



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí



## Dřevěné mosty

## Cíle předmětu vyjádřené dosaženými dovednostmi a kompetencemi

Student získá po absolvování předmětu dovednosti a znalosti v následujících oblastech:

- navrhování a posuzování dřevěných mostních konstrukcí
- výroba, montáž a diagnostika dřevěných mostních konstrukcí
- výkresová dokumentace dřevěných mostních konstrukcí

## Anotace

1. Historický vývoj navrhování dřevěných mostních konstrukcí a současné konstrukce.
2. Dřevo jako materiál pro stavbu exteriérových konstrukcí.
3. Typy mostních konstrukcí (trámové, deskové, obloukové, visuté, zavěšené).
4. Mostní svršek a mostovka, mostní vybavení, ložiska, mostní závěry.
5. Mostní konstrukce s prvkovou mostovkou.
6. Mostní konstrukce s lamelovou mostovkou.
7. Dřevobetonové mostní konstrukce.
8. Trvanlivost dřevěných mostních konstrukcí.
9. Poruchy dřevěných mostních konstrukcí.
10. Diagnostika a sanace mostních konstrukcí.

## Doporučená literatura:

1. Fojtík, R., Lokaj, A., Gabriel, J.: Dřevěné mosty a lávky, Informační centrum ČKAIT, s.r.o.; 2018, ISBN:
2. ČSN EN 1995-2, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, 2006.
3. ČSN EN 1995-1-2, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 2: Mosty, ČNI, 2007.
4. Michael A. Ritter: Timber Bridges part 1, U.S. Department of Agriculture, 1992, ISBN: 1-4102-2191-1.
5. Michael A. Ritter: Timber Bridges part 2, U.S. Department of Agriculture, 1992, ISBN: 1-4102-2192-X.
6. ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČNI, 2004.
7. ČSN EN 1991-2, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou, ČNI, 2005.

## 1. Historický vývoj navrhování dřevěných mostních konstrukcí a současné konstrukce.

### 1.1. Historický vývoj dřevěných mostů

Dřevo patří, spolu s kamenem, od nepaměti k základním konstrukčním materiálům i pro stavbu mostů. Potřeba stavby mostů vyvstala v souvislosti s počátky obchodu a budování obchodních tras. Podle byly nalezeny pozůstatky mostů z horizontálně vedle sebe uložených klád o délce do 10 m již z období neolitického člověka před 17 000 lety.

#### 1.1.1. Mosty ve starověku

Herodotos popisoval trámový most vybudovaný přes řeku Euphrat v Babylonu za vlády Nabuchodonozora o délce 123 m a šířce 9 m, který byl uložen na kamenných pilířích ve vzdálenostech 9 až 18 m. Již ve starověku se objevily první pontonové mosty. V období řecko-perských válek v 5. století př. n. l. použil takový typ mostu perský král Dáreos k překonání Bosporu a jeho syn Xerxes k přesunu vojska přes Dardanely, kdy 674 lodí vytvořilo most délky 1500 m (viz Obr. 1.1.1).



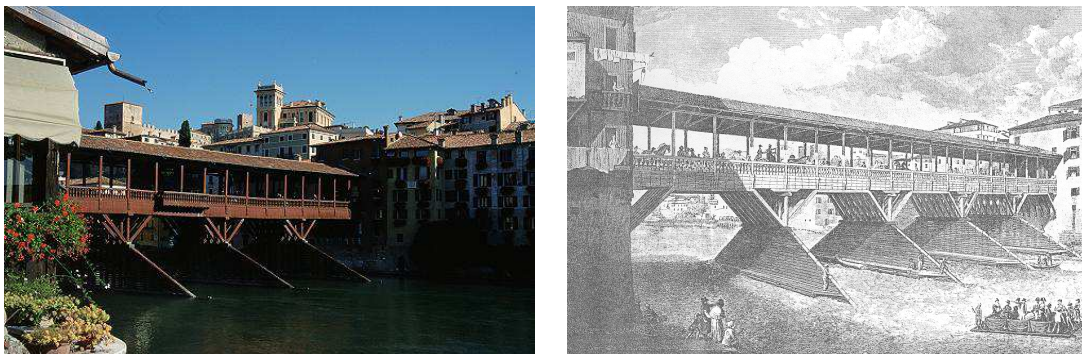
Obr. 1.1.1: Pontonový most ze starověku [5]

#### 1.1.2. Mosty ve středověku

Stavitelé v raném středověku nedosahovali úrovně starověkých mistrů, byť např. Karel Veliký nechal kolem roku 800 postavit dřevěný most délky 850 m přes Rýn u Kolína (byl zničen již roku 813). Ve středověku byla postavena řada dřevěných mostů, o nichž máme pouze písemné záznamy, ale z pochopitelných důvodů se mosty do dnešních dnů nedochovaly.

#### 1.1.3. Mosty v období renesance

V období renesance došlo k největšímu rozkvětu umění, architektury a také stavitelství v italských městských státech. Mezi staviteli vynikali Andrea Palladio (1518-1580), Faustus Verantius (1551-1617) a také Leonardo da Vinci (1452 - 1519), který zanechal řadu návrhů mostů. Palladio napsal Čtyři knihy o architektuře (1570), kde mj. navrhl několik typů dřevěných příhradových mostů. Dodnes se zachoval Palladiův dřevěný krytý most z roku 1567 Ponte deli Alpini u Bassana (Obr. 1.1.1).



Obr. 1.1.2: Ponte dei Alpini u Bassana (A. Palladio – 1567)

Významné oblasti s tradicí dřevěných mostních konstrukcí je například Čína, Amerika, a také Švýcarsko. V 19. století nastal prudký rozvoj železnic v Evropě i na americkém kontinentu. To si vyžádalo velké množství mostů, které byly budovány z kamene, cihel, ale na počátku i ze dřeva. Ocel začala vytlačovat ostatní materiály u železničních mostů až koncem 19. století v souvislosti s rozvojem její průmyslové výroby, kdy došlo k jejímu výraznému zkvalitnění a zlevnění.

### 1.2. Současné konstrukce

V zahraničí již stojí mnoho novodobých mostních staveb na bázi dřeva, které mají za sebou již pár desítek let provozu. Patří sem například most Evropa (Wennerbrücke) v Rakousku o délce 85 m, most Tynset v Norsku, most přes řeku Reno v Norsku o délce bezmála 160 m a také most Crest ve Francii.



Obr. 1.2.: Ukázka mostního stavitelství vyspělých států (most Tynset v Norsku)

Na území České republiky se setkáváme především s dřevěnými lávkami mnoha typů a konstrukčních uspořádání. Mostní objekty doposud vznikaly především na silnicích okrajového charakteru a na cyklostezkách. Jedná se výlučně o mosty trámové, které můžeme najít například na Baťově kanále u Uherského Hradiště. První dřevo-betonový most na území ČR by měl vzniknout v obci Bohunice v Jihočeském kraji.

Kontrolní otázky:

- 1) V jakém období vznikly první mostní stavby ze dřeva?
- 2) Jaké mostní objekty využíval král Dáreos?
- 3) Jaký je nejdelší novodobý dřevěný most?

## 2. Dřevo jako materiál pro stavbu exteriérových konstrukcí.

Dřevo patří spolu s kamenem a hlinou mezi nejstarší stavební materiály přírodního (biologického) původu. Jedná se o nejdůležitější surovinu lidstva téměř po celou dobu jeho existence. Provází člověka doslova „od kolébky až do hrobu“. Uplatňuje se jako nosič informací (papír), v oblasti umění (sochy, malby na dřevěných deskách, hudební nástroje), dopravě, výrobě, kultuře, sportu a bydlení. Je jedna z mála obnovitelných surovin a je významným zdrojem energie pro velkou část lidstva.

### 2.1. Stavba dřeva

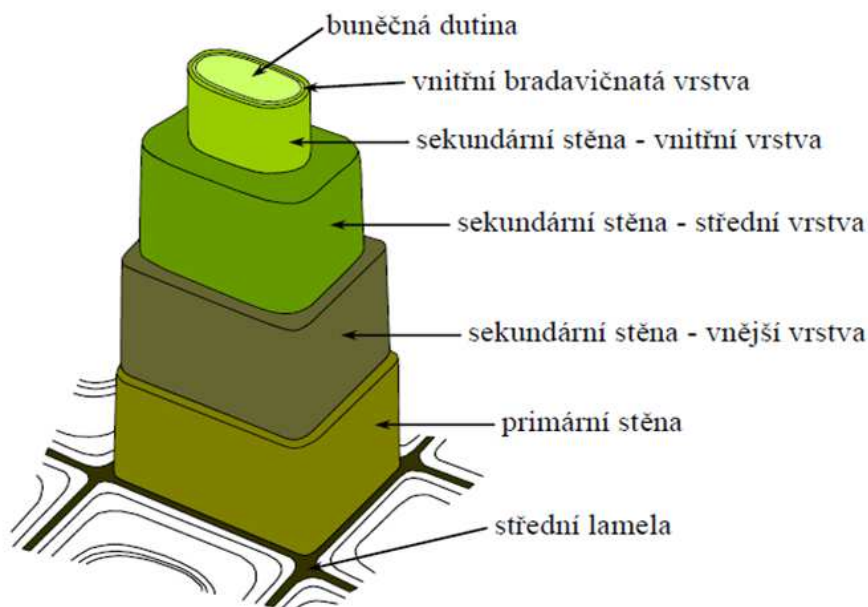
Anatomická stavba dřeva z převážné části určuje jeho technické vlastnosti a její znalost je tedy z hlediska sledování působení dřevěných prvků nezbytná. Stavbu dřeva lze pozorovat a popsat jak z makroskopického a mikroskopického, tak i ze submikroskopického hlediska.

#### 2.1.1. Submikroskopická stavba dřeva

Submikroskopická stavba se zabývá chemickým složením dřevní hmoty a molekulární strukturou. Chemické složení dřeva je prakticky stejné pro všechny druhy dřevin: 49,5 % uhlík, 44,2 % kyslík, 6,1 % vodík a 0,2 % dusík. Chemické prvky pak vytvářejí řadu složitých organických sloučenin: celulóza (40-50 % hmotnosti); hemicelulóza (20-30 % hmotnosti); lignin (25-30 % hmotnosti); extraktní látky (0-10 % hmotnosti).

#### 2.1.2. Mikroskopická stavba dřeva

Některé základní vlastnosti buněčných stěn jsou společné pro mnoho různých dřevin. Kostru buněčné stěny tvoří celulóza, která je spojena do větších strukturních jednotek, tzv. elementárních fibril. Tyto jsou seskupeny do tzv. vláknitých mikrofibril. Každá mikrofibrila obsahuje přibližně 100 až 2000 celulosových řetězců, dále hemicelulózu a lignin. Obr. 2.1 zobrazuje schematicky stavbu buněčné stěny dřevního vlákna.



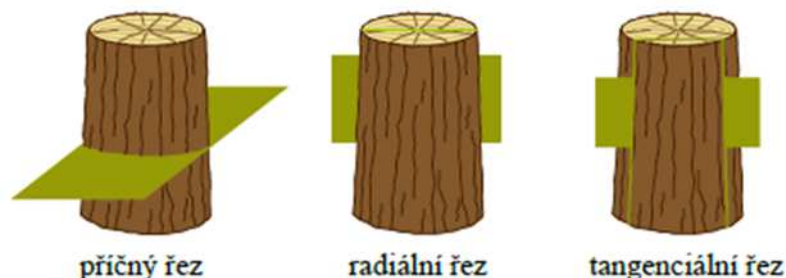
Obr. 2.1: Schematická stavba stěny buňky



### 2.1.3. Makroskopická stavba dřeva

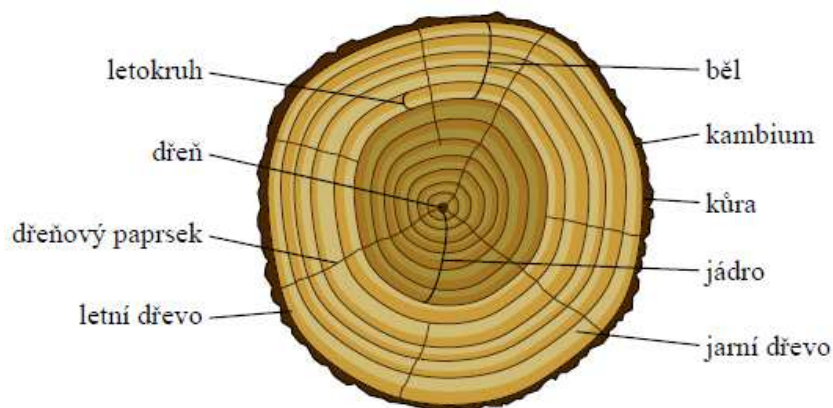
Pro hodnocení anatomické stavby dřeva se používají tři základní řezy (viz obr. 2.2):

- příčný (transverzální) - je veden kolmo na podélnou osu kmene;
- podélný (radiální) - vede přesně podélnou osou kmene (je kolmý na příčný řez);
- podélný (tangenciální) - vede rovnoběžně s podélnou osou kmene, ale neprochází osou kmene.



Obr. 2.2: Základní řezy kmene

Na příčném řezu kmene dřeviny lze pozorovat makroskopickou stavbu dřeva (viz obr. 2.3).



Obr. 2.3: Makroskopická stavba dřeva

### 2.2. Lepené lamelové dřevo

Lepené lamelové dřevo (LLD) je konstrukční materiál, který svou jakostí předčí výrobky z rostlého neupravovaného dřeva. LLD se vyrábí slepením relativně subtilních dřevěných lamel maximální tloušťky 30 mm (do nechráněné expozice) až 50 mm (do chráněné expozice), šířky max. 280 mm, délky až 5 m. Technologií LLD mohou být vyrobeny konstrukční prvky výšky větší než 2 m, délky přesahující 40 m. Velkou předností LLD pro exteriérové konstrukce je především garantovaná nízká vlhkost, díky které je dřevo odolnější biologickým škůdcům.

Kontrolní otázky:

- 1) Jaká chem. složka je dominantní v mikroskopické stavbě dřeva?
- 2) V jakém ročním období dochází k největšímu přírůstku dřevní hmoty?
- 3) Jaká je výhoda LLD?

### 3. Typy mostních konstrukcí

Ve druhé polovině 20. století nastala renesance dřevěných mostů, zejména pak lávek pro pěší a cyklisty. Bylo to způsobeno jednak vyvinutím nových konstrukčních materiálů na bázi dřeva s lepšími užitnými vlastnostmi oproti rostlému dřevu, dále pak požadavky na dopravní stavby do životního prostředí vhodně zapadající, vyrobené z obnovitelných materiálů, s nízkou potřebou energie při výrobě, montáži, provozu i odstranění po dožití.

#### 3.1. Konstrukční systém trámový

Nosný systém zpravidla tvoří dvojice prostě uložených nebo spojitých plnostěnných přímých nosníků z lepeného lamelového dřeva s dolní, mezilehlou, případně horní mostovkou. Příčná a torzní stabilita nosníků je u systémů s dolní, resp. mezilehlou mostovkou zajištěna ocelovými příčníky, které jsou k hlavním nosníkům připojeny polotuhým přípojem (prodlouženou čelní deskou se svorníky). Velkou výhodou těchto konstrukcí je především jednoduchost a minimum spojů. Tyto konstrukce jsou vhodné pro menší rozpory.

- mosty, lávky
- 5 až 25 m (mosty), do 30 m (lávky)



a)

b)

Obr. 3.1 a) jednopólový most (Uherské Hradiště) b) dvoupólová plnostěnná pávka a statické schéma (Liberec)

#### 3.2. Konstrukční systém trámový - příhradový

V současné době se dává přednost jednodušším systémům, staticky určitým nebo s nízkým stupněm statické neurčitosti. Jednou z možných variant jsou přímopásové příhradové nosníky s horní mostovkou, což umožňuje použití více než dvou nosníků. Další variantou je příhradový systém s dolní mostovkou. Tyto konstrukce se vyznačují velkou tuhostí. Kritickým místem mohou být především spoje jednotlivých prvků příhradoviny z hlediska trvanlivosti. Při variantě zastřešené konstrukce mohou tyto stavby přetrvávat stovky let.

- mosty, lávky
- 10 až 45 m (mosty), do 45 m (lávky)



a)



b)

Obr. 3.2 a) krytá příhradová lávka přímá a statické schéma (lávka přes Úpu) b) obloukový most plnostěnný s dolní mostovkou a statické schéma (Brno)

### 3.3. Konstrukční systém obloukový

Dřevěné mostní objekty obloukového konstrukčního typu se navrhují nejčastěji jako trojkloubové staticky určité. S výhodou lze užít velké tuhosti, kterou se tyto konstrukce většinou vyznačují. Nevýhodou je jejich náročnější, pracnější a nákladnější výroba a montáž.

- mosty a lávky
- do 70 m

### 3.4. Konstrukční systém zavěšený a visutý

Jedná se o stavby využívající velké pevnosti v tahu ocelových prvků. Stejně jako u variant čistě ocelových nebo v kombinaci s betonem i varianty s využitím dřeva překlenují velká rozpětí. Tyto stavby bývají náchylné na kmitání.



a)



b)

Obr. 3.2.5: a) zavěšená lávka a statické schéma (Zástřizly) b) visutý konstrukční systém a statické schéma (Semily)

Kontrolní otázky:

- 1) Který konstrukční systém vykazuje největší tuhost?
- 2) Který konstrukční systém je náchylný na kmitání?
- 3) Který konstrukční systém je vhodný pro malé rozpony?

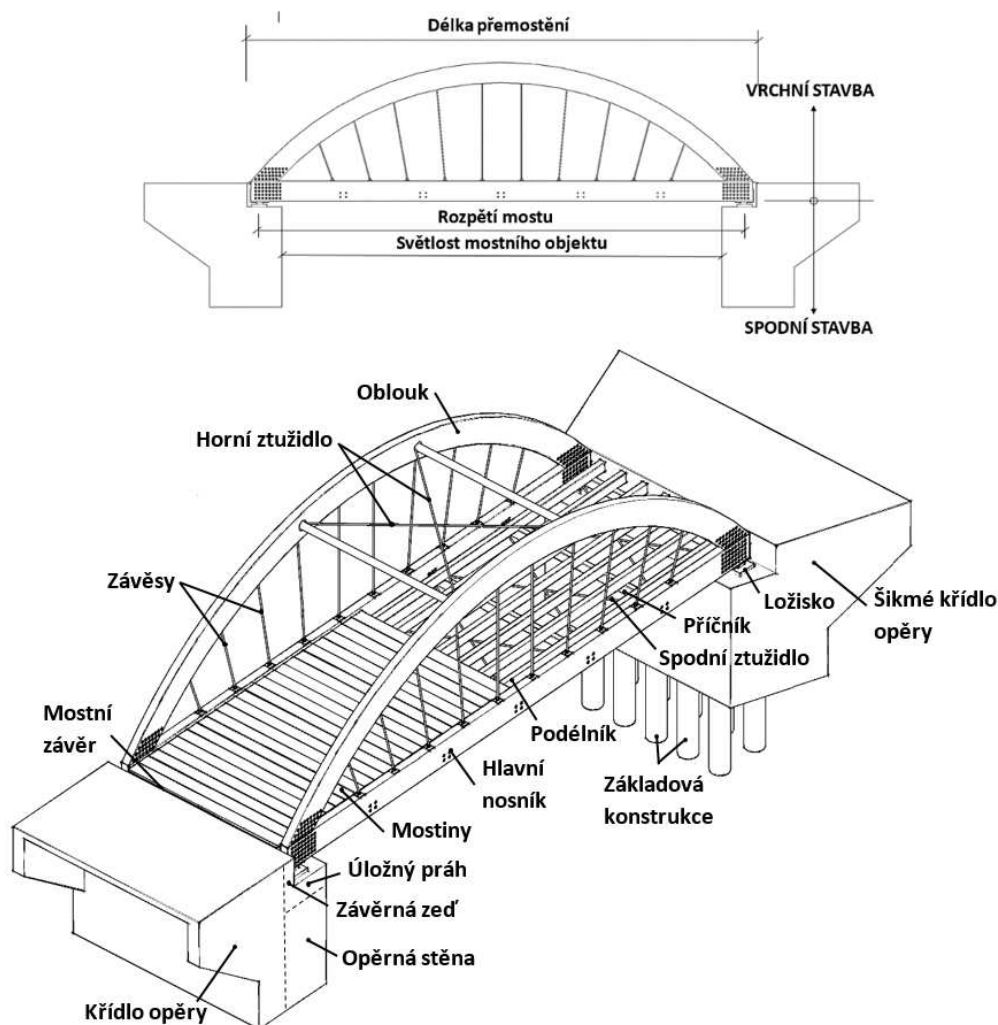


#### 4. Mostní svršek a mostovka, mostní vybavení, ložiska, mostní závěry.

Mosty a lávky jsou součástí komunikace sloužící k překonání přírodní či umělé překážky. Jsou tvořeny jedním i více vedle sebe postavenými mosty, propustky nebo lávkami. V uplynulých dvaceti letech se v Evropě zvýšilo použití dřeva jako materiálu pro výstavbu mostů a lávek. Přispěl k tomu vývoj nových způsobů zvyšování užitečných vlastností dřevěných konstrukcí například pomocí nových typů spojů, vyztužováním dřeva ocelí a karbonovými vlákny, spřahováním dřeva s betonem a podobně. Z hlediska názvosloví se rozlišují dva druhy dřevěných mostních objektů:

- most - konstrukce překonávající světlou výšku nad 2,0 m, určené pro dopravu
- lávky pro pěší - konstrukce sloužící především pro chodce a cyklisty, která nesmí být používána pro silniční a kolejovou dopravu s výjimkou vozidel provádějící údržbu nebo jiné výjimečné situace pojezdu s maximální přípustnou hmotností nižší než je maximální návrhová únosnost

I mostní konstrukce mají své názvosloví. Každý mostní objekt sestává z vrchní a spodní stavby. Vrchní stavba je složená z nosné konstrukce a mostního svršku.



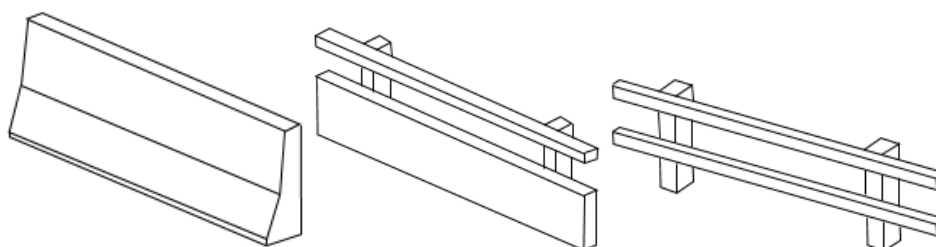
Obr. 4.1: Názvosloví mostního objektu

### 4.1. Mostovka

Mostovka může být tvořena mnoha konstrukčními systémy a materiály. Nejčastěji se setkáváme s prvkovou mostovkou, jež může být složena z hlavních nosníků, příčníků, podélníků a mostin. Pojížděná plocha bývá často řešena pomocí dřebo-betoné konstrukce z důvodu vyšší odolnosti jak povětrnosti, tak obrusnosti. Jednotlivé časté varianty řešení jsou popsány v dalších kapitolách.

### 4.2. Mostní vybavené

Záchytné systémy na mostech slouží k ochraně vozidel a chodců, kteří užívají konstrukci. Obvykle jsou umístěny po stranách mostů. Rozlišují se čtyři základní záchytné systémy – systémy pro vozidla, chodce, cyklisty a kombinované systémy. Všechny typy záchytných systémů musí být dostatečně pevné, odolné vůči mechanickému poškození, nenáročné na údržbu a měly by mít příjemný estetický vzhled.



Obr. 4.2: Typy zábradlí (zleva: zídková zábrana; vodorovné zábradlí s částečnou zídkou; vodorovné zábradlí na zábradlí vertikálním)

### 4.3. Ložiska

Nejjednodušším řešením ložiska je prahový nosník. Pro dosažení vyššího zatížení a životnosti jsou používány ložiska elastomerová, hrncová, desková, válcová a další stejně jako u ostatních mostních konstrukcí.

### 4.4. Mostní závěry

V případě prvkové mostovky s mostinami se mostní závěry neprovádí. Pro variantu dřevo-betonové mostovky jsou využívány klasické mostní závěry pro ŽB. mosty.

Kontrolní otázky:

- 1) Jak se liší mosty od lávek?
- 2) Z jakých prvků se skládá prvková mostovka?
- 3) Jaký je nejjednodušší systém ložisek dřevěných mostů a lávek?

## 5. Mostní konstrukce s prvkovou mostovkou.

Při návrhu mostní konstrukce je nutné uvážit dva základní faktory, jejichž důležitost je primární. Zvolení vhodného konstrukčního systému včetně optimálního statického schématu je prvním parametrem. Druhý parametr se týká životnosti, která je zásadní pro návrh jakéhokoli mostního objektu, protože tyto stavby by měly přetrvávat desítky až stovky let. Parametr životnosti je spojen s volbou vhodného materiálu a především konstrukčních detailů, které jsou popsány v kapitole č. 8.

Pokud se zaměříme na současné mostní stavby za použití dřeva, tak můžeme uvést tři varianty mostovkových systému a uspořádání, přičemž spodní stavba je vždy tvořena běžnou sestavou železobetonových prvků.

### 5.1. Prvková mostovka

Tato varianta patří k nejběžnějším a je většinou tvořena příčníky, podélníky a mostinami. Je vhodná především díky dostatečnému provětrávání jednotlivých prvků, což přispívá k trvanlivosti této části konstrukce. Často je využíváno ocelových příčníků, a to především kvůli vyšší únosnosti ve smyku a také polotuhým spojům s ocelovou čelní deskou. V případě užití dřevěných příčníků je vhodné využití ocelových plechů pro zesílení samotného prvku v místě největšího smyku a také pro zvýšení únosnosti spoje s hlavní nosnou konstrukcí. Jako spojovací prostředky pro styk příčníku s hlavní nosnou konstrukcí je vhodné použít svorníky. Dřevěné podélníky je možné navrhovat jak ve variantě prostých nebo ve variantě spojitých nosníků.

Problémem však často bývá určit správné vnitřní síly a další veličiny, které vznikají například v přípojích. Mezi často užívanou variantu přípoje hlavních nosných prvků s ocelovými příčníky je polotuhý spoj se styčnickovou deskou.

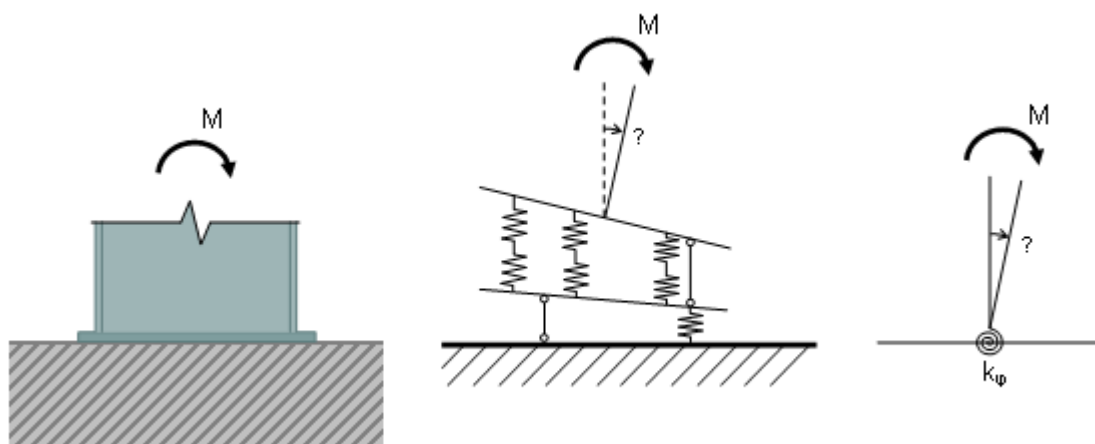
Spoj (Obr. 5.1) tvoří profil I nebo H, který je navařen na ocelovou desku, která je na dřevěný prvek připevněna pomocí svorníků. Pro zvýšení tuhosti přípoje se obvykle využívá horního náběhu či výztuhy.



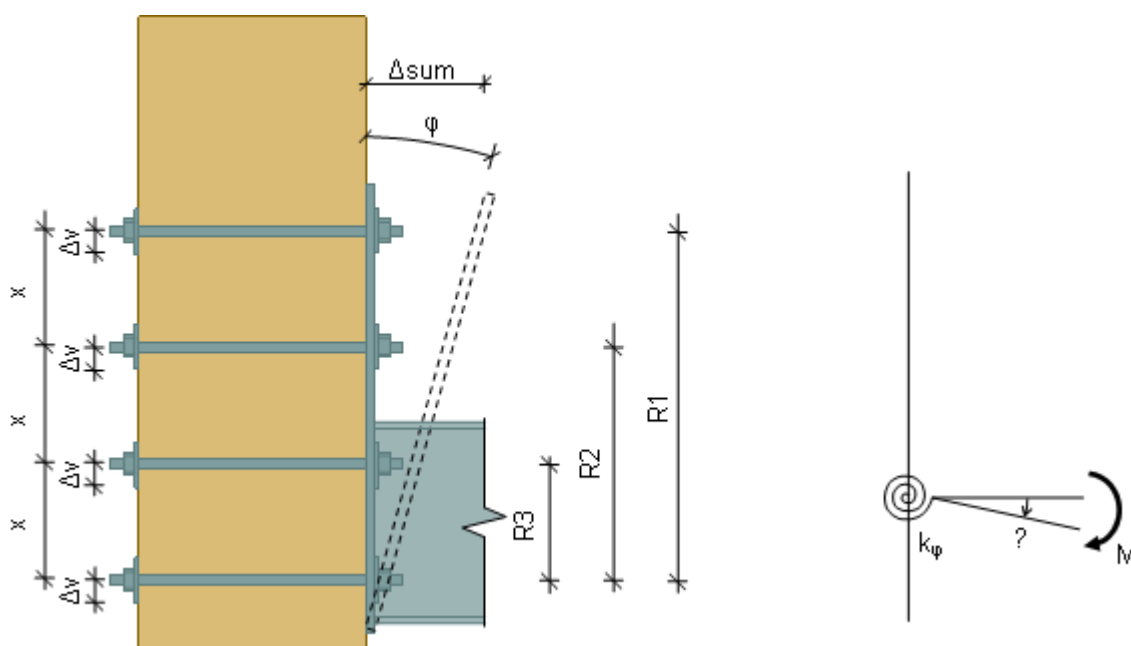
Obr. 5.1: Ocelový příčník na dřevěných nosnících

Jednou z metod pro zjištění tuhosti konkrétního přípoje je metoda komponent. Princip metody komponent je v rozdělení uzlu na jednotlivé komponenty, kterým se přisoudí pružné konstanty a následně se vyjádří rotační tuhost systému pružných vazeb. Existuje poměrně mnoho komponentů, na který lze takovýto přípoj rozdělit, avšak pouze některé mají relevantní vliv na výpočet. Tyto jsou uvedeny například v normě ČSN 1993-1-8. V principu se

pak můžeme přijmout tezi, že momentové působení připoje ocelového příčnicku pomocí čelní desky na rozměrově a objemově podstatně větší dřevěný hlavní nosník je velmi obdobné jako působení v patkách ocelových sloupů na betonových základech (viz obr. 5.2).



Obr. 5.2: Působení ocelového sloupu v betonové patce



Obr. 5.3: Analogie působení dřevěného nosníku s betonovým základem

Ostatní prvky prvkové mostovky jsou většinou tvořeny jednotlivými podélníky, příčnickami nebo mostinami. Tyto prvky se navrhují jako prosté nosníky nebo nosníky spojitě. Jednotlivé prvky se na sebe navzájem kotví kloubově.

Kontrolní otázky:

- 1) Z čeho se skládá prvková mostovka?
- 2) Jak se posuzuje spoj hlavního nosníku s ocelovým příčnickem?
- 3) Jaké analogy je využíváno při návrhu spoje dřevěného nosníku s ocelovým příčnickem?



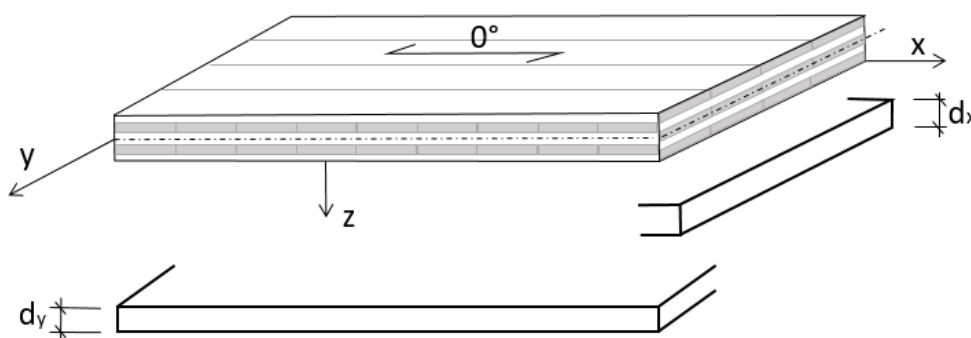
## 6. Mostní konstrukce s lamelovou mostovkou.

Analýza lamelové desky mostovky má být založená deskovým působení nebo na působení nosníkovém.

Deskové působení se používá pro dvouosé namáhání průřezu, například v případě bodového podepření, otvoru v desce, šikmé podpory panelu, oboustranně konzolovitého vyložení desky nebo lokálního zatížení.

### 6.1. teorie ortotropní desky s efektivní tloušťkou (viz. obr. 6.1)

Je nutno určit efektivní momenty setrvačnosti v obou směrech, které jsou určeny a vypočteny pomocí efektivní tloušťky panelu.



Obr. 6.1: Náhradní tloušťky ortotropní desky

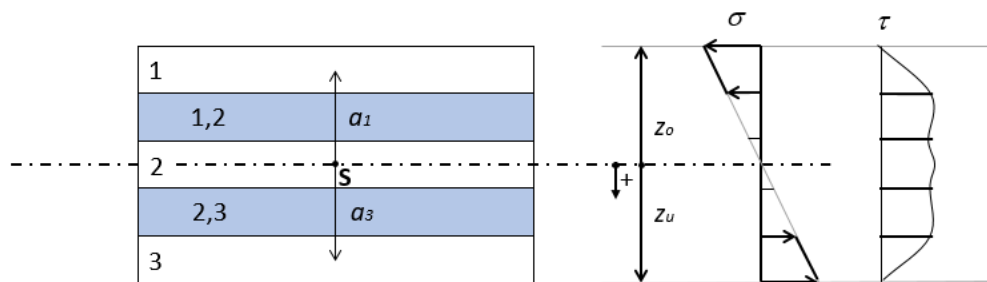
### 6.2. Metoda roštů

Model roštu nahrazuje křížem lamelový panel nosníky z homogenního průřezu, které mají v příslušném směru odpovídající tuhost křížem lamelového panelu. V roštovém modelu je torzní tuhost náhradních nosníků mnohem menší než v případě křížem lamelového panelu, což vede k mírně větším deformacím toho modelu.

### 6.3. Přímé zadání matice tuhosti

Zohlednění poddajnosti příčných vrstev panelu v matici tuhosti může být určena nezávisle od statického systému z průřezových charakteristik v obou směrech dle Mindlinovy teorie. Ve výpočtu členů matice se zohledňuje smyková tuhost pomocí smykových faktorů dle Timošenska.

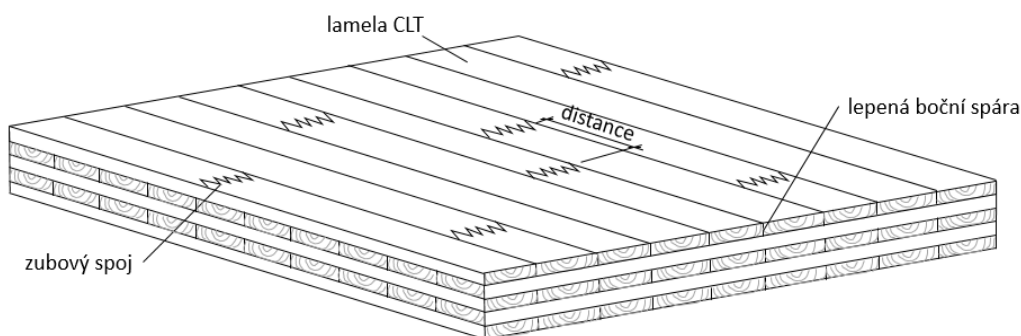
Když je dominantní jeden směr roznosu zatížení, ohýbané CLT panely (stropní nebo střešní) můžou být analyzovány jako nosník s průřezem se šířkou 1m (viz. obr. 6.2). Pro tento případ se stanoví průřezové charakteristiky pro jednostranné namáhání.



Obr. 6.2: Nosníkové působení – geometrie průřezu a schéma napjatosti

U pokročilé analýzy desek mostovek, vyrobených z lamel jehličnatých dřevin, se Poissonova konstanta může brát jako nula.

Praktickým řešením může být křížem lamelové dřevo, které je poměrně nový a inovativní materiál, který byl vyvinut na konci 20. století v Rakousku a Německu. Vyrábí se z lamel z rostlého dřeva, převážně pevnosti C24 z jehličnatých dřevin borovice a smrku. Nejčastěji jde o dvojrozměrný konstrukční prvek skládající se z minimálně 3 vrstev jednotlivých lamel, které jsou vzájemně celoplošně lepené, přičemž jsou jednotlivé směry lamel vystřídány o úhel 90° a vytvářejí ortotropní panel. U křížem lepených lamelových mostovek (Obr. 6.3) se mají uvážit smykové deformace. Způsoby řešení křížem lamelovaných desek závisí na jejich rozměrech.



Obr. 6.3: Příklad křížem lamelované desky mostovky

Další alternativou lamelových mostovek jsou předpjaté lamelové mostovky složené z lamel sestavených na výšku, které jsou umístěny mezi podporami v podélném směru těsně vedle sebe a jsou stlačeny příčně pomocí předpínacích prvků s vysokou pevností v tahu. Mezi deskami mostovky vzniká tření vyvolané příčným tlakem aplikovaným na mostovku.

Kontrolní otázky:

- 1) Jaké jsou varianty řešení lamelových mostovek?
- 2) Jaké má vlastnosti křížem lamelové dřevo?
- 3) Na jakém principu fungují příčně předpjaté lamelové mostovky?

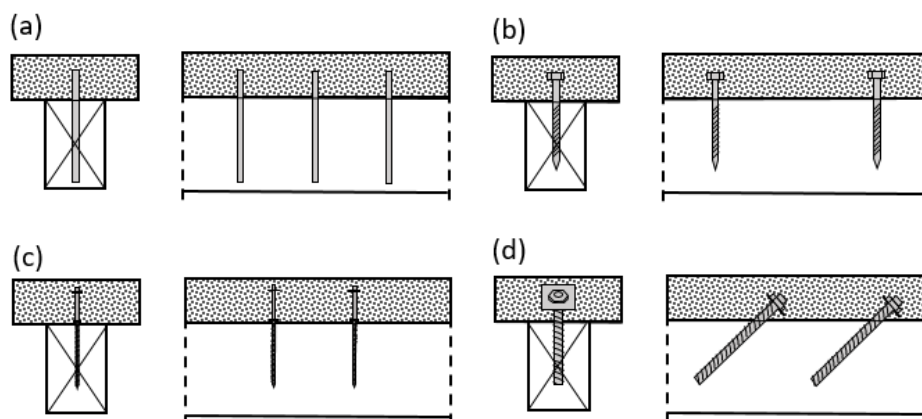
## 7. Dřevobetonové mostní konstrukce.

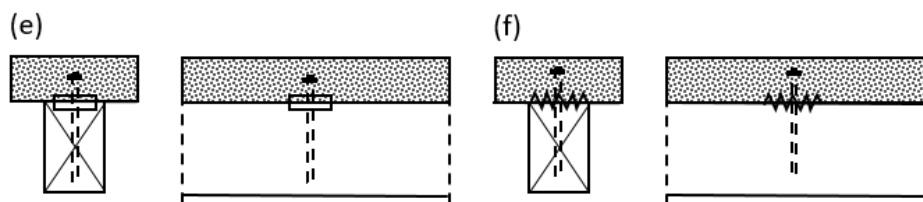
Spřažené dřevobetonové konstrukce využívají příznivé vlastnosti obou materiálů a potlačují jejich negativní vlastnosti. Jedná se o betonovou desku, která je poměrně těžká, nehořlavá, tuhá a má nosnou, roznášecí, výztužnou, ochrannou a akumulaci funkci spojenou s dřevěnými nosníky pomocí spřahovacích prvků. Příspěvek betonové desky k odolnosti průřezu je závislý zejména na tuhosti spřažení a na uspořádání příčného řezu. Dřevěný nosník/deska má vyšší pevnost v ohybu a výhodnější chování za požáru. Dřevobetonové spřažené průřezy mají mnoho výhod. Jak už bylo uvedeno, dřevobetonové konstrukce se používají často při rekonstrukcích stropů, kde se jako výhoda ukazuje zachování původní dřevěné konstrukce a výrazné zvýšení její tuhosti a únosnosti při často malém zvýšení hmotnosti. V případě použití prefabrikovaných spřažených dřevobetonových desek se oproti monolitickým konstrukcím výrazně zkracuje doba výstavby. Konstrukce, které využívají spřažené dřevobetonové průřezy, se oproti klasickým dřevěným konstrukcím vyznačují zvýšenou únosností a tuhostí, požární odolností konstrukce, zlepšením zvukové neprůzvučnosti a tepelně – technických vlastností (zejména akumulace tepla). V případě mostních konstrukcí zabezpečují dřevobetonové mostovky ochranu dřevěných nosníků před vlivem vlhkosti a mechanického poškození.

Dřevobetonové konstrukce se dělí dle tvaru příčného řezu na nosníkové, které mají rozpětí zpravidla do 6,0 m a na deskové s rozpětím mezi 6,0 a 15,0 m. Dalším kritériem rozdělení je účinnost spřažení, která závisí na typu spřahovacího prostředku. Průřezy je možno rozdělit na poddajné, polotuhé a tuhé. Rozdělení dřevobetonových průřezů je možné i podle použití v nosné konstrukci, například pro stropní konstrukce (se spřažením pomocí hřebíků, vrutů, kotevním systémem Hilti, systémem Tecnaria, vlepenými ocelovými lištami atd.) a pro mostovky.

### 7.1. Spřahovací prostředky

Pro dřevobetonové konstrukce jsou spřahovací prostředky důležitou součástí, která zajišťuje spolupůsobení dřevěných částí konstrukce a betonu. Nejčastěji jsou navrhovány ocelové prvky kolíkového typu vruty, kolíky atd. viz Obr. 7.1. Jako další možnost spřažení mohou být s výhodou použity kombinace kolíkových prvků a hmoždíků viz Obr. 7.1.f. Velikost a počet spřahovacích prostředků je nutné určit statickým výpočtem.

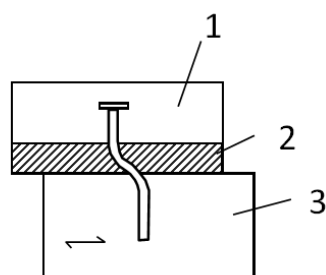




Obr. 7.2: Typy spřažení používaných pro dřevobetonové mostní konstrukce – speciální ocelové spojovací prostředky; a) kolíky; b) vruty; c) vruty se dvěma hlavami; d) speciální vruty; e) kroužek s kolíkem; f) Bulldog s kolíkem

Můžeme se setkat i s dalšími variantami spřažení. U většiny spřahovacích prvků se jedná především o částečné spřažení dřevěných prvků a betonu.

Spřažené mezi betonovou a dřevěnou částí je důležitým parametrem rozhodujícím o výsledném chování konstrukce, proto je nutné zavést některé předpoklady. Příčně namáhané spojovací prostředky kolíkového typu se na účinek sepnutí nemají používat. Parametry tuhosti a únosnosti mezilehlé nenosné vrstvy mezi dřevem a betonem (Obr. 7.2) se mají určit pomocí speciální analýzy nebo zkouškami.



#### Legenda

- 1 Beton
- 2 Nenosná mezilehlá vrstva
- 3 Dřevo

Obr. 3.4.11: Mezilehlá vrstva mezi betonem a dřevem

V mezním stavu použitelnosti je nutno posoudit dodržení doporučených hodnot průhybu (podle ČSN EN 1995-1-1), případně posoudit vlastní frekvenci a kmitání konstrukce. Průhyby dřevobetonové konstrukce je nutné posoudit v čase  $t = 0$  (okamžité) a v čase  $t = \infty$  (konečné).

Kontrolní otázky:

- 1) Na jakém principu fungují dřevobetonové konstrukce?
- 2) Jaké máme typy spřažení?
- 3) K čemu dojde při prokluzu spoje mezi betonem a dřevem?



## 8. Trvanlivost dřevěných mostních konstrukcí.

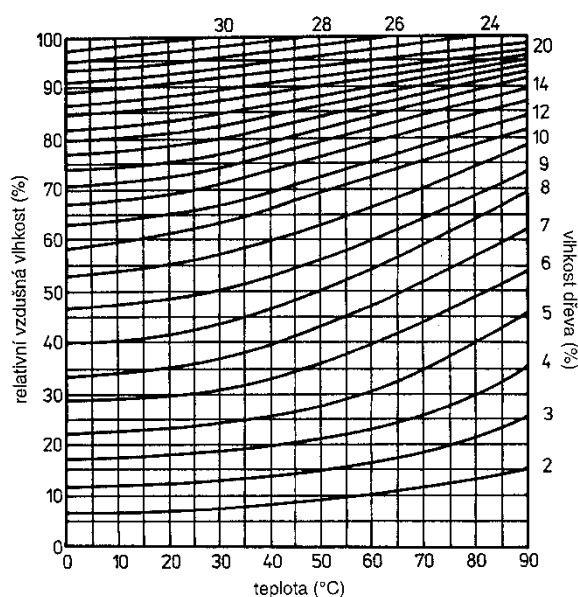
Každý materiál a technologie má svá specifika, není tomu jinak ani u dřevěných mostů a lávek. Tyto konstrukce jsou v exteriéru vystaveny povětrnosti, tudíž jsou zde vyšší nároky na konstrukční detaily, izolace a materiály. To vše rozhoduje o trvanlivosti těchto staveb.

Ke vhodnému návrhu jakékoli dřevěné konstrukce v exteriéru je možné vycházet ze tří základních konstrukčních zásad:

- použití suchého dřeva;
- zakrytí;
- použití vhodného druhu dřeva.

První bod vychází ze skutečnosti, že vysušené dřevo není schopno navázat takové množství vody jako v surovém stavu. Tento jev je způsoben ztrátou pružnosti některých buněk dřevní hmoty, čímž je snížena schopnost dřevní hmoty přijímat vlhkost. Při použití masivnějších prvků, dochází k reakci na změnu okolního prostředí především do hloubky cca 20 mm. Pro ovlivnění jádra průřezu je potřeba vystavení vlhkosti a teplotě po delší dobu. Graf popisující závislost relativní vlhkosti prostředí na vlhkosti dřeva (viz. obr. 8.1). Z grafu je zřejmé, že docílení vlhkosti, optimální pro růst například dřevokazných hub, je dosti obtížné.

V praxi se však velmi často dá setkat s tím, že i přes instalaci vysušeného dřeva, může dojít k napadení dřevokaznými houbami a dalšími škůdci. Tento fakt je způsoben mnoha nepříznivými faktory, mezi které patří například vliv krajiny, výsušné trhliny, nevhodné konstrukční detaily a další. V případě vlivu krajiny je nepříznivým faktorem umístění konstrukce do trvalého stínu nebo do lesního porostu, kde je zvýšený výskyt výtrusů dřevokazných hub. Výsušné trhliny, krom vlivu na statiku, také umožňují zatékání srážkové vody do jádra profilu. V těchto místech se zpravidla také hromadí nečistoty, které pak tuto vlhkost zadržují, a to na hodnotách až okolo 50%. Proto je nutné, zajistit, aby do dřeva nezatékalo. Už historické dřevěné mosty a lávky byly stavěny se zastřešením, proto i bez moderních chemických prostředků tyto stavby přežily stovky let.



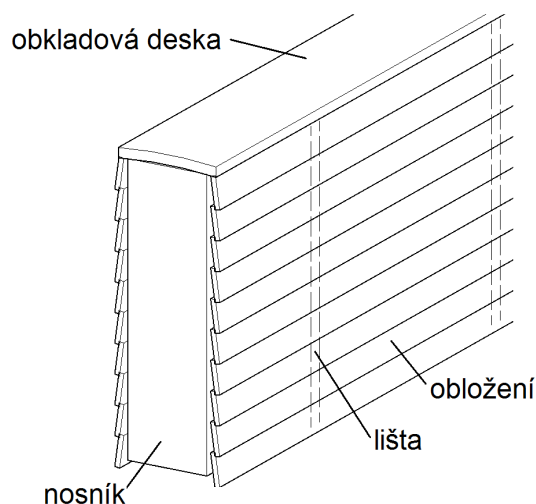
Obr. 8.1: Vlhkost dřeva v závislosti na teplotě a relativní vzdušné vlhkosti

Stejně jako existuje mnoho druhů oceli nebo betonu, tak i dřevo nabízí širokou škálu možností, kde lze rozlišovat mnoho kritérií. Popis vlastností nejčastějších dřevin z našeho středoevropského regionu (viz. obr. 8.1). V zahraničí se osvědčila kombinace lepeného lamelového dřeva z modřínu, pro hlavní nosnou konstrukci, jež má dostatečné mechanické vlastnosti a zároveň patří mezi trvanlivé řezivo. Pro pojízdnou část vrchní stavby (mostovku) je naopak využíváno dubového dřeva, které je velmi trvanlivé a odolné proti obrusu.

### 8.1. Konstrukční detaily

Konstrukční detaily patří ke klíčovým částem dřevěných mostů a lávek z hlediska jejich životnosti. Všechny prvky konstrukce musí být zajištěny proti srážkové vodě a také umístěny tak, aby bylo zajištěno provětrávání. Tato základní pravidla mohou výrazně ovlivnit trvanlivost dřevěných konstrukcí. Mostní stavby jsou specifické některými detaily, na které je tato část zaměřena.

Častou poruchou u lepených lamelových nosníků je tzv. delaminace, která je nejmarkantnější na osluněných stranách konstrukce. Jednou z možností, jak tento jev můžeme zmírnit, je například dřevěný provětrávaný obklad znázorněný na obr. 8.2.



Obr. 8.2: Ochrana proti delaminaci

Hlavním cílem všech řešení musí být eliminace zatékání srážkové vody do dřeva. Pro tyto účely je možné využít různých metod vnější ochrany od oplechování až po stříkané izolace.

Kontrolní otázky:

- 1) Jaké jsou tři základní pravidla pro dosažení životnosti dřevěné konstrukce?
- 2) Jaká je optimální vlhkost dřeva při zabudování?
- 3) Jakým způsobem je možné zabránit zatékání srážkové vody do dřeva?

## 9. Poruchy dřevěných mostních konstrukcí.

Dřevo jako organický stavební materiál podléhá zcela jiným procesům degradace než ostatní anorganické materiály užívané pro výstavbu dřevěných mostních objektů.

### *9.1. Nejčastější biologické poškození dřevěných mostních konstrukcí*

Jedná se o zcela přirozený jev, který je součástí koloběhu dřeva v přírodě. Cílem každého návrhu stavby ze dřeva musí být především zpomalení nebo eliminace těchto procesů. Na základě dlouhodobého pozorování byli vybráni nejčastější činitelé, se kterými je možné se na dřevěných mostech a lávkách na území ČR setkat.

#### 9.1.1. Hnědá hniloba

Mezi nejčastější poruchy dřevěných mostů a lávek patří právě dřevokazné houby, konkrétně se ve většině případů jedná o Trámovku plotní Tránovku trámovou nebo Trámovku Jedlovou, které patří k nejzákeřnějším dřevokazným houbám. Důvodem je skryté prorůstání houby dřevním masivem, bez vnějších známek napadení. Až je houba prorostlá vnitřní strukturou dřeva objeví se plodnice. V této chvíli je již většinou pozdě, protože napadený prvek je znehodnocen. Z plodnic se pak dále šíří výtrusy, které mohou infikovat další dosud zdravé prvky. Napadené dřevo ztrácí své mechanické vlastnosti, a pokud by nebyla napadená konstrukce sanována, může dojít k vážným poruchám nebo i haváriím.



Obr. 9.1: Napadení trámovkou

#### 9.1.2. Měkká hniloba

Tento typ degradace je způsoben větším množstvím hub, které rozkládají všechny složky dřeva na celulózu, hemicelulózu a lignin. V případě napadení dochází k nevratnému poškození dřevní hmoty, které může vést až k vážným statickým poruchám nebo havárii.

#### 9.1.3. Řasy

Na neosluněných místech sledovaných konstrukcí se mohou vyskytovat porosty řas. Tyto řasy zatím nepůsobí žádné mechanické porušení dřevní hmoty. Možné riziko může být spojeno se zvýšením vlhkosti, které bylo na konstrukci v místě výskytu řas naměřeno.

## 9.2. nejčastější abiotické poškození dřevěných mostních konstrukcí

Kromě biologických škůdců ovlivňují dřevěné konstrukce i abiotičtí činitelé, které lze rozdělit na atmosférické, termické, chemické a mechanické. S mnoha zástupci těchto činitelů se můžeme setkat i na mostních konstrukcích na území ČR.

### 9.2.1. Trhliny

Trhliny jsou nedílnou součástí všech dřevěných konstrukcí. Dělíme je na čelní, kam patří trhliny dřeňové a odlupčivé, a boční, které jsou způsobeny vysycháním, nebo také mrazem. Všechny uvedené trhliny mohou být malého, ale i velkého rozsahu a podle toho lze odhadnout jejich vliv na statiku a životnost konstrukce. Většina trhlín má vliv především na životnost stavby.

### 9.2.2. Poruchy izolací

Stejně jako pro betonové, ocelové mosty i pro všechny ostatní druhy staveb je izolace velmi důležitým prvkem. Je tomu tak také pro mostní objekty ze dřeva a materiálů na bázi dřeva. Pokud není zabráněno zatékání vody do dřevní hmoty, životnost se může zkrátit z desítek let na pouhých několik jednotek let.

Nejčastěji se jako izolace používají různé druhy lepenek a folií, které ve většině případů plní svou funkci. Dochází však k lokálním defektům, které způsobují urychlení degradace izolovaných prvků. Jedná se především o zvlnění, propíchnutí nebo potrhání izolace.

### 9.2.3. Atmosférická koroze

Atmosférická koroze je přirozeným stárnutím dřeva vystavenému povětrnosti. Může probíhat v různé intenzitě, která je závislá na vlhkostních, tepelných a dalších podmínkách. Podstatou atmosférické koroze je to, že všichni abiotičtí činitelé působí najednou, a tím se znásobuje jejich účinek. Přičemž rozhodující vliv na stárnutí dřeva má voda a sluneční záření. Kyslík a nečistoty pak efekt stárnutí ještě zvyšují.

### 9.2.4. Poruchy impregnace

Vážné poruchy vznikají v případě některých povrchových impregnací včetně tlakové. Z důvodu vzniku výsušných trhlín, dochází k obnažení jádra průřezu, které většinou není chráněno impregnací.

### 9.2.5. Delaminace

Předtím, než začalo být lepení dřeva populární, bylo třeba vyřešit jeden z největších problémů výroby lepeného lamelového dřeva, a to delaminaci. Delaminace obvykle vede k selhání struktury nosníku a může dojít ke kritickému snížení tuhosti a únosnosti celkové struktury i při malých zatíženích. Nebezpečím může být také možnost zachycení nečistot a s tím je spojeno riziko výskytu dřevokazných hub a škůdců.

Kontrolní otázky:

- 1) Jaké jsou základní typy poruch na dřevěných mostech?
- 2) Jaké jsou nejčastější biologické poruchy dřevěných mostů?
- 3) Jaké jsou nejčastější abiotické poruchy dřevěných mostů?



## 10. Diagnostika a sanace mostních konstrukcí.

Každá stavba má svou životnost a její stav je nutné sledovat. Stejně tak je tomu i u dřevěných mostů a lávek, kde prohlídky mohou předcházet závažným někdy i nevratným poruchám. U většiny materiálů, které se používají pro výstavbu mostních konstrukcí, vznikají poruchy nejprve na povrchu a postupně prostupují hlouběji do prvku. Především díky povrchovým impregnacím, které se používají pro velké množství dřevěných konstrukcí, je u dřeva postup poruchy často opačný. Povrchy prvků bývají velmi dobře chráněny proti biologickým škůdcům, ale do nechráněného jádra průřezu mohou vniknout (skrže trhlinu) například dřevokazné houby, které za optimálních podmínek pro jejich růst, rozloží vnitřní dřevní hmotu, a zůstane pouze obálka. Tento stav je na první pohled velmi obtížně identifikovatelný, proto je nutné, aby prohlídky dřevěných konstrukcí prováděly osoby se zkušenostmi v oboru poruch dřevěných konstrukcí.

### 10.1. Diagnostika/prohlídky

Na vrchní dřevěné části mostní konstrukce je nutné sledovat hlavně to, zda nedošlo k porušení izolací a zda jsou izolace na všech místech, na kterých být mají, tedy na všech plochách, které umožňují zatékání do jádra průřezu. Ideální je ochrana vrchní strany všech hlavních nosných prvků konstrukce. Dále je vhodné sledovat, zda nedochází k zatékání, které se dá identifikovat podle map vzniklých na dřevní hmotě.



Obr. 10.1: Ukázka skryté poruchy měkkou hnilobou.

Nejproblematictější jevem při prohlídkách dřevěných konstrukcí, je zhodnocení jejich stavu z pohledu napadení biologickými škůdci. Pokud je konstrukce na povrchu impregnovaná, je obtížné odhalit stopy případného napadení. Pro tyto účely je nutné provést diagnostiku stavby zaměřenou na výskyt biologických škůdců. Ve většině případů lze totiž pouhým okem nalézt až konečné stádium tohoto napadení, kdy především plodnice dřevokazných hub vyrůstají na povrch. V tuto chvíli je velmi často vnitřní část průřezu nenávratně zdevastovaná. Pokud se na konstrukci vyskytují zjevné známky napadení dřevokaznými houbami, je vhodné zajistit podrobnou diagnostiku, která pomůže odhalit reálný stav konstrukce.

Regulace vlhkosti je nejjednodušším a nejchopitelnějším způsobem, jak omezit riziko vzniku hnilobného rozkladu. V případě snížení vlhkosti pod 25% se předpokládá, že nedochází k růstu dřevokazných hub. Přestože moderní dřevěné mosty jsou chráněny proti

vlhkosti impregnací, může docházet k poškození v oblastech, kde je ochranná vrstva nedostatečná.

## 10.2. Sanace

Ošetření poškozeného dřeva na místě zahrnuje aplikaci ochranných chemikálií, aby bylo zabráněno šíření hnilobného rozkladu. Běžně se používají dva typy ochranných prostředků - povrchové nátěry a fumiganty.

### 10.2.1. Povrchové nátěry

Ošetření dřeva povrchovými nátěry je neúčinnější při aplikaci ještě před vznikem rozkladu. Zpravidla se však používají, až když se objeví první trhliny nebo jiná mechanická poškození. Běžné tekuté prostředky používané pro ochranu dřeva jsou aplikovány nátěrem nebo nástřikem. Povrch dřeva by měl být důkladně nasycen ochranným prostředkem, aby byly ošetřeny všechny kritické trhliny a jiné nedokonalosti.

### 10.2.2. Fumiganty

Fumiganty jsou specializované ochranné chemikálie v kapalně nebo pevné formě, které jsou aplikovány do předem předvrtaných otvorů, aby předcházely vzniku a šíření hnilobného rozkladu uvnitř prvku. Po určitou dobu se vypařují ve formě toxických plynů, které se šíří dřevem a hubí dřevokazné houby a hmyz. Aby byly co neúčinnější, musí být fumiganty aplikovány na zdravé dřevo. Při aplikaci ve velmi pórovitém dřevu nebo v menších hloubkách (u povrchu prvku) se část fumigantu ztrácí difúzí do atmosféry. Optimální dávkování lze získat od výrobců konkrétních chemikálií. Pokud jsou používány pevné fumiganty, jsou vloženy přímo do předvrtaných otvorů.

### 10.2.3. Epoxidy

Epoxidy se skládají ze základních pryskyřic a ztužujících látek, které se smíchají do kapalné či gelové formy. Po vytvrzení pak tyto látky tvoří pevný, trvanlivý materiál, který vykazuje vysoký stupeň přilnavosti k většině čistých povrchů. Epoxid je obvykle aplikován pod tlakem, nicméně může být aplikován i ručně jako gel nebo tmel.

Epoxid se používá k injektáži trhlín či oblastí poškozených hmyzem a hnilobným rozkladem. Epoxid utěsní poškozenou oblast a zabraňuje vnikání vody a jiných nečistot. Lze jej také použít v kombinaci s výztužnými tyčemi, které se vkládají do porušeného dřevěného prvku a epoxidem se utěsní. V některých případech lze u prvků z lepeného lamelového dřeva poškozenou lamelu z prvku vyříznout a spáru zcela zalepit epoxidem. Důležitá je vždy aplikace epoxidů na suché dřevo bez hrubých nečistot, aby bylo dosaženo požadované adheze. Pokud je epoxid aplikován tlakovým vstřikováním, musí být dřevěný prvek opatřen dobře utěsněnými vstřikovacími otvory. Neutěsněné otvory mají za následek plýtvání materiálu a vytváření dutin v epoxidu, které snižují jeho účinnost. Úplné vytvrzení trvá několik dní, poté je možné povrch epoxidu upravit nátěrem nebo broušením, aby vyhovoval estetickým požadavkům.

Kontrolní otázky:

- 1) Jaká je základní a nejdůležitější diagnostická metoda pro dřevěné mosty?
- 2) K čemu slouží Fumiganty?
- 3) Jaký přípravek je možné použít pro sanaci trhlín?

Uvedené informace jsou pouze výtahem z jednotlivých kapitol předmětu „Dřevěné mosty“. Pro absolvování předmětu jsou požadovány hlubší znalosti problematiky, které je možné získat z níže uvedené literatury:

CZ:

- [1] Fojtík, R., Lokaj, A., Gabriel, J.: Dřevěné mosty a lávky, Informační centrum ČKAIT, 2017.
- [2] KLOIBER, M., DRDÁCKÝ, M. Diagnostika dřevěných konstrukcí, Informační centrum ČKAIT, 2015.
- [3] Reinprecht, L. Ochrana dřeva. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [4] REINPRECHT, L. Procesy degradácie dreva, Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 1998.
- [5] VAMPOLA, P. Dřevokazné houby v budovách. Mykologické listy. 2008, 104, 21-25. ISSN 1213-5887.

EN:

- [1] RITTER, M.A. Timber bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance – Part 2, Honolulu Hawaii: University Press of the Pacific, 2005, s 453, ISBN: 1-4102-2191-X
- [2] RITTER, M.A. Timber bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance – Part 2. Honolulu Hawaii: University Press of the Pacific, 2005. ISBN 1-4102-2192-X.