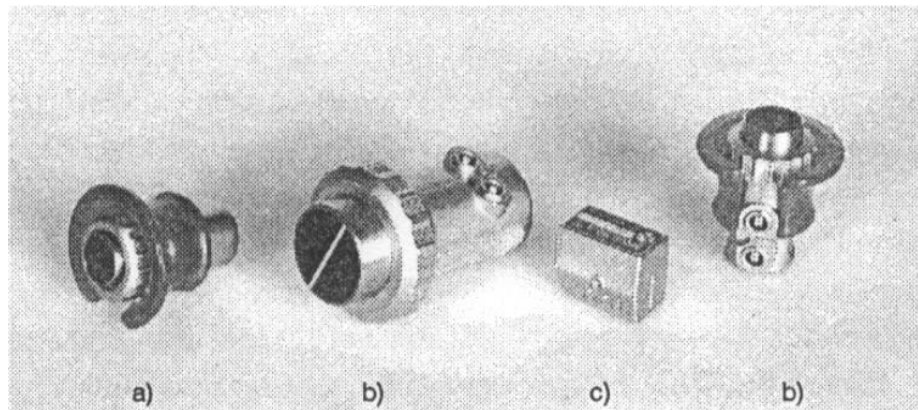


Obrázek 13: a) přímá sonda b) dvojitá sonda c) úhlová sonda. [16]

Na obr. 13 jsou zobrazeny: 1 – piezoelektrický měnič, 1a – vysílací měnič, 1b – přijímací měnič, 2 – přizpůsobovací cívka, 3 – tlumící těleso, 4 – pouzdro sondy, 5 – ochranná vrstva, 6 – akustická izolace, 7 – nástavce, 8 – klínové těleso, 9 – konektor. [16]

Pozn.: tlumící těleso má u sond za účel zamezit odrazu ultrazvukových vln od pouzdra sondy. Tvar měniče může být kruhový nebo obdélníkový u sondy přímé a u sondy dvojitě ještě půlkruhový. Klínové těleso u úhlové sondy je obvykle z plexiskla. [19]

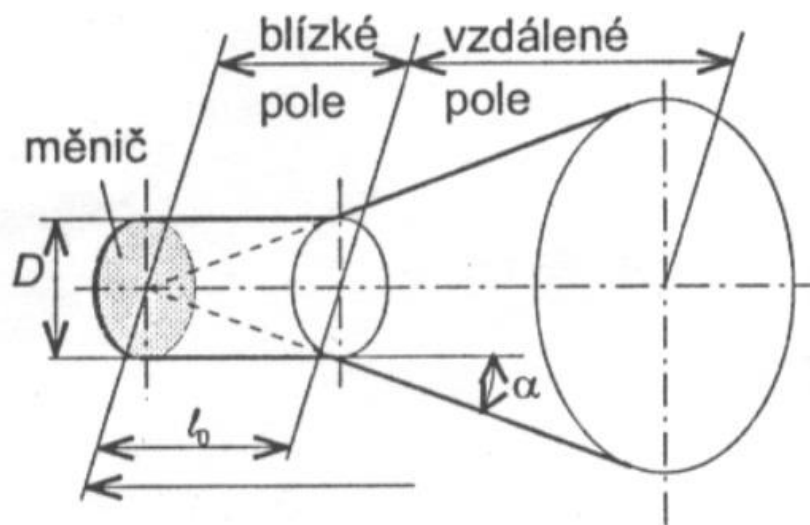
Na obr. 14 je fotografie vyobrazující jednotlivé sondy.



Obrázek 14: Fotografie jednotlivých sond. [19]

3.3.4 Ultrazvukové pole sondy

Piezoelektrický měnič (vysílač) vysílá do prostředí podélnou ultrazvukovou vlnu. Do jisté vzdálenosti l_0 má ultrazvuková vlna teoreticky válcový charakter s průměrem stejným jako má měnič a to díky vlivu interferencí. Taková část ultrazvukového pole se pak označuje jako „blízké pole“ sondy. Od vzdálenosti l_0 klesá akustický tlak úměrně vzdálenosti a pole se označuje jako „vzdálené pole“. Schéma je zobrazeno na obr. 15 [2], [19].



Obrázek 15: Teoretické ultrazvukové pole sondy. [2]

Pro pole kruhového měniče o průměru D platí [19]:

$$l_0 = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4c}, \quad \sin \alpha = 1,22 \frac{\lambda}{D} = \frac{c}{fD} \quad (3.13)$$

Ve skutečnosti ovšem tento průběh není zcela reálný. Předpokládá se totiž, že v tomto teoretickém případě dochází k pístovému kmitání měniče a tím pádem se od skutečného pole ultrazvukové sondy liší. [19]

3.4 Využití ultrazvuku v technické praxi

- Obrábění materiálu ultrazvukovými vibracemi
- Ultrazvukové čištění
- Kontrola materiálu a měření jeho vlastností pomocí ultrazvuku:
 - Určování vnitřních vad v materiálu
 - Měření tloušťky materiálu

3.5 Metody zkoušení ultrazvukem

Podle principu rozdělujeme metody ultrazvuku na [16]:

- Průchodové metody
- Odrazové metody

Dle budícího signálu na:

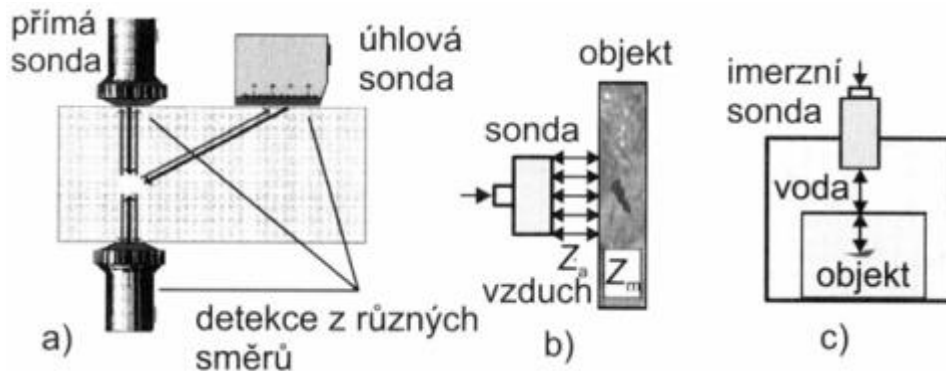
- Spojité
- Impulzové

Dle akustické vazby na:

- Kontaktní
- Bezkontaktní
- Imerzní

3.5.1 Impulzová odrazová metoda

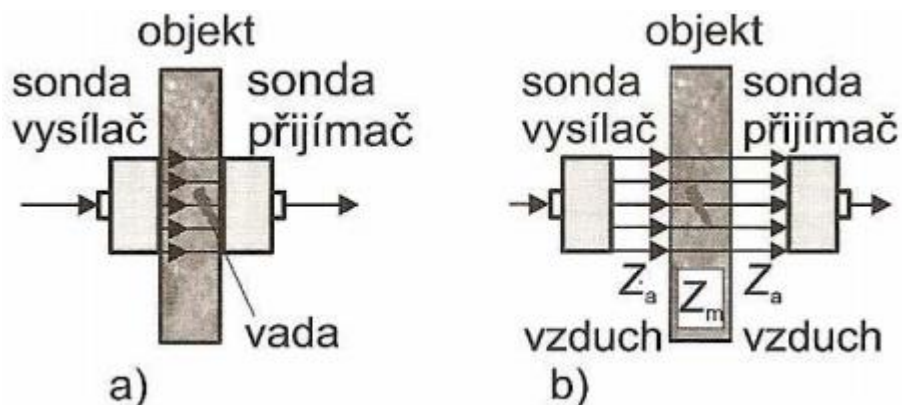
Jedná se o nejrozšířenější defektoskopickou ultrazvukovou metodu. Sonda přiložená na zkušební povrch vysílá impulzy, které jsou šířeny materiálem a odráží se od případných defektů nebo od protilehlého povrchu zpět, kde jsou zároveň odměřeny. Výhodou této metody je lokalizace místa vady materiálu za použití jediné sondy, což přináší možnost měření i v případě nepřístupnosti druhého povrchu zkoumaného objektu (obr. 16). [16], [20]



Obrázek 16: Impulzová odrazová metoda: a) kontaktní vazba, b) bezkontaktní vazba, c) imerzní vazba. [2]

3.5.2 Průchodová odrazová metoda

Používají se dvě sondy umístěné na protilehlých površích diagnostikovaného tělesa. Jedna sonda slouží jako vysílací a druhá jako přijímací. Budící signál je většinou impulzivní, jelikož v dnešní době se přístroje využívající signálu spojitého nepoužívají. Vyhodnocování vady závisí na poklesu akustického tlaku. Nevýhodou metody je, že nelze lokalizovat polohu vady v materiálu. Je vhodná např. pro testování tenkých plechů. [16], [20]



Obrázek 17: Průchodová odrazová metoda: a) kontaktní vazba b) bezkontaktní vazba. [2]

3.6 Měření tloušťky materiálu ultrazvukem

Princip měření tloušťky zkoumaného předmětu je založen na měření doby průchodu ultrazvukového svazku daným materiálem. Čas průchodu je pak násoben materiálovou konstantou, kterou je rychlost šíření ultrazvukových vln v měřeném materiálu (viz. kap. 3.2.4). Používá se v místech, která nejsou dostupná pro měření mechanickými měřidly (stačí přístup z jedné strany) [4], [20].

Za předpokladu, že rychlost šíření ultrazvuku v materiálu je konstantní, platí pro odrazovou metodu [20]:

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (3.14)$$

a pro metodu průchodovou [20]:

$$d = c \cdot t \quad (3.15)$$

kde: d je tloušťka materiálu,

c je rychlost šíření ultrazvukových vln v materiálu,

t je čas mezi vysláním impulzu a návratem prvního echa.

4. MĚŘENÍ POMOCÍ ULTRAZVUKOVÝCH PŘÍSTROJŮ

V experimentální části bakalářské práce byly použity ultrazvukové přístroje vhodné pro měření tloušťky nátěru na ocelové konstrukci a pro měření tloušťky základního materiálu konstrukce (resp. úbytek materiálu).

4.1 Digitální tloušťkoměr povlakových nátěrů CM-8821

4.1.1 Základní charakteristika přístroje CM-8821

Digitální tloušťkoměr je vhodný pro měření tloušťky nemagnetických (nevodivých) povlaků (např. barva, plast, porcelán, měď, zinek, hliník, chrom atd.) na magnetických kovových materiálech (např. ocel, nikl atd.). Velmi často je přístroj používán i pro měření galvanických vrstev a dalších. Mezi jeho výhody patří nízká váha, malé rozměry snadnost obsluhy. Disponuje velkým rozsahem měření a vysokým rozlišením. Je založen na bázi odrazové impulzní metody.

V tab. 2 je uvedeno příslušenství přístroje a v tab. 3 jsou uvedeny jednotlivé technické specifikace:

Příslušenství	
Ochranné pouzdro	1 ks
Sonda typu F	1 ks
Sada kalibračních fólií	1 sada
Podkladový terčik - ocel	1 ks

Tabulka 2: Digitální tloušťkoměr – příslušenství. [21]

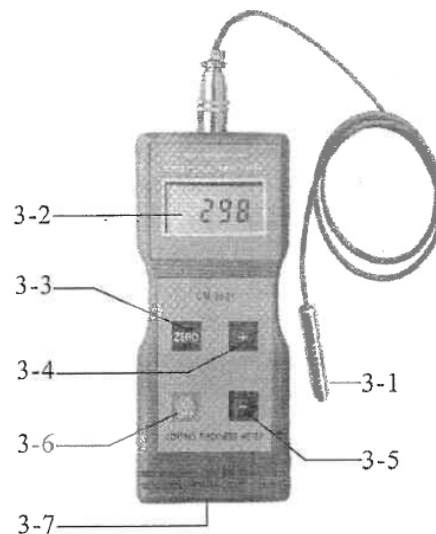
Technická specifikace	
Displej	4-místný, 10 mm LCD
Rozsah měření	0 - 200 μm
	0 - 500 μm
	0 - 1000 μm (standardní rozsah měření)
	0 - 2000 μm
Rozlišení	0,1 μm (0 - 99,9 μm)
	1 μm (nad 100 μm)
Přesnost	$\pm 1 - 3\%$ n nebo 2,5 μm
Provozní teplota	0 - 50 $^{\circ}\text{C}$
Rozměry	161 x 62 x 32 mm
Váha	cca. 260 g (včetně baterií)

Tabulka 3: Digitální tloušťkoměr – specifikace. [21]

4.1.2 Popis jednotlivých částí přístroje

Na obr. 18 jsou znázorněny a popsány jednotlivé části digitálního tloušťkoměru CM-8821.

- 3-1 Sonda
- 3-2 Displej
- 3-3 Tlačítko pro vynulování
- 3-4 Tlačítko „plus“
- 3-5 Tlačítko „mínus“
- 3-6 Tlačítko pro zapnutí / vypnutí přístroje
- 3-7 Krytka baterií



Obrázek 18: Popis jednotlivých částí přístroje. [21]

4.1.3 Kalibrace přístroje CM-8821

Před měření bylo nutné provést kalibraci přístroje, která se provádí pomocí přiložených kalibračních fólií a kalibračního terčíku. Na kalibrační terčík nebo nepovlakovaný povrch měřeného předmětu se přiloží kalibrační fólie určité tloušťky, na fólii se pak přiloží sonda přístroje. Po zobrazení naměřeného údaje na displeji se hodnota opraví pomocí tlačítek „plus“ a „mínus“. Tento postup se opakuje, dokud není naměřená hodnota kalibrační fólie správná.

4.2 Ultrazvukový tloušťkoměr MT280

4.2.1 Základní charakteristika přístroje MT280

Přístroj MT280 je ultrazvukový tloušťkoměr, který je schopen měřit tloušťku různých materiálů s přesností až 0,1/0,01 mm. Umožňuje měřit, přes vrstvu barvy nebo povlaku, tloušťku základního materiálu a to pomocí funkce Multi-Mode. Měří standardně vzdálenost k prvnímu echu (mód puls-echo) nebo eliminuje vrstvu barvy (mód echo-echo). Je vhodný pro různé kovové u nekovové materiály. Pracuje na principu kontaktní impulzové odrazové metody.

V tab. 5 je uvedeno příslušenství přístroje a v tab. 6 jsou uvedeny jednotlivé technické specifikace MT280.

Příslušenství	
Hlavní jednotka MT280	1 ks
Sonda Model: P5EE	1 ks
Nádoba na vazební gel	1 sada
Kufřík	1 ks
Alkalické baterie	2 ks; typ AA
Návod na použití	1 ks
Šroubovák	1 ks

Tabulka 4: Ultrazvukový tloušťkoměr – příslušenství [22]

Technická specifikace	
Displej	4,5 LCD s podsvícením
Rozsah měření	Mód: puls-echo 0,65 – 600 mm Mód: echo-echo 2,5 – 100 mm
Rozsah rychlosti zvuku	1000 - 9999 m/s
Rozlišení	0,1/0,01 mm
Přesnost	± 0,5% tloušťky + 0,01 mm
Paměť	20 souborů (99 hodnot v každém z nich)
Komunikace	USB 1.1
Provozní teplota	-20 - 50 °C
Rozměry	132 x 77,6 x 32 mm
Váha	cca. 345 g

Tabulka 5: Ultrazvukový tloušťkoměr – specifikace [22]

Na obr. 19 je znázorněn vzhled a struktura přístroje a na obr. 20 spolu s tab. 6 jsou popsány jednotlivé části hlavní jednotky

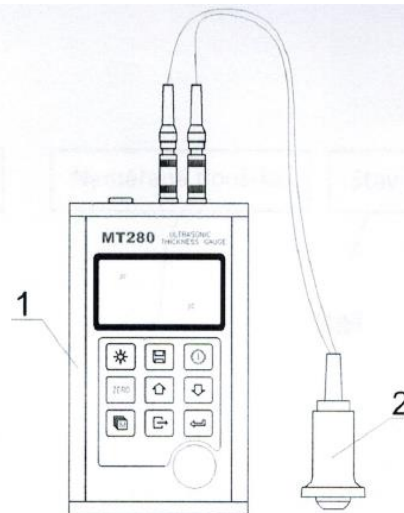
4.2.2 Popis jednotlivých částí přístroje MT 280

Struktura a vzhled

Vzhled

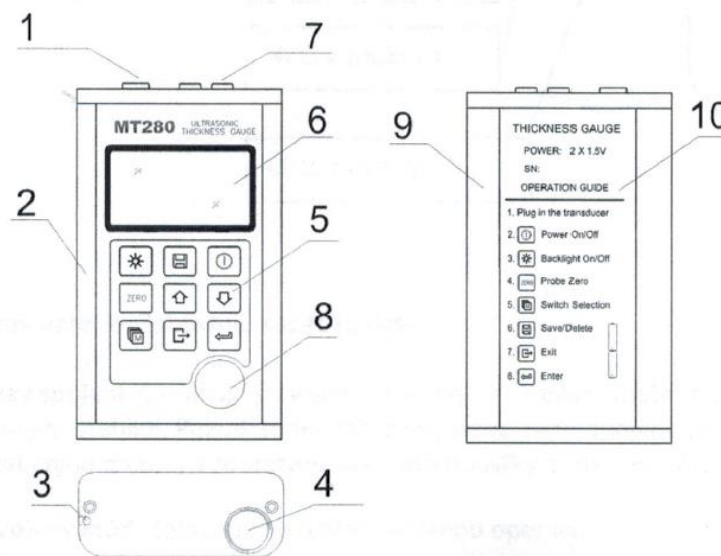
1) Hlavní jednotka MT280

2) Sonda



Obrázek 19: Struktura a vzhled přístroje [22]

Části hlavní jednotky



Obrázek 20: Části hlavní jednotky [22]

Popis částí hlavní jednotky	
1) Komunikační port	6) LCD displej
2) Hliníkové tělo	7) Komunikační port sondy
3) Otvor pro poutko	8) Nulovací disk
4) Kryt baterie	9) Hliníkové tělo
5) Klávesnice	10) Výrobní štítek

Tabulka 6: Popis částí hlavní jednotky [22]

5. ULTRAZVUKOVÁ DIAGNOSTIKA MOSTU „KE TROJICI“

5.1 Cíl

Cílem ultrazvukové diagnostiky mostní konstrukce bylo prověřit jednak stav tloušťky nátěru a také tloušťku základního materiálu na jednotlivých vybraných prvcích. Předmětem zkoušky byla ocelová mostní konstrukce přes zpevněnou, účelovou pozemní komunikaci traťový úsek 1614 Pardubice hl.n. (mimo) – Pardubice – Rosice nad Labem – jižní zhlaví. Zkouška byla prováděna v rámci bakalářské práce.

5.2 Popis konstrukce

Základní identifikační údaje:

Stavba: Most v km 1,589 traťový úsek 1614 Pardubice hl.n. (mimo) - Pardubice - Rosice nad Labem-jížní zhlaví.

Místo měření: Pardubice

Popis mostní konstrukce:

Jedná se, dle Protokolu o podrobné prohlídce (viz. příloha č. 3), o prostou, trémovou, plnostěnnou, nýtovanou ocelovou konstrukci bez mostovky o jednom poli. Délka mostu činí 11,70 m, přičemž rozpětí je 6,514 m a délka přemostění 5,60 m. Most je široký 5,60 m a vysoký 4,90 m, ukončení konstrukce – kolmé. Přemostěvanou překážkou je účelová, zpevněná komunikace a osa konstrukce s ní svírá úhel 90°. Nosná konstrukce je tvořena Hlavními nosníky, příčným ztužením (příčníky) a horním podélným ztužením hlavních nosníků. Hlavní nosníky, „I“ profilu, jsou plnostěnné nýtované o délce 6,90 m, výšce 0,71 m s osovou vzdáleností 2,02 m. Příčné ztužení je nýtované o délce 1,98 m, výšce 0,61 m s osovou vzdáleností 0,92 – 1,60 m a podélné ztužení hlavních nosníků tvoří snýtované „L“ profily 70x70x8 mm. Na obou opěrách jsou ocelová, tangenciální ložiska s úložnou deskou přičemž na levé opěře 01 je pevné ložisko a na pravé opěře 02 pohyblivé. K hlavním nosníkům jsou přinýtované konzole tvořené „U“ profily, které drží chodníkové podlahy z plechů s oválnými výstupky tl. 5 mm.

5.3 Zkušební metoda

Pro zkoušku tloušťky materiálu byl zvolen ultrazvukový tloušťkoměr MT280, který pracuje na principu odrazové impulzivní metody s využitím kontaktní vazby. U kontaktní vazby bylo nutno také použít vazebního prostředku v podobě vazebních gelů.

Na počátku zkoušky byla nastavena rychlost šíření zvuku v materiálu na 5900 m/s a jednotky měření s přesností na jednu setinu milimetru (0,01 mm). Připojená sonda k přístroji o průměru 10 mm má frekvenci 5 MHz.

Pro měření tloušťky nátěru byl vybrán digitální tloušťkoměr povlakových vrstev CM-8821, který pracuje také na principu odrazové impulzivní metody ovšem s bezkontaktní vazbou. Rozsah měření nastaven na 0 – 1000 μm (standardní rozsah měření) a jednotky měření nastaveny s přesností na 1 μm . K přístroji byla připojena sonda typu F.

Oba dva přístroje musely být před měřením nakalibrovány pomocí kalibračních destiček a terčíku u CM-8821, resp. nulovací destičky u MT280 (viz. kap. 4.: Měření pomocí ultrazvukových přístrojů).

5.4 Měřené veličiny a specifikace měřených bodů

Jako hlavní měřené veličiny byly pro měření ocelové mostní konstrukci vybrány: tloušťka nátěru, tloušťka základního materiálu (resp. úbytek materiálu). Další měřené veličiny pro doplnění každého měřeného bodu jsou teplota, vlhkost a tlak.

Měřené veličiny:

Měřená veličina	Jednotka
tloušťka nátěru	[μm]
tloušťka materiálu	[mm]
teplota	[$^{\circ}\text{C}$]
tlak	[hPa]
vlhkost vzduchu	[%]

Tabulka 7: Měřené veličiny.

Měření tloušťky nátěru bylo provedeno celkově na 19 místech rozmístěných na jednotlivých částech konstrukce (viz. tab.5).

Tloušťka nátěru [μm]					
Hlavní nosník		Příčnick	Podélné ztužení	Styčnick	Konzola
Stojina	Pásnice				
P1	Hhp	Pr1	Po1	S1	K1
P2v	Dhl	Pr3	Po2	-	K2
L1v	Dsp	-	-	-	-
P3	Dsl	-	-	-	-
L2	Hsp	-	-	-	-
P4	-	-	-	-	-
L3	-	-	-	-	-

Tabulka 8: Specifikace měřených míst na konstrukci – tloušťka nátěru.

Dalších 6 bodů pak představuje místa, která byla naměřena v rámci měření tloušťky základního materiálu (resp. úbytek materiálu) (viz. tab.6).

Tloušťka základního materiálu [mm]					
Hlavní nosník		Příčnick	Podélné ztužení	Styčnick	Konzola
Stojina	Pásnice				
Tp1=P3	-	T3	T4	T6=S1	-
Tl2=L3	-	T5	-	-	-

Tabulka 9: Specifikace měřených míst na konstrukci – tloušťka základního materiálu.

Vysvětlivky pro označení bodů:

- Stojiny: P – pravý hlavní nosník (ve směru: Pardubice – Hradec Králové).
L – levý hlavní nosník (ve směru: Pardubice – Hradec Králové).
v – vnitřní strana konstrukce.
- Pásnice: H – horní pásnice hlavního nosníku.
h – horní povrch pásnice hlavního nosníku.
p – pravý hlavní nosník. (ve směru: Pardubice – Hradec Králové).
D – Dolní pásnice hlavního nosníku.
s – spodní povrch pásnice hlavního nosníku.
l – levý hlavní nosník (ve směru: Pardubice – Hradec Králové).

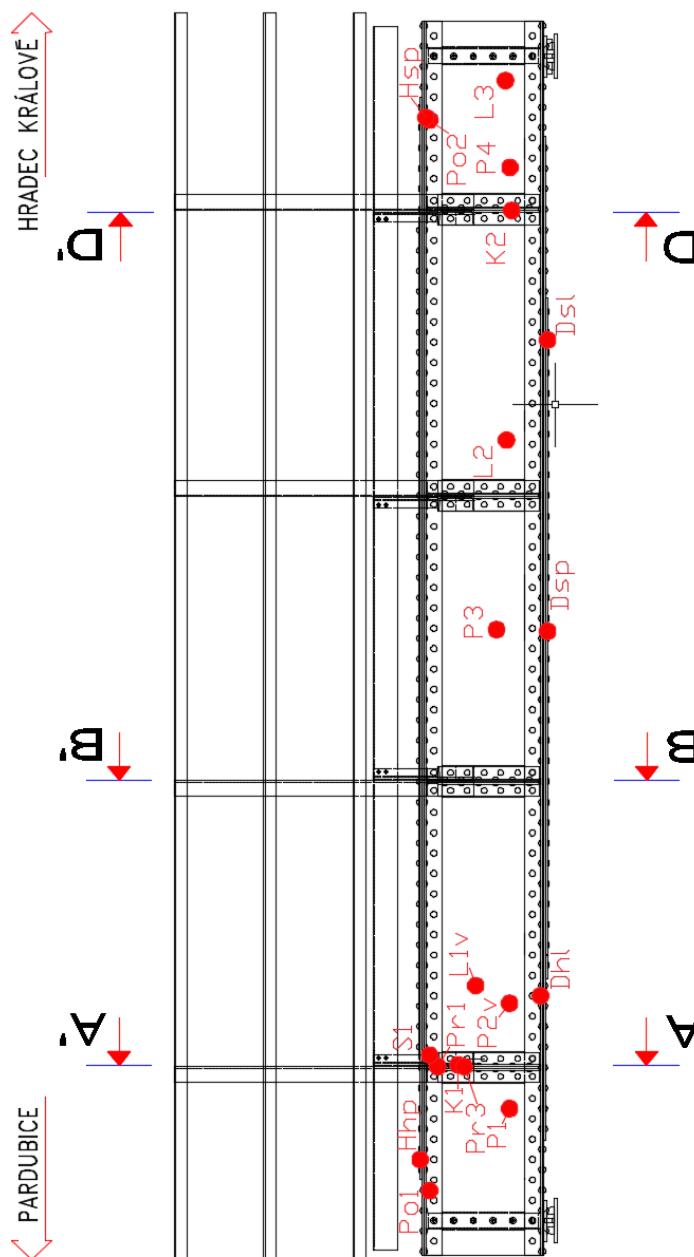
5.5 Specifikace použitých přístrojů

Pro měření byly použity následující přístroje a pomůcky (tab. 7):

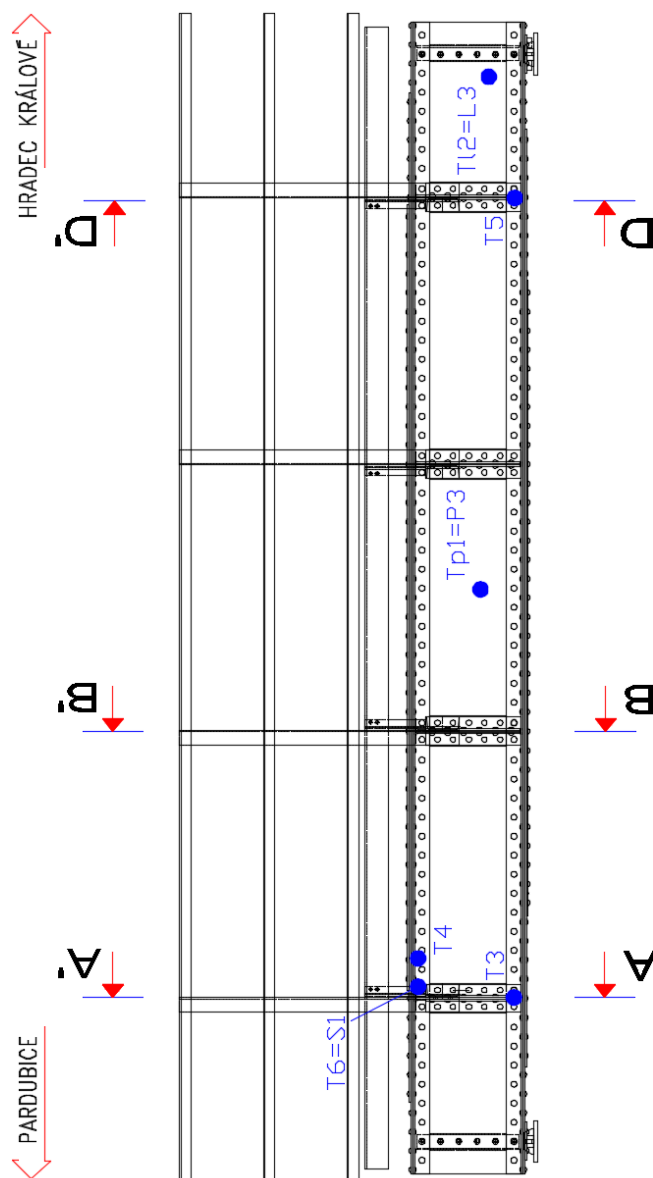
Název přístroje/pomůcky	Typ
Ultrazvukový tloušťkoměr	MT280
Digitální tloušťkoměr	CM-8821
Svinovací metr	5m
Žebřík	-

Tabulka 10: Použité přístroje a pomůcky.

5.6 Měřicí místa (rozmístění bodů na konstrukci)



Obrázek 21: Rozmístění bodů na konstrukci – tloušťka nátěru.



Obrázek 22: Rozmístění bodů na konstrukci – tloušťka materiálu.

Podrobně jsou jednotlivá měřená místa zakótována v příloze č.2 – Měřené body na konstrukci.

5.7 Naměřené údaje

Naměřené hodnoty všech 25 bodů v rámci obou částí práce (tloušťka nátěru, tloušťka základního materiálu) byly získány během jednoho dne. Základní údaje o teplotě, vlhkosti vzduchu a tlaku byly zaneseny do deníku zkoušky, který je součástí přílohy č. Každý bod byl změřen celkem 10x a součástí vyhodnocení každého z nich jsou základní statistické údaje: minimum, maximum, průměr a směrodatná odchylka. U tloušťky nátěru je uvedena i celková průměrná hodnota, ze všech naměřených bodů.

5.7.1 Měření tloušťky nátěru

P1 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	736	6.	748
2.	747	7.	736
3.	735	8.	734
4.	741	9.	736
5.	732	10.	742
Statistické hodnoty			
MIN	732		
MAX	748		
Průměr	738,7		
Směr.od	5,5		

Hhp [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	846	6.	792
2.	818	7.	775
3.	765	8.	775
4.	814	9.	738
5.	784	10.	785
Statistické hodnoty			
MIN	738		
MAX	846		
Průměr	789,2		
Směr.od	30,4		

P2v [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	338	6.	366
2.	310	7.	340
3.	342	8.	350
4.	339	9.	335
5.	327	10.	309
Statistické hodnoty			
MIN	309		
MAX	366		
Průměr	335,6		
Směr.od	17,1		

L1v [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	349	6.	348
2.	357	7.	339
3.	339	8.	356
4.	372	9.	330
5.	343	10.	345
Statistické hodnoty			
MIN	330		
MAX	372		
Průměr	347,8		
Směr.od	11,7		

Dhl [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	911	6.	955
2.	1012	7.	918
3.	994	8.	1022
4.	1009	9.	1031
5.	1002	10.	979
Statistické hodnoty			
MIN	911		
MAX	1031		
Průměr	983,3		
Směr.od	42,2		

P3 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	387	6.	409
2.	392	7.	409
3.	403	8.	387
4.	381	9.	389
5.	395	10.	384
Statistické hodnoty			
MIN	381		
MAX	409		
Průměr	393,6		
Směr.od	10,1		

Dsp [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	420	6.	440
2.	408	7.	414
3.	439	8.	434
4.	395	9.	383
5.	437	10.	425
Statistické hodnoty			
MIN	383		
MAX	440		
Průměr	419,5		
Směr.od	19,6		

Dsl [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	469	6.	451
2.	451	7.	476
3.	464	8.	454
4.	436	9.	453
5.	440	10.	444
Statistické hodnoty			
MIN	436		
MAX	476		
Průměr	453,8		
Směr.od	12,7		

L2 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	517	6.	528
2.	514	7.	521
3.	525	8.	539
4.	529	9.	526
5.	546	10.	527
Statistické hodnoty			
MIN	514		
MAX	546		
Průměr	527,2		
Směr.od	9,5		

L3 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	666	6.	612
2.	629	7.	639
3.	622	8.	627
4.	637	9.	616
5.	624	10.	665
Statistické hodnoty			
MIN	612		
MAX	666		
Průměr	633,7		
Směr.od	18,7		

P4 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	656	6.	646
2.	656	7.	640
3.	647	8.	646
4.	659	9.	663
5.	623	10.	644
Statistické hodnoty			
MIN	623		
MAX	663		
Průměr	648		
Směr.od	11,5		

Hsp [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	416	6.	415
2.	410	7.	407
3.	399	8.	388
4.	415	9.	442
5.	420	10.	443
Statistické hodnoty			
MIN	388		
MAX	443		
Průměr	415,5		
Směr.od	17,0		

Po1 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	510	6.	509
2.	507	7.	520
3.	522	8.	541
4.	567	9.	511
5.	511	10.	532
Statistické hodnoty			
MIN	507		
MAX	567		
Průměr	523		
Směr.od	19,0		

Pr1 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	466	6.	457
2.	525	7.	509
3.	495	8.	479
4.	467	9.	459
5.	466	10.	473
Statistické hodnoty			
MIN	457		
MAX	525		
Průměr	479,6		
Směr.od	22,8		

S1 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	294	6.	299
2.	284	7.	291
3.	311	8.	333
4.	296	9.	291
5.	296	10.	299
Statistické hodnoty			
MIN	284		
MAX	333		
Průměr	299,4		
Směr.od	13,7		

Pr3 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	668	6.	683
2.	655	7.	656
3.	661	8.	653
4.	658	9.	662
5.	660	10.	657
Statistické hodnoty			
MIN	653		
MAX	683		
Průměr	661,3		
Směr.od	8,7		

Po2 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	583	6.	599
2.	590	7.	586
3.	525	8.	492
4.	575	9.	486
5.	569	10.	557
Statistické hodnoty			
MIN	486		
MAX	599		
Průměr	556,2		
Směr.od	41,0		

K1 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	699	6.	672
2.	707	7.	688
3.	700	8.	683
4.	687	9.	696
5.	687	10.	697
Statistické hodnoty			
MIN	672		
MAX	707		
Průměr	691,6		
Směr.od	10,1		

K2 [μm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	750	6.	748
2.	741	7.	752
3.	745	8.	734
4.	772	9.	742
5.	746	10.	753
Statistické hodnoty			
MIN	734		
MAX	772		
Průměr	748,3		
Směr.od	10,1		

5.7.2 Měření tloušťky základního materiálu

Tp1=P3 (14 mm)			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	13,12	6.	13,13
2.	13,13	7.	13,14
3.	13,12	8.	13,1
4.	13,15	9.	13,13
5.	13,14	10.	13,1
Statistické hodnoty			
MIN	13,1		
MAX	13,15		
Průměr	13,126		
Směr.od	0,016		

Tl2=L3 (14 mm)			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	13,02	6.	13,02
2.	13,03	7.	13,03
3.	13,03	8.	13,02
4.	13,02	9.	13,02
5.	13,04	10.	13,03
Statistické hodnoty			
MIN	13,02		
MAX	13,04		
Průměr	13,026		
Směr.od	0,007		

T3 (10 mm)			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	9,68	6.	9,62
2.	9,63	7.	9,61
3.	9,62	8.	9,64
4.	9,61	9.	9,63
5.	9,62	10.	9,62
Statistické hodnoty			
MIN	9,61		
MAX	9,68		
Průměr	9,628		
Směr.od	0,020		

T4 (8 mm)			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	7,85	6.	7,85
2.	7,81	7.	7,86
3.	7,83	8.	7,83
4.	7,79	9.	7,8
5.	7,84	10.	7,85
Statistické hodnoty			
MIN	7,79		
MAX	7,86		
Průměr	7,831		
Směr.od	0,024		

T5 (10 mm)			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	9,68	6.	9,65
2.	9,67	7.	9,67
3.	9,66	8.	9,64
4.	9,67	9.	9,64
5.	9,64	10.	9,63
Statistické hodnoty			
MIN	9,63		
MAX	9,68		
Průměr	9,655		
Směr.od	0,017		

T6=S1 (12 mm)			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	10,72	6.	10,71
2.	10,7	7.	10,7
3.	10,69	8.	10,72
4.	10,69	9.	10,72
5.	10,72	10.	10,71
Statistické hodnoty			
MIN	10,69		
MAX	10,72		
Průměr	10,708		
Směr.od	0,012		

5.7.3 Vyhodnocení jednotlivých prvků konstrukce

Výše uvedené a zaměřené body byly vyhodnoceny samostatně a poté zařazeny pod jednotlivé prvky konstrukce (hlavní nosník, příčník, podélné ztužení, styčník a konzola). Z těchto prvků byly opět získány statistické údaje (MIN, MAX, Průměr). Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 8).

Jednotlivé prvky ocelové konstrukce - tloušťka nátěru [μm]																	
Hlavní nosník			Příčník			Podélné ztužení			Stýčník			Konzola					
MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr			
		MAX			Průměr			MAX			Průměr			MAX	Průměr		
309	748	517,8	383	1031	612,3	457	683	570,5	486	599	539,6	284	333	299,4	672	772	719,95

Jednotlivé prvky ocelové konstrukce - tloušťka základního materiálu [mm]																		
Hlavní nosník			Příčník			Podélné ztužení			Stýčník			Konzola						
MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	MIN	MAX	Průměr	
		MAX			Průměr			MAX			Průměr			MAX			Průměr	
13,02	13,04	13,08			Neměřeno	9,61	9,68	9,64	7,79	7,86	7,83	10,69	10,72	10,71				Neměřeno

Tabulka 11: Vyhodnocení jednotlivých prvků na ocelové konstrukci.

6. ZÁVĚR

Na základě výše uvedených výsledků je patrné, v jakém stavu je ocelová konstrukce z hlediska tloušťky nátěru a úbytku materiálu v důsledku koroze. Je třeba připomenout, že základním cílem bakalářské práce bylo zhruba nastínit stav těchto věcí na jednotlivých základních prvcích konstrukce za pomoci nedestruktivní ultrazvukové metody s vhodně vybranými přístroji pro danou problematiku. Pro hlubší analýzu by ovšem byla potřeba naměřit systematicky body i na jednotlivých prvcích, ze kterých se tyto základní prvky skládají, tedy různé „L“ a „U“ profily tvořící především příčníky, konzole nesoucí chodníkové rampy, podélné ztužení a to ve všech polích na více místech.

Měření probíhala na mostní ocelové konstrukci v km 1,589, traťový úsek 1614 Pardubice hl.n. (mimo) - Pardubice - Rosice nad Labem - jižní zhlaví. Větší důraz byl kladen na etapu měření tloušťky nátěru pomocí ultrazvukového přístroje CM-8821, kdy bylo získáno celkem 19 bodů rozmístěných po celé konstrukci. V další etapě měření bylo v rámci měření tloušťky základního materiálu naměřeno dalších 6 bodů s přístrojem MT280, z nichž některé byly odměřeny ve stejných místech, jako body z první etapy. Jednotlivé body byly vybrány na základě předešlé vizuální prohlídky, fotodokumentace mostní konstrukce a byly odměřeny celkem 10-krát.

Tloušťka nátěru by v žádném místě konstrukce neměla být menší než 300 μm . Tuto podmínku z naměřených dat nesplňoval pouze jediný bod a to styčník S1, kdy jeho průměrná hodnota z deseti naměřených dosáhla 299,4 μm , na daném místě nebyla zřetelná koroze. Další body, které se této hranici velmi přibližují, jsou na stojinách hlavních nosníků a to především z vnitřních stran konstrukce, například body P2v (335,6 μm) a L1v (347,8 μm). Průměrně je stojina hlavního nosníku nejvíc postižený prvek na dané ocelové konstrukci. Za zmínku stojí i bod naměřený na pásnici Hhp, který byl sice pokrytý vrstvou koroze, ale pod touto korozí byla naměřena hodnota téměř 800 μm nátěru. Vrstva koroze se nacházela v podstatě všude po hranách pásnic hlavních nosníků. Na horním povrchu dolních pásnic byla patrná dokonce důlková koroze a na všech prvcích konstrukce byla znatelná místa pokrytá rzi po stékající vodě.

Tloušťka základního materiálu nemohla být v důsledku snýtované konstrukce, a tím pádem vzduchových bublin mezi jednotlivými prvky, vyhodnocena na pásnicích hlavních nosníků. Hodnocená místa byla na stojinách, příčnicích, podélných ztužení a styčníku. K největší ztrátě základního materiálu došlo z naměřených dat opět u styčníku S1, kdy daná ztráta tvoří asi 10,77% původní tloušťky. I u stojin hlavních nosníků dochází k relativně velkému úbytku, například bod L3 ztratil ze své původní tloušťky téměř 1 mm.

Z výše uvedeného vyplývá, že při příští mostní prohlídce by se měla zvážit především obnova nátěru ocelové konstrukce, jelikož míst, které se blíží limitní hranici 300 μm , se na konstrukci nachází poměrně dost a při hlubší analýze by se pod tuto limitní hranici dostalo patrně i víc takových oblastí.

7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Defektoskopie* [online], poslední aktualizace 12.12.2014 v 13:07. [cit. 12.7.2016], Wikipedie. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Defektoskopie>.
- [2] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. *Technická diagnostika: Senzory-metody-analýza signálu*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2006, 406 s.
- [3] Ing. Václav Jandura, ATG s.r.o, *Vizuální kontrola* [online]. 15.1.2007. [cit. 13.7.2016], www.tlakinfo.cz. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1359>.
- [4] KOPEC, Bernard a kolektiv. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí (nauka o materiálu IV)*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s.
- [5] *Akustická emise* [online]. [cit. 15.7.2016]. www.ped.muni.cz. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/projekty/kemis.html>.
- [6] SVOBODA, Václav; ŽEMLIČKA, František, Preditest, s. r. o., Praha, *Akustická emise – diagnostika konstrukcí, tlakových nádob a potrubí* [online]. 2016. [cit. 15.7.2016], www.engineering.sk.
Dostupné z: <http://www.engineering.sk/component/content/article?id=1712:akusticka-emise-diagnostika-konstrukci-tlakovych-nadob-a-potrubi>.
- [7] *Nekonvenční metody nedestruktivního testování – termografie* [online]. [cit. 16.7.2016]. www.fsiforum.cz. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/DZM/2013%20-%20DZM%2007%20Nekonven%C4%8Dn%C3%AD%20metody%20NDT.pdf>
- [8] Veronika Pekarská, *Multimediální učebnice konvenčních zobrazovacích systémů-IR-Fyzika* [online]. [cit. 16.7.2016]. www.slideplayer.cz. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3443487/>.
- [9] *Nedestruktivní metody testování – průmyslová radiologie* [online]. [cit. 17.7.2016], www.web2.mendelu.cz. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=6389&typ=html.
- [10] *Defektoskopie v průmyslu – princip metod MT* [online]. [cit. 18.7.2016]. www.ndt.cz. Dostupné z: http://www.ndt.cz/prilohy/10/princip_metody_MT.pdf.
- [11] Ing. Martin Pexa, Ph.D. *Nedestruktivní defektoskopie – technologie údržeb a oprav strojů – magnetická metoda prášková* [online]. [cit. 18.7.2016]. www.tf.czu.cz. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/MTD/Prednasky/6_Defektoskopie.pdf.

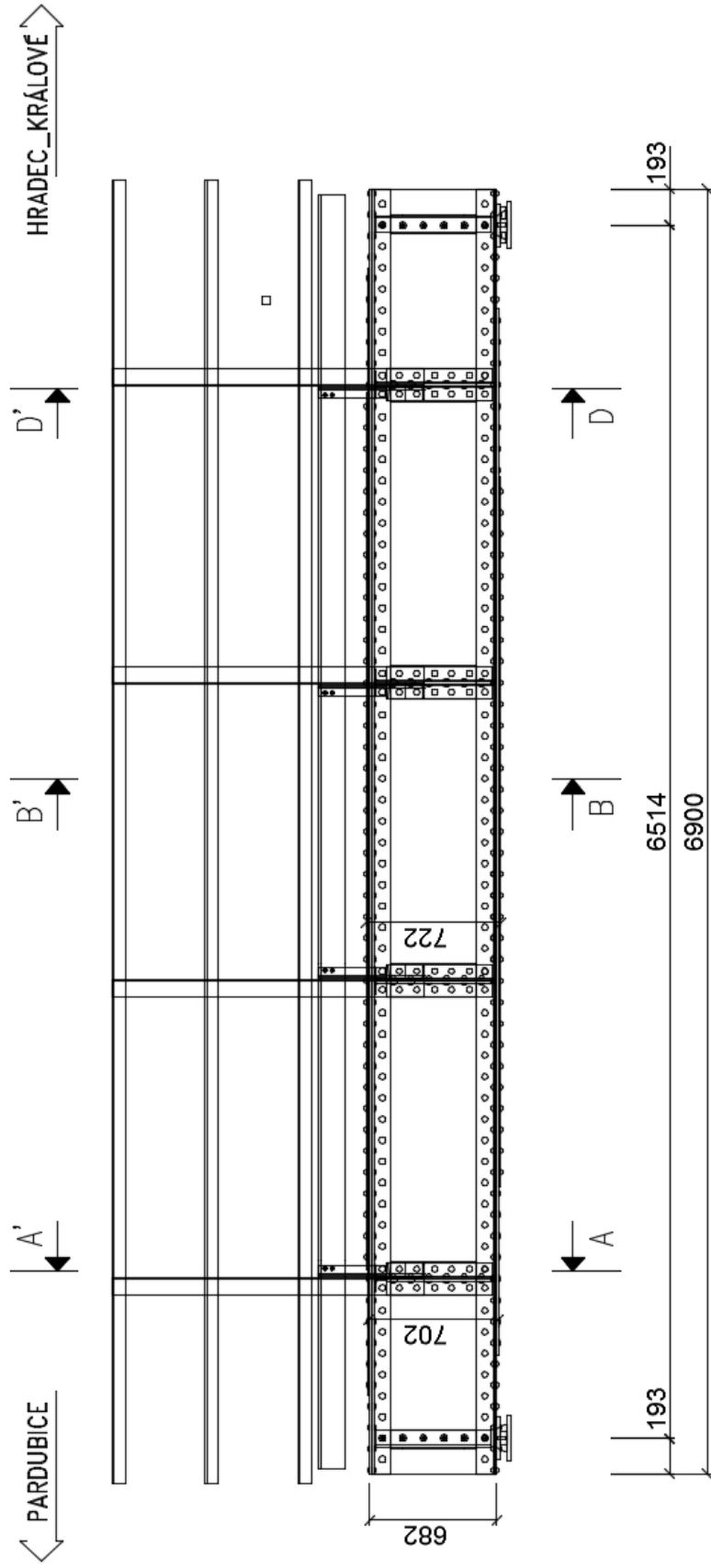
- [12] Zkušební laboratoř Jiří Brus – BVD, Akreditovaná zkušební laboratoř č. 1400 pro oblast nedestruktivního zkoušení. *Zkoušky vířivými proudy* [online]. [cit. 19.7.2016]. www.bvd-ndt.cz. Dostupné z: <http://www.bvd-ndt.cz/cz/virivky.php>.
- [13] Zkušební laboratoř Jiří Brus – BVD, Akreditovaná zkušební laboratoř č. 1400 pro oblast nedestruktivního zkoušení. *Kapilární zkoušení* [online]. [cit. 19.7.2016]. www.bvd-ndt.cz. Dostupné z: <http://www.bvd-ndt.cz/cz/virivky.php>.
- [14] PEXA, Martin. *Nedestruktivní defektoskopie – technologie údržeb a oprav strojů – kapilární nedestruktivní defektoskopie* [online]. [cit. 18.7.2016]. [www.tf.czu.cz](http://tf.czu.cz). Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/MTD/Prednasky/6_Defektoskopie.pdf.
- [15] OBRAZ, Jaroslav *Ultrazvuk v měřicí technice*, 2. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984, 485 s.
- [16] KREIDL. M; ŠMÍD. R; MATZ. V; ŠTARMAN. S. *Ultrazvuková defektoskopie*. Praha, STARMANS ELECTRONICS S. R. O, 2011, 217 s.
- [17] REGAZZO, Richard; REGAZZOVÁ, Marcela. *Ultrazvuk – základy ultrazvukové defektoskopie*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2013, 290 s.
- [18] ZDENĚK, Horák; KRUPKA FRANTIŠEK. *Fyzika – Příručka pro vysoké školy technického směru*. 3.vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981, 1129 s.
- [19] *Ultrazvuk v robotice* [online]. [cit. 21.7.2016]. www.fd.cvut.cz. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/department/k620/ROD/CVICENI/texty/uzvkrob.pdf>.
- [20] DVOŘÁK, Jaroslav, 2.11.2006. *Nedestruktivní zkoušení - Měření tloušťky ultrazvukem* [online]. [cit. 22.7.2016]. www.tlakinfo.cz. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1306>.
- [21] Jirka a spol., s.r.o. Manuál přístroje. Digitální tloušťkoměr povlakových vrstev CM-8821.
- [22] MicroGauge s.r.o. Uživatelská příručka. Ultrazvukový tloušťkoměr MT280.

Diagnostika mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.

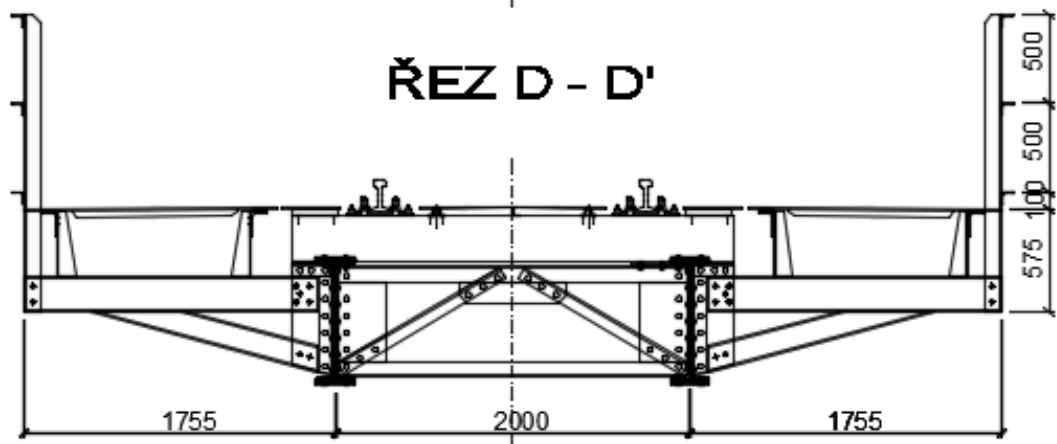
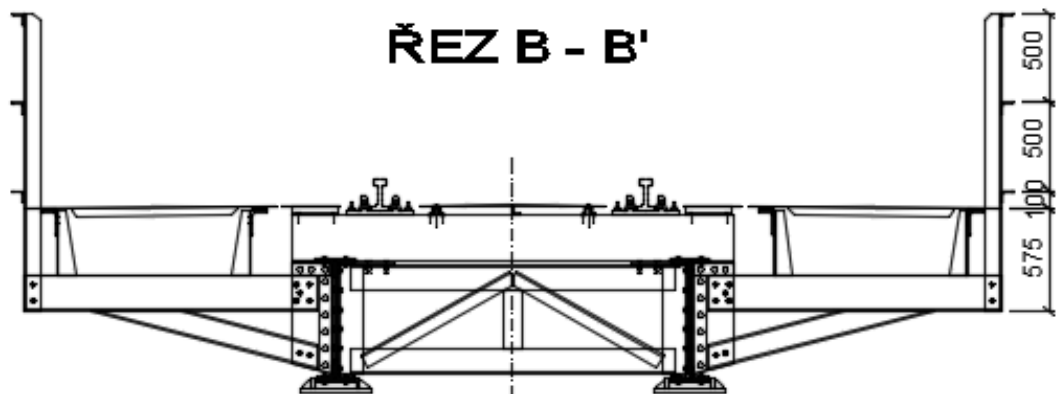
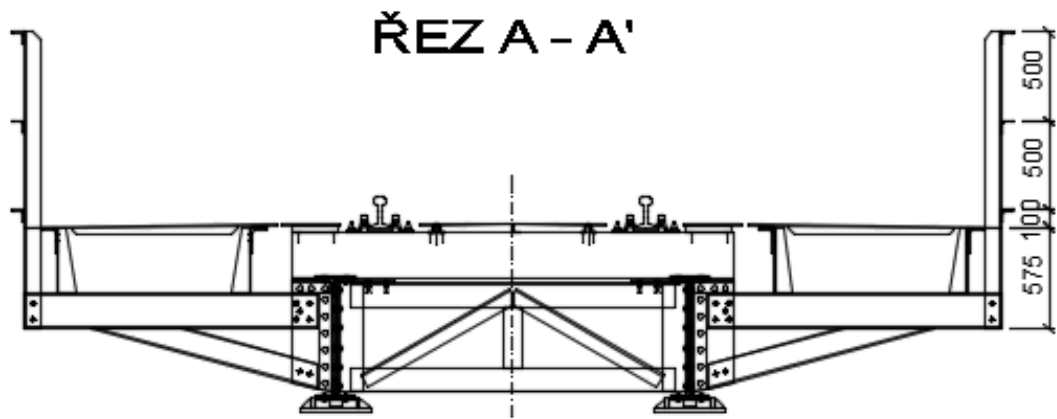
Příloha č. 1

Mostní ocelová konstrukce (základní rozměry)

POHLED



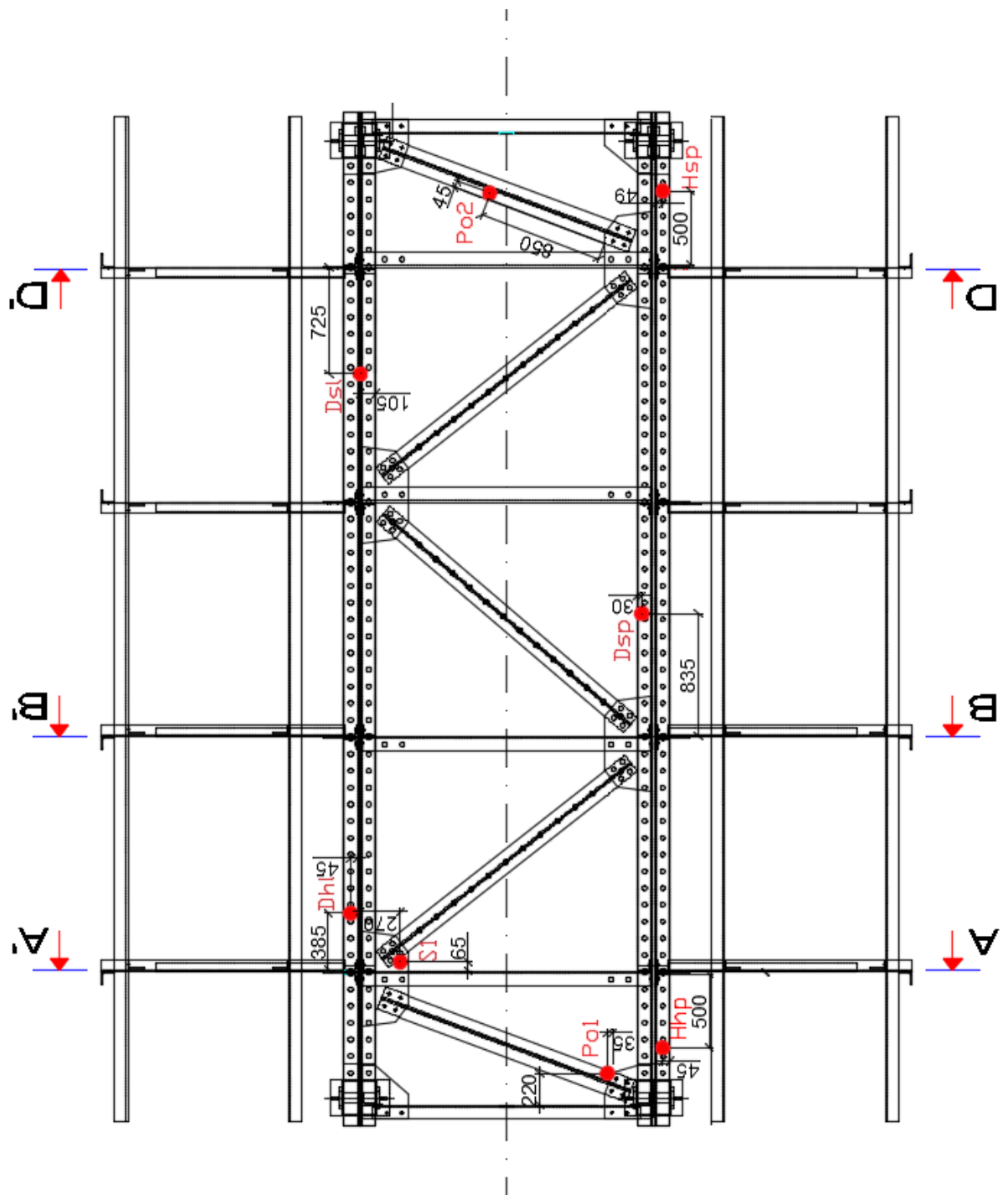
Pohled na mostní konstrukci (zprava)



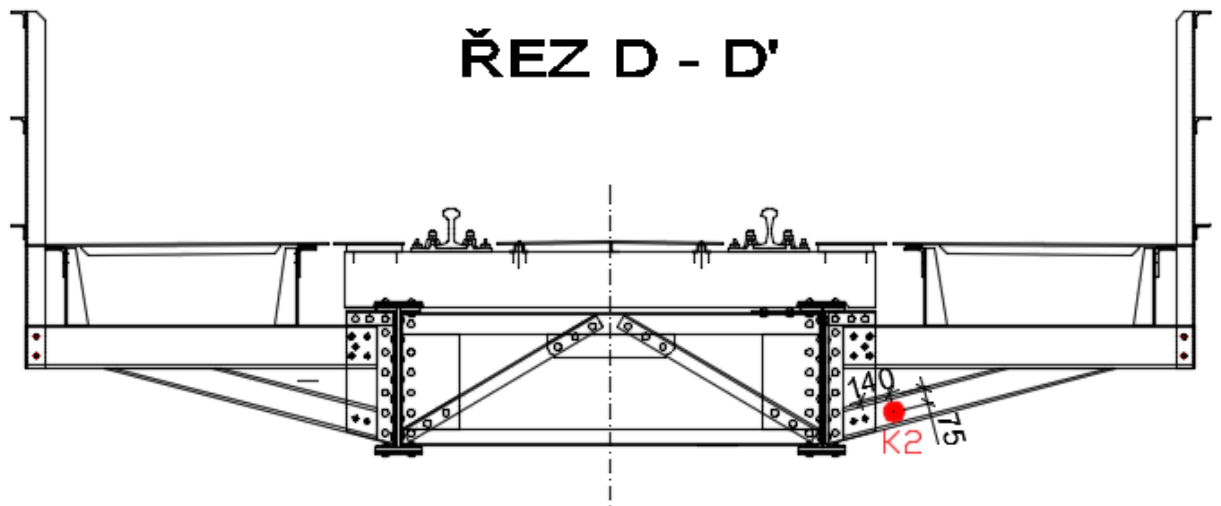
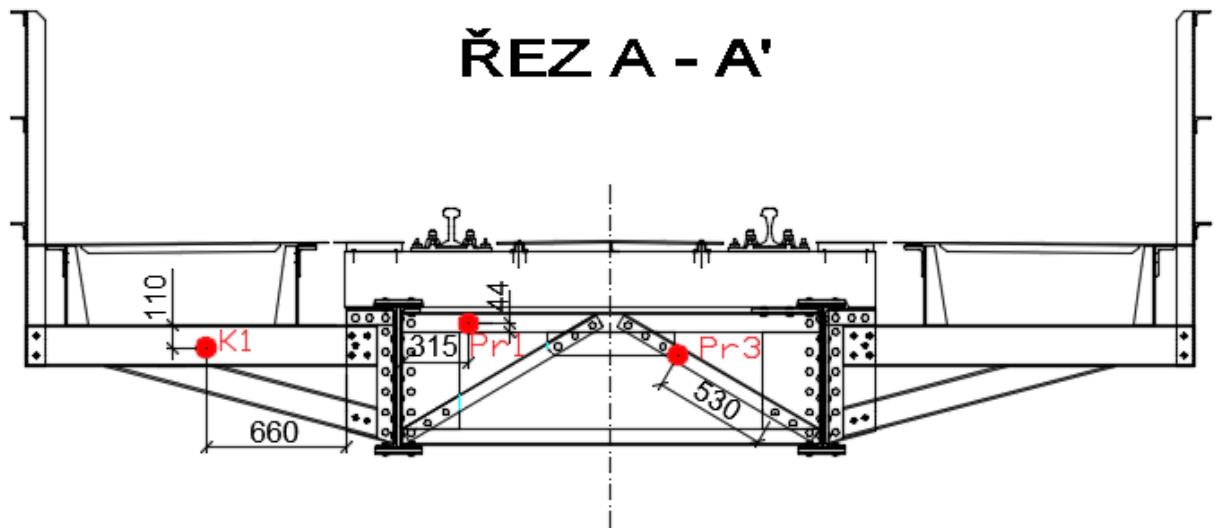
Řezy – mostní ocelová konstrukce

Diagnostika mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.

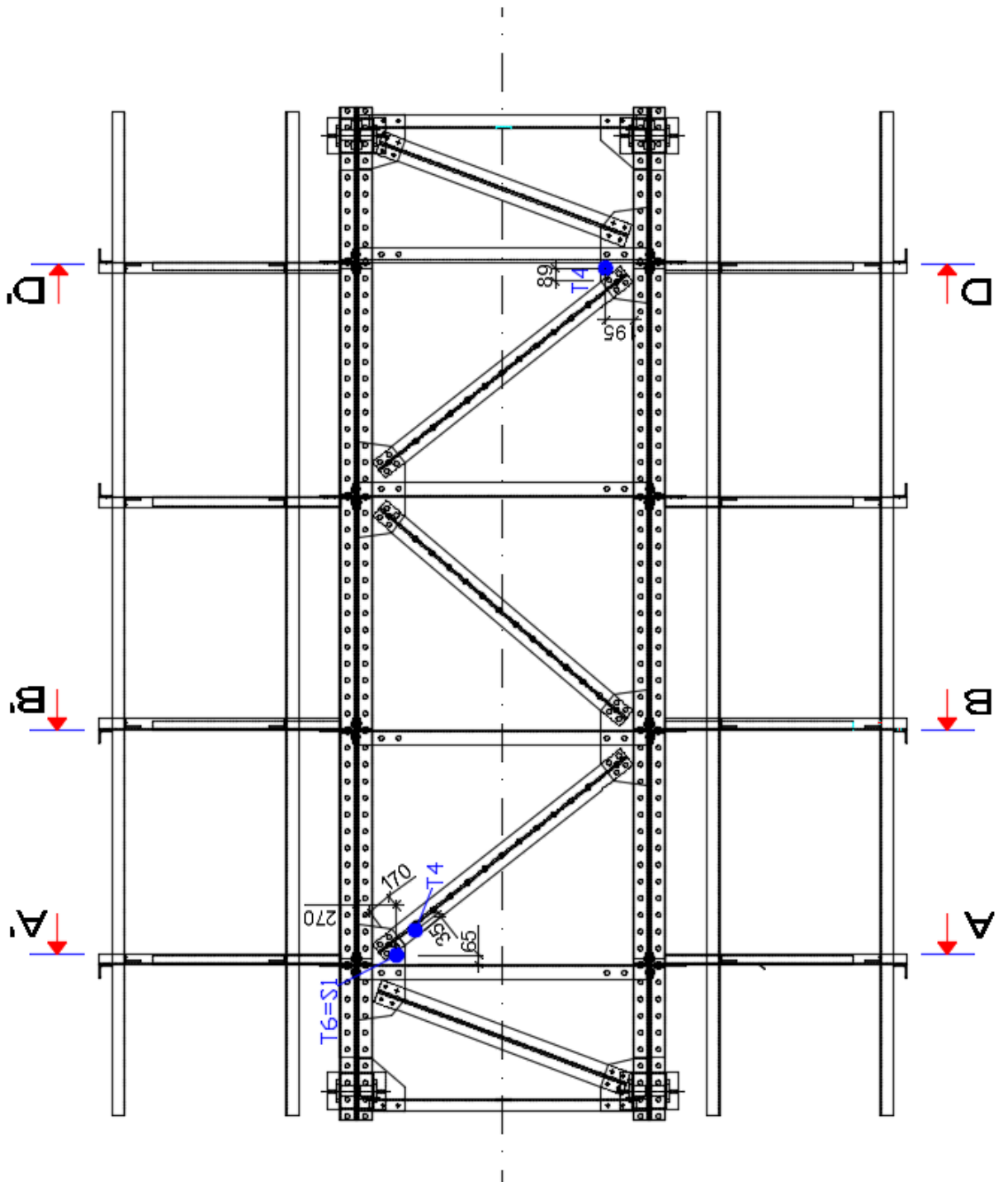
**Příloha č. 2
Měřené body na konstrukci**



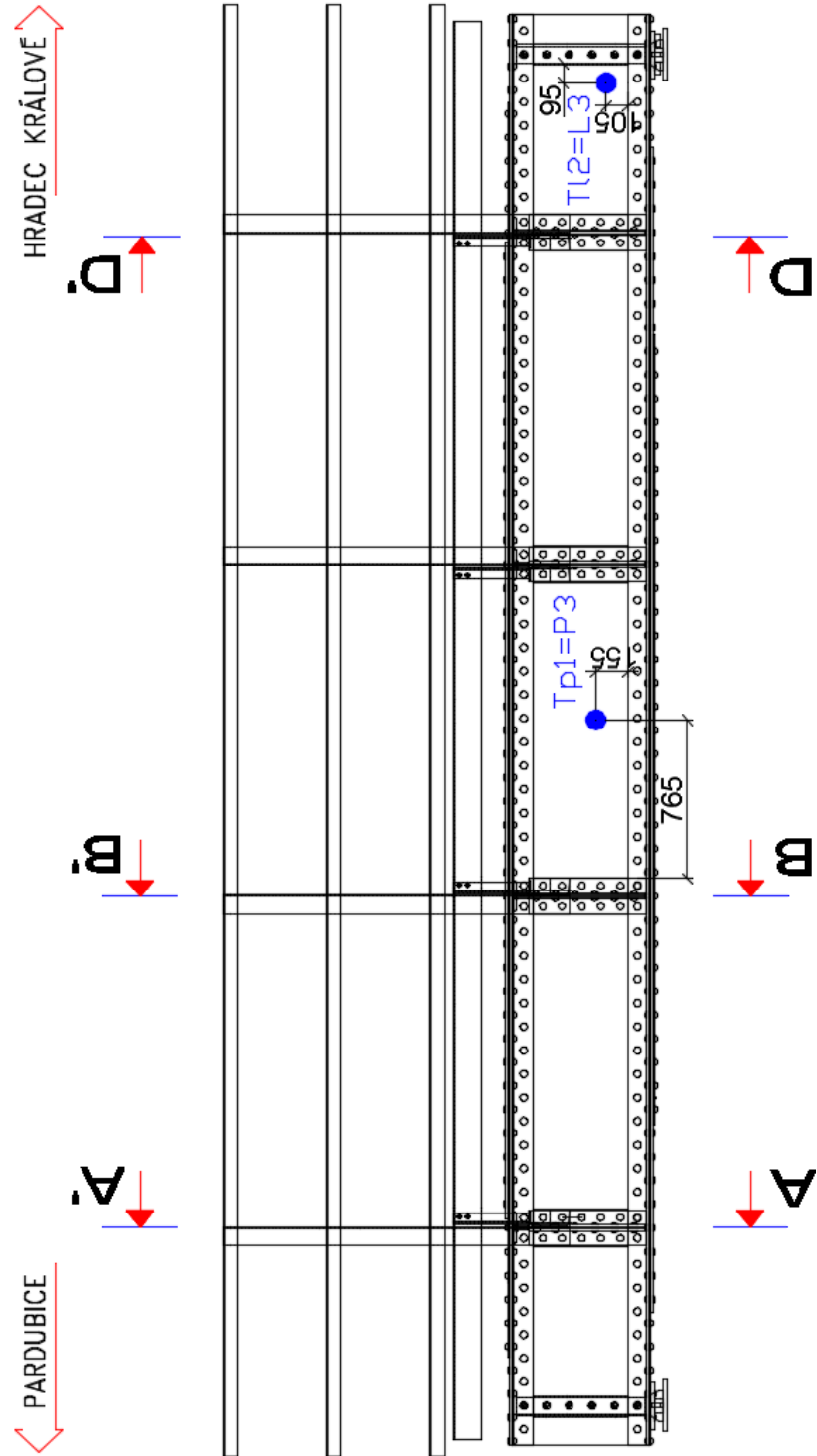
Rozmístění bodů na konstrukci – půdorys (tloušťka nátěru)



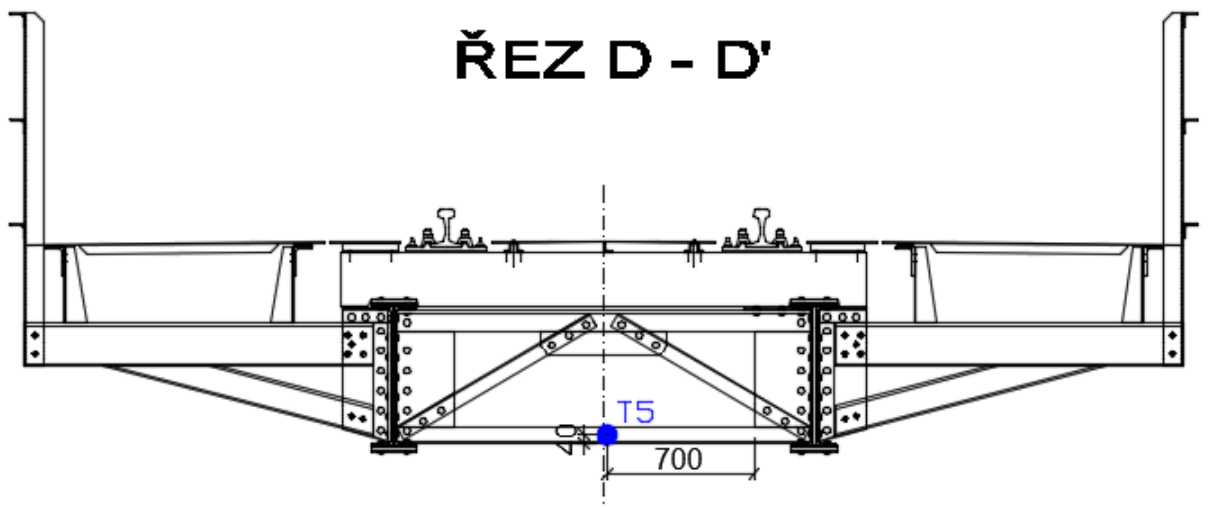
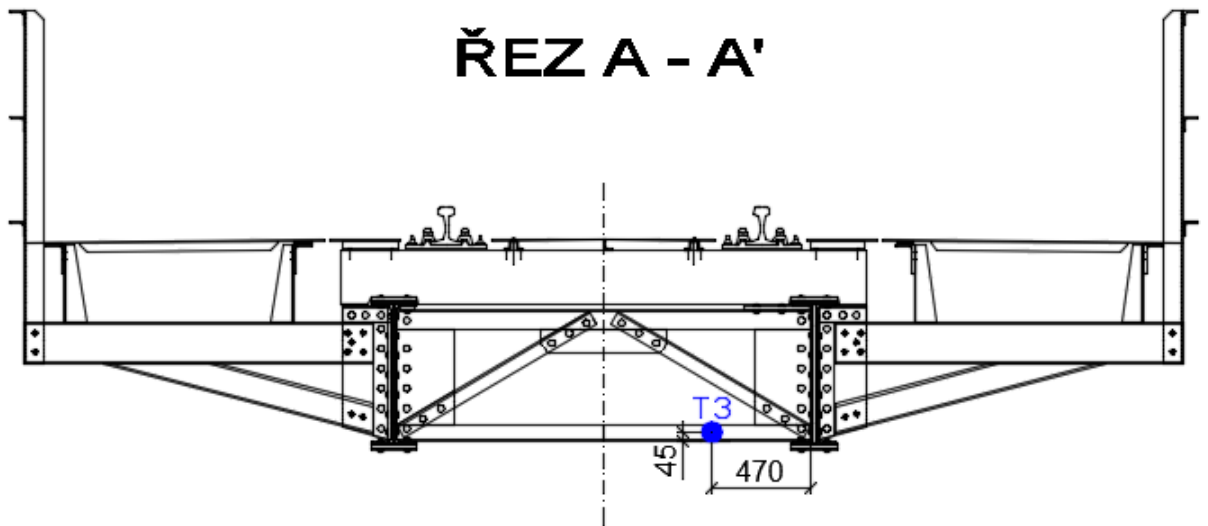
Rozmístění bodů na konstrukci – řez (tloušťka náteru)



Rozmístění bodů na konstrukci – půdorys (tloušťka materiálu)



Rozmístění bodů na konstrukci – pohled zprava (tloušťka materiálu)



Rozmístění bodů na konstrukci – řezy (tloušťka materiálu)

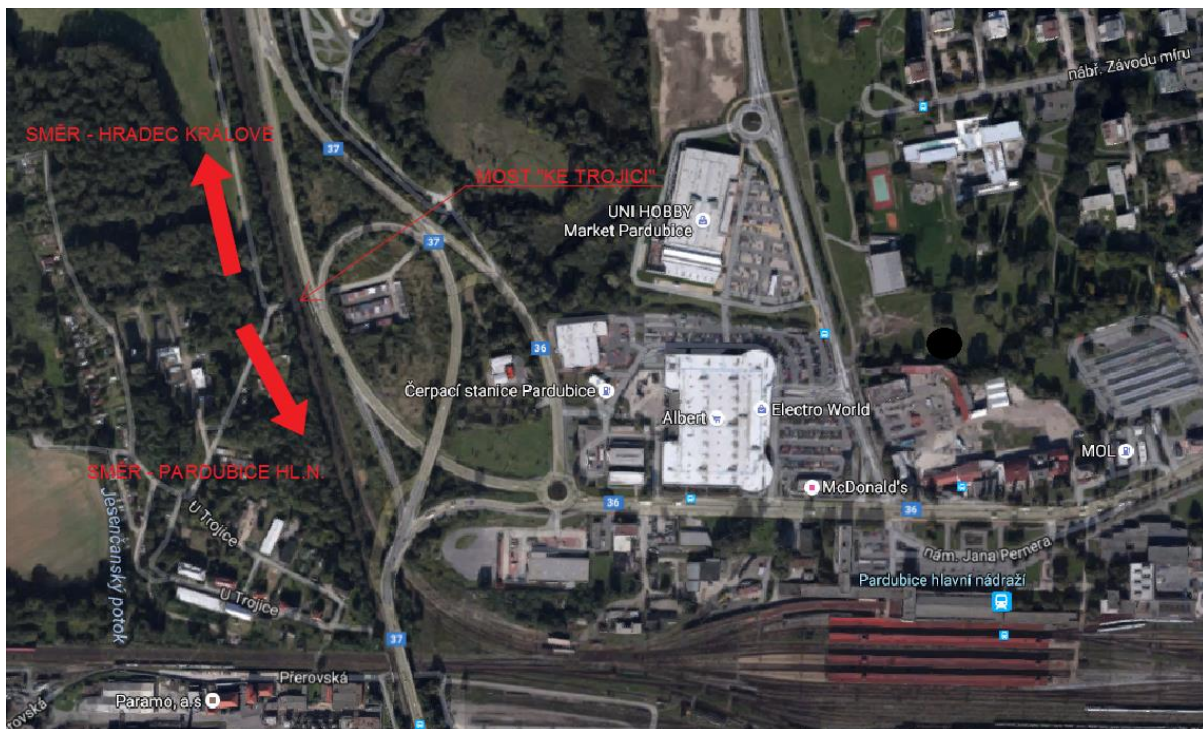
Diagnostika mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.

**Příloha č. 3
Protokol o podrobné prohlídce**

V protokolu jsou uvedeny důvěrné informace, které byly poskytnuty SŽDC pro účely měření pomocí ultrazvukových přístroj. Vzhledem k jejich důvěrnosti jsou údaje z protokolu vynechány.

Diagnostika mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.

**Příloha č. 4
Fotodokumentace**



Fotografie 1 - Uspořádání širších vztahů



Fotografie 2 - Most "Ke Trojici" - pohled zprava (Pardubice - Hradec Králové)



Fotografie 3 - Most "Ke Trojici" - pohled zleva (Hradec Králové - Pardubice)



Fotografie 4 - Pohled shora



Fotografie 5 - Pohled zespoda na mostní ocelovou konstrukci



Fotografie 6 - měřený bod P1 (tloušťka nátěru)



Fotografie 7 - měřený bod Hhp (tloušťka nátěru)



Fotografie 8 - měřený bod P2v (tloušťka nátěru)



Fotografie 9 - měřený bod L1v (tloušťka nátěru)



Fotografie 10 - měřený bod Dhl (tloušťka nátěru)



Fotografie 11 - měření bod P3 (tloušťka nátěru, tloušťka materiálu)



Fotografie 12 - měřený bod Dsp (tloušťka nátěru)



Fotografie 13 - měřený bod Dsl (tloušťka nátěru)



Fotografie 14 - měřený bod L2 (tloušťka nátěru)



Fotografie 15 - měřený bod L3 (tloušťka nátěru, tloušťka materiálu)



Fotografie 16 - měřený bod P4 (tloušťka nátěru)



Fotografie 17 - měřený bod Hsp (tloušťka nátěru)



Fotografie 18 - měřený bod Po1 (tloušťka nátěru)



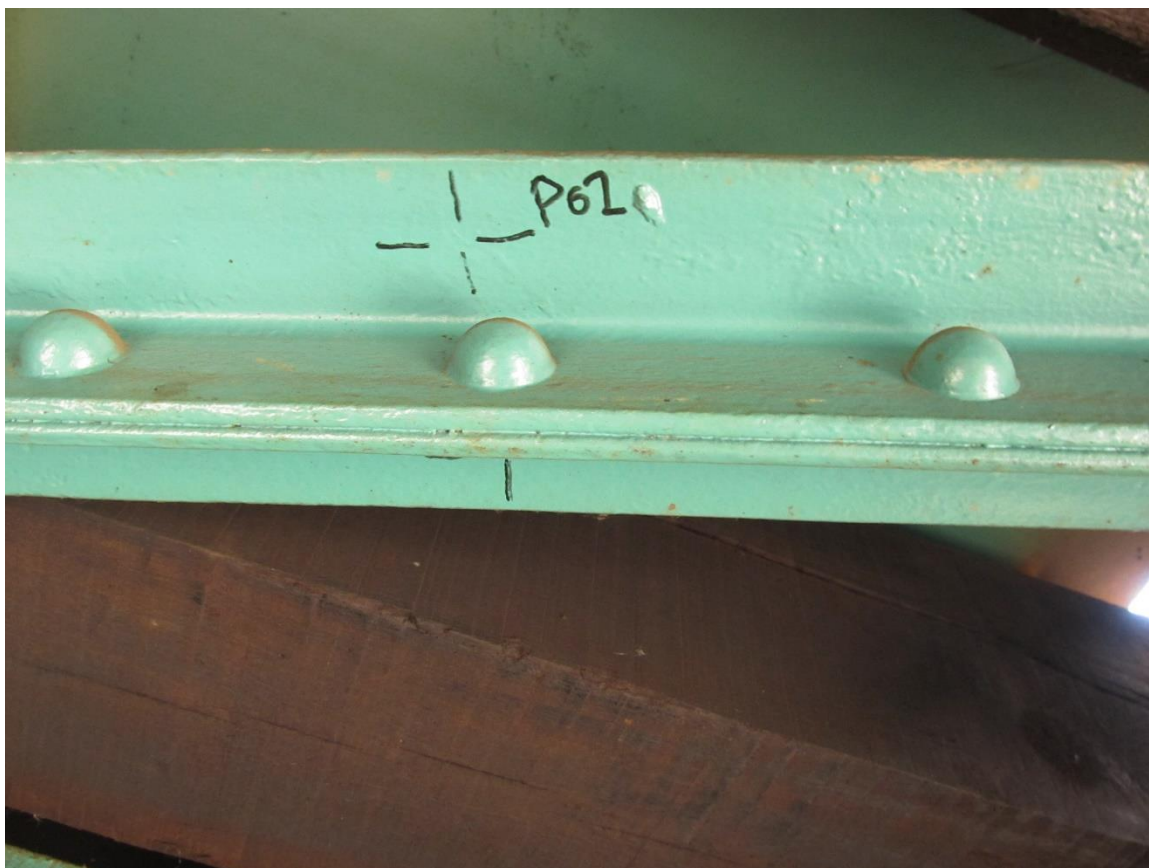
Fotografie 19 - měřený bod Pr1 (tloušťka nátěru)



Fotografie 20 - měřený bod S1 (tloušťka nátěru)



Fotografie 21 - měřený bod Pr3 (tloušťka nátěru)



Fotografie 22 - měřený bod Po2 (tloušťka nátěru)



Fotografie 23 - měřený bod K1 (tloušťka nátěru)



Fotografie 24 - měřený bod K2 (tloušťka nátěru)



Fotografie 25 - měřený bod T3 (tloušťka materiálu)



Fotografie 26 - měřený bod T4 (tloušťka materiálu)



Fotografie 27 - měřený bod T5 (tloušťka materiálu)



Fotografie 28 - měření stojny hlavního nosníku

Diagnostika mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.

**Příloha č. 5
Deník měření**

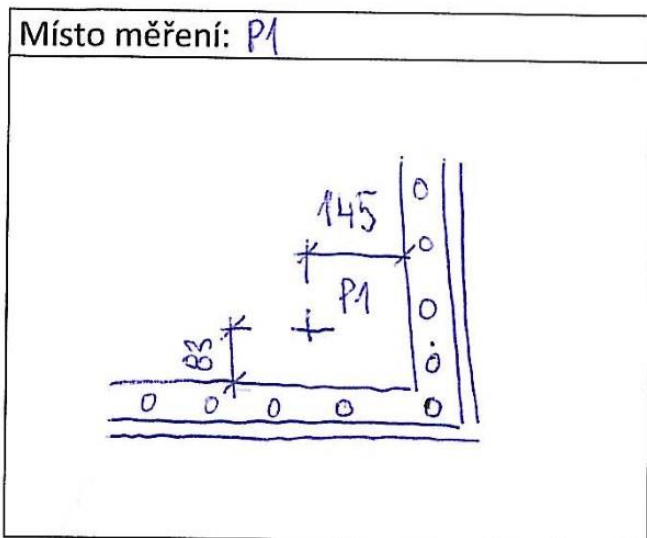
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jižní zhlaví.

Datum:

Tlak vzduchu:

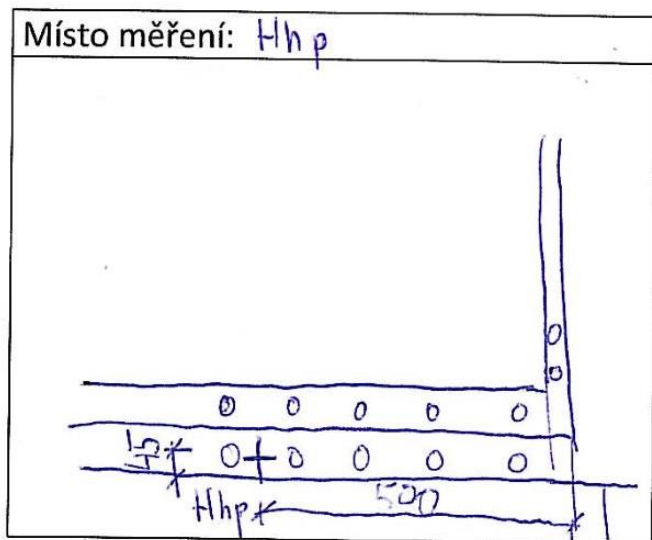
Teplota vzduchu [°C]: 25⁰⁰

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	736	6.	748
2.	747	7.	736
3.	735	8.	734
4.	747	9.	736
5.	732	10.	742

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	846	6.	792
2.	818	7.	775
3.	765	8.	775
4.	874	9.	738
5.	784	10.	785

Pozn:

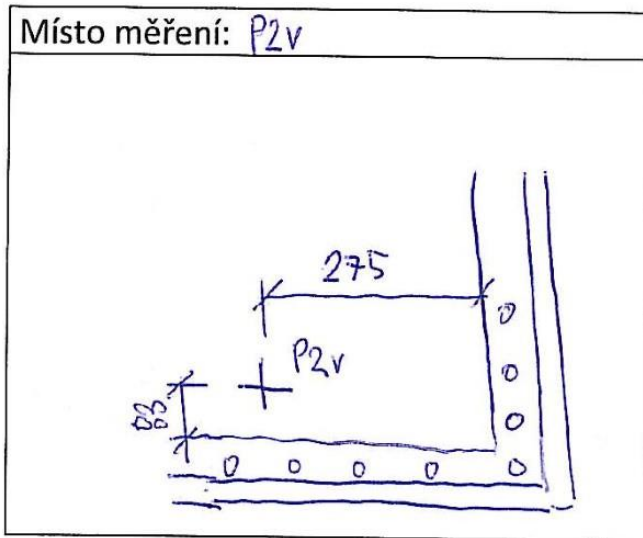
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum:

Tlak vzduchu:

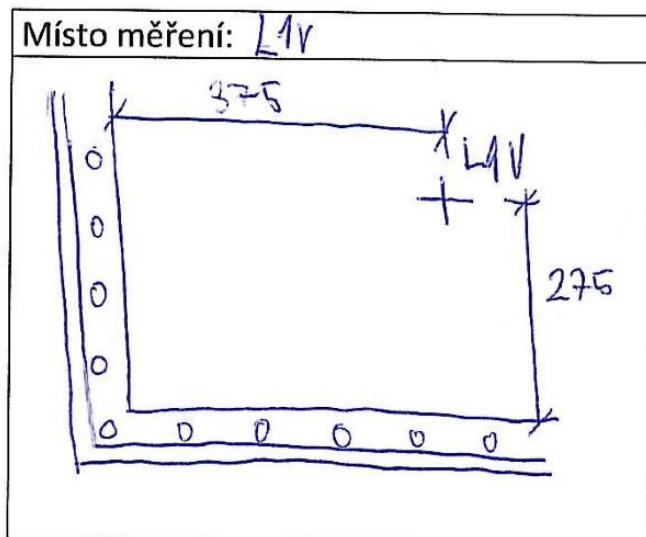
Teplota vzduchu [°C]: 25°0

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	337	6.	366
2.	370	7.	340
3.	342	8.	350
4.	335	9.	335
5.	327	10.	309

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	346	6.	348
2.	357	7.	339
3.	339	8.	356
4.	372	9.	330
5.	343	10.	345

Pozn:

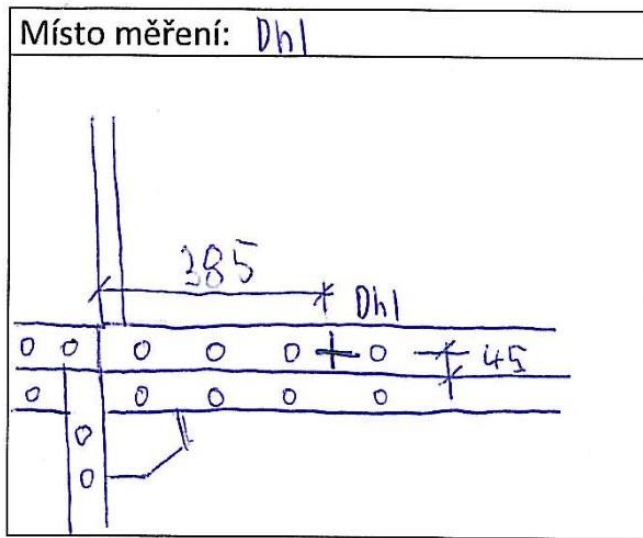
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum:

Tlak vzduchu:

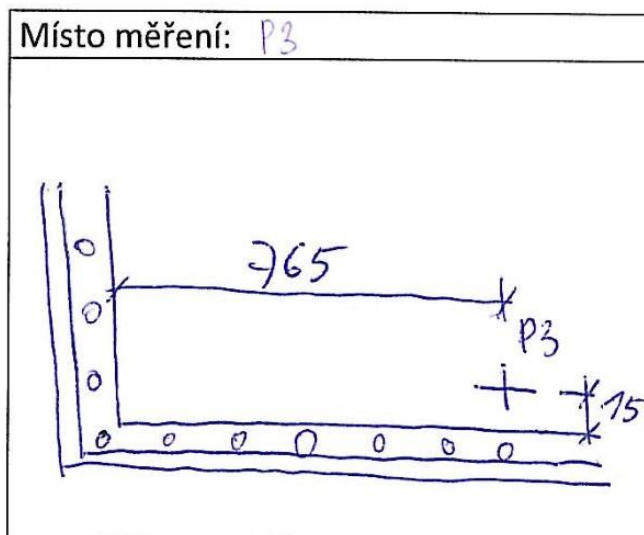
Teplota vzduchu [°C]: 25^oC

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	511	6.	955
2.	1012	7.	918
3.	994	8.	1022
4.	1009	9.	1031
5.	1002	10.	999

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	387	6.	409
2.	392	7.	409
3.	403	8.	387
4.	387	9.	389
5.	395	10.	384

Pozn:

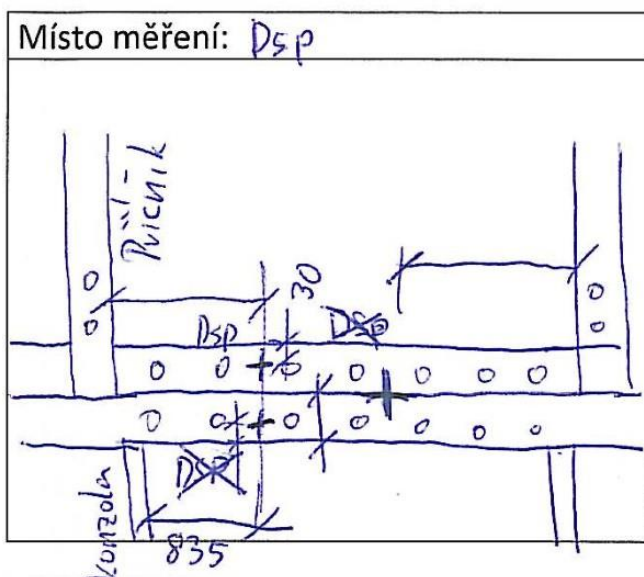
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum:

Tlak vzduchu:

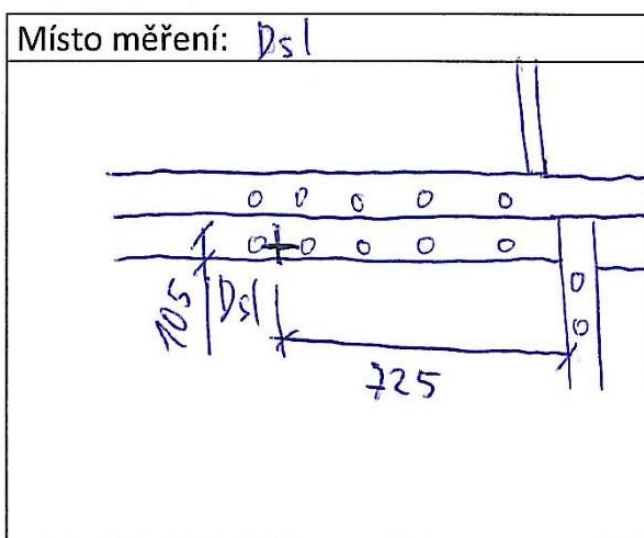
Teplota vzduchu [°C]: 25^o6

Vlhkost vzduchu [%]:



Pozn:

Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	420	6.	440
2.	408	7.	414
3.	439	8.	434
4.	395	9.	383
5.	437	10.	425



Pozn:

Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	469	6.	457
2.	457	7.	476
3.	464	8.	454
4.	436	9.	453
5.	440	10.	444

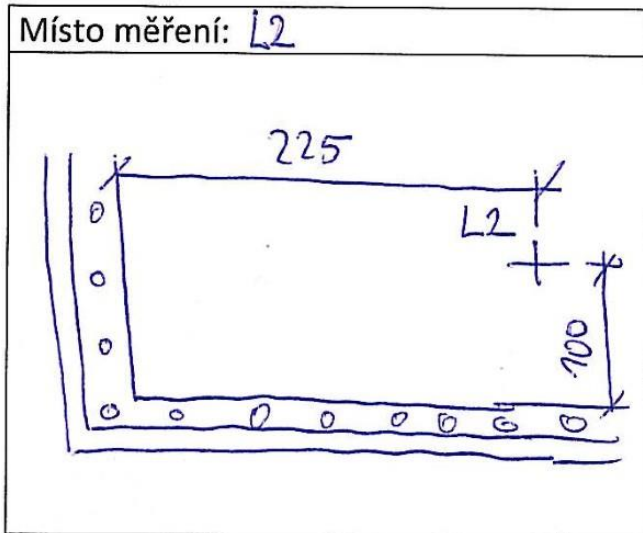
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Teplota vzduchu [°C]: 24^oC

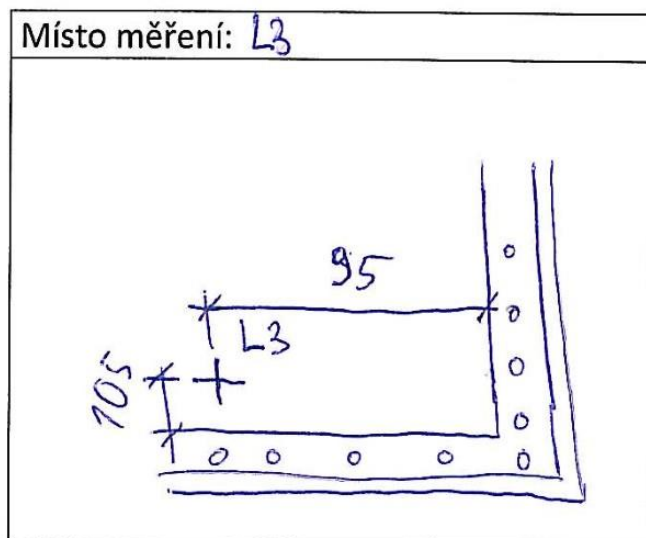
Tlak vzduchu:

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	517	6.	528
2.	514	7.	521
3.	525	8.	535
4.	523	9.	526
5.	546	10.	527

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	666	6.	672
2.	629	7.	635
3.	622	8.	627
4.	637	9.	676
5.	624	10.	665

Pozn:

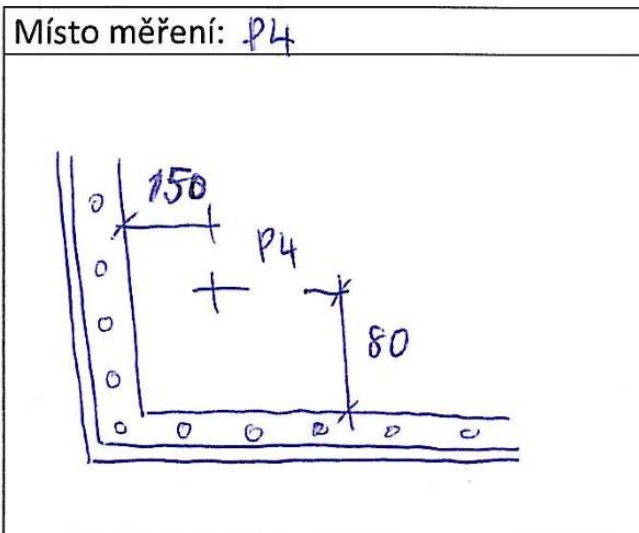
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Teplota vzduchu [°C]: 25°C

Tlak vzduchu:

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	656	6.	646
2.	656	7.	640
3.	647	8.	646
4.	655	9.	663
5.	623	10.	644

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	416	6.	415
2.	470	7.	407
3.	399	8.	388
4.	475	9.	442
5.	420	10.	443

Pozn:

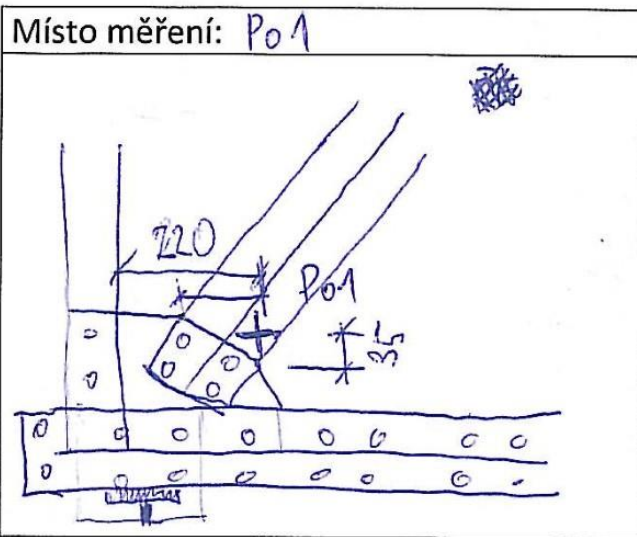
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Teplota vzduchu [°C]: 26 °C

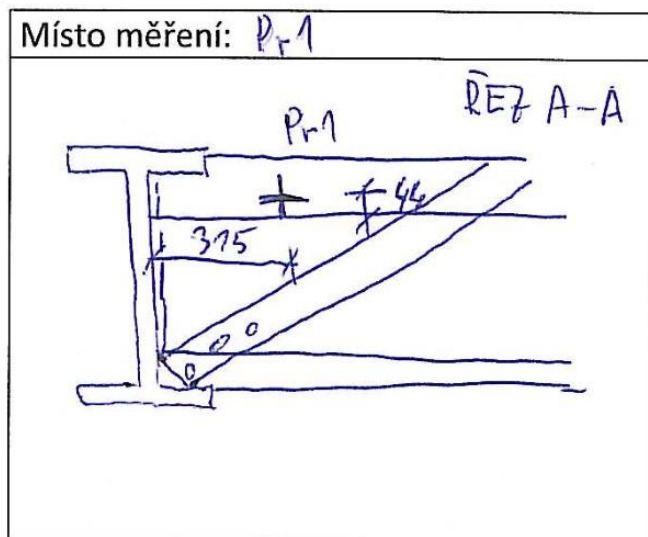
Tlak vzduchu:

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	510	6.	509
2.	507	7.	520
3.	522	8.	541
4.	567	9.	577
5.	577	10.	532

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	466	6.	457
2.	525	7.	506
3.	495	8.	479
4.	467	9.	459
5.	466	10.	473

Pozn:

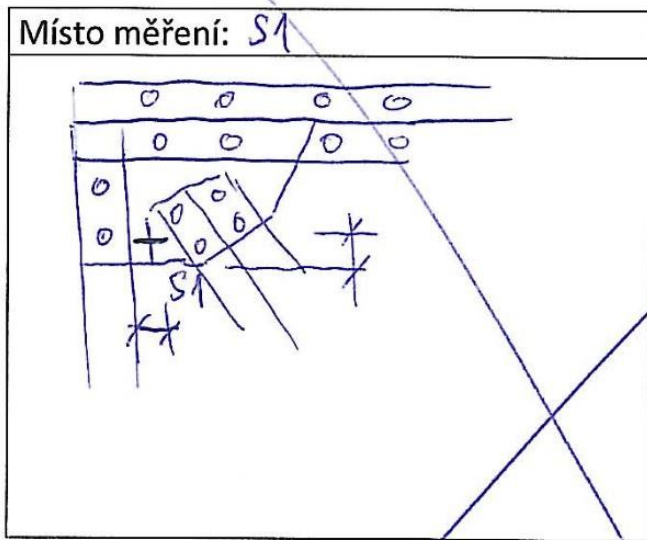
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n. (mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jižní zhlaví.

Datum:

Tlak vzduchu:

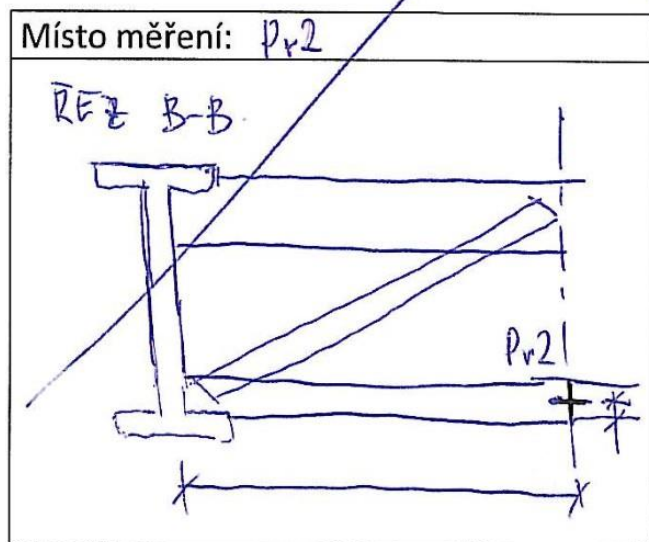
Teplota vzduchu [°C]:

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	

Pozn:

Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

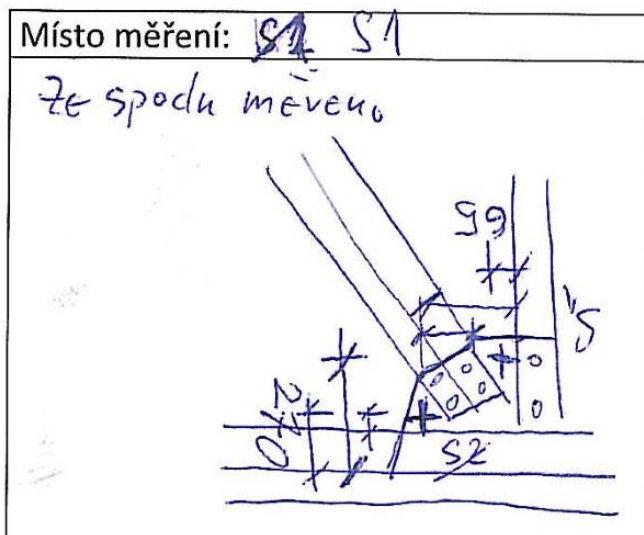
Datum:

6.6.76

Teplota vzduchu [°C]: 24°C

Tlak vzduchu:

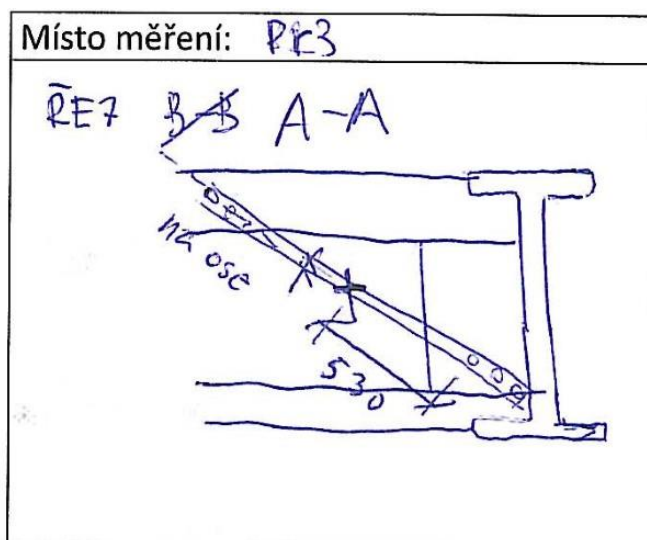
Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	294	6.	299
2.	284	7.	291
3.	371	8.	333
4.	296	9.	297
5.	296	10.	299

Pozn:

změna



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	668	6.	683
2.	655	7.	656
3.	661	8.	653
4.	658	9.	662
5.	660	10.	657

Pozn:

Pozor změna vozu!

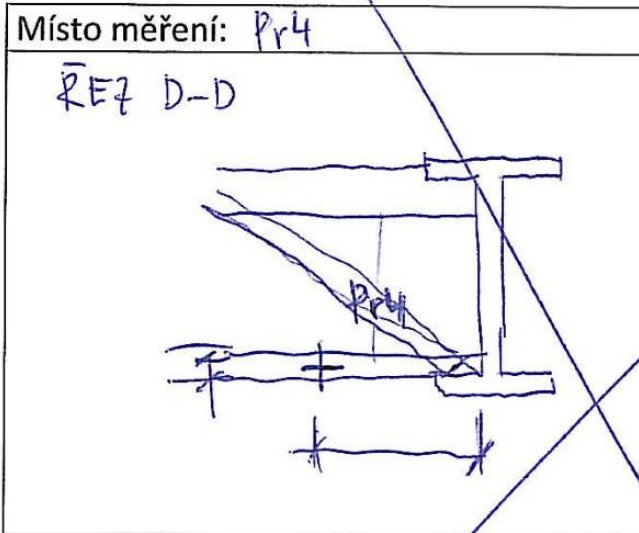
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n. (mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jižní zhlaví.

Datum:

Tlak vzduchu:

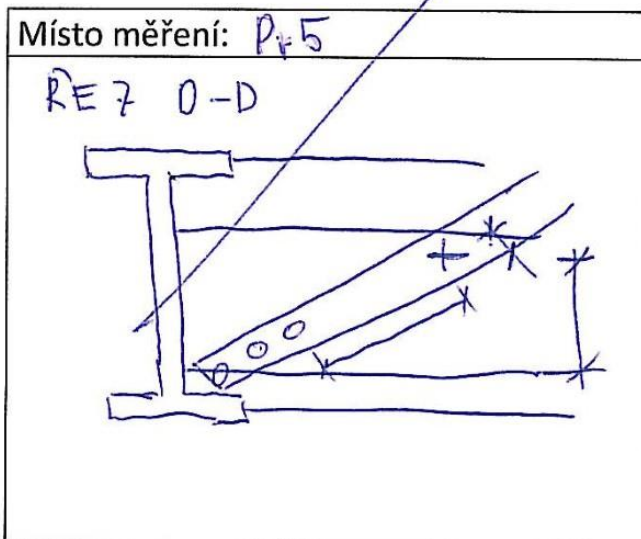
Teplota vzduchu [°C]:

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	

Pozn:

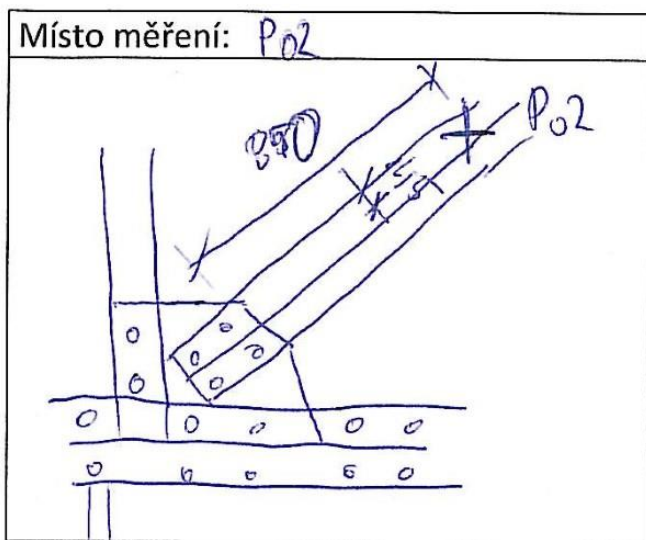
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Tlak vzduchu:

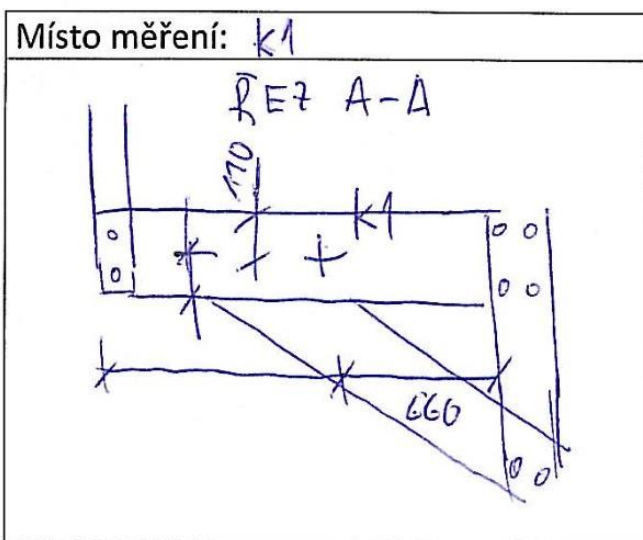
Teplota vzduchu [°C]: 24°C

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	583	6.	599
2.	590	7.	586
3.	525	8.	499 492
4.	575	9.	486
5.	569	10.	557

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	699	6.	672
2.	707	7.	688
3.	700	8.	683
4.	687	9.	696
5.	687	10.	697

Pozn:

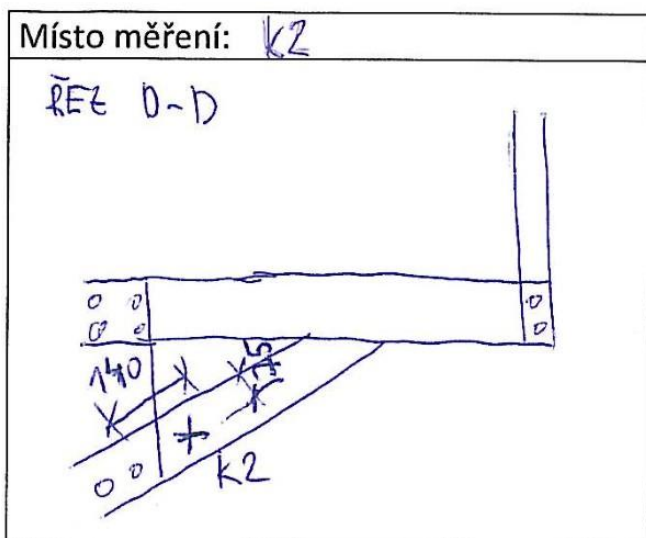
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jihní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Tlak vzduchu:

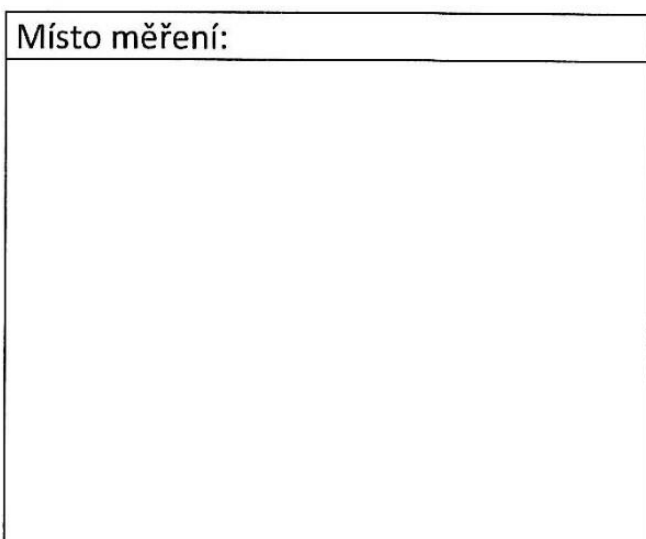
Teplota vzduchu [°C]: 24°C

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	750	6.	748
2.	741	7.	752
3.	745	8.	734
4.	772	9.	742
5.	746	10.	753

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	

Pozn:

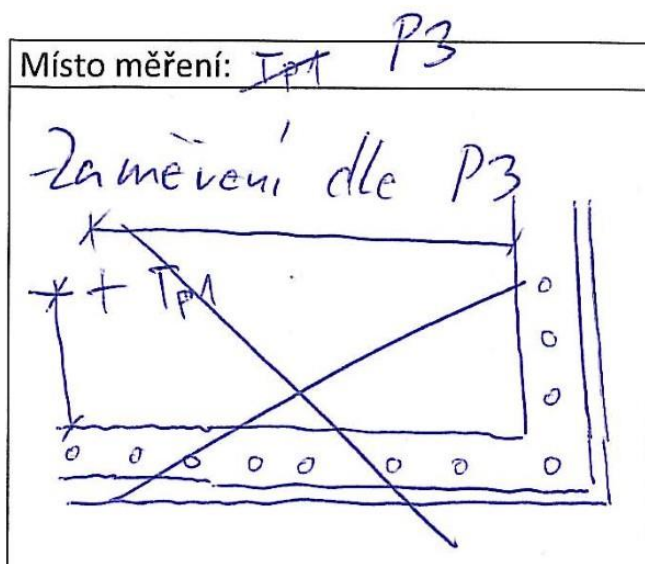
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jižní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Teplota vzduchu [°C]: 25°C

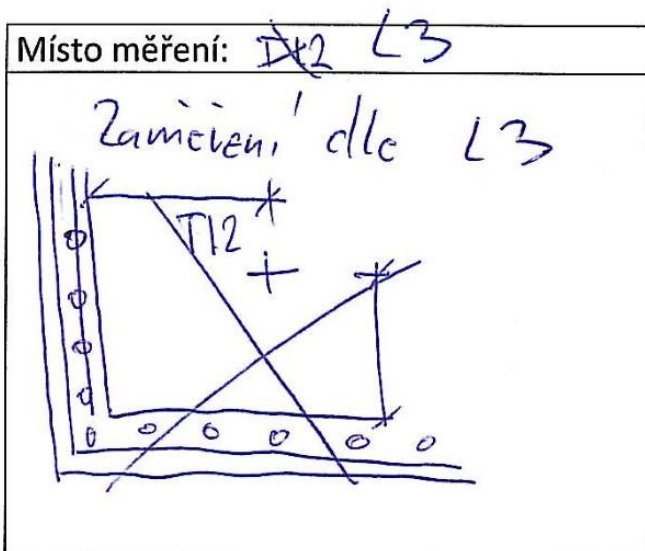
Tlak vzduchu:

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	73,12	6.	73,13
2.	73,73	7.	73,74
3.	73,72	8.	73,70
4.	73,15	9.	73,73
5.	73,74	10.	73,70

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	73,02	6.	73,02
2.	73,03	7.	73,03
3.	73,03	8.	73,02
4.	73,02	9.	73,02
5.	73,04	10.	73,03

Pozn:

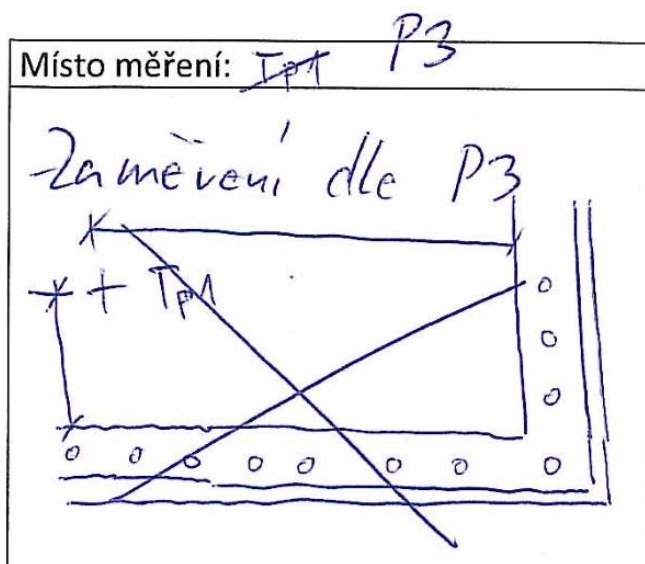
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jižní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Teplota vzduchu [°C]: 25°C

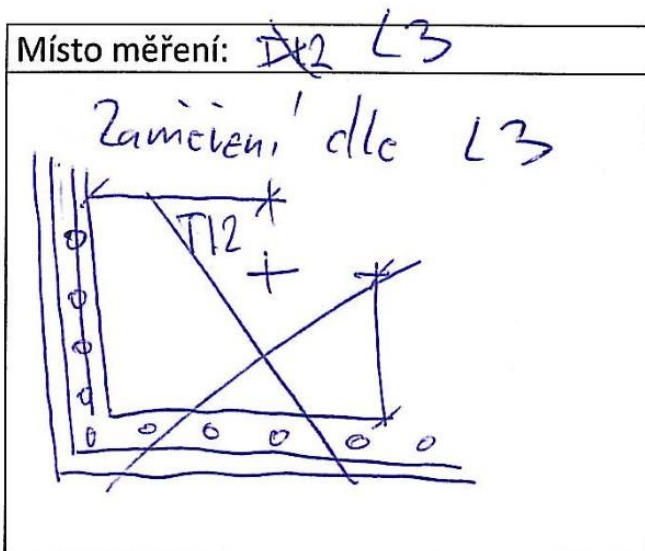
Tlak vzduchu:

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	73,12	6.	73,13
2.	73,73	7.	73,74
3.	73,72	8.	73,70
4.	73,15	9.	73,73
5.	73,74	10.	73,70

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	73,02	6.	73,02
2.	73,03	7.	73,03
3.	73,03	8.	73,02
4.	73,02	9.	73,02
5.	73,04	10.	73,03

Pozn:

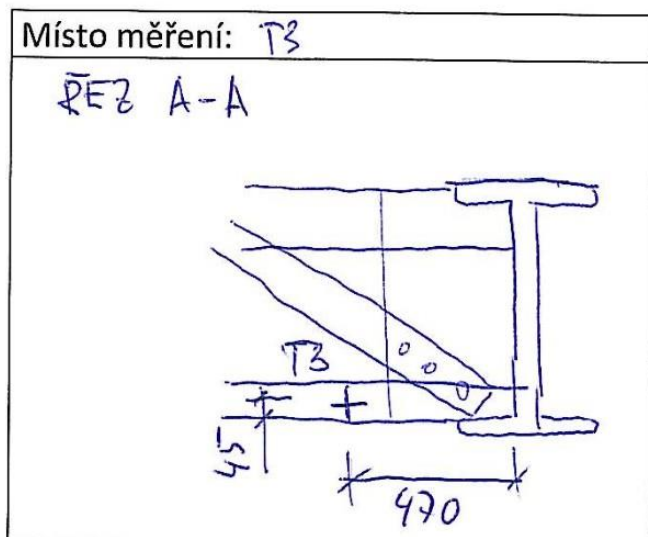
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jižní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Tlak vzduchu:

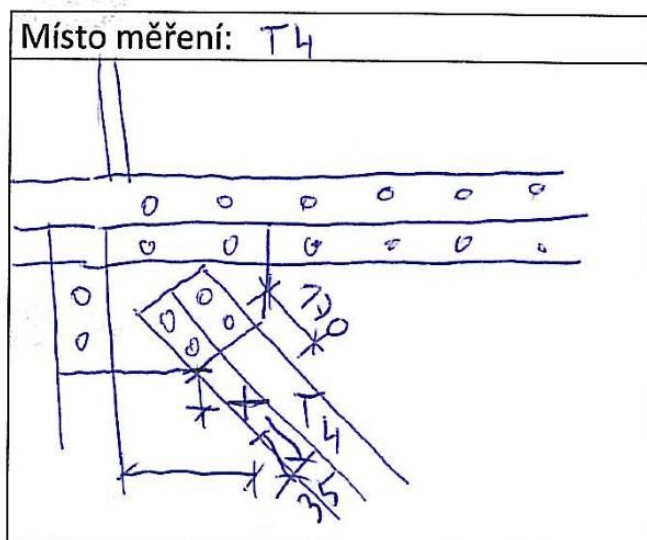
Teplota vzduchu [°C]: 25^oV

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	9,68	6.	9,62
2.	9,63	7.	9,61
3.	9,62	8.	9,64
4.	9,61	9.	9,63
5.	9,62	10.	9,62

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	7,85	6.	7,85
2.	7,87	7.	7,86
3.	7,83	8.	7,83
4.	7,79	9.	7,80
5.	7,84	10.	7,85

Pozn:

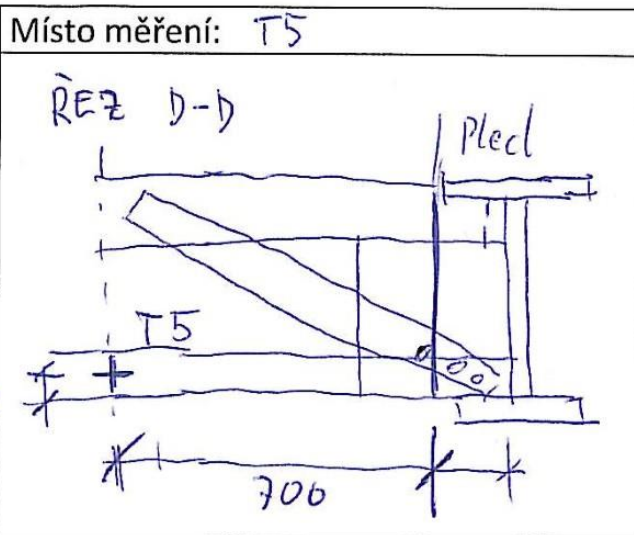
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-jižní zhlaví.

Datum: 6.6.2016

Tlak vzduchu:

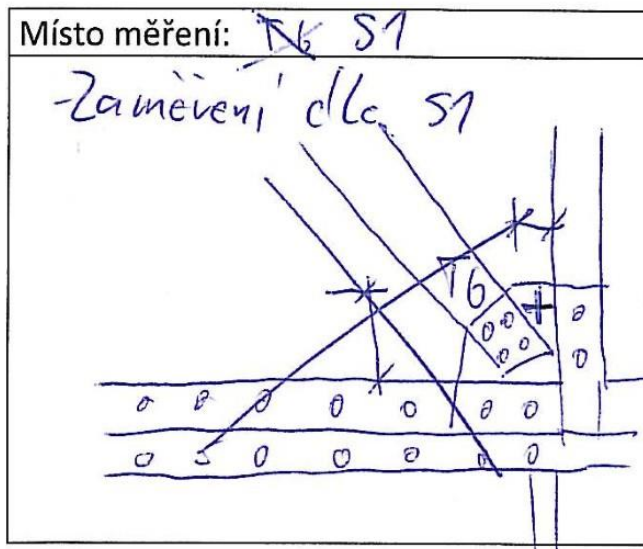
Teplota vzduchu [°C]: 25°C

Vlhkost vzduchu [%]:



Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.	9,68	6.	9,65
2.	9,67	7.	9,67
3.	9,66	8.	9,64
4.	9,67	9.	9,64
5.	9,64	10.	9,63

Pozn:



Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.	10,72	6.	10,71
2.	10,70	7.	10,70
3.	10,65	8.	10,72
4.	10,65	9.	10,72
5.	10,72	10.	10,71

Pozn:

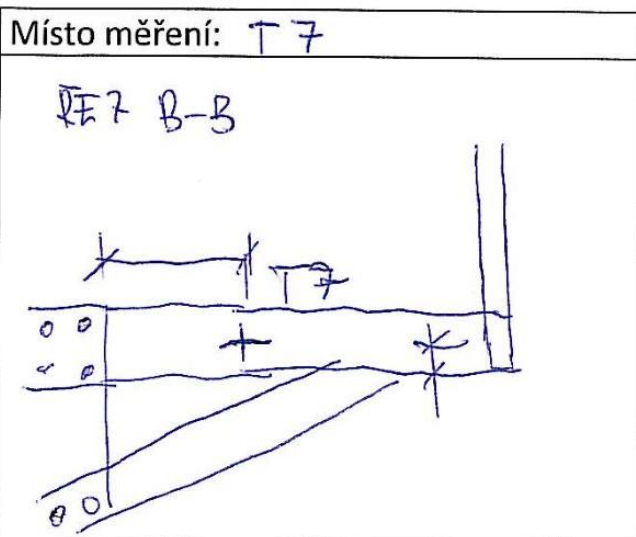
Tloušťka nátěru: mostní konstrukce v km 1,589 t.ú. 1614 Pardubice hl.n.
(mimo) – Pardubice- Rosice nad Labem-j jižní zhlaví.

Datum:

Tlak vzduchu:

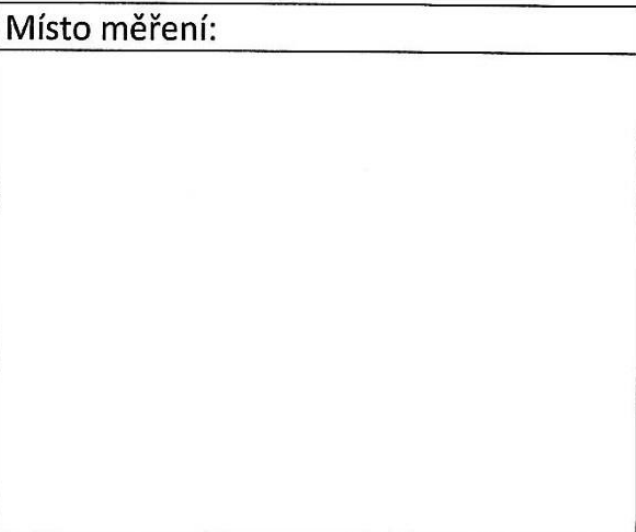
Teplota vzduchu [°C]:

Vlhkost vzduchu [%]:



Pozn:

Naměřené hodnoty [mm]			
měření	hodnota	měření	hodnota
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	



Pozn:

Naměřené hodnoty [mm]			
Měření	Hodnota	Měření	hodnota
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	