

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny

Studie dřevěného mostu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Samostatná příloha: výkresová část

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Studie dřevěného mostu** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:

Podpis

Poděkování:

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat paní Ing. Pavle Kotáskové, Ph.D. za její čas a rady při vedení a zpracování této práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině za trpělivost a podporu při studiu.

Abstrakt

Název práce: Studie dřevěného mostu

Autor: Michal Novák

Bakalářská práce se zabývá návrhem dřevěného mostu pro přemostění řeky Litavy. Teoretická část se zabývá přehledem realizovaných konstrukcí mostů. Součástí přehledu jsou možnosti používaných spojů včetně možností uložení mostní konstrukce. V této části je dále sestaveno doporučení konstrukční ochrany dřevěných prvků. V praktické části je obsažen návrh samotného mostu včetně zjednodušeného statického posudku. Součástí bakalářské práce je dále výkresová dokumentace.

Klíčová slova: nosník, svorník, nosná konstrukce, lepené lamelové dřevo, elastomerové ložisko

Abstract

Title of the thesis: Study of the wooden bridge

Author: Michal Novák

Bachelor thesis deals with a design of wooden bridge over the river Litava. The theoretical part consists of a survey of implemented construction of bridges and summary of used connections of wooden elements and options of support bridge construction is included. In this part is also recommendation for structural protection for wooden elements. In the practical part is included the design of the bridge with simplified static analysis. The design documentation is included.

Key words: beam, bolt, structural frame, glued laminated timber, elastomeric bearing

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Metodika	3
3.1	Shromáždění podkladů a informací	3
3.2	Zaměření a kontrola stavu stávající lávky	3
3.3	Statický posudek	3
4	Přehled současné problematiky	4
4.1	Popis částí mostu	4
4.2	Charakteristiky mostu	4
4.3	Lepené lamelové dřevo	6
4.3.1	Materiál	6
4.3.2	Výhody	6
4.3.3	Lepidla	7
4.3.3.1	Rezorcínolformaldehydová (RF) a fenolrezorcínolformaldehydová (PRF) lepidla	8
4.3.3.2	Melaminmočovinoformaldehydová (MUF) lepidla	8
4.4	Třídy pevnosti dřeva	9
4.5	Přehled konstrukcí dřevěných mostů	9
4.5.1	Lávky	10
4.5.2	Vzpěradlové mosty	11
4.5.3	Věšadlové mosty	11
4.5.4	Příhradové mosty	13
4.5.5	Příhradově obloukové mosty	14
4.5.6	Obloukové mosty	15
4.6	Konstrukční spoje	17
4.6.1	Lepené spoje	18
4.6.2	Svorníkové a kolíkové spoje	19
4.6.2.1	Únosnost svorníkových a kolíkových spojů	20

4.6.3	Spoje s tvarovými součástmi z ocelového plechu	21
4.6.4	Hřebíkové spoje	22
4.6.5	Vrutové spoje	23
4.7	Možnosti uložení mostní konstrukce	24
4.7.1	Bezložiskové uložení	24
4.7.2	Uložení na ložiskách	25
4.7.2.1	Elastomerová ložiska	26
4.7.2.2	Válcová ložiska	28
4.7.2.3	Vahadlová ložiska	29
4.7.2.4	Kloubová ložiska.....	30
4.8	Konstrukční ochrana dřeva	31
4.8.1	Použití oplechování	32
4.8.2	Použití krycího obkladu	33
4.8.3	Použití zastřešení.....	33
4.8.4	Použití tvarových optimalizací.....	34
4.8.5	Použití odvětrávací mezery	36
5	Vlastní návrh lávky	37
5.1	Geografická poloha lávky.....	37
5.2	Popis navrhované lávky.....	37
5.3	Statické posouzení nosníku	38
5.3.1	Stálé zatížení	38
5.3.2	Zatížení sněhem	39
5.3.3	Zatížení větrem.....	40
5.3.4	Užitné zatížení.....	40
5.3.5	Dimenze nosníku.....	41
5.3.6	Průhyb nosníku.....	44
6	Diskuze	46
7	Závěr	47
8	Summary	48
9	Seznam použité literatury	49

10	Normy	51
11	Internetové zdroje	52
12	Seznam obrázků a tabulek	53
13	Přílohy	55

1 Úvod

Ohlédneme-li se do historie, výstavba dřevěných mostů se praktikuje několik tisíciletí. Dřevo bylo a je obnovitelný a snadno získatelný zdroj. Díky tomu je používán i při stavbě mostů. V minulosti bylo požíváno výhradně surově rostlé, popřípadě opracované dřevo. Mnoho mostů bylo zastřešených, z důvodu konstrukční ochrany, díky čemuž se dochovaly i několik staletí. S příchodem průmyslových revolucí, nových technologií a materiálů, s požadavky vyššího zatížení se výstavba dřevěných mostů dostala do útlumu. Velkým mezníkem byla změna smýšlení společnosti o dřevu, vývoj technologií a lepeného dřeva. Tyto aspekty umožnily realizovat mosty různých konstrukcí, překlenout vzdálenosti, které by při použití surově rostlého dřeva nešlo. Díky stále inovaci lepeného dřeva, povrchové úpravy, lepidel, přesných a kvalitně zpracovaných spojů dřevěných prvků se mostní stavitelství posunulo zcela na jinou úroveň. Dnes cokoliv, co je ekologické a postaveno z obnovitelných zdrojů, je pozitivně podporováno. V České republice se zabývá výstavbou dřevěných mostů několik málo firem. U většiny projektů se jedná o mosty pro pěší. Ovšem výjimkou nejsou i mosty pro automobilovou dopravu. Podíváme-li se do zahraničí, mostní stavitelství ze dřeva je na jiné úrovni. Zatímco v České republice je výstavba mostů pro automobilovou dopravu v samém počátku, v zahraničí mosty o rozpětí několik desítek metrů stojí několik let. Nesmírnou výhodou dřevěných mostů je rychlost výstavby, montáže či demontáže. Ve srovnání s materiálem, jako je beton, by měly mít dřevěné konstrukce nižší stavební náklady.

2 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je návrh mostu pro přemostění řeky Litavy u obce Křižanovice. Nosná konstrukce bude navržena ze dřeva. Návrh bude ověřen zjednodušeným statickým posudkem. Součástí práce je výkresová dokumentace. Budou využity zkušenosti získané na praxi ve firmě, která se zabývá návrhy a výstavbou mostů a lávek.

Dílčím cílem práce je zpracování přehledu o dřevěných mostech a lávkách realizovaných u nás i v zahraničí.

Součástí přehledu bude i popis jednotlivých částí mostů. Pozornost bude věnována i možnostem uložení mostní konstrukce na spodní stavbu mostu. V práci budou uvedeny typy spojů jednotlivých dřevěných prvků v současné době používaných. Na základě zjištěných informací z literatury i zkušeností odborníků o realizovaných stavbách budou pro jednotlivé dřevěné konstrukce a prvky sestavena doporučení pro konstrukční ochranu dřeva.

3 Metodika

3.1 Shromáždění podkladů a informací

Když jsem si vybíral téma, které se zabývá dřevěnými mosty, bylo mi doporučeno absolvovat praxi ve firmě CB s.r.o. Společnost sídlící v Kunovicích u Uherského Hradiště se zabývá návrhy a výstavbou mostů a lávek. Ve firmě jsem získal informace, jak takový projekt vzniká, částečně se na jednom podílel a podíval se do výroby.

Z doporučení bylo nutné hledat informace v Moravské zemské knihovně. Jelikož nebyly ucelené informace v jedné knize, bylo třeba projít mnoho knih. V této knihovně byla možnost, nahlédnout i do mnoha norem, které jsou potřebné nejen k návrhu lávky, ale také ke statickému ověření, zda navržená lávka vyhoví pro dané zatížení. Měl jsem možnost radit se s projektantem, který se touto problematikou částečně zabývá. Dalším důležitým zdrojem informací byly webové stránky stavebních portálů, výrobců a firem, zabývajících se tímto odvětvím. Z těchto zdrojů byly čerpány hlavně obrázky a technologie týkajících se určitých prvků konstrukce mostu, jako jsou ložiska. Nedílnou součástí bylo prozkoumání již realizovaných dřevěných lávek různé konstrukce, které vedlo ke zjištění, jak výrobci řeší správně, či špatně provedení detailů konstrukce.

3.2 Zaměření a kontrola stavu stávající lávky

Pro návrh nového mostu bylo nutné zaměření a kontrola stavu stávající betonové mostní konstrukce. K měření rozměrů mostu byly použity pomůcky jako pásma a svinovací metr. Podpěra, která se nachází v 1/3 lávky nebyla zaměřena, protože se počítá s její částečnou demolicí.

3.3 Statický posudek

Jelikož kompletní statický posudek lávky je poměrně složitý, bylo dohodnuto s vedoucí mé práce, že posudek bude zjednodušen a bude zahrnovat pouze svislé zatížení. Do stálého zatížení nebyly zahrnuty spojovací prostředky, některé spojovací prvky a povrchová úprava. Výpočet byl řešen na základě platných norem, ale není zcela kompletní.

4 Přehled současné problematiky

4.1 Popis částí mostu

Mostní stavba se skládá ze dvou částí, z vrchní a spodní stavby.

Vrchní stavba:

Vrchní stavba se dále dělí na nosnou konstrukci a svršek.

Funkcí nosné konstrukce mostu je přenést stálé a nahodilé zatížení do spodní stavby. Tato konstrukce se skládá z těchto částí:

- hlavní nosná konstrukce – přemostňuje mostní prostor mezi opěrami.
- mostovka – přenáší zatížení svršku do hlavní nosné konstrukce. U dřevěných mostů je zpravidla dřevěná, obdélníkového koláčového nebo povalového průřezu.
- ložiska – přenášejí zatížení do spodní stavby mostu.

Svršek mostu se skládá z částí mostu, které nese mostovka. Jedná se o vozovku, krajnice, odrazné obrubníky, chodníky aj.

Spodní stavba:

Spodní stavba se dělí na opěry, křídla a základy.

Opěry oddělují mostní otvor od terénu a zároveň přenášejí zatížení z vrchní stavby mostu do základu.

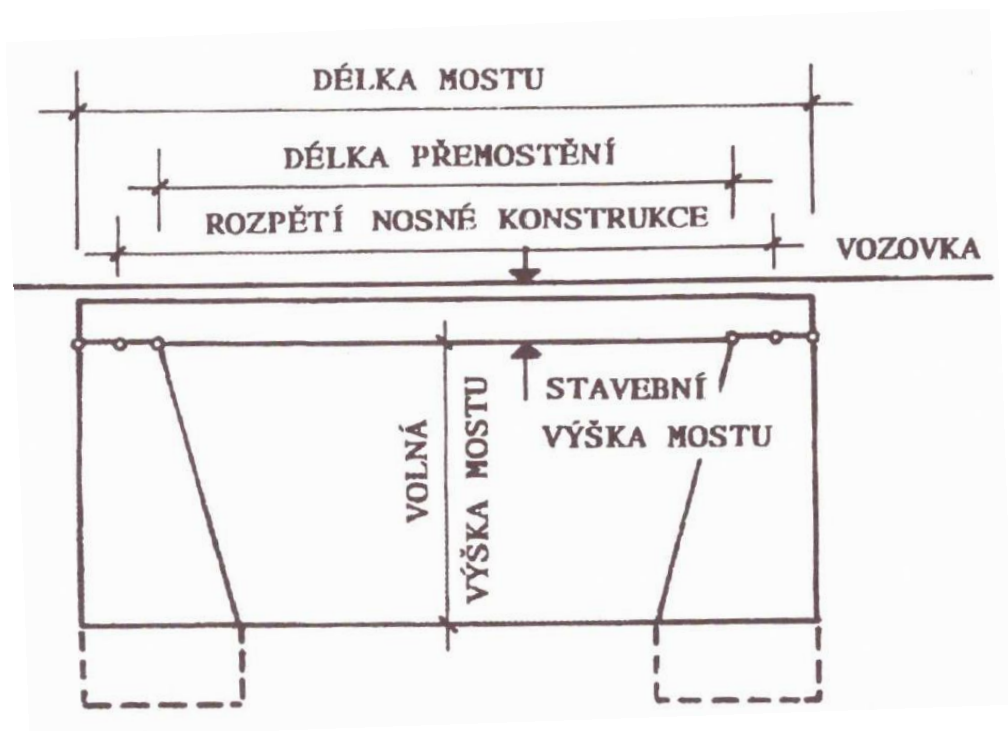
Základy přenášejí veškeré zatížení opěr do základové půdy. Základy jsou buď plošné, popřípadě pilotové hlubinné.

Křídla jsou opěrné zdi, které se nachází rovnoběžně vedle opěr a uzavírají zemní terén od opěr. V některých případech mohou být křídla kolmá na opěru, nebo šikmá k opěře. (Hanák, 1997)

4.2 Charakteristiky mostu

- Mostní otvor je volný prostor pod hlavní nosnou konstrukcí umožňující průtok, průchod a průjezd.
- Světlost mostního otvoru je vodorovná vzdálenost mezi opěrami.
- Mostní pole je část mostní konstrukce, která přemostňuje prostor mezi sousedními podporami.

- Rozpětí nosné konstrukce je vodorovná vzdálenost středu ložisek.
 - Délka přemostění je vodorovná vzdálenost mezi horní hranou opěr.
 - Stavební výška mostu je výškový rozdíl mezi nivelitou vozovky a spodní hranou nosné konstrukce.
 - Volná výška mostu je kolmá vzdálenost mezi spodní hranou nosné konstrukce a dnem toku.
 - Volná šířka mostu je vodorovná vzdálenost vnitřních hran zábradlí mostu.
- (Hanák, 1997)



Obr. 1 Charakteristiky mostu (Hanák, 1997)

4.3 Lepené lamelové dřevo

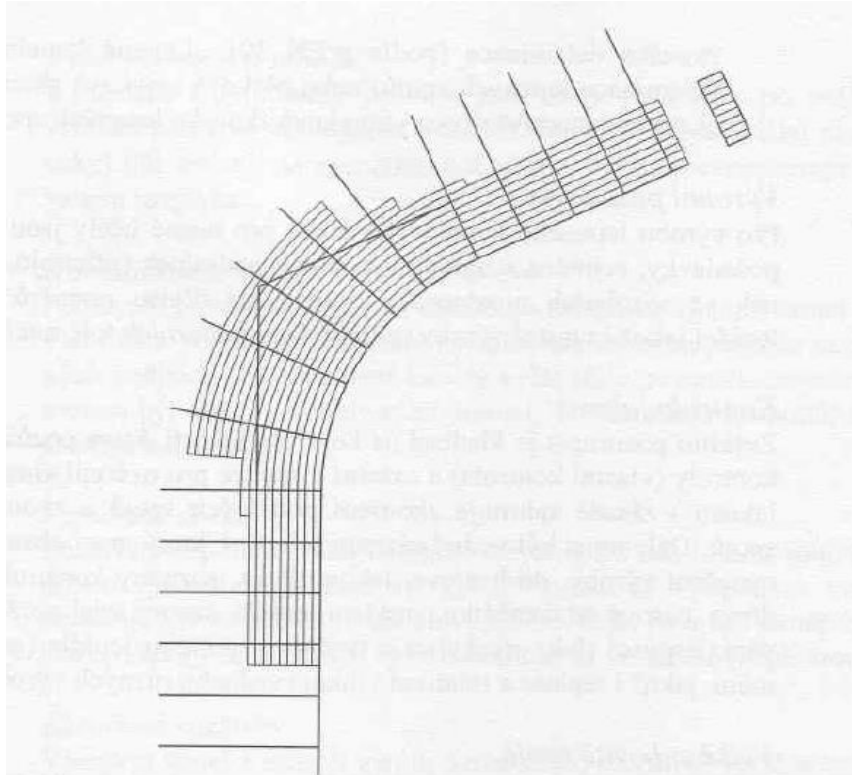
Lepené lamelové dřevo posunulo konstrukce dřeva na zcela jinou úroveň. Při navrhování konstrukcí se nemusíme spoléhat na rozměry a vlastnosti rostlého dřeva, ale v jisté míře můžeme navrhnout nosník, dřevěný prvek, který mnohonásobně předčí rostlé dřevo, čímž se používání rostlého dřeva dostává do útlumu při navrhování konstrukcí. (Koželouh, 1998)

4.3.1 Materiál

Lepené, lamelové dřevo se vyrábí z mnoha dřevin, které mají vhodné vlastnosti na daný konstrukční účel. Maximální tloušťka řeziva je 45 mm, délka 1,5 a 5 m. Z důvodu lepidel vyžadující maximální vlhkost 15% se řezivo uměle vysouší na 12%. Lamely se na čelních plochách spojují zubovitým spojem a vytváří nekonečnou lamelu. Na vyfrézovaný zubovitý spoj je nanášeno lepidlo a následně jsou lamely slisovány po dobu 2 a více sekund. (Koželouh, 1998)

4.3.2 Výhody

Lepenému lamelovému dřevu patří řada výhod oproti rostlému dřevu. Je to dáno způsobem výroby lepeného dřeva. Výrobou nekonečné lamely lze vyrobit nosník, konstrukční prvek neomezených rozměrů. Omezující v tomto případě jsou výrobní prostory, komplikovaná je i přeprava těchto konstrukcí. Možnost zakřivení jednotlivých lamel před lepením umožňuje výrobu nosníků určitých tvarů. Je možné nadvýšení nosníků, které následně eliminuje vzniklé průhyby. Vzhledem k tomu, že při výrobě lepeného dřeva dochází ke kontrole jakosti přířezů, jsou suky rozděleny po celém nosníku, čímž vznikne homogenní materiál. Toto řešení vede k vyšším pevnostem lepeného dřeva. (Koželouh, 1998)



Obr. 2 Skladba různě dlouhých lamel zakřiveného nosníku (Koželouh, 1998)

4.3.3 Lepidla

Lepidla se používají pro vzájemné spojení dvou a více částí, staticky působící jako celek. Úkolem lepidla je vyplnění spár mezi dřevěnými prvky, čímž se vytvoří adhezní spojení mezi prvky, které je tak pevné, jako kohezní síly uvnitř prvků. Pro trvalý kontakt při výrobě lepených spojů musí být lepidlo v určitém stadiu procesu lepení v tekutém stavu. Proces lepení se skládá ze dvou stavů:

- Při nanesení tekutého lepidla smáčí lepidlo oba povrchy spojovacích prvků, čímž vznikají ve styčných plochách přitažlivé síly mezi molekulami dřeva lepidlem.
- Změna stavu lepidla do pevné fáze s dostatečnou pevností a trvanlivostí během doby životnosti konstrukce. (Koželouh, 1998)

4.3.3.1 Rezorcínolformaldehydová (RF) a fenolrezorcínolformaldehydová (PRF) lepidla

Jedná se o pryskyřičná lepidla, která se používají při výrobě lepeného lamelového dřeva, velkých zubovitých spojů, nosníků a jiných konstrukčních prvků. Rezorcínová pryskyřice se získává reakcí rezorcínu s formaldehydem. Aby se proces tuhnutí ukončil, přidává se do tekutého stavu lepidla tvrdidlo, které obsahuje formaldehyd. Tvrdidlo obsahuje i plnidla různého druhu, které zajistí vlastnosti pro vyplnění spáry. Z ekonomických důvodů se rezorcínová pryskyřice z části nahrazuje jinými, levnějšími fenoly. RF a PRF lepidla vytvrzují při teplotě 15 – 20°C, popřípadě při vyšších teplotách, například při vytvrzování vysokofrekvenčním ohřevem. Reakcí formaldehydu s rezorcínem, popřípadě jiným fenolem vznikají sloučeniny -C-C- (uhlík-uhlík), které jsou velmi pevné nerozpustné ve vodě. Díky těmto vazbám jsou RF a PRF lepidla odolné vodě, varu, slané vodě i povětrnosti.

Velkou výhodou těchto lepidel je, že nedochází při požáru k delaminaci, Lepidla jsou chemicky neutrální, nepoškozují dřevo ani kovy. Po vytvrzení se z lepidla neuvolňují škodlivé látky ani formaldehyd. (Koželouh, 1998)

4.3.3.2 Melaminmočovinoformaldehydová (MUF) lepidla

Jsou to pryskyřičná lepidla, sestávající se ze tří složek. Z melaminu, močoviny a formaldehydu. Melamin je v těchto lepidlech, z důvodu vyšší odolnosti proti vodě a povětrnosti. MUF lepidla se používají k lepení lamelového dřeva i zubovitých spojů. Nejsou ovšem tak odolná jako rezorcínová lepidla. Použití MUF lepidel je nejčastěji z ekonomických důvodů. (Koželouh, 1998)

Ve firmě CB s.r.o. ve které jsem byl na praxi používají k lepení lamelového dřeva lepidlo na MUF bázi Cascomin + hardener.

4.4 Třídy pevnosti dřeva

Tab. 1 Parametry lepeného lamelového dřeva BSH (<http://dekwood.cz/>)

Základní vlastnosti BSH (dle ČSN EN 1194)				
vlhkost dřeva	10-12% ± 2%			
třída pevnosti		GL24h	GL28c	GL32c
hustota [kg/m ³]	ρ_k	380	380	410
Charakteristické hodnoty pevností [N/mm ²]				
pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24,00	28,00	32,00
pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	16,50	16,50	19,50
pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,40	0,40	0,45
pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	24,00	24,00	26,50
pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,70	2,70	3,00
pevnost ve smyku	f_{vk}	2,70	2,70	3,20
Charakteristické hodnoty tuhostí [kN/mm ²]				
průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	11,60	12,60	13,70
5% kvantil modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{0,05}$	9,40	10,20	11,10
průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	0,39	0,39	0,42
průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,72	0,72	0,78
Požární vlastnosti (dle EN 13501)				
reakce na oheň	Třída D-s2, d0			
míra zuhelnatění	0,7 mm/min			
Nabízené rozměry		šířka	výška	
minimálně		80 mm	80 mm	
maximálně		260 mm	2000 mm	
nárůst po		20 mm	40 mm	
Pro zakřivené dílce se tloušťka lamel odvíjí od poloměru zakřivení. Maximální délka profilů je 24 m. Dovolené odchylky průřezu se řídí normou ČSN EN 336.				

4.5 Přehled konstrukcí dřevěných mostů

Dřevěné lávky a mosty rozdělujeme na kryté (zastřešené) a nekryté. Zastřešené mosty mají nejúčinnější konstrukční ochranu a dosahují dlouholeté životnosti. (Štefko a kol. 2009)

S největší pravděpodobností nenajdeme hranici definující rozdělení na stavby s malým rozpětím a velkým rozpětím. I rozdělení podle konstrukce nám neřekne, zda je daná konstrukce pouze pro malé rozpětí, nebo pouze pro velké rozpětí. Dnešní technologie nám umožňuje vyrobít jednoduchou lávku pro pěší s rozpětím až 25 m, vzpěradlový most s max. rozpětím 30 m. Přitom hodnoty 25 m až 30 m nelze za malý rozpon určitě považovat. Podle informací doc. Straky z VUT, by se dřevěné mosty mohly roz-

dělit na mosty s malým rozpětím (rozpětí do 15 m), mosty se středním rozpětím (rozpětí 15 až 40 m) a na mosty s velkým rozpětím (rozpětí nad 40m). Vzhledem k těmto skutečnostem je přehled vytvořen dle konstrukce mostu nikoli podle rozpětí.

4.5.1 Lávky

Lávky se řadí mezi nejjednodušší typ konstrukce pro překlenutí určitého prostoru. Jsou určeny výhradně pro pěší a cyklisty. Lávka může být zhotovena z jednoho širšího nosníku položeného na podpěry. Širší lávky jsou tvořeny dvěma a více nosníky uloženými na podpěry. Kolmo na nosníky jsou uloženy mostiny 5 – 8 cm silný. Nosná konstrukce lávky i mostiny byly v minulosti zhotoveny z dubového dřeva, v dnešní době se používá modřínové, jedlové a smrkové dřevo. Lávky jsou opatřeny zábradlím 100 cm vysokým. Lávky se projektují na rozpětí 5 – 25 m, počítají se na zatížení 300 kg/m². (Kohout a kol. 1996)



Obr. 3 Lávka v Boršicích (<http://www.cb-cz.eu/>)

4.5.2 Vzpěradlové mosty

Kohout a kol. (1996) uvádí, že vzpěradla se používají u konstrukcí mostů, které mají dostatečnou konstruktivní výšku mezi hlavními nosníky a hladinou vody. Výhodou umístění vzpěradel pod mostovkou je ochrana před deštěm, čímž se prodlužuje jejich životnost. Vzpěradla se bez obtíží zavětrují, a poskytují hlavním nosníkům tuhé podpory.



Obr. 4 Vzpěradlový most, Kutná Hora – Vrchlice (<http://www.panoramio.com/>)

Spoje vzpěry s hlavním nosníkem mohou být provedeny čepem, U větších zatížení vzpěradel se spoj provádí litinovou kotvící botkou. Při spojení opěry se vzpěrou se také používá litinová botka, popřípadě různých konzol.

Rozpětí vzpěradlových mostů se pohybuje do cca 30 m. (Kohout a kol. 1996)

Lokaj (2010) uvádí, že vzpěradla výrazným způsobem zkracují rozpětí nosníků, čímž zvyšují jejich únosnost a tuhost. Důležité je tuhé podepření tlačných vzpěr a spojení s hlavními nosníky.

4.5.3 Věšadlové mosty

Věšadla se používají u konstrukcí mostů a lávek, které mají mezi hlavními nosníky a hladinou vody malou konstruktivní výšku. Používá se jednoduché a dvojité věša-

dlo. Ve střední části konstrukce je lávka vypjata věšadly dvou krajních podélníků, na jejichž věšácích jsou zavěšeny podvlaky. Podvlaky mají za funkci podporovat podélníky, jelikož příčně přečnávají oběma konci lávku. Dále jsou podvlaky oporou zábradelním vzpěram. Příčné výztuhy čepem spojí záhlaví věšáků v takové výšce, aby byla zajištěna dostatečná průchozí/průjezdná výška na mostě.

Pokud není pro vzpěradla dostatečná konstruktivní výška, lze použít konstrukci složenou věšadly a vzpěradly. Výhodou této konstrukce je vysoká tuhost. (Kohout a kol. 1996)

V obci Borová Lada přemostňuje řeku věšadlová lávka o třech polích. Hlavní nejdelší pole tvoří dvojité věšadlo, ostatní dvě pole jednoduché věšadlo. Konstrukce je zhotovena z řezaného tlakově impregnovaného modřínu s ocelovými spojovacími prostředky. Lávky je 32,7 m dlouhá, průchodná šířka je 3,2 m. [1]



Obr. 5 Věšadlová lávka v Borové Ladě (<http://www.lekon-tsk.cz/>)

Ve Vihantasalmi u Mantyharju ve Finsku je od roku 1999 věšadlový most s celkovou délkou 182 m. Nosnou konstrukci tvoří tři dvojice prostě uložených věšadlových nosníků z lepeného lamelového dřeva a oceli o rozpětí 42m. Mostovka je kombinací dřeva a betonu. Dřevo je impregnováno kreosotovým olejem, horní plochy jsou konstrukčně chráněny měděným oplechováním. (Lokaj, 2010)



Obr. 6 Věšadlový most ve Finsku (<https://commons.wikimedia.org>)

4.5.4 Příhradové mosty

Příhradové dřevěné mosty se navrhují na rozpětí 10 – 55 m. V Norsku přes řeku Reno je jeden z nejúnosnějších silničních mostů na světě. Byl postaven v roce 2006. Most je dlouhý 158 m a široký 6,3 m, nosnou konstrukci tvoří dva příhradové spojitě nosníky proměnné výšky. Příčně je konstrukce ztužena ocelovými pruty. Mostovka je spřažená, železobetonová v horní části konstrukce. Nejdelsí pole má rozpětí 45 m. Příhradová konstrukce je z lepeného lamelového dřeva, spoje prutů jsou realizovány ocelovým plechem tl. 8 mm s kolíky průměru 12 mm. Téměř 50 % zatížení tvoří hmotnost železobetonové mostovky. Dřevěná konstrukce je impregnována kombinací kreosotu a CCA (impregnace obsahující těžké kovy Cu, Cr a As). Plochy, které jsou vystaveny povětrnosti, jsou oplechovány. (Lokaj, 2010)

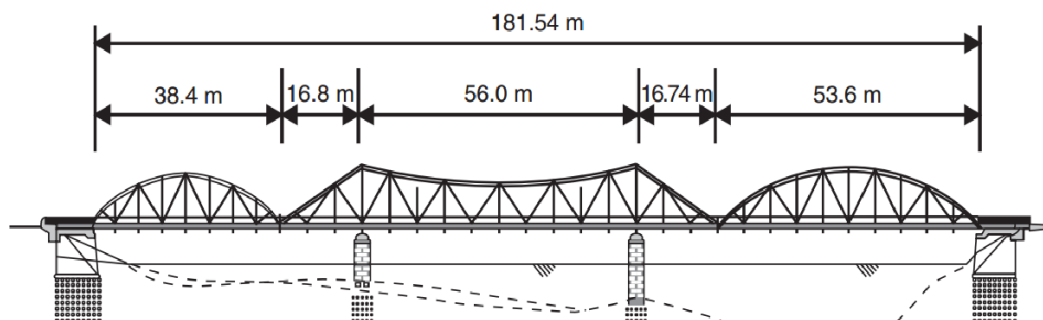


Obr. 7 Příhradový most přes řeku Reno, Norsko (<https://www.regjeringen.no>)

4.5.5 Příhradově obloukové mosty

Příhradově obloukový most Flisa přes řeku Glomma v Norsku, který byl v roce 2003 postaven je jeden z největších dřevěných mostů na světě. Most je rozdělen na tři pole. Délka přemostění je 181,5 m, celková délka mostu je cca 196 m. Centrální nosník je 90 m dlouhý, rozpětí, na kterém je uložený je 56 m, na každém konci přečnává 16,8 m. Příhradové konstrukce krajních polí jsou prostě uloženy na vyložených nosnících centrálního pole a na opěrách. Příhradové konstrukce jsou zhotoveny z lepeného lamelového dřeva, příčně ztuženy dřevěnými ztužidly. Spoje jsou zhotoveny ocelovými plechy vloženými do vyfrézované drážky v LLD a následně spojené ocelovými kolíky. (Blockley, 2010)

Lokaj (2010) uvádí, most Flisa je navržen na plošné zatížení 9 kN/m^2 a vozidlo o hmotnosti 60 t.



Obr. 8 Příhradově obloukový most přes řeku Glomma v Norsku (Blockley, 2010)

Norský most Tynset u Mantyharju postavený v roce 2001 je konstrukce příhradového oblouku se zavěšenou mostovkou. Most má tři pole, s celkovou délkou 124 m, s rozpětím největšího pole 70 m. Nosnou konstrukci největšího pole z lepeného lamelového dřeva tvoří dvojice dvojklobových příhradových oblouků. Příčně jsou oblouky ztuženy dřevěnými prvky. Dřevěná mostovka je uložena na příčně orientovaných ocelových nosnících, které jsou zavěšeny na příhradových obloucích. Dřevěná konstrukce je impregnována kreosotovým olejem. (Lokaj, 2010)



Obr. 9 Pole s největším rozpětím Norského mostu Tynset (<http://www.ltu.se/>)

4.5.6 Obloukové mosty

Obloukové konstrukce ze dřeva jsou poměrně mladé, zlom nastal ve vývoji lepeného lamelového dřeva. Lokaj (2010) uvádí, že obloukové plnostěnné mosty se projektují do rozpětí 50 m, s horní, mezilehlou nebo dolní mostovkou.

Už v roce 1984 postavili v Eggiwill ve Švýcarsku zastřešený obloukový dřevěný most. Most přemostňuje řeku při rozpětí 30,6 m, šířka vozovky je 6,5 m a chodník je široký 1,5 m. Nosnou část tvoří dva oblouky z lepeného lamelového dřeva. K nim jsou připojena věšadla, z bukového lepeného lamelového dřeva, které přenášejí vysoké zatížení příčných nosníků mostovky. Spoje věšadel jsou z drážkovaných ocelových desek zapuštěných do čelního dřeva, a přesných svorníků. Oblouky jsou příčně ztuženy zavětrovacími ztužidly. Mostovka je také z lepeného lamelového dřeva tloušťky 200 mm,

v příčném směru předpjata závitovými ocelovými tyčemi zajišťující tuhost mostovky. (Koželouh, 1998)



Obr. 10 Zastřešený dřevěný most ve Švýcarsku (<http://www.swiss-timber-bridges.ch/>)

V Rakousku je od roku 1994 obloukový most Wennerbrucke. Nosnou konstrukci tvoří čtyři parabolické trojkloubové oblouky o rozpětí 45 m a vzepětí 12,5 m. Celková délka mostu je 85 m. Oblouky jsou z modřínového lepeného lamelového dřeva, obdélníkového průřezu 360/1200 mm, podélníky 360/1000 mm a šikmé sloupy 360/600 mm. (Lokaj, 2010)

Koželouh (1998) uvádí, most Wennerbrucke je projektován na zatížení dvojicí nápravových tlaků 250 kN a plošné zatížení 5 kN/m². Zatížení mezi krajními opěrami a s vrcholem oblouku je přenášeno šikmými sloupy tvaru V. Ty fungují jako vzpěradlo a přenášejí část výztužných sil. Spojení hlavních nosníků a vrcholu oblouku je zhotoveno zapuštěnými ocelovými plechy a svorníky. Mostovka je zhotovena z betonových prefabrikátů uložena na hlavní nosníky prostřednictvím závitových tyčí průměru 30 mm. Mezi betonovým prefabrikátem a hlavními nosníky je neoprenový pás tloušťky 8 mm.



Obr. 11 Obloukový most Wennerbrucke, Rakousko (<http://pierer.photoshelter.com/>)

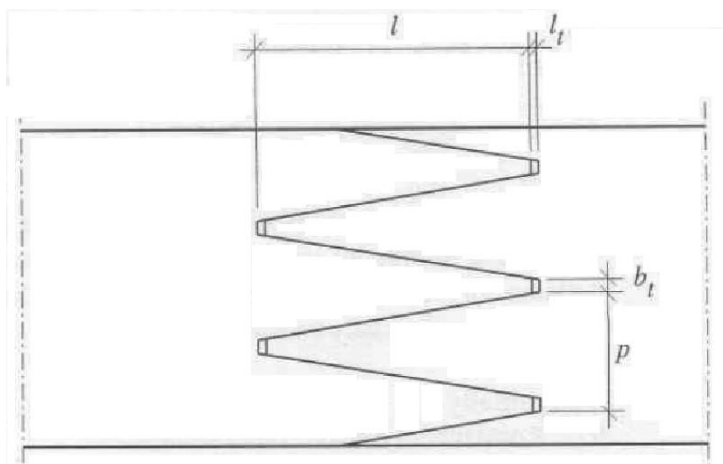
Ve Slavkově u Brna přemostňuje řeku Litavu oblouková lávka. Délka nosné konstrukce je 16,8 m. Lávka je z lepeného lamelového dřeva, některé prvky jsou z oceli. Nosnou funkci plní dva parabolické oblouky, ke kterému jsou připojena dřevěná věšadla. Vrchol oblouku a hlavního vodorovného nosníku je spojen kovovým věšadlem, které je obloženo dřevem. Příčně jsou oblouky a hlavní vodorovné nosníky ztuženy ocelovými prvky. Spoje věšadel jsou řešeny svorníky a ocelovými plechy, zafrézovány do čelních ploch věšadel a podélných dřevěných prvků a oblouků. Mostovka z jehličnatého řeziva, příčně uložená na podélné nosníky.

4.6 Konstrukční spoje

Použitelnost a trvanlivost konstrukce závisí především na vhodném použití spojů mezi konstrukčními prvky. Při výběru spojovacích prostředků se zohledňuje nejen zatížení a únosnost, ale zohledňuje se také estetika, náklady a proces výroby. Zásadou je použití jednoduchých spojů a malý počet druhů spojovacích prostředků.

4.6.1 Lepené spoje

Zubovitý spoj je v dnešní době nejpoužívanější způsob podélného spojování lamel. Při nastavování hlavních nosných prutů namáhaných tahem (táhla apod.) by se neměl používat zubovitý spoj celého prvku v jednom průřezu. (Straka a Pechalová 1994)

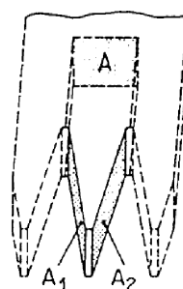


Obr. 12 Zubovitý profil (l = délka ozubu, p = rozteč ozubů, b_t = šířka tupého zakončení ozubů, l_t = vůle v zubovitém spoji (Kuklík, 2005)

Důležité u tohoto spoje je provedení zazubení z hlediska sklonu zubů a z toho vyplývající hustoty. U tohoto typu spoje se obvykle délka zubů provádí ve třech velikostech, viz tabulka č. 2.

Tab. 2 Délky zubů u zubovitých spojů (Kuklík, 2005)

Délka zubů	$\sim l$ [mm]	$\sim b_t$ [mm]
mini	7,5	0,2
midi	22	1
maxi	50 - 60	2



$$A_L = A_1 + A_2$$

$$\frac{A_L}{A} \geq 6$$

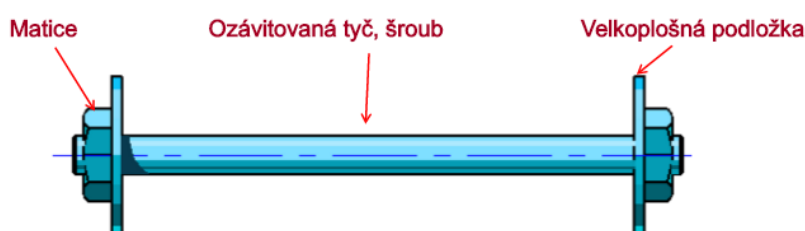
Obr. 13 Účinnost zubovitého spoje (Kuklík, 2005)

Podstatou zubovitého spoje je, aby základní plocha průřezu A byla nahrazena lepenou plochou zubů A_L . (Straka a Pechalová 1994)

4.6.2 Svorníkové a kolíkové spoje

Svorníky a kolíky v kombinaci s ocelovými plechy různých tvarů jsou jedny z nejpoužívanějších konstrukčních spojů u mostů.

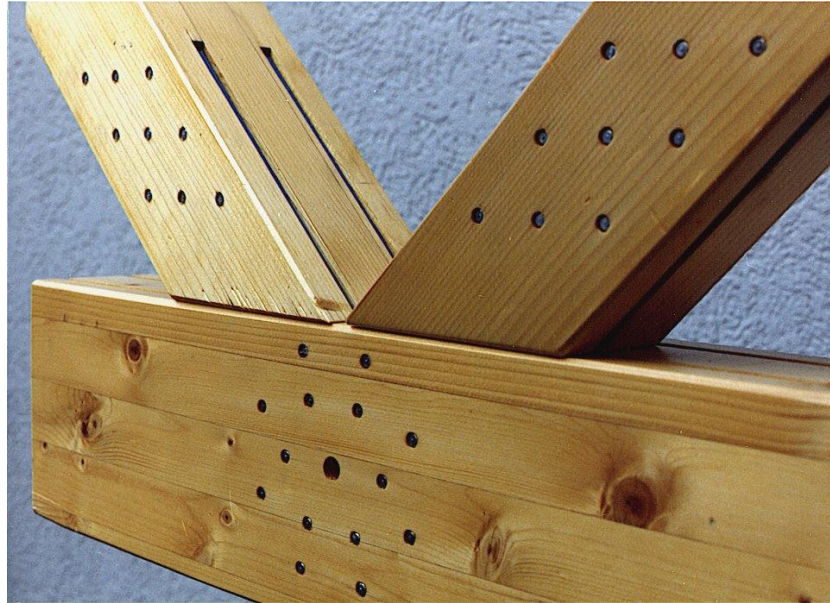
Svorníky jsou kolíkové spojovací prostředky z oceli, které mají hlavu a matici. Svorníky se osazují do předvrtaných otvorů a utahují, aby byl zajištěn těsný kontakt prvků. Dle potřeby se svorníky dotahují, podle toho jak dřevo pracuje (vlhkost dřeva). Otvory, do kterých se svorník vkládá, mohou být až o 1 mm větší, než je průměr svorníku. Součástí svorníkového spoje jsou oboustranné podložky a matice.



Obr. 14 Svorník (<http://slideplayer.cz/slide/2650730/>)

Kolíky jsou štíhlé ocelové válcové tyče s hladkým, nebo lehce drážkovaným povrchem. Minimální průměr kolíku je 6 mm, otvory pro kolíky se předvrtávají s jmenovitým průměrem. Otvory v ocelovém plechu smí být o 1 mm větší, než je průměr kolíku. Tyto spoje jsou vhodné pro přenos velkých sil. U velkých kolíkových spojů se někdy některé kolíky nahrazují svorníky, aby se zabezpečila lepší stabilita tvaru. V porovnání se svorníky, jsou kolíkové spoje tužší.

Oba tyto typy spoje se mohou provádět jako spoje dřevo-dřevo, také jako spoje materiál na bázi dřeva-dřevo, nebo ocelový plech-dřevo. (Koželouh, 1998).



Obr. 15 Kolíkový spoj dřeva a plechu (<http://www.graf-holztechnik.at/>)

4.6.2.1 Únosnost svorníkových a kolíkových spojů

Koželouh (1998) uvádí, parametry ovlivňující únosnost spojů jsou:

- pevnost v otláčení stěny otvoru dřevěných prvků nebo materiálů na bázi dřeva, použitých ve spoji
- geometrie spoje
- moment kluzu spojovacích prostředků

Samotná pevnost v otláčení stěny otvoru závisí na:

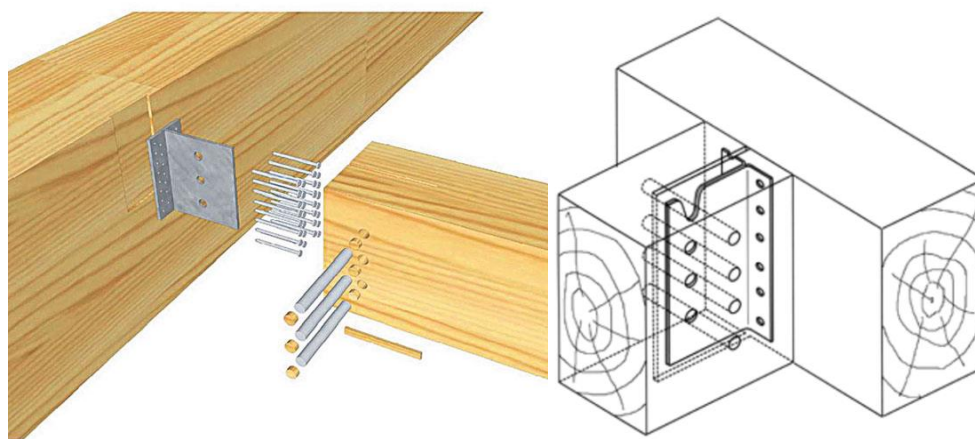
- hustotě dřevěných prvků nebo materiálu na bázi dřeva
- průměru spojovacích prostředků
- úhlu mezi silou a směrem vláken
- tření mezi spojovacím prostředkem a dřevem

Pevnost otláčení stěny otvoru lineárně roste s hustotou. Aby byl spoj pevný, měly by být spojovací prostředky v dostatečné vzdálenosti, čímž se zamezí rozštěpení dřevěných prvků. (Koželouh, 1998)

4.6.3 Spoje s tvarovými součástmi z ocelového plechu

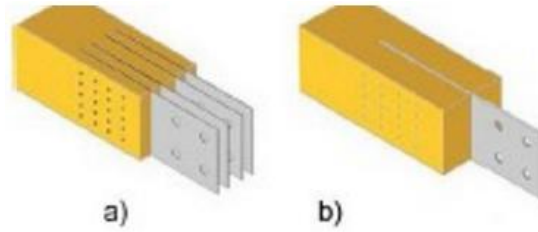
Tyto spoje umožňují spojení dřevěných prvků obdélníkového, čtvercového či kruhového průřezu tzv. natupo ocelovými součástmi. Jsou to například úhelníkové spojovací prostředky, spojovací desky, patky nosníků, trámové botky aj. Tyto spoje jsou většinou vyrobeny z ponorově zinkovaného plechu, vyrábí se ale i z ocelového nerezavějícího plechu. Součásti jsou již z výroby opatřeny vhodně rozmístěnými otvory pro připojovací prvky. (Jelínek, 2008)

Trámové botky jsou hojně používané spojovací součásti dřevěných mostů a lávek. Můžeme je rozdělit na skryté a viditelné vyrábějící se v mnoha tvarových modifikacích. Skryté botky působí mnohem estetičtěji. U těchto součástí jsou viditelné pouze ocelové kolíky. U lávek tyto botky můžeme najít jako spoj hlavního nosníku a příčnicku.



Obr. 16 Skrytá trámová botka (<http://www.asb.sk>; <http://www.oklk.cz/>)

Spojovací desky (nebo styčnickové plechy) jsou další kovovou součástí, které se používají u dřevěných lávek a mostů. Jsou vyráběny z ocelového zinkovaného plechu různé tloušťky a různých tvarů, dle projektu lávky. Touto součástí se mohou spojit podélné dílce k sobě, jednotlivé části obloukového nosníku, nebo napojení koncového příčnicku na táhlo a oblouk. V tomto případě už se jedná o kombinaci spojovací desky a skryté trámové botky. Spojovací desky jsou často vloženy do předem zafrézované drážky v dřevěném dílci, čímž nejsou viditelné. Jako spojovací prostředek je použit kolík, svorník, či jejich kombinace.



Obr. 17 Spojovací deska vložená do vyfrézované drážky dřevěného dílce: a) více plechů v dřevěném dílci; b) jeden plech v dřevěném dílci (<http://stavba.tzb-info.cz/>)

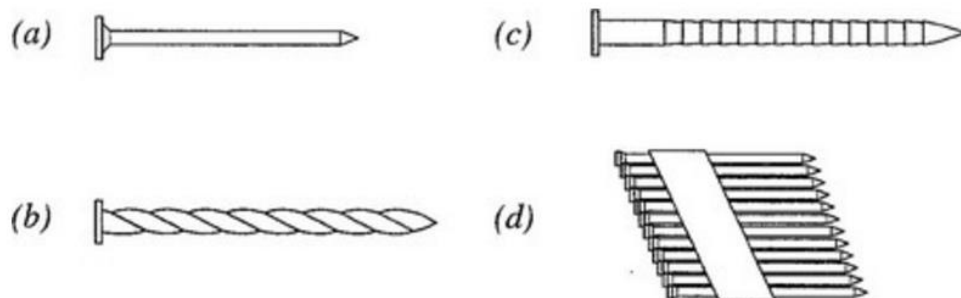


Obr. 18 Úhelníkový spojovací prostředek

4.6.4 Hřebíkové spoje

Jsou nejpoužívanějším spojovacím prostředkem dřevěných konstrukcí. Hřebíky mohou být kruhového průřezu, nebo čtvercového průřezu. Vyrábějí se s hladkým, drážkovaným nebo stromkovitě upraveným povrchem. Ve spoji mají být minimálně dva hřebíky, zarážet se mají v pravém úhlu k vláknům do takové hloubky, aby hlavička hřebu lícovala s povrchem dřeva. U hladkých hřebíků musí být minimální délka vniku hrotu osminásobek průměru hřebíku. Pro jiné než hladké je to šestinásobek průměru hřebíku. (Kuklík, 2010)

U dřevin s vysokou hustotou je vhodné předvrtání dřeva. Průměr předvrtání by měl odpovídat 80 % průměru hřebíku. Tímto opatřením se zvýší únosnost hřebíku na střiž a také mohou být hřebíky použity blíže k okraji dílce. (Koželouh, 1998) U mostů a lávek tento spojovací prostředek nalezneme např. u spoje hlavního nosníku a příčnicku trámovou botkou, popřípadě u některých menších replik historických lávek.



Obr. 19 Druhy hřebíků: a) kruhový drátěný hřebík; b) šroubový hřebík; c) drážkovaný hřebík; d) zásobník hřebíků na strojové zarážení (<http://stavba.tzb-info.cz/>)

4.6.5 Vrutové spoje

Využití vrutů u dřevěných konstrukcí je zpravidla na jednostřížné spoje, jako připojení ocelových součástí ke dřevu (třmeny, úhelníky aj.). Vrutů se používají i pro spoje dřevo-dřevo, taktéž jako jednostřížné. Některé lávky mají tímto spojovacím prostředkem připevněnou mostovku k nosníku. Vrutů, které jsou namáhané na střiž, mají menší únosnost, než hřebíky o stejném průměru. (Jelínek, 2008)

Vrutů se aplikují zašroubováním do materiálu. Otvory pro vrutů by se měly předvrtat, aby otvor předvrtání odpovídal 70 % průměru dřívku vrutů. (Koželouh, 1998)

Vrutů můžeme rozdělit podle hlavy vrutů na hranaté hlavy a hlavy s drážkou. Mezi hranaté patří vrut s šestihrannou a čtyřhrannou hlavou. Mezi vrutů s drážkou patří vrutů se zápustnou, půlkulatou a čočkovitou hlavou. Podle typu drážky dělíme vrutů s podélnou drážkou, křížovou drážkou, s vnitřním šestihranem, vnitřní hvězdou aj.



Obr. 20 Vruty s různou hlavou, délkou a poměrem délky dřívku/závitu (<http://fast10.vsb.cz/>)

4.7 Možnosti uložení mostní konstrukce

Každý most, či lávka je nějakým způsobem uložen na úložném prahu opěry. Uložení mostů znamená to, že nosná konstrukce dosedá pomocí úložného prvku na podpěru. (Panáček, 2006)

V zásadě rozlišujeme dva typy uložení a to tzv. bezložiskové uložení a uložení na ložiskách.

4.7.1 Bezložiskové uložení

Uložení bez ložisek se dnes používá v menší míře a to u malých lávek, kde je tepelná roztažnost a kinetická energie zanedbatelná. S tím také souvisí to, že tyto lávky vyrábí truhláři, nebo sami lidé, bez projektu, bez ohledu na platné normy a nařízení. Takové lávky najdeme přes malé potůčky, domácí jezírka a kaskády. V mnoha případech jsou lávky uloženy jen na primitivní opěru. U lávek z rostlého dřeva, které se nachází v přírodě, slouží jako opěra často kulatina či trám, na který je lávka uložena. V některých případech jsou lávky uloženy přímo do břehu terénu, bez jakékoliv opěry. Norma ČSN EN 73 6201 uvádí, mosty do rozpětí 10 m je možné uložit bez ložisek, s použitím separační vrstvy tloušťky min. 5 mm



Obr. 21 Bezložiskové uložení lávky: a) uložení na opěru z kulatiny; b) uložení přímo do terénu, bez opěry (<http://www.geocacher.cz/>; <http://drevoop.cz/>)

4.7.2 Uložení na ložiskách

Panáček (2006) uvádí, ložiska zajišťují spojení hlavní nosné konstrukce se spodní stavbou. Ložiska přenáší horizontální a vodorovné tlaky do spodní stavby, současně zajišťují posun a pootočení nosné konstrukce v jednom či více směrech vyvozené zatížením a vlivy jako změna teploty, pokles, nebo naklonění podpěr aj. V případě dřevěných lávek a mostů můžeme tepelnou roztažnost zanedbat.

Šimlerová (2006) uvádí, ložiska můžeme rozdělit podle pohybu na:

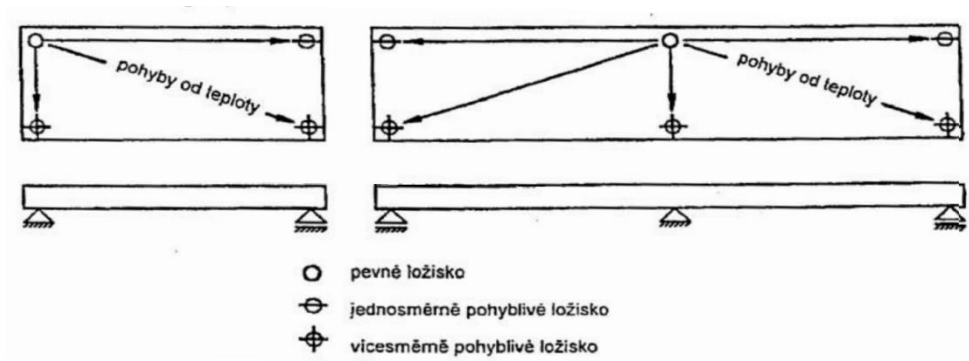
- pevná (i klouby)
- pohyblivá

Podle počtu posunovaných směrů rozlišujeme ložiska na:

- jednosměrně pohyblivá
- dvousměrně pohyblivá
- vícesměrně pohyblivá
- všesměrně pohyblivá

Podle materiálu dělíme ložiska na:

- ocelová
- elastomerová
- železobetonová
- kombinovaná



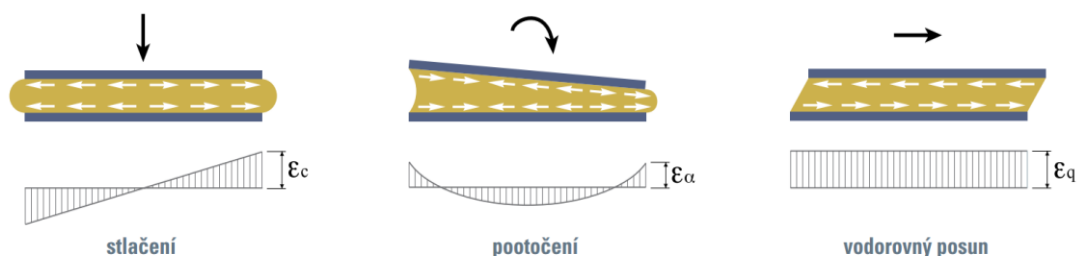
Obr. 22 Sestava uložení nosné konstrukce na ložiska (Panáček, 2006)

4.7.2.1 Elastomerová ložiska

Elastomerová ložiska jsou deformovatelné prvky, které přenáší zatížení z nosné konstrukce do spodní stavby. Vyrábí se jako vyztužená (AEL) a nevyztužená (NEL). Výztuž tvoří ocelové desky v několika vrstvách spojených tepelnou vulkanizací s elastomerovým materiálem. Ten je vyráběn z přírodního, nebo syntetického chloroprenového kaučuku. Díky němu jsou tyto ložiska pružná, ale nestlačitelná. Mění pouze tvar, nikoliv svůj objem. Odolávají teplotám od -30°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Jejich velkou výhodou jsou nízké náklady na údržbu a snadná instalace. [2]

Ložiska umožňují:

- přenos normálových sil
- horizontální posuny
- pootočení konstrukce ve všech směrech
- přenos horizontálních sil v rámci definovaných limitů [3]



Obr. 23 Schéma deformace ložiska (<http://www.freyssinet.cz/>)

Zmiňovaná firma CB s.r.o. používá u některých lávek i elastomerová ložiska. Čtyři lávky s těmito ložisky nalezneme ve Slavkově u Brna přemostující řeku Litavu. Každá lávka má čtyři tato ložiska.



Obr. 24 Elastomerové ložisko obloukové lávky

V Brně v Obřanech se nachází dvě dřevěné lávky přes řeku Svitavu. První z lávek je obloukové konstrukce, uložená na elastomerových ložiskách. Na jedné straně mostní opěry je použito samostatné elastomerové ložisko, příčně vedle něj je použito pevné elastomerové ložisko. Jedná se o kombinaci ocelového prvku s elastomerovou vložkou, který zamezuje jakýkoliv posun. U druhé mostní opěry je použito taktéž samostatné elastomerové ložisko a příčně vedle něho je posuvné. Opět se jedná o kombinaci ocelového prvku s elastomerovou vložkou. V horní úložné desce ložiska je drážka, která se pohybuje po ocelovém „nosu“ spodní úložné desky ložiska a tím dovoluje podélný posun v ose mostu.



Obr. 25 Elastomerová ložiska: a) pevné; b) podélně posuvné

4.7.2.2 Válcová ložiska

Válcové ložisko se skládá z horní a dolní úložné desky a válce, který je mezi nimi. Vrchní deska je ukotvená k nosné konstrukci mostu a k ní i ocelový válec. Dolní deska je ukotvena k mostní opěře. Šimlerová (2006) uvádí, že dle ČSN EN 1337-4 se ložiska svařují a odlévají z oceli vysoké pevnosti. Předepsaná minimální životnost ocelových válcových ložisek činí 100 let. Ložisko může být jednoválcové, nebo víceválcové, pro větší zatížení. Dnes už se tato ložiska používají v menší míře.

Druhá z lávek v Brně v Obřanech má rozměry 30 x 4,7 m, nosnou část tvoří dvojice příhradových obloukových vazníků. Celá konstrukce je uložena na čtyřech válcových ložiskách. Ocelový válec je přivařen k horní úložné desce, která je připevněna k lávce. Spodní deska je ukotvena pomocí závitových tyčí do opěry mostu. Na jedné straně jsou ložiska pevná, válce jsou v podélném směru lávky zajištěny dvojicí přivařených klínovic. K zamezení pohybu je dále horní a dolní deska ložiska spojena šroubem s maticí. Na druhé straně lávky jsou ložiska posuvná, válce umožňují posun konstrukce v podélném směru. Rozmezí posunu válců vymezuje dvojice přivařených klínovic ke spodní úložné desce a zároveň šroubový spoj horní a dolní desky, který umožňuje díky oválné drážce posun v podélném směru. Ložiska jsou pozinkována.



Obr. 26 Válcová ložiska: a) pevné ložisko; b) posuvné ložisko

4.7.2.3 Vahadlová ložiska

Vahadlová ložiska přenáší svislé a vodorovné síly mezi nosnou konstrukcí a spodní stavbou mostu. (Šimlerová, 2006)

Skládají se ze dvou částí, z vyduuté nebo rovinné vahadlové desky a vahadla, které má opracovanou horní plochu do válcové plochy. Přímkové (lineární) vahadlo umožňuje pootočení v jedné rovině. Pakliže je potřeba, mohou být vahadlo a vahadlová deska vzájemně prohozeny. Pomocí smykového trnu, který prochází vahadlem i vahadlovou deskou, zamezíme působení vodorovných sil a docílíme tím pevného ložiska. Takto zabezpečené ložisko umožňuje pouze pootočení. (Panáček, 2006)

Lávka přes řeku Rolavu v Karlových Varech je obloukové konstrukce o rozměrech 20,2 x 3,5 m. Konstrukce je uložena na dvou pevných vahadlových ložiskách, která jsou proti vertikálnímu posunu kloubově zajištěny třmenovou konstrukcí.



Obr. 27 Vahadlové ložisko (<http://www.konstrukce-tesko.cz/>)

4.7.2.4 Kloubová ložiska

Kloubové ložisko se skládá ze dvou ocelových prvků, které jsou spojené čepem a zajištěny závlačkou či třmenovým kroužkem. Jedna část prvku se skládá z ocelové plotny, která je ukotvena závitovou tyčí do spodní stavby mostu. K plotně je kolmo přivařen plech ve tvaru půl elipsy, jeden, dva i více. Rozteč mezi plechy je stejná, jako je tloušťka navařeného plechu. Na konci plechu je kruhovitý otvor, do kterého se poté vkládá čep. Druhá část prvku je podobná jako první, liší se ve způsobu připevnění k nosníku. Zde je nutné, aby byly spojovací prostředky aplikovány kolmo k dřevním vláknům.



Obr. 28 Kloubová ložiska: b) dřevěná lávka spojující areál Mendelovy univerzity v Brně s arboretem, uložená na kloubových ložiscích, které jsou uloženy na ocelových podpěrách (<http://www.asb-portal.cz/>; <http://stavba.tzb-info.cz/>)

Tato ložiska zamezují posun v jakémkoliv směru, umožňují pouze pootočení. Používají se tam, kde není možné vodorovné uložení, popřípadě tam, kde je to žádoucí. Dále můžeme tato ložiska najít u spojitých konstrukcí lávek, jako uložení podpor.



Obr. 29 Oblouková lávka u Nového boru: nosné oblouky jsou uloženy na kloubových ložiscích (<http://www.konstrukce-tesko.cz/>)



Obr. 30 Lávka v Úpě tvořená ze čtyř spojitých nosníků, podpěry jsou uloženy kloubovými ložisky (<http://www.svp-mosty.cz/>)

4.8 Konstrukční ochrana dřeva

Konstrukční ochrana je soubor konstrukčních zásad, díky nimž se minimalizuje možnost tvorby podmínek pro degradaci dřeva. Jejím úkolem je snížit riziko požáru a zároveň snížení vlhkosti dřeva, zamezení kondenzace vody a zajištění dostatečného odvětrání konstrukce. Konstrukční ochrana dřeva je prioritní, chemická ochrana je brána pouze jako doplňková. (Svatoň, 2000)

Tab. 3 Základní úlohy konstrukční ochrany (Reinprecht, 2008)

Výběr vhodného druhu dřeva a pomocných materiálů
Zajištění vstupní kvality dřeva a dalších materiálů
Zajištění trvale nízké vlhkosti dřeva, aby nedošlo k aktivitě biologických škůdců dřeva <ul style="list-style-type: none"> - tvarovými optimalizacemi dřevěných prvků a konstrukce - izolací dřevěných prvků od vzlínající, srážkové a kondenzované vody - konstrukčním řešením a vhodnou materiálovou skladbou např. střešního pláště. - regulací klimatických podmínek
Vytvoření mechanických bariér vůči zvětrávání dřeva povětrnostními činiteli

Aby byla dřevěná konstrukce kvalitně zhotovena, musí se při realizaci dodržet projektová dokumentace, kterou vyhotoví projektant. Ten musí vhodně navrhnout kon-

strukci, zvolit vhodný materiál a vyřešit konstrukční detaily. Při výběru materiálu, při návrhu designu je důležité, aby projekt zohlednil možné riziko poškození biologickými škůdci, povětrnostními vlivy, popřípadě i požárem. Je tedy nutné zohlednit nejen cenu, funkčnost a estetiku, ale také přirozenou trvanlivost materiálu. Do exteriéru je vhodné použít dřeviny s vysokou trvanlivostí, jako např. dub, akát, modřín. (Reinprecht, 2008)

4.8.1 Použití oplechování

Dřevu v exteriéru nejvíce škodí stálé a průběžné vysychání, které je způsobeno trvalým zvlhčováním. Nejnebezpečnější je styk vody a vzduchu, např. u vodní hladiny. (Svatoň, 2000)

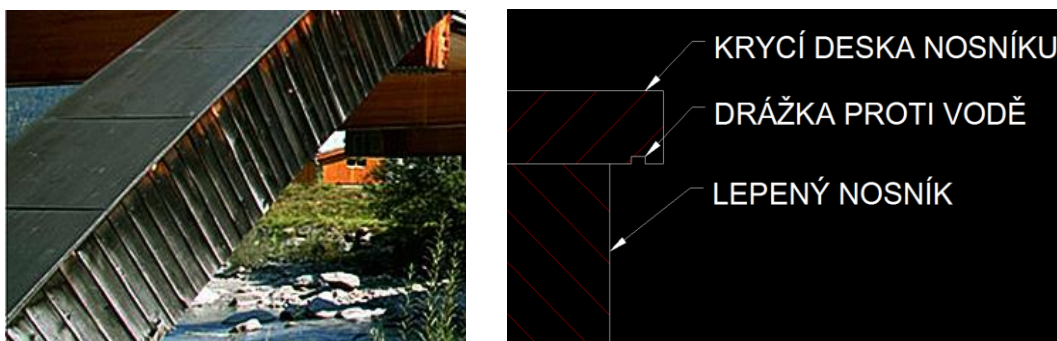
Z důvodu konstrukční ochrany se některé dřevěné prvky u mostů a lávek opatřují oplechováním horní hrany, což vede k omezení klimatických účinků. Ve většině případů se jedná o příčnický, vodorovný a v některých případech i obloukový nosníky. Koželouh (1998) uvádí, obloukový most San Niclá ve Švýcarsku má zakryty venkovní části příčnicků, obloukové a podélné nosníky měděným plechem. V České republice jsou některé lávky taktéž opatřeny oplechováním s titanizinkovou povrchovou úpravou obloukových a vodorovných prvků. U věšadlové lávky, u které není zakryt příčný řez věšáku, je vhodné použít oplechování.



Obr. 31 Oplechování čtyř nosných nosníků a příčnicků lávky (<http://www.lekon-tsk.cz/>)

4.8.2 Použití krycího obkladu

K dosažení předepsané životnosti konstrukce a eliminaci klimatických účinků se používá dřevěný modřínový obklad, který kryje konstrukční prvek lávky, či mostu. U mostu San Niclá ve Švýcarsku je zakryt obloukový nosník z bočních stran modřínovým bedněním. (Koželouh, 1998) U lávek tvořených plnostěnnými nosníky, které slouží částečně jako zábradlí a vrchní hrana nosníku není kryta před srážkovou vodou, se může použít krycí deska, která je širší, než nosník. Deska na obou stranách přesahuje nosník, čímž zamezí, aby voda stékala po nosníku. Kapka vody se utrhne na hraně krycí desky. Výhoda krycího obkladu je v tom, že eliminuje degradaci důležitých prvků konstrukce a v případě poškození lze obklad vyměnit.



Obr. 32 a) modřínový obklad boční hrany obloukového nosníku; b) krycí deska plnostěnného nosníku (<http://www.veloland.ch/>)

Pro dokonalejší ochranu dřevěné konstrukce lze použít dřevěný krycí obklad bočních stran konstrukce. Tento obklad se používá v kombinaci se zastřešením. Obložení maximálně eliminuje kontakt konstrukce se sněhem a srážkovou vodou. Důležité je odvětrání celé konstrukce. Výhodou je možnost výměny obložení, bez narušení nosné konstrukce.

4.8.3 Použití zastřešení

Zastřešení lávek eliminuje působení vody a sněhu na nosnou konstrukci. V minulosti se používalo v hojné míře. Dle ČSN EN 1990 se dnes mosty a lávky navrhují na životnost 100 let. Některé zastřešené lávky byly postaveny před více než 100 lety a stále plní svou funkci. Z toho vyplývá, že byla konstrukční ochrana za použití

střechy správně provedena. Samozřejmě takové lávky vyžadují v určité míře údržbu a rekonstrukci.

Jako střešní krytinu lze použít plech, dřevěný šindel, popřípadě jiné krytiny (pálená taška, asfaltový šindel). Výhoda plechu je v jeho nízké hmotnosti, finanční dostupnosti a životnosti. Dřevěný šindel se dnes také používá, např. u rekonstrukcí historických lávek.

4.8.4 Použití tvarových optimalizací

Nejdůležitější zásada tvarové optimalizace konstrukční ochrany je eliminace, nebo zamezení působení vody na příčný řez dřevěných prvků. Dále je třeba snížit působení klimatických účinků na spoje a boční plochy konstrukce. (Reinprecht, 2008)

Hrany

Dle možností je vhodné zaoblit hrany prvků, na zaoblené hraně lépe drží povrchová úprava. (Reinprecht, 2008)

Mostovka

Doporučuje se použít dubové řezivo, popřípadě jiný druh dřeva s vysokou trvanlivostí. Dub je vhodný i z hlediska mechanického opotřebení. Mezi jednotlivými fošnami, které se kladou kolmo přes hlavní nosníky, je nutné ponechat odvětrávací mezeru. Fošna mostovky by měla přesahovat několik milimetrů přes hlavní nosníky, aby stékající voda nestékala po nosníku.

Zábradlí

Je-li zábradlí zhotoveno ze dřeva, je vhodné umístit madlo na čelní plochy sloupků. Pakliže je madlo umístěno mezi sloupky, nebo z boční strany sloupku, je nutné čelní plochu sloupku nějakým způsobem izolovat (plech, krycí špalík).

Vrchní hrana madla zábradlí se doporučuje zkosit pod určitým úhlem, srážková voda bude z této plochy lépe odtékat.



Obr. 33 Oblouková lávka - mezi sloupky a nosníkem je distanční mezera, madlo zábradlí je zkoseno, hlavní nosníky jsou kryté deskou (<http://www.konstrukce-tesko.cz/>)

Materiál spojovacích prostředků

Na připevnění mostovky je vhodné použít vruty se zápusťnou hlavou. Eliminuje se tím možný vnik vody do vrchní části mostovky. Někteří výrobci do mostovky vyvrtají 30 mm otvor, do něj aplikují vrut s šestihrannou hlavou a podložkou a následně otvor zaslepí dřevěnou zátkou. Dřevěné zátky vypadnou, vyhnijí a v otvoru se následně poté drží voda, která degraduje vrutové spoje i mostovku.

Pro připevnění určitých dřevěných prvků ke konstrukci je vhodné použít kovové spojovací prostředky. Mají větší životnost, než např. dřevěné kolíky.

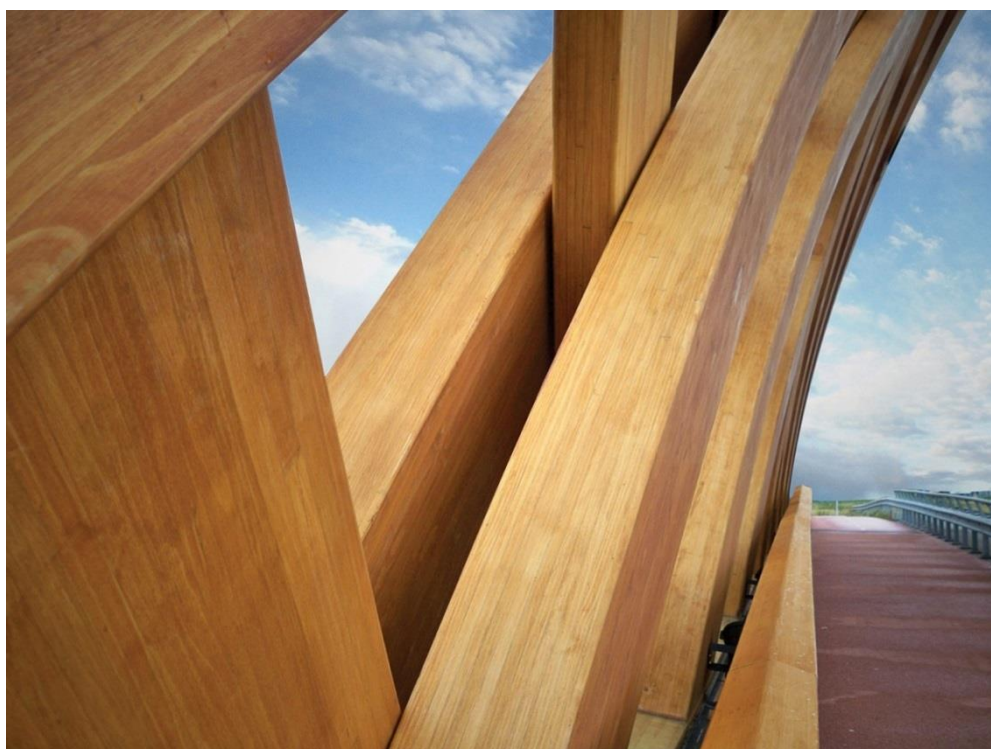


Obr. 34 Chybně zvolené spoje a spojovací prostředky: a) ukotvení mostovky; b) připevnění výplně zábradlí pomocí dřevěných kolíků

4.8.5 Použití odvětrávací mezery

U spojů, či překřížení dřevěných prvků konstrukce, které se dotýkají bočními plochami, se doporučuje nechat mezi plochami distanční mezeru. Tato mezera umožňuje odtok srážkové vody a zároveň proudění vzduchu, která napomáhá vysychání. Tato odvětrávací mezera se používá i u nosných prvků konstrukce a to tehdy, pokud výrobce z určitých důvodů nemůže vyrobít nosník v jednom kuse. Vyrobí se dva nosníky, které se následně rovnoběžně spojí, a mezi nosníky se ponechá odvětrávací mezera.

Tato odvětrávací mezera se doporučuje použít i u jiných spojů. Připevňuje-li se sloupek zábradlí k boční straně nosníku, je vhodné dát mezi nosník a sloupek distanční podložky, spoj bude lépe odvětráván.



Obr. 35 Dřevěný most Sneek v Nizozemí – aplikace odvětrávané mezery (<http://www.archdaily.com/>)

5 Vlastní návrh lávky

5.1 Geografická poloha lávky

Místo, pro umístění lávky se nachází mezi obcemi Křižanovice a Marefy. Tyto obce jsou součástí okresu Vyškov, okres spadá do Jihomoravského kraje. Zhruba 600 metrů od Křižanovic, proti proudu řeky Litavy, která obcemi protéká, se nachází stavidlo v nadmořské výšce 209 m. n. m. Stavidlo přemostňuje betonová lávka. Bylo vybudované v první polovině 20. století a sloužilo s největší pravděpodobností k regulaci řeky pro vodní mlýn, který byl v Křižanovicích. Na lávku je zákaz vstupu z důvodu špatného stavu lávky, přesto ji hojně využívají místní lidé, popřípadě se zde zastavují cyklisté, kteří se jdou podívat na pomník sv. Huberta. Tato studie počítá s odejmutím staré betonové lávky, místo které bude umístěná nová dřevěná lávka.

5.2 Popis navrhované lávky

Spodní stavba původní mostní konstrukce je dostatečně zakotvena v březích a je v dobrém technickém stavu.

Konstrukce spodní stavby proto může být využita. Nová dřevěná mostní konstrukce bude uložena na stávající opěry.

Jelikož se bude lávka nacházet mimo obec Křižanovice, v místě se stromy a travním porostem, bylo záměrem, aby vizuálně lávka odpovídala tomuto prostředí. Délka mostu je 10,6 m, délka přemostění 9,6 m. Celková šířka lávky je 1,48 m, volná šířka 1,24 m.

Nosná konstrukce:

Lávka je navržena ze dvou hlavních materiálů, dřeva a oceli. Nosnou funkci plní dva obdélníkové nosníky z lepeného lamelového dřeva BSH profilu 200/480 mm.

Jako příčníky jsou použity ocelové I profily IPE 160, které mají na obou koncích navařené ocelové desky. Přes tyto desky jsou příčníky přišroubovány pomocí svorníků k nosníkům. Ocelové příčníky dostatečně zpevní celou konstrukci.

Mostovka:

Na mostovku je použito dubové hraněné řezivo - fošny tl. 80 mm a šířky 160 mm.

Zábradlí:

Jelikož je volná výška mostu maximálně 4 m, je navržena výška zábradlí 1000 mm. Konstrukce zábradlí je ze smrkového řeziva, jako výplň je použito nerezové pletivo Tahokov.

Ložiska:

Konstrukce lávky je uložena na čtyřech elastomerových ložiskách, umožňující podélný a příčný posun a pootočení.

Spojovací prostředky:

Na spoje různých prvků konstrukce jsou použity svorníkové a vrutové nerezové spojovací prostředky. Ostatní ocelové prvky jsou žárově zinkované.

Návrh konstrukční ochrany dřevěných prvků:

Nosné nosníky jsou z vrchní strany izolovány polyetylenovou folií o vysoké hustotě. Podobnou izolaci používá i firma CB s.r.o. Mostovka je z dubu, který je vhodný k tomuto účelu díky své vysoké trvanlivosti. Mezi jednotlivými dubovými fošnami je ponechána 15 mm odvětrávací a odtoková mezera. Jednotlivé fošny na obou koncích přesahují 50 mm přes okraje nosníků. Madlo zábradlí je pootočeno pod úhlem 11°. U spoje sloupků zábradlí a hlavního nosného nosníku je ponechána odvětrávací mezera.

5.3 Statické posouzení nosníku

5.3.1 Stálé zatížení

Vstupní hodnoty:

dubové dřevo	w = 20 %	$\rho = 720 \text{ kg/m}^3$
smrkové dřevo	w = 20 %	$\rho = 470 \text{ kg/m}^3$
ocel		$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
délka mostovky	10,6 m	
šířka mostovky	1,3 m	

Zatížení vyvolané mostovkou (dubové fošny 80×160 mm):

$$g_{1\text{celk}} = 1,3 * (10,6 - 1) * 0,08 * 7,2 = 7,188 \text{ kN}$$

$$g_1 = g_{1\text{celk}} / (10,6) = 0,678 \text{ kN/m} \quad (\text{kilonewton na běžný metr})$$

Zatížení vyvolané podélnými nosníky (2 ks, smrk, 480×200 mm, délka 10,6 m):

$$g_{2\text{celk}} = 0,2 * 0,48 * 4,7 * 10,6 * 2 = 7,97 \text{ kN}$$

$$g_2 = g_{2\text{celk}} / (10,6) = 0,9024 \text{ kN/m}$$

Zatížení vyvolané sloupky zábradlí (18 ks, smrk, 80×100 mm, délka sloupku 1,23 m):

$$g_{3\text{celk}} = 0,08 * 0,1 * 4,7 * 1,23 * 18 = 0,832 \text{ kN}$$

$$g_3 = g_{3\text{celk}} / (10,6) = 0,0785 \text{ kN/m}$$

Zatížení vyvolané podélnými výztuhami zábradlí (16 ks, smrk, 80×100 mm, délka 1,25m):

$$g_{4\text{celk}} = 0,08 * 0,1 * 4,7 * 1,25 * 16 = 0,752 \text{ kN}$$

$$g_4 = g_{4\text{celk}} / (10,6) = 0,0709 \text{ kN/m}$$

Zatížení vyvolané podélným madlem zábradlí (2 ks, smrk, 100×100 mm, délka 10,9m):

$$g_{5\text{celk}} = 0,1 * 0,1 * 4,7 * 10,9 * 2 = 1,025 \text{ kN}$$

$$g_5 = g_{5\text{celk}} / (10,6) = 0,0966 \text{ kN/m}$$

Zatížení vyvolané ocelovým prvkem IPE 160 (15,8 kg/m; 6ks, délka 0,78m):

$$g_{6\text{celk}} = 0,158 * 0,78 * 6 = 0,739 \text{ kN}$$

$$g_6 = g_{6\text{celk}} / (10,6) = 0,0697 \text{ kN/m}$$

Zatížení vyvolané ocelovými plotnami: (200*260; 8ks, tloušťka 10 mm)
(500*350; 4ks, tloušťka 12 mm)
(500*200; 4ks, tloušťka 12 mm)

$$g_{7\text{celk}} = (0,2 * 0,26 * 0,01 * 78,5 * 8 + 0,5 * 0,35 * 0,012 * 78,5 * 4 + 0,5 * 0,2 * 0,012 * 4 * 78,5) = 1,362 \text{ kN}$$

$$g_7 = g_{7\text{celk}} / (10,6) = 0,1285 \text{ kN/m}$$

Zatížení vyvolané nerezovým pletivem (21,2 m², 2,1 kg/m, délka 21,2 m):

$$g_{8\text{celk}} = 0,021 * 21,2 = 0,445 \text{ kN}$$

$$g_8 = g_{8\text{celk}} / (10,6) = 0,042 \text{ kN/m}$$

5.3.2 Zatížení sněhem

Pro výpočet zatížení sněhem se řídíme normou ČSN EN 1991-1-3

Vstupní hodnoty:

Křižanovice, 209 m n. m.

I. Sněhová oblast;

Zatížení sněhem na zemi – dle sněhové mapy – $s_k = 0,64 \text{ kN/m}^2$

Zatížení sněhem na metr běžný lávky = $0,64 * 1,3 = 0,832 \text{ kN/m}$

5.3.3 Zatížení větrem

V tomto zatížení není zahrnuto kmitání.

U zatížení větrem je ve výpočtu uvažováno se silou od větru ve směru z.

Pro výpočet zatížení větrem se řídíme normou ČSN EN 1991-1-4

Podle této normy je vytvořena tabulka veličin.

Tab. 4 Veličiny pro výpočet zatížení větrem

Zatížení větrem			
Výpočet dle: ČSN EN 1991-1-4		Křižanovice (209 m.n.m.)	
Veličina	značka	hodnota	jednotka
základní rychlost větru	V_b	25	m/s^{-1}
kategorie terénu č. 3	z_0	0,300	m
součinitel drsnosti terénu	c_r	0,346	–
součinitel terénu	K_r	0,215	–
výška lávky	z	1,560	m
součinitel orografie	C_o	1	–
střední rychlost větru	V_m	8,665	m/s^{-1}
součinitel turbulence	K_l	1	–
Intenzita turbulence	I_v	0,621	–
měrná hmotnost vzduchu	ρ	1,250	kg/m^3
maximální dynamický tlak	q_p	0,251	kN/m^2
součinitel zatížení větrem ve směru z	C	0,578	–
síla větru ve směru z	F_w	3,257	kN

Zatížení větrem na metr běžný: $F_w/l = 3,257/10,6 = 0,307$ kN/m

5.3.4 Užité zatížení

Pro stanovení užitého zatížení se řídíme normou ČSN EN 1991-2

Uvažováno pouze s vertikálním zatížením.

Vodorovná síla působící ve směru podélné osy – 10% z celkového zatížení – není uvažováno.

Vodorovná síla na madlo zábradlí – 1 kN/m – není uvažováno.

Model zatížení 4 (LM4) – zatížení davem lidí – 5 kN/m²

Zatížení na metr běžný: $q_{fk} = 5 * 1,3 = 6,5$ kN/m

5.3.5 Dimenze nosníku

Vstupní hodnoty:

G – vlastní tíha

Q_1 – užité zatížení

Q_2 – zatížení větrem

Q_3 – zatížení sněhem

γ_G – součinitel stálého zatížení – 1,1

γ_Q – součinitel proměnného zatížení – 1,5

ψ_0 – součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení – 0,3 pro vítr

ψ_0 – součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení – 0,8 pro sněh

Kombinace zátěžových stavů:

- 1) Stálé: $\gamma_G * G$
- 2) Krátkodobé: $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_3$
 $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_2$
 $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_3 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_2$
 $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_2 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_3$
 $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_2$
 $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_3$

Kritické kombinace zátěžových stavů pro mezní stav únosnosti

- A) Stálé: $\gamma_G * G$
- B) Krátkodobé: $\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_2 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_3$

Ad A) Stálé: $\gamma_G * G$

Tab. 5 Vstupní hodnoty stálého zatížení

Veličina	značka	hodnota	jednotka
vlastní tíha konstrukce	g	2,066	kN/m
délka	l	10,6	m
pevnost v ohybu, GL32c	f_{mk}	32	N/mm ²
modifikační součinitel	K_{mod}	0,5	–
součinitel vlastnosti materiálu	γ_M	1,25	–

Vlastní zatížení:

$$G = g * l = 2,066 * 10,6 = 21,906 \text{ kN}$$

Zatížení:

$$\gamma_G * G = 1,1 * 21,906 = 24,096 \text{ kN}$$

$$g \text{ včetně součinitele} = 24,096/10,6 = 2,273 \text{ kN/m}$$

Jeden nosník 480/200 mm nese polovinu zatížení =>

$$\Rightarrow g_{\text{pro jeden nosník}} = \frac{1}{2} * g_{\text{celkové}} = 1,136 \text{ kN/m}$$

Ohybový moment:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} g l^2 = \frac{1}{8} 1,136 * 10,6^2 = 15,964 \text{ kNm}$$

Návrhová hodnota pevnosti materiálu:

$$f_{\text{md}} = \frac{K_{\text{mod}} * f_{\text{mk}}}{\gamma_M} = \frac{0,5 * 32}{1,25} = 12,8 \text{ N/mm}^2$$

Modul průřezu v ohybu:

$$W = \frac{M_{\text{max}}}{f_{\text{md}}} = \frac{15964}{12,8} = 1247,19 \text{ cm}^3$$

Strany nosníku:

$$b:h = 5:12 \quad W = \frac{1}{6} b h^2$$

$$h = \sqrt[3]{W * \frac{72}{5}} \Rightarrow h = 26,18 = 27 \text{ cm} \quad b = \frac{5}{12} h = 10,9 = 11 \text{ cm}$$

Modul průřezu pro navrhovaný obdélníkový profil

$$W_{\text{navrh}} = \frac{1}{6} b h^2 = 1336,5 \text{ cm}^3$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_d = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{tab}}} = 11,944 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_d}{f_{\text{md}}} \leq 1 \quad \Rightarrow 0,933 \leq 1$$

Pro nosník profilu 480/200 mm toto zatížení vyhovuje.

Ad B) Krátkodobé:

Tab. 6 Vstupní hodnoty krátkodobého zatížení

Veličina	značka	hodnota	jednotka
vlastní tíha konstrukce	G	21,906	kN
užitné zatížení	Q ₁	68,9	kN
zatížení větrem	Q ₂	3,257	kN
zatížení sněhem	Q ₃	8,819	kN
délka	l	10,6	m
pevnost v ohybu, GL32c	f _{mk}	32	N/mm ²
modifikační součinitel	K _{mod}	0,7	–
součinitel vlastnosti materiálu	γ _M	1,25	–

Celkové zatížení:

$$\gamma_G * G + \gamma_Q * Q_1 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_2 + \gamma_Q * \psi_0 * Q_3$$

$$Q_{\text{celkové}} = 1,1 * 21,906 + 1,5 * 68,9 + 1,5 * 0,3 * 3,257 + 1,5 * 0,8 * 8,818$$

$$Q_{\text{celkové}} = 139,446 \text{ kN}$$

$$q_{\text{celkové}} = 139,446 / 10,6 = 13,155 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{pro jeden nosník}} = \frac{1}{2} * q_{\text{celkové}} = 6,577 \text{ kN/m}$$

Ohybový moment:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} gl^2 = \frac{1}{8} 6,577 * 10,6^2 = 92,374 \text{ kNm}$$

Návrhová hodnota pevnosti materiálu:

$$f_{\text{md}} = \frac{K_{\text{mod}} * f_{\text{mk}}}{\gamma_M} = \frac{0,7 * 32}{1,25} = 17,92 \text{ N/mm}^2$$

Modul průřezu v ohybu:

$$W = \frac{M_{\text{max}}}{f_{\text{md}}} = \frac{92374}{17,92} = 5154,8 \text{ cm}^3$$

Strany nosníku:

$$b:h = 5:12 \quad W = \frac{1}{6} bh^2$$

$$h = \sqrt[3]{W * \frac{72}{5}} \Rightarrow h = 42 \text{ cm} \quad b = \frac{5}{12} h = 17,49 = 18 \text{ cm}$$

Modul průřezu pro navrhovaný obdélníkový profil

$$W_{\text{navrh}} = \frac{1}{6} bh^2 = 5292 \text{ cm}^3$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_d = \frac{M_{\max}}{W_{\text{tab}}} = 17,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_d}{f_{\text{md}}} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad 0,97 \leq 1$$

Pro nosník profilu 480/200 mm toto zatížení vyhovuje.

5.3.6 Průhyb nosníku

Pro stanovení průhybu se řídíme normou ČSN EN 1995-1-1

Kritické kombinace zátěžových stavů pro mezní stav použitelnosti:

- A) Stálé
- B) Krátkodobé

Tab. 7 Vstupní hodnoty průhybu nosníku

Veličina	značka	hodnota	jednotka
stálé zatížení pro 1 nosník	G	10,953	kN
proměnné zatížení pro 1 nosník	Q	80,976	kN
modul pružnosti	$E_{0,mean}$	13,7	kN/mm ²
součinitel pro kvazistálou hodnotu	ψ_2	0	–
délka	l	10,6	m
součinitel dotvarování	K_{def}	2	–

Moment setrvačnosti průřezu:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = 184320 \text{ cm}^4 = 18,4320 \text{ m}^4 - \text{počítáno pro nosník 480/200 mm}$$

Okamžitý průhyb:

$$W_{\text{inst,G}} = \frac{5}{384} * \frac{G \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{5 \cdot 10,953 \cdot 10,6^3}{384 \cdot 13,7 \cdot 18,4320} = 0,672 \text{ cm}$$

$$W_{\text{inst,Q}} = \frac{5}{384} * \frac{Q \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{5 \cdot 40,488 \cdot 10,6^3}{384 \cdot 13,7 \cdot 18,4320} = 2,48 \text{ cm}$$

Ad A)

Konečný průhyb:

$$W_{\text{fin,G}} = W_{\text{inst,G}}(1 + k_{\text{def}}) = 0,672 * (1+2) = 2,016 \text{ cm}$$

Ad B)

Konečný průhyb:

$$W_{\text{fin,Q}} = W_{\text{inst,Q}}(1 + \psi_2 * k_{\text{def}}) = 2,48 * (1 + 0 * 2) = 2,48 \text{ cm}$$

Celkový konečný průhyb:

$$W_{\text{fin}} = W_{\text{fin,G}} + W_{\text{fin,Q}} = 2,016 + 2,48 = 4,496 \text{ cm}$$

Pro W_{fin} pro prostý nosník platí: $L/150$ až $L/300$

$1060/150$ až $1060/150$

$7,06 \text{ cm}$ až $3,53 \text{ cm}$ => finální průhyb $4,496 \text{ cm}$ vyhovuje

6 Diskuze

Dřevo jako stavební materiál je čím dál tím víc žádaný. Pro firmy, které vyrábí dřevěné konstrukce je to dobrá zpráva. Mají více zakázek, čímž získávají zkušenosti. Ale stačí to? Mnoho firem je na trhu poměrně krátkou dobu. V tom vidím problém, málo praxe a zkušeností. Zhodnotím-li lávky ve Slavkově u Brna, musím se vyjádřit negativně. V první řadě si myslím, že tam nebyla taková profesionalita, jakou bych od výrobce očekával. Další problém byl v nízké jakosti jehličnatého řeziva mostovky. Řešením je dubová mostovka odpovídající jakosti. Na těchto lávkách dále absolutně selhala konstrukční ochrana dřeva. Navrhují-li se mosty na 100 let, tak tyto lávky 100 let při takto navržených detailech nevydrží. Na lávkách bylo použito mnoho spojů, ve kterých se držela vlhkost, a následně uhnily některé dřevěné spojovací prostředky. Řešením jsou nejlépe nerezové spojovací prostředky, popřípadě spoje, které mohou vlhkost odvětrat. Do jisté míry se dají některé chyby eliminovat preventivní údržbou. Tímto chci poukázat na to, že se máme hodně co učit. Oproti některým zahraničním státům, v mostním stavitelství zaostáváme. Z velké části za to může lobování za jiné stavební materiály, popřípadě odrazování veřejnosti od dřeva jako stavebního materiálu. Dnes už jsme na tom lépe, než tomu bylo před několika lety. Pomalu, ale jistě přibývá dřevěných mostů a lávek.

Velkým vývojem si prošly i spoje a spojovací prostředky. Tesařské spoje najdeme maximálně na replikách a při rekonstrukci lávek. Drtivá většina kovových prvků konstrukce jsou zároveň zinkovány, nebo jsou z nerezavějící ocele. To částečně prodlužuje životnost spojů. Další část, která prodlužuje životnost spojů i celé konstrukce je pravidelná údržba. Dřevo je anizotropní hydrokopický materiál, z toho důvodu je nutné se o něj starat.

U mnou navrhované lávky byl zvolen profil nosníku 480/200 mm. Lávka je přitom navržena na užité zatížení davem lidí, ale nepřepokládám, že by takové zatížení bylo reálné. V první fázi návrhu byla použita pevnost dřeva C24. Při výpočtu statického posudku s touto pevností lávka staticky nevyhovovala. Z toho důvodu byla zvolena třída pevnosti GL32c. V případě, že by vycházel příliš velký průhyb, může se nosník ve výrobě nadvýšit. Při zatížení se nosník postupně tvaruje zpět do roviny, popřípadě se mírně prohne.

7 Závěr

Práce se zabývá studii dřevěných mostů u nás a v zahraničí. Hlavním cílem bylo navrhnout dřevěný most ve vybrané lokalitě. Byla zvolena lávka, která by sloužila jako náhrada starší betonové lávky nedaleko Křižanovic. Lávka je poměrně jednoduchá, ale byl kladen důraz na to, aby lávka zapadla do dané lokality, která je mimo obec a pokryta stromy, keři a travním porostem. Nebylo nutné navrhovat složité konstrukce, jako např. konstrukce vysuté, příhradové a zavěšené, vzhledem k tomu, že rozpětí je 10,6 m.

Nosná část konstrukce je složena ze dvou lepených nosníků profilu 480/200 mm, které jsou příčně ztuženy ocelovými prvky. Mostovka je zhotovena z dubového řeziva profilu 80/160 mm, konstrukce zábradlí ze smrkového dřeva. Výplň zábradlí je z nerezového pletiva. Kovové prvky a spojovací prostředky jsou pozinkovány, nebo jsou z nerezové oceli. Konstrukce byla ověřena statickým výpočtem podle platných norem s vyhovujícím výsledkem za použití třídy pevnosti GL32c na nosné prvky. Rozměr nosníků byl zvolen správně, statický posudek to jen potvrdil.

Dalším cílem práce bylo zpracovat přehled realizovaných konstrukcí, kdy jsem došel k závěru, že dřevěné mosty zažívají pozvolný návrat, hlavně díky lepenému dřevu. Je snaha vyrábět konstrukce s větším rozpětím a s požadavkem většího zatížení. Některé zahraniční státy jsou ve vývoji daleko před námi. V České republice stále panuje v určité míře nedůvěra v dřevo jako stavební materiál. I tak je v České republice zaznamenán nárůst mostů a lávek. Zřejmě největší problém u výstavby mostů je v konstrukční ochraně dřeva a provedení detailů konstrukce. Dřevo je hyroskopický materiál a je nutné ho chránit před působením vody v jakékoliv formě.

8 Summary

The aim of this work is to design a bridge over the river Litava. In the first part of my bachelor thesis is a survey of wooden bridges in the Czech Republic and abroad. Summary of used connections of wooden elements and options of support bridge construction and recommendation for structural wood protection for individual elements of design is included. Second part concentrates on my own design of a wooden bridge. Bearing part of the bridge are two beams of rectangular profile. Transverse are wooden beams hardened steel I-sections. Bridge deck is made of oak timber and railing is made spruce lumber. The part of the design is simplified static analysis of the bridge with satisfied result, which was based on current codes of practise. The design documentation in software AutoCAD is included.

9 Seznam použité literatury

HANÁK, K. *Zpřístupňování les. Odvodňovací objekty na lesních cestách*. 1. vyd. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno 1996. 206 s. ISBN 80-7157-231-4

KOŽELOUH, B. *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5 step 1, Navrhování a konstrukční materiály*. Zlín 1998. 460 s. ISBN 80-238-2620-4

KOŽELOUH, B. *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5 step 2, Navrhování detailů a nosných systémů*. Vydal: ČKAIT, 2004. 404 s. ISBN 80-86-769-13-5

ŠTEFKO, J., REINPRECHT, L., KUKLÍK, P. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 1. vyd. Bratislava: JAGA, 2009. 197 s. ISBN 978-80-8076-080-9

KOHOUT, J., MULLER, P., TOBEK, A. *Tesařství: tradice z pohledu dneška*. 8. vyd. Praha: Grada, 1996. 255 s. ISBN 80-7169-413-4

LOKAJ, A. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce I. a II. díl*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. 309 s. ISBN 978-80-7204-732-1

BLOCKLEY, D. *Bridges. The science and art of the world's most inspiring structures*. 1. st. pub. Oxford: Oxford University Press, 2010. 312 s. ISBN 978-0-19-954359-3

STRAKA, B., PECHALOVÁ J. *Dřevěné konstrukce*. 4. vyd. Brno: PC-DIR, 1994. 130 s.

JELÍNEK, L., ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. *Tesařské konstrukce*. 2. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 236 s. ISBN 978-80-87093-74-0

KUKLÍK, P – KUKLÍKOVÁ, A. *Navrhování dřevěných konstrukcí příručka k ČSN EN 1995-1*. 1. vydání. Informační centrum ČKAIT, s.r.o., Praha 2010. 140 s.
ISBN 978-80-87093-88-7

PANÁČEK, J. *Betonové mosty I. Modul M103. Spodní stavba a příslušenství mostních objektů*. VUT v Brně, Fakulta stavební. 2006. 82 s.

ŠIMLEROVÁ, D. *Uložení nosných konstrukcí mostů pozemních komunikací*. Ministerstvo dopravy odbor pozemních komunikací, 2006. 54 s.

SVATOŇ, J. *Ochrana dřeva*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno 2000. 203 s. ISBN 80-7157-435-X

REINPRECHT, L. *Ochrana dřeva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6

KUKLÍK, P. *Dřevěné konstrukce*. 1. vydání. Informační centrum ČKAIT, s.r.o., Praha 2005. 172 s. ISBN 80-867669-72-0

10 Normy

Norma ČSN EN 73 6201: Projektování mostních objektů

Norma ČSN EN 1337-4: Stavební ložiska

Norma ČSN EN 1990: Eurokód 0: Zásady navrhování konstrukcí

Norma ČSN EN 1991-1-3: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. část 1 - 3 - zatížení sněhem

Norma ČSN EN 1991-1-4: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. část 1 - 4 - zatížení větrem

Norma ČSN EN 1991-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. část 2 - zatížení dopravou

Norma ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. část 1-1
Obecná pravidla

11 Internetové zdroje

- [1] www.lekon-tsk.cz/modrinova-lavka-v-obci-borova-lada
- [2] www.svp-mosty.cz/loziska
- [3] www.freyssinet.cz/202-elastomerova_mostni_loziska

12 Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Charakteristiky mostu	5
Obr. 2 Skladba různě dlouhých lamel zakřiveného nosníku	7
Obr. 3 Lávka v Boršicích	10
Obr. 4 Vzpěradlový most, Kutná Hora – Vrchlice	11
Obr. 5 Věšadlová lávka v Borové Ladě	12
Obr. 6 Věšadlový most ve Finsku	13
Obr. 7 Příhradový most přes řeku Reno, Norsko	14
Obr. 8 Příhradově obloukový most přes řeku Glomma v Norsku	14
Obr. 9 Pole s největším rozpětím Norského mostu Tynset	15
Obr. 10 Zastřešený dřevěný most ve Švýcarsku	16
Obr. 11 Obloukový most Wennerbrucke, Rakousko	17
Obr. 12 Zubovitý profil	18
Obr. 13 Účinnost zubovitého spoje	18
Obr. 14 Svorník	19
Obr. 15 Kolíkový spoj dřeva a plechu	20
Obr. 16 Skrytá trémová botka	21
Obr. 17 Spojovací deska vložená do vyfrézované drážky dřevěného dílce	22
Obr. 18 Úhelníkový spojovací prostředek	22
Obr. 19 Druhy hřebíků	23
Obr. 20 Vruty s různou hlavou, délkou a poměrem délky dřívku/závitu	24
Obr. 21 Bezložiskové uložení lávky	25
Obr. 22 Sestava uložení nosné konstrukce na ložiska	26
Obr. 23 Schéma deformace ložiska	26
Obr. 24 Elastomerové ložisko obloukové lávky	27
Obr. 25 Elastomerová ložiska	28
Obr. 26 Válcová ložiska	29
Obr. 27 Vahadlové ložisko	29
Obr. 28 Kloubová ložiska	30
Obr. 29 Oblouková lávka u Nového boru	30

Obr. 30 Lávka v Úpě tvořená ze čtyř spojitých nosníků, podpěry jsou uloženy kloubovými ložisky	31
Obr. 31 Oplechování čtyř nosných nosníků a příčníků lávky	32
Obr. 32 a) modřínový obklad boční hrany obloukového nosníku; b) krycí deska plnostěnného nosníku	33
Obr. 33 Oblouková lávka	35
Obr. 34 Chybně zvolené spoje a spojovací prostředky	35
Obr. 35 Dřevěný most Sneek v Nizozemí	36
Tab. 1 Parametry lepeného lamelového dřeva BSH	9
Tab. 2 Délky zubů u zubovitých spojů	18
Tab. 3 Základní úlohy konstrukční ochrany	31
Tab. 4 Veličiny pro výpočet zatížení větrem	40
Tab. 5 Vstupní hodnoty stálého zatížení	41
Tab. 6 Vstupní hodnoty krátkodobého zatížení	43
Tab. 7 Vstupní hodnoty průhybu nosníku	44

13 Přílohy

č. 1 Půdorys

č. 2 Podélný řez

č. 3 Příčný řez

č. 4 Pohled

č. 5 Detail