



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**

Dřevobetonové spřažené stropy

Timber - concrete composite floors

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Karel Mikeš, Ph.D.

Martin Březina

Praha 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ (SI)
studijní obor: KONSTRUKCE PŮDPOVĚCH STAVBY (C)
akademický rok: 2015/2016

Jméno a příjmení studenta: MARTIN BRÉZINA
Zadávací katedra: U.134 - KATEDRA ÚČELNŮŮ A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
Vedoucí bakalářské práce: ING. KAREL MIKŠ Ph.D.
Název bakalářské práce: DŘEVOBETONOVÉ SPÁŘENÉ STROPY
Název bakalářské práce v anglickém jazyce: TIMBER-CONCRETE COMPOSITE FLOORS
Rámcový obsah bakalářské práce: Frejma dané formy doplnění praktickým návrhem a zhotovením

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2016 Termin odevzdání: 20.5.2016
(vypíšte poslední den výuky příslušného semestru)

Pokud student neodevzdal bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu bakalářskou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č. 111/1998. (SZŘ ČVUT čl. 21, odst. 4)

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x student, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání BP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se BP do databáze KOS.

BP zadává katedra nejpozději 1. týden semestru, v němž má student BP zapsanou.
(Směrnice děkana pro realizaci studijních programů a SZZ na FSv ČVUT čl. 5, odst. 7)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Dřevobetonové spřažené stropy napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, za přispění odborných konzultací a uvedené literatury.

V Praze dne 20. května 2016

Martin Březina

Poděkování

Poděkování patří především panu Ing. Karlu Mikešovi Ph.D. za vedení této bakalářské práce, ochotu a laskavost po celou dobu vypracování, a také za poskytnutí materiálů a cenných rad. Rád bych také poděkoval panu Doc. Ing. Jiřímu Litošovi Ph.D. za umožnění laboratorních měření a panu Ing. Pavlu Reitermanovi Ph.D. za pomoc při výrobě laboratorních vzorků a jejich zkoušení. Děkuji rovněž panu Ing. Jaroslavu Štokovi za poskytnutí spřahovacích prvků SFS Intec a panu Stanislavu Biskupovi za hranoly BSH.

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je rozbor a shrnutí problematiky dřevobetonových stropních konstrukcí se zaměřením na vlastnosti a možnosti spřažení. Podrobněji se práce zabývá vývojem dřevobetonového spřažení, principem působení tohoto systému, stejně jako prováděním sanací původních stropů nebo možnostmi použití v novostavbách. Dále jsou rozebrány novodobé trendy a také shrnuty informace o nejběžnějších spřahovacích prvcích.

V rámci praktického přínosu bylo provedeno laboratorní měření pro získání modulu prokluzu K_{ser} u vybraných spřahovacích prvků a vyhodnocena nejvhodnější varianta pro další použití. Celkovým cílem práce je návrh dřevobetonového spřaženého stropu pro rekonstrukci stávajícího objektu.

Klíčová slova

Dřevobetonové stropy, spřažení, modul prokluzu, spřahovací prvky, gama - metoda.

Abstract

The content of this bachelor thesis is the analysis and summary of the issue of timber-concrete floor structures with focus on characteristic and possibilities of connection. The dissertation is concentrated in development of timber-concrete composite, principle of this system, as well as the realization of rehabilitation of original floors or possibilities of new buildings application. There are also analyzed new trends of using composite elements and summarized information about the most common elements of connection.

Within a practical contribution was performed laboratory measurement of slip module K_{ser} for a chosen elements of connection and evaluated the most suitable option for the further use. The goal of this work is a project of timber-concrete composite floor for reconstruction of existing building.

Key words

Timber-concrete floors, connection, slip module, elements of connection, gamma - method.

OBSAH

1. Úvod	8
2. Teoretická část	9
2.1 Historie a vývoj dřevobetonových stropních konstrukcí	9
2.1.1 Historie dřevobetonových stropů	9
2.1.2 Historické stropní konstrukce	11
2.1.3 Vývoj spřahovacích prvků	13
2.2 Sanace původní stropů	16
2.2.1 Princip působení.....	16
2.2.2 Průzkum stávajících konstrukcí	18
2.2.3 Postup rekonstrukce	20
2.2.4 Používané materiály	22
2.3 Použití v novostavbách	24
2.3.1 Typy používaných stropů	25
2.3.2 Prefabrikace	28
2.3.3 Novodobé trendy	29
2.4 Spřahovací prvky dřevobetonových průřezů	31
2.4.1 Charakteristika vlastností spřahovacích prvků.....	31
2.4.2 Mechanické spřahovací prvky	32
2.4.3 Lepené spřahovací prvky.....	36
3. Laboratorní zkouška	38
3.1 Příprava	38
3.1.1 Model vzorku	38
3.1.2 Materiály	39
3.1.3 Postup přípravy	42
3.2 Deformační zkouška	45

3.2.1 Zkouška pevnostní třídy betonu.....	45
3.2.2 Zkouška dřevobetonových vzorků	48
3.2.3 Výsledné charakteristiky	54
3.2.4 Vyhodnocení	56
4. Návrh stropu stávajícího objektu.....	57
4.1 Charakteristika objektu.....	57
4.1.1 Projektová dokumentace	58
4.1.2 Skladba stropní konstrukce	59
4.1.3 Posouzení stávající konstrukce	60
4.2 Návrh dřevobetonové stropní konstrukce.....	61
4.2.1 Princip výpočtu.....	61
4.2.2 Charakteristika spřaženého stropu	63
4.2.3 Návrh spřažení pomocí vrutů SFS Intec	64
4.2.4 Vyhodnocení	69
5. Závěr.....	71
6. Seznam použitých zdrojů	72
6.1 Literatura	72
6.2 Internetové zdroje	75
7. Seznam použitých symbolů a zkratk	78

1. Úvod

V historii byly často používány různé druhy materiálů pro stavbu stropních konstrukcí. Nejčastěji byly využity materiály přírodní, které byly volně přístupné a proto i výhodné. Především se stavělo ze dřeva, konstrukce se postupně objevovaly v různých variantách a byly rozvíjeny k dokonalosti. Proto se dnes můžeme ve starých zástavbách setkat převážně s dřevěnými stropy.

Z důvodu vysokých průhybů na stropních konstrukcích, které dřevo v průběhu své životnosti vykazuje, bylo však nutné najít řešení pro jednoduchou opravu a ztužení těchto konstrukcí. Proto byly rozvinuty dřevobetonové stropy, které dnes mají své uplatnění rovněž v novostavbách.

V České republice je tato konstrukční varianta již řadu let používána a dále rozvíjena, avšak v okolních zemích, jako jsou Rakousko nebo Německo, je toto téma mnohem více běžné a jeho výzkum o poznání hlubší. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro aplikaci svých získaných znalostí z rakouské univerzity TU WIEN o dřevobetonových konstrukcích a zvolil jsem si bakalářskou práci právě na toto téma.

Cílem práce je rešerše na problematiku dřevobetonových stropů doplněná o laboratorní měření pro srovnání vlastností vybraných spojovacích prvků a výsledný návrh stropní konstrukce stávajícího objektu provedený pro zvolenou variantu.

Rešeršní část se bude zabývat převážně historií a rozvojem těchto konstrukcí, možnostmi jejich využití a také novodobými trendy, které jsou v poslední době rozvíjeny v rámci této problematiky. Dále budou podrobně shrnuty varianty spřahovacích prostředků společně se srovnáním jejich vlastností a vhodností použití.

V rámci praktické části bude provedeno laboratorní měření na speciálně vyrobených zkušebních vzorcích pro získání hodnot modulu prokluzu K_{ser} u vybraných spřahovacích prvků a výsledky budou následně vyhodnoceny.

Závěrem práce bude návrh spřahované stropní konstrukce stávajícího objektu pomocí Y-metody, kde spřahovací prvek bude zvolen na základě laboratorních poznatků.

2. Teoretická část

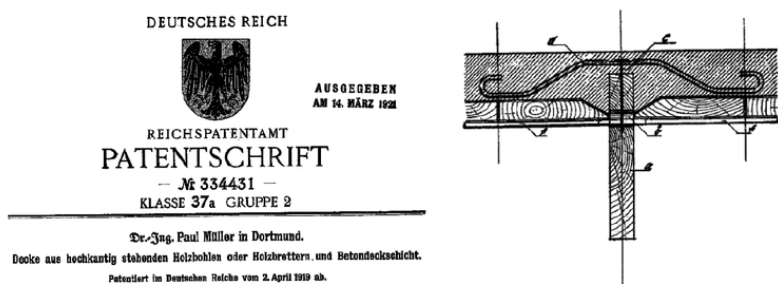
2.1 Historie a vývoj dřevobetonových stropních konstrukcí

V dřívějších dobách byly pravidlem stropy ze dřeva, které tvořila standardně dřevěná nosná část, což byly obvykle trámy, ale také často používané povaly. V případě trámových stropů bylo nutné použití záklopu z desek o tloušťce přibližně 2,5 cm, kdežto povaly tvořily samy o sobě spojitou vrstvu. Na tuto konstrukci byl dále vrstven zásyp z velmi různorodých materiálů, který tvořil požární a také zvukovou izolaci. Mezi typické materiály patřil například hrubozrnný písek, škvára, ale také nespecifická stavební suť. Celou skladbu završila podlaha, zvolená podle způsobu použití. [3]

Postupem času bylo však jasné, že samotné dřevěné stropy nebudou mít příliš dlouhou životnost, což se projevilo velkými průhyby a také zřetelnějším kmitáním celého stropu. Začátkem 20. století se po Všeobecné světové výstavě v Paříži začal běžně používat beton, což vedlo i k jeho aplikaci společně s dalšími stavebními materiály. Netrvalo dlouho a první pokusy o jeho spojení se dřevem byly na světě. [1]

2.1.1 Historie dřevobetonových stropů

První potvrzená zmínka o dřevobetonovém spojení pochází z roku 1921, kdy Paul Müller použil pro ztužení mezi betonem a záklopem, uloženém na kolmo stojících fošnách, ocelový profil připomínající ramínko. [2][7] [11]

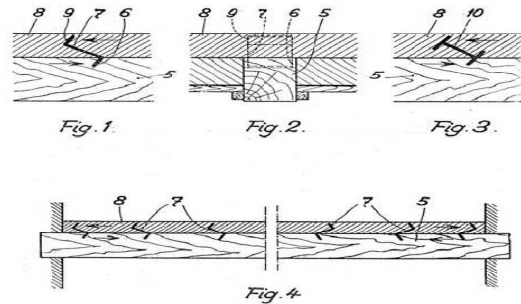


Obr. 1-Patent Paula Müllera [11]

Nezávazně na této inovaci byly ve 30. letech 20. století rozvíjeny všemožné dřevobetonové konstrukce v Severní Americe. V letech 1932-1934 probíhal experimentální výzkum pro Oregon State Highway Department s cílem navrhnout co

nejefektivnější mostní konstrukci, což vedlo k výraznému posunu v rozvoji tohoto systému. [7]

Avšak z hlediska dřevobetonových stropů je za průkopníka této konstrukce považován Otto Schaub, který si v roce 1939 nechal patentovat konstrukci stropu s nadbetonávkou za použití Z- a I-profilů plnicích funkci spřažení. [7] [2]



Obr. 2-Otto Schaub I- a Z-profilů [II]

V roce 1943 dále rozvinul dřevobetonové stropy Sperle, avšak jeho návrh byl jiného charakteru. Jednalo se o systém dutých tvarovek, kde výplň mezi nimi tvořily zabetonované dřevěné latě, na kterých byla uchycena smyková výztuž. [7]

V Československu došlo k průlomů až díky práci Jozefa Poštulky, který použil metodu nadbetonování stropů v roce 1960. Jednalo se o rekonstrukci historických budov v Bratislavě, jako například budova Slovenskej národnej galérie nebo Mirbachov palác. Jako spřahovací prvek zde byly použity hřebíky o průměru 6,3 mm a délce 180 mm. Poštulkova metoda rekonstrukce stropů se setkala s velkým úspěchem a byla prováděna v rozsáhlém měřítku. [II] [1] [2] Od roku 1975 bylo na ŠDVÚ v Bratislavě prováděno experimentální měření únosnosti dřevobetonových těles, kde hlavním spřahovacím prvkem byly hřebíky. V průběhu zkoušek došlo ke zjištění, že naměřené hodnoty po krátkodobé zkoušce jsou 3,29 - násobkem výpočtové hodnoty. [1]

Dřevobetonové stropní konstrukce se od těchto dob již příliš neměnily. V průběhu let docházelo k dalším výzkumům, statickým zkouškám a aplikacím nových technologií, avšak principiálně šlo stále o podobnou myšlenku. Hlavní změnou do dnešní doby byly hlavně nové metody pro statický návrh, ověření únosnosti a vývoj speciálních vysokopevnostních spřahovacích prvků.

2.1.2 Historické stropní konstrukce

V průběhu 19. a 20. století byly budovány převážně stropy trámové, se kterými se dnes stavitelé běžně potýkají při rekonstrukcích starých domů. Často jsou trámy již poškozeny z důvodu vysoké vlhkosti, což má za následek také napadení od škůdců a dřevokazných hub nebo příliš velké známky svislé deformace. Pokud však není nutné měnit strop jako celek, dojde pouze k nahrazení jeho částí a jako opatření pro ztužení může být provedeno například použití spřažení původní nosné konstrukce s betonovou vrstvou.

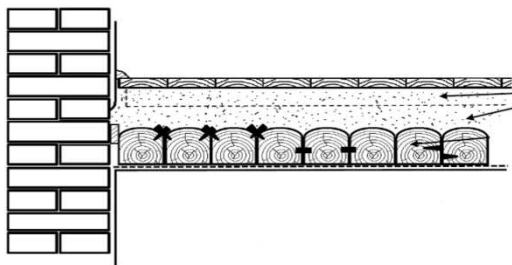
Jedná se o stropy z minulého století, které však mohou být při vhodném způsobu sanace dále používány. Mezi typické konstrukce patří tyto:

a) Povalový strop

U tohoto typu stropu tvoří nosnou část půlky kmenů surového dřeva, kterým se říká povaly. Kmeny jsou slabšího průřezu, mají průměr mezi 12 a 16 cm, jsou ze 3 stran opracovány a vzájemně spojeny dřevěnými klínky nebo železnými skobami každé 2 m po své délce. Zhlaví trámů bylo vždy uloženo do drážky ve zdi o délce 8-15 cm, kdy minimální potřebná tloušťka stěny činila 30 cm. [9] [III] [IV]

Přibližně do roku 1830 byly povalové stropy používány jako dělicí, avšak později už jen jako podkrovní. Důvodem byly zvýšené nároky na požární bezpečnost a dnes už je najdeme prakticky pouze v nejvyšším nadzemním podlaží. [3] Ze statického hlediska je jejich konstrukce vhodná do rozpětí 5 m. [III]

Povalové stropy však přináší značné nevýhody, jako jsou větší spotřeba materiálu, náročnější výroba nebo nedostatečné plnění bezpečnostních požadavků. [IV] Z těchto důvodů bylo později od jejich použití upuštěno.



Obr. 3- Povalový strop [IV]

b) Jednoduchý trámový strop

Jak vypovídá název, tvoří zde hlavní nosnou část dřevěné trámy, které jsou

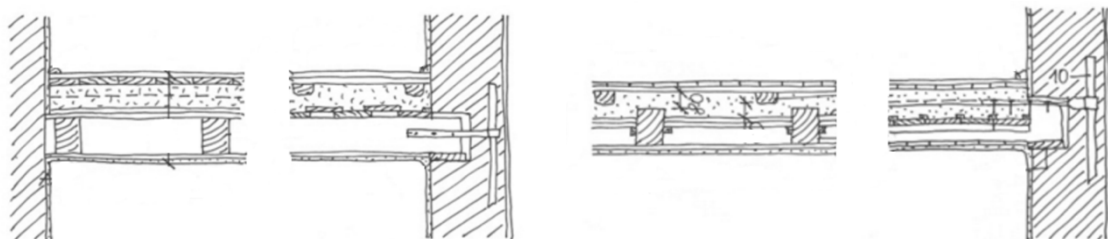
uloženy v osové vzdálenosti 0,75 - 1m. [3] Na trámy byl přibíjen záklop o tloušťce přibližně 3 cm, tvořen zpravidla prkny, a dále vrstven násyp o tloušťce 7-10 cm, na nějž se pokládala podlaha. [III][IV] Násyp zde výrazně zvyšoval požární odolnost, tepelně-izolační vlastnosti a také vzduchovou neprůzvučnost. Celková tloušťka stropu i s trámy se pohybovala v rozmezí 30-45 cm a strop byl vhodný do maximálního rozpětí 6 m. [3] Z hlediska životnosti a použitelnosti bylo důležité vytvořit správné uložení trámů, pro které byly v nosných stěnách vybudovány speciální kapsy. Zhlaví trámu však nemohlo být uloženo přímo na zdivo, ale bylo nutné jej podložit například zbytkovým naimpregnovaným dřevem tak, aby nedošlo k přímému kontaktu a rychlé degradaci dřeva vlivem vlhkosti. [3] Délka uložení se pohybovala mezi 15-30 cm podle rozpětí stropu. [IV]

Jednoduché trámové stropy měly své uplatnění především v rodinné výstavbě, ale díky jejich jednoduchosti se s nimi setkáváme ve stavbách všech druhů. [III]

c) Trámový strop se zapuštěným záklopem

Ve stavbách obytného typu nebyla výška trámových stropů příliš vítaná, a tak došlo k menší úpravě, kde již záklop nebyl uložen přímo na trámy, ale byl zapuštěn do prostoru mezi nimi. Přibližně v polovině výšky trámu byly přibity latě a na ně se pak záklop položil. Díky tomuto řešení se podařilo snížit celkovou výšku o 4 cm. [III][3][9] Bylo však nutné zachovat minimální tloušťku násypu alespoň 3 cm nad stropnicemi. [IV][3]

Vlivem snížení výšky stropů došlo zároveň ke snížení celé stavby a tím i k celkovému zlevnění, což bylo znatelnou výhodou. Nevýhodné bylo snad jen snížení horizontální tuhosti konstrukce, ale i přesto je tato varianta stropu tou nejčastěji používanou. [IV][3]



Obr. 4- a) Jednoduchý trámový strop (vlevo), b) Trámový strop se zapuštěným záklopem (vpravo) [III]

d) Trámový strop s rákosníky

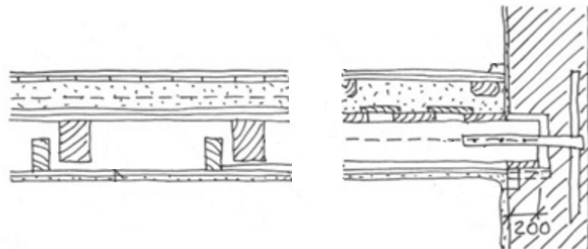
Další vylepšenou formou trámového stropu je tato varianta, která má totožný

základ. Rozdílem je však oddělený podhled stropu, který je upevněn na sekundární konstrukci tvořené z dřevěných hranolů, jimž se říká rákosníky. [III][3]

Díky tomuto provedení došlo ke zlepšení zvukově-izolačních vlastností a rákosníky byly používány převážně v reprezentativních budovách.

Použití rákosníků má však také své nevýhody jako větší tloušťku stropu z důvodu odděleného podhledu, což ovlivňuje také cenu konstrukce, nebo pracnost. Zapuštění rákosníků do obvodové stěny má navíc negativní vliv na celkovou únosnost. [3][IV]

Z konstrukčního hlediska by měl být rozstup mezi trámy a rákosníky alespoň 3 cm, mezera mezi podbitím stropu a nosným trámem alespoň 5 cm kvůli možným průhybům a rákosové trámce byly standardně používány v rozměru 80/160mm. [9] [IV]



Obr. 5- Trámový strop s rákosníky [III]

Mimo jiné se mezi stropy při sanaci také často vyskytují například kazetové stropy, které však principiálně fungují stejně jako stropy trámové.

Obvyklé jsou také trámové stropy doplněné traverzami v kolmém směru, jenž tvořily přechod mezi stropy dřevěnými a ocelovými. Jejich použití se uplatňovalo hlavně na větší rozpětí. Z hlediska dřevobetonu je však v tomto případě pravděpodobnější jiná forma sanace. [3]

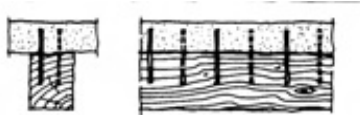
Později se od používání dřevěných stropů postupně upouštělo a došlo k přechodu převážně na stropy železobetonové nebo keramické.

2.1.3 Vývoj spřahovacích prvků

Počáteční tendencí pro první spřahované stropní konstrukce bylo využití běžně dostupných prostředků, které byly snadno k dostání. Paul Müller i Otto Schaub sice použili pro své patenty speciální profily, ale v běžné praxi se dále používaly převážně spoje kolíkového typu.

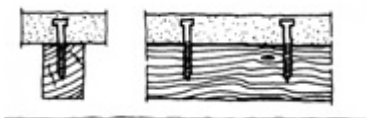
Nejjednodušším řešením, které přetrvalo snad až do 70. let 20. století byly

hřebíky. Tehdejší využití dřevobetonu bylo výhradně pro účely rekonstrukce, a proto byla únosnost hřebíků dostatečná. Dokonce ještě v 60. letech v Československu byl tento spoj naplno využíván. [1]



Obr. 6- Hřebíkový spoj [7]

Další variantou dřívější doby byly vruty, které se však používaly méně často. Měly sice větší únosnost, ale zato vyšší cenu, která bývá často rozhodující. Obecně mají šrouby větší únosnost ve stříhu a také na vytažení, která je díky závitu přibližně 4 - násobná. [11]



Obr. 7- Šroubový spoj [7]

Z hlediska vývoje však panovala úplně jiná situace v Severní Americe, kde byly na rozdíl od Evropy zaznamenány významné pokroky a objevy. V letech 1930-1943 byly při stavbách mostů aplikovány následující **varianty spřahovacích prvků**:

- ozubení se zářezy
- kruhové ocelové hmoždíky
- plechové profily v drážkách
- trojúhelníkové plechové profily
- čepy
- zářezy s hřebíky

Tyto cenné zkušenosti však bohužel zůstaly v Americe a nebyly dále rozšířeny do okolního světa. [7]

K přelomu došlo teprve v roce 1969, kdy byly provedeny první pokusy o spojení mezi dřevem a betonem pomocí lepidla. Výsledky dopadly nad očekávání, avšak později bylo lepidlo u těchto konstrukcí využito jinak. Ocelové plošné smykové spoje se ukládaly do předem připravených drážek, kde byly přilepeny. [7] [11]

První speciálně vyvinutý spřahovací prostředek se objevil teprve v roce 1985. Vyvinula ho tehdejší švýcarská firma SFS Profis AG a jednalo se o speciální šroub pro spřahování betonu a dřeva. Vrut byl vyroben z vysokopevnostní oceli se dvěma hlavami a je dodnes používán jako jeden z hlavních spřahovacích prvků. [11]



Obr. 8- Vrut SFS [7]

Mezi dalšími byly například v Severní Americe, Polsku a Švýcarsku zkoumány smykové únosnosti stropů se zářezy, což však v tehdejší době nebylo příliš použitelné, protože se tímto způsobem prováděly výhradně rekonstrukce. Konstrukce se zářezy se uplatňují spíše až v dnešní době, kdy jsou realizovány na novostavbách. [3]



Obr. 9- Hřebíky se zářezy [7]

Vývoj všemožných prvků se uskutečnil převážně v uplynulých 20 letech a vzniklo velké množství řešení. Obecně je možné **spřahovací prvky** dělit takto:

1. Ocelové spřahovací prostředky kolíkového typu

- hřebíky, kolíky, vruty, tesařské skoby, tyče betonářské výztuže

2. Speciální ocelové spřahovací prostředky

- kroužek s kolíkem, Bulldog s kolíkem, trubky

3. Zářezy a ozuby do dřeva

- ozuby s kolíky, zářezy s hřebíky

4. Lepení

- lepený T-nosník, lepená deska

Řešení spřažení se neustále vyvíjí kupředu a jsou realizovány další výzkumy ke zlepšení vlastností těchto systémů. [2] [7] Novodobé prvky a následující vývoj budou rozebrány v dalších částech této práce.

2.2 Sanace původní stropů

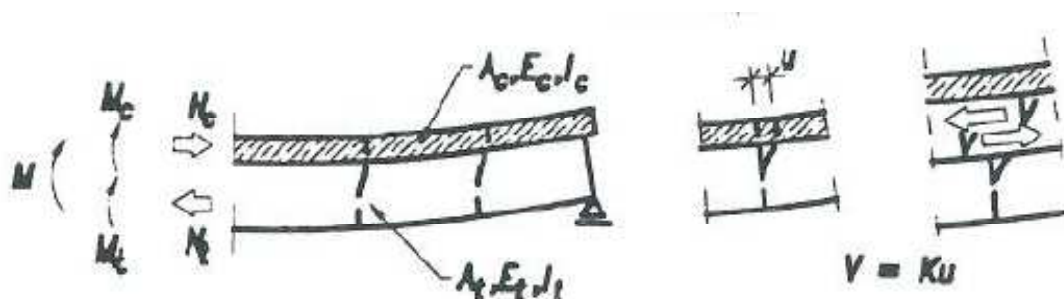
Aplikace těchto konstrukcí je dnes zaměřena ve velké míře na novostavby, avšak veliké využití má rovněž při rekonstrukcích budov. Díky tomuto uplatnění technologie dřevobetonových stropů vůbec mohla vzniknout.

Mnohé původní stropy, které byly udržovány ve vhodných podmínkách, si zachovaly dodnes svoji životnost. V těchto případech je proto vhodným řešením sanace, kdy může být využito původních materiálů. Při těchto realizacích je však nutné především získat dostatečné informace o stávající konstrukci a při realizaci dodržet přesnost provádění.

2.2.1 Princip působení

Pro objasnění principu spřaženého průřezu mezi betonem a dřevem je zcela zásadní uvážení tuhosti spřažení. Pro představu je potřeba na jedné straně vzít v úvahu působení bez spřažení, kdy obě části průřezu reagují zcela nezávisle na sobě, a na straně druhé úplné spřažení, které je dokonale tuhé. [11]

Případ konstrukce bez spřažení lze brát jako dokonale poddajný, oba dílčí průřezy mají vlastní neutrální osu a nepůsobí mezi nimi žádné vzájemné mechanické vazby ani tření. U plného spřažení dochází k plně kompozitnímu chování, průřez funguje jako jeden celek, má pouze jednu neutrální osu a nedochází tedy k žádnému prokluzu.



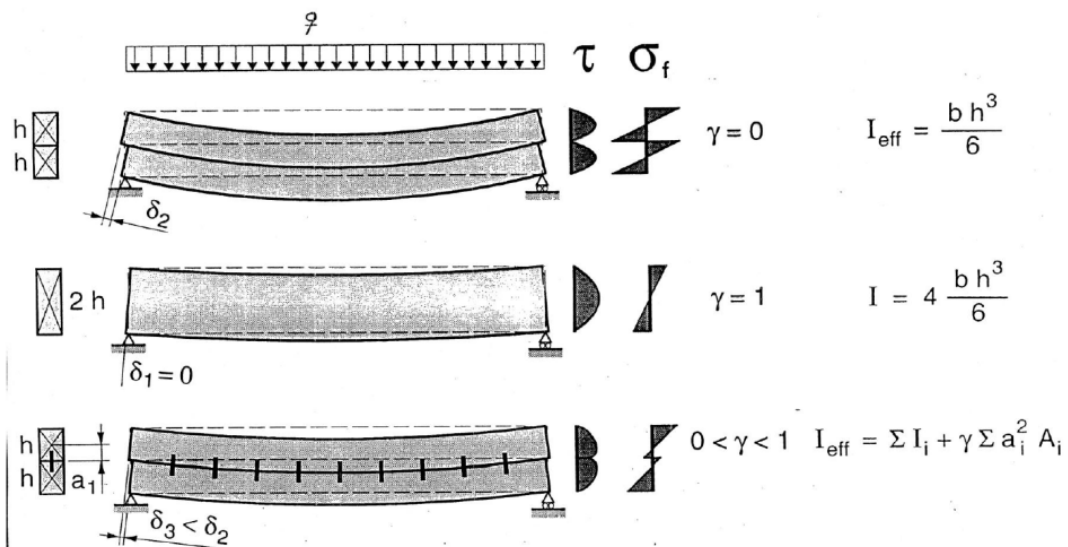
Obr. 9- Chování spřaženého průřezu pod působícím zatížením [2]

Teoreticky je možné vzájemný vztah dílčích ploch vyjádřit určitým součinitelem. Podle Eurokódu se tento součinitel nazývá γ a vychází z něj rovněž speciálně vyvinutá metoda pro výpočet spřažených průřezů. [11] [10] U dokonale poddajného spřažení je součinitel γ roven 0 a u dokonale tuhého roven 1. V reálných konstrukcích však

působení bez vzájemného tření není možné, úplné spřažení je velmi výjimečné a průřez se tedy chová jako poddajný. Proto reálné hodnoty součinitele γ leží v tomto rozmezí: [10]

$$0 < \gamma < 1$$

Každá z uvedených variant vykazuje jinou hodnotu tuhosti, která vyplývá z efektivního momentu setrvačnosti I_{ef} a společně s dílčími moduly pružnosti udává účinnou tuhost v ohybu EI_{ef} . Celkové porovnání je znázorněno v následující skice. [10]



Obr. 9- Typy spřažení odshora: Dokonale poddajné, Dokonale tuhé, Poddajné [10]

Ze skici je rovněž patrné působení sil a napětí v průřezu, z čehož vyplývá optimální rozdělení na obě části. Horní betonová část působí pouze v tlaku a spodní dřevěná v tahu. Vzhledem k tomu, že beton vykazuje své nejvyšší hodnoty únosnosti v tlaku a dřevo v tahu, je optimálně využito vlastností obou materiálů. [17]

Tímto řešením lze únosnost stropu v porovnání s klasickým dřevěným zdvojnásobit a tuhost zvýšit až čtyřnásobně. Díky použití betonové vrstvy dochází také k útlumu kmitání konstrukce, je snížena vzduchová neprůzvučnost a deska rovněž zabraňuje šíření požáru. [17]

2.2.2 Průzkum stávajících konstrukcí

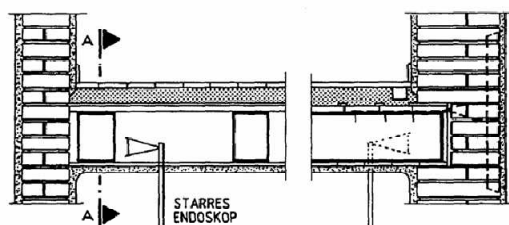
Prvním krokem pro rozhodnutí o správném postupu sanačních úprav je důkladný rozbor aktuálního stavu konstrukce. Pro tyto účely bylo vyvinuto již několik metod, jimiž jsou například:

a) *Statické zatěžování*

S příslušnými úpravami pro konstrukční systém je možné použití této metody přímo na stávající konstrukci. Díky měření statického průhybu se určuje průměrný modul pružnosti, z kterého je vyjádřena hodnota pevnosti. [17]

b) *Endoskopie*

Tato metoda byla vyvinuta v rámci medicínské techniky a postupně také adaptována pro technický výzkum. Ze spodní části stropu je vyvrtána díra o průměru asi 15 mm a následně je do vnitřního prostoru stropu zavedena sonda s osvětlením. Takto je možné opticky zkoumat povrchový stav trámů bez narušení krycích vrstev. [3] [9] Endoskopie je poměrně drahá a časově náročná. Proto se používá jen v kritických oblastech, kde není snadný přístup. [3]



Obr. 10- Endoskopie [9]

c) *Dynamická metoda*

Jedná se o měření časové prodlevy ultrazvukových vln, kdy je možné díky odchylkám zjistit poškození trámů nebo také hodnotu průhybu. Metoda se často používá také v laboratorních podmínkách, kde je na menších zkušebních vzorcích možné určit také hodnoty modulu pružnosti a smykového modulu pružnosti. [3]

d) *Otevření záklopu*

V tomto případě je záklop na předem vytypovaných místech vyřezán a tím vytvořen otvor o ploše přibližně 1 m². Takto je ihned patrné veškeré poškození konstrukce nebo napadení škůdci. Je možné přímo odebrat zkušební vzorek, který je

pak mnohem přesněji vyhodnocen v laboratoři.

Nevýhodou je narušení záklopu a tak se tento postup používá hlavně v těžko přístupných místech nebo u povalových stropů. [3] [9]



Obr. 11- a) Otevření záklopu (vlevo), b) Odkrytí násypu (vpravo) [9]

Po důkladném prozkoumání je obvykle zjištěno porušení, které vzniklo současně z několika různorodých příčin a jsou patrné četné známky degradace.

U dřevěných stropů dochází nejčastěji k degradaci materiálů vlivem vlhkosti, což má za následek také napadání dřevokaznými houbami nebo hmyzem, kterým se ve vlhkých podmínkách velmi daří.

Nejčastějšími **zdroji vlhkosti** jsou: [3] [VII]

- zatékání střešní konstrukcí (porušení střešní krytiny)
- vzlínání vlhkosti od opěrného zdiva (chybné uložení trámu na zdivo)
- kondenzace vzdušné vlhkosti (nedostatečné větrání)

Pro měření vlhkosti se používá elektrický odporový vlhkoměr s izolovanými elektrodami, jímž se stanovuje střední vlhkost dřeva a vlhkostní gradient. Při zjištění hodnot vlhkosti nad 18%, musí být na tato místa brán výrazný zřetel. V těchto oblastech je velmi pravděpodobné napadení houbami. [17]

Dlouhodobé působení vlhkosti zapříčiňuje obvykle poškození zhlaví trámu nebo poruší trám v celém jeho rozpětí. [3]

Takto napadené části konstrukce vykazují již trvalé porušení a musí být buď vyztuženy podélnými ocelovými profily nebo v mnohých případech úplně vyměněny.



Obr. 11- a) Poškození zhlaví trámu (vlevo), b) Poškození trámu v celém rozpětí (vpravo) [3]

Tyto komplikace bývají však jen zřídka viditelné na první pohled a první citelné projevy se objeví až při porušení mezního stavu použitelnosti. [3]

Pak jsou **nejčastějšími projevy**: [3] [12]

- nadměrné průhyby
- nadměrné kmitání konstrukce
- nežádoucí deformace

Efektivním řešením těchto projevů je v dnešní době převážně sanace za použití dřevobetonu.

2.2.3 Postup rekonstrukce

Po řádném průzkumu stávající konstrukce, zavedení potřebných opatření proti působení vlhkosti a výměně trvale poškozených prvků stropu, je možné začít s přípravami na položení betonové vrstvy. Pro aplikaci je nutné postupovat v následujících krocích.

a) Podepření

Před začátkem provádění je nutné strop podepřít. Obvykle se používají teleskopické stojky, které jsou umístěny ve třech bodech. Strop je vždy vyrovnán do své původní polohy, avšak z důvodu smršťování betonu a možné změny vlhkosti je konstrukce nadvyšována. Tímto se zamezí počátečnímu průhybu, který by mohl vzniknout ještě před počátkem funkčnosti. [VIII]

Podpěry je možné odstranit až poté, co beton dosáhne 80% své pevnosti. Dle normy platí standardně 28 dní. V případě, že není možné strop podepřít, může být konstrukce také zavěšena za použití speciálně vyvinutých ráků. [VIII]

b) Aplikace dělicí fólie

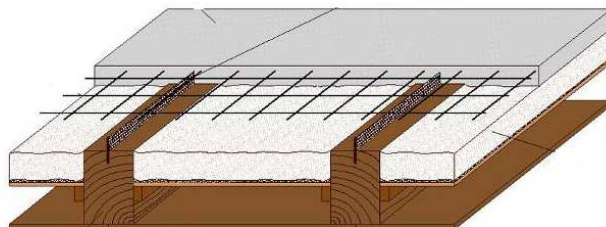
Aby došlo k zabránění přenosu vlhkosti od čerstvého betonu do dřevěné části, musí být jejich styk oddělen nepropustnou folií. V opačném případě by dřevo nasáklo a jeho vlastnosti by byly zásadně narušeny. Jako vhodný materiál se doporučuje folie PE 200, která je dostatečně pevná a nehrozí tolik její proděravění při montáži spřahovacích prostředků. V okrajových částech je folie přeložena a sahá podél zdi do výšky 30 až 40 cm. [VIII] [IX]

c) Aplikace spřahovacích prvků

Dle projektové dokumentace jsou aplikovány spřahovací prostředky, což jsou obvykle šrouby různých druhů. Může být ale také použit plošný spoj, pro který je nutné předem připravit drážku, do které je poté přilepen. [VIII]

Aby mohla být montáž šroubů co nejrychleji a nejefektivněji provedena, jsou používány speciální vrtačky s magnetickou hlavou. Takto se zamezí problémům při šroubování. Dále jsou speciálně navrženy tvary hlav šroubu, aby nedošlo k jejich poškození při montáži a špička šroubu má takový tvar, aby mohly být vruty aplikovány bez předvrtávání a zároveň nedošlo k poškození dřeva. Častým řešením jsou také prvky s dvěma hlavami, čímž se zajistí rovnoměrná hloubka šroubování. Při šroubování je cílem minimalizovat potřebný kroutící moment. [VIII]

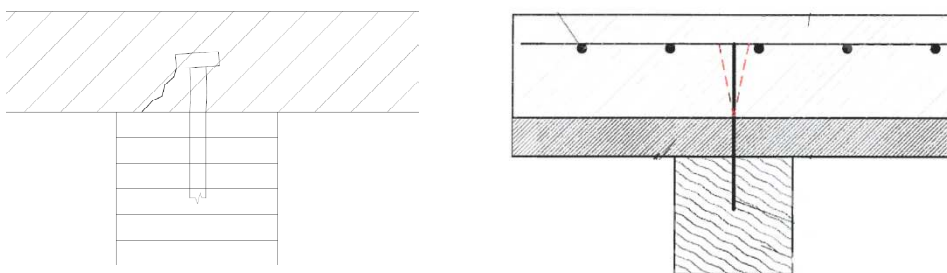
V případě ocelových plošných spojů je po položení fólie do prostřed nosných trámů, pomocí ruční pily, vytvořen zářez o tloušťce 3,2 mm. Poté jsou smykové spoje v předepsaných odstupech do zářezů vlepovány za použití speciálních lepidel. Na závěr je ještě správně utěsněna dělicí fólie. [6]



Obr. 12- a) Aplikace šroubů (vlevo) [18], b) Aplikace plošných spojů (vpravo) [6]

d) Použití výztuže

Z důvodu použití tenké betonové desky o tloušťce 6-10 cm je nutné do její horní části umístit betonářskou výztuž. Funguje zde jako roznášecí vrstva, čímž zabraňuje vzniku trhlin a zároveň působí proti porušení betonu v oblasti spřahovacích prvků od zatížení. Ty jsou umístěny jen pár centimetrů pod povrchem a mohlo by zde dojít k jejich částečné deformaci a hlavně ke vzniku trhlin v betonu. [3][9] Zároveň výztuž napomáhá celkové únosnosti konstrukce a působí příznivě proti vlastnímu kmitání. [9]



Obr. 13- a) Typické porušení betonu bez výztuže (vlevo), b) Beton s výztuží (vpravo) [IX]

Standardně se používá plošná výztuž o minimální kvalitě Q 131, ale možnou variantou místo kari sítě je aplikace prutové výztuže. V posledních několika letech je také velmi často používán vláknobeton, jehož nevýhodou je však dávkování do všech míst tak, aby bylo vyztužení rovnoměrné. Pro tyto potřeby se používá speciální přístroj, který vlákna rovnoměrně rozfoukává. [VIII]

e) Betonáž

V posledním kroku zbývá už jen správně aplikovat betonovou vrstvu. Musí být důkladně položena a utěsněna dělicí fólie, beton při pokládce rovnoměrně zhuťněn a finální vrstva patřičně vyrovnána. Vrstva je plně zatížitelná po uplynutí 28 dnů. [6]

2.2.4 Používané materiály

Vzhledem ke špatným stavům původních konstrukcí mohou jako použitelné materiály zůstat při rekonstrukci pouze nosné trámy a případně také záklop stropu. Nosné trámy i záklop jsou tvořeny zpravidla rostlým dřevem, které však není již možné zařadit do určité třídy pevnosti. Důvodem je stáří a také střídavé vlivy vlhkosti v průběhu dosavadní životnosti. Opravdové hodnoty únosnosti mohou být u těchto prvků pouze změřeny před provedením rekonstrukce. [3]

Další materiály mohou být libovolně voleny dle požadavků konstrukce a v dnešní době je jich již široká škála. Nejvíce používané jsou rozčleněny následovně.

a) Beton

Použití betonu má v dnešní době již mnoho variant, které jsou vhodné pro spřažené konstrukce a vyhovují všem potřebným požadavkům.

1. Standardní beton

Dle výzkumu je stanovená minimální třída pevnosti betonu C 20/25 a maximální velikost zrna by neměla překročit hodnotu 16. (Deutscher Institut für Bautechnik, 2015, str. 2) [5] Zpravidla se však používají betony třídy pevnosti C 25/30 nebo C 30/37. Nutností u standardních betonů je také použití plošné výztuže a to obzvlášť u desek větší tloušťky. [3]

2. Vylehčený beton

Použití vylehčeného betonu bylo ve výzkumu již od roku 1980. Jeho hlavní výhodou bylo snížení vlastní tíhy, která byla nižší o 0,5 kN/m² a více. Hodnota vlastní tíhy se odvíjí od druhu materiálu. [3]

3. Vláknobeton

Již více než 15 let je tento materiál ve výzkumu a také úspěšně používán v praxi. Převážně se používají ocelová vlákna a jejich dávkování se pohybuje v rozmezí od 25 do 50 kg/m³. Minimální hodnota činí 20 kg/m³. Beton je zpracováván jako transportní a na stavbách je možná přímá pokládka.

Vláknobeton vykazuje dostatečnou únosnost a je proto možné takto nahradit nutnou aplikaci výztuže, což je nespornou výhodou. Působí dostatečně i v oblastech okolo spřahovacích prvků a zamezuje tak i trhlinám v betonu, které by jinak v těchto místech vznikaly. [3]

b) Spřahovací prvky

V současné době je již vyvinuté ohromné množství spřahovacích prostředků. Obecně však většina používaných prvků pro rekonstrukce funguje jako mechanický šroubovaný nebo zarážený prvek, který je lokálně umístěn. Až v posledních letech se pro sanaci začaly používat také plošné spoje, které je nutné přilepit do předem připravené drážky. [6]

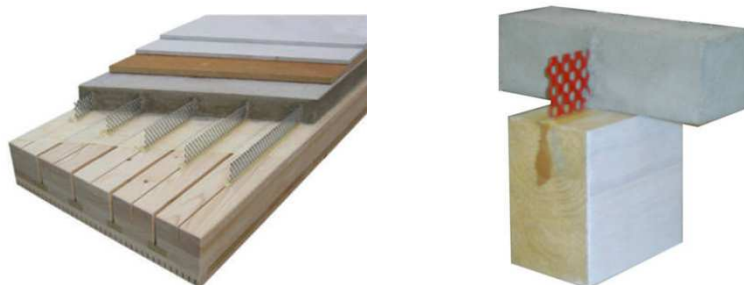
Mezi nejznámější a neúnosnější prvky patří tyto: [19]

- vruty SFS Intec
- HBV- ocelová lišta
- zarážené profily betonářské výztuže
- vruty TCC
- vruty TIMCO II
- lepené profily výztuže

2.3 Použití v novostavbách

Díky své tuhosti a vysoké únosnosti jsou dřevobetonové stropy rovněž používány v novostavbách. Především se uplatňují na velká rozpětí a jsou běžně navrhovány na rozpon až 15 m. K takto únosným stropům však slouží speciálně vyvinuté plošné spřahovací prvky HBV vyvinuté v Německu. [5] V České republice jejich využití není ještě příliš rozvinuté a používají se především spřažení pomocí šroubů, jejichž rozpětí je obvyklé pouze do cca. 8 m.

Tyto novodobé stropy byly vyvinuty převážně během posledních let a jejich hlavním kritériem použitelnosti jsou kromě únosnosti také tepelně-izolační vlastnosti, akustické vlastnosti a vlastní kmitání. Všechny potřebné náležitosti jsou ověřeny a uznány Německým institutem pro stavební techniku. Tímto jsou garantovány hodnoty vzduchové neprůzvučnosti R_w větší než 54 dB a třídy požární odolnosti minimálně R90 pro všechny typy používaných stropů s HBV spřažením. [5]



Obr. 14- a), b) HBV-průběžná lišta [IX] [10]

Ve srovnání se šrouby, které spřahují dřevo a beton pouze bodově po určitém odstupu, působí HBV prvky kontinuálně a je tak dosaženo mnohem lepších vlastností. Jejich aplikace je možná do všech druhů nosných dřevěných vrstev. Jak již bylo

vysvětleno v předchozí části (2.2.3), stačí pouze zhotovit do nosného podkladu drážku, do které je následně HBV lišta přilepena. Standardně se jako nosná část používají tyto prvky: [19]

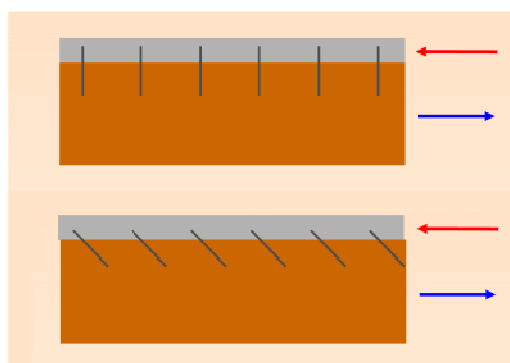
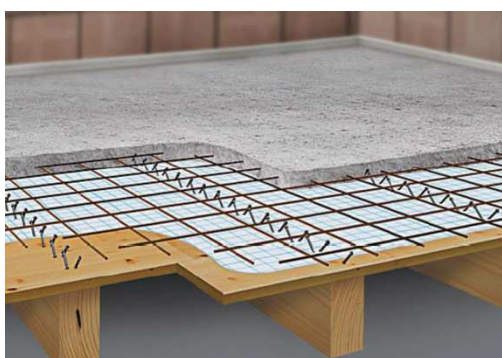
- trámy (KVH, BSH, rostlé dřevo)
- CLT desky
- desková skladba Brettstapel

2.3.1 Typy používaných stropů

Jednotlivé typy stropů se dělí převážně podle použitého spřahovacího prvku. V současnosti si firmy vyvíjí své typizované konstrukce, které jsou však principiálně pouze napodobovány. Z hlediska provádění je postup totožný s postupem při rekonstrukcích, avšak v poslední době je častěji využívána prefabrikace. V následující části budou zmíněny pouze nejvíce obvyklé varianty.

a) Stropy spřažené šrouby

Stejně jako v případě rekonstrukcí, je i pro účely novostavby nabízeno široké množství spřahovacích šroubů. Mezi nejznámější patří například vruty SFS Intec, Würth, Timco II, TCC nebo Elascor. Všechny zmíněné prvky fungují na stejném principu, jejich únosnosti se nijak výrazně neliší a rozdíl je pouze v jejich rozměrech a úhlech, pod kterými působí. Tímto typem spřažení je možné překonat pouze nižší rozpětí ve srovnání s plošnými spoji. [19]



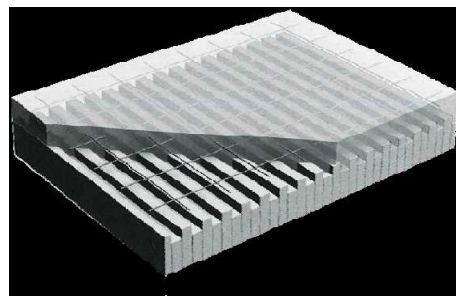
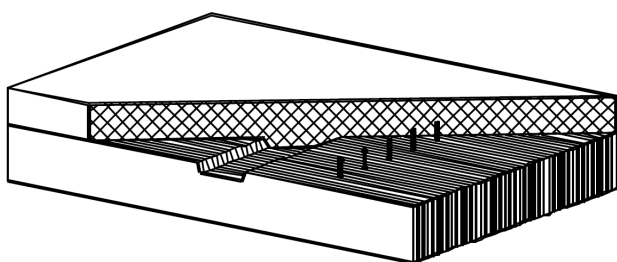
Obr. 15- a) Šroubové spřažení (vlevo) [XVI], b) Úhly působení spřahovacích prvků (vpravo) [XV]

b) Stropy se zářezy

V tomto případě se jedná o systém se vzájemným propojením vrstev, díky čemuž je zvýšena smyková únosnost. Obvyklým nosným materiálem jsou dřevěné

deskové profily, které jsou speciálně upraveny pro vzájemné spojení s dalšími stejnými kusy. Toto spojení vzájemně vytváří souvislou dřevěnou konstrukci zvanou Brettstapel, do níž jsou poté po určitém odstupu frézovány zářezy připravené pro zapuštění betonové vrstvy. Profily se vyrábí v šířce 416 mm, tloušťce od 50 do 210 mm a maximální délce 12 m. Zářezy jsou vyřezány pod určitým úhlem a v případě zatížení smykovou silou dochází k lokálnímu nadzvednutí betonu ze zářezu. Z tohoto důvodu je nutné použít také spřahovací šrouby, které jsou zašroubovány vždy v zářezu a tomuto působení zabraňují. [20] [10]

Podobným řešením, které funguje na tomtéž principu, je opět skladba Brettstapel pomocí dřevěných kolíků, avšak spojovány jsou rozdílně vysoké lamely. Výsledkem je opět vznik účinných zářezů, které však nejsou frézovány pod úhlem a proto nedochází k nadzvedávání betonových těles. [20]



Obr. 16- a) Skládané profily se zářezy (vlevo) [20], b) Střídavě vysoké profily (vpravo) [10]

c) Stropy spřažené HBV lištami

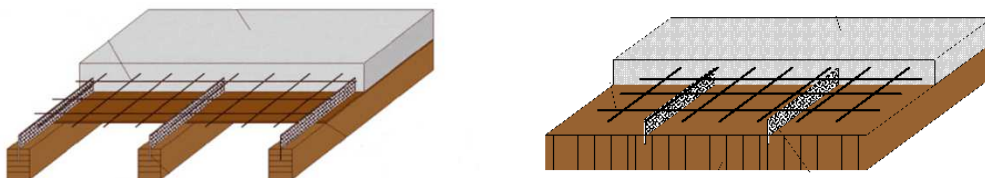
Typ stropu s HBV lištami je v současnosti v zahraničí nejrozšířenější variantou spřažení. Hlavní výhodou je kontinuální působení, což umožňuje použití na velká rozpětí. Díky velkému rozmachu byly vyvinuty přímo typizované stropy, jejichž skladba je upravována pouze pro daná rozpětí a zatížení. Mezi nejvíce propagované patří následující typy. [6]

1. HBV - Trámový strop

Principiálně má tento typ stropu stejnou skladbu jako klasické trámové stropy po rekonstrukci a jeho montáž probíhá také shodně. Výhodou je však možnost prefabrikace a následné uložení přímo na stavbě, kde dojde pouze k betonáži na bednění. To může být buď klasické deskové nebo ho můžou tvořit prefabrikované betonové dílce. Trámový strop je vhodný do rozpětí 10 m. [6] [19]

2. HBV - Deskový strop

Jedná se o masivní strop, který je vyráběn z lepeného lamelové dřeva BSH, CLT nebo skládaných profilů Brettstapel. V případě potřeby je možné mezi vrstvu betonu a nosného dřeva aplikovat izolační vrstvu do tloušťky 30 mm. Rozpětí tohoto stropu je obvyklé do 12 m a jeho hlavní výhodou je rychlá montáž. [6] [19]



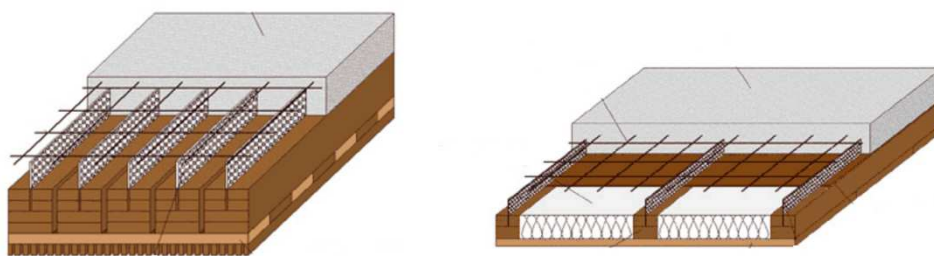
Obr. 17- a) HBV-Trámový strop (vlevo) [6], b) HBV-Deskový strop (vpravo) [6]

3. HBV - Akustický strop

Akustické stropy HBV jsou speciální variantou, kde nosnou část tvoří akustický dřevěný prvek od firmy Lignotrend, který vykazuje kromě nadstandardních akustických vlastností také vysokou únosnost. Akustický prvek se vyrábí v různých druzích dřeva a má také velmi atraktivní vzhled v podhledové části. Jeho použití je možné až do rozpětí 15 m. [6] [19]

4. HBV - Bednový strop

Tato varianta sestává z klasických dřevěných trámů, které jsou však ze spodní strany doplněny o spojitou staticky působící vrstvu, která zvyšuje celkovou únosnost. Tato vrstva je obvykle tvořena třívrstevnými deskami. Na horní straně trámů je použita krycí vrstva z OSB desek, čímž vzniká mezi oběma vrstvami dutý prostor, který je vhodný pro použití izolace a zároveň snižuje vlastní tíhu konstrukce. [6] [19]



Obr. 18- a) HBV-Akustický strop (vlevo) [6], b) HBV-Bednový strop (vpravo) [6]

5. HBV - Strop Vario

Varianta Vario je tvořena nosnými trámy z lepeného lamelového dřeva, které jsou vzájemně spojené pouze třívrstevnými deskami. Takto zvolený průřez odráží výrazně zvuk a tak stropy Vario vykazují výborné akustické vlastnosti. [6]

2.3.2 Prefabrikace

Hlavním důvodem prefabrikace stavebních dílů nebo v některých případech i celých stropů je urychlení celé výstavby a nákladů s tím spojených. Výhodou je celkové zhotovení v dílně, kde jsou pro výrobu ideální podmínky. Tím je možné dosáhnout také výrazně větší preciznosti výroby a prefabrikované díly jsou tedy kvalitnější.

V případě dřevobetonových stropů jsou prefabrikovány buď jen dřevěné plošné prvky jako například akustický prvek Lignotrend, CLT panely a skládané profily Brettstapel nebo také kompletně hotové stropní desky, které jsou již zabetonované. Poté jsou již jen snadno transportovány na realizovanou stavbu, kde jsou usazeny pomocí jeřábu. Dřevěné nosné prvky je nutné po jejich aplikaci přímo na stavbě zabetonovat, ale i tak je výrazně urychlena realizace. [IX] [6]

Pro celé prefabrikované stropní panely je nutný rovněž návrh transportních kotev. Ty jsou kvůli stabilitě a rovnoměrnému rozvržení sil navrhovány do 4 bodů na okrajích odkud jsou spojeny do jednoho bodu uprostřed. Mimo jiné musí být také dodrženo jejich správné umístění při transportu a skladování.

Jako zcela prefabrikovaný typ stropu se dnes používá **HBV-Žebrový strop**, který je kompletně vyroben v dílně. Výroba probíhá opačným způsobem a není použito tedy žádné bednění jako u ostatních typů. Nejprve je do formy vylita betonová deska, do které se až poté z horní části usadí dřevěné trámy se spřahovacími prvky. [IX] [6]



Obr. 19- a) HBV-Žebrový strop - výroba (vlevo) [IX], b) HBV-Žebrový strop - aplikace (vpravo) [IX]

Další novodobou variantou, která byla vyvinuta firmou Holzbau Gröber je prefabrikovaný strop s označením **HBV-TT-Stropní systém**. Tento systém funguje stejně jako trémové stropy, kde nosné trámy tvoří profily z lepeného lamelového dřeva. Rozdílné je však bednění, které je nahrazeno filigránovými deskami. Ty jsou

usazeny mezi nosné trámy, ve kterých je rovněž použita HBV lišta, nad filigránovou výztuž jsou aplikovány kari sítě a následně je celá konstrukce zalita betonem. Díky tomu dochází k vzájemnému spřažení všech dílčích částí. Výhodou je bezpochyb výrazná rychlost výstavby a možnost precizního zhotovení dílů v ideálních podmínkách. [19]



Obr. 20- a) HBV-TT-Stropní systém (vlevo) [19], b) Filigránové panely (vpravo) [19]

Prefabrikované systémy jsou stále ve vývoji, výzkum se zaměřuje právě na toto odvětví a v následujících letech dojde pravděpodobně k aplikaci dalších novinek, které problematiku dřevobetonových stropů opět posunou kupředu.

2.3.3 Novodobé trendy

V současnosti se stále vyvíjí různé průlomové technologie, které by zlepšily vlastnosti konstrukce a zároveň usnadnily její montáž. Mezi novodobé trendy patří například tyto systémy.

Systém Würth

Principem tohoto systému je oddělená prefabrikace dřevěné nosné vrstvy a železobetonové desky. Obě části jsou poté dopraveny na stavbu, kde jsou jednoduše smontovány dohromady díky předem připraveným otvorům pro speciální šrouby. Ty jsou produktem firmy Würth, která celý systém produkuje. Šrouby jsou navrženy pod úhlem 45 ° pro lepší stabilitu. Hlavními výhodami jsou vynechání mokrého procesu na stavbě, po sešroubování není dále nutné konstrukci podpírat a není nutné čekat 28 dní na plnou pevnost betonu. Odpadá také aplikace separační fólie a dřevěná vrstva není ohrožena vlhkostí, jako je tomu u standardního provedení. Při celém provádění musí být však kladen vysoký důraz na přesnost montáže. [21] [10]



Obr. 21- a),b) Systém Würth - montáž [10]

Křížový žebrový strop - X floor

Jedná se o konstrukci, která působí nosně ve dvou směrech. Tvoří ji nosné trámy v hlavním směru a kolmo na ně hranoly o menším průřezu. Vše je vzájemně spojeno a ze spodní strany podbito deskovým bedněním. Betonářská výztuž je zavedena přímo skrz jednotlivé dřevěné prvky přes předvrtané otvory. Tento celý panel je zhotoven jako prefabrikát a následně dopraven na stavbu, kde již dojde pouze k jeho betonáži. Výhodou je rychlost výstavby, nevýhodou však nutné zavedení instalací v rámci prefabrikace. [10]



Obr. 22- Strop X-floor [10]

Další trendy se stále objevují a mezi velmi zajímavé systémy patří například také sřažení průřezu pomocí lepidla, kdy je na dřevěnou konstrukci aplikována tekutá vrstva a na ni přímo beton v rovněž tekutém stavu. [10]

V poslední době jsou také velmi rozvíjeny vylehčené betony, u kterých se jako plnivo používají dřevěné třísky. Tímto je výrazně snížena vlastní tíha, uplatňují se ekologické aspekty a z důvodu použití odpadního produktu je celá konstrukce ekonomičtější. Tyto materiály jsou však teprve podrobovány laboratorním zkouškám. [10]

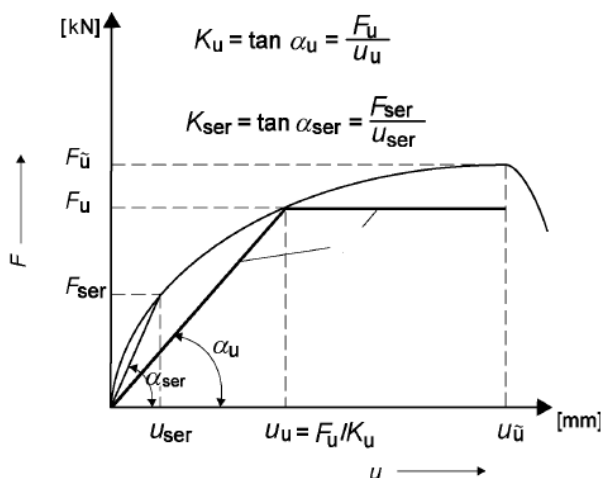
2.4 Spřahovací prvky dřevobetonových průřezů

Pro správné využití tohoto systému je nejdůležitější použitý typ spřažení, který má zásadní vliv na výslednou tuhost celého průřezu. Jen při vhodném zvolení spřahovacích prvků může být naplno využito vlastností společného působení dvou materiálů, což je v daném případě velká pevnost betonu v tlaku a dřeva v ohybu. V současné době je proto vyráběno široké spektrum různých výrobků, které jsou navrženy v různých formách a vykazují vysoké hodnoty únosnosti.

2.4.1 Charakteristika vlastností spřahovacích prvků

Při působení smykové síly mezi vrstvami průřezu dochází k zatěžování spřahovacího prvku a jeho elastické a následně i plastické deformaci. Aby však bylo možné charakterizovat hodnotu, kterou prvek odolává působící síle, je nutné získat vyjádření pomocí určitého koeficientu. Touto charakteristikou, která je specifická pro každý prvek, je modul prokluzu K . [16]

Tato hodnota se pro přesné určení vyhodnocuje pouze z lineární el deformační oblasti a celý průběh je tak oproti reálnému průběhu diagramu idealizován. Pro potřeby výpočtu a návrhu je však toto určení dostatečné. Modul prokluzu je tedy jednoduše vyjádřen jako podíl působící síly a deformace a jeho jednotkou je N/mm. Hodnota modulu prokluzu může být rovněž vyjádřena jako tangens úhlu, který svírá lineární přímka s vodorovnou osou grafu. [23] [16]



Obr. 23- Modul prokluzu [23]

Pro návrh a posouzení mezních stavů, je však nutné hodnoty modulu prokluzu rozlišovat. Reálně změřené hodnoty platí pouze pro mezní stav použitelnosti a pro návrh v mezním stavu únosnosti jsou tyto hodnoty z důvodu bezpečnosti redukovány. Platí tedy, že stejnou deformaci vyvozuje již menší působící síla. [23]

Modul prokluzu v mezním stavu použitelnosti se značí K_{ser} a určuje se následovně:

$$K_{ser} = \tan \alpha_{ser} = \frac{F_{ser}}{u_{ser}}$$

Pro mezní stav únosnosti se používá hodnota K_u , jejíž určení je totožné nebo se dá rovněž vyjádřit jako hodnota K_{ser} snižená o 1/3. Platí tedy:

$$K_u = \tan \alpha_u = \frac{F_u}{u_u} \text{ nebo } K_u = \frac{2}{3} \times K_{ser} \text{ [23]}$$

U mnohých používaných prvků jsou již hodnoty této charakteristiky vyjádřeny pomocí vzorců, které byly odvozeny na základě laboratorních měření, což platí například pro hřebíky, kolíky nebo šrouby. Pro aplikaci nově vyvíjených prvků je nutné testování a schválení zkušebním ústavem. [16]

2.4.2 Mechanické spřahovací prvky

Mezi mechanické prvky se řadí ty, které je nutné do nosné vrstvy aplikovat pomocí určité montáže. Jsou to obvykle vruty, zarážené ocelové profily nebo například kolíky.

a) Vruty SFS Intec

Vruty s označením VB 48 7,5 mm byly speciálně vyvinutým prvkem pro dřevobetonové spřažení a jsou v současnosti jedním z nejpoužívanějších produktů v České republice, ale i ve světě. Původně byly vyráběny pouze v délce 100 mm, ale pro zlepšení únosnosti je dnes používaná varianta v délce 165 mm. [15]

Jsou vyráběny z ušlechtilé oceli a opatřeny dvojitou hlavou, která zaručuje stejnoměrnou výšku oblasti prvku v betonu. Dále jsou tvořeny speciálním závitem tak, aby mohly být aplikovány bez předvrtání a hlavou Torx pro zamezení poškození při montáži. [15]

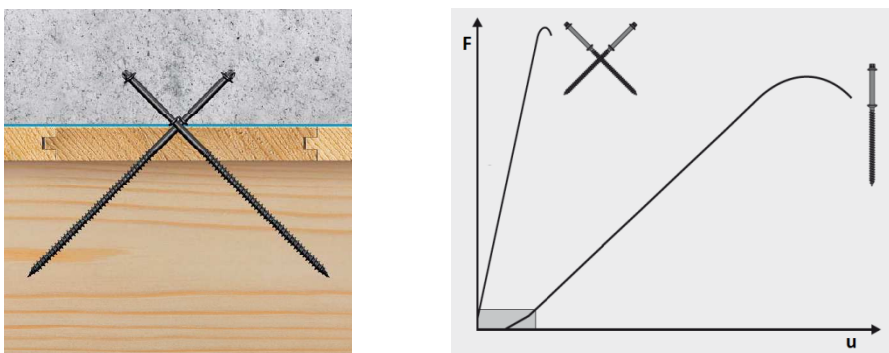
Dle minimálních stanovených požadavků je nutné dodržet tloušťku betonové vrstvy alespoň 60 mm (doporučená 80 mm), vzdálenost mezi jednotlivými prvky > 80

mm a vzdálenost prvku od okraje trámu > 30 mm. Vrutů jsou vždy aplikovány jako pár a mohou být zavrtány k nosnému prvku pod úhlem buď 90 ° nebo 45 ° / 135 °, kdy jeden vrut působí v tlaku a druhý v tahu. Takto je možné zaručit rovnoměrnou únosnost v obou směrech. Z laboratorních měření však vyplývá, že výrazně únosnější je působení spřáhovacích prvků pod úhlem 45 ° / 135 °. (viz. Obr. 24 b) [15]

Mezi další předpoklady použití patří dodržení minimální pevnostní třídy betonu C 20/25 s maximální velikostí zrna 16 mm a jehličnatého dřeva, které podléhá pevnostní třídě alespoň C 24. Při aplikaci dřevěného prvku nesmí jeho vlhkost překročit 20 %. [15]

Modulu prokluzu se pro daný prvek liší podle délky vrutu a použití mezivrstvy, která může být maximálně 50 mm. Hodnoty jsou specifikovány výrobcem a pro vrut o rozměrech 7,5x165 mm se K_{ser} pohybuje v rozmezí 7,5-25 kN/mm pro pár. [15]

Výrobce rovněž specifikuje smykovou únosnost T_K , která pro pár vrutů 7,5x165 mm nabývá hodnot od 15,1 do 18,1 kN. [15]



Obr. 24- a) Vrutů SFS Intec (vlevo), b) Aplikace spřažení pod různými úhly (vpravo) [15]

b) Vrutů TIMCO II

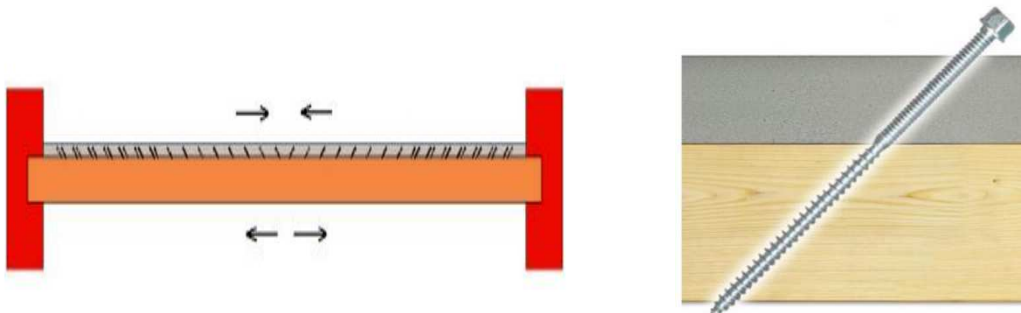
Tento prvek je další variantou bodového spřažení pomocí šroubů a je používán převážně v Rakousku, Německu a Švýcarsku. Průměr vrutu je 7,3 mm, délka 150 mm a je pokryt speciální protikorozní ochranou. Má rovněž závit uzpůsobený k aplikaci bez předvrtání a v horní části, která zasahuje do betonu, je jeho dřík opatřen zářezy pro účinnější spřažení. Hlava vrutu je šestihránná a umožňuje snadnou aplikaci. [xv]

Rozestup vrutů musí být alespoň 80 mm a vzdálenost od okraje trámu 30 mm. Výrobce dále určuje minimální výšku betonové vrstvy 70 mm a tloušťku bednění 30 mm. Podmínky použití materiálů jsou stejné jako u vrutů SFS Intec a platí minimální pevnostní třída betonu C 20/25 a dřeva C 24. [25]

Aplikace prvků může být rovněž prováděna buď pod úhlem 90 ° nebo 45 ° k nosné vrstvě. Vrutky působící pod 45 ° však musí směřovat do půlky rozpětí pouze na jednu stranu a v druhé půlce na stranu opačnou. Takto je zaručena rovnoměrná oboustranná účinnost. [XV] [25]

Modul prokluzu je deklarován dle měření výzkumného ústavu a pro úhel 45 ° je vyjádřen vztahem $K_{ser} = 130 \times l_{ef}$, kde l_{ef} vyjadřuje účinnou délku závitu v nosné dřevěné vrstvě. Tato hodnota činí standardně 100 mm a K_{ser} je tedy přibližně 13 kN/mm pro jeden prvek. [25]

Smyková únosnost T_K závisí rovněž na účinné délce, ale také na hustotě použitého dřeva ρ_K a je vyjádřena jako $T_K = 83 \times l_{ef} \times \left(\frac{\rho_K}{380}\right)^{0,8}$. Pro minimální pevnostní třídu dřeva C 24 je pak hodnota T_K rovna 7,8 kN pro jeden prvek. [25]



Obr. 25- a) Systém Timco II (vlevo), b) Vrut Timco II (vpravo) [XV]

c) Vrutky TCC

Vrutky TCC jsou produktem švýcarské firmy Com-ing a zkratka TCC vyjadřuje timber concrete composite. Jedná se o ocelové vrutky se speciální ochrannou vrstvou a postranními výstupky v části zasahující do betonu, které zlepšují celkové spřažení. Prvky jsou vyráběny v různých rozměrech dle potřeby a mezi typické patří například 7,3 x 150 mm, 8 x 180 mm nebo 12 x 210 mm. [24] [XVII]

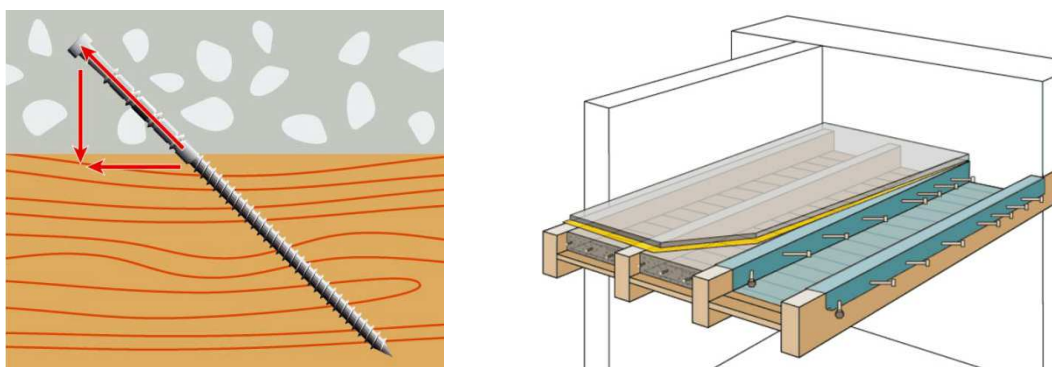
Z hlediska podmínek použití platí pro tento produkt stejné požadavky jako pro Timco II a SFS Intec. Musí být dodržena minimálně pevnostní třída dřeva C 24, pevnostní třída betonu C 20/25, rozestup mezi prvky > 80 mm, odstup od hrany trámu > 30 mm, minimální výška betonové vrstvy 70 mm a vlhkost dřeva < 20 %. [24]

Aplikace může být provedena dvěma různými variantami a to buď jako systém TCC-Topfloor, kde jsou vrutky zavrtávány klasicky z horní strany do trámu přes bednění, nebo jako systém TCC-Slimfloor, kdy je zapuštěno bednění stropu mezi trámy a vrutky

se šroubují ze strany trámu do míst nad sníženým bedněním. [XVII]

Působení prvku je rovněž možné pod úhlem 90° , ale i 45° , které je častější. Pro tuto variantu je modul prokluzu pro jeden prvek vyjádřen dle výzkumu jako $K_{ser} = 400 \times (\rho_K \times d)^{0,2} \times (l_{ef})^{0,4}$, kde ρ_K vyjadřuje hustotu použitého dřeva, d průměr prvku a l_{ef} účinnou délku závitu. Pro dřevo C 24 a vrut o nejmenším průměru 7,3 mm má K_{ser} hodnotu 12,1 kN/mm. [24]

Smyková únosnost závisí na stejných parametrech a její vyjádření je $T_K = 0,45 \times (d)^{0,5} \times (l_{ef})^{0,9} \times (\rho_K)^{0,8}$. Pro minimální možné podmínky je tato hodnota 8,3 kN. [24]



Obr. 26- a) Vrut TCC (vlevo), b) TCC Slimfloor (vpravo) [XVII]

d) Šrouby do zářezů

V případě použití stropů se zářezy, které jsou obvykle skládané z deskových profilů Brettstapel, dochází ke zhotovení výřezů pod určitým úhlem. Vlivem působení větších smykových sil mají poté tyto útvary tendenci ke zdvihu, a proto je nutné tomuto působení zabránit. [10]

Řešením je použití speciálních šroubů, které jsou opatřeny tvarovanou podložkou pod hlavou šroubu a jsou zavrtávány přímo do zářezu. Takto je betonové těleso v zářezu přitlačeno a je zamezeno jeho zdvihu. Zároveň dochází k přenosu podélné smykové síly na sílu tlakovou, kterou přebírá styk betonu a dřeva v zářezu. [20]

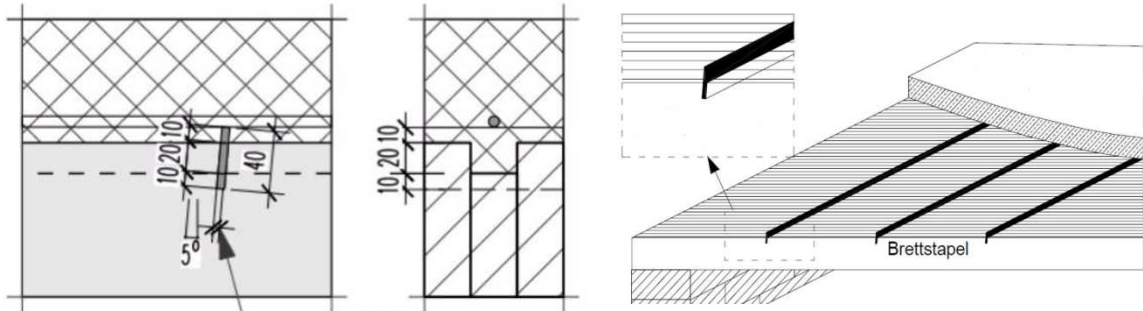
Pro tyto účely byly vyvinuty speciální šrouby Hilti, avšak ve výzkumu je srovnáváno také použití jiných spřahovacích prvků, jako jsou například vruty SFS Intec. [20]

e) Plošný ocelový zámek

Spřažení pomocí zářezů může být provedeno také pomocí střídavě skládaných profilů Brettstapel rozdílné výšky průřezu. V tomto případě jsou vytvořené zářezy

kolmé, a tak nedochází ke zdvihu betonového tělesa. Problém však může nastat v jejich kolmém směru, kde není zabráněno smyku. [10]

Jako opatření proti tomuto působení byl vytvořen plošný ocelový zámek, což je podélný ocelový profil třídy S 235 o výšce 40 mm a tloušťce 5 mm. Je uložen do předem vyřezané drážky, která je zhotovena pod úhlem 5 ° do hloubky 30 mm pod hranu vyššího profilu, a následně je do ní zarážěn. Celkový přesah do betonu poté činí 10 mm pro vyšší profil a 30 mm pro profil nižší. [20] [10]



Obr. 27- a), b) Plošný ocelový zámek [20]

2.4.3 Lepené spřahovací prvky

Lepené spřažení je spíše novodobou variantou, avšak svými vlastnostmi a působením může i výrazně překonávat spřažení mechanická. Průlomovou technologií je například lepená spřahovací lišta HBV.

a) HBV spřahovací lišta

Tento prvek je v současnosti jedním z nejpoužívanějších v Německu, je využíván převážně k prefabrikaci a díky jeho vysoké únosnosti také na stropy o velkých rozponech. Jeho aplikace je rovněž možná při rekonstrukcích. [5]

Jedná se o lištu z taženého kovu, která je opatřena protikorozním ochranným nátěrem a je vyráběna v rozměrech dle typu konstrukce a potřeby. Minimální délka prvku je však dle výzkumného ústavu stanovena na 200 mm a výška na 90 mm, kdy musí prvek zasahovat do dřevěné části alespoň 40 mm a do betonu 50 mm. Mezi dřevem a betonem může být použito bednění, které však nesmí přesáhnout tloušťku 30 mm. [6]

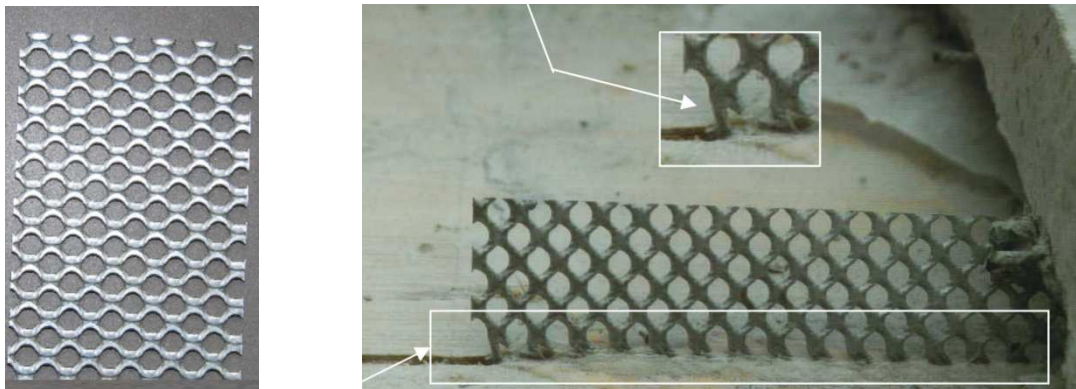
Mezi dalšími vymezeními patří minimální příčný rozstup mezi prvky 80 mm a vzdálenost od hrany alespoň 40 mm. Z hlediska použití materiálů je rovněž jako u předchozích prvků nutné dodržet pevnostní třídu betonu C 20/25, pevnostní

třídu dřeva C 24 a zvolená lepicí složka musí podléhat normě. Dále je nutné zachovat teplotu v oblasti lepeného spoje menší než 50 ° C. [6]

Modul prokluzu je stanoven dle výzkumu vzorcem $K_{ser} = 825 - 250 \times (d_{zs})^{0,2}$, kde hodnota d_{zs} vyjadřuje tloušťku vrstvy mezi betonem a dřevem. Při dodržení maximální povolené tloušťky mezivrstvy se hodnota K_{ser} pohybuje v rozmezí 0,33 - 0,825 kN/mm pro mm délky prvku. [6]

Smyková únosnost závisí také pouze na tloušťce použité mezivrstvy a je vyjádřena jako $T_k = 160 - 8 \times (d_{zs})^{0,5}$. Její hodnoty se budou tedy pohybovat od 0,12 do 0,16 kN pro mm délky prvku. [6]

V rámci výzkumu a ověřování prvku byla prokázána dostatečná únosnost lepeného spoje a jak vyplývá z obrázku (27 b) dochází prvotně k deformaci lišty. [IX]



Obr. 27- a) HBV spřahovací lišta (vlevo) , b) Porušení HBV lišty (vpravo) [IX]

b) Lepená ocelová výztuž

V rámci lepeného spřažení není výjimkou ani použití ocelových výztužných prutů. Pro ty jsou nejprve vyvrtány otvory pro snadné uložení a následně je aplikována lepicí složka, díky které může ocelová výztuž naplno vykonávat svoji funkci. Obvykle je však nutné aplikovat výztuž v malém rozestupu a proto je provádění relativně pracné. [10]

3. Laboratorní zkouška

3.1 Příprava

V rámci praktického přínosu této práce byla v následující části experimentálně ověřena kvalita a únosnost dvou spřahovacích prvků dřevobetonové konstrukce. Vybrány byly speciální vruty VB-48-7,5x165 společnosti SFS Intec, které jsou dnes v České republice nejvíce používány a standardní šrouby s šestihrannou hlavou LUX-8x140. Pro tyto účely byl navržen model laboratorního vzorku, který byl zvolen na základě prostudovaných prací dřívějších pokusů na zahraničních univerzitách. Dále byly vybrány materiály vhodné pro tento pokus a provedena výroba finálního vzorku.

3.1.1 Model vzorku

Z hlediska funkčnosti testovacích laboratorních přístrojů byl navržen dřevobetonový spřažený spoj tak, aby byla co nejlépe možná proveditelnost pokusu. Základem jsou 2 dřevěné hranoly, mezi nimiž se nachází betonová vrstva, která je vysunutá o 100 mm nad výšku hranolů tak, aby bylo možné následně betonový průřez zatížit silou, která by simulovala smykové zatížení, jenž působí v dřevobetonových stropech za reálných podmínek.

Rozměry jednotlivých prvků byly navrženy následovně:

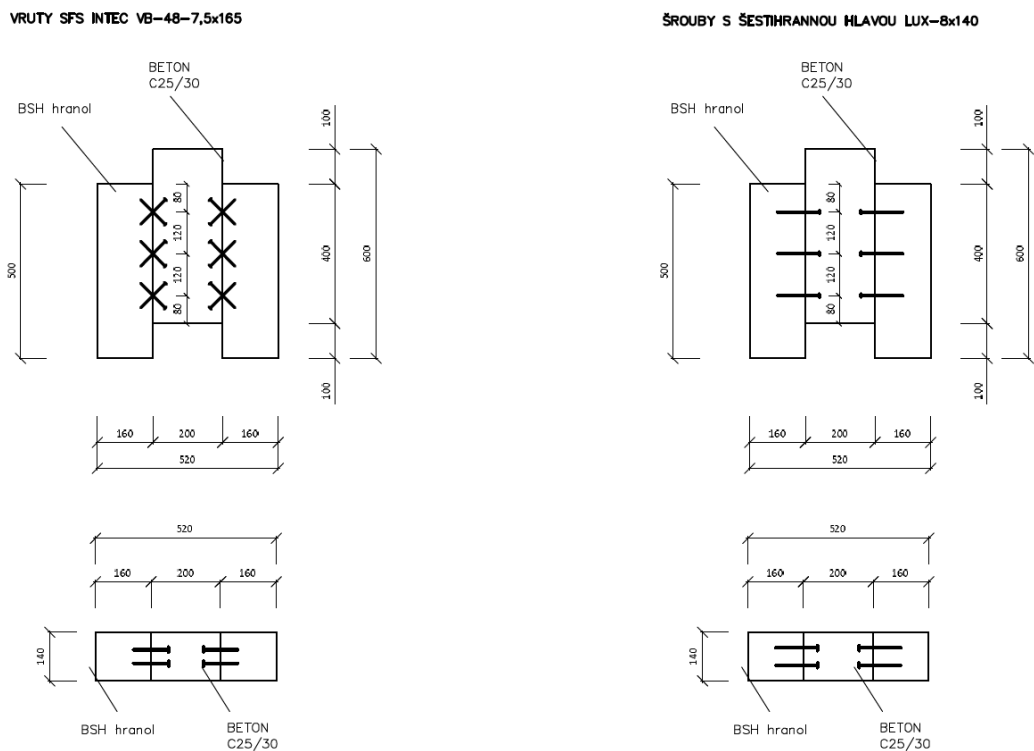
- dřevěné hranoly - délka: 160 mm, šířka: 140 mm, výška: 500 mm
- betonové těleso - délka: 200 mm, šířka: 140 mm, výška: 500 mm

Rozteče šroubů byly zvoleny dle programu společnosti SFS Intec HBV (Holz-Beton-Verbundsysteme VB), kde podle návrhu optimalizace je minimální rozestup vrutů 80 mm a optimální z praktického konstrukčního hlediska přibližně 120 mm pro nejvíce smykově zatížené oblasti. Pro zkušební vzorek jsou tedy použity tyto hodnoty, které splňují minimální požadavky.

Styčná plocha mezi dřevem a betonem má délku 400 mm a jsou zde na každé straně použity 3 páry spřahovacích prvků, mezi nimiž je rozestup 120 mm.

Vruty VB-48-7,5x165 jsou navrženy pod úhlem 45° a šrouby LUX-8x140 kolmo k ploše

pod úhlem 90°. Celkový model vzorku je dále podrobně znázorněn v následujícím schématu.



Obr. 28- Model zkušebního vzorku

3.1.2 Materiály

Základem pro úspěšný průběh laboratorní zkoušky je volba kvalitních materiálů, u kterých nedojde při finálním měření potřebných vlastností k jinému nežádoucímu typu deformace.

Z tohoto důvodu byly zvoleny a použity následující **materiály**:

a) Dřevo

Díky firmě Dřevostavby Biskup byly získány hranoly BSH (lepené lamelové dřevo) o rozměrech 160x140 mm, které jsou tvořeny čtyřmi vrstvami smrkového dřeva o jednotné tloušťce 40 mm. Dle normy jsou začleněny následovně:

- třída provozu: 2
- třída pevnosti: GL 24

Pro účel laboratorní zkoušky je dále nutné určit pevnost, tuhost a hustotu zvoleného materiálu.

Pro homogenní lepené lamelové dřevo třídy GL24 platí následující **charakteristické hodnoty**: [13]

Pevnost v ohybu: $f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu: $f_{t,0,g,k} = 16,5 \text{ MPa}$ $f_{t,90,g,k} = 0,4 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku: $f_{c,0,g,k} = 24 \text{ MPa}$ $f_{c,90,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku: $f_{v,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

Modul pružnosti: $E_{0,g,mean} = 11,6 \text{ GPa}$

Modul pružnosti ve smyku: $G_{g,mean} = 0,72 \text{ GPa}$

Hustota: $\rho_{g,k} = 380 \text{ kg/m}^3$

Součinitel materiálu: $\gamma_M = 1,25$



Obr. 29- Hranol BSH [X]

b) Beton

Při reálném konstruování stropů se standardně používá beton třídy C 25/30. Proto byl pro účely této práce od Experimentálního centra fakulty stavební ČVUT navržen beton odpovídající této třídě. **Složení betonu** bylo následující:

Číslo	Materiál	kg/m ³
1	CEM I 42,5 (Mokrý)	330
2	Kamenivo 0-4 mm (Dobříň, těžný)	860
3	Kamenivo 4-8 mm (Zbraslav, drť)	510
4	Kamenivo 8-16 mm (Zbraslav, drť)	455
5	Voda (pitná)	190
6	Plastifikátor (Stachement 2000)	0,83

Tab. 1- Složení betonu

Příprava proběhla za odborné asistence, avšak pro ověření, zda beton skutečně odpovídá dané třídě, byla vyrobena zkušební tělesa. V případě úspěšnosti ověření by měl beton vykazovat minimálně následující **charakteristické hodnoty** dle normy: [14]

Pevnost v tlaku: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{ck,cube} = 30 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu: $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$

Střední hodnota pevnosti v tlaku: $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$

Střední hodnota modulu pružnosti: $E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$

c) Spřahovací prvky

Vrut VB-48-7,5x165

Tento spřahovací prvek je speciálně vyvinutý pro dřevobetonové stropy a je vyroben z ušlechtilé oceli, která obsahuje 0,2-0,6 % uhlíku. Vykazuje velkou tvrdost a tahovou pevnost f_t v rozmezí 1000-1400 Mpa. Hustota této oceli nabývá hodnoty 7800 kg/m³. [XI] Pro montáž spoje pod úhlem 45°/135° deklaruje výrobce následující **hodnoty**: [15]

Modul prokluzu: $K = 25\,000 \text{ N/mm}$

Charakteristická smyková únosnost: $T_k = \min(18\,100, 25\,100 - 200 \times 0) = 18\,100 \text{ N}$

Anfangsverschiebungsmodul C pro Schraubenpaar in N/mm				
Typ	VB-48-7,5 x 100		VB-48-7,5 x 165	
Neigungswinkel	45°/90°	45°/135°	45°/90°	45°/135°
Formel	8 000 · 100 t _s	25 000 · 350 t _s	8 000 · 100 t _s	25 000 · 350 t _s
bei t _s	0	8 000	25 000	8 000
in mm	5	7 500	23 250	7 500
	10	7 000	21 500	7 000
	15	6 500	19 750	6 500
	20	6 000	18 000	6 000
	25	5 500	16 250	5 500
	30		5 000	14 500
	35		4 500	12 750
	40		4 000	11 000
	45		3 500	9 250
	50		3 000	7 500

Charakteristischer Wert T _k der Schubtragfähigkeit pro Schraubenpaar in N				
Typ	VB-48-7,5 x 100		VB-48-7,5 x 165	
Neigungswinkel	45°/90°	45°/135°	45°/90°	45°/135°
Formel	12 000 · 100 t _s	16 600 · 200 t _s	min (12 800; 17 200 · 100 t _s)	min (18 100; 25 100 · 200 t _s)
bei t _s	0	12 000	16 600	12 800
in mm	5	11 500	15 600	18 100
	10	11 000	14 600	18 100
	15	10 500	13 600	18 100
	20	10 000	12 600	18 100
	25	9 500	11 600	18 100
	30		12 800	18 100
	35		12 800	18 100
	40		12 800	17 100
	45		12 700	16 100
	50		12 200	15 100

Obr. 30- Počáteční modul prokluzu C (vlevo), charakteristická smyková únosnost (vpravo) [15]

Hodnota t_s vyjadřuje tloušťku záklopu, která je však v případě laboratorní zkoušky nulová.

Šroub LUX 8x140

Výrobce tohoto produktu je německá firma LUX-Tools a prodává se jako standardní prvek ve stavebních potřebách. Jedná se o univerzální šroub s šestihrannou hlavou, který je tvořen z nerezové oceli třídy A2 a je určen pro připojování

konstrukčních prvků. Jeho celková délka je 140 mm a dřík je rozdělen na závitový o délce 80 mm a plný o délce 60 mm. Průměr šroubu činní 8 mm. [XII]

Produkt není výrobcem blíže specifikován, není tedy možné předběžně určit smykovou únosnost prvku T_k a tato hodnota bude zjištěna až po provedení deformační zkoušky. Modul prokluzu se předběžně určí ze vzorce stanoveného normou. [13]

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \times d_{ef}}{23} = \frac{380^{1,5} \times 7,2}{23} = 2,32 \text{ kN/mm}$$

Hodnota ρ_m zde vyjadřuje průměrnou hustotu dřevěného prvku, v němž šroub působí, a d_{ef} účinný průměr šroubu v oblasti závitů. Průměr je tedy snížen a jeho hodnota je uvažována následovně. [13]

$$d_{ef} = 0,9 \times d = 0,9 \times 8 = 7,2 \text{ mm}$$

Toto vyjádření je pouze přibližné a výsledná hodnota se může pro dřevobeton lišit.

3.1.3 Postup přípravy

Prvním krokem přípravy bylo sehnání všech potřebných materiálů. Vruty VB-48-7,5x165 poskytla pro studijní účely společnost SFS Intec, lepené lamelové dřevo firma Dřevostavby Biskup a suroviny potřebné pro beton zajistilo Experimentální centrum fakulty stavební. Šrouby LUX 8x140, které jsou volně k dostání, byly zakoupeny ve stavebním řetězci OBI.

Následovala montáž spřahovacích prvků do hranolů BSH, která byla vykonána svépomocí. Nejprve byly aplikovány šrouby LUX 8x140 do předem rozměřených a vyznačených bodů. Pro správnou funkčnost bylo nutné provést předvrtání děr za použití vrtáku 6 mm. Poté byly šrouby zavrtány tak, aby byl celý dřík se závitěm ve dřevě a jejich poloha byla pod úhlem 90° k dřevěným hranolům. Postupně bylo vyrobeno 6 kusů, které ve výsledku tvoří 3 vzorkové modely.

Montáž vrutů VB-48-7,5x165 proběhla za stejného postupu rozměření, vruty však byly šroubovány do jednotlivých bodů přímo bez předvrtání, jak stanovuje výrobce. Tento prvek je na rozdíl od předchozích šroubů opatřen dvojitou hlavou, a tak je zajištěna konstantní část délky vrutu pro spřažení. Montáž byla v tomto případě provedena pod úhlem 45°/135° pro každý pár.



Obr. 32- a) Montáž šroubů LUX 8x140 (vlevo,)b) Montáž vrtů VB-48-7,5x165 (vpravo)

V průběhu byl brán zřetel na co největší přesnost montáže, avšak z důvodu domácích podmínek se mohou úhly šroubů mírně lišit a v případě šroubů LUX 8x140 bylo zjištěno, že jednotlivé kusy vykazují vzájemně drobné odchylky v délkách. Tato odchylka však vznikla ze strany výrobce.

Vzhledem k podobným odchylkám ze strany montážních pracovníků na reálných stavbách by však zmíněné chyby neměly pro účely této práce výsledek příliš ovlivnit. Ve srovnání s opravdovou stropní konstrukcí jsou zde aplikovány pouze 3 páry spřažení a celková hodnota odchylky by měla být zanedbatelná.

Dalším krokem byla výroba bednění pro následnou betonáž, které bylo zkonstruováno pracovníky Střediska provozně-technický služeb fakulty stavební ČVUT. Pro tyto účely byly použity dřevotřískové desky s hladkým spojitým povrchem pro snadnější odbedňování a vše bylo uchyceno krátkými montážními vruty do BSH hranolů.



Obr. 33- Bednění vzorku

Po zabetnění již bylo vše nachystáno a mohla být rovnou provedena betonáž. Vybrán byl beton třídy C 25/30 a jeho složení bylo propočítáno pracovníky Experimentálního centra a následně celá betonáž provedena pod jejich vedením.

Beton byl vyroben pomocí horizontální laboratorní míchačky ve dvou dávkách po 65 litrech. Vše proběhlo za normálních laboratorních podmínek.

Pro obě záměsi bylo zvlášť naváženo následující **množství surovin**:

Číslo	Materiál	Hmotnost
1	CEM I 42,5 (Mokrý)	21,5 kg
2	Kamenivo 0-4 mm (Dobříň, těžný)	55,9 kg
3	Kamenivo 4-8 mm (Zbraslav, drť)	33,1 kg
4	Kamenivo 8-16 mm (Zbraslav, drť)	29,6 kg
5	Voda (pitná)	12,4 kg
6	Plastifikátor (Stachement 2000)	0,05 kg

Tab. 2- Složení betonu

Z první dávky byly přibližně do 3/4 vyplněny všechny zkušební vzorky a dále částečně zhutněny tyčí. Z druhé dávky byla forma kompletně vyplněna a celý vzorek se zhutnil ponorným vibrátorem, díky čemuž došlo k rovnoměrnému vyplnění betonu v celém vzorku. Poté byly vzorky ponechány k tvrdnutí po dobu 28 dní.



Obr. 34- a) Suroviny pro výrobu betonu (vlevo), b) Hutnění pomocí ponorného vibrátoru (vpravo)

Z důvodu ověření vlastností betonu byly z druhé dávky odlity ještě zkušební krychlové a trámkové formy. Konkrétně 6 krychlí a 6 trámků a vše bylo následně zhutněno na vibračním stole.



Obr. 35- Odlití zkušebních betonových těles

Po 2 dnech byly ověřovací vzorky odbedněny a ponechány k dalšímu zrání betonu. Krychle pomocí speciální stolice a tlaku vzduchu, trámky manuálně za použití náradí. Hlavní zkušební tělesa v bedně zůstala, aby bylo zabráněno smršťování betonu vlivem vysychání. Proti působení tohoto vlivu je bednění ideálním řešením.



Obr. 36- a) Odbedněná zkušební tělesa (vlevo), b) Detail odbedněného tělesa (vpravo)

Dřevobetonové zkušební vzorky byly odbedněny až 26. den zrání betonu, aby mohly být přichystány k deformačním zkouškám. Vzorky skutečně vykazovaly minimální známky smrštění betonu vlivem vysychání.



Obr. 37- a), b) Odbedněné dřevobetonové vzorky

3.2 Deformační zkouška

Deformační zkouška byla provedena po 28 dnech zrání betonu a nejprve došlo k ověření pevnostní třídy betonu, poté k samotným zkouškám spřažených dřevobetonových těles.

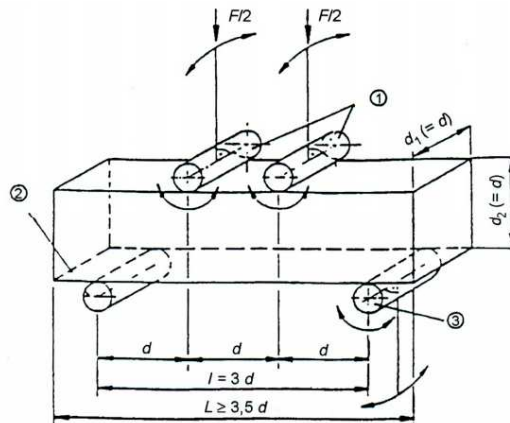
3.2.1 Zkouška pevnostní třídy betonu

a) Zkoušení betonu v tahu ohybem

Pro účely této zkoušky bylo vyrobeno 6 těles o rozměrech 100 x 100 x 400 mm, která byla následně podrobena ohybovému působení v laboratorním lisu.

Lis funguje na principu čtyřbodového zatížení, které tvoří 2 podpory vzdálené

300 mm a 2 zatěžovací břemena, jejichž vzájemný rozestup je 100 mm. Tímto je těleso uloženo s přesahem 50 mm na každé straně a působení břemen je rozděleno po třetinách.



Obr. 38- Zkušební lis [26]

Před provedením zkoušky byla u každého tělesa změřena výška h , jenž se může lišit kvůli nepřesnosti při plnění formy, a každý vzorek byl zvážen. Následně se z těchto hodnot vyjádřila objemová hmotnost ρ_V podle tohoto vzorce.

$$\rho_V = \frac{m}{h \times 400 \times 100}$$

Po změření maximální síly, které dokáže těleso odolat, došlo ke konečnému vyjádření maximální charakteristické pevnosti betonu v tahu za ohybu, jenž podléhá následující rovnici.

$$f_{ct} = \frac{F \times l}{d_1 \times d_2^2}$$

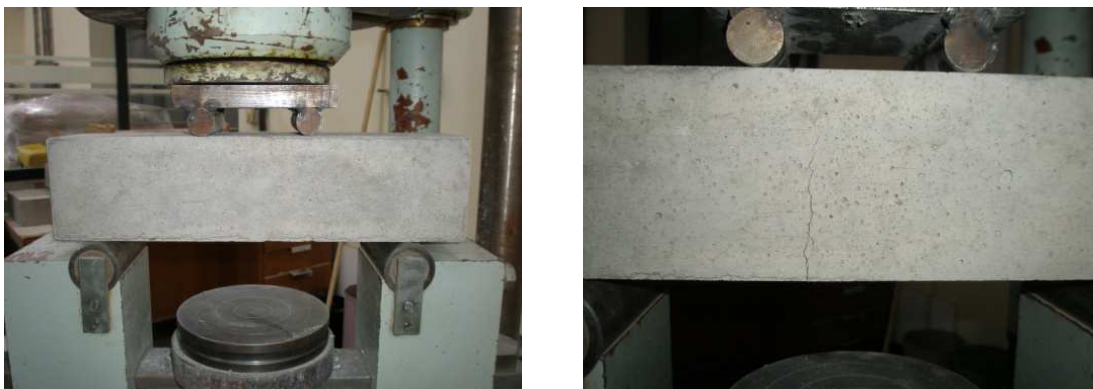
Kde F vyjadřuje hodnotu maximální působící síly, l vzdálenost mezi podporami, d_1 šířku průřezu a d_2 výšku průřezu. [26]

Vzorky byly zkoušeny kolmo na směr hutnění a výsledné hodnoty jsou vyjádřeny v následující tabulce.

Číslo	Výška vz. h	Hmotnost vz. m	Obj.hmotnost ρ_V	Max. síla F	Pevnost f_{ct}
1	101,0 mm	9,14 kg	2262 kg/m ³	14,6 kN	4,3 MPa
2	99,0 mm	9,07 kg	2290 kg/m ³	15,1 kN	4,6 MPa
3	100,8 mm	9,185 kg	2278 kg/m ³	14,2 kN	4,2 MPa
4	100,4 mm	9,16 kg	2281 kg/m ³	16,1 kN	4,8 MPa
5	97,9 mm	9,15 kg	2337 kg/m ³	13,6 kN	4,2 MPa
6	100,3 mm	9,085 kg	2264 kg/m ³	15,6 kN	4,7 MPa

Tab. 3- Pevnost betonu v tahu ohybem

Z tabulky je patrné, že jednotlivé vzorky měly minimální rozptyl a **průměrná hodnota tahové pevnosti vychází 4,5 MPa**, což splňuje minimální požadavky betonu pevnostní třídy C 25/30, jenž má průměrnou hodnotu pevnosti v tahu f_{ctm} pouze 2,6 MPa. [14]



Obr. 36- a) Zkouška betonu v tahu ohybem (vlevo), b) Vznik trhliny (vpravo)

b) Zkoušení betonu v tlaku

Pro tlakovou zkoušku bylo rovněž zhotoveno 6 krychlových zkušebních těles o rozměrech 150 x 150 x 150 mm a byla u nich provedena zkouška v lisu. Těleso bylo vždy uloženo centricky a tlak byl rovnoměrně rozložen na celou plochu.

Stejně jako u předchozí zkoušky byla před provedením změřena výška tělesa h , hmotnost m a vypočítána objemová hmotnost ρ_V . Po provedení byla ze zařízení odečtena maximální působící síla a vyjádřena hodnota charakteristické pevnosti betonu v tlaku f_{ck} podle následujícího vzorce.

$$f_{ck} = \frac{F}{A}$$

Kde F vyjadřuje maximální působící sílu a A plochu, na kterou působí lis. Výsledné hodnoty ze zkoušky jsou uvedeny v následující tabulce. [27]

Číslo	Výška vz. h	Hmotnost vz. m	Obj.hmotnost ρ_V	Max. síla F	Pevnost f_{ct}
1	149,8 mm	7,6 kg	2255 kg/m ³	780 kN	34,7 MPa
2	147,5 mm	7,475 kg	2252 kg/m ³	820 kN	37,1 MPa
3	150,6 mm	7,63 kg	2252 kg/m ³	790 kN	35,0 MPa
4	147,8 mm	7,45 kg	2240 kg/m ³	800 kN	36,1 MPa
5	148,4 mm	7,38 kg	2210 kg/m ³	800 kN	35,9 MPa
6	147,8 mm	7,5 kg	2255 kg/m ³	810 kN	36,5 MPa

Tab. 4- Pevnost betonu v tlaku

U vzorků byl rovněž dodržen menší rozptyl a **průměrná hodnota tlakové pevnosti** je rovna hodnotě **35,9 MPa**, což rovněž splňuje požadavky betonu C 25/30 jehož charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku odpovídá 30 MPa. [14]

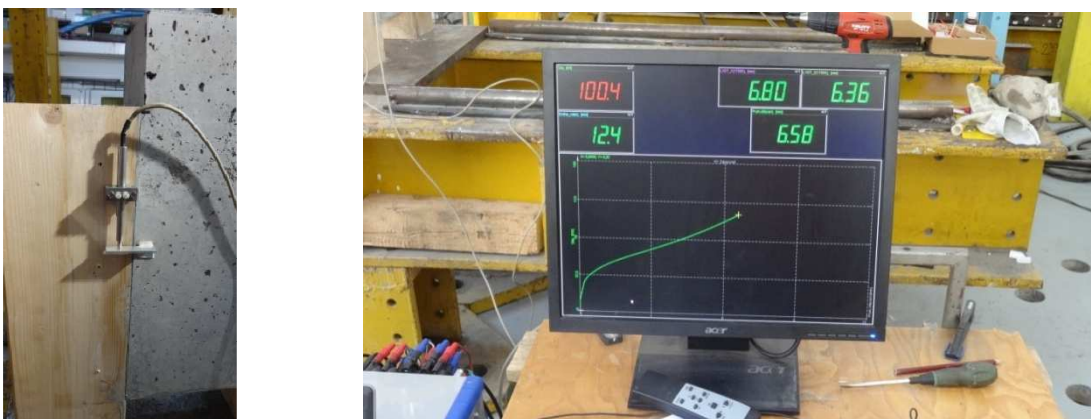


Obr. 37- a) Zkouška betonu v tlaku (vlevo), b) Vznik trhlin (vpravo)

Dle měření beton celkově splňuje minimální požadované parametry pevnostní třídy C 25/30 a je téměř možné jej zařadit do vyšší pevnostní třídy C 30/37.

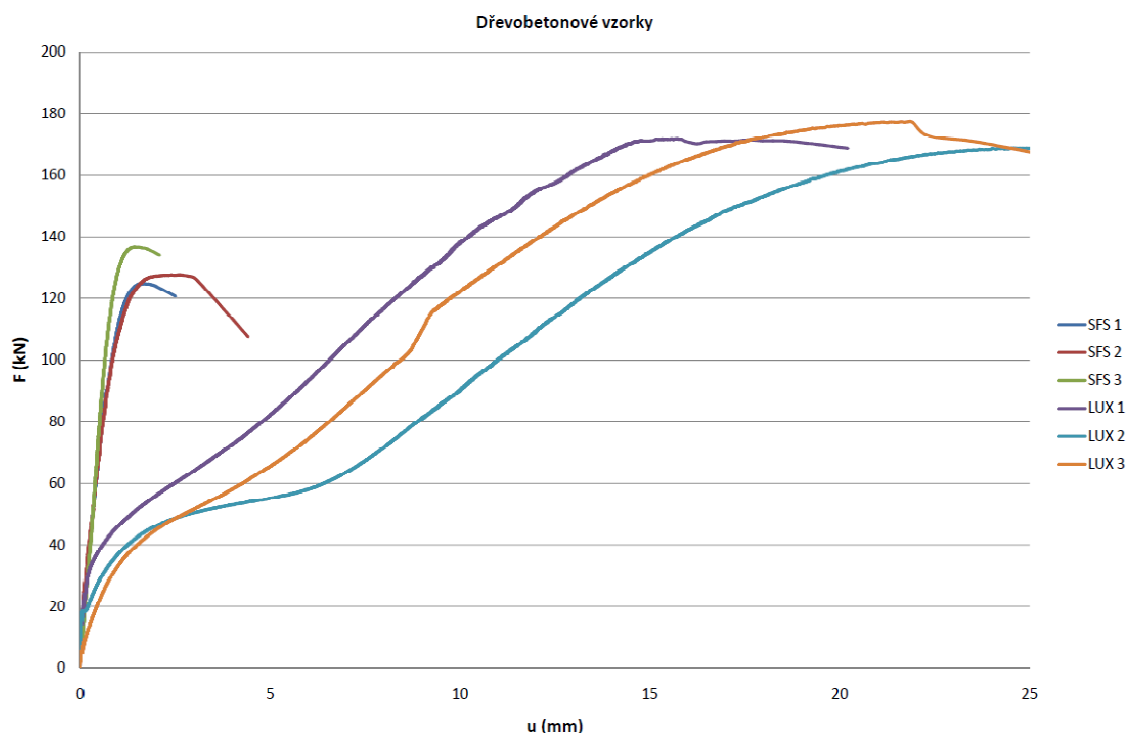
3.2.2 Zkouška dřevobetonových vzorků

Celkově bylo vyrobeno 6 kusů dřevobetonových modelů, z nichž 3 byly spřaženy pomocí vrtů SFS Intec a další 3 za použití šroubů LUX. Všechny vzorky byly testovány v hydraulickém válci Inova o maximální hodnotě zatížení 630 kN. Tento přístroj měří v průběhu působení aktuální hodnotu síly dle nastaveného rozsahu a zároveň také aktuální posun válce v určitých časových intervalech. Pro přesnost měření byl rovněž každý vzorek opatřen 2 nezávislými čidly, z nichž byla zároveň vyjádřena aktuální průměrná hodnota. V průběhu byly veškeré hodnoty vykreslovány do grafu závislosti posunutí na působící síle a vše uloženo pro pozdější vyhodnocení.



Obr. 37- a) Měřící čidlo (vlevo), b) Záznam měřených hodnot (vpravo)

Postupně bylo změřeno všech 6 vzorků, zdokumentován průběh deformace a způsob porušení. Během měření bylo rovněž možné zaznamenat maximální hodnoty únosnosti a vzájemného posunutí, které jsou vyjádřeny v následující příloze.



Graf 1- Dřevobetonové vzorky

Vzorek	Maximální únosnost	Maximální posunutí
Vzorek 1: LUX 1	171,4 kN	17,69 mm
Vzorek 2: LUX 2	168,9 kN	25,24 mm
Vzorek 5: LUX 3	177,4 kN	21,79 mm
Vzorek 3: SFS 1	124,7 kN	1,74 mm
Vzorek 4: SFS 2	127,6 kN	2,61 mm
Vzorek 6: SFS 3	136,6 kN	1,42 mm

Tab. 5- Výsledky měření

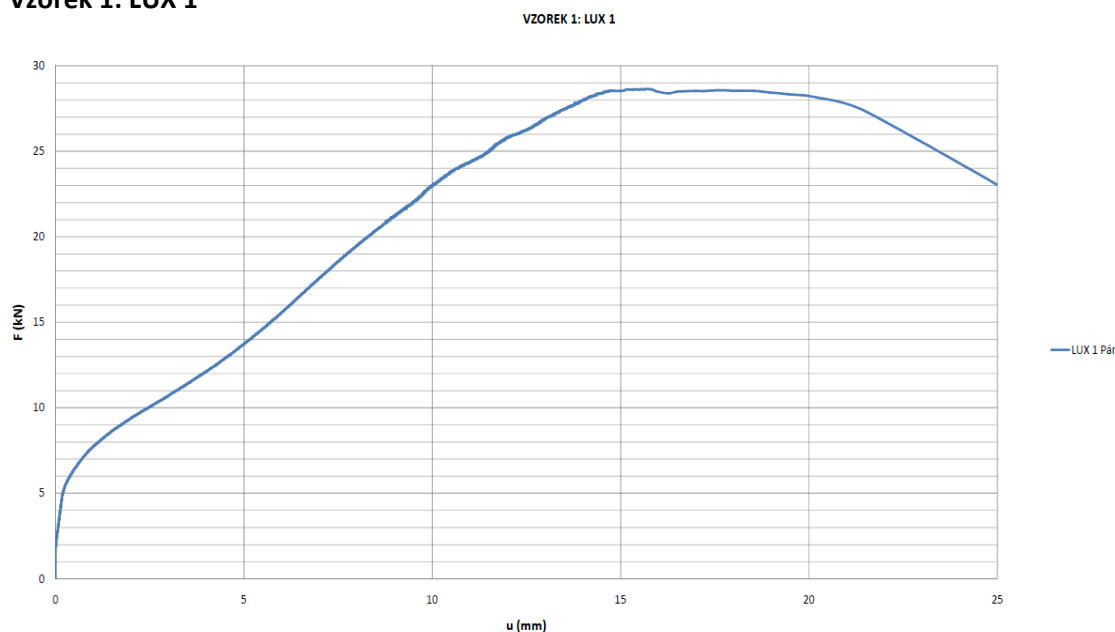
Z vyobrazených výsledků vyplývá, že vruty SFS Intec splňují parametry, které udává výrobce. U zkoumaných vzorků jsou výsledky relativně podobné a vykazují jen malý rozptyl.

Šrouby LUX překročily očekávanou únosnost o více než 70 kN, avšak vykazují oproti vrutům SFS téměř 10 násobný posun a již při hodnotě přibližně 30 kN dochází u všech vzorků k nevratným deformacím. Ty mohou být způsobeny náhlým dotlačením závitů ve dřevě, což je pravděpodobně způsobeno předvrtáním. Až v další části

průběhu grafu dochází opět k lineárnímu chování a je využita tahová pevnost spřahovacího prvku až do úplného porušení.

V následující části budou prezentovány jednotlivé vzorky včetně jejich porušení, které jsou vyjádřeny vždy pro jeden spřahovací pár.

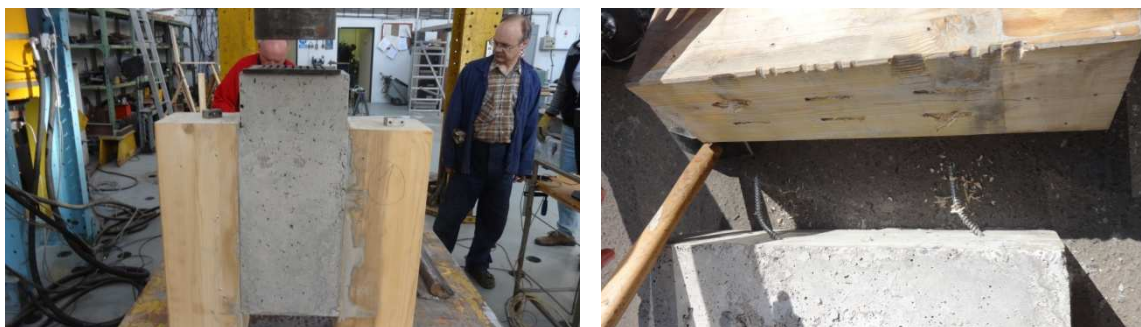
Vzorek 1: LUX 1



Graf 2- Vzorek 1

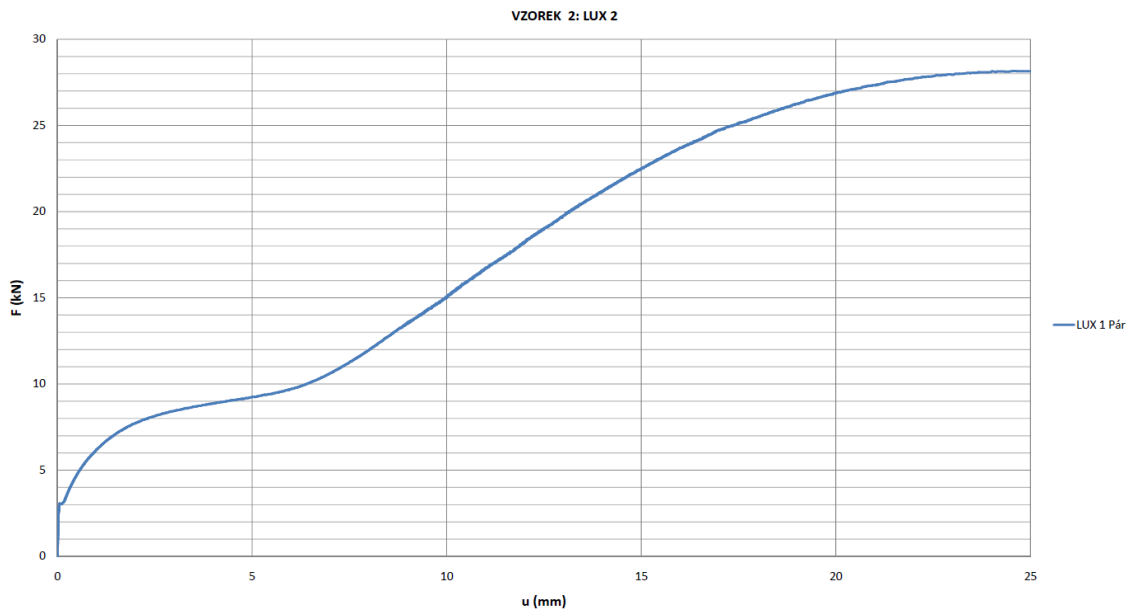
U vzorku 1 probíhala lineární oblast pouze do 5,4 kN, poté nastaly nevratné deformace vlivem dosednutí závitu ve dřevě. Dále pokračovalo lineární působení téměř až do úplného porušení, které nastalo při působící síle 28,6 kN na jeden pár šroubů.

Z průřezu vzorku po zatěžovací zkoušce bylo zjištěno převážně porušení šroubů ve stříhu, některé prvky však byly pouze vytaženy. Nelineární porušení může být způsobeno nekvalitou spřahovacích prvků nebo špatným provedením montáže, kdy u těchto prvků mohlo dojít prvotně k vytažení.



Obr. 38- a) Vzorek 1 (vlevo), b) Porušení vzorku 1 (vpravo)

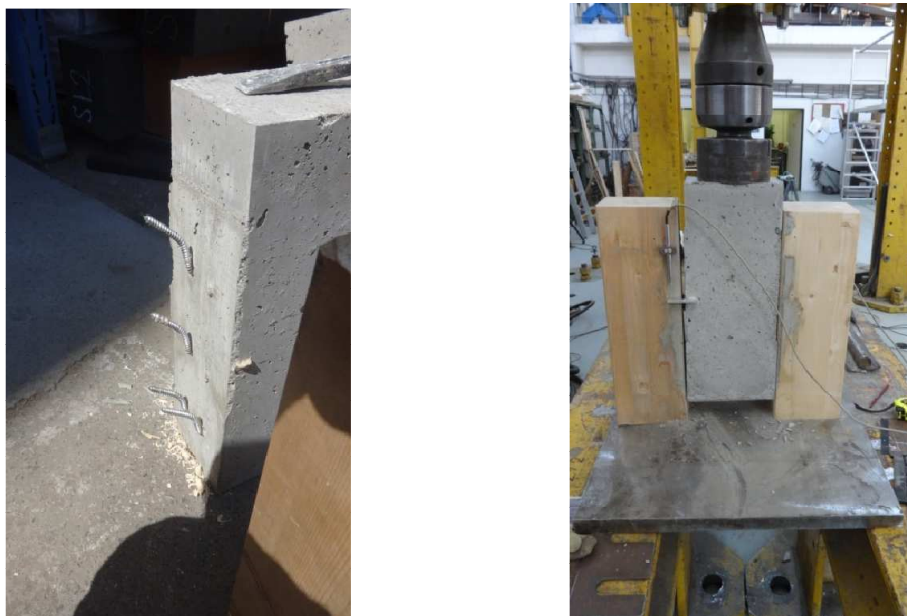
Vzorek 2: LUX 2



Graf 3- Vzorek 2

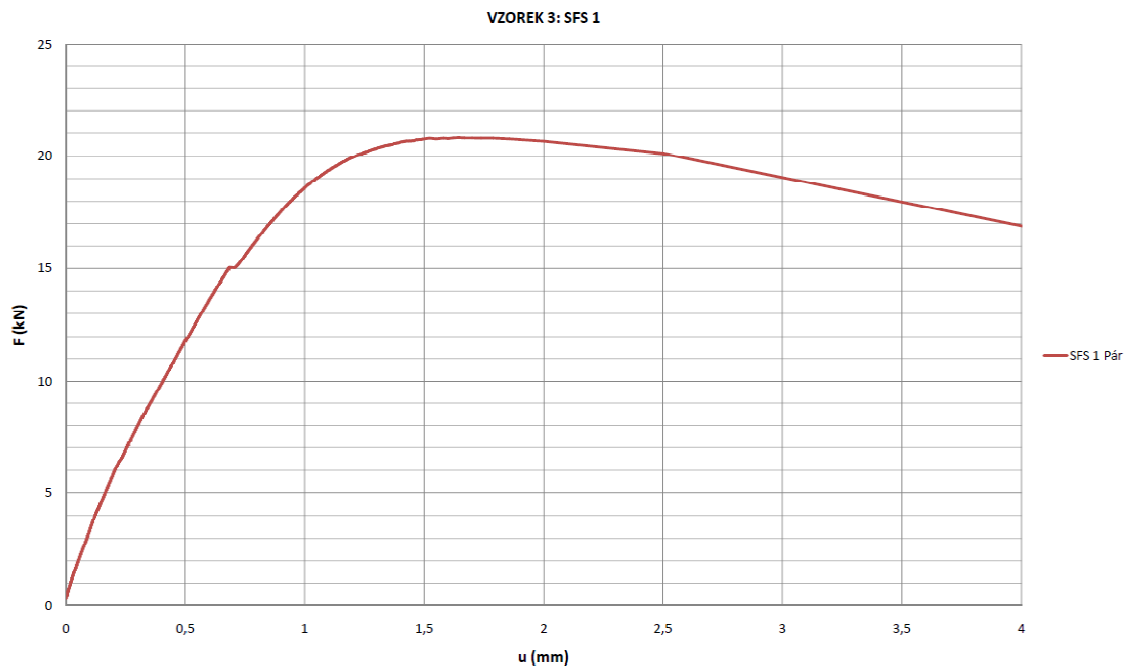
V počáteční fázi grafu je evidentně chybně zaznamenána hodnota posunu, což je způsobeno nepřesnou aplikací měřicího zařízení. Pro vyjádření modulu prokluzu bude tedy tento vzorek vykazovat znatelnou odchylku. Odhadovaná lineární oblast probíhá do 5,8 kN, dále dochází k trvalé deformaci a úplné porušení vzorku nastane při hodnotě 28,1 kN.

Vzorek 2 byl porušen převážně na vytažení, což může být opět vlivem více faktorů, které však pravděpodobně souvisí s montáží a kvalitou dřeva.



Obr. 39- a) Porušení vzorku 2 (vlevo), b) Kolaps vzorku 2 (vpravo)

Vzorek 3: SFS 1



Graf 4- Vzorek 3

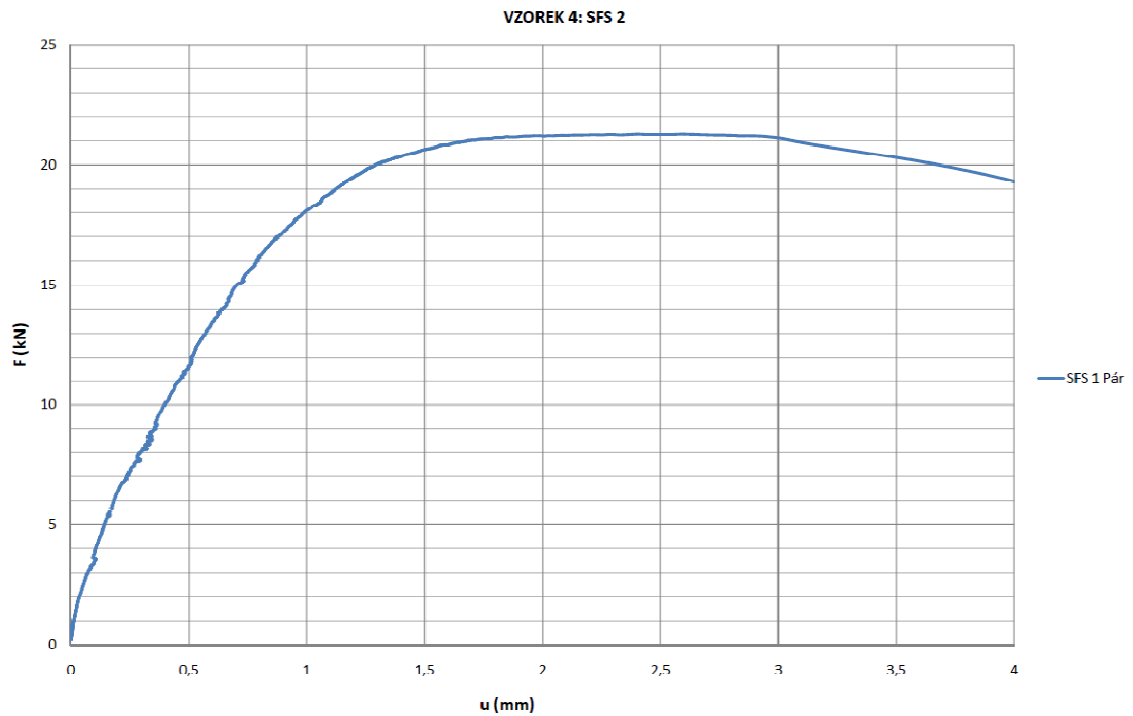
Průběh diagramu páru vrutů SFS vykazuje linearitu až do hodnoty 18,6 kN a odpovídá tak tomu, co garantuje výrobce. Maximální síla, při které nastane kolaps, je 20,8 kN, avšak již od hodnoty 18,6 kN nastávají trvalá porušení, a tak nemůže být tato síla uvažována jako smyková únosnost prvku.

Deformované spřahovací prvky byly po zkoušce prozkoumány a došlo výhradně k vytažení. Vruty SFS Intec však i po deformaci pevně držely v obou spojených částech a nebylo možné jednotlivé kusy oddělit. V případě porušení by tedy stropní konstrukce ztratila svou tuhost, nedošlo by však k úplnému kolapsu.



Obr. 40- Porušení vzorku 3

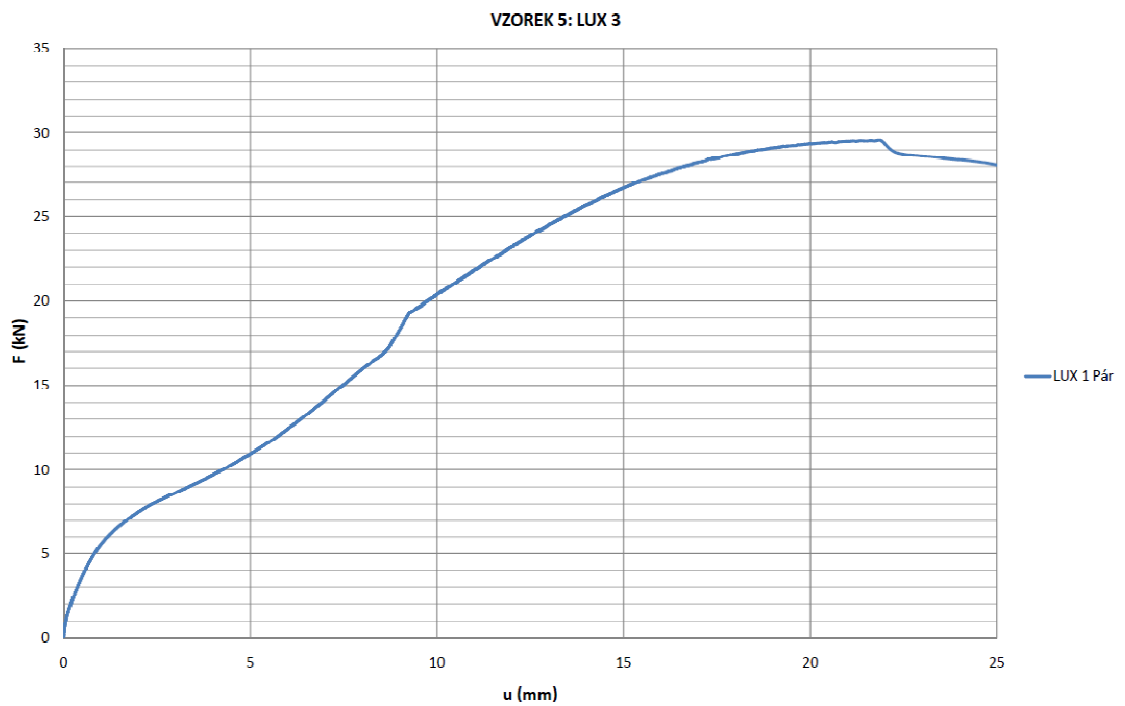
Vzorek 4: SFS 2



Graf 5- Vzorek 4

Průběh grafu u tohoto vzorku odpovídá a lineární oblast probíhá do hodnoty 18,2 kN. Kolaps nastává až při síle 21,3 kN.

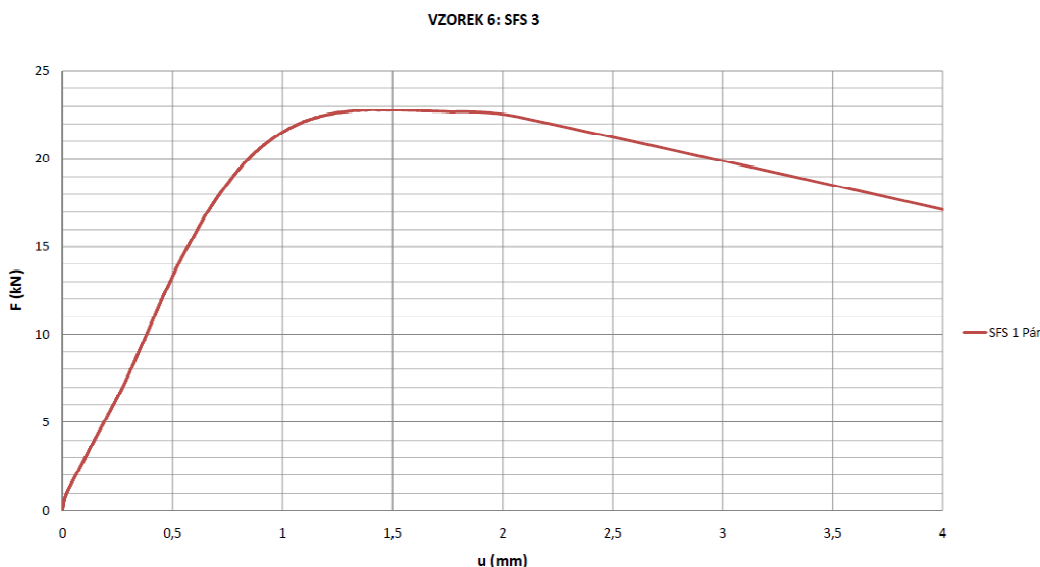
Vzorek 5: LUX 3



Graf 6- Vzorek 5

U vzorku 5 byl průběh zatížení zaznamenán správně a lineární oblast probíhala do hodnoty 5,4 kN. Dále byl průběh velmi podobný jako u ostatních vzorků se spřažením LUX. Maximální hodnota zatížení jednoho páru byla 29,6 kN.

Vzorek 6: SFS 3



Graf 7- Vzorek 6

Průběh grafu odpovídá, lineární působení probíhalo do hodnoty 20,1 kN a kolaps nastal při síle 22,8 kN.

3.2.3 Výsledné charakteristiky

Hlavními výstupními charakteristikami tohoto měření jsou smyková únosnost jednoho páru T_k a modul prokluzu K_{ser} . Aby byly hodnoty vhodné pro reálný návrh a zároveň byla umožněna dlouhodobá použitelnost konstrukce, je nutné vyloučit trvalé deformace. Ty jsou v grafech zaznamenány nelinearitou a proto je hodnota T_k uvažována jako maximální působící síla v lineární oblasti.

Modul prokluzu K_{ser} je rovněž určen pouze z oblasti, která v grafu vykazuje linearitu, což je minimálně od bodu $0,1 \times F_{max}$ nebo i vyššího v případě výrazné odchylky. [28] Horní hranicí je vždy bod maximální smykové síly T_k . Výsledná hodnota bude vyjádřena jako průměr dílčích výsledků z měření v dané oblasti.

Vruty SFS

V následující tabulce budou vyhodnoceny smykové únosnosti T_k , hodnoty modulu prokluzu a také oblast z které byly vyjádřeny.

Vzorek	T_k	Oblast vyhodnocení	K_{ser}
SFS 1	18,6 kN	2,08 - 18,6 kN	25,51 kN/mm
SFS 2	18,2 kN	3,5 - 18,2 kN	25,67 kN/mm
SFS 3	20,1 kN	2,28 - 20,1 kN	26,24 kN/mm
Průměr	18,9 kN		25,81 kN/mm

Tab. 6- Vyhodnocení SFS

Vzhledem k hodnotám udávaným výrobcem, kdy $T_k = 18,1$ kN a $K = 25$ kN/mm, jsou výsledky měření odpovídající a došlo pouze k nevýrazným odchylkám. Pravděpodobným důvodem je použití lepeného lamelového dřeva, které má vyšší kvalitu a působí tak i lépe proti vytažení.

Šrouby LUX

Lineární průběh srovnatelný s působením vrutů SFS se koná pouze do hodnot mezi 5 až 6 kN. Dále nastává trvalá deformace a prvek začne naplno působit proti vytažení a stříhu. Hodnoty deformace jsou však příliš vysoké a jejich nárůst je velmi rychlý. Tato oblast je tedy pro účely návrhu nevhodná a dále se bude uvažovat pouze první zmíněný rozsah.

Vyhodnocení výsledků proběhne stejně jako u vrutů SFS, hodnoty však budou vyjádřeny v obou oblastech. V první oblasti jako T_{k1} a K_{ser1} , v oblasti druhé jako T_{k2} a K_{ser2} .

Vzorek	Oblast 1 (kN)	T_{k1} (kN)	K_{ser1} (kN/mm)	Oblast 2 (kN)	T_{k2} (kN)	K_{ser2} (kN/mm)
LUX 1	2,8 - 5,4	5,4	-	8,5 - 28	28	2,71
LUX 2	3,1 - 5,8	5,8	11,24	10,9 - 25	25	1,51
LUX 3	1,5 - 5,4	5,4	8,07	13 - 26,8	26,8	1,97
Průměr		5,6	9,65		26,6	2,06

Tab. 7- Vyhodnocení LUX

U vzorku LUX 1 měla hodnota K_{ser1} příliš velkou odchylku a byla tedy ve vyhodnocení vynechána. Ostatní hodnoty přibližně odpovídaly a nebyly výrazně odlišné. Smyková únosnost jednoho páru T_k použitelná pro návrh má tedy hodnotu 5,6 kN a modul prokluzu K_{ser} v této oblasti přibližně 10 kN/mm.

Celkový průběh diagramu má však v porovnání s vzorky SFS výraznější rozptýl a postup deformace. Proto není určení příliš jednoznačné a pro reálný návrh jsou tyto

hodnoty spíše orientační. Pravděpodobnými příčinami jsou nekvalita spřahovacích prvků, obyčejný závit a také vliv předvrtání.

V druhé oblasti dochází ke standardnímu zatěžování spřahovacího prvku a modul prokluzu $K_{ser\ 2}$ by měl tedy odpovídat předběžně vyjádřené hodnotě, která byla určena podle normy jako 2,32 kN/mm. $K_{ser\ 2}$ vykazuje jen minimální odchylku a předpoklad je tedy splněn.

3.2.4 Vyhodnocení

Vruty SFS Intec VB 48 7,5x165 mm po ověření splňují hodnoty garantované výrobcem a charakteristické hodnoty pro spřahovací prvek mají zanedbatelné odchylky. Zaručují minimální deformaci i při maximálních únosných silách a plní tedy požadovanou tuhost spřažení v celém průběhu. Jsou velmi vhodným řešením pro návrh dřevobetonového spřažení.

Šrouby LUX po vyhodnocení zkoušky odolávají mnohem větším silám, než bylo očekáváno. Kolaps nastal až při hodnotách okolo 170 kN, avšak je nutné brát v potaz rovněž hodnoty deformací, které síly vyvozují. V porovnání s vruty SFS nastávají u tohoto prvku ve stavu kolapsu téměř desetinásobné hodnoty posunu a modul prokluzu v druhé oblasti $K_{ser\ 2}$ je přibližně desetkrát menší. Z tohoto důvodu není v druhé oblasti splněna příliš efektivní tuhost pro návrh a ten je tedy vhodné provádět pouze s uvážení první částí deformačního průběhu.

Závěrem laboratorní zkoušky jsou tedy tyto **charakteristiky pro 1 pár prvků**:

- **SFS Intec VB 48 7,5x165 : $T_k = 18,9$ kN , $K_{ser} = 25,8$ kN/mm (45 ° / 135 °)**
- **LUX 8x140 : $T_k = 5,6$ kN , $K_{ser} = 10$ kN/mm (90 °)**

Pro praktický návrh stropu stávajícího objektu **byla zvolena varianta spřažení pomocí vrutů SFS Intec**. Důvodem je převážně záruka jejich dlouhodobé životnosti, garance vysoké únosnosti i na velká rozpětí a také snadná a rychlá montáž, která je prováděna bez předvrtání, a prvky je možné aplikovat ve větším odsazení díky jejich únosnosti. Šrouby LUX by byly vhodné spíše pro menší rozpětí, případně by bylo nutné zahuštění v rozestupu 50 - 80 mm mezi jednotlivými páry nebo také použití šroubů s větším průměrem.

4. Návrh stropu stávajícího objektu

Pro praktické uplatnění doposud shrnutých informací a výsledků z laboratorních zkoušek byl zvolen stávající objekt, na kterém bude proveden návrh dřevobetonové spřažené konstrukce pomocí vrutů SFS Intec VB 48 7,5x165 mm.

4.1 Charakteristika objektu

Zvolený objekt se nachází na adrese Nikoly Tesly 8, Praha 6 - Dejvice a jedná se o bytový dům, který byl rekonstruován projekční kanceláří Ateliér Daďa. V rámci projekce byl celý objekt zaměřen, byl proveden průzkum skladby jednotlivých prvků a následně vše zakresleno do projektové dokumentace.

Dle průzkumu se v objektu nachází kombinované stropy, což jsou jednoduché trémové a železobetonové. Dřevěné trémové stropy jsou pouze na jižní straně objektu a jejich světlé rozpory se pohybují v rozmezí 5 - 5,8 m podle patra.



Obr. 41- Stávající objekt

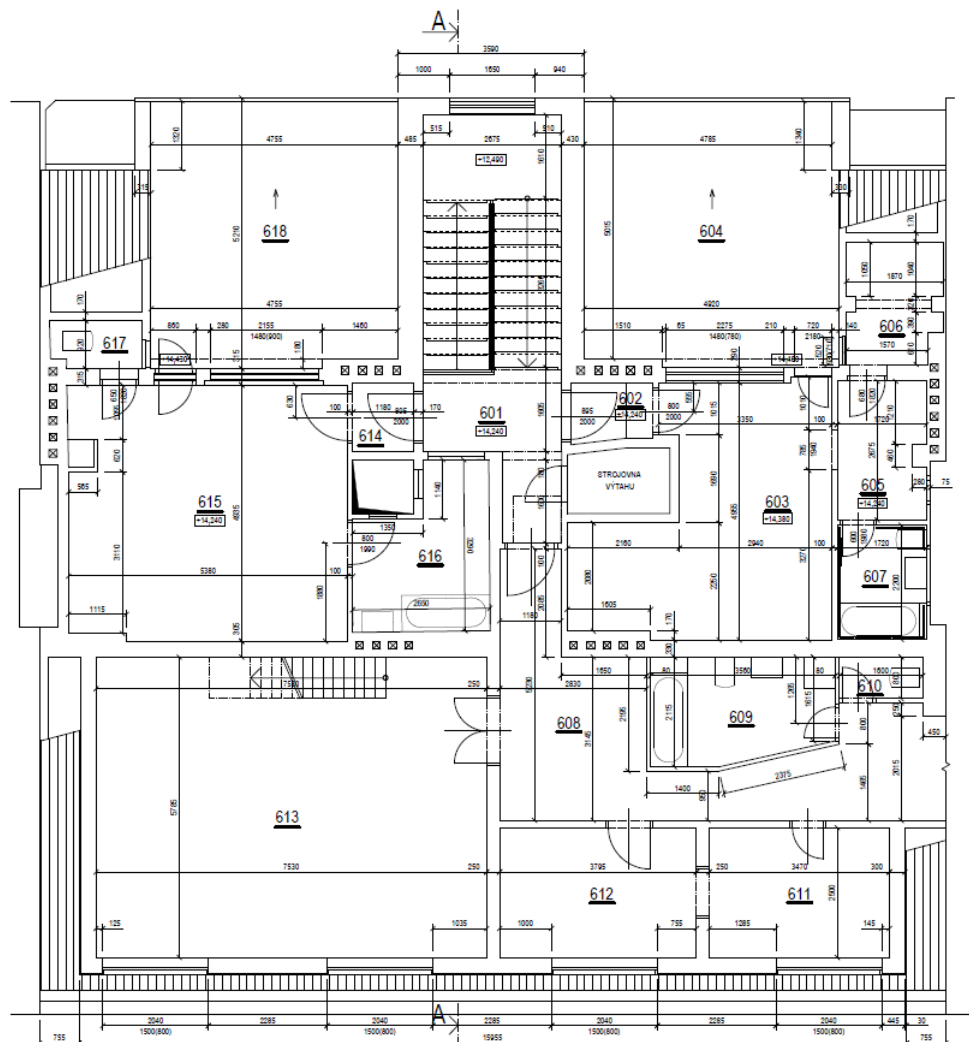
Pro účely návrhu byl kvůli největšímu rozpětí vybrán strop mezi 5. a 6. nadzemním podlažím. Konkrétně se jedná o místnost číslo 613, jejíž světlý rozpon má

hodnotu 5,8 m dle projektové dokumentace. V místě uložení trámu je nutné dodržet minimální přesah 0,15 m a pro další postup návrhu bude tedy délka trámu L uvažována v hodnotě 6,1 m.

Průzkum stropu byl proveden otevřením záklopu a byla vyhodnocena celková skladba konstrukce. Dřevěné trámy odpovídají pevnostní třídě C24 (třída provozu 1), jejich rozměry činní 280x160 mm (výška x šířka) a osová vzdálenost 0,8 m. Další vrstvy skladby jsou podrobně popsány v kapitole 4.1.2 .

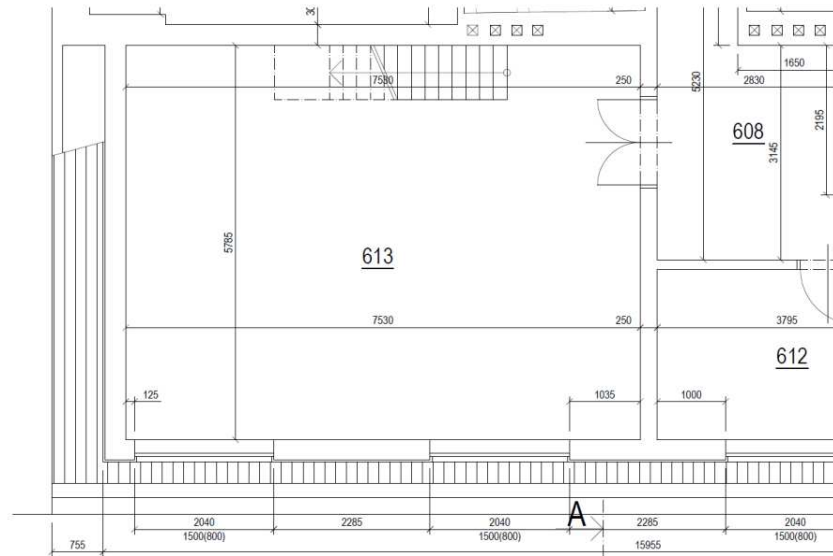
4.1.1 Projektová dokumentace

Podle podrobného zaměření a průzkumu byla projekční firmou vyhotovena kompletní projektová dokumentace. Pro účely výpočtu byl vybrán pouze půdorys zvoleného podlaží.



Obr. 42- Půdorys 6. NP





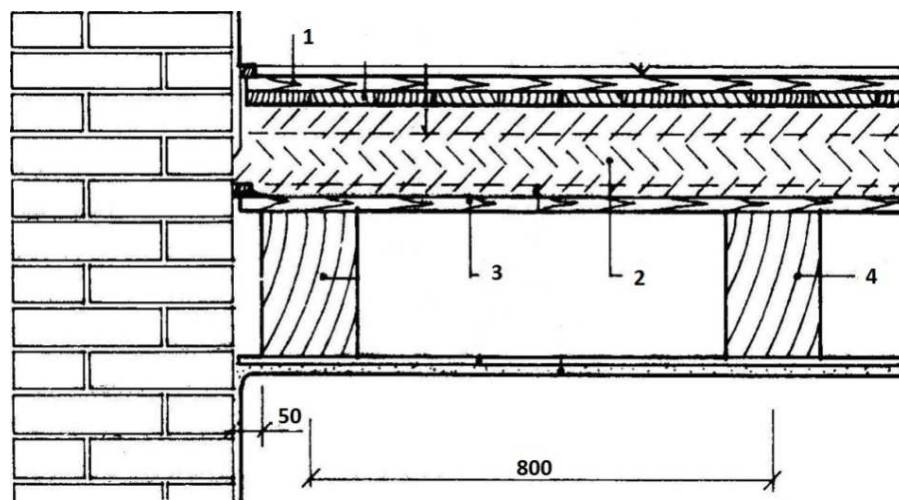
Obr. 43- Detail místnosti 613

4.1.2 Skladba stropní konstrukce

Dle podrobného průřezu byla zjištěna následující skladba stropu.

Číslo	Vrstva	Tloušťka d	Šířka b	ρ_k
1	dřevěná podlaha+polštáře C24	80 mm	0,8 m	350 kg/m ³
2	násyp (šterkový)	120 mm	0,8 m	1800 kg/m ³
3	prkenný záklop C24	30 mm	0,8 m	350 kg/m ³
4	stropní trám C24	280 mm	0,16 m	350 kg/m ³

Tab. 8- Skladba stropu



Obr. 44- Skladba stropu [12]

Celková tloušťka stropu činní 540 mm včetně podbití, které je však pro tento výpočet zanedbáno. Dále bude uvažována pouze skladba nad dřevěnými trámy.

4.1.3 Posouzení stávající konstrukce

Z důvodu zhodnocení aktuálního stavu konstrukce bude provedeno posouzení mezního stavu únosnosti, mezního stavu použitelnosti a budou zjištěny hodnoty finálního průhybu, který je u rekonstruovaných konstrukcí obvykle problematickým kritériem.

a) Výpočet zatížení [22]

- stálé zatížení:

Číslo vrstvy	Charakter. hodnota g_k [kN/m]	Návrhová hodnota g_d [kN/m]
1	$\rho_{k1} \times d_1 \times b_1 = 3,5 \times 0,08 \times 0,8 = 0,22$	$0,22 \times \gamma_G = 0,22 \times 1,35 = 0,30$
2	$\rho_{k2} \times d_2 \times b_2 = 18 \times 0,12 \times 0,8 = 1,73$	$1,73 \times \gamma_G = 1,73 \times 1,35 = 2,33$
3	$\rho_{k3} \times d_3 \times b_3 = 3,5 \times 0,03 \times 0,8 = 0,09$	$0,09 \times \gamma_G = 0,09 \times 1,35 = 0,11$
4	$\rho_{k4} \times d_4 \times b_4 = 3,5 \times 0,28 \times 0,16 = 0,16$	$0,16 \times \gamma_G = 0,16 \times 1,35 = 0,21$
CELKEM	$g_k = 2,2$ kN/m	$g_d = 2,95$ kN/m

Tab. 9- Působící zatížení

- proměnné zatížení: $q_k = 1,5$ (kN/m²) $\times b = 1,5 \times 0,8 = 1,2$ kN/m

$$q_d = 1,2 \times \gamma_Q = 1,2 \times 1,5 = 1,8 \text{ kN/m}$$

b) Vnitřní síly [13]

- maximální posouvající síla: $V = \frac{1}{2} \times (g_d + q_d) \times L = \frac{1}{2} \times (2,95 + 1,8) \times 6,1 = 14,5$ kN

- maximální moment: $M = \frac{1}{8} \times (g_d + q_d) \times L^2 = \frac{1}{8} \times (2,95 + 1,8) \times 6,1^2 = 22,1$ kNm

c) Materiálové charakteristiky [13]

- plocha průřezu: $A = d_4 \times b_4 = 0,28 \times 0,16 = 0,0448$ m²

- moment setrvačnosti: $I_y = \frac{1}{12} \times b_4 \times d_4^3 = \frac{1}{12} \times 0,16 \times 0,28^3 = 2,9269 \times 10^{-4}$ m⁴

- průřezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \times b_4 \times d_4^2 = \frac{1}{6} \times 0,16 \times 0,28^2 = 2,0906 \times 10^{-3}$ m³

- modul pružnosti: $E = 11\,000$ MPa

d) Posouzení normálového napětí [13]

- normálové napětí: $\sigma_{m,d} = \frac{M}{W_y} = \frac{22,1}{2,0906 \times 10^{-3}} = 10,6$ MPa

- ohybová pevnost: $f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,8 \times \frac{24}{1,3} = 14,8 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{m,d} < f_{m,d} \text{ (10,6 MPa < 14,8 MPa) } \underline{\text{VYHOVUJE}}$

e) Posouzení smykového napětí [13]

- smykové napětí: $\tau_{v,d} = \frac{3 \times V}{2 \times A} = \frac{3 \times 14,5}{2 \times 0,0448} = 0,49 \text{ MPa}$

- smyková únosnost: $f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,8 \times \frac{4}{1,3} = 2,4 \text{ MPa}$

- posouzení: $\tau_{v,d} < f_{v,d} \text{ (0,49 MPa < 2,4 MPa) } \underline{\text{VYHOVUJE}}$

f) Posouzení průhybů [13]

- okamžitý průhyb: $W_{inst,g} = \frac{5}{384} \times \frac{g_k \times L^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{2,2 \times 6,1^4}{11 \times 10^6 \times 2,9269 \times 10^{-4}} = 12,3 \text{ mm}$

$$W_{inst,q} = \frac{5}{384} \times \frac{g_q \times L^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{1,2 \times 6,1^4}{11 \times 10^6 \times 2,9269 \times 10^{-4}} = 6,7 \text{ mm}$$

$$W_{inst} = W_{inst,g} + W_{inst,q} = 12,3 + 6,7 = 19 \text{ mm}$$

- posouzení: $W_{inst} < \frac{L}{300} = \frac{6100}{300} = 20,3 \text{ mm (19 mm < 20,3 mm) } \underline{\text{VYHOVUJE}}$

- finální průhyb: $W_{net,fin} = W_{inst,g} \times (1 + k_{def}) + W_{inst,q} \times (1 + k_{def} \times \psi_2)$

$$W_{net,fin} = 12,3 \times (1 + 0,6) + 6,7 \times (1 + 0,6 \times 0,3) = 27,5 \text{ mm}$$

- posouzení: $W_{net,fin} < \frac{L}{250} = \frac{6100}{250} = 24,4 \text{ mm (27,5 mm > 24,4 mm) } \underline{\text{NEVYHOVUJE}}$

Dle posouzení průhybů konstrukce překračuje limitní hodnotu finálního průhybu a je tedy nutné provést návrh opatření. Nejvhodnějším řešením bude rekonstrukce pomocí dřevobetonového spřažení.

4.2 Návrh dřevobetonové stropní konstrukce

Z důvodu nevyhovujícího stavu stávající stropní konstrukce bude proveden návrh spřažení, kde budou zachovány pouze původní trámy a záklop. Dále dojde k aplikaci betonové vrstvy o tloušťce 100 mm (pevnostní třídy C 25/30), spřažení pomocí vrutů SFS Intec VB 48 7,5x165 mm a návrhu nové skladby podlahy.

4.2.1 Princip výpočtu [13]

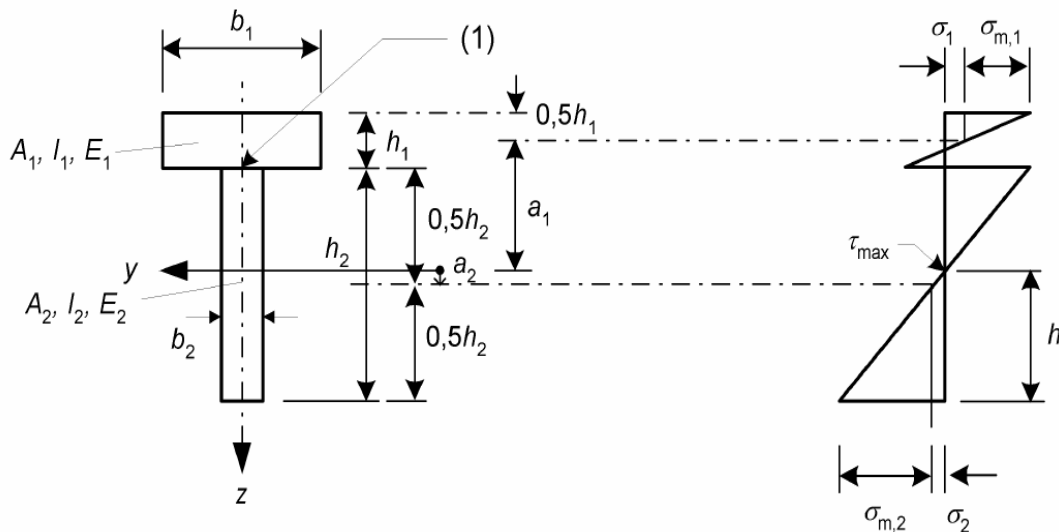
Výpočet se provádí dle normy pomocí γ -metody. Součinitel γ má vliv na snížení hodnoty Steinerova doplňku a slouží pro úpravu výpočtu efektivní tuhosti průřezu.

Metoda je založena na teorii lineární pružnosti, což umožňuje použití lineární hodnoty modulu prokluzu K_{ser} . Pro návrh spřaženého průřezu je však nutné provést posouzení v počátečním stavu kdy $t=0$ a ve stavu konečném kdy $t=\infty$. Zároveň musí také platit následující předpoklady: [13]

- "nosníky jsou prostě podepřeny a mají rozpětí L
- jednotlivé části jsou po délce buď z jednoho kusu nebo nadstaveny lepenými spoji
- jednotlivé části jsou navzájem spojeny mechanickými spojovacími prostředky s modulem prokluzu K
- rozteč s mezi spojovacími prostředky je konstantní nebo se stejnoměrně mění podle posouvající síly mezi s_{min} a s_{max} , kdy $s_{max} < 4 \times s_{min}$
- zatížení působí ve směru osy z a vyvozuje moment $M = M(x)$ s průběhem ve tvaru sinusoidy nebo paraboly a sílu $V = V(x)$ "

(Český normalizační institut, 2006) [13]

Postup vyjádření efektivní ohybové tuhosti (EI_{ef}) je vyjádřen z následujícího schématu a vzorců. [13]



Obr. 44- Princip γ -metody [13]

- hodnoty γ :
$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{E_1 \times A_1 \times \pi^2}{k \times L^2}}$$

$$\gamma_2 = 1$$

- poddajnost spřahovací spáry k: $k = \frac{n \times K}{s_{ef}}$
- počet řad spřažení n : dle četnosti použitých spřahovacích prvků
- účinná rozteč šroubů s_{ef} : $s_{ef} = 0,75 \times s_{min} + 0,25 \times s_{max}$
- vzdálenost neutrálních os: $a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2})}{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + E_2 \times A_2}$
 $a_1 = (\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}) - a_2$
- efektivní tuhost: $(EI_{ef}) = (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2)$

4.2.2 Charakteristika spřaženého stropu

a) Skladba spřažené konstrukce

Pro spřaženou konstrukci byla navržena následující skladba:

Číslo	Vrstva	Tloušťka d	Šířka b	ρ_k
1	podlahová krytina	20 mm	0,8 m	400 kg/m ³
2	roznášecí vrstva (anhydrid)	50 mm	0,8 m	2100 kg/m ³
3	kročejeová izolace (Mirelon)	40 mm	0,8 m	30 kg/m ³
4	betonová vrstva C 25/30	100 mm	0,8 m	2500 kg/m ³
5	prkenný záklop C24	30 mm	0,8 m	350 kg/m ³
6	stropní trám C24	280 mm	0,16 m	350 kg/m ³

Tab. 10- Skladba spřaženého stropu

b) Působící zatížení [22]

- stálé zatížení:

Číslo vrstvy	Charakter. hodnota g_k [kN/m]	Návrhová hodnota g_d [kN/m]
1	$\rho_{k1} \times d_1 \times b_1 = 4 \times 0,02 \times 0,8 = \mathbf{0,07}$	$0,07 \times \gamma_G = 0,07 \times 1,35 = \mathbf{0,09}$
2	$\rho_{k2} \times d_2 \times b_2 = 21 \times 0,05 \times 0,8 = \mathbf{0,84}$	$0,84 \times \gamma_G = 0,84 \times 1,35 = \mathbf{1,13}$
3	$\rho_{k3} \times d_3 \times b_3 = 0,3 \times 0,04 \times 0,8 = \mathbf{0,01}$	$0,01 \times \gamma_G = 0,01 \times 1,35 = \mathbf{0,01}$
4	$\rho_{k4} \times d_4 \times b_4 = 25 \times 0,1 \times 0,8 = \mathbf{2}$	$2 \times \gamma_G = 2 \times 1,35 = \mathbf{2,7}$
5	$\rho_{k5} \times d_5 \times b_5 = 3,5 \times 0,03 \times 0,8 = \mathbf{0,08}$	$0,08 \times \gamma_G = 0,08 \times 1,35 = \mathbf{0,11}$
6	$\rho_{k6} \times d_6 \times b_6 = 3,5 \times 0,28 \times 0,16 = \mathbf{0,16}$	$0,16 \times \gamma_G = 0,16 \times 1,35 = \mathbf{0,21}$
CELKEM	$g_k = 3,16$ kN/m	$g_d = 4,25$ kN/m

Tab. 11- Působící zatížení

- proměnné zatížení: $q_k = 1,5$ (kN/m²) \times b = 1,5 \times 0,8 = **1,2 kN/m**

$$q_d = 1,2 \times \gamma_Q = 1,2 \times 1,5 = \mathbf{1,8 kN/m}$$

c) Vnitřní síly [13]

- maximální posouvající síla: $V = \frac{1}{2} \times (g_d + q_d) \times L = \frac{1}{2} \times (4,25+1,8) \times 6,1 = 18,5 \text{ kN}$

- maximální moment: $M = \frac{1}{8} \times (g_d + q_d) \times L^2 = \frac{1}{8} \times (4,25+1,8) \times 6,1^2 = 28,1 \text{ kNm}$

4.2.3 Návrh spřažení pomocí vrutů SFS Intec

a) Materiálové charakteristiky [15]

Charakteristika	Mezní stav	t=0	t=∞
E_B	MSÚ/MSP	30500 MPa	9000 MPa
E_D	MSÚ/MSP	11000 MPa	$(2/3) \times 11000 = 7333 \text{ MPa}$
K	MSP	14,5 kN/mm	$(2/3) \times 14,5 = 9,7 \text{ kN/mm}$
	MSÚ	$(2/3) \times 14,5 = 9,7 \text{ kN/mm}$	$(2/3) \times 9,6 = 6,5 \text{ kN/mm}$

Tab. 12- Materiálové charakteristiky

b) Počáteční stav t=0 [13]

- charakteristiky beton: $E_B \times A_B = E_B \times d_4 \times b_4 = 30500 \times 0,1 \times 0,8 = 2440 \text{ MN}$

$$E_B \times I_B = E_B \times \frac{1}{12} \times b_4 \times d_4^3 = 30500 \times \frac{1}{12} \times 0,8 \times 0,1^3 = 2 \text{ MNm}^2$$

- charakteristiky dřevo: $E_D \times A_D = E_D \times d_6 \times b_6 = 11000 \times 0,28 \times 0,16 = 492,8 \text{ MN}$

$$E_D \times I_D = E_D \times \frac{1}{12} \times b_6 \times d_6^3 = 11000 \times \frac{1}{12} \times 0,16 \times 0,28^3 = 3,22 \text{ MNm}^2$$

- počet řad spřažení n : 1

- účinná rozteč šroubů: $s_{ef} = 0,75 \times s_{min} + 0,25 \times s_{max} = 0,75 \times 0,12 + 0,25 \times 0,24 = 0,15 \text{ m}$

- poddajnost spřahovací spáry: 1) MSÚ $k_1 = \frac{n \times K}{s_{ef}} = \frac{1 \times 9,7}{0,15} = 64,7 \text{ MN/m}^2$

2) MSP $k_2 = \frac{n \times K}{s_{ef}} = \frac{1 \times 14,5}{0,15} = 96,7 \text{ MN/m}^2$

MSÚ [29]

- hodnoty γ : $\gamma_B = \frac{1}{1 + \frac{E_B \times A_B \times \pi^2}{k \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{2440 \times \pi^2}{64,7 \times 6,1^2}} = 0,091$

$\gamma_D = 1$

- vzdálenost neutrálních os: $a_D = \frac{\gamma_B \times E_B \times A_B \times (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2})}{\gamma_B \times E_B \times A_B + E_D \times A_D} = \frac{0,091 \times 2440 \times (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2})}{0,091 \times 2440 + 492,8} = 0,06 \text{ m}$

$a_B = (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2}) - a_D = (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2}) - 0,06 = 0,13 \text{ m}$

- efektivní tuhost: $(EI_{ef}) = (E_B \times I_B + \gamma_B \times E_B \times A_B \times a_B^2) + (E_D \times I_D + \gamma_D \times E_D \times A_D \times a_D^2)$
 $(EI_{ef}) = (2 + 0,091 \times 2440 \times 0,13^2) + (3,22 + 492,8 \times 0,06^2) = 10,7 \text{ MNm}^2$

- vnitřní síly: $M_{B,d} = M \times \frac{E_B \times I_B}{(EI_{ef})} = 28,1 \times \frac{2}{10,7} = 5,25 \text{ kNm}$

$M_{D,d} = M \times \frac{E_D \times I_D}{(EI_{ef})} = 28,1 \times \frac{3,22}{10,7} = 8,46 \text{ kNm}$

$N_{B,d} = -N_{D,d} = -\frac{M - M_{D,d} - M_{B,d}}{(\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2})} = -\frac{28,1 - 8,46 - 5,25}{0,19} = -75,7 \text{ kN}$

- maximální tlakové napětí-beton: $\sigma_{B,d} = \frac{N_{B,d}}{A_B} - \frac{M_{B,d}}{W_B} = \frac{-75,7}{0,8 \times 0,1} - \frac{5,25}{\frac{1}{6} \times 0,8 \times 0,1^2} = 4,9 \text{ MPa}$

- tlaková únosnost betonu: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{B,d} < f_{cd} \text{ (4,9 MPa < 16,7 MPa)} \quad \underline{\text{VYHOVUJE}}$

- maximální tahové napětí-beton: $\sigma_{B,ctm} = \frac{N_{B,d}}{A_B} + \frac{M_{B,d}}{W_B} = \frac{-75,7}{0,8 \times 0,1} + \frac{5,25}{\frac{1}{6} \times 0,8 \times 0,1^2} = 3 \text{ MPa}$

- tlaková únosnost betonu: $f_{ctm,d} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_M} = \frac{2,6}{1,5} = 1,7 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{B,d} < f_{cd} \text{ (3 MPa > 1,7 MPa)} \quad \underline{\text{NEVYHOVUJE}}$

Nutné použití betonářské výztuže!

- maximální tahové napětí-dřevo: $\sigma_{D,t,d} = \frac{N_{D,d}}{A_D} = \frac{75,7}{0,28 \times 0,16} = 1,7 \text{ MPa}$

- tahová pevnost: $f_{t,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{14}{1,3} = 8,6 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{D,t,d} < f_{t,0,d} \text{ (1,7 MPa < 8,6 MPa)} \quad \underline{\text{VYHOVUJE}}$

- maximální ohybové napětí-dřevo:

$\sigma_{D,m,d} = \frac{M_{D,d}}{W_D} + \sigma_{D,t,d} = \frac{8,46}{\frac{1}{6} \times 0,16 \times 0,28^2} + 1,7 = 5,75 \text{ MPa}$

- tahová pevnost: $f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{24}{1,3} = 14,8 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{D,m,d} < f_{m,d} \text{ (5,75 MPa < 14,8 MPa)} \quad \underline{\text{VYHOVUJE}}$

- smykové napětí: $h = a_D + \frac{d_6}{2} = 0,06 + \frac{0,28}{2} = 0,2 \text{ m}$

$\tau_d = \frac{V \times 0,5 \times E_D \times h^2}{(EI_{ef})} = \frac{0,0185 \times 0,5 \times 11000 \times 0,2^2}{10,7} = 0,38 \text{ MPa}$

- smyková únosnost: $f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{4}{1,3} = 2,5 \text{ MPa}$

- posouzení: $\tau_{v,d} < f_{v,d} \text{ (0,38 MPa < 2,5 MPa)} \quad \underline{\text{VYHOVUJE}}$

- průměrné zatížení prvku na 1 metr: $t_d = \frac{Vx\gamma_B x E_B x A_B x a_B}{(EI_{ef})}$
 $t_d = \frac{18,5x0,091x2440x0,13}{10,7} = 49,9 \text{ kN/m}$
- průměrný počet prvků na 1 metr: $n = \frac{1}{s_{ef}} = \frac{1}{0,15} = 6$
- zatížení na 1 prvek: $F_d = \frac{t_d}{n} = \frac{49,9}{6} = 8,3 \text{ kN}$
- únosnost 1 prvku: $T_d = k_{mod} x \frac{T_k}{\gamma_M} = 0,8 x \frac{18,1}{1,3} = 11,1 \text{ kN}$
- posouzení: **$F_d < T_d$ (8,3 kN < 11,1 kN) VYHOVUJE**

MSP [13]

- hodnoty γ : $\gamma_B = \frac{1}{1 + \frac{E_B x A_B x \pi^2}{k x L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{2440 x \pi^2}{96,7 x 6,1^2}} = 0,13$
 $\gamma_D = 1$
- vzdálenost neutrálních os: $a_D = \frac{\gamma_B x E_B x A_B x (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2})}{\gamma_B x E_B x A_B + E_D x A_D} = \frac{0,13 x 2440 x (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2})}{0,13 x 2440 + 492,8} = 0,07 \text{ m}$
 $a_B = (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2}) - a_D = (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2}) - 0,074 = 0,12 \text{ m}$
- efektivní tuhost: $(EI_{ef}) = (E_B x I_B + \gamma_B x E_B x A_B x a_B^2) + (E_D x I_D + \gamma_D x E_D x A_D x a_D^2)$
 $(EI_{ef}) = (2 + 0,13 x 2440 x 0,12^2) + (3,22 + 492,8 x 0,07^2) = 12,2 \text{ MNm}^2$
- okamžitý průhyb: $w_{inst,g} = \frac{5}{384} x \frac{g_k x L^4}{(EI_{ef})} = \frac{5}{384} x \frac{3,16 x 6,1^4}{12,2 x 10^3} = 4,7 \text{ mm}$
 $w_{inst,q} = \frac{5}{384} x \frac{g_q x L^4}{(EI_{ef})} = \frac{5}{384} x \frac{1,2 x 6,1^4}{12,2 x 10^3} = 1,8 \text{ mm}$
 $w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} = 4,7 + 1,8 = 6,5 \text{ mm}$
- posouzení: **$w_{inst} < \frac{L}{300} = \frac{6100}{300} = 20,3 \text{ mm}$ (7,3 mm < 20,3 mm) VYHOVUJE**

c) Konečný stav $t = \infty$ [13]

- charakteristiky beton: $E_B x A_B = E_B x d_4 x b_4 = 9000 x 0,1 x 0,8 = 720 \text{ MN}$
 $E_B x I_B = E_B x \frac{1}{12} x b_4 x d_4^3 = 9000 x \frac{1}{12} x 0,8 x 0,1^3 = 0,6 \text{ MNm}^2$
- charakteristiky dřevo: $E_D x A_D = E_D x d_6 x b_6 = 7333 x 0,28 x 0,16 = 328,5 \text{ MN}$
 $E_D x I_D = E_D x \frac{1}{12} x b_6 x d_6^3 = 7333 x \frac{1}{12} x 0,16 x 0,28^3 = 2,14 \text{ MNm}^2$
- počet řad sprážen n : 1
- účinná rozteč šroubů s_{ef} : $s_{ef} = 0,75 x s_{min} + 0,25 x s_{max} = 0,75 x 0,12 + 0,25 x 0,24 = 0,15$

- poddajnost spřahovací spáry: 1) MSÚ $k_1 = \frac{n \times K}{s_{ef}} = \frac{1 \times 6,5}{0,15} = 43,4 \text{ MN/m}^2$

$$2) \text{ MSP } k_2 = \frac{n \times K}{s_{ef}} = \frac{1 \times 9,7}{0,15} = 64,7 \text{ MN/m}^2$$

MSÚ [29]

- hodnoty γ : $\gamma_B = \frac{1}{1 + \frac{E_B \times A_B \times \pi^2}{k \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{720 \times \pi^2}{43,4 \times 6,1^2}} = 0,19$

$$\gamma_D = 1$$

- vzdálenost neutrálních os: $a_D = \frac{\gamma_B \times E_B \times A_B \times (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2})}{\gamma_B \times E_B \times A_B + E_D \times A_D} = \frac{0,18 \times 720 \times (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2})}{0,18 \times 720 + 328,5} = 0,05 \text{ m}$

$$a_B = (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2}) - a_D = (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2}) - 0,05 = 0,14 \text{ m}$$

- efektivní tuhost: $(EI_{ef}) = (E_B \times I_B + \gamma_B \times E_B \times A_B \times a_B^2) + (E_D \times I_D + \gamma_D \times E_D \times A_D \times a_D^2)$

$$(EI_{ef}) = (0,6 + 0,19 \times 720 \times 0,14^2) + (2,14 + 328,5 \times 0,05^2) = \mathbf{6,24 \text{ MNm}^2}$$

- vnitřní síly: $M_{B,d} = M \times \frac{E_B \times I_B}{(EI_{ef})} = 28,1 \times \frac{0,6}{6,24} = 2,7 \text{ kNm}$

$$M_{D,d} = M \times \frac{E_D \times I_D}{(EI_{ef})} = 28,1 \times \frac{2,14}{6,24} = 9,6 \text{ kNm}$$

$$N_{B,d} = -N_{D,d} = -\frac{M - M_{D,d} - M_{B,d}}{(\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2})} = -\frac{28,1 - 9,6 - 2,7}{0,19} = -83,2 \text{ kN}$$

- maximální tlakové napětí-beton: $\sigma_{B,d} = \frac{N_{B,d}}{A_B} - \frac{M_{B,d}}{W_B} = \frac{-83,2}{0,8 \times 0,1} - \frac{2,7}{\frac{1}{6} \times 0,8 \times 0,1^2} = 3,1 \text{ MPa}$

- tlaková únosnost betonu: $f_{cd} = \frac{f_{cd}}{\gamma_M} = \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{B,d} < f_{cd}$ (**3,1 MPa < 16,7 MPa**) **VYHOVUJE**

- maximální tahové napětí-beton: $\sigma_{B,ctm} = \frac{N_{B,d}}{A_B} + \frac{M_{B,d}}{W_B} = \frac{-83,2}{0,8 \times 0,1} + \frac{2,7}{\frac{1}{6} \times 0,8 \times 0,1^2} = 1 \text{ MPa}$

- tlaková únosnost betonu: $f_{ctm,d} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_M} = \frac{2,6}{1,5} = 1,7 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{B,d} < f_{cd}$ (**1 MPa < 1,7 MPa**) **VYHOVUJE**

- maximální tahové napětí-dřevo: $\sigma_{D,t,d} = \frac{N_{D,d}}{A_D} = \frac{83,2}{0,28 \times 0,16} = 1,9 \text{ MPa}$

- tahová pevnost: $f_{t,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{14}{1,3} = 8,6 \text{ MPa}$

- posouzení: $\sigma_{D,t,d} < f_{t,0,d}$ (**1,9 MPa < 8,6 MPa**) **VYHOVUJE**

- maximální ohybové napětí-dřevo:

$$\sigma_{D,m,d} = \frac{M_{D,d}}{W_D} + \sigma_{D,t,d} = \frac{9,6}{\frac{1}{6} \times 0,16 \times 0,28^2} + 1,9 = 4,6 \text{ MPa}$$

- tahová pevnost:

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{24}{1,3} = 14,8 \text{ MPa}$$

- posouzení:

$$\sigma_{D,m,d} < f_{m,d} \text{ (4,6 MPa < 14,8 MPa) } \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

- smykové napětí:

$$h = a_D + \frac{d_6}{2} = 0,05 + \frac{0,28}{2} = 0,19 \text{ m}$$

$$\tau_d = \frac{V \times 0,5 \times E_D \times h^2}{(EI_{ef})} = \frac{0,0185 \times 0,5 \times 7333 \times 0,19^2}{6,24} = 0,39 \text{ MPa}$$

- smyková únosnost:

$$f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{4}{1,3} = 2,5 \text{ MPa}$$

- posouzení:

$$\tau_{v,d} < f_{v,d} \text{ (0,39 MPa < 2,5 MPa) } \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

- průměrné zatížení prvku na 1 metr:

$$t_d = \frac{V \times \gamma_B \times E_B \times A_B \times a_B}{(EI_{ef})}$$

$$t_d = \frac{18,5 \times 0,19 \times 720 \times 0,14}{6,24} = 56,8 \text{ kN/m}$$

- průměrný počet prvků na 1 metr:

$$n = \frac{1}{s_{ef}} = \frac{1}{0,15} = 6$$

- zatížení na 1 prvek:

$$F_d = \frac{t_d}{n} = \frac{56,8}{6} = 9,5 \text{ kN/m}$$

- únosnost 1 prvku:

$$T_d = k_{mod} \times \frac{T_k}{\gamma_M} = 0,8 \times \frac{18,1}{1,3} = 11,1 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$F_d < T_d \text{ (9,5 kN < 11,1 kN) } \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

MSP [13]

- hodnoty γ : $\gamma_B = \frac{1}{1 + \frac{E_B \times A_B \times \pi^2}{k \times L^2}} = \frac{1}{1 + \frac{720 \times \pi^2}{64,7 \times 6,1^2}} = 0,25$

$$\gamma_D = 1$$

- vzdálenost neutrálních os: $a_D = \frac{\gamma_B \times E_B \times A_B \times (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2})}{\gamma_B \times E_B \times A_B + E_D \times A_D} = \frac{0,25 \times 720 \times (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2})}{0,25 \times 720 + 328,5} = 0,07 \text{ m}$

$$a_B = (\frac{d_6}{2} + \frac{d_4}{2}) - a_D = (\frac{0,28}{2} + \frac{0,1}{2}) - 0,05 = 0,12 \text{ m}$$

- efektivní tuhost: $(EI_{ef}) = (E_B \times I_B + \gamma_B \times E_B \times A_B \times a_B^2) + (E_D \times I_D + \gamma_D \times E_D \times A_D \times a_D^2)$

$$(EI_{ef}) = (0,6 + 0,25 \times 720 \times 0,12^2) + (2,14 + 328,5 \times 0,07^2) = 6,94 \text{ MNm}^2$$

- okamžitý průhyb:

$$w_{inst,g} = \frac{5}{384} \times \frac{g_k \times L^4}{(EI_{ef})} = \frac{5}{384} \times \frac{3,16 \times 6,1^4}{6,94 \times 10^3} = 8,2 \text{ mm}$$

$$w_{inst,q} = \frac{5}{384} \times \frac{g_q \times L^4}{(EI_{ef})} = \frac{5}{384} \times \frac{1,2 \times 6,1^4}{6,94 \times 10^3} = 3,1 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} = 8,2 + 3,1 = 11,3 \text{ mm}$$

- posouzení:

$$w_{inst} < \frac{L}{300} = \frac{6100}{300} = 20,3 \text{ mm (11,3 mm < 20,3 mm) \underline{VYHOVUJE}}$$

- hodnota součinitele dotvarování: $k_{def} = \frac{EI_{ef,t=0}}{EI_{ef,t=\infty}} - 1 = \frac{12,2}{6,94} - 1 = 0,76$

- finální průhyb:

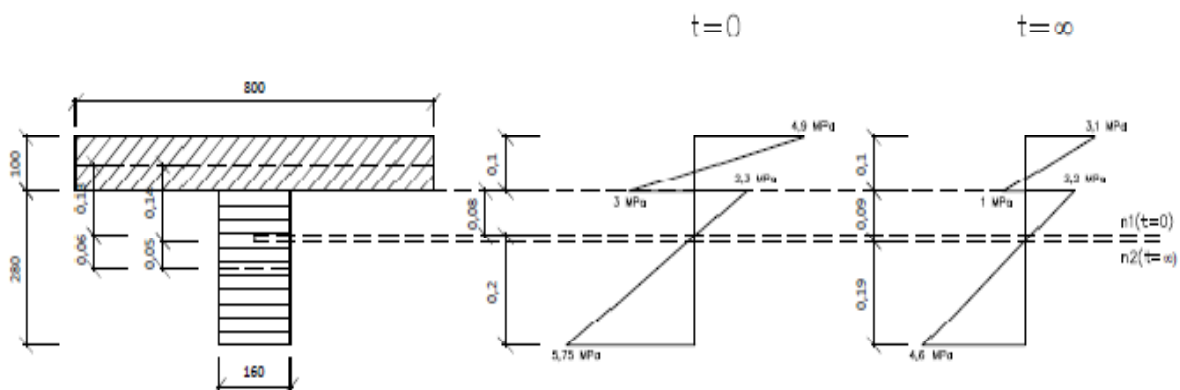
$$w_{net,fin} = w_{inst,g} \times (1 + k_{def}) + w_{inst,q} \times (1 + k_{def} \times \psi_2)$$

$$w_{net,fin} = 8,2 \times (1 + 0,76) + 3,1 \times (1 + 0,76 \times 0,3) = 18,3 \text{ mm}$$

- posouzení:

$$w_{net,fin} < \frac{L}{250} = \frac{6100}{250} = 24,4 \text{ mm (18,3 mm < 24,4 mm) \underline{VYHOVUJE}}$$

Průběh napětí σ



Obr. 45- Vykreslení napětí σ

4.2.4 Vyhodnocení

Návrh spřažení pomocí vrutů SFS Intec při zvoleném rozestupu prvků $s_{min} = 120$ mm a $s_{max} = 240$ mm vyhověl na posouzení v obou mezních stavech. Finální průhyb stropu $w_{net,fin}$ na konci životnosti byl oproti původnímu stavu snížen o 9,2 mm a došlo k výraznému snížení normálového napětí díky rozložení do obou částí složeného průřezu vlivem spřažení. Použití vrutů SFS VB 48 7,5x165 mm je tedy vhodným řešením pro daný návrh.

V případě použití šroubů LUX 8x140 mm by bylo teoreticky možné také splnit požadavky obou mezních stavů, avšak šrouby by musely být velmi zahuštěny, kdy by

jejich vzdálenosti odhadem v porovnání s SFS vruty musely být v rozmezí 30 - 50 mm v nejvíce namáhaných částech. Z hlediska systému dřevobetonového spřažení by toto řešení postrádalo smysl a efektivitu.

5. Závěr

Dřevobetonové spřažené stropy jsou v současnosti v porovnání s Českou republikou stále více rozšířené převážně v německy mluvících zemích a z tohoto důvodu je práce z větší části zaměřená na poznatky ze zahraničí, což přináší širší spektrum informací celému provedení.

Rešeršní část se zaměřuje spíše na nynější technologie a novodobé trendy, ale v počátku práce je rovněž zmíněn historický vývoj, čímž je vytvořena komplexnost tohoto tématu. Hlavní důraz je kladen na spřahovací prvky, které jsou charakteristickou částí celého dřevobetonového systému, a vybrané nejpoužívanější prvky jsou porovnány z hlediska aplikace, působení a únosnosti.

Pro porovnání a vytvoření představy o tom, jak výrazné rozdíly v působení různých spřahovacích prvků mohou být, bylo provedeno laboratorní měření charakteristik spřažení pomocí simulace smykového zatížení protlačovací zkouškou. Vybrán byl speciálně vyvinutý prvek pro spřažení SFS Intec VB 48 7,5x165 mm a obyčejný šroub LUX 8x140 mm. Měřena byla hodnota smykové únosnosti prvku T_k a modul prokluzu spřažení K_{ser} .

Výsledky měření prvku SFS Intec byly porovnány s hodnotami, které udává výrobce, a byly zjištěny minimální odchylky. U šroubů LUX však nebyl průběh z většíny lineární, jak bylo předpokládáno, a vyhodnoceny tedy musely být 2 rozdílné oblasti působení, z nichž pouze první část je vhodná pro navrhování. Pravděpodobnou příčinou byl závit, který není vyvinut pro tak vysoké namáhání a došlo k jeho deformaci a dosednutí. Celkově však laboratorní měření proběhlo úspěšně a pro praktický návrh dřevobetonového stropu byl vybrán vrut SFS Intec.

Stropní konstrukce stávajícího objektu byla posouzena dle poskytnuté projektové dokumentace, kde však finální průhyb stropu přesahoval hodnoty stanovené normou. Pro splnění požadavků mezního stavu použitelnosti byl proveden návrh rekonstrukce za použití dřevobetonového spřažení. Mezní stav použitelnosti byl dodržen a tento návrh byl tedy zvolen jako vhodné řešení.

6. Seznam použitých zdrojů

6.1 Literatura

- [1] **Jaroslav Sandanus. Medzná únosnost spriahnutých drevobetónových konštrukcií.** 43. Vydání. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave-Vydavateľstvo STU, 2007, 978-80-227-2616-0.
- [2] **Anna Kuklíková, Jiří Studnička. Kompozitní dřevobetonové konstrukce: disertační práce.** Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2004, Disertační práce, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí.
- [3] **Andreas Kolbitsch. Erhaltung und Erneuerung von Hochbauten.** Wien: Technische Universität Wien - Grafisches Zentrum HTU GmbH, 2014.
- [4] **Petr Kuklík, Anna Kuklíková, Karel Mikeš. Dřevěné konstrukce 1 - cvičení.** Praha: České vysoké učení technické v Praze-nakladatelství ČVUT, 2008, 978-80-01-05227-3.
- [5] **Deutscher Institut für Bautechnik. Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern.** Berlin: Bautechnische Prüfamt, 2015 [cit. 14.4.2016].
- [6] **TicomTec Holz-Verbund-Systeme. Tragwerke in Holz-Beton-Verbundbauweise mit eingeklebten HBV-Schubverbindern.** Haidbach: TimcoTec GmbH, 2015 [cit. 14.4.2016].
- [7] **Martin Schäfers. Entwicklung von hybriden Bauteilen aus Holz und hochfesten Betonen.** Kassel: Kassel University Press GmbH, 2010, Diplomová práce. Dostupný z: www.uni-kassel.de/upress/online/OpenAccess/978-3-89958-986-3.OpenAccess.pdf
- [8] **Martin H. Kessel. Holzbau 1. Institut für Baukonstruktionen und Holzbau,** Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2014. Dostupný z: www.ibholz.tu-bs.de/

- [9] **Karlheinz Hollinsky. TI MODUL C - Althausanierung.** Wien: Institut für Architektur-wissenschaften, Technische Universität Wien, 2007.
- [10] **Andreas Müller. Holz-Beton-Verbundsysteme - Überblick und Ausblick.** Burgdorf: Institut für Architektur, Berner Fachhochschule, 2013. Dostupné z: tis.bz.it/doc-bereiche/hlz_doc/pdf/fachtagung-holz-unterlagen
- [11] **Tomáš Dvořák. Dřevěné konstrukce.** Praha: České vysoké učení technické v Praze -Ediční středisko ČVUT, 1989, 80-01-00095-8.
- [12] **Michal Kala, Jiří Psohlavec. Sanace dřevěných trémových stropů.** Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2011.
- [13] **ČSN EN 1995-1-1, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí-část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.** Praha: Český normalizační institut, 2006, 91.010.30.
- [14] **ČSN EN 206 Beton-Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.** Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 91.100.30.
- [15] **SFS Intec. Holz-Beton-Verbundsystem VB - Technische Dokumentation.** SFS Intec , 2010, [cit. 10.4.2016].
Dostupné z: www.sfsintec.de/internet/sfsmedien.nsf
- [16] **Bohumil Koželouh. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 - Navrhování a konstrukční materiály.** Zlín: Bohumil Koželouh -Zlínské tiskárny, 1998,80-238-2620-4.
- [17] **Bohumil Koželouh. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 -Navrhování detailů a nosných systémů.** Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004, 80-86 769-13-5.
- [18] **SFS Intec. Sanierung von Holzdecken: Einfach, sicher und wirtschaftlich mit Holz-Beton-Verbundsystem VB.** SFS Intec , 2010, [cit. 15.4.2016].
Dostupné z: <http://www.sfsintec.de/internet/sfsmedien.nsf>

- [19] **Leander Bathon, Oliver Bletz. Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik.** Wiesbaden: Fachhochschule Wiesbaden, 2009. Dostupné z: www.quadriga-news.de/www.quadriganews.de/data/media/1950/48_53_BathonBletz.pdf
- [20] **Stefan Zöllig. Holz/Beton-Verbund mit vorgefertigten Brettstapel-Modulen.** Steffisburg: HTL/SISH Steffisburg, 1999
- [21] **Henning Ernst. Holz-Beton-Verbunddecken. Rützheim: TimCon-Ingenieurbüro für Baustatik,** 2012. Dostupné z: https://www.wuerth.de/web/media/downloads/pdf/ipa/Wuerth_Statikerseminar_-_Holz-Beton_Verbund.pdf
- [22] **ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.** Praha: Český normalizační institut, 2004, 91.010.30.
- [23] **C. Radlherr. Holzbau II - Übung 2 - Holzbetonverbund.** Wien: Institut für Architekturwissenschaften - TU WIEN, 2015.
- [24] **Deutsche Institut für Bautechnik. TCC Schrauben als Verbindungsmittel für das TCC Holz-Beton-Verbundsystem.** Berlin: Bautechnische Prüfamnt, 2015 [cit. 3.5.2016].
- [25] **Deutsche Institut für Bautechnik. Timco II Schrauben als Verbindungsmittel für das Timco Holz-Beton-Verbundsystem.** Berlin: Bautechnische Prüfamnt, 2012 [cit. 3.5.2016].
- [26] **ČSN EN 12390-5, Zkoušení ztvrdlého betonu-Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles.** Praha: Český normalizační institut, 2001, 91.100.30.
- [27] **ČSN EN 12390-5, Zkoušení ztvrdlého betonu-Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles.** Praha: Český normalizační institut, 2002, 91.100.30.

- [28] **ČSN EN 26891, Spoje s mechanickými spojovacími prostředky-všeobecné zásady pro zjišťování charakteristik únosnosti a přetvoření.** Praha: Český normalizační institut, 1994, 694.14:624.011.1.
- [29] **S. Winter, H. Kreuzinger, P. Mestek. Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperholz und Verbundkonstruktionen.** München Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München, 2008 [cit. 15.5.2016].

6.2 Internetové zdroje

- [I] **CZ SVB,s.r.o. Historie betonu.** In: www.ebeton.cz [online]. Svaz výrobců Betonu, 2015 [cit. 10.3.2016].
Dostupné z: www.ebeton.cz/pojmy/historie-betonu
- [II] **Pavel Nechanický. Možnosti provádění kompozitních dřevobetonových konstrukcí.** In: www.tzb-info.cz [online], Topinfo s.r.o. , 2012 [cit. 10.3.2016].
Dostupné z: stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8362-moznosti-provadeni-kompozitnich-drevobetonovych-konstrukci
- [III] **Filip Čmiel, Zdeněk Peřina. Pozemní stavitelství II. - Stropní konstrukce.** In: www.fast10.vsb.cz [online], VŠB TU Ostrava- Fakulta stavební, 2016 [cit. 12.3.2016]. Dostupné z: www.fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps2/stropni-konstrukce.html
- [IV] **Jaroslav Indrák. Dřevěné stropy-rozdělení, navrhování, konstrukce.** In: www.uvp3d.cz/ [online], Projekt učíme v prostoru CZ, 2015 [cit. 15.3.2016].
Dostupné z: uvp3d.cz/dum/?page_id=2365
- [V] **Pavel Nechanický, Anna Kuklíková. Dřevobetonové stropy pro lehké skelety dřevostaveb.** In: www.tzb-info.cz [online], Topinfo s.r.o. , 2012 [cit. 15.3.2016].
Dostupné z: stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8717-drevobetonove-stropy-pro-lehke-skelety-drevostaveb

- [VI] **Petr Kuklík, Radek Brandejs, Anna Kuklíková. Prostorová tuhost budov na bázi dřeva.** In: www.casopisstavebnictvi.cz [online], EXPO DATA spol s.r.o., 2016, [cit.20.3.2016]. Dostupné z: www.casopisstavebnictvi.cz/tisk.php?ID=422
- [VII] **Petr Jůn, Miroslav Brouček. Dřevěné stavební konstrukce napadené dřevokaznými houbami, hmyzem či plísněmi.** In: www.stavarina.cz, [online] CETAM.cz, 2007, [cit.21.3.2016]. Dostupné z: www.stavarina.cz/poruchy/drevene-konstrukce-houby-hmyz-plisne.htm
- [VIII] **Elascon Holz-Beton-Verbund** [online]. Elascon GmbH, 2015, [cit.10.4.2016]. Dostupné z: www.elascon.de
- [IX] **TiComTec Holz-Verbund-Systeme** [online]. TiComTec GmbH, 2015, [cit.10.4.2016]. Dostupné z: www.ticomtec.de
- [X] **JAF HOLZ Online-shop** [online]. JAF HOLZ s.r.o., 2016, [cit.11.4.2016]. Dostupné z: www.jafholz.cz/shop
- [XI] **Material Archiv** [online]. oSkope media GmbH, 2013, [cit.11.4.2016]. Dostupné z: www.materialarchiv.ch/detail
- [XII] **OBI-Produkty** [online]. Obi Česká republika s.r.o., 2016, [cit.11.4.2016]. Dostupné z: www.obi.cz/decom/product
- [XIII] **Libor Starý. Materiály nerezových šroubů a matic.** In: www.stara.cz [online]. STARÁ plus v.o.s., 2016, [cit.13.4.2016]. Dostupné z: www.stara.cz/technicke-informace/material-a-mechanicke-vlastnosti-nerezovych-sroubu-a-matic.html
- [XIV] **Jaroslav Sandanus, Miloš Slivanský, Lukáš Surovec. Modelovanie spriahnutia drevo a betón.** In: www.tzb-info.cz [online]. Topinfo s.r.o., 2012 [cit.15.4.2016], Dostupné z: stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/13973-modelovanie-spriahnutia-drevo-a-beton
- [XV] **Klasch**[online]. Klasch Spezial - Bauartikel GmbH, 2016, [cit.21.4.2016]. Dostupné z: www.klasch.at

- [XVI] **Jana Daňková, Jiří Šafrata. Vývoj a použití dřevobetonových kompozitních prefabrikovaných dílců v pozemním stavitelství.** In: imaterialy.dumabyt.cz [online]. VŠB TU Ostrava- Fakulta stavební, 2016 [cit. 12.4.2016]. Dostupné z: http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/vyvoj-a-pouziti-drevobetonovych-kompozitnich-prefabrikovanych-dilcu-v-pozemnim-stavitelstvi_41996.html
- [XVII] **Hightech Verbundtragwerk TCC Integral** [online]. Verbundbau-OC, 2016,[cit.5.5.2016]. Dostupné z: www.verbundbau.at

7. Seznam použitých symbolů a zkratek

K	modul prokluzu
K_{ser}	modul prokluzu pro určení MSP
γ	součinitel tuhosti spřažení
I_{ef}	efektivní moment setrvačnosti spřažené konstrukce
EI_{ef}	účinná tuhost spřažené konstrukce
α_{ser}	úhel mezi lineárním průběhem K_{ser} a osou x
F_{ser}	maximální působící síla pro určení K_{ser}
u_{ser}	maximální posunutí pro určení K_{ser}
K_u	modul prokluzu pro určení MSÚ
α_u	úhel mezi lineárním průběhem K_u a osou x
F_u	maximální působící síla pro určení K_u
u_u	maximální posunutí pro určení K_u
T_k	smyková únosnost spřahovacího prvku
l_{ef}	účinná délka závitu v nosné dřevěné vrstvě
$\rho_K, \rho_{g,k}$	charakteristická hustota dřevěného prvku
d_{zs}, t_s	tloušťka použitého bednění
$f_{m,g,k}$	charakteristická pevnost dřeva v ohybu
$f_{t,0,g,k}$	charakteristická pevnost dřeva v tahu
$f_{c,0,g,k}$	charakteristická pevnost dřeva v tlaku
$f_{v,g,k}$	charakteristická pevnost dřeva ve smyku
$E_{0,g,mean}$	průměrná hodnota modulu pružnosti dřeva
$G_{g,mean}$	průměrná hodnota modulu pružnosti dřeva ve smyku
γ_M	součinitel materiálu
f_{ck}	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku
$f_{ck,cube}$	charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku

f_{cm}	střední hodnota tlakové pevnosti betonu
f_{ctm}	charakteristická pevnost betonu v tahu
E_{cm}	střední hodnota modulu pružnosti betonu
f_t	tahová pevnost oceli
ρ_m	průměrná hustota dřevěného prvku
d_{ef}	účinná průměr šroubu
d	průměr šroubu
ρ_V	objemová hmotnost
h	výška měřeného vzorku
f_{ct}	charakteristická pevnost betonu v tahu za ohybu
m	hmotnost měřeného vzorku
F	působící síla
A	plocha průřezu
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
g_d	návrhová hodnota stálého zatížení
q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
q_d	návrhová hodnota proměnného zatížení
L	rozpětí stropu
M	hodnota působícího momentu
V	hodnota působící posouvající síly
I_y	moment setrvačnosti
W_y	průřezový modul
E	modul pružnosti
$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí v ohybu
$f_{m,d}$	návrhová ohybová pevnost dřeva
$f_{m,k}$	charakteristická ohybová pevnost dřeva
k_{mod}	modifikační součinitel

$\tau_{v,d}$	návrhové smykové napětí
$f_{v,d}$	návrhová smyková únosnost dřeva
$f_{v,k}$	charakteristická smyková únosnost dřeva
w_{inst}	okamžitá hodnota průhybu
$w_{net.fin}$	čistý konečný průhyb
k_{def}	součinitel dotvarování
s_{min}	minimální rozestup spřahovacích prvků
s_{max}	maximální rozestup spřahovacích prvků
k	poddajnost spřahovací spáry
n	počet řad spřažení
a_i	vzdálenost neutrální osy od dílčího těžiště
s_{ef}	účinný rozestup spřahovacích prvků
$M_{B,d}$	moment působící na straně betonu
$M_{D,d}$	moment působící na straně dřeva
$N_{B,d}$	normálová síla na straně betonu
$\sigma_{B,d}$	tlakové napětí v betonu
f_{cd}	návrhová tlaková pevnost betonu
$\sigma_{B,ctm}$	tahové napětí v betonu
$f_{ctm,d}$	návrhová tahová pevnost betonu
$\sigma_{D,t,d}$	tahové napětí ve dřevě
$f_{t,0,d}$	návrhová tahová pevnost dřeva
$f_{t,0,k}$	charakteristická tahová pevnost dřeva
t_d	průměrné zatížení spřahovacích prvků
F_d	zatížení 1 spřahovacího prvku