

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2019

**JOSEF
VLČEK**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vlček	Jméno: Josef	Osobní číslo: 437255
Zadávající katedra: Katedra železničních staveb		
Studijní program: Stavitelství		
Studijní obor: Realizace pozemních a inženýrských staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Problematika upevnění podkladnice k příčnému pražci


Název bakalářské práce anglicky: Problem of the baseplate installation to a sleeper

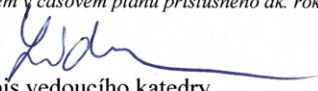
Pokyny pro vypracování:
Zpracujte rešerši na téma "Součástí upevnění v železničním svršku" se zaměřením na upevnění podkladnice k pražci. Provedte laboratorní zkoušku měření síly mezi podkladnicí a vrtulí, která je instalovaná v pražci podle předepsaného krouticího momentu a dalších podmínek v předpisu SŽDC S3 a SŽDC SR103/3 (S). Laboratorní zkoušku proveďte na sérii zkušebních těles připravených z různých materiálů a typů pražce, které jsou dostupné na Fakultě stavební, ČVUT v Praze. Provedte vyhodnocení naměřených dat, diskusi výsledků a zpracujte závěr.

Seznam doporučené literatury:
1) Předpis SŽDC S3 Železniční svršek, SŽDC, Praha, 2008.
2) Předpis SR 103/3 (S) Služební rukověť. Výkresy materiálu pro železniční svršek. Kolej, SŽDC, Praha, 2010.
3) C. Esveld, Modern railway track, MRT-Productions, 2001.
4) V. Lojda, Držebnost upevňovadel v pražcích ze dřeva, 19. odborná konference doktorského studia, Juniorstav 2017, BRNO, VUT v Brně, 2017.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Vít Lojda


Datum zadání bakalářské práce: 18. 2. 2019 Termín odevzdání bakalářské práce: 26. 5. 2019
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

18.2. 2019 

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra železničních staveb**

**PROBLEMATIKA UPEVNĚVÁNÍ
PODKLADNICE K PŘÍČNÉMU PRAŽCI**

**PROBLEM OF THE BASEPLATE
INSTALATION TO A SLEEPER**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Josef Vlček

Studijní program: Stavitelství

Studijní obor: Realizace pozemních a inženýrských staveb

Vedoucí práce: Ing. Vít Lojda

Praha 2019

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsou citovány.

Praha, 26. května 2019

.....

Josef Vlček

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Vítu Lojdovi za pomoc, cenné rady a připomínky při vedení této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval za poskytnutí literárních zdrojů a technických rad panu Ing. Pavlu Voříškovi, panu Michalu Válkovi za technickou pomoc při realizaci experimentů, vedoucímu katedry panu doc. Ing. Martinu Lidmilovi Ph.D. za umožnění tvorby bakalářské práce na Katedře železničních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze a společnosti Impregnace Soběslav s.r.o. za poskytnuté vzorky železničních pražců.

Anotace

V klasické konstrukci koleje se kromě přímého upevnění kolejnicového pásu k úložné ploše pražce využívá i nepřímé upevnění, jehož prvkem jsou podkladnice. Použití podkladnice a její upevnění vrtulemi instalovanými bezprostředně v materiálu pražce je typické pro pražce ze dřeva. Nicméně u prvotních typů pražců z předpjatého betonu se podkladnice upevňuje vrtulemi instalovanými ve vlepěné hmoždince taktéž využívá. Tato bakalářská práce se zabývá experimentálním měřením síly, kterou je podkladnice po dotažení vrtule předepsaným momentem připevněna k úložné ploše pražce. Pro potřeby provedení zkoušky byla podkladnice nahrazena specifickým ocelovým svařencem, který umožňuje instalaci siloměru se záznamem měřené síly. Zkouška byla provedena na sérii zkušebních těles připravených z částí pražců vyrobených z impregnovaného dřeva a předpjatého betonu. Na základě zpracovaných dat byl vytvořen závěr o síle, kterou vrtule podkladnici přitlačuje k pražci. Měřenými parametry byl utahovací moment a odpovídající utahovací síla. Součástí výsledků jsou krátkodobá měření v řádu hodin i dlouhodobá měření v řádu dnů. Při vyhodnocování laboratorní zkoušky byla pozorována maximální síla při dotažení vrtule a její úbytek až na ustálenou hodnotu vlivem deformace materiálů pražce.

Klíčová slova

Pražec, podkladnice, utahovací moment, utahovací síla, vrtule, impregnované dřevo, předpjatý beton

Annotation

In the ballasted track construction, in addition to the direct fastening system of the rail string to the upper surface of the sleeper, indirect fastening is also used, the element of which is a base plate. The use of a base plate and its fastening by screw spikes installed directly in the sleeper material is typical for sleepers made of wood. However, for the initial types of pre-stressed sleepers, the screw spikes-mounted base plate installed in the glued dowel is also used. This bachelor thesis deals with the experimental measurement of the force which the base plate is clamped to the upper surface of the sleeper after tightening the screw spikes. For testing purposes, the base plate was replaced by a specific steel weldment, which allows the installation of a load cell with a record of the measured force. The test was carried out on a series of test specimens prepared from sleeper parts made of impregnated wood and prestressed concrete. On the basis of the processed data, a conclusion was drawn about the force that the screw spikes acts against the sleeper. The measured parameters were the tightening torsion moment and the corresponding tightening force. The results include short-term measurements lasting hours and long-term measurements in the order of days. During the evaluation of the laboratory test, the maximum force when tightening the screw spikes and its loss to a stabilized value due to deformation of sleeper materials was observed.

Key words

Sleepers, base plate, tightening torque, tightening force, screw spikes, impregnated wood, prestressed concrete

Obsah

1	Úvod	11
1.1	Motivace.....	11
1.2	Zaměření práce.....	11
1.3	Rozsah práce.....	11
	Rešeršní část	12
2	Železniční spodek	12
2.1	Zemní pláň.....	13
3	Železniční svršek	13
3.1	Kolejnice	14
3.2	Kolejnicové podpory	16
3.2.1	Předpjaté betonové pražce.....	17
3.2.2	Ocelové pražce tvaru Y.....	20
3.2.3	Dřevěné pražce	20
3.3	Upevňovadla a drobné kolejivo	22
3.3.1	Přímé upevnění.....	25
3.3.2	Nepřímé upevnění	25
3.3.3	Podkladnicové upevnění	26
3.3.4	Bezpodkladnicové upevnění	27
3.3.5	Tuhé upevnění.....	28
3.3.6	Pružné upevnění.....	28
3.4	Kolejové lože.....	29
4	Způsob montáže vrtule v systému upevnění	30

4.1	Drobná mechanizace a nástroje pro montáž podkladnice k pražci.....	31
4.2	Metodika montáže podkladnice k pražci dle SŽDC S3	32
4.3	Metodika pro zjišťování utahovacího momentu na dotažených vrtulích dle SŽDC S3.....	33
	Laboratorní část	35
5	Laboratorní měření utahovací síly vrtule při použití utahovacího momentu předepsaného v SŽDC S3	35
5.1	Cíle laboratorní zkoušky	36
5.2	Popis použitého laboratorního zařízení	37
5.3	Postup provádění laboratorní zkoušky	39
5.4	Přehled provedených laboratorních měření	42
5.4.1	Utahovací síla F_u při použití momentového klíče	44
5.4.2	Utahovací síla F_u při použití strojní utahovačky.....	51
5.4.3	Kontrola skutečné velikosti utahovacího momentu dle metodiky SŽDC S3	53
5.5	Diskuse výsledků.....	55
6	Závěr	57
6.1	Zhodnocení výsledků provedené laboratorní zkoušky.....	57
6.2	Návrh na pokračování výzkumu	58
	Seznam tabulek.....	60
	Seznam obrázků	61
	Příloha 1	64

Seznam použitých symbolů a akronymů

<i>GPK</i>	geometrické parametry koleje
<i>PTŽS</i>	plán tělesa železničního spodku
<i>SŽDC</i>	Správa železniční dopravní cesty
<i>SR</i>	služební rukověť
<i>GTX</i>	geosyntetikum
<i>m</i>	hmotnost [kg]
<i>v</i>	rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
<i>F</i>	síla [N]
<i>F_u</i>	utahovací síla vrtule [N]
<i>T</i>	utahovací moment [Nm]
<i>t</i>	teplota [°C]
<i>l</i>	délka [m]
<i>α</i>	úhel [°]

Definice zavedených termínů v této bakalářské práci

Utahovací síla F_u [N]

Síla mezi podkladnicí a vrtulí instalovanou v pražci.

Utahovací moment T [Nm]

Kroutící moment, jímž je utahována vrtule v pražci.

1 Úvod

1.1 Motivace

Motivací pro zpracování této bakalářské práce je potřeba laboratorního ověření utahovací síly vrtulí k podkladnicím v železničním svršku. Tato síla není stanovena žádným předpisem a běžně není sledována. Vzhledem k problémům se zajištěním kvalitního dřeva pro výrobu dřevěných pražců došlo asi v posledních 20 letech k vývoji plastových a kompozitních kolejnicových podpor. [1] Pro použití těchto nových materiálů železničních pražců je vhodné ověřit metodiku a parametry utahování vrtulí upevňujících podkladnici na dřevěných a betonových pražcích. Problematiku utahování vrtulí je možné řešit experimentálním měřením utahovacího momentu a utahovací síly F_u , což je náplní této práce.

1.2 Zaměření práce

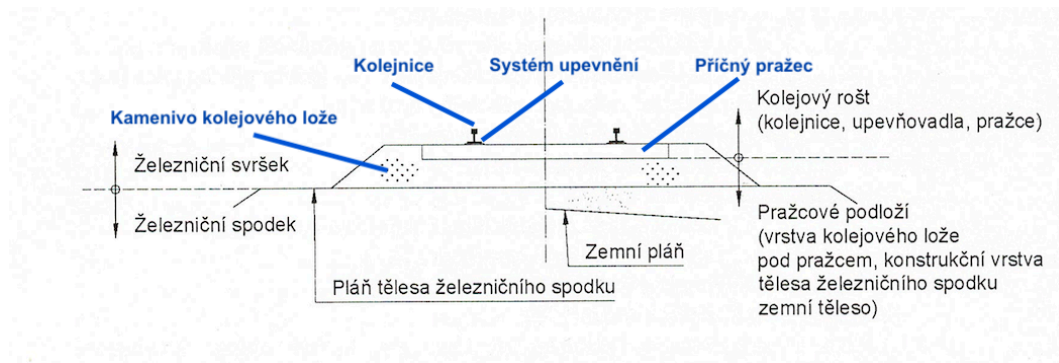
Vrtule se v pražcích dotahují podle parametru utahovacího momentu, který je definován provozovatelem dráhy. Nicméně, není známé, jakou sílu vrtule při definovaném momentu vyvine na podkladnici. Náplní této práce je experimentální stanovení této síly při použití různých typů pražce a předepsaných utahovacích momentů.

1.3 Rozsah práce

Součástí této práce je literární rešerše na téma problematiky upevňování podkladnice k příčnému pražci, železničního spodku a svršku a předepsané hodnoty pro upevňovadla železničního svršku. Práce se zabývá experimentálním měřením vybraných předepsaných hodnot. Na základě měření byla získána data utahovací síly vrtule a utahovacího momentu a byl proveden rozbor a diskuse těchto výsledků.

REŠERŠNÍ ČÁST

Železniční dopravní cesta je stavební dílo určené pro nesení a pohyb kolejových vozidel. Využití železniční dopravní cesty může být rozličné. Železniční dopravní cesta primárně slouží k přepravě osob a zboží. Přesná definice železniční dopravní cesty je dána Zákonem o drahách č. 266/1994 Sb. Ze stavebního hlediska dělíme železniční dopravní cestu na železniční spodek a železniční svršek (Obr. 1).



Obr. 1: Schéma rozdělení trati na železniční spodek a železniční svršek (zdroj: [2]).

2 Železniční spodek

Železniční spodek je stavební součástí železniční dopravní cesty. Vytváří dostatečně pevnou, únosnou, stabilní a trvanlivou liniovou podporu pro těleso železničního svršku v celé délce železniční dopravní cesty. Je tvořen zemním tělesem, kterým může být těleso náspu nebo zářezu. Jako železniční spodek se označují i další objekty železniční dopravní cesty jako jsou propustky, mosty, tunely a podpůrné a opěrné konstrukce. Samotné těleso náspu nebo zářezu může být podle místních geologických a klimatických podmínek modifikováno různými konstrukčními vrstvami pro zlepšení jeho stability a prodloužení životnosti. Takovými modifikacemi

jsou cementové nebo vápenné stabilizace zamísené do tělesa železničního spodku nebo geosyntetické (GTX) tkaniny a mřížky.

2.1 Zemní pláň

Pláň tělesa železničního spodku (PTŽS) je horní plocha konstrukční vrstvy tělesa železničního spodku, na níž je ukládáno těleso železničního svršku a spodní hrana této konstrukční vrstvy se označuje jako zemní pláň. Pláň tělesa železničního spodku musí vykazovat dostatečné hodnoty únosnosti a životnosti pro nesení železničního svršku a zároveň musí vykazovat hodnoty dostatečné ochrany tělesa železničního spodku. Tyto parametry jsou v České republice upravovány předpisem SŽDC S4. [3] Podle materiálu zemního tělesa jsou voleny spády zemní pláně pro odvod srážkové vody nebo je užito vhodného nepropustného a nenasákavého materiálu, který tvoří ochranou konstrukční vrstvu. Těleso železničního spodku může být z ekonomických, technických a geologických důvodů tvořeno i materiály, pro které je požadavek dodatečné ochrany konstrukční vrstvou nutnou podmínkou. V případě, že je těleso železničního spodku tvořeno materiálem, který nevyžaduje dodatečnou ochranu před vnějšími vlivy, nemusí být užito ochranné konstrukční vrstvy. Pokud není užito konstrukční vrstvy, je PTŽS označována rovněž zemní plání.

3 Železniční svršek

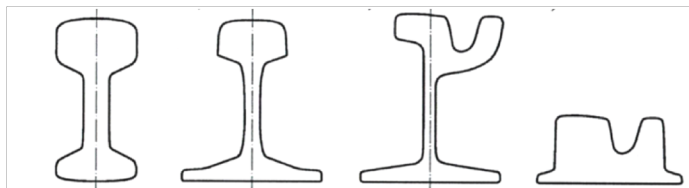
Konstrukce železničního svršku má funkci nesení a vedení kolejových vozidel. Jeho konstrukce je vedle tělesa železničního spodku technicky složitější a provádí se jako klasická konstrukce koleje nebo jako pevná jízdní dráha. Klasická konstrukce koleje, kterou se zabývá tato bakalářská práce, je tvořena kolejnicovými pásy, kolejnicovými podporami-pražci a kamenivem kolejového lože. Kolejnice jsou k pražcům připevněny systémem upevnění. [4][5]

3.1 Kolejnice

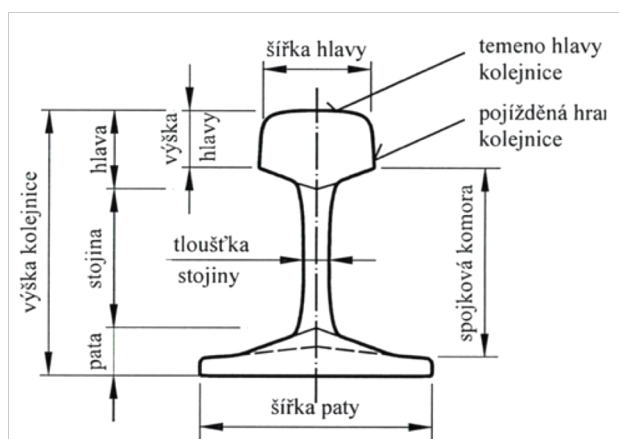
Kolejnice tvoří základní prvek železniční kolejové dráhy. Jsou umístěny v podélném směru shodně s vedením dopravní cesty. Jsou vyrobeny z oceli, která je válcována do různých příčných profilů. V historickém časovém horizontu se kolejnice vyráběly ze dřeva a v druhé polovině 18. století z litiny. [6] Kolejnice slouží v dráze k roznosu a přenosu sil vznikajících průjezdem kolejového vozidla. Vozidlo na kolejnici vyvozuje dynamické zatížení, které se označuje za provozní. Toto zatížení je způsobeno samotnou vahou vozidla, brzdnými a rozjezdovými silami a silami v příčném směru koleje od průjezdu kolejových vozidel směrovými oblouky a výhybkami. Provozní zatížení je přenášeno do kolejnicových podpor. Zatížení je přenášeno do kolejnice okolkem a náolkem. Další významná síla v kolejnici je síla od zamezení dilatace kolejnice v podélném směru v bezстыkové konstrukci koleje vlivem teplotních změn. Technické parametry kolejnic jsou:

- hmotnost kolejnice na metr délky,
- geometrie (výška, šířka, šířka stojiny, šířka paty),
- průřezové charakteristiky (moment setrvačnosti kolejnice k vodorovné a svislé těžištní ose, průřezový modul kolejnice, průřezová plocha kolejnice, rozdělení hmoty v průřezu kolejnice)
- stabilita kolejnice (poměr šířky paty k výšce kolejnice),
- výhodnost průřezu kolejnice (poměr průřezového modulu k hmotnosti kolejnice),
- tuhost kolejnice (poměr momentu setrvačnosti k hmotnosti kolejnice). [6]

Nejpoužívanějším současným typem je širokopatní a žlábková kolejnice (Obr. 2). Hlavními částmi širokopatní kolejnice je pata, stojina a hlava znázorněné na Obr. 3. Širokopatní kolejnice je v kolejových podporách upevňována v úklonu 1:40 nebo 1:20. Úklon se nezřizuje ve výhybkách a jiných kolejových zařízeních. Kolejnice žlábková se využívá na tramvajových drahách.



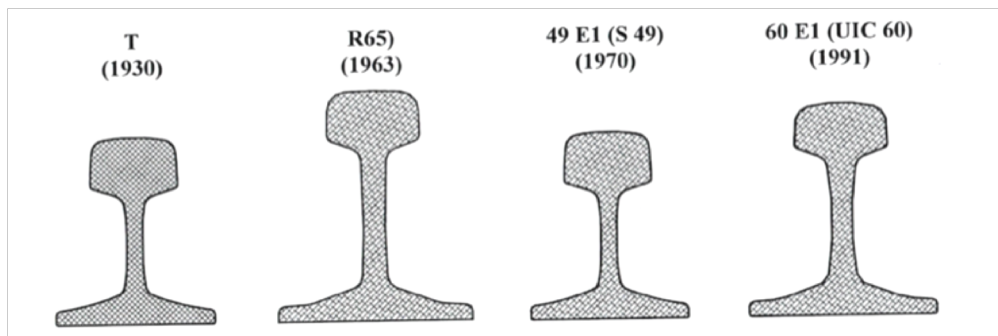
Obr. 2: Zleva kolejnice dvouhlavá, širokopatní, stojinová žlábková, žlábková bloková (zdroj: [5]).



Obr. 3: Názvosloví jednotlivých částí kolejnice (zdroj: [5]).

Nejpoužívanějšími typy kolejnice jsou tvary 60 E1 (UIC60) a 49E1 (S49) znázorněné na Obr. 4. Pro výrobu kolejnic se užívá oceli R260, R220 a R320Cr. Užití tvaru a materiálu kolejnice se odvíjí od nápravového zatížení koleje. Parametrem pro stanovení zatížení je hmotnost přepravené hmoty včetně hmotnosti kolejových vozidel a zatížení na nápravu kolejového vozidla. Základní délka kolejnic typu 60 E1 a 49 E1 je 25 m. U kolejnice R 65 jsou základní délky 20 m a 25 m.

Každá kolejnice je z výroby označena typem, rokem výroby a výrobcem. [6]



Obr. 4: Tvary užívaných kolejnic (zdroj: [5]).

Klasickou konstrukci koleje tvoří pár kolejnicových pásů. Tyto kolejnicové pásy jsou v konstrukci koleje vždy umístěny tak, aby byl dodržen takzvaný rozchod koleje a byly dodrženy geometrické parametry koleje (GPK). Rozchodem koleje je myšlena vzdálenost vnitřních hran kolejnic měřená 14 mm pod temenem kolejnice. [4] Dodržení rozchodu kolejnic je jedním z nejdůležitějších parametrů konstrukce koleje. V České republice jsou dnes veřejné železniční dopravní cesty převážně tvořeny rozchodem 1435 mm, který se označuje jako normální. Dále se v České republice můžeme setkat s rozchodem 760 mm. Tento rozchod je označován za bosenský. Ve světě je užito kolejí s rozchody úzkými od 650 mm (Maroko) až po rozchody široké do 2000 mm (Skotsko). [4]

3.2 Kolejnicové podpory

V klasické konstrukci koleje tvoří podpory kolejnic příčné pražce, výhybkové pražce a mostnice. Příčné pražce jsou umístěny v kolejovém loži a zajišťují přenos sil od provozního zatížení z kolejnic do pražcového podloží přes styčné plochy mezi těmito prvky. Horní hrana pražce ve styku s kolejnicí se označuje jako úložná plocha a spodní hrana pražce v kontaktu s pražcovým podložím jako ložná

plocha. Konstrukce klasické koleje spočívá v uložení kolejnice na příčné pražce. Příčné pražce zajišťují stabilitu koleje proti klopení, stálost rozchodu kolejnice a tuhost kolejového roštu. Kolejovými podporami nemusí být pouze klasické příčné pražce. Dalšími typy kolejových podpor jsou:

- mostnice,
- přímé uložení na konstrukci mostů,
- podélné podpory,
- pevná jízdní dráha. [6]

Pražce jsou z hlediska materiálu navrženy tak, aby zajišťovaly stálou a trvanlivou podporu kolejnice. Síly vznikající v pražci se odvíjí od tvaru jejich ložné plochy a na tyto síly musí být navrženo jejich vyztužení u materiálů vyžadujících vyztužení na tahové působení, jako je například beton.

V České republice je nejčastěji užívaným typem kolejnicové podpory betonový předpjatý pražec. V odůvodněných případech je možné užití pražce dřevěného, ocelového nebo pevné jízdní dráhy. Dalším ekvivalentem těchto materiálů a řešení je například kompozitní pražec z polymerů, který se však nyní zatím v České republice nevyužívá.

3.2.1 Předpjaté betonové pražce

Betonové příčné pražce jsou vyrobeny z vyztuženého betonu nebo z betonu s předpjatou výztuží. Betonový příčný pražec tvoří alternativu ke klasickým dřevěným pražcům. Dnes se již využívá pro konstrukce železničních drah primárně. Nahrazení dřevěného pražce za betonový bylo způsobeno více faktory. Jedním z důvodů je nedostatek a vysoká cena kvalitního dřeva pro výrobu dřevěných pražců, ale také vysoká odolnost, životnost a zatížitelnost betonových

pražců. To vše má za následek, že dřevěné železniční pražce se v České republice používají jen zřídka, a to pouze na tratích nižšího významu nebo při lokálních opravách tratí, kde jsou použity dřevěné pražce. Betonové pražce se rozdělují podle Tab. 1.

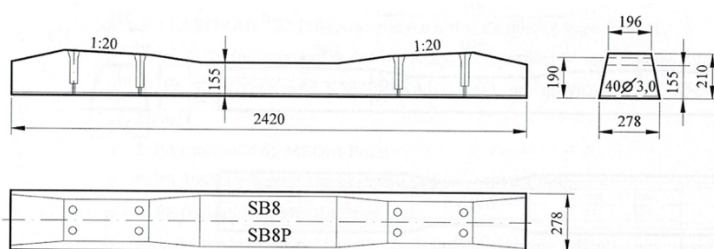
Tab. 1 Rozdělení betonových pražců (zdroj: [6])

Druh	Tvar	Tuhost
<ul style="list-style-type: none"> • železobetonové • předpjaté • dodatečně předpjaté 	<ul style="list-style-type: none"> • monolitické • článkové • blokové 	<ul style="list-style-type: none"> • tuhé • polotuhé • s netuhým středním spojovacím článkem

První využití betonových příčných pražců v Československu bylo přibližně od roku 1950 v síti ČSD. S hromadnou výrobou pražců se začalo v roce 1955. [6] Prvními typy pražců byly PAB 2a a SB2. První z nich je železobetonový monolitický s tuhou konstrukcí. Druhý je pružný železobetonový s dodatečně předpjatou výztuží a je tvořen třemi články. Dodatečně předpjatá výztuž se v konstrukci pražců neosvědčila. Konstrukce betonového blokového pražce s netuhým středním spojovacím dílem se taktéž neosvědčila a dnes se již v České republice nepoužívá. Ve Francii v síti SNCF je však stále tento typ pražce využíván. [6] Dalšími typy příčných betonových pražců byly SB 3, SB 4 a SB 5, u nichž je využito rozponových podkladnic. Prvním typem, kde se využila žebrová klínová podkladnice, byl typ SB 6.

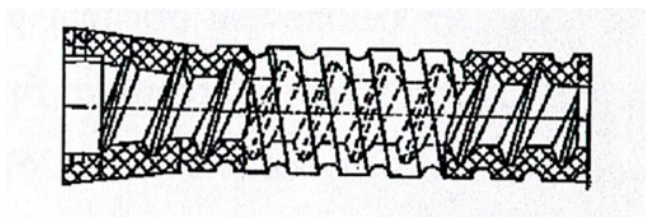
Pražec typu SB 8 (Obr. 5) byl prvním betonovým pražcem, kde byl úklon stanoven již úklonem úložné plochy. Se všemi těmito typy pražců se lze v České republice setkat. O jejich výměně při realizaci rekonstrukce trati vždy rozhoduje jejich technický stav.

Od roku 1993 se v České republice využívá pražců B 91 a B 91 S, které byly vyvinuty pro realizaci rekonstrukcí koridorových tratí. Pražec B 91 S se dnes vyrábí pro rychlosti do 120 km/h až po pražce do rychlosti 300 km/h. Maximální zatížení od nápravy na tento pražec může být 18 t, 22,5 t nebo 25 t. Úklon úložné plochy je stanoven sklonem 1:40. Je určen pro použití bezpodkladnicových upevňovadel výrobce Vossloh typu W 14, W 14 NT a E 14 nebo typu Pandrol Fastclip FC. [7]



Obr. 5: Betonový pražec typu SB8(P) (zdroj: [5]).

Uchytení upevňovadel umožňuje vložená polyamidová hmoždinka zobrazená na Obr. 6. Značení typu pražců (Obr. 7) je vždy umístěno na viditelném místě a je uveden typ, výrobce, rok výroby, typ hmoždinky a pořadí pražce ve výhybce.



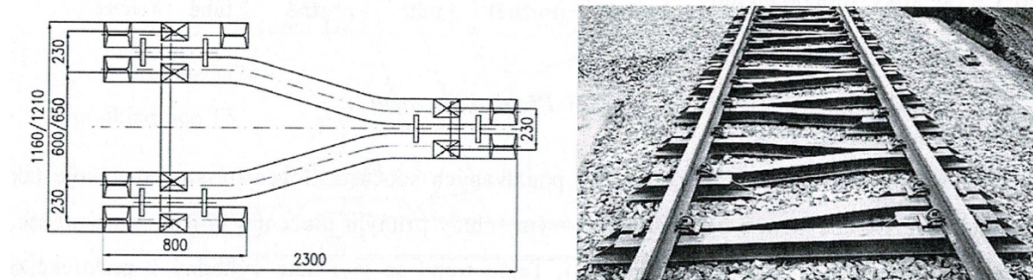
Obr. 6: Polyamidová hmoždinka (zdroj: [5]).



Obr. 7: Příklad označení pražce (zdroj: [5]).

3.2.2 Ocelové pražce tvaru Y

Jedná se o méně rozšířený typ pražce, který je dnes již na ústupu v použití. Důvodem pro jeho ústup je postupná elektrizace drah, a tedy nevhodnost použitého materiálu pro jeho dobrou vodivost v případě havárie napájecího systému. Ocelový pražec Y (Obr. 8) najdeme v různých evropských státech na celkem více než 1000 km železničních tratí. [5]



Obr. 8: Ocelový příčný pražec tvaru Y (zdroj: [5]).

Pražec je tvořen párem „I“ nosníků s profilem 95/140 mm vytvarovaných na hydraulickém lisu, aby spolu tvořily tvar písmene Y. Jeden pražec má 3 místa pro bezpodkladnicové upevnění pomocí pružných svěrek Skl 14. V koleji se střídá příčná orientace pražců pro rovnoměrné podepření kolejnic. Úložné plochy mají sklon 1:20. Váha pražce pro normální rozchod je 140 kg. Tento typ pražce lze použít pouze v kolejích 5. a 6. řádu, a to do rychlosti 80 km/h, pokud není udělena výjimka. Tvar pražce Y působí příznivě proti příčným silám v koleji a lze využít v podmínkách, kde je potřeba redukovat výškový profil kolejového lože.

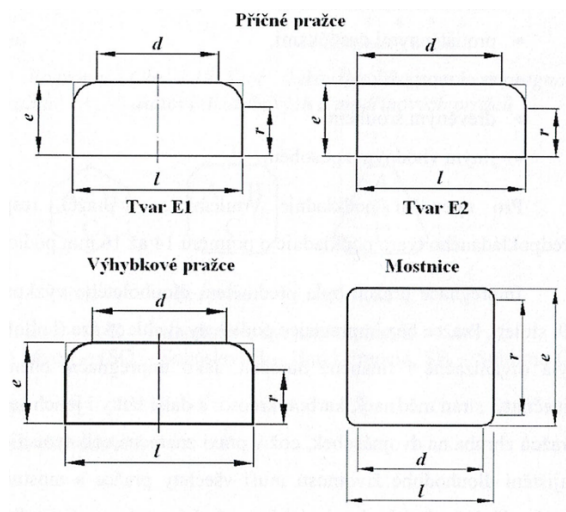
3.2.3 Dřevěné pražce

Dřevěný pražec byl od prvopočátku železnic základní používaný materiál pro kolejové podpory. Má vynikající vlastnosti pro svoji pružnost a tvarovou stálost. Životnost těchto pražců je relativně dobrá, avšak závisí na faktorech výskytu vlhkosti a biologických

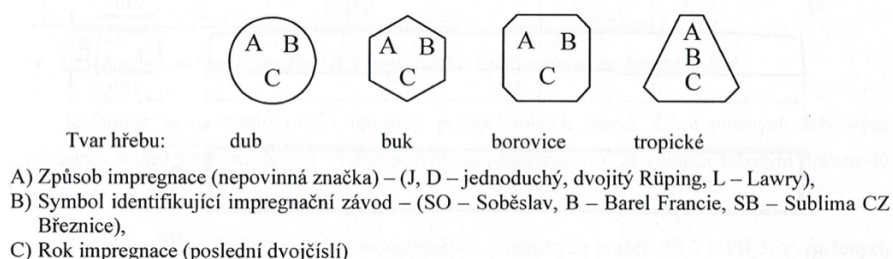
činitelů ve štěrkovém loži. Další výhodou oproti betonovým klasickým příčným pražcům je nižší hmotnost. Dřevěné pražce jsou dnes na ústupu pro vysokou cenu a těžko dostupný kvalitní použitelný materiál na výrobu. Stejně jako ocelový pražec je vhodný pro použití v místech, kde není možné dosáhnout dostatečné výšky štěrkového lože pro použití betonových pražců. V současnosti je dřevěný pražec velmi oblíbený v Rakousku pro jeho nízkou zátěž na životní prostředí.

V České republice je pro příčné dřevěné pražce využíváno dřevo ze zimních a letních dubů a buků. Se zvláštní výjimkou SŽDC je možné použít i dřeva borovice a tropických dřevin. [5] Tvar a rozměry jsou předepsány dle ČSN 13145 (Obr. 9). Standartní délka pražce pro normální rozchod koleje je 2600 mm na délku, 260 mm na šířku a 150 mm nebo 160 mm na výšku. Mostnice nebo výhybkové pražce mohou mít i jiné rozměry dle potřeby. Pražce jsou vyráběny všestranným řezáním pro dosažení ostrých hran s maximální neseříznutou ploškou měřenou přes roh, která nesmí mít více než 50 mm. Pražce jsou ve výrobě opatřeny bezprostředně pro seříznutí protištěpnými destičkami nebo ocelovými pásnicemi, aby bylo zamezeno vzniku a rozšiřování podélných trhlin v pražci. Ve výrobě jsou pražce opatřeny otvory pro upevňovadla a samotnými upevňovadly. Před montáží upevňovadel jsou pražce impregnovány různými způsoby podle typu dřeva, aby byla prodloužena životnost. Impregnace dřeva prodlužuje životnost pražců až na dvojnásobek a celková životnost činí až 40 let. Impregnace by měla omezit degradování materiálu způsobené hnilobou a dřevokazným hmyzem. Pro impregnaci jsou používány látky označované jako impregnační oleje se spotřebou 45 kg.m^{-3} až 160 kg.m^{-3} . Tyto oleje jsou produktem destilace kamenouhelného dehtu. Pro použití pražců v různých státech Evropy se tyto impregnační látky mohou lišit a může se jednat o látky méně škodlivé pro životní prostředí, ovšem většinou

se sníženou životností pražců. Pražce jsou vždy impregnovány látkou splňující předpisy dané země pro ochranu životního prostředí. U dřevěných pražců je rovněž předepsán minimální elektrický odpor, který musí být dodržen. V České republice jsou dřevěné pražce označovány způsobem uvedeným na Obr. 10.



Obr. 9: Příčné průřezy příčných pražců ze dřeva (zdroj: [5]).



Obr. 10: Značení dřevěných pražců v České republice (zdroj: [2]).

3.3 Upevňovadla a drobné kolejivo

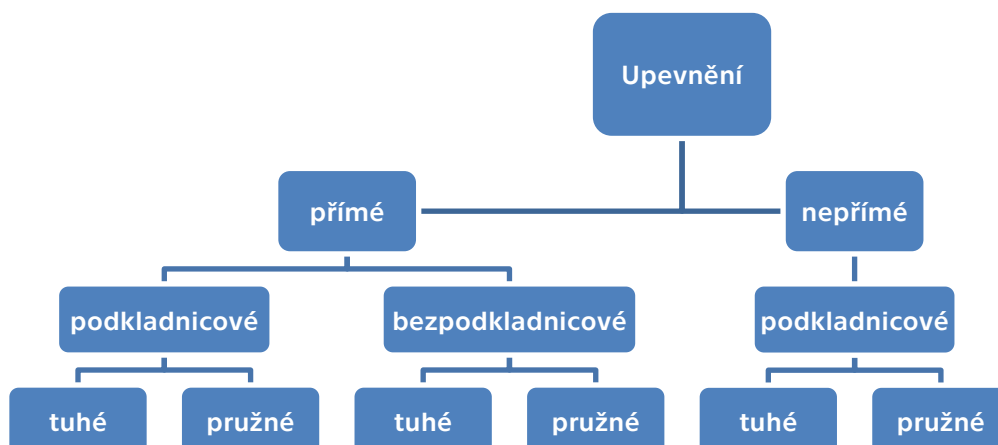
Pro pevné spojení kolejnicových podpor a kolejnice jsou používány komponenty označované jako upevňovadla a drobné kolejivo. Konstrukce a použití těchto komponentů v síti SŽDC v České republice se řídí dokumenty SŽDC S3 a SŽDC SR 103/3 (S) v platném znění poslední revize. Jako drobné kolejivo označujeme podkladnice, svěrky, spony, pryžové a polyethylenové podložky, izolátory,

můstkové desky a vodící vložky. Upevňovadly jsou myšleny všechny vrtule, pražcové šrouby, svěrkové šrouby, spojkové šrouby, pružné kroužky, podložky a distanční kroužky.

Upevnění kolejnic na kolejové podpory musí být dostatečně pevné, aby bylo možné přenést síly z kolejnic do kolejových podpor. Pevné spojení zajišťuje rovnoměrný přenos sil do podloží a zároveň pomáhá zajistit dostatečnou prostorovou tuhost kolejového roštu a stabilní šířku rozchodu kolejnic. Konstrukce upevňovadel musí respektovat požadavky na zabezpečovací zařízení trati, a tedy požadované hodnoty elektrického odporu pro vedení z kolejnice do podpory. Dalšími požadavky na upevňovadla jsou:

- zajištění kolejnic v předepsaném úklonu a rozchodu,
- zajištění dostatečné rámové tuhosti proti pootočení kolejnice,
- umožnění změny a regulace rozchodu koleje ve směrovém oblouku,
- zajištění odporu proti posunu kolejnice a zabránění putování kolejnic,
- zajištění přitlačné síly kolejnice k podporám,
- izolace vzhledem ke kolejovým obvodům pro zabezpečovací zařízení,
- zmírnění rázových sil do podloží,
- vysoká životnost a možnost rychlé a jednoduché opravy,
- jednoduchost a rychlost realizace nových staveb. [6]

Systémy upevňovadel lze dělit podle konstrukčního řešení uvedeného na Obr. 11. Použití vhodného typu upevňovadel pro jednotlivé druhy kolejí udává Tab. 2.



Obr. 11: Rozdělení typů systému upevnění (zpracováno podle[5]).

Tab. 2: Tabulka rozdělení používaných upevňovadel podle druhu koleje (zdroj: [5]).

Druh koleje	Kolejnice ²⁾	Pražce ³⁾		Úklon. úlož. plochy	Upevnění ²⁾	Rozdělení pražců	
		druh	délka [m]				
Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na vybraných tratích	UIC 60	beton	2,6	1:40	W 14, FC	u	
	S 49	beton	2,4-2,6	1:40	W 14	c, u	
Průběžné traťové a hlavní staniční koleje na ostatních tratích (mimo vybrané ¹⁾ tratě)	S 49	Y ⁷⁾	2,3	1:40 1:20	S 15	l, k	
	užitý a regenerovaný materiál soustavy UIC 60, R 65 nebo S 49 s upevněním KS, Ke, K, W 14 nebo FC					c, u	
předjízdne ⁵⁾ koleje na vybraných tratích ¹⁾ s provozním zatížením ⁴⁾ v hlavních kolejích	větším než 29 mil. hrt/rok	UIC 60	beton	2,6 2,4	1:40 1:20	W14 nebo FC	u
		užitý a regenerovaný materiál soustavy UIC 60 nebo R 65 s upevněním K, KS, Ke, W14 nebo FC					d, u
	menším než 29 mil. hrt/rok	S 49	beton ³⁾	2,6 2,4	1:40 1:20	W14, KS, K	c, d, u
		užitý a regenerovaný materiál soustavy S 49, UIC 60, R 65, s upevněním W14, FC, KS nebo K					c, d, u
staniční koleje	v zarážkových oblastech	S 49	dřevo tvrdé	2,6	1:20	KS, Ke nebo K	u
		S 49	beton ³⁾	2,4-2,6	1:40 1:20	W14, KS nebo K	b, c, d
	ostatní	S 49	Y ⁷⁾	2,3	1:40 1:20	S 15	k
		užitý a regenerovaný materiál soustavy S 49 s upevněním W14, KS nebo K					b, c

¹⁾ Vybrané tratě viz Směrnice GR SŽDC č. 16/2005 „Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky“.

²⁾ Není-li uvedeno jinak, je uvažován materiál nový nebo zánovní, u hlavních kolejí vybraných tratí pouze materiál nový.

³⁾ Použití dřevěných pražců je možné, pokud to vyžadují místní poměry a provozní podmínky a dovolují to ostatní související předpisy (především předpis SŽDC (ČD) S3/2).

⁴⁾ Provozním zatížením v této tabulce se rozumí výsledné přepočtené provozní zatížení.

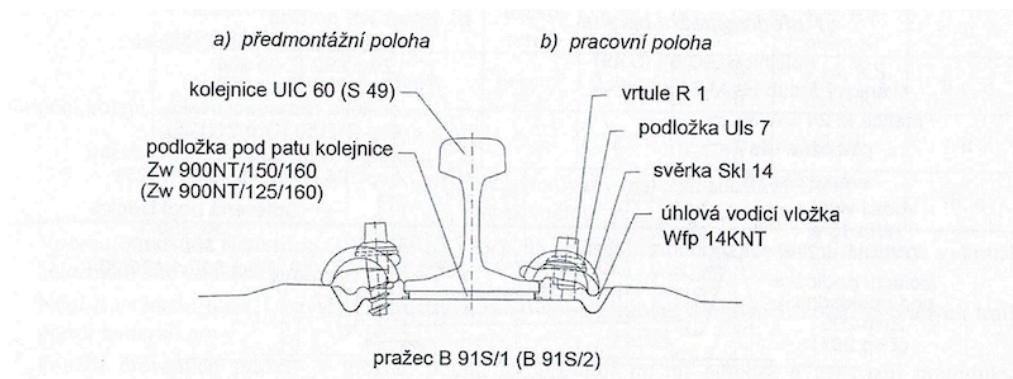
⁵⁾ Předjízdnu kolejí se rozumí zpravidla nejbližší kolej ke koleji hlavní, která je stavebně uzpůsobena pro předjíždění a křížování vlaků. Pro každý směr se zpravidla uvažuje vždy jedna předjízdna kolej.

⁶⁾ Použití příslušného tvaru kolejnice a typu upevnění je dáno souvisejícími koncepčními dokumenty SŽDC (Směrnice GR SŽDC č. 28/2005 „Konceptce používání jednotlivých tvarů kolejnice a jednotlivých typů upevnění v železničních drahách ČR“).

⁷⁾ Ocelové pražce Y se použijí zpravidla v kolejích, kde je ze stavebně-technických důvodů nutno zřídít kolejové lože redukovaného profilu nebo v úsecích, kde tato konstrukce umožní zřízení bezстыkové koleje v poměrech, kdy to u jiného typu kolejového roštu není možné. Ocelové pražce Y je možno použít pouze v kolejích 5. a 6. řádu s rychlostí $V \leq 80 \text{ km.h}^{-1}$. V kolejích s rychlostí $80 < V \leq 120 \text{ km.h}^{-1}$ je možno použít ocelové pražce Y pouze se souhlasem SŽDC OTH. Podmínky pro použití ocelových pražců na elektrifikovaných tratích a tratích s kolejovými obvody železničního zabezpečovacího.

3.3.1 Přímé upevnění

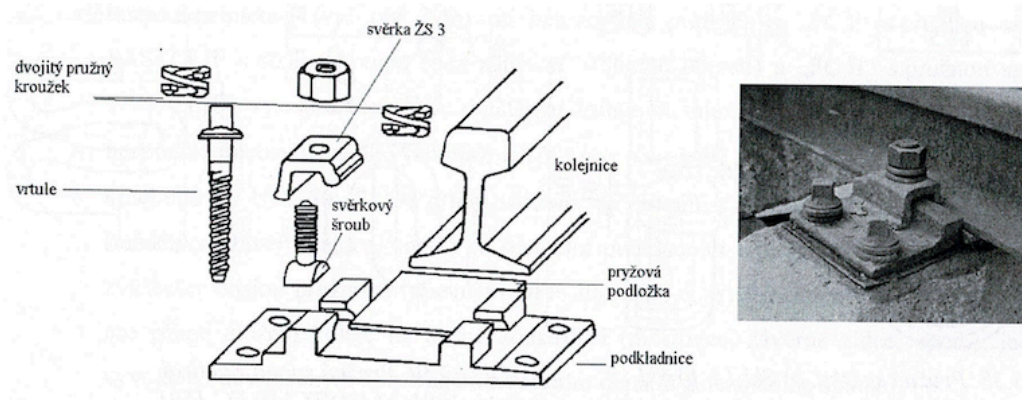
Přímé upevnění je jednoduchou konstrukcí připevnění kolejnice přímo k podpoře. Pata kolejnice může být podložena podkladnicí nebo může být v přímém styku s kolejovou podporou znázorněnou na Obr. 12. [6]



Obr. 12: Příklad sestavy přímého upevnění (zdroj: [5]).

3.3.2 Nepřímé upevnění

V této konstrukci upevnění kolejnice je použito zpravidla více segmentů upevňovadel. Hlavním rozdílem oproti přímému upevnění je, že je vždy využito podkladnice. Podkladnice je vložena mezi kolej a podporu a je s podporou vždy pevně spojena tuhým spojem (Obr. 13). Na podkladnici je upevněna kolejnice dalšími komponenty tohoto upevnění. Toto spojení je tuhé nebo pružné. [6]

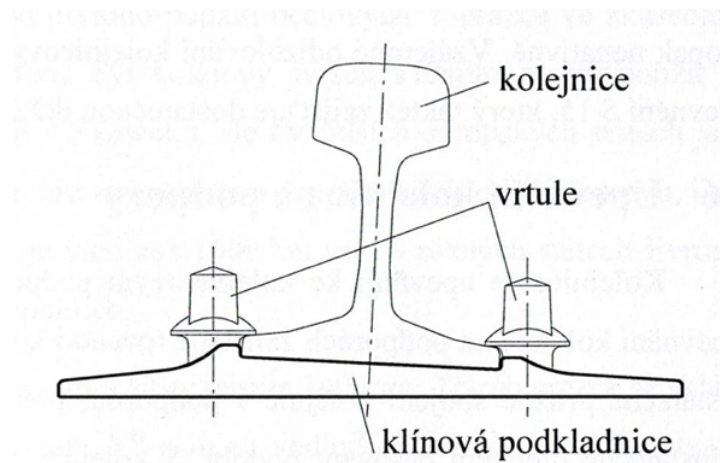


Obr. 13: Příklad sestavy nepřímého upevnění (zdroj: [5]).

3.3.3 Podkladnicové upevnění

Mezi patu kolejnice a kolejovou podporu je vždy vložena podkladnice. Úložná plocha podkladnice může být ukloněna 1:20 dle typu podkladnice. Podkladnice se dělí na žebrové, klínové a rozponové. [5]

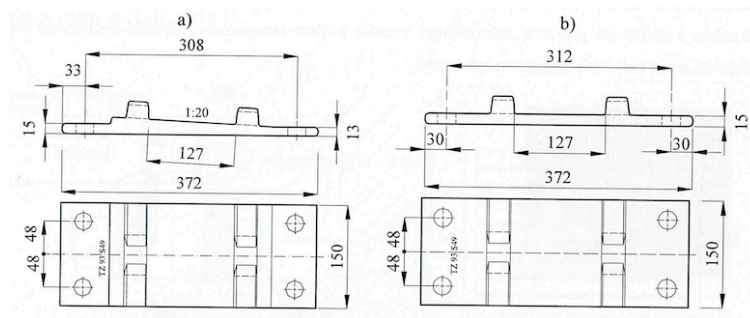
Klínová podkladnice (Obr. 14) byla dříve používána ve vedlejších staničních kolejích a v tunelech. Dle typu podkladnice je zde kotvena kolejnice přímo do dřevěného pražce pomocí dvou nebo třech vrtulí opřených o patu kolejnice. Tato podkladnice se dnes již nevyužívá.



Obr. 14: Klínová podkladnice s kolejnicí a vrtulemi (zdroj: [5]).

Rozponová podkladnice oproti klínové podkladnici neurčuje přesnou příčnou polohu kolejnice. Příčná poloha kolejnice je dána použitím různých typů svěrek. Při použití rozponové podkladnice je velké riziko chybné montáže nebo záměny typů svěrky. Výhodou použití rozponové podkladnice je možnost regulace rozchodu koleje například ve směrových obloucích. Dle typu rozponové podkladnice je možné kotvení vrtulemi do betonových i dřevěných pražců. Spojení podkladnice s kolejnicí zajišťují svěrky zapírající se o patu kolejnice, uchycené k podkladnici svěrkovými šrouby. [2]

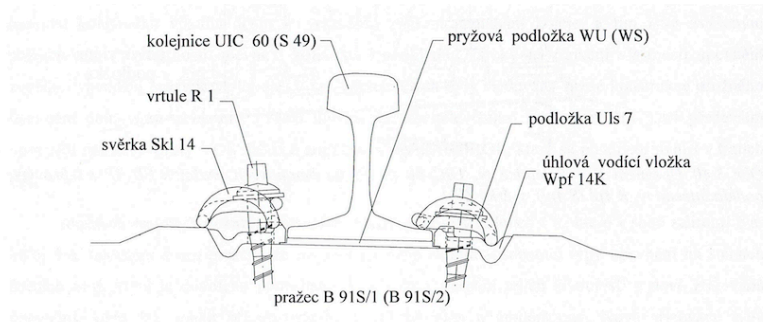
Žebrová podkladnice (Obr. 15) se od rozponové lišící příčnými žebry vymezujícími polohu kolejnice na podkladnici. Tato podkladnice umožňuje pouze omezenou regulaci rozchodu koleje pomocí otáčení podkladnic kolem jejich svislé osy. Žebrové podkladnice se kotví čtyřmi vrtulemi. Dle materiálu a místa použití se liší šířka podkladnice pro lepší roznos zatížení do podpory tak, aby bylo zabráněno její deformaci. [2]



Obr. 15: Žebrová podkladnice s úklonem (klínová) úložné plochy (a) a bez úklonu (b) (zdroj: [5]).

3.3.4 Bezpodkladnicové upevnění

Tento typ upevnění je realizován bez podkladnic pod patou kolejnice a tvoří přímé spojení kolejnice s kolejovou podporou (Obr. 16). Jedná se o jednoduchou a funkční konstrukci, jež je na moderních vysokorychlostních tratích využívána společně s betonovými pražci. Úložná plocha pražce je ukloněna 1:20. V místech, kde je úklon nežádoucí, jsou úložné plochy pražců bez úklonu. [2]



Obr. 16: Příklad bezpodkladnicového upevnění (zdroj: [5]).

3.3.5 Tuhé upevnění

Konstrukce upevnění kolejnice k pražci využívající principu tuhého spoje je již zastaralá. Kolejnice je k podkladnici, popřípadě k pražci, připevněna pomocí tuhé svěrky, vrtulí nebo hřebem (Obr. 17). Tyto typy upevňovadel můžeme stále vidět na velkém množství tuzemských tratí s nižším významem, ale i na nemodernizovaných úsecích mezinárodních koridorů (např. tranzitní koridor č.3 v úseku Praha – Beroun). Nevýhodou tohoto principu upevnění kolejnice k pražci je přímý přenos sil a rázů z kolejnice do pražce a následně do podloží. Následkem tohoto namáhání silami je nižší životnost celého kolejového svršku, ale i vysoké hlukové emise a opotřebení podvozků vozidel. [5]



Obr. 17: Příklad nepřímého tuhého upevnění kolejnice (zdroj: [8]).

3.3.6 Pružné upevnění

Princip pružných upevňovadel (Obr. 18) využívá dnes již většina moderních konstrukcí železničních svršků. Kolejnice je kotvena k podkladnici nebo k pražci přes pružné prvky, jako je například pružná svěrka nebo pružná spona. Pružné segmenty zajišťují dostatečné přitlačné síly vyvozené na patu kolejnice ve směru do pražce. Tyto pružné segmenty jsou k pražci nebo podkladnici kotveny většinou vrtulemi nebo jako spony Pandrol zaražením/zasunutím do kotvy v pražci. Součástí pružného upevnění

je pružná podložka pod patou kolejnice. Výhodou systémů s vrtulemi nebo šrouby je možnost regulace přitlačné síly svěrky k patě kolejnice. [5]



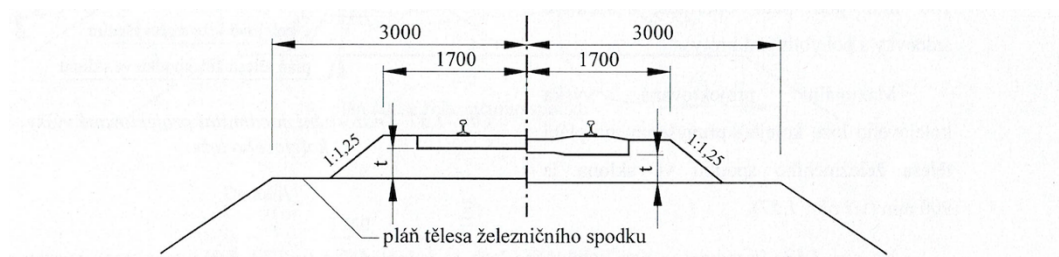
Obr. 18: Příklad přímého pružného upevnění kolejnice (zdroj: [8]).

3.4 Kolejové lože

Kolejové lože (Obr. 19) plní opěrnou a nosnou funkci pro kolejový rošt s pružným působením v horizontálním i vertikálním směru. Přenáší zatížení z kolejového roštu na zemní pláň. V kamenivu štěrkového lože lze upravovat geometrickou polohu koleje a stabilizovat její pohyb. Základním požadavkem na materiál použitý pro kolejové lože je propustnost a nenamrzavost. Dalšími faktory pro volbu materiálu jsou pružnost, chemická odolnost a vodivost vzhledem k požadavkům na odizolování jednotlivých kolejnicových pasů. Základními parametry kolejového lože jsou:

- tloušťka kolejového lože pod nepřevýšeným kolejovým pásem (udává předpis SŽDC S3),
- profil kolejového lože,
- geotechnické vlastnosti kameniva,
- míra homogenizace kameniva v kolejovém loži,
- ekologické vlastnosti kameniva. [2]

Tloušťka kolejového lože je odlišná pro různé kategorie tratí a použitý materiál pražců. Pohybuje se od 200 mm do 350 mm pod ložnou plochou pražce. Šířka kolejového lože je 1700 mm (1750 mm) v úrovni úložné plochy pražce. Maximální výška štěrkového lože je 900 mm. Svahování odpovídá úhlu vnitřního tření použitého kameniva. Standartní frakce kameniva pro kolejové lože je 32/63. Ideálním kamenivem je drcený čedič a jiné vyvřelé horniny s vysokou pevností. Nevhodné kamenivo je z hornin rychle podléhajících erozi. Při splnění požadavků lze použít kamenivo recyklované z rekonstrukcí železničních tratí nebo kamenivo umělé (například ze strusky). Za součást kolejového lože lze považovat i podkladní antivibrační rohože, pokud jsou v konstrukci použity. [2]



Obr. 19: Tvar a rozměry kolejového lože v přímé jednokolejné trati (zdroj: [5]).

4 Způsob montáže vrtule v systému upevnění

Ruční montáž kolejového svršku je prováděna na všech železničních stavbách, kdy je prováděna manipulace s kolejovým roštem. Tato ruční montáž je prováděna vždy na místech trati, kde není možné nasazení těžké strojní techniky. Těmi jsou například mosty, tunely a výhybky. Technologie se liší pro různé typy svršku dle předpisu ŠŽDC S3, dílu VII [9]. Ruční dotahování upevňovadel je prováděno při všech typech údržby nebo výměny železničního svršku. Dále se můžeme setkat s ruční montáží při lokálních rekonstrukcích. Lokální rekonstrukce na železniční trati patří k běžné

údržbě železniční trati a jsou realizovány na všech železničních tratích. Jedná se o zásahy menšího rozsahu, které jsou prováděny s pomocí strojní techniky nebo ručně. Nutnost a potřeba těchto stavebně technických zásahů je většinou vyvolána poruchou nebo silně zhoršeným stavem železničního svršku na malém úseku železniční trati. Může se jednat o poruchy jako je lom kolejnice, lokální pokles kolejového lože, nutná výměna kolejnice, porucha kolejových upevňovadel nebo například rozpad železničního pražce. Přístup k těmto poruchám je vždy individuální a mnohdy má více řešení.

4.1 Drobná mechanizace a nástroje pro montáž podkladnice k pražci

Součástí lokálních zásahů do kolejového svršku je montáž a demontáž upevňovadel. Použití strojní nebo ruční techniky a parametry nastavení jsou uvedeny v předpise SŽDC S3. Pro ruční montáž upevňovadel a vrtulí je potřebná tato strojní nebo ruční technika:

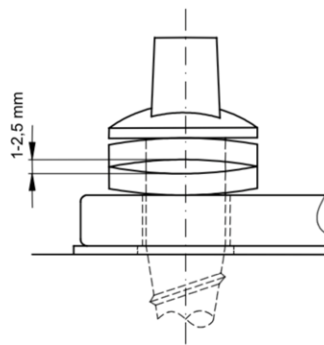
- rázové utahováky a vrtačky pro zatáčení a povolování vrtulí a vrtání pražců (Obr. 20),
- ruční elektrické a hydraulické zatáčečky,
- motorové utahováky pražců,
- momentové klíče.



Obr. 20: Utahování vrtulí ruční motorovou zatáčečkou. (zdroj: [10]).

4.2 Metodika montáže podkladnice k pražci dle SŽDC S3

Není stanovena žádná státní ani evropská norma pro utahovací moment vrtulí do železničních pražců různých materiálů. Tato hodnota je v České republice stanovena v síti provozované státní institucí Správa železniční dopravní cesty interním předpisem SŽDC S3 v platném znění. Organizace SŽDC je provozovatelem dráhy a plní funkci vlastníka státem vlastněných drah podle Zákona o drahách č. 266/1994 Sb. Je největším provozovatelem drah v České republice. Předpis SŽDC S3 ukládá dva různé intervaly pro dotažení vrtule typu R 1 (Obr. 21) při použití dvojitého pružného kroužku Fe 6 v betonovém nebo dřevěném pražci. [9]



Obr. 21: Kontrola správnosti montáže vrtule pomocí stlačení pružného kroužku (zdroj: [9]).

Tabulka předpisu (Tab. 3) dovoluje také dva různé typy montáže, a to ruční pomocí momentového klíče nebo strojní s použitím zatáčečky s nastavitelným utahovacím momentem. Kontrola správnosti montáže je dvojitá dle materiálu pražce. Pro tuto kontrolu se používá momentový klíč nebo plochá měrka, jež je vsouvána do mezery vzniklé ve dvojitém pružném kroužku. Dále předpis stanovuje předepsaný mazací prostředek, jež lze ovšem nahradit mazacím prostředkem stejného typu. Dále SŽDC stanovuje služební rukověti SR 103/3(S) v platném znění geometrické parametry vrtání

otvorů do dřevěných pražců. Rukověť rozlišuje vrtání do měkkých a tvrdých pražců za použití vrtule R 1 nebo S 1 při použití dvojitých pružných kroužků. Hodnota průměru vrtaného otvoru je pro měkké pražce 12 až 14 mm a pro tvrdé pražce 15 až 16 mm. Hloubka vrtání je stanovena na 130 mm. [11]

Tab. 3: Tabulka s parametry a metodikou utahování vrtule dle SŽDC S3 (zdroj: [9]).

Druh pražce		Betonový pražec s hmoždinkami z PE, PA nebo PA 30SV ⁽⁹⁾	Dřevěný pražec
Způsob montáže		a) Zatačečka s nastavitelným utahovacím momentem b) Momentový klíč ⁽¹⁾	a) Zatačečka s nastavitelným utahovacím momentem b) Momentový klíč ⁽¹⁾
Požadovaný stav po montáži		Mezera mezi vyklenutími spirály pružného kroužku 1 - 2,5 mm	Mezera mezi vyklenutími spirály pružného kroužku 1 - 2,5 mm
Hodnota utahovacího momentu	<i>doporučená</i>	180 - 220 Nm ⁽⁸⁾	280 - 350 Nm ⁽⁸⁾
	<i>limitní</i>	min. 180 Nm ⁽⁸⁾ V laboratorní části práce zvoleno 200 Nm	V laboratorní části práce zvoleno 300 Nm
Kontrola správnosti montáže		Plochou měrkou ⁽³⁾ Momentovým klíčem ⁽²⁾	Plochou měrkou ⁽³⁾
Poznámka		Vrtule musí být před montáží ošetřena předepsaným mazacím prostředkem ⁽⁵⁾	Platí pro první zatočení vrtule do předvrtaného otvoru Ø 16 mm. Vrtule musí být před montáží ošetřena předepsaným mazacím prostředkem ⁽⁵⁾

4.3 Metodika pro zjišťování utahovacího momentu na dotažených vrtulích dle SŽDC S3

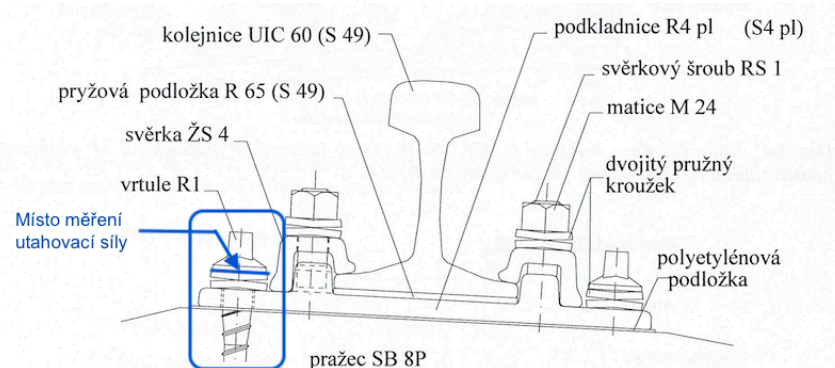
V předpisu SŽDC S3 je předepsána metodika pro zjištění aktuálního utahovacího momentu ve vrtuli. Tato metodika se uplatňuje při kontrole dotažení vrtulí v železniční trati. Pro provedení měření je nutné použít momentový klíč s dostatečným utahovacím momentem, záznamové zařízení měřící utahovací moment a jeho maximální hodnotu dosaženou při utahování vrtule a značkovací barvu pro označení polohy dotažení vrtule. Nejprve

je označena poloha dotažení vrtule před veškerou manipulací. Toto označení se provede na straně vrtule a na podkladnici. Následně je vrtule za pomoci momentového klíče povolena o 180° a zpětně dotažena. Při zpětném dotažení je měřen maximální dosažený utahovací moment. Utahování vrtule se ukončí při dosažení původní polohy vrtule. Tento změřený maximální utahovací moment je považován za moment, kterého je ve vrtuli dosaženo před povolením. [9]

LABORATORNÍ ČÁST

5 Laboratorní měření utahovací síly vrtule při použití utahovacího momentu předepsaného v SŽDC S3

Laboratorní část práce je zaměřena na měření síly vyvozené vrtulí (Obr. 22) na horní povrch podkladnice uložené na pražci v rámci nestandardizované laboratorní zkoušky. Pro potřeby provedení zkoušky byla podkladnice nahrazena speciálním ocelovým svařencem, který umožňuje instalaci siloměru se záznamem požadované síly. Zkouška byla provedena na sérii zkušebních těles připravených z částí pražců vyrobených z impregnovaného dřeva a předpjatého betonu.



Obr. 22: Označení oblasti systému upevnění, na kterou se zaměřuje provedená laboratorní zkouška (zdroj: [5]).

Na základě zpracovaných dat byly vytvořeny závěry o síle, kterou je podkladnice přitlačena k pražci při použití různých materiálů pražce a odlišných utahovacích momentů. Další závěr vyplývá z dlouhodobého pozorování vývoje síly v čase s ohledem na dopružování materiálu zkušebních těles, které se projevilo tak, že po dotažení vrtule docházelo k pozvolné deformaci materiálu

zkušebního tělesa, a tím došlo k pozvolnému snižování utahovací síly vrtule až na ustálenou hodnotu. Dalšími laboratorními experimenty byly ověření momentu v dotažených vrtulích dle metodiky SŽDC a měření utahovací síly při použití strojní zatáčečky vrtulí.

5.1 Cíle laboratorní zkoušky

Nejvýznamnějším cílem je stanovení utahovací síly vrtulí F_u namontovaných do železničních pražců. Sílu, jakožto důležitý rozhodující parametr, je zapotřebí určit pro stanovení utahovacího momentu vrtulí do materiálů, pro něž není utahovací moment ještě stanoven. Jedná se o materiály v České republice zatím nepoužívané. Může se jednat o příčné pražce z polymerů, z recyklovaných polymerů, z tropického dřeva případně dalších materiálů. Bez stanovení utahovací síly F_u není možné určit experimentálně utahovací moment do těchto nových typů příčných pražců. Utahovací síla F_u vyvozovaná vrtulemi není žádným předpisem stanovena, i přestože se jedná o velmi důležitý parametr pro zajištění tuhosti a spolehlivosti kolejového roštu. Dalším důvodem pro provedení zkoušky závislosti stanovených utahovacích momentů na utahovací síle F_u je ověření hodnot zavedených předpisem SŽDC S3. Je zapotřebí určit utahovací sílu F_u v materiálech, na kterých je utahovací moment stanovený. Předpis SŽDC S3 stanovuje utahovací moment pro betonový a dřevěný pražec. Na základě těchto změřených utahovacích sil F_u je možné v případě, že se budou shodovat pro různé materiály, určit optimální utahovací sílu F_u pro jiné materiály. Pokud se dosažené hodnoty utahovací síly F_u pro různé materiály budou shodovat, lze doporučit ověření těchto hodnot i pro jiné materiály pražce. V neposlední řadě je účelem měření stanovení poklesu utahovací síly F_u s relaxací materiálu v čase. Pro nové materiály se může tento pokles lišit a může být při pomalejším poklesu vyžadována nebo dovolena nižší utahovací síla F_u při dotažení vzhledem k jejímu následnému nižšímu

poklesu. Tento pokles utahovací síly F_u je důležitým rozhodujícím parametrem pro použití nových materiálů. Zároveň tento pokles určuje utahovací sílu F_{u_1} , která je skutečně vytvářena v trati po delším čase od realizace za předpokladu, že se tato přítláčná síla F_u po čase ustálí na neklesající hodnotě. Tuto ustálenou hodnotu je také zapotřebí určit i v případě využití nových materiálů.

5.2 Popis použitého laboratorního zařízení

Měřicí zařízení je sestaveno ze speciálního svařence, jež je dostatečně tuhý, aby nedocházelo k jeho deformacím a zkreslení výsledků měření. Tento svařenec se skládá ze 3 rozebíratelných dílů. Svařenec je podepřen na dvou místech. Jedna podpora je kyvným kloubem. Druhá podpora je tvořena stabilní podložkou stejné plochy jako kyvný kloub a je opatřena snímačem síly (siloměrem) Ahlborn, typ K-25 (Obr. 24) s rozsahem ± 50 kN a pracovním rozsahem teploty -10 °C až 70 °C. [12] V ose podpor svařence je otvor pro upevnění vrtule typu R 1 s dvojitým pružným kroužkem typu Fe 6. Schéma laboratorní metody je na Obr. 25. Fotografie měřicího zařízení není z důvodu ochrany duševního vlastnictví uvedena. Po dotažení vrtule momentovým klíčem na předepsaný nebo testovaný utahovací moment je siloměrem měřena utahovací síla F_u zaznamenávaná na datalogger Ahlborn, typ Almemo 2690 (Obr. 23).

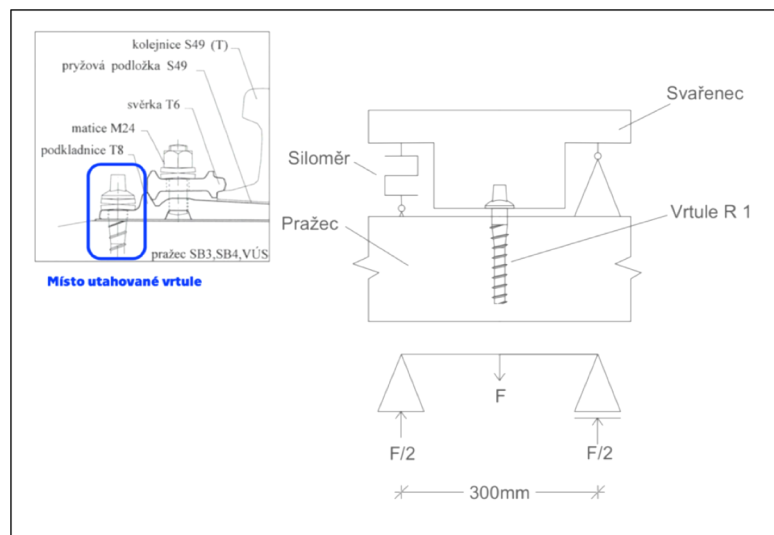


Obr. 23: Datalogger Almemo 2690 použitý k záznamu dat při provádění laboratorní zkoušky.

Tato měřená utahovací síla F_u se rovná polovině skutečné utahovací síly vrtule, neboť síla je rovnoměrně roznášena do obou podpor. Pro měření a záznam teploty materiálu a teploty vzduchu je použit datalogger Comet typu S0121 s rozsahem měřené teploty $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$ s čidly P.T1000 s teplotním rozsahem $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Všechna tato zařízení umožňují následný export a zpracování dat v různých softwarech v počítači. Pro měření byla využita nová nepoužitá vrtule typu R 1 s novým nepoužitým pružným kroužkem typu Fe 6. Oba tyto komponenty nevykazovaly žádné odchylky od předepsaných technických a geometrických parametrů.



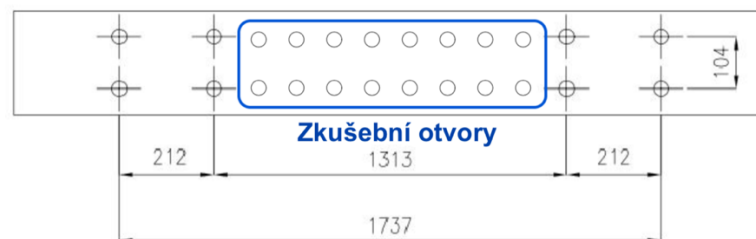
Obr. 24: Snímač síly Ahlborn K – 25.



Obr. 25: Schéma svařence pro testování utahovací síly a porovnání s místem utahované vrtule na podkladnicové montáži.

5.3 Postup provádění laboratorní zkoušky

Pro měření bylo nutné předvrtat otvory ve dřevěných pražcích dle služební rukověti SŽDC SR 103/3(S). Ta udává velikost předvrtaného otvoru. Otvor pro experimenty byl volen v předepsaných intervalech. Byl vyvrtán otvor 130 mm hluboký s průměrem 15,5 mm. Na zkušebních bylo předvrtáno více otvorů (Obr. 26). Byly použity železniční pražce od výrobce Impregnace Soběslav s.r.o. se sídlem v Soběslavi.



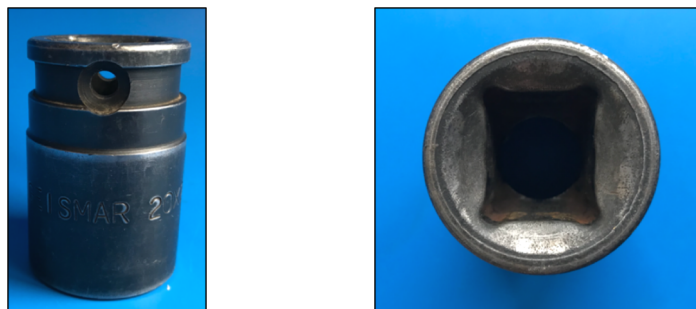
Obr. 26: Vyvrtané otvory pro provedení zkoušky v dřevěném pražci (zdroj: [11]).

Na otvorech byla provedena série měření pro získání platných dat opakovaným měřením za stejných předepsaných a zkoušených hodnot. (Tab. 3 na straně 33) Otvory byly vyvrtány v dřevěných příčných pražcích ve vzdálenostech odpovídajících vzdálenostem otvorů pro vrtule R 1 na podkladnici typu R 4, aby bylo zamezeno vlivu okolních otvorů na jednotlivá měření. Do předvrtaných otvorů byla palicí zaklepnuta vrtule a vytvořen v materiálu náběh závitu zatočením vrtule momentovým klíčem o cca 180°. Bez této přípravy není možné momentovým klíčem vrtuli do pražce zatočit. Následně byla vrtule z pražce vyjmuta. Po přípravě otvorů byly otvory vždy před jednotlivým měřením vymazány mazivem odpovídajícím předpisu SŽDC S3. Množství maziva není stanoveno a bylo odhadnuto na optimální množství, aby pokrylo celou plochu stěn otvoru. V případě měření na betonovém pražci opatřeném polyamidovou hmoždinkou PLASTIRAIL nebyly otvory nijak upravovány.

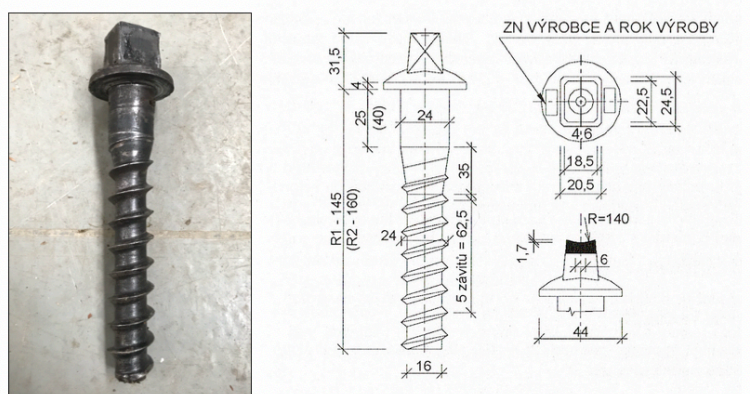
Nad připraveným otvorem bylo nutné smontovat měřící zařízení. Montáž byla vždy provedena tak, aby byly podpory měřícího zařízení stabilně v celé ploše podepřeny materiálem pražce nebo za pomoci tuhých ocelových profilů. Bylo rovněž nutné zajistit kolmost otvoru vzhledem k měřicímu zařízení. K tomu bylo nutné výškově seřídit podporu svařence opatřenou siloměrem se závitovými tyčemi, jež mají právě účel regulace výšky a kolmosti. Po sestavení svařence a kalibraci siloměru byl vložen dvojitý pružný kroužek typu Fe 6 a vrtule typu R 1 (Obr. 29). Dále bylo nutné seřídit kalibrovaný momentový klíč (Obr. 27) s prodlužovacím dílem opatřeným hlavicí (Obr. 28) pro dotahování vrtule typu R 1. Tento momentový klíč byl vždy před každým měřením seřízen, a to na hodnoty odpovídající předpisu SŽDC S3. Pro dřevěné pražce byl zvolen utahovací moment 300 Nm a pro pražec betonový 200 Nm. Po seřízení momentového klíče bylo přistoupeno k samotnému dotažení vrtule do pražce. Ještě před úplným dotažením na určený utahovací moment bylo zapnuto záznamové zařízení utahovací síly F_u . Vrtule byla dotahována vždy stejnou osobou a stejnou rychlostí ve všech otvorech. Po dosažení potřebné hladiny utahovacího momentu byl momentový klíč sejmут z vrtule a zařízení bylo ponecháno v klidu bez nadměrných vibrací v konstantní teplotě. Délka měření byla různá. Na základě zkušeností z prvních měření na vzorcích dubového (Obr. 31) a bukového pražce byla určena základní délka měření 24 hodin.



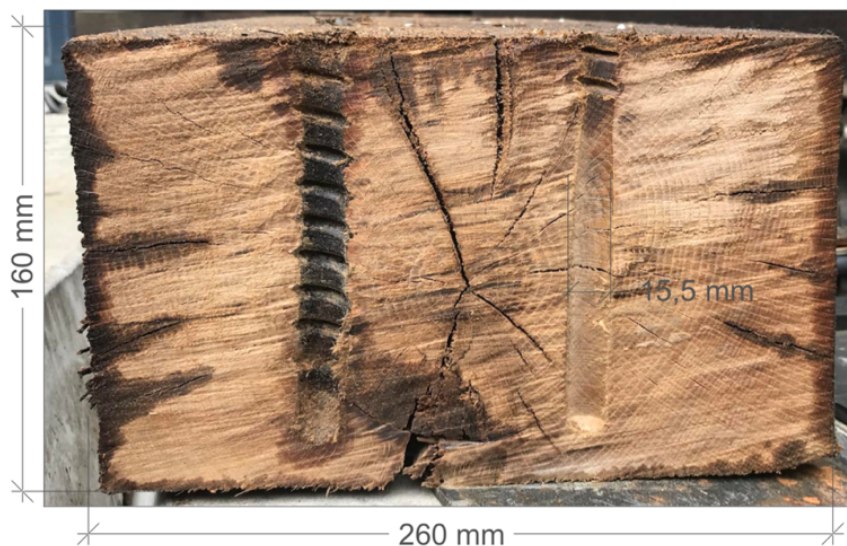
Obr. 27: Momentový klíč.



Obr. 28: Hlavice pro dotahování vrtule R 1.



Obr. 29: Vrtule typu R 1 a její schéma s rozměry (zdroj: [2]).



Obr. 30: Řez otvory v testovaném tělese dřevěného pražce před a po instalaci vrtule.

Pro ověření a zjištění průběhu utahovací síly bylo provedeno v každém měřeném materiálu i dlouhodobé měření o délce 72 hodin. Po uplynutí měřené doby je ukončen záznam utahovací síly. Následně je změřen utahovací moment dle metodiky SŽDC, jež je uvedena v předpisu SŽDC S3 a její popis je obsažen v kapitole 4.3. Po změření aktuálního utahovacího momentu je vrtule z pražce vyjmuta uvolněním momentovým klíčem. Tímto uvolněním laboratorní měření končí a je nutné všechna zaznamenaná data vyhodnotit za pomoci potřebných softwarů v počítači.



Obr. 31: Vzorek dřevěného pražce pro pilotní provedení laboratorní zkoušky.

5.4 Přehled provedených laboratorních měření

Byla provedena série měření na testovaných pražcích (Obr. 32). Pro provedení zkoušky byl zvolen pražec z dubového dřeva, pražec z bukového dřeva a pražec z betonu s polyamidovými hmoždinkami. Testovaným parametrem byla utahovací síla F_u vrtule R 1 při dotažení předepsaným utahovacím momentem tak, jak to udává předpis SŽDC S3. Postup montáže je podrobně popsán v kapitole 5.3. Jako modifikace a doplnění měření byla utahovací síla F_u měřena i bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6. Tato montáž není uvedena v předpise SŽDC S3. Dalším měřením byl zjištěn moment

ve vrtuli před koncem měření utahovací síly F_u na všech měřeních, kde byl použit dvojitý pružný kroužek Fe 6. Dále byl zjišťován utahovací moment na dotažených vrtulích s odstupem 2 a 5 dní od dotažení. Posledním měřením byl zjištěn průběh a velikost utahovací síly F_u vrtule při dotahování ruční motorovou rázovou zatáčečkou vrtulí.

V bakalářské práci byly provedeny 3 následující laboratorní zkoušky uvedené v Tab. 4:

Tab. 4 Přehled provedených laboratorních zkoušek.

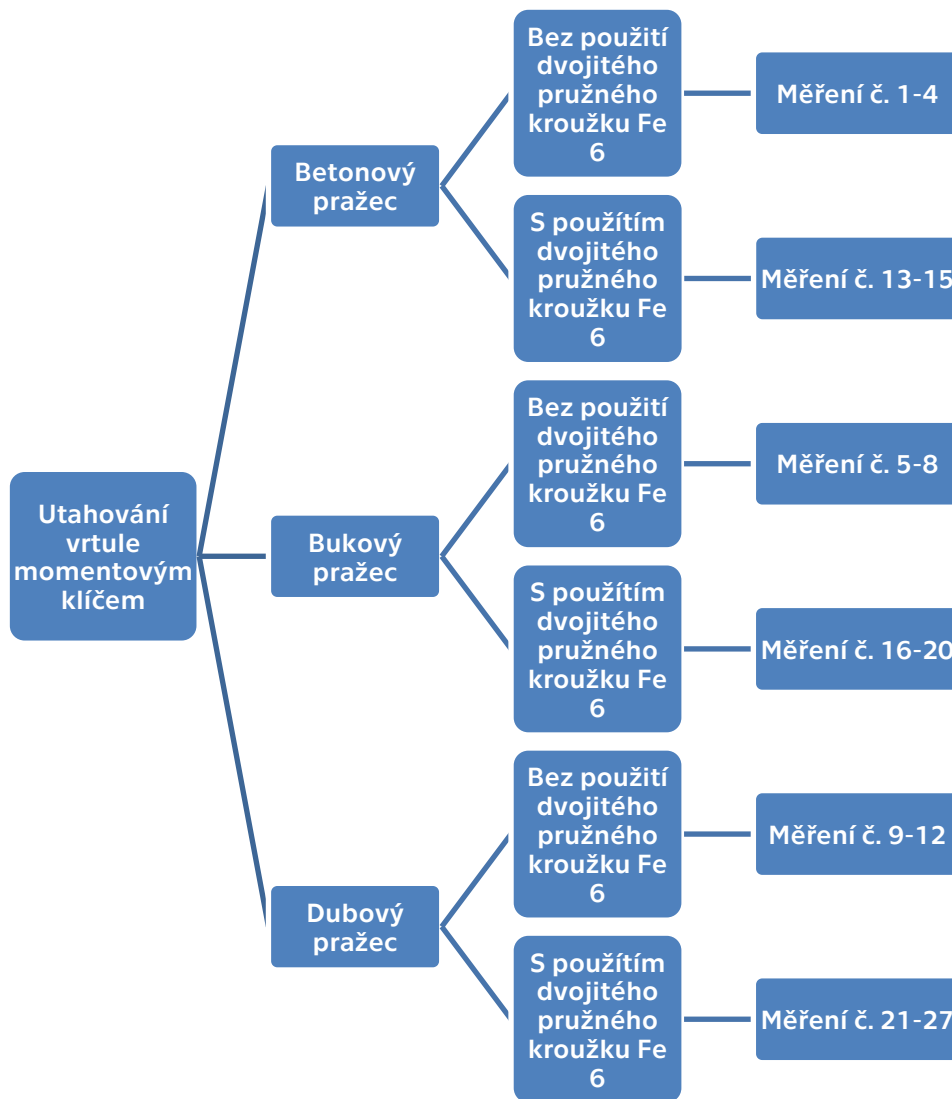
Utahování vrtule momentovým klíčem 5.4.1	Utahování vrtule motorovou rázovou zatáčečkou 5.4.2	Měření utahovacího momentu dotažených vrtulí dle metodiky SŽDC S3 5.4.3
<ul style="list-style-type: none">• Betonový pražec• Bukový pražec• Dubový pražec	<ul style="list-style-type: none">• Dubový pražec	<ul style="list-style-type: none">• Dubový pražec



Obr. 32: Dřevěné pražce připravené pro laboratorní zkoušku.

5.4.1 Utahovací síla F_u při použití momentového klíče

Dle metodiky z kapitoly 4.2 bylo provedeno měření na 3 typech pražců podle Obr. 33. Výsledky, zhodnocení měření a vstupní parametry měření jsou uvedeny na následujících stranách.



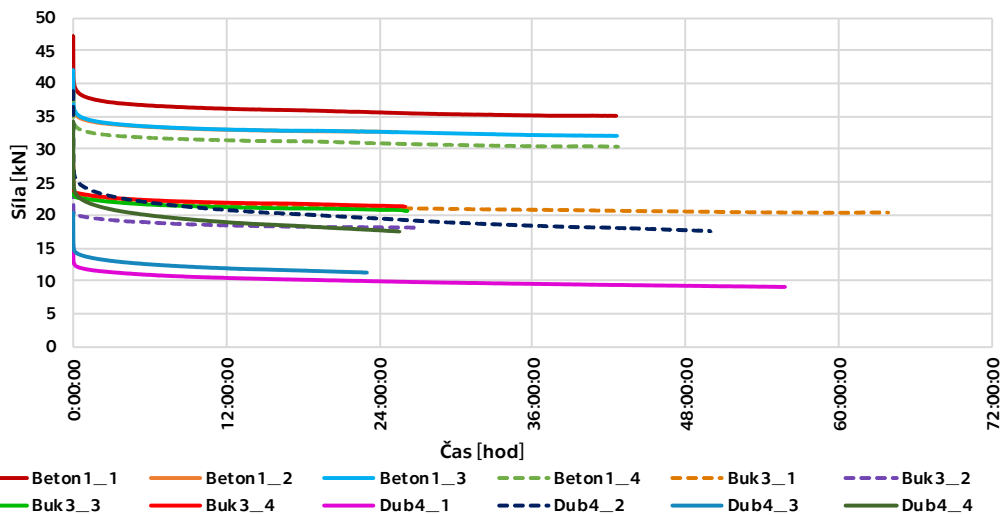
Obr. 33: Přehled provedených laboratorních měření utahovací síly vrtulí dotažených momentovým klíčem.

Souhrn srovnání hodnot utahovací síly F_u bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6

V Tab. 5 je prezentováno souhrnné porovnání všech naměřených hodnot utahovací síly F_u vrtule v různých materiálech. V příloze 1 jsou uvedeny podrobné výsledky ve formě protokolů. Při porovnání hodnot byl zjištěn velký rozptyl jednotlivých měření. Na Obr. 34 jsou graficky znázorněna jednotlivá měření. Jednotlivá měření nelze s určitostí rozdělit do skupin podle měřeného materiálu ani na základě změřené síly ani tvaru křivky. Změřené hodnoty jsou na intervalu minimální a maximální změřené síly rovnoměrně rozděleny. Z měření lze vyloučit extrémní minimální i extrémní maximální hodnoty a považovat tato měření za neplatná. Rozptyl těchto měření je s pravděpodobností způsoben lokálními imperfekcemi materiálu, neboť na betonovém pražci s polyamidovou hmoždinkou tento rozptyl nevznikl. Imperfekce dřevěného pražce lze potvrdit, neboť se jedná o přírodní nehomogenní materiál. Předpokládáme minimální imperfekce u betonového pražce a jeho polyamidové hmoždinky, neboť výrobní podmínky jsou kontrolovány.

Tab. 5: Souhrn hodnot průběhu utahovacích sil všech měření bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Pořadí měření	Materiál	Označení otvoru	Předepsaný moment [Nm]	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]							
					Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
1	Beton	Beton1_1	200	ne	47,3	41,1	39,2	38,4	36,6	36,2	35,6	-
2	Beton	Beton1_2	200	ne	41,8	36,6	35,3	34,8	33,4	33,0	32,7	-
3	Beton	Beton1_3	200	ne	42,1	37,0	35,7	35,0	33,5	33,0	32,7	-
4	Beton	Beton1_4	200	ne	38,5	34,6	33,5	33,0	31,7	31,4	30,9	-
5	Buk	Buk3_1	300	ne	27,5	23,9	23,2	23,0	21,9	21,5	21,1	20,5
6	Buk	Buk3_2	300	ne	23,9	20,6	20,0	19,9	18,9	18,4	18,2	-
7	Buk	Buk3_3	300	ne	26,6	23,3	22,7	22,6	21,6	21,2	20,8	-
8	Buk	Buk3_4	300	ne	28,0	24,0	23,4	23,3	22,3	21,9	21,4	-
9	Dub	Dub1_1	300	ne	15,6	13,1	12,3	12,0	10,9	10,5	10,0	9,3
10	Dub	Dub1_2	300	ne	38,8	28,0	25,6	24,7	21,9	20,8	19,5	17,7
11	Dub	Dub1_3	300	ne	20,4	15,4	14,4	14,0	12,5	11,9	-	-
12	Dub	Dub1_4	300	ne	34,3	25,7	23,4	22,6	20,0	18,9	17,7	-



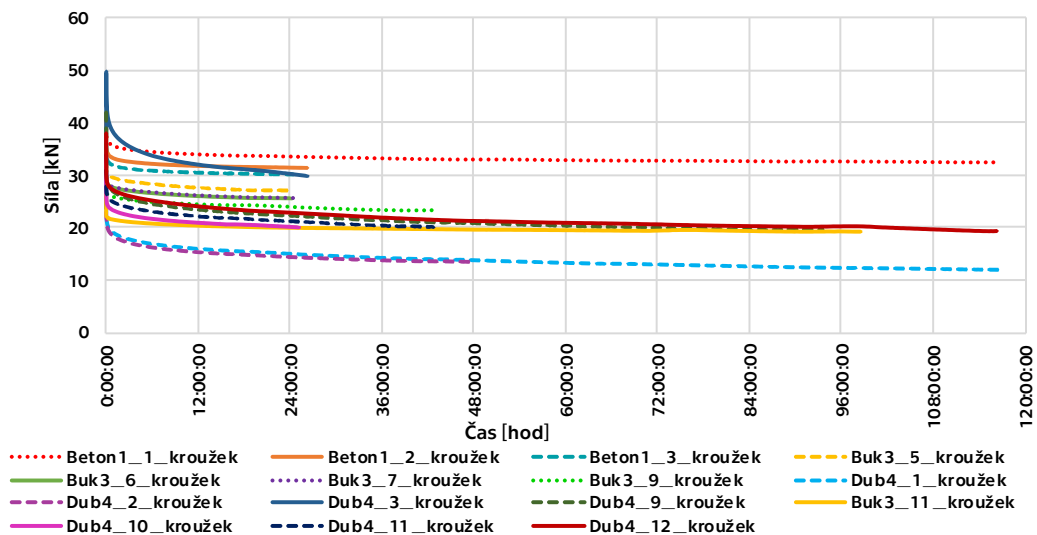
Obr. 34: Graf průběhu utahovacích sil bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Souhrn srovnání hodnot utahovací síly F_u při použití dvojitého pružného kroužku Fe 6

V Tab. 6 je srovnání všech naměřených hodnot utahovací síly F_u při použití dvojitého pružného kroužku Fe 6 s montáží odpovídající předpisu SŽDC S3. V příloze 1 jsou uvedeny podrobné výsledky ve formě protokolů. Sada měření vykazuje velmi dobré rozdělení hodnot do intervalu od minimální po maximální naměřenou utahovací sílu F_u . Na Obr. 35 jsou graficky znázorněna jednotlivá měření. Tvar křivky klesající utahovací síly je shodný pro všechna provedená měření napříč materiály až na výjimku u měření č. 23, která je pravděpodobně způsobena imperfekcí materiálu dubového pražce.

Tab. 6: Souhrn hodnot průběhu utahovacích sil všech měření s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Pořadí měření	Materiál	Označení otvoru	Předesaný moment [Nm]	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Maximální síla	Utahovací síla [kN]						
						po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
13	Beton	Beton1_1_kroužek	200	ano	43,2	38,2	36,7	36,0	34,4	33,9	33,5	33,0
14	Beton	Beton1_2_kroužek	200	ano	41,3	35,6	34,2	33,6	32,1	31,7	31,4	-
15	Beton	Beton1_3_kroužek	200	ano	39,0	34,1	32,8	32,2	30,8	30,5	30,1	-
16	Buk	Buk3_5_kroužek	300	ano	38,1	31,6	30,1	29,8	28,3	27,6	27,0	-
17	Buk	Buk3_6_kroužek	300	ano	33,4	29,4	28,2	27,8	26,6	26,0	25,6	-
18	Buk	Buk3_7_kroužek	300	ano	33,3	29,4	28,3	27,9	26,7	26,1	25,6	-
19	Buk	Buk3_9_kroužek	300	ano	30,9	27,3	26,4	26,1	24,9	24,4	24,0	-
20	Buk	Buk3_11_kroužek	300	ano	26,3	22,4	21,8	21,6	20,8	20,4	20,0	19,6
21	Dub	Dub1_1_kroužek	300	ano	27,6	23,0	20,6	19,6	16,9	16,0	15,0	13,8
22	Dub	Dub1_2_kroužek	300	ano	29,0	22,5	20,0	19,0	16,2	15,3	14,4	-
23	Dub	Dub1_3_kroužek	300	ano	49,4	41,7	39,4	33,7	32,0	30,2	-	-
24	Dub	Dub1_9_kroužek	300	ano	41,9	30,9	28,4	27,4	24,5	23,4	22,3	20,8
25	Dub	Dub1_10_kroužek	300	ano	34,0	26,0	24,2	23,7	21,7	20,9	20,1	-
26	Dub	Dub1_11_kroužek	300	ano	33,8	27,9	25,9	25,3	23,1	22,1	21,2	-
27	Dub	Dub1_12_kroužek	300	ano	38,0	30,5	28,3	27,6	25,1	24,0	22,8	21,3



Obr. 35: Graf průběhu utahovacích sil s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

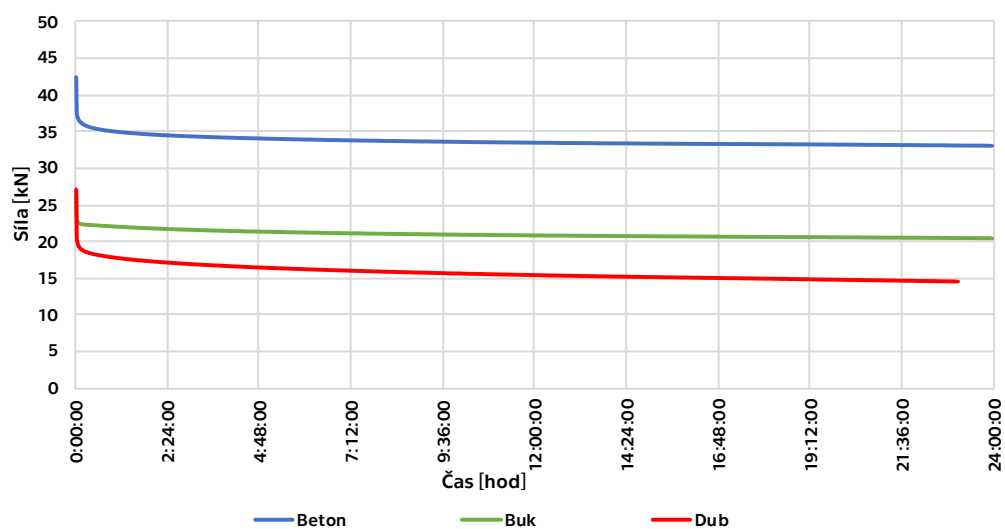
Průměrné hodnoty utahovací síly F_u na testovaných materiálech

V Tab. 7 jsou zpracovány průměry všech měření pro jednotlivé materiály bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6 a při jeho použití. V příloze 1 jsou uvedeny podrobné výsledky ve formě protokolů. Z grafů na Obr. 36 a Obr. 37 je patrné, že průměrné hodnoty utahovací síly F_u vrtule jsou pro jednotlivé materiály odlišné. Pro betonový pražec jsou hodnoty utahovací síly F_u bez a při použití dvojitého pružného kroužku Fe 6 podobné. Pro dřevěné pražce jsou hodnoty utahovací síly F_u za použití dvojitého pružného kroužku Fe 6 vyšší než hodnoty bez použití tohoto kroužku. Z grafů je dále patrné snížení rozptylu utahovací síly F_u při použití dvojitého pružného kroužku Fe 6. Přiblížení hodnot je pravděpodobně způsobeno silou, jež do měření vnesl dvojitý pružný kroužek.

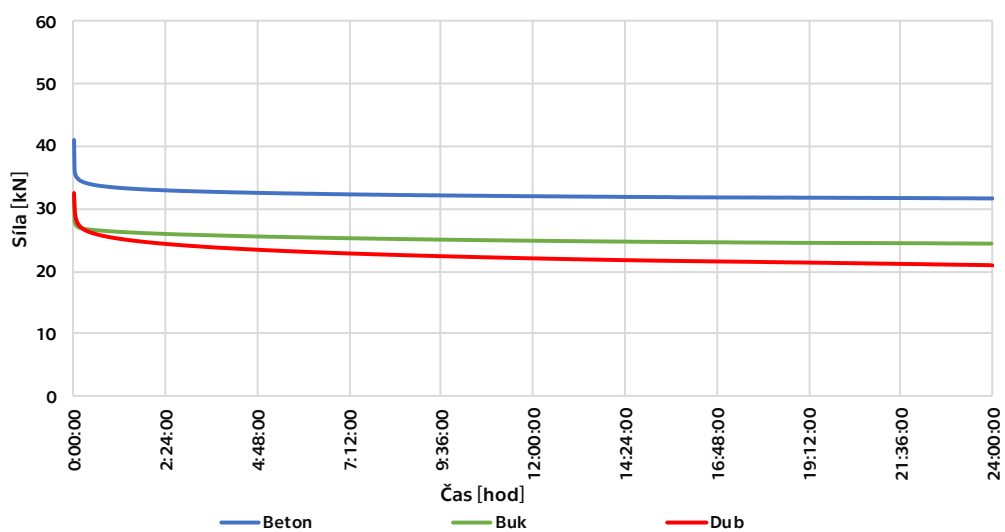
Tab. 7: Průměry hodnot utahovacích sil všech měření.

Materiál	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]						
		Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod
Beton	ne	42,4	37,3	35,9	35,3	33,8	33,4	33,0
Buk	ne	26,5	23,0	22,3	22,2	21,2	20,8	20,4
Dub	ne	27,3	20,6	18,9	18,3	16,3	15,5	14,7
Beton	ano	41,2	36,0	34,5	33,9	32,5	32,0	31,7
Buk	ano	32,4	28,0	27,0	26,6	25,5	24,9	24,4
Dub	ano	32,6	30,0	27,0	26,0	23,0	22,0	20,9

Vzhledem ke zjištění, že tření vrtule o svařenec simulující podkladnici významně ovlivňuje měření, jsou ve zhodnocení a závěru uvažovány pouze hodnoty při použití dvojitého pružného kroužku.



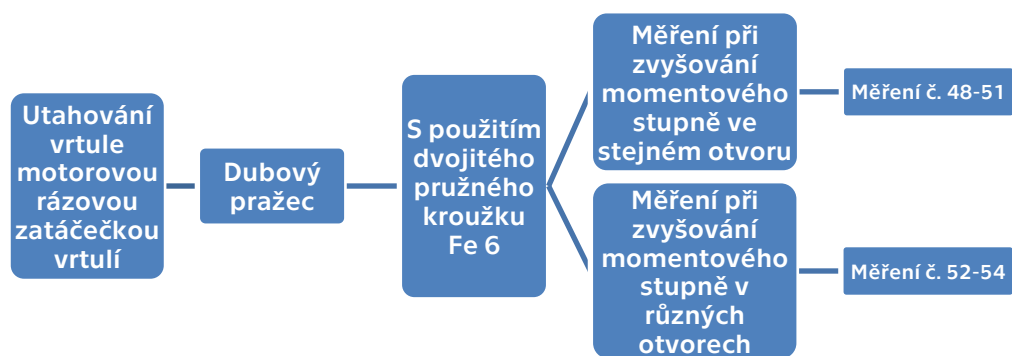
Obr. 36: Graf průběhu průměrů utahovacích sil pro jednotlivé materiály pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.



Obr. 37: Graf průběhu průměrů utahovacích sil pro jednotlivé materiály pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

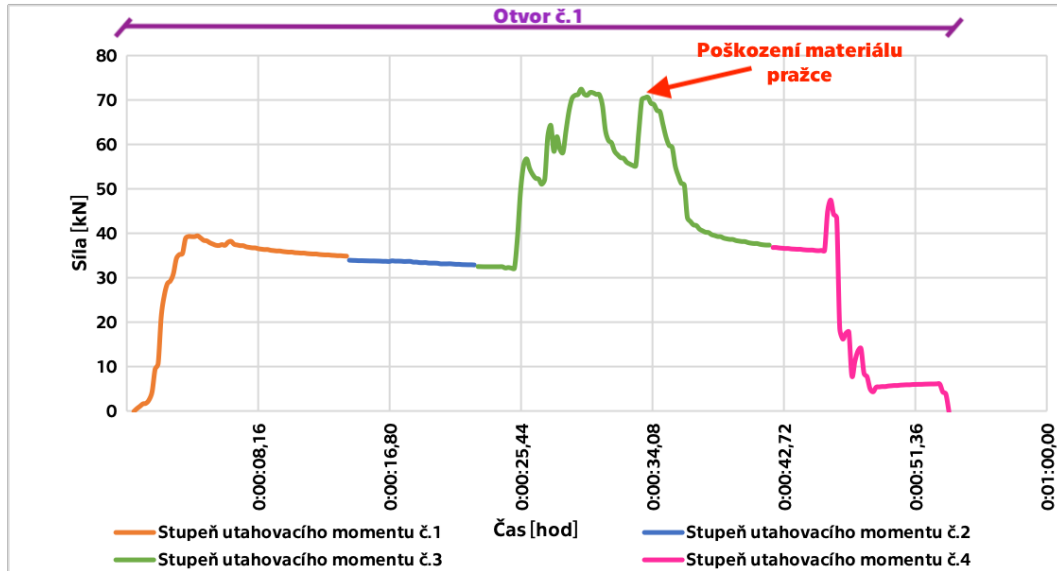
5.4.2 Utahovací síla F_u při použití strojní utahovačky

Byla provedena série měření utahovací síly F_u vrtule při dotahování ruční motorovou utahovačkou vrtulí s rázovým chodem v dubovém pražci. Toto doplňkové měření bylo provedeno za účelem srovnání manuální metody utahování vrtulí se strojní metodou.

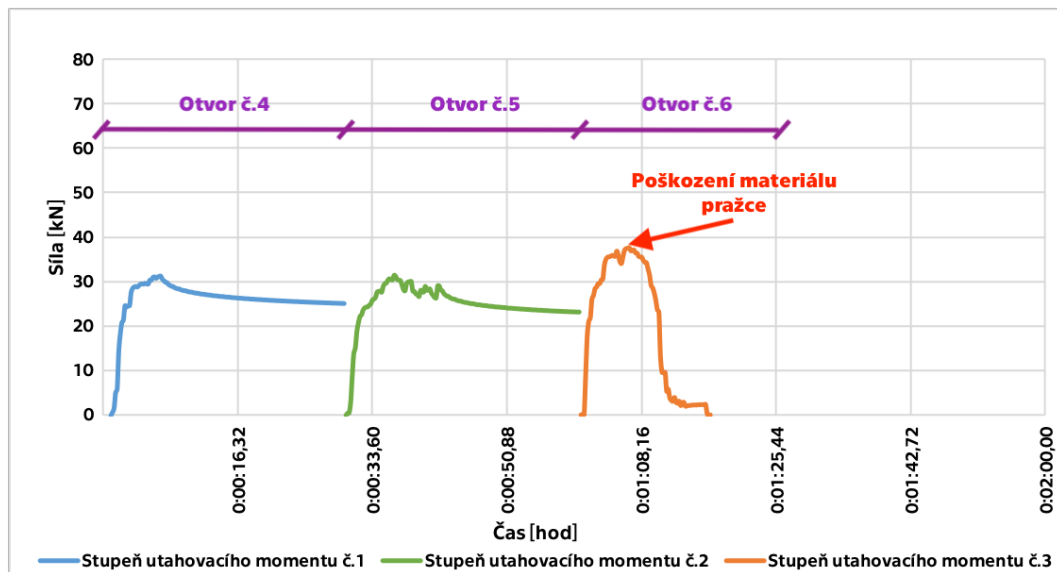


Obr. 38: Přehled provedených laboratorních měření utahovací síly vrtulí dotažených motorovou rázovou zatačečkou vrtulí.

Měření na Obr. 39 je kontinuální při postupném dotahování na všechny momentové stupně stroje. Z měření je patrný pokles utahovací síly F_u ve 3. fázi utahování. Tento pokles byl způsoben částečným poškozením materiálu pražce. Při 4. stupni byl pražec a otvor zničen a vrtule se protáčela. Na Obr. 40 je graficky znázorněn průběh hodnot utahovací síly F_u při měřeních, ve kterých byl pro každý momentový stupeň stroje připraven nový otvor. Pro první dva momentové stupně se průběh a naměřená hodnota příliš neliší. Pravděpodobně se jedná o variaci tuhosti materiálu pražce. Hodnota utahovací síly F_u pro třetí momentový stupeň je nižší z důvodu poškození pražce. Poškození bylo pravděpodobně způsobeno velkým rázem od utahovačky.



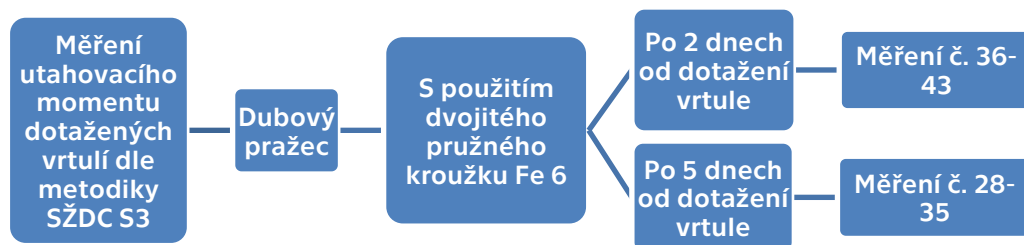
Obr. 39: Průběh utahovací síly F_u strojní utahovačky při kontinuálním utahování pro jednotlivé stupně.



Obr. 40: Průběh utahovací síly F_u strojní utahovačky pro jednotlivé stupně s povolením vrtulí před dotažením.

5.4.3 Kontrola skutečné velikosti utahovacího momentu dle metodiky SŽDC S3

Byla provedena série měření utahovacího momentu ve vrtuli v novém impregnovaném dubovém pražci tak, jak instruuje předpis SŽDC S3 v příloze VI. Byly naměřeny hodnoty po 2 a 5 dnech (dle přehledu na Obr. 41) od dotažení vrtule na předepsaný moment 300 Nm, jak je uvedeno v předpisu SŽDC S3. Výsledky těchto jednotlivých měření jsou uvedeny v Tab. 8 a Tab. 9. Poloha jednotlivých vrtulí byla označena lakovým fixem. Následně byly vrtule povoleny o 180° sestavou momentového klíče (Obr. 42) s měřičem momentu FACOM E.506-340S (Obr. 43). Pro jednotlivá měření byl zaznamenán nejvyšší dosažený moment a zaznamenán do tabulky výsledků. Dále byly vrtule dotaženy stejnou sestavou do původní polohy. Při dotažení byl zaznamenán maximální dosažený moment do tabulky výsledků. Z průměrných hodnot je patrný pokles momentů ve vrtulích po 5 dnech. Hodnota po 2 dnech je vyšší než hodnota předepsaná předpisem SŽDC S3. Přesnost těchto hodnot a jejich velikost je ovlivněna měřicím zařízením a klimatickými podmínkami. Pražce byly po dobu experimentu vystaveny vnějším klimatickým vlivům, a tedy mohlo dojít ke změnám teploty a vlhkosti materiálu, což může mít za následek zvýšení nebo snížení potřebného utahovacího momentu k dotažení vrtule.



Obr. 41: Přehled provedených laboratorních měření utahovacího momentu dotažených vrtulí.



Obr. 42: Sestava momentového klíče, měřiče momentové síly a vrtule.



Obr. 43: Měřič momentové síly.

Tab. 8: Tabulka hodnot naměřených po 2 dnech od dotažení vrtulí.

Číslo měření	Číslo otvoru	Předesazený moment [Nm]	Moment při povolování vrtule [Nm] po 2 dnech od dotažení	Moment při dotahování vrtule [Nm]	Procentuální změna utahovacího momentu [%]
36	1	300	268	319	6
37	2	300	204	341	14
38	3	300	226	303	1
39	4	300	232	336	12
40	5	300	211	292	-3
41	6	300	210	273	-9
42	7	300	207	272	-9
43	8	300	237	339	13
průměr naměřených hodnot			224	309	3

Tab. 9: Tabulka hodnot naměřených po 5 dnech od dotažení vrtulí.

Číslo měření	Číslo otvoru	Předesazený moment [Nm]	Moment při povolování vrtule [Nm] po 5 dnech od dotažení	Moment při dotahování vrtule [Nm]	Procentuální změna utahovacího momentu [%]
28	1	300	280	251	-17
29	2	300	243	281	-6
30	3	300	251	321	7
31	4	300	239	197	-34
32	5	300	251	217	-28
33	6	300	244	284	-5
34	7	300	227	186	-38
35	8	300	260	265	-12
průměr naměřených hodnot			249	250	-17

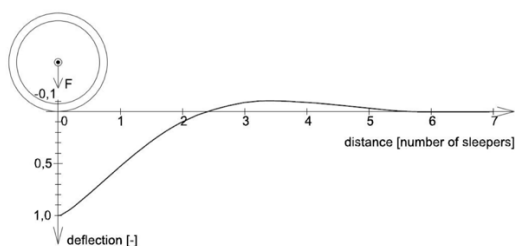
5.5 Diskuse výsledků

Sérií měření dle předpisu SŽDC S3 byly zjištěny hodnoty utahovací síly F_u na vzorcích nových železničních pražců. Pražce vykazují různé hodnoty utahovací síly F_u v závislosti na materiálu. Nejvyšší utahovací síla F_u rovná 41 kN byla dosažena v betonovém pražci s polyamidovou hmoždinkou. V dubových a bukových pražcích bylo dosaženo srovnatelné utahovací síly F_u rovné 32 a 33 kN.

S ohledem na vytržení vrtule je nezbytné, aby utahovací síla F_u byla nižší než trhací síla, neboť pokud není dodržena tato podmínka, je vrtule z pražce vytržena. K vytržení vrtule z pražce by mohlo dojít v případech použití klínových podkladnic ve směrovém oblouku trati nebo jako následek zdvihové vlny kolejnicového pásu v okolí zatížení vozidlem (Obr. 44). Průhyb kolejnice závisí na velikosti kolové síly, ohybové tuhosti kolejnice dle tvaru a tuhosti podloží. Síla způsobená zdvihovou vlnou působí v opačném směru než utahovací síla F_u . V Tab. 10 je srovnání naměřených utahovacích sil F_u se silami potřebnými pro vytržení vrtule z pražce, které naměřil Lojda [13]. Ze srovnání na Obr. 45 je patrné, že naměřené hodnoty utahovací síly F_u jsou nižší než hodnoty sil potřebných k vytržení vrtule z pražce. Na základě srovnání hodnot je možné považovat měření utahovací síly F_u za správně provedené. Na novém bukovém pražci byla naměřena hodnota utahovací síly F_u rovna hodnotě 47% trhací síly a na novém dubovém pražci hodnotě 62% trhací síly. Rozdílnost procentuálního poměru trhací a utahovací síly F_u u bukového a dubového pražce je pravděpodobně způsobena rozdílnou pružností materiálů. Dále je uvedeno, že dubový pražec stáří 9 let vykazuje nižší hodnotu trhací síly než je hodnota utahovací síly F_u u nového pražce. Hodnota trhací síly u 28 let starého bukového pražce je stále vyšší než hodnota utahovací síly F_u u nového bukového pražce. Dubový pražec stáří 9 let byl oslaben z důvodu degradace dřeva, jež způsobil pokles trhací síly.

Mimo jiné, zkouška zabudovaných a vlepených součástí upevnění je pro betonové pražce definována v normě ČSN EN 13481-2+A1 hodnotou 60 kN. Tento požadavek je rovněž graficky uveden v Obr. 45. Zkouška odolnosti proti vytržení vrtule je prováděna podle normy EN 13146-10.

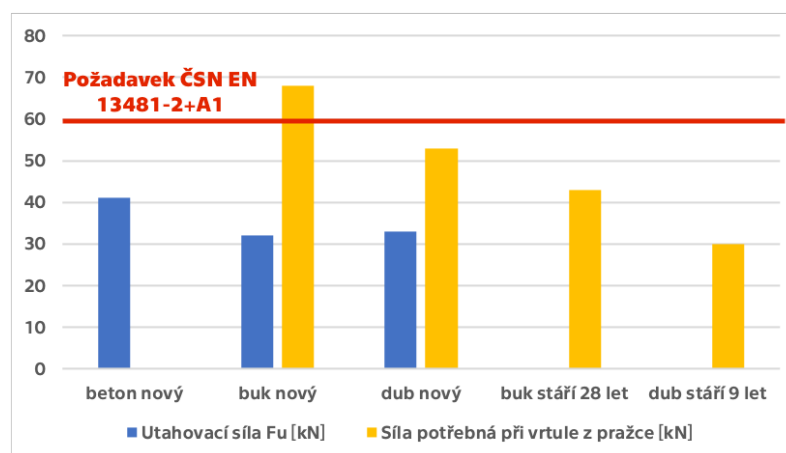
U betonového pražce byla zjištěna průměrná utahovací síla F_u rovnající se hodnotě 2/3 požadované minimální vertikální silové odolnosti na vytržení vrtule z pražce dle ČSN EN 13481-2+A1.



Obr. 44: Průhyb kolejnicového pásu v přilehlé oblasti zatížení vozidlem.
(zdroj: [14][6])

Tab. 10: Srovnání výsledků laboratorního měření maximální utahovací síly F_u s výsledky trhací síly podle Lojdy. [13]

Materiál	Utahovací síla F_u [kN]	Síla potřebná pro vytržení vrtule z pražce [kN] [13]
beton nový	41	netestováno
buk nový	32 (47% trhací síly)	68
dub nový	33 (62% trhací síly)	53
buk stáří 28 let	netestováno	43
dub stáří 9 let	netestováno	30 (110% utahovací síly nového pražce)



Obr. 45: Srovnání utahovací síly F_u se silou potřebnou pro vytržení vrtule z pražce.

6 Závěr

6.1 Zhodnocení výsledků provedené laboratorní zkoušky

Cílem této práce bylo experimentální ověření síly, kterou je podkladnice přitlačována vrtulí k pražci. Podařilo se stanovit vhodnou a funkční metodu pro měření utahovací síly F_u . Tato síla je závislá na torzním momentu, jímž je vrtule do železničního příčného pražce dotahována. Byla provedena série měření na třech nejpoužívanějších materiálových typech pražců. Pro jednotlivá měření byl stanoven moment dle platného předpisu SŽDC S3. Z výsledků bylo zjištěno, že síla vyvozovaná vrtulí na podkladnici se pro různé materiály pražce za dodržení stanoveného torzního momentu liší. Tato utahovací síla F_u je i v rámci jednotlivých měření jednoho materiálu stanovována s poměrně velkým rozptylem. U betonového pražce s polyamidovou hmoždinkou byl rozptyl utahovacích sil F_u výrazně nižší. To je způsobeno více faktory. Prvním faktorem je nehomogenní materiál u přírodních dřevěných pražců, pro něž jsou charakteristické suky, praskliny vysycháním a různá tvrdost dřeva vlivem nahuštění v průřezu pražce nebo nehomogenita dřeva vlivem proimpregnování. Charakteristiky tohoto typu lze u betonového pražce vyloučit. Druhým faktorem ovlivňující přitlačnou sílu vrtule je typ otvoru pro vrtuli. Při zatáčení vrtule do polyamidové hmoždinky je na vrtuli kladen minimální odpor a dojde k rychlému nárůstu síly v poslední fázi utahování vrtule, ve chvíli, kdy je vrtulí stlačován dvojitý pružný kroužek. U dřevěných pražců je faktor velikosti kladeného odporu na vrtuli při zatáčení do pražce závislý na tvrdosti dřeva a velikosti předvrtaného otvoru. Odpor při zatáčení vrtule do dřevěného pražce může být v praxi ovlivněn velikostí předvrtaných otvorů za dodržení předpisu SŽDC S3 a SR 103/3(S). Tento odpor

omezuje velikost dosažené utahovací síly F_u . V měřeních, kde nebyl užit dvojitý pružný kroužek, je do odporu pražce připočten ještě odpor způsobený třením vrtule o podkladnici, což vede k nadměrnému zvýšení odporu. Tento fakt zatěžuje výsledky významnou chybou.

Závěrem z výsledků provedeného laboratorního měření je, že hodnoty předepsaného utahovacího momentu v předpisu SŽDC S3 jsou podle utahovací síly F_u ověřené a pro užívání v koleji funkční.

6.2 Návrh na pokračování výzkumu

Dalším výzkumem v této problematice by mohlo být určení utahovacích momentů vrtulí s měřením utahovací síly v dalších materiálech, které nebyly ověřeny v této bakalářské práci. Mezi tyto materiály patří další typy dřeva při různém tvaru, geometrii otvorů nebo mazacím prostředku. Dalšími materiály k ověření mohou být předpjaté betonové pražce nebo polymery.

Soupis bibliografických citací

- [1] V. Lojda, "Historický vývoj příčných pražců z hlediska materiálu: od kamene k polymerům," in *RDIT 2018*, 2018, p. 6.
- [2] O. Plášek, P. Zvěřina, R. Svoboda, and M. Mockovčiak, *ŽELEZNIČNÍ STAVBY - ŽELEZNIČNÍ SPODEK A SVRŠEK*. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM s.r.o., 2004.
- [3] SŽDC Správa železniční dopravní cesty, "SŽDC S4."
- [4] O. Plášek, *Konstrukční uspořádání koleje*. Fakulta stavební VUT v Brně, 2019.
- [5] H. Krejčíříková, *Železniční stavby 1, 1. část*. Praha: ČVUT Praha, 2017.
- [6] H. Krejčíříková, *ŽELEZNIČNÍ STAVBY 2 (137 ZST2)*. Praha: ČVUT Praha, 2011.
- [7] ŽPSV s.r.o., "Katalogový list pražce B 91 S/1." 2019.
- [8] Kolektiv K612, "Projektování kolejové dopravy," *ČVUT v Praze Fak. Doprav.*
- [9] SŽDC Správa železniční dopravní cesty, "SŽDC S3 s účinností od 1.3.2019." SŽDC, Praha, 2019.
- [10] Boels, "Utahovák ROBEL 30.82 RKS." 2019.
- [11] SŽDC Správa železniční dopravní cesty, "Služební rukověť SR 103/3 (S)." SŽDC, Praha, 2010.
- [12] AHLBORN, "Technický list snímače síly Ahlborn K - 25." 2013.
- [13] V. Lojda, "Pull-out test of screw spike installed in wooden sleepers - Držebnost upevňovadel v pražcích ze dřeva," *Juniorstav 2017*, 2017.
- [14] V. Lojda, "Screw spike pullout test of recycled plastic," *Int. J. Adv. Res. Sci. Eng.*, 2015.

Seznam příloh bakalářské práce

Příloha 1 Protokoly o měření utahovací síly F_u při použití momentového klíče

Seznam tabulek

Tab. 1 Rozdělení betonových pražců (zdroj: [6])	18
Tab. 2: Tabulka rozdělení používaných upevňovadel podle druhu koleje (zdroj: [5]).	24
Tab. 3: Tabulka s parametry a metodikou utahování vrtule dle SŽDC S3 (zdroj: [9]).	33
Tab. 4 Přehled provedených laboratorních zkoušek.....	43
Tab. 5: Souhrn hodnot průběhu utahovacích sil všech měření bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.....	46
Tab. 6: Souhrn hodnot průběhu utahovacích sil všech měření s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	48
Tab. 7: Průměry hodnot utahovacích sil všech měření.	49
Tab. 8: Tabulka hodnot naměřených po 2 dnech od dotažení vrtulí.....	54
Tab. 9: Tabulka hodnot naměřených po 5 dnech od dotažení vrtulí.....	54
Tab. 10: Srovnání výsledů laboratorního měření maximální utahovací síly F_u s výsledky trhací síly podle Lojdy. [13].....	56
Tab. 11: Tabulka vstupních hodnot zkoušky betonového pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.	64
Tab. 12: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.	65
Tab. 13: Tabulka vstupních hodnot zkoušky betonového pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	66
Tab. 14: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	67
Tab. 15: Tabulka vstupních hodnot zkoušky bukového pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.	68
Tab. 16: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.	69
Tab. 17: Tabulka vstupních hodnot zkoušky bukového pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	70
Tab. 18: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	71
Tab. 19: Tabulka vstupních hodnot zkoušky dubového pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.	72
Tab. 20: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v dubovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.	73

Tab. 21 Tabulka vstupních hodnot zkoušky dubového pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	74
---	----

Tab. 22: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	75
--	----

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma rozdělení trati na železniční spodek a železniční svršek (zdroj: [2]).	12
Obr. 2: Zleva kolejnice dvouhlavá, širokopatní, stojinová žlábková, žlábková bloková (zdroj: [5]).	15
Obr. 3: Názvosloví jednotlivých částí kolejnice (zdroj: [5]).	15
Obr. 4: Tvary užívaných kolejnic (zdroj: [5]).	16
Obr. 5: Betonový pražec typu SB8(P) (zdroj: [5]).	19
Obr. 6: Polyamidová hmoždinka (zdroj: [5]).	19
Obr. 7: Příklad označení pražce (zdroj: [5]).	19
Obr. 8: Ocelový příčný pražec tvaru Y (zdroj: [5]).	20
Obr. 9: Příčné průřezy příčných pražců ze dřeva (zdroj: [5]).	22
Obr. 10: Značení dřevěných pražců v České republice (zdroj: [2]).	22
Obr. 11: Rozdělení typů systému upevnění (zpracováno podle [5]).	24
Obr. 12: Příklad sestavy přímého upevnění (zdroj: [5]).	25
Obr. 13: Příklad sestavy nepřímého upevnění (zdroj: [5]).	25
Obr. 14: Klínová podkladnice s kolejnicí a vrtulemi (zdroj: [5]).	26
Obr. 15: Žebrová podkladnice s úklonem (klínová) úložné plochy (a) a bez úklonu (b) (zdroj: [5]).	27
Obr. 16: Příklad bezpodkladnicového upevnění (zdroj: [5]).	27
Obr. 17: Příklad nepřímého tuhého upevnění kolejnice (zdroj: [8]).	28
Obr. 18: Příklad přímého pružného upevnění kolejnice (zdroj: [8]).	29
Obr. 19: Tvar a rozměry kolejového lože v přímé jednokolejné trati (zdroj: [5]).	30
Obr. 20: Utahování vrtulí ruční motorovou zatačečkou. (zdroj: [10]).	31
Obr. 21: Kontrola správnosti montáže vrtule pomocí stlačení pružného kroužku (zdroj: [9]).	32
Obr. 22: Označení oblasti systému upevnění, na kterou se zaměřuje provedená laboratorní zkouška (zdroj: [5]).	35
Obr. 23: Datalogger Almemo 2690 použitý k záznamu dat při provádění laboratorní zkoušky.	37
Obr. 24: Snímač síly Ahlborn K – 25.	38

Obr. 25: Schéma svařence pro testování utahovací síly a porovnání s místem utahované vrtule na podkladnicové montáži.	38
Obr. 26: Vyvrtané otvory pro provedení zkoušky v dřevěném pražci (zdroj: [11]).....	39
Obr. 27: Momentový klíč.	40
Obr. 28: Hlavice pro dotahování vrtule R 1.....	41
Obr. 29: Vrtule typu R 1 a její schéma s rozměry (zdroj: [2]).	41
Obr. 30: Řez otvory v testovaném tělese dřevěného pražce před a po instalaci vrtule.....	41
Obr. 31: Vzorek dřevěného pražce pro pilotní provedení laboratorní zkoušky.....	42
Obr. 32: Dřevěné pražce připravené pro laboratorní zkoušku.....	43
Obr. 33: Přehled provedených laboratorních měření utahovací síly vrtulí dotažených momentovým klíčem.	44
Obr. 34: Graf průběhu utahovacích sil bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.	46
Obr. 35: Graf průběhu utahovacích sil s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	48
Obr. 36: Graf průběhu průměrů utahovacích sil pro jednotlivé materiály pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.....	50
Obr. 37: Graf průběhu průměrů utahovacích sil pro jednotlivé materiály pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	50
Obr. 38: Přehled provedených laboratorních měření utahovací síly vrtulí dotažených motorovou rázovou zatáčečkou vrtulí.	51
Obr. 39: Průběh utahovací síly F_u strojní utahovačky při kontinuálním utahování pro jednotlivé stupně.....	52
Obr. 40: Průběh utahovací síly F_u strojní utahovačky pro jednotlivé stupně s povolením vrtulí před dotažením.	52
Obr. 41: Přehled provedených laboratorních měření utahovacího momentu dotažených vrtulí.....	53
Obr. 42: Sestava momentového klíče, měřiče momentové síly a vrtule.....	54
Obr. 43: Měřič momentové síly.	54
Obr. 44: Průhyb kolejnicového pásu v přilehlé oblasti zatížení vozidlem. (zdroj: [14][6]).....	56
Obr. 45: Srovnání utahovací síly F_u se silou potřebnou pro vytržení vrtule z pražce.	56
Obr. 46: Graf průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.	65
Obr. 47: Graf průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	67

Obr. 48: Graf průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.....	69
Obr. 49: Graf průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	71
Obr. 50: Graf průběhu utahovacích sil F_u v dubovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.....	73
Obr. 51: Graf průběhu utahovacích sil F_u v dubovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.	75

Příloha 1

Na následujících stranách jsou uvedeny protokoly č. 1-6 shrnující měření přítláčné síly vrtule F_u v různých materiálech.

Protokol 1: Betonový pražec bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6

Tab. 11: Tabulka vstupních hodnot zkoušky betonového pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.

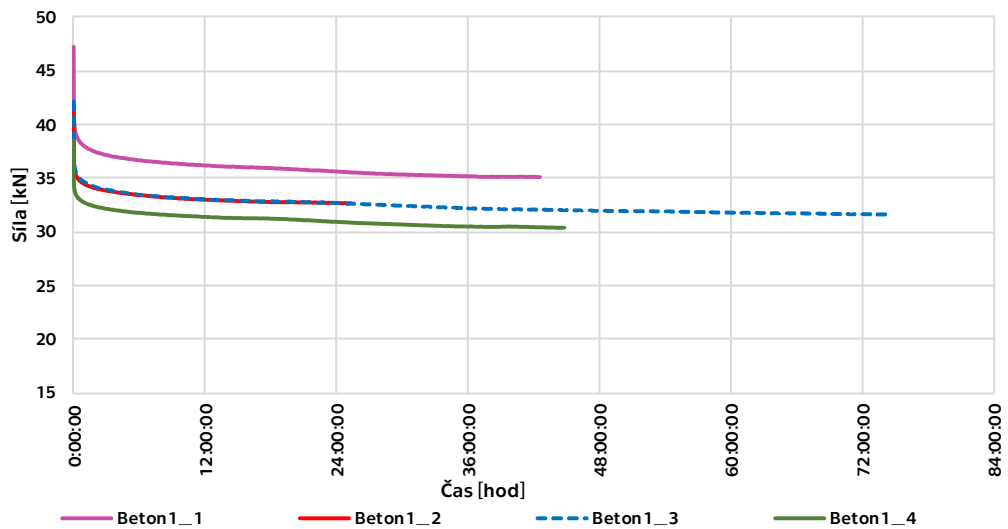
Typ testovaného tělesa:	příčný pražec
Materiál testovaného tělesa:	beton
Utahovací moment vrtule:	200 Nm
Typ vrtule:	R 1
Mazací prostředek:	ano
Použití dvojitého pružného kroužku Fe 6:	ne
Počet měření:	4
Teplota:	laboratorní (20 °C)

Zhodnocení měření:

Jednotlivá měření byla provedena za shodných laboratorních podmínek. Výsledky jednotlivých měření poskytují hodnoty utahovací síly F_u bez velkého rozptylu. Pokles síly je v čase nelineární a jeho křivka je shodná na všech provedených měřeních. Po dotažení vrtule dochází k rychlému poklesu utahovací síly F_u . V následujících hodinách se pokles snižuje, avšak není stabilizován. Hodnoty utahovacích sil F_u jsou uvedeny v Tab. 12. Průběh utahovací síly F_u v závislosti na čase je znázorněn grafem na Obr. 46.

Tab. 12: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Číslo měření	Materiál	Označení otvoru	Předepsaný moment [Nm]	Dvojité pružné kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]							
					Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
1	Beton	Beton1_1	200	ne	47,3	41,1	39,2	38,4	36,6	36,2	35,6	-
2	Beton	Beton1_2	200	ne	41,8	36,6	35,3	34,8	33,4	33,0	32,7	-
3	Beton	Beton1_3	200	ne	42,1	37,0	35,7	35,0	33,5	33,0	32,7	-
4	Beton	Beton1_4	200	ne	38,5	34,6	33,5	33,0	31,7	31,4	30,9	-



Obr. 46: Graf průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Protokol 2: Betonový pražec s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6

Tab. 13: Tabulka vstupních hodnot zkoušky betonového pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

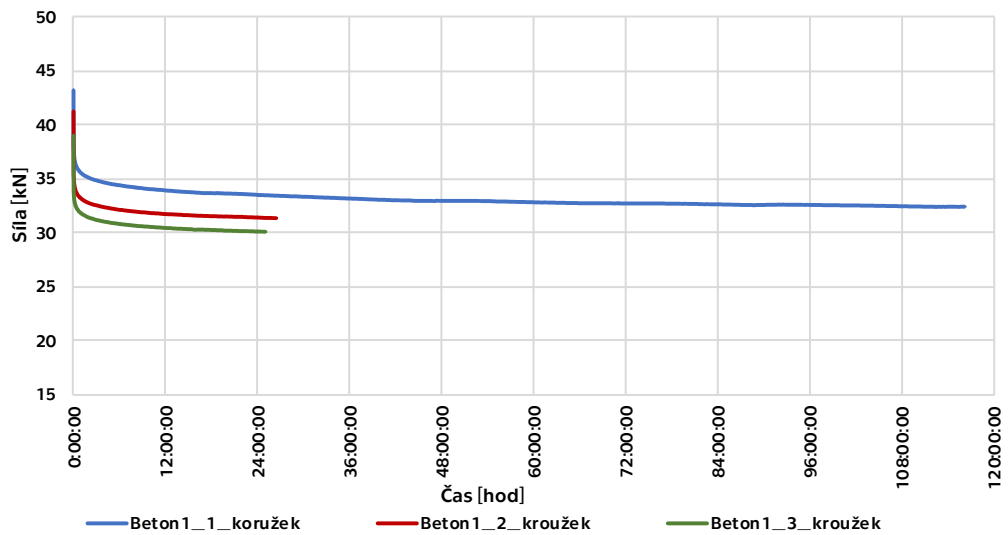
Typ testovaného tělesa:	příčný pražec
Materiál testovaného tělesa:	beton
Utahovací moment vrtule:	200 Nm
Typ vrtule:	R 1
Mazací prostředek:	ano
Použití dvojitého pružného kroužku Fe 6:	ano
Počet měření:	3
Teplota:	laboratorní (20 °C)

Zhodnocení měření:

Jednotlivá měření byla provedena za shodných laboratorních podmínek. Výsledky jednotlivých měření poskytují hodnoty utahovací síly F_u bez velkého rozptylu. Pokles síly je v čase nelineární a jeho křivka je shodná na všech provedených měřeních. Po dotažení vrtule dochází k rychlému poklesu utahovací síly F_u . V následujících hodinách se pokles snižuje, avšak není stabilizován. Hodnoty utahovacích sil F_u jsou uvedeny v Tab. 14. Průběh utahovací síly F_u v závislosti na čase je znázorněn grafem na Obr. 47.

Tab. 14: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Číslo měření	Materiál	Označení otvoru	Předesaný moment [Nm]	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]							
					Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
13	Beton	Beton1_1_kroužek	200	ano	43,2	38,2	36,7	36,0	34,4	33,9	33,5	33,0
14	Beton	Beton1_2_kroužek	200	ano	41,3	35,6	34,2	33,6	32,1	31,7	31,4	-
15	Beton	Beton1_3_kroužek	200	ano	39,0	34,1	32,8	32,2	30,8	30,5	30,1	-



Obr. 47: Graf průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Protokol 3: Dřevěný pražec bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6

Tab. 15: Tabulka vstupních hodnot zkoušky bukového pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.

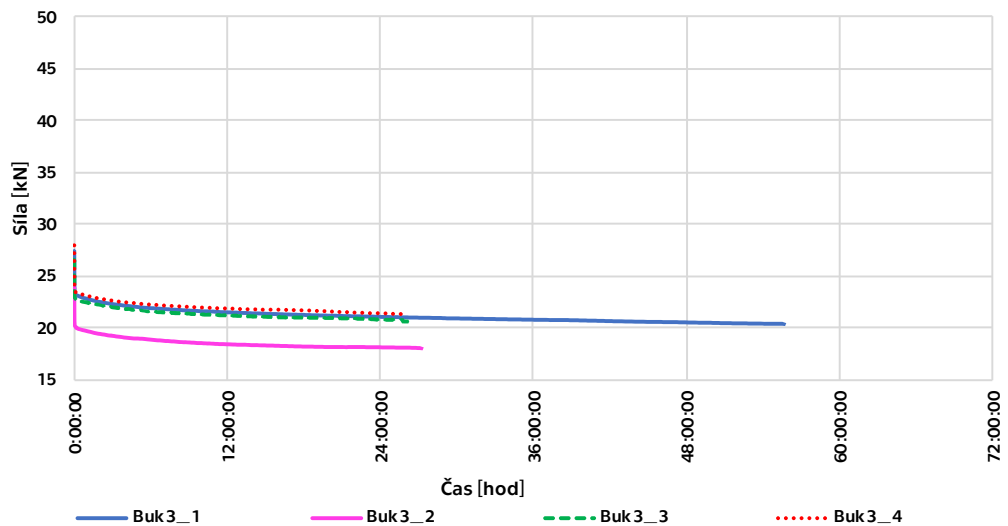
Typ testovaného tělesa:	příčný pražec
Materiál testovaného tělesa:	Bukové dřevo
Utahovací moment vrtule:	300 Nm
Typ vrtule:	R 1
Mazací prostředek:	ano
Použití dvojitého pružného kroužku Fe 6:	ne
Počet měření:	4
Teplota:	laboratorní (20 °C)

Zhodnocení měření:

Jednotlivá měření byla provedena za shodných laboratorních podmínek. Výsledky jednotlivých měření vykazují nižší hodnoty utahovací síly F_u pro měření č. 6. Pokles síly je v čase nelineární a jeho křivka je shodná na všech provedených měřeních. Po dotažení vrtule dochází k rychlému poklesu utahovací síly F_u . V následujících hodinách se pokles snižuje, avšak není stabilizován. Hodnoty utahovacích sil F_u jsou uvedeny v Tab. 16. Průběh utahovací síly F_u v závislosti na čase je znázorněn grafem na Obr. 48.

Tab. 16: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Číslo měření	Materiál	Označení otvoru	Předepsaný moment [Nm]	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]							
					Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
5	Buk	Buk3_1	300	ne	27,5	23,9	23,2	23,0	21,9	21,5	21,1	20,5
6	Buk	Buk3_2	300	ne	23,9	20,6	20,0	19,9	18,9	18,4	18,2	-
7	Buk	Buk3_3	300	ne	26,6	23,3	22,7	22,6	21,6	21,2	20,8	-
8	Buk	Buk3_4	300	ne	28,0	24,0	23,4	23,3	22,3	21,9	21,4	-



Obr. 48: Graf průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Protokol 4: Dřevěný pražec s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6

Tab. 17: Tabulka vstupních hodnot zkoušky bukového pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

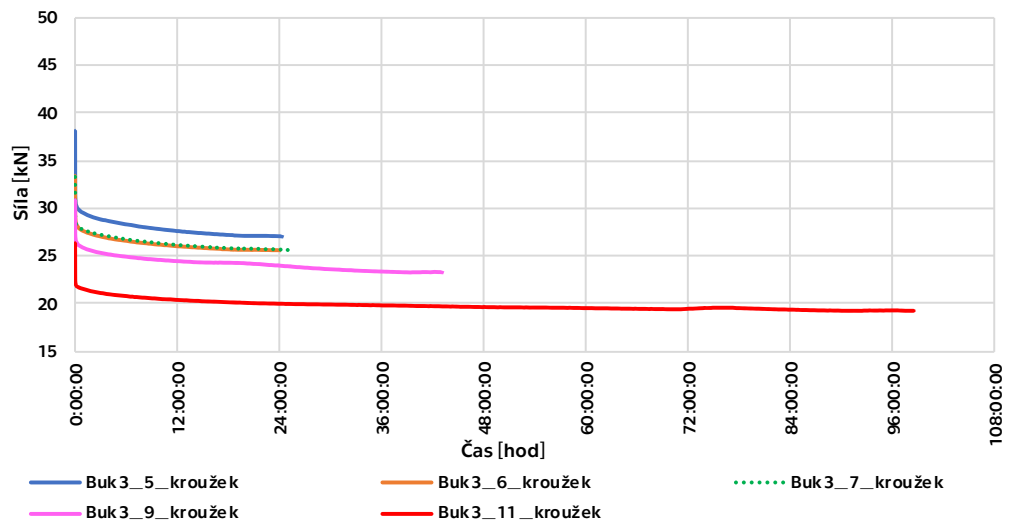
Typ testovaného tělesa:	příčný pražec
Materiál testovaného tělesa:	Bukové dřevo
Utahovací moment vrtule:	300 Nm
Typ vrtule:	R 1
Mazací prostředek:	ano
Použití dvojitého pružného kroužku Fe 6:	ano
Počet měření:	5
Teplota:	laboratorní (20 °C)

Zhodnocení měření:

Jednotlivá měření byla provedena za shodných laboratorních podmínek. Výsledky jednotlivých měření vykazují nižší hodnoty utahovací síly F_u pro měření č. 20. Ostatní výsledky měření jsou s poměrně vysokým rozptylem, avšak tvoří skupinu podobných hodnot. Pokles síly je v čase nelineární a jeho křivka je shodná na všech provedených měřeních. Po dotažení vrtule dochází k rychlému poklesu utahovací síly F_u . V následujících hodinách se pokles snižuje, avšak není stabilizován. Hodnoty utahovacích sil F_u jsou uvedeny v Tab. 18. Průběh utahovací síly F_u v závislosti na čase je znázorněn grafem na Obr. 49.

Tab. 18: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Číslo měření	Materiál	Označení otvoru	Předepsaný moment [Nm]	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]							
					Maximální síla	Utahovací síla [kN]						
						po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
16	Buk	Buk3_5_kroužek	300	ano	38,1	31,6	30,1	29,8	28,3	27,6	27,0	-
17	Buk	Buk3_6_kroužek	300	ano	33,4	29,4	28,2	27,8	26,6	26,0	25,6	-
18	Buk	Buk3_7_kroužek	300	ano	33,3	29,4	28,3	27,9	26,7	26,1	25,6	-
19	Buk	Buk3_9_kroužek	300	ano	30,9	27,3	26,4	26,1	24,9	24,4	24,0	-
20	Buk	Buk3_11_kroužek	300	ano	26,3	22,4	21,8	21,6	20,8	20,4	20,0	19,6



Obr. 49: Graf průběhu utahovacích sil F_u v bukovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Protokol 5: Dřevěný pražec bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6

Tab. 19: Tabulka vstupních hodnot zkoušky dubového pražce bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6.

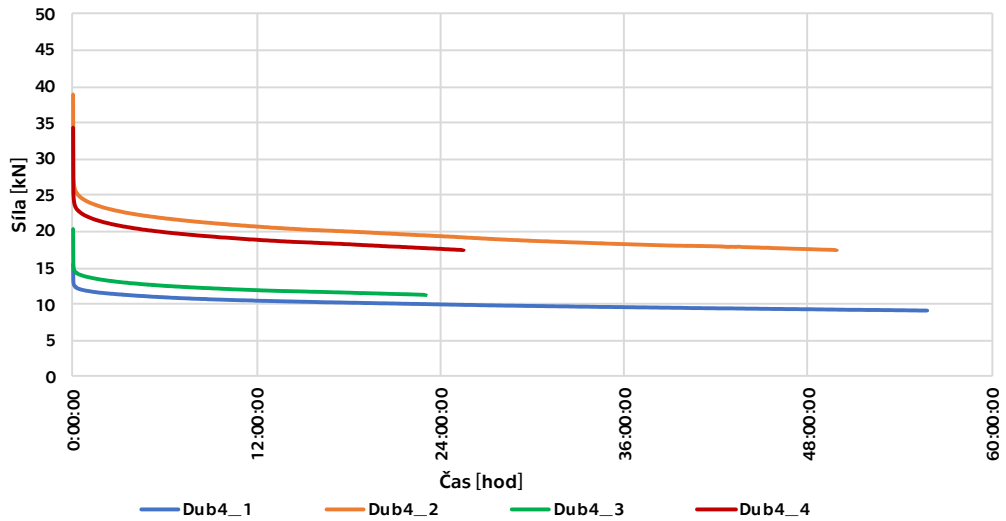
Typ testovaného tělesa:	příčný pražec
Materiál testovaného tělesa:	Dubové dřevo
Utahovací moment vrtule:	300 Nm
Typ vrtule:	R 1
Mazací prostředek:	ano
Použití dvojitého pružného kroužku Fe 6:	ne
Počet měření:	4
Teplota:	laboratorní (20 °C)

Zhodnocení měření:

Jednotlivá měření byla provedena za shodných laboratorních podmínek. Výsledky jednotlivých měření vykazují nižší hodnoty utahovací síly F_u pro měření č. 9 a č. 11. Výsledek měření rozděluje naměřené hodnoty do dvou skupin s určitou podobností hodnot. Pokles síly je v čase nelineární a jeho křivka je shodná na všech provedených měřeních. Po dotažení vrtule dochází k rychlému poklesu utahovací síly F_u . V následujících hodinách se pokles snižuje, avšak není stabilizován. Hodnoty utahovacích sil F_u jsou uvedeny v Tab. 20. Průběh utahovací síly F_u v závislosti na čase je znázorněn grafem na Obr. 50.

Tab. 20: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v dubovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Číslo měření	Materiál	Označení otvoru	Předepsaný moment [Nm]	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]							
					Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
9	Dub	Dub4_1	300	ne	15,6	13,1	12,3	12,0	10,9	10,5	10,0	9,3
10	Dub	Dub4_2	300	ne	38,8	28,0	25,6	24,7	21,9	20,8	19,5	17,7
11	Dub	Dub4_3	300	ne	20,4	15,4	14,4	14,0	12,5	11,9	-	-
12	Dub	Dub4_4	300	ne	34,3	25,7	23,4	22,6	20,0	18,9	17,7	-



Obr. 50: Graf průběhu utahovacích sil F_u v dubovém pražci bez dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Protokol 6: Dřevěný pražec s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6

Tab. 21 Tabulka vstupních hodnot zkoušky dubového pražce s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

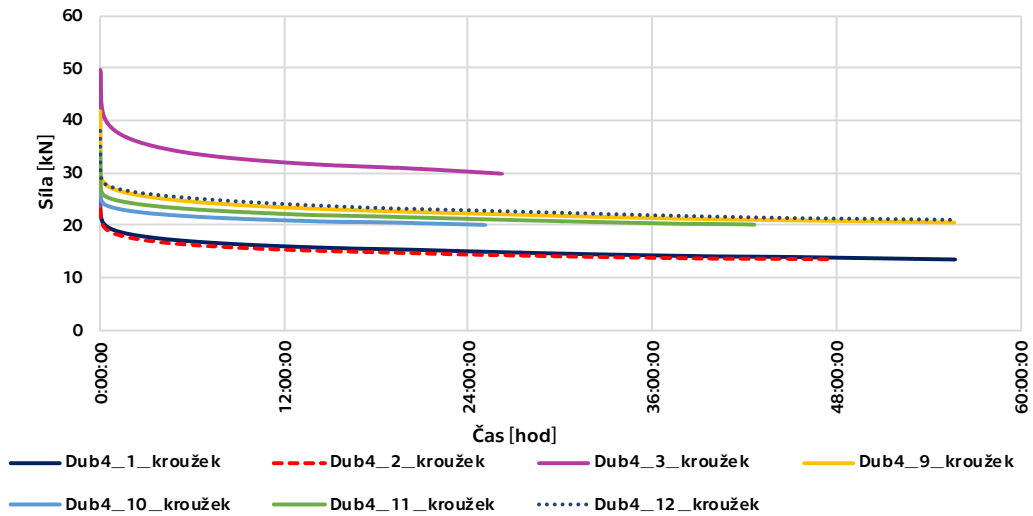
Typ testovaného tělesa:	příčný pražec
Materiál testovaného tělesa:	Dubové dřevo
Utahovací moment vrtule:	300 Nm
Typ vrtule:	R 1
Mazací prostředek:	ano
Použití dvojitého pružného kroužku Fe 6:	ano
Počet měření:	7
Teplota:	laboratorní (20 °C)

Zhodnocení měření:

Jednotlivá měření byla provedena za shodných laboratorních podmínek. Výsledky jednotlivých měření vykazují nižší hodnoty utahovací síly F_u pro měření č. 21 a č. 22. Naopak měření č. 23. vykazuje hodnotu výrazně vyšší než ostatní měření. Zbylá měření tvoří skupinu podobných hodnot. Pokles síly je v čase nelineární a jeho křivka je shodná na všech provedených měřeních. Po dotažení vrtule dochází k rychlému poklesu utahovací síly F_u . V následujících hodinách se pokles snižuje, avšak není stabilizován. Hodnoty utahovacích sil F_u jsou uvedeny v Tab. 22. Průběh utahovací síly F_u v závislosti na čase je znázorněn grafem na Obr. 51.

Tab. 22: Hodnoty průběhu utahovacích sil F_u v betonovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

Číslo měření	Materiál	Označení otvoru	Předepsaný moment [Nm]	Dvojitý pružný kroužek Fe 6	Utahovací síla [kN]							
					Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod	po 48 hod
21	Dub	Dub4_1_kroužek	300	ano	27,6	23,0	20,6	19,6	16,9	16,0	15,0	13,8
22	Dub	Dub4_2_kroužek	300	ano	29,0	22,5	20,0	19,0	16,2	15,3	14,4	-
23	Dub	Dub4_3_kroužek	300	ano	49,4	41,7	39,4	33,7	32,0	30,2	-	-
24	Dub	Dub4_9_kroužek	300	ano	41,9	30,9	28,4	27,4	24,5	23,4	22,3	20,8
25	Dub	Dub4_10_kroužek	300	ano	34,0	26,0	24,2	23,7	21,7	20,9	20,1	-
26	Dub	Dub4_11_kroužek	300	ano	33,8	27,9	25,9	25,3	23,1	22,1	21,2	-
27	Dub	Dub4_12_kroužek	300	ano	38,0	30,5	28,3	27,6	25,1	24,0	22,8	21,3



Obr. 51: Graf průběhu utahovacích sil F_u v dubovém pražci s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.