

Diplomová práce

Tesařské spoje historické a novodobé, jejich analýza a srovnání

Autor práce: Bc. Kateřina Fleissigová

Vedoucí práce: Ing. Petr Kesl Ph.D.

Fakulta: FAV

Katedra: KME

Obor: Stavitelství

PROHLÁŠENÍ

Jméno: Bc. Kateřina Fleissigová

Název DP: Tesařské spoje historické a novodobé, jejich analýza a srovnání

Čestně prohlašuji, že diplomovou práci jsem zpracovala sama za vedením pana Ing. Petra Kesla Ph.D., s použitím odborné literatury a dalších zdrojů uvedených v seznamu diplomové práce.

V Plzni dne _____

podpis

Poděkování:

Touto formou bych chtěla vyjádřit díky svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Keslovi Ph.D. za jeho trpělivost, ochotu a věcné poznámky týkající se práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Janu Krystkovi Ph.D. za ochotu a spolupráci při experimentálním měření. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svému otci Josefu Fleissigovi za spolupráci při výrobě modelů. Díky také patří zbytku mé rodiny a příteli za psychickou podporu v nesnadných situacích a možnost studovat.

Anotace:

Cílem diplomové práce bylo analyzovat tesařské spoje historické a používané v dnešní době.

Dále pak vybrat a vyrobit modely typických spojů používaných v jednotlivých dobách, nechat je experimentálně ozkoušet v laboratoři na jejich maximální smykovou únosnost. S výsledky bylo dále nakládáno.

Dalším bodem bylo zjistit skutečnou smykovou únosnost dle výpočtu, hodnoty pak upravit dle modelové podobnosti a porovnat je s experimentálně naměřenými hodnotami, které byly vsazeny do softwaru Anthill, který používá pravděpodobnostní metodu SBRA. Hodnoty byly mezi sebou porovnány, aby byla ověřena jejich pravost.

Nakonec byly spoje mezi sebou porovnány z pohledu smykové únosnosti v místě spoje a dalších parametrů.

Celá diplomová práce je v souladu s platnými normami a vyhláškami. Pro zkoumání byly použity jen klasifikovatelné druhy materiálu, a experimentální měření proběhlo za dohledu kvalifikovaného odborníka.

Klíčová slova:

Tesařské spoje, podélné spoje, příčné spoje, spoje, čep, dlab, svorník, svorníkový spoj, kolíkový spoj, spoj se styčnickovou deskou, styčnicková deska, dřevěné kolíky, experiment

Abstract:

The aim of the diploma thesis was to analyze the carpentry joints historical and used today.

Furthermore, to select and manufacture models of typical joints used in different times, to have them experimentally tested in the laboratory for their maximum shear strength. The results were further handled.

Another point was to determine the actual shear strength according to the calculation, then adjust the values according to the model similarity and compare them with experimentally measured values, which were used in the Anthill software, which uses the probabilistic method SBRA. The values were compared with each other to verify their authenticity.

Finally, the joints were compared in terms of shear capacity at the joint and other parameters.

The whole diploma thesis is in accordance with valid standards and decrees. Only classifiable types of material were used for the investigation, and the experimental measurements were performed under the supervision of a qualified expert.

Key words:

Carpenter's joints, longitudinal joints, transverse joints, joints, pin, groove, bolt, bolt joint, pin joint, joint with joint plate, joint plate, wooden pins, experiment

Errata:

(Opravy v diplomové práci po vytištění.)

Seznam obrázků:

Obr. 1 – ukázka podélných klasických srazů (zleva) - tupý sraz, šikmý sraz [5]	17
Obr. 2 – ukázka příčných čepů [5]	18
Obr. 3 – ukázka rovného plátu [5]	19
Obr. 4 – ukázka křížového kampování [6]	20
Obr. 5 – ukázka krčkového spoje [7]	20
Obr. 6 – ukázka zarážkového spoje [8]	21
Obr. 7 – ukázka sedlového spoje [7]	22
Obr. 8 – ukázka dřevěného kolíku tzv. týble [9]	24
Obr. 9 – ukázka tesařské skoby tzv. kramle [10]	24
Obr. 10 – ukázka vrutu [11]	25
Obr. 11 – ukázka svorníku [12]	26
Obr. 12 – styčnicková deska [13]	26
Obr. 13 – podložka Bulldog [14]	27
Obr. 14 – příklad úhelníku nahrazující kamp [15]	27
Obr. 15 – ukázka originálních nástrojů pro tesaře [16]	28
Obr. 16 – návrh podélného spoje [17]	31
Obr. 17 – návrh příčného spoje [17]	32
Obr. 18 – podélný spoj s dřevěnými kolíky [17]	33
Obr. 19 – podélný spoj se styčnickovou deskou [17]	34
Obr. 20 – podélný spoj se svorníkem [17]	35
Obr. 21 – rozebraný čepový čtvercový spoj [17]	36

Obr. 22 – rozebraný čepový obdélníkový spoj [17]	36
Obr. 23 – příčný spoj se svorníky [17]	37
Obr. 24 – přístroj pro statické měření Zwick / Roell Z050 [17]	38
Obr. 25 – poslední snímek kolíkového spoje po ztrátě pevnosti [17]	39
Obr. 26 – poslední snímky spoje se styčnickovou deskou po ztrátě pevnosti [17]	40
Obr. 27 – poslední snímek spoje se svorníkem po ztrátě pevnosti [17]	41
Obr. 28 – čepový spoj čtvercový [17]	42
Obr. 29 – čepový spoj obdélníkový [17]	43
Obr. 30 – spoj s úhelníky a svorníky [17]	44
Obr. 31 – graf závislost síly na posunutí – kolíkový spoj [17].....	45
Obr. 32 – postup zkoušky kolíkového spoje	46
Obr. 33 – graf závislost síly na posunutí – spoj se styčnickovou deskou [17].....	47
Obr. 34 – postup zkoušky spoje se styčnickovou deskou varianta se zrcadlovým vytržením [17]	48
Obr. 35 – graf závislost síly na posunutí – svorníkový spoj [17]	49
Obr. 36 – postup zkoušky svorníkového spoje [17]	50
Obr. 37 – odskoky na plátech u vyřazeného vzoru 3.1 [17]	51
Obr. 38 – graf porovnání závislosti síly na posunutí všech testovaných vzorků [17]	52
Obr. 39 – graf zkoušky pro všechny příčné spoje [17]	53
Obr. 40 – konečná fáze zkoušky smykem a ohybem u jednotlivých spojů [17].....	54
Obr. 41 – pohyb závitové tyče při zatížení pro skutečnost a pro model [17]	63
Obr. 42 – vstupní rovnice pro výpočet kolíkového spoje v programu Anthill [17]	64
Obr. 43 – vstupní proměnné pro výpočet kolíkového spoje v programu Anthill [17].....	65

Obr. 44 – vstupní parametry pro výpočet kolíkového spoje v programu Anthill [17]	65
Obr. 45 – průběhy v lisu pro šest experimentálně zkoušených vzorků kolíkového spoje [17].....	66
Obr. 46 – STRED1 hodnoty pro porovnání kolíkového spoje [17]	67
Obr. 47 – STRED2 hodnoty pro porovnání kolíkového spoje [17]	67
Obr. 48 – STRED3 hodnoty pro porovnání kolíkového spoje [17]	68
Obr. 49 – vstupní rovnice pro výpočet spoje se styčnickovou deskou v programu Anthill [17]	68
Obr. 50 – vstupní proměnné pro výpočet spoje se styčnickovou deskou v programu Anthill [17]	69
Obr. 51 – vstupní parametry pro výpočet spoje se styčnickovou deskou v programu Anthill [17]	69
Obr. 52 – průběhy v lisu pro šest experimentálně zkoušených vzorků spoje se styčnickovou deskou [17]	70
Obr. 53 – STRED1 hodnoty pro porovnání spoje se styčnickovou deskou [17]	71
Obr. 54 – STRED2 hodnoty pro porovnání spoje se styčnickovou deskou [17]	71
Obr. 55 – STRED3 hodnoty pro porovnání spoje se styčnickovou deskou [17]	72
Obr. 56 – vstupní rovnice pro výpočet svorníkového spoje v programu Anthill [17]	72
Obr. 57 – vstupní proměnné pro výpočet svorníkového spoje v programu Anthill [17]	73
Obr. 58 – vstupní parametry pro výpočet svorníkového spoje v programu Anthill [17]	73
Obr. 59 průběhy v lisu pro šest experimentálně zkoušených vzorků svorníkového spoje [17]	74

Obr. 60 – STRED1 hodnoty pro porovnání svorníkového spoje [17]	75
Obr. 61 – STRED2 hodnoty pro porovnání svorníkového spoje [17]	75
Obr. 62 – STRED3 hodnoty pro porovnání svorníkového spoje [17]	76
Obr. 63 – vstupní data pro reakce ve svorníkovém spoji [17]	76
Obr. 64 – průběhy sil a momentů ve svorníkovém spoji [17]	77

Seznam použitých symbolů a zkratk:

$M_{y,R}$	Moment na mezi kluzu	[N]
$f_{h,k}$	Charakteristická pevnost dřeva v otláčení	[N/mm ²]
ρ_k	Hustota	[N/mm ³]
d	Průměr	[mm]
R	Pevnost únosnosti na stříhu spáry	[N]
k_{mod}	Součinitel vlivu zatížení	[-]
γ_M	Součinitel materiálu	[-]
A_{eff}	Efektní plocha svorníku	[mm ²]
SBRA	Simulation Based Reliability Assessment (Překlad: hodnocení spolehlivosti založené na simulaci)	
EC5	Eurokód 5	

Obsah

1. Úvod do problematiky:	16
1.1 Definice tesařství:	16
1.2 Historie tesařství:	16
2. Rozdělení tesařských spojů:	16
2.1 Sraz:	17
2.2 Čepování:	18
2.3 Plátování:	19
2.4 Kampování:	19
2.5 Krčkové spoje:	20
2.6 Zapuštění:	21
2.7. Sedlové spoje:	21
3. Pomocné spojovací prvky:	23
3.1 Pomocné spojovací prvky z historického hlediska:	23
3.1.1 Dřevěné pomocné spojovací prvky:	23
3.1.2 Ocelové pomocné spojovací prvky:	24
3.2 Pomocné spojovací prvky novodobé	25
3.2.1 Novodobé pomocné spojovací prvky:	25
3.2.2 Novodobé prvky nahrazující tesařské spoje	26
4. Pomůcky a nářadí pro výrobu:	28
5. Výhody a nevýhody tesařských spojů:	28
5.1 Výhody tesařských spojů	28
5.2 Nevýhody tesařských spojů	29
6. Cíle práce:	29
6.1 Návrh a výroba:	30
6.2 Experimentální část	30
6.3 Výpočtová část, modelová podobnost	30
6.4 Programová část	30
7. Návrh a výroba:	31
7.1 Návrh modelů	31
7.1.1 Návrh podélného spoje	31
7.1.2 Návrh příčného spoje	32

7.2 Výroba modelů	32
7.2.1 Výroba podélných spojů	33
7.2.2 Výroba příčných spojů	35
8. Záznam z experimentálního měření	37
8.1 Tahová zkouška	38
8.2 Smyková zkouška	41
9. Výstup z experimentálního měření.....	45
9.1 Výstup ze zkoušky tahem	45
9.1.1 Kolíkový spoj:.....	45
9.1.2 Spoj se styčnickovou deskou:	47
9.1.3 Svorníkový spoj:	49
9.1.4 Grafické znázornění:	52
9.2 Výstup smykové zkoušky	52
9.2.1 Výstup pro všechny typy:	52
10. Výpočtová část a modelová podobnost:.....	55
10.1 Výpočtová část:	55
10.1.1 Výpočet kolíkového spoje:	55
10.1.2 Výpočet styčnickové desky:	56
10.1.3 Výpočet svorníku:	58
10.1.4 Výpočet čepového spoje:	59
10.2 Modelová podobnost:	61
10.2.1 Teorie modelové podobnosti:.....	61
10.2.2 Výpočet modulové podobnosti:	62
11. Programová část:	63
11.1 Teorie modelové podobnosti SBRA:.....	63
11.2 Výstup ze softwaru Anthill:.....	64
11.2.1 Kolíkový spoj:.....	64
11.2.2 Spoj se styčnickovou deskou:	68
11.2.3 Svorníkový spoj:	72
12. Porovnání získaných dat.....	77
12.1 Porovnání – kolíkový spoj	78
12.2 Porovnání – spoj se styčnickovou deskou	78
12.3 Porovnání – svorníkový spoj	79

13. Závěr.....	80
13.1 Závěr – experimentální měření.....	80
13.2 Závěr – numerické vyhodnocení	81
13.3 Závěr – komplexně	81
14. Přílohy:	86

Úvod:

Diplomová práce se zabývá analýzou tesařských spojů. V dnešní době modernizace se téměř odpustilo od tradičních řešení, tato práce má mezi sebou porovnat spoje používané v dnešní době a spoje používané v historii z hlediska únosnosti a dalších parametrů.

Praktickou část práce tvoří výroba modelů vybraných tesařských spojů 1:4 od dvou typů – příčné spoje a podélné spoje. Od těchto rozdělení se vybrané spoje dále dělí na šest typů spojů. Pro příčné spoje to jsou čepové spoje čtvercové a obdélníkové, které zastupují historické spoje a spoj s úhelníky a svorníky, který má simulovat moderní spoj. Pro podélné spoje jsou vybrány - spoj kolíkový s dřevěnými kolíky, který zastupuje spoje s historického hlediska a spoj se styčnickovou deskou a svorníkem, které zastupují moderní dobu. Od každého typu spoje je zhotoveno šest vzorků pro experimentální zkoumání.

Při experimentální analýze je u jednotlivých typů zkoumána jejich maximální smyková únosnost ve spoji. Pro podélné spoje tahovou zkouškou a pro příčné spoje smykovou zkouškou. Při zkoušení je narazeno na překážku u příčných spojů, přístroj není možné sestavit tak, aby byl schopen působit smyk v patě sloupu tedy v místě spoje, tím pádem je stojka spíše zatěžována na ohyb. Z tohoto důvodu není možné získat požadované hodnoty u příčných spojů, a proto nejsou dále zkoumány. Výstupem z experimentálního zkoumání jsou maximální hodnoty smykové únosnosti u každého vzorku a grafické srovnání jednotlivých vzorků.

Dalším bodem diplomové práce je výpočet skutečné únosnosti smykové síly ve spoji. Je zhotoven výpočet pro všechny spoje, který je dále upraven pomocí modelové podobnosti, aby odpovídal hodnotám naměřeným při experimentální analýze. Hodnoty naměřené při experimentu jsou vsazeny do softwaru Anthill, který využívá pravděpodobnostní metodu SBRA. Výsledky středních hodnot jsou dále porovnávány s výpočtovou hodnotou a střední hodnotou z experimentálního měření.

1. Úvod do problematiky:

1.1 Definice tesařství:

Tesařství je jedna ze stavebních profesí s dlouholetou tradicí rozšířená po celém světě. Skládá se z velké škály stavebních prací se dřevem, jako jsou hrázděné nebo roubené konstrukce, veškeré konstrukce ze dřeva a především konstrukce krovu. K této činnosti patří těžká ruční práce většinou v exteriéru. Pro konání této práce je třeba, jako je to u většiny řemesel, střední vyučení většinou tříleté a zkušenosti z praxe.

1.2 Historie tesařství:

Tesařské řemeslo patří k nejstarším řemeslům vůbec. V dřívějších dobách, kdy si každý stavěl své obydlí sám, mohl být každý tesařem. Ve středověku po vzniku cechů se tesařství stalo velice žádaným ba i nepostradatelným řemeslem. Při výstavbách prestižních budov byla na místě při tvorbě krovu tesařská zkušenost. Zkušený řemeslník si své znalosti pečlivě střežil a předával je jen vybranému kolegovi nejčastěji synovi, který v budoucnu převzal jeho místo. Absolutního vrcholu dosáhli francouzští tesaři kolem roku 1900 klenutými dřevěnými střechami. Většina systémů, spojovacích prvků a nástrojů k výrobě krovů se používá dodnes.

2. Rozdělení tesařských spojů:

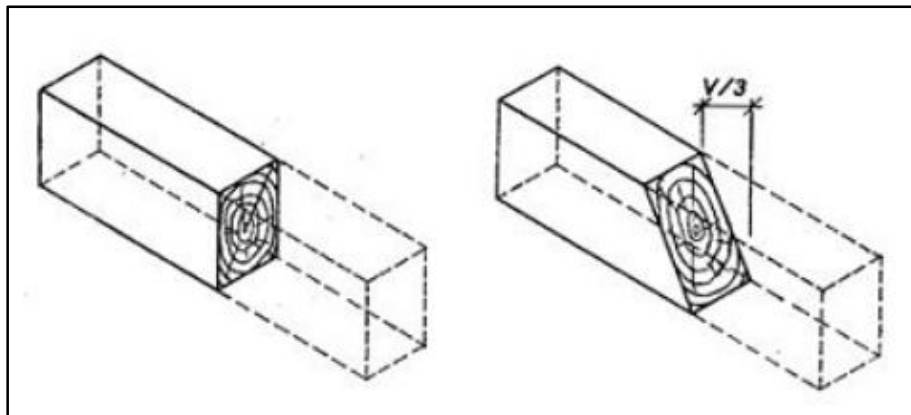
Z hlediska navrhování dřevěných konstrukcí bývá spojení nejproblematictějším detailem celého návrhu, na rozdíl od ocelových či betonových konstrukcí, kde je možno technologicky vytvořit monolitický spoj, je u dřeva za monolitický spoj považováno pouze lepení. V dnešní době se již pod pojmem spoj nemíní přirozené spojení dřeva, nýbrž je tato definice podpořena pomocnými spojovacími prvky. Je tedy možno tesařské spoje dělit do dvou podskupin – tesařské spoje klasické a spoje pomocí spojovacích prvků. U klasických tesařských spojů je většinou nevýhodou oslabení konstrukce v místě spojování, v dnešní době se od této technologie již odpouští a přechází se spíše na spoje doplněné o pomocné spojovací prvky. Definice tesařského klasického spoje je, že jednotlivé díly konstrukce krovu jsou opracovány

tak, aby bylo možné je do sebe vsunout nebo nasadit a tím vytvořit spojení. Spoje jsou, jak je výše zmíněno, většinou ještě podpořeny spojovacími prvky, jako jsou kolíky, tesařské skoby, vruty, svorníky, styčnickové desky apod. Dříve jako doplňkový spojovací materiál bylo využíváno dřevo či ocelové prvky, dnes je uplatňován spíše pozink či nerezová ocel. Základní rozdělení tesařských spojů dle druhu spoje je definováno níže.

2.1 Sraz:

V nejčastějších případech je tento spoj využíván k prodloužení prvku. Jedná se tedy o druh spoje podélného, méně je pak sraz využit v rohových spojih a příčných spojih. U podélného spojování jej dále dělíme do skupin – srazy klasické, srazy s vloženým středovým kusem, čepové srazy a sesazení.

U klasických srazů jsou spoje většinou takzvaně tupé, u tohoto způsobu je nutno prvek zajistit proti vybočení pomocnými prvky. Dříve pro tyto druhy spojů byly využívány tesařské skoby takzvané kramle, v dnešní době se dává přednost styčnickovým deskám a jím podobnému zajištění. Do klasických srazů spadá však i sraz s rybinovou vložkou, tento způsob nevyžaduje již další pomocné prvky.



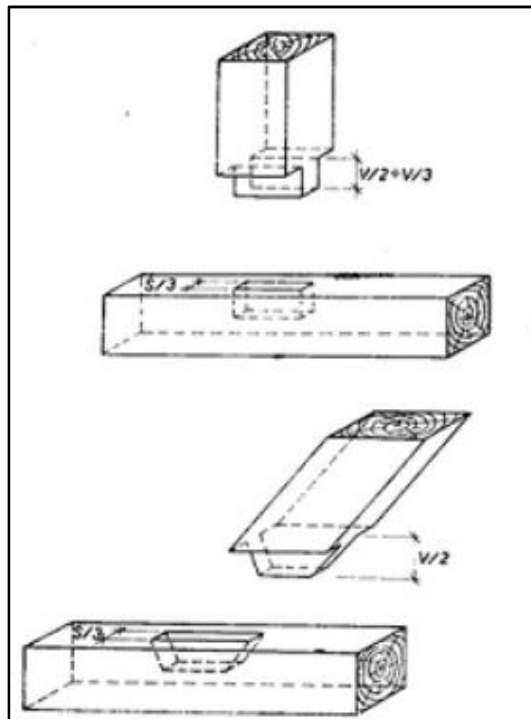
Obr. 1 – ukázka podélných klasických srazů (zleva) - tupý sraz, šikmý sraz [5]

Dalším typem srazů jsou srazy s vloženým středním kusem. U tohoto způsobu záleží na výběru tvaru středového kusu, pokud je zvolen správně zajišťuje funkci zámku a konstrukce je dostatečně zajištěna. Tento systém je podobný spojování plátováním.

Čepové srazy jsou jako spoje podélné ve skupině čepování (viz níže). Sesazení je spoj využíváný u svislých konstrukcí, jako jsou sloupy. Jestliže vodorovně ležící dřevo potřebuje prodloužit, jedná se o nastavení, pokud mluvíme o svislém prodloužení, jedná se o nasazení.

2.2 Čepování:

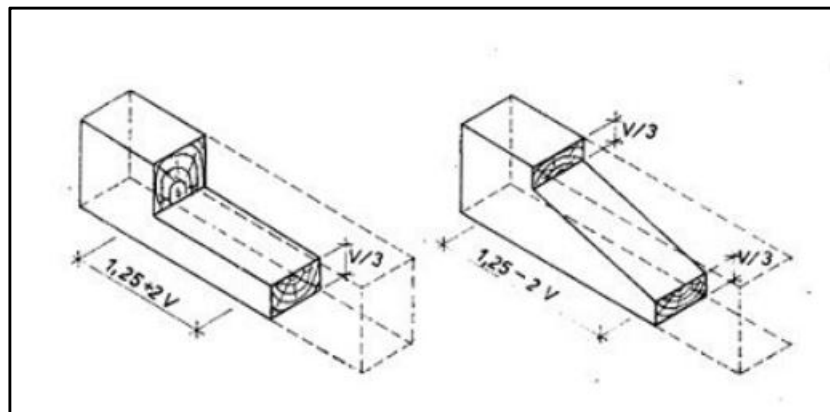
Tento druh spojování ještě s plátováním patří nejenom k nejstarším, ale také nejrozšířenějším spojováním dřevěných prvků. Způsob tohoto spojování je založen na dvou do sebe zapadajících tesařských prvcích - čepu, což je vystupující část na konci prvku a dlabu, což je přesný otvor opisující tvar čepu. Čepování má využití u podélných, příčných, křížových i rohových spojů, formy jeho využití je rozsáhlé – srazy s čepem, ostřih a čep, pláty s čepem, rybové čepy, odsazené čepy, podříznuté čepy, čepy vyosené, rovné čepy, čepy s předsunutím, čepy s klíny, plátované čepy, šikmé čepy, čepy se zapaštěním, stranové čepy, křížové čepy. U všech spojovacích druhů by měl být čep široký třetiny celkové šířky. U podélného a rohového spoje ve většině případů by měl být čep doplněn pomocným spojovacím prvkem, jakou jsou například dřevěné kolíky v dnešní době například svorníky či vruty. U příčného spoje se tato opatření také doporučují, ne vždy jsou však potřebné.



Obr. 2 – ukázka příčných čepů [5]

2.3 Plátování:

U plátů podobně jako u čepů je využití u podélných, křížových, rohových, šikmých i příčných spojů. Princip je založen na systému dvou prvků, které mají na protilehlých koncích vytvoření pasující zářez. Pokud nejsou pláty vytvořeny tak, aby zajišťovali vyboulení nebo usmýknutí, je nutno tento spoj doplnit o pomocné spojovací prvky, nejčastěji jsou využívány kolíky nebo vruty, je možnost využít i svorníky. Plátování se dále dělí na rovné pláty (na obou stranách, na jedné straně zešikmený, se zasouvací drážkou, na obou stranách šikmo, apod.), čepový plát, pláty s předsazením ve tvaru háku, tahové pláty, šikmé pláty, hákové pláty, příčné pláty.

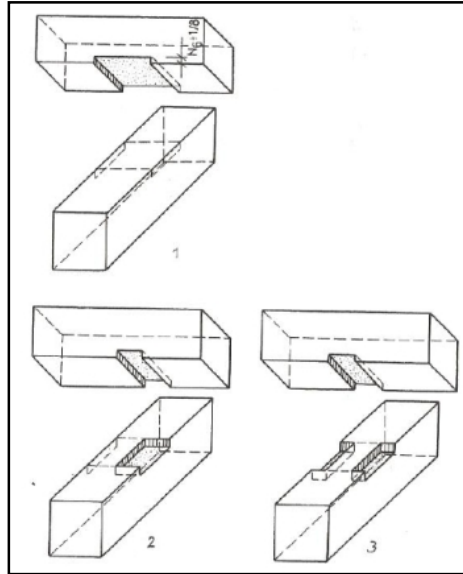


Obr. 3 – ukázka rovného plátu [5]

2.4 Kampování:

Jde o princip vydlabání lůžka, do kterého se nasadí zub tak zvaný kámp.

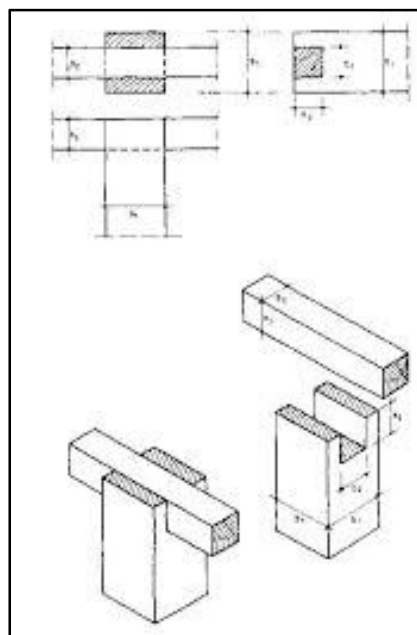
Charakteristika tohoto spoje je, že jednak kámpové trámy neleží vůči sobě vazně, jinak by se řadily do skupiny plátů, a jednak nelze kámpy použít jako podélné spoje, z toho vyplývá, že jsou tedy kámpové spoje vhodné pro rohové, příčné nebo křížové spojení. Hloubka zapuštění by se měla pohybovat mezi jednou šestinou až jednou osminou tloušťky trámu. Muže se dělit na jednoduchý nebo dvojitý kámp. Kámpové spojení je většinou zhotoveno tak, aby odolalo všem vnitřním silám, takže není nutno tento systém doplňovat o pomocné spojovací prvky.



Obr. 4 – ukázka křížového kámpování [6]

2.5 Krčkové spoje:

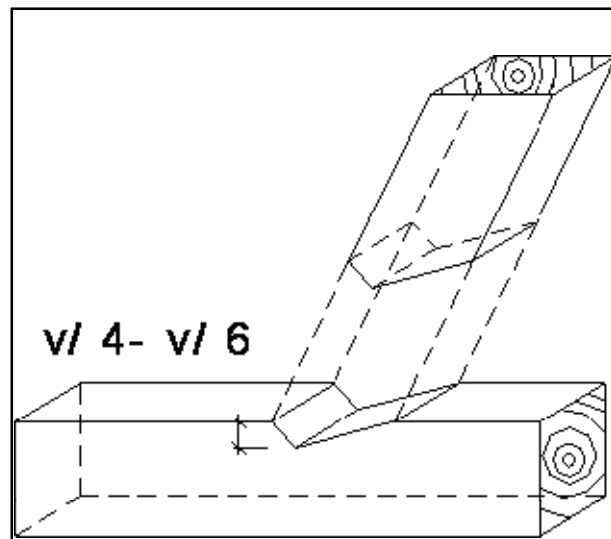
Zvané jinak také zahrdení. Princip tvoří vidlice větví na konci stojky nebo sloupku, do kterých je umístěno vodorovné těleso, proto je tento systém vhodný pouze pro příčné spoje. Původně se zahrdení provádělo tak, že rozvor vidlic byl natolik vyříznut, aby bylo možné do něj nasadit prvek v plné šířce neopracovaný. V další fázi vývoje byly již vodorovné prvky opracovány, aby bylo možné spojit stejné nebo přibližně stejně široké prvky. Dále je možno zahrdení dělit na krček, vyříznutý krček, krček se zarážkou.



Obr. 5 – ukázka krčkového spoje [7]

2.6 Zapuštění:

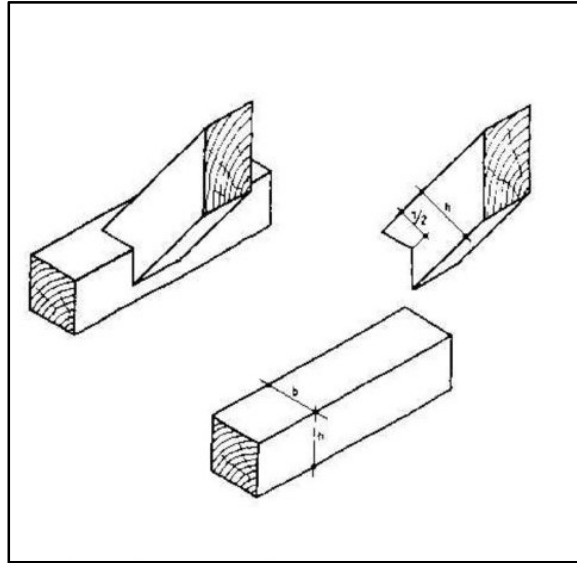
Známe také pod názvem zarážkování. Slouží pro rohové spoje a jeho princip spočívá ve vytvoření zarážky na jednom prvku, do kterého se pak zasadí druhý prvek. Nejjednodušší formou zarážky může být definovaný sloup zatlučený do země. Zarážka může být vytvořena hladká nebo s ozubem, může být vytvořený p celé šířce nebo jen na části. Zub by měl být v rozmezí jedné čtvrtiny až jedné šestiny výšky prvku.



Obr. 6 – ukázka zarážkového spoje [8]

2.7. Sedlové spoje:

Jsou označovány také jako dráповé spoje. Z názvů jako je sedlo nebo dráp lze usoudit, že na konci jednoho prvku je vytvořen zakus, který zapadne do připojovaného prvku. Na základě své konstrukce se tento spoj vykytuje jen u napříč a zešikma připojených prvků. Uplatnění sedlových spojů je široké, od krokevních vrubů až po zámky vzpěr. Sedlové spoje, zvláště když jde o menší vruby, jsou snadno zhotovitelné, pro zajištění nehybnosti sedla je však často nutno pomocných spojovacích prostředků, dříve tesařské skoby takzvané kramle, dnes například styčnickové desky.



Obr. 7 – ukázka sedlového spoje [7]

Další rozdělení tesařský spojů je děleno do čtyř oddílů:

- forma spoje
 - podélné spoje
 - rohové spoje
 - příčné spoje
 - svisle spojovací
 - svisle se opírající
 - vodorovně připojené
- poloha spoje
 - stojící: nadél – napříč
 - ležící: na výšku – na ležato
- směr spojení
 - přímé / pravouhlé
 - šikmé
- vaznost
 - vazné
 - nevazné.

3. Pomocné spojovací prvky:

Pomocné spojovací prvky byly využívány již v dřívějších dobách, dnes však jejich využití narostlo do takové míry, že je již nelze definovat jen jako pomocné, ale u některých detailů zcela nahradili klasický tesařský spoj.

3.1 Pomocné spojovací prvky z historického hlediska:

S ohledem na historii, jak je výše zmíněno, se jedná opravdu pouze o pomocné prvky. Tyto pomocné prvky měli za funkci přenášet podružné vnitřní síly působící na spoj, například u prodloužení vaznice u typu spoje na sraz zajišťovali zamezení vybočení prvku, na tento problém se většinou používaly tesařské skoby, u stejného případu, ale u spoje přelátováním se užívali dřevěné kolíky, které zamezovaly smykovým silám. Jak tedy již bylo zmíněno, nejčastěji užívaný materiál z historického hlediska bylo dřevo a ocel, dále pak byla využívána lany pro různé tahové síly později pak ocelová táhla.

3.1.1 Dřevěné pomocné spojovací prvky:

Do skupiny dřevěných pomocných spojovacích prvků patří dřevěné kolíky lidově zvané týble. Tyto kolíky, byly využívány, jak je výše již zmíněno, k zamezení vysunutí nebo posunutí jednotlivých spojů. Jako materiál bylo využíváno tvrdé dřevo dubové, bukové a podobně. Tvar kolíku je nejčastěji kruhový, kvůli lepší instalaci, ale prováděly se také čtvercové. Vyrábí se v širokém rozmezí od průměru 6 mm, mohou být hladké nebo s drážkami. Otvor pro kolíky by měl být o něco menší, aby zatlačený kolík konstrukci ztužil a nedocházelo k nechtěným pohybům. Jejich zapuštění je buď částečné, nebo celoplošné. Dřevěné kolíky jsou využívány i v současnosti, ale již jen v malé míře, tento systém byl nahrazen vruty nebo svorníky pro jejich jednodušší aplikaci. Výhodou dřevěných kolíku je stejný materiál se spojem, po použití ocelových prvků může v místě spoje kondenzovat voda a tím dřevo trpí a mohou se vytvářet plísně, tento problém u použití dřevěných kolíků nenastane.



Obr. 8 – ukázka dřevěného kolíku tzv. tyble [9]

3.1.2 Ocelové pomocné spojovací prvky:

Tato skupina je z historického hlediska zastoupena především tesařskými skobami jinak také označovány kramlemi, tímto prvkem byly zajišťovány konstrukce spojeny na sraz, z toho vyplývá, že jejich hlavní úkolem je chránit konstrukci proti vybočení. Tesařské skoby jsou většinou kruhového nebo čtvercového profilu na koncích se špičkou zohýbané do tvaru U. Vyrábí se 200 až 400 mm dlouhé, jejich trny jsou v délce 40 až 60 mm. V dnešní době jsou spíše nahrazovány styčnickovými deskami.



Obr. 9 – ukázka tesařské skoby tzv. kramle [10]

Dalšími historickými pomocnými prvky mohou být uvedena lana, zajišťující stabilitu a pevnost v tahu, ty byly později nahrazovány ocelovými táhly. Táhla jsou využívána i dnes.

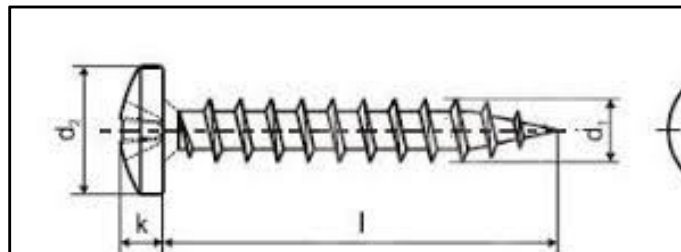
Dalším typem, který je někde na pomezí historického, a novodobého užívání jsou další kolíkové spoje ocelové – hřebíky.

3.2 Pomocné spojovací prvky novodobé:

V dnešní době modernizace a zrychlování procesů se pomocné spojovací prvky vyvinuly do úrovně, kdy umožňují efektivní časový komfort pro zhotovitele. Tuto skupinu prvků je možné dále dělit na tedy již zmíněné pomocné prvky a prvky, jejichž systém nahrazuje klasické spoje.

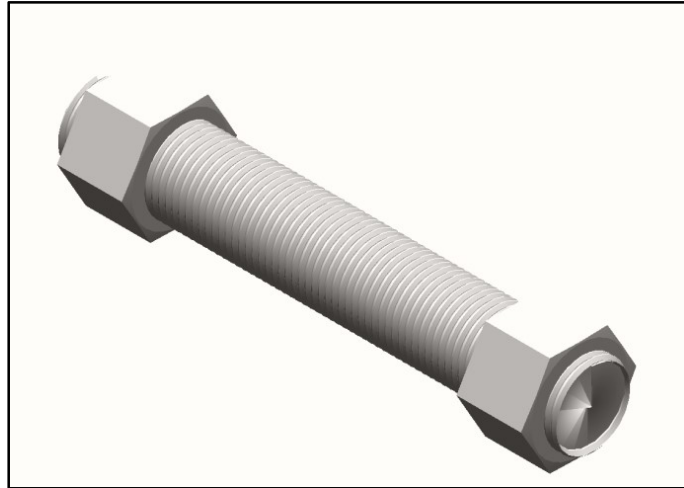
3.2.1 Novodobé pomocné spojovací prvky:

Tuto skupinu lze obecně dělit na již zmíněné kolíky (hřebíky), vruty a svorníky. Vruty jsou samořezné šrouby, sloužící k vytvoření rozebíratelného spoje. Jak už definice napovídá, vruty mají samořezný hrot, proto není nutno předvrtávat otvor na aplikaci a je zakončen rozšířenou hlavičkou s křížovým řezem pro aplikaci do dřeva. U jednotlivých spojů mohou být umístěny jednostranně nebo oboustranně. Sortiment vrutů je rozsáhlý, vyrábí se ve všemožných velikostech.



Obr. 10 – ukázka vrutu [11]

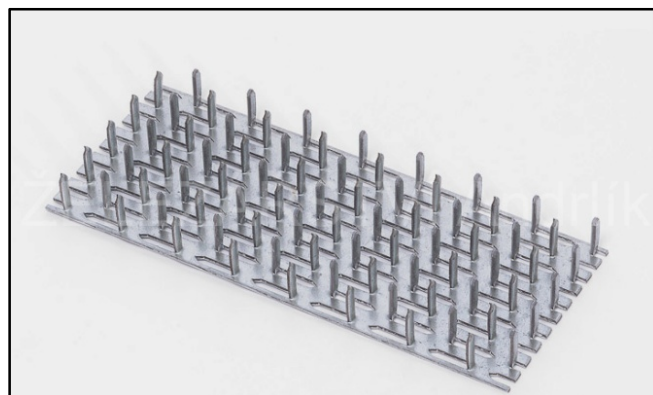
Dalším zástupcem je svorník. Tento systém se skládá ze závitové tyče, dvou podložek a dvou matek. Obecně jej lze definovat jako mechanismus sevření prvku. Otvor pro závitovou tyč je nutno předvrtat, tyč by měla být do otvoru umístěna na těsno. Poté se na konce umístí matky s podložkami a utáhnou momentovým klíčem. Pro rohové nebo příčné spoje je svorník doplněn o pomocné úhelníky. Sortiment závitových tyčí, stejně jako u vrutů, je rozsáhlý, vyrábí se v různých průměrech a délkách po metru či metru a půl, závitovou tyč pak lze nařezat na požadované délky.



Obr. 11 – ukázka svorníku [12]

3.2.2 Novodobé prvky nahrazující tesařské spoje:

Tato skupina prvků byla vytvořena za účelem zjednodušené a rychlejší realizace, další důvod a výhoda, kterou tyto prvky mají je, že tímto způsobem není oslabována konstrukce v místě spoje, jen je obohacena prvkem, který plně zastává funkci spoje. Prvky patřící do této skupiny buď hliníkové či ocelové plně nahrazují některé klasické tesařské spoje jako je čepování, osedlání apod. Do této skupiny prvků lze řadit styčnickové desky s prolisovanými trny, na kterých je postaven například systém vazníkového krovu, ale jsou využívány i při výstavbě vaznicového krovu. Jedná se o pozinkované (popřípadě vyrobené z nerezové oceli) desky, u kterých se lisem vytvoří řady trnů. Umísťují se jednostranně i oboustranně dle namáhání.



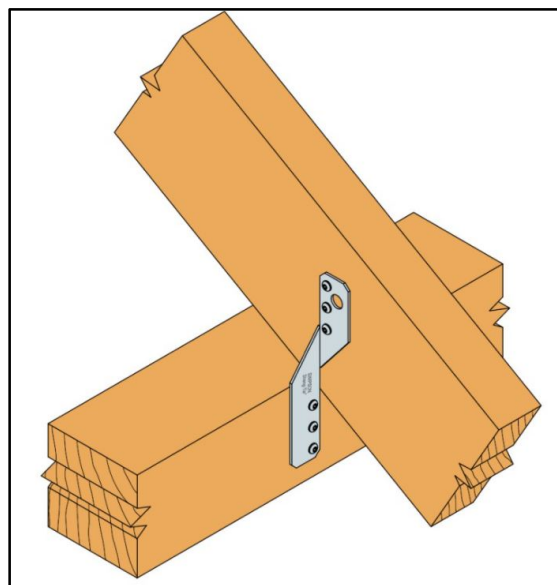
Obr. 12 – styčnicková deska [13]

Dalšími zástupci mohou být podložky pro dřevěné konstrukce zvané Bulldog. Tyto podložky jsou na podobném principu jako styčnickové desky, ale jsou možné používat oboustranně. Na podložce jsou lišem vytvořeny ozuby, které se nalisují mezi dva prvky. Může být doplněna o svorník, pro zajištění v opačném směru.



Obr. 13 – podložka Bulldog [14]

Dále je důležité uvést velkou řadu úhelníků nahrazujících celou řadu klasických tesařských spojů. Tyto prvky jsou obohaceny o vruty či svorníky.

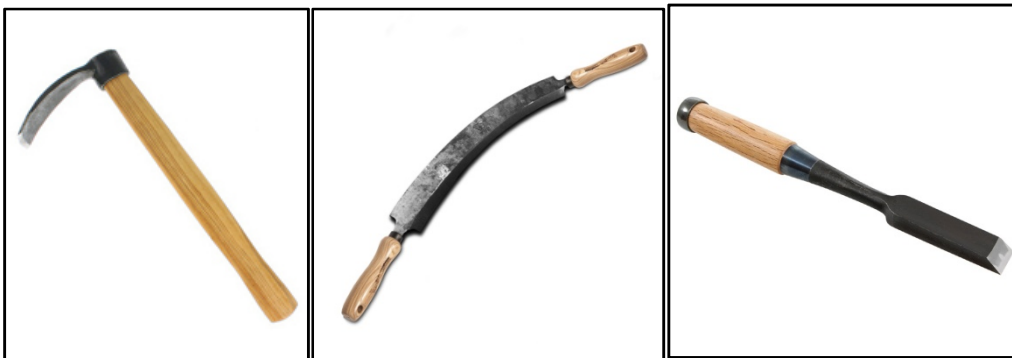


Obr. 14 – příklad úhelníku nahrazující kamp [15]

4. Pomůcky a nářadí pro výrobu:

Je nutno zmínit, že tesařské spoje se provádějí za pomoci poměrně nenáročného technického vybavení. Zde jsou uvedeny nejdůležitější z nástrojů:

- pila
- kladivo
- sekera, teslice
- poříz
- vrtáky
- dláto, děropáč
- hoblík, smirkový papír
- pravítko, úhelník
- tužka
- skládací metr



Obr.15 – ukázka originálních nástrojů pro tesaře (zleva) – teslice, poříz a děropáč [16]

5. Výhody a nevýhody tesařských spojů:

5.1 Výhody tesařských spojů:

Pokud budeme na věc nahlížet z komplexnějšího hlediska, jednou z výhod tesařských výrobků je využití přírodních materiálů, tento faktor je dnes ve stavitelství hodně vzácný. Další výhodou je nutno uvést, že pro vytvoření jednotlivých tesařských spojů stačí mít poměrně nenáročné technické vybavení. Dále je možno uvést fakt, že pokud je tesař se

zkušenostmi, je schopen zhotovovat spoje bez složitých výpočtů, jelikož tesařina může vycházet z dlouholetých zkušeností z praxe. Pokud nejsou využity pomocné spojovací prvky (hřebíky, vruty) nebo jsou ze dřeva, můžeme jako další výhodu uvést fakt, že na konstrukci nebude kondenzovat voda v místech kovových prvků a na konstrukci se nebudou tvořit plísně.

5.2 Nevýhody tesařských spojů:

U klasických tesařských spojů je určitě nevýhodou oslabení konstrukce v místě spoje, konstrukce musí být dimenzována tak, aby byla schopná ve spoji přenést veškerá zatížení. Nevýhodou je také pracnost tesařských spojů, je nutná zkušenost a síla. Pokud jsou použity kovové pomocné prvky, je riziko kondenzace vody v místě napojení a obecně dřevěné konstrukce jsou náchylné na vlhkost a tvorbu hub a plísní. Dále z komplexního hlediska dřevo je také náchylné na škůdce, takže musí být ošetřováno jak proti škůdcům, tak proti houbám a plísním.

6. Cíle práce:

Cílem diplomové práce bylo analyzovat a porovnat tesařské spoje užívané v historii a v dnešní době, jejich porovnání z hlediska statické únosnosti.

Po výběru a výrobě jednotlivých typů modelů, celkem šest variant, tři pro podélné spoje a tři pro příčné spoje, byly tyto vzorky určeny pro experimentální zkoumání. Od každého typu vzorků bylo zhotoveno šest kusů. Výsledky experimentu byly obohaceny o ruční výpočet posouzení, zda modely odpovídají skutečnosti a splňují požadavky dle EC5. Dále byly výstupní hodnoty vsazeny do softwaru Anthill využívající pravděpodobnostní metodu SBRA pro další porovnání

HYPOTÉZA:

Porovnání vybraných druhů spojů, které byly využívány v historii a v dnešní době, z hlediska únosnosti a dalších parametrů.

6.1 Návrh a výroba:

Cílem návrh a výroby bylo vybrat a zhotovit typické tesařské spoje pro jednotlivé doby. Vzorky musely být zhotoveny tak, aby bylo možné je umístit do zkoušecího stroje a byly téměř totožně s reálnými tesařskými spoji, aby výsledky byly co nejpravděpodobnější. Tento fakt dále ovlivňoval výběr materiálu dřeva a pomocných spojovacích prostředků.

6.2 Experimentální část:

Cílem experimentální zkoušky bylo určení maximálních statických únosností jednotlivých typů modelů, u podélných spojů šlo o tahovou zkoušku, u příčných spojů pak o smykovou zkoušku. Konkrétněji šlo o analýzu smykové únosnosti v místě spoje. Pro každý typ vzorku bylo zhotoveno šest modelů pro vymezení indexu chyb a minimalizování různorodosti dřeva. Výstupy měření byly dále porovnávány.

6.3 Výpočtová část, modelová podobnost:

Ve výpočtové části, bylo cílem získání skutečných hodnot únosnosti ve smyku jednotlivých druhů spojů dle výpočtu. Tyto výsledky byly dále porovnávány pomocí modelové podobnosti s výsledky z měření. Výpočty byly provedené dle Eurokódu 5.

6.4 Programová část:

Cílem programové části bylo získané hodnoty z měření vsadit do programu AntHill, který používá pravděpodobnostní program SBRA. Z programu získané střední hodnoty dále porovnat s hodnotami z experimentálního měření a hodnotami z výpočtů a porovnáním dále získat procentuální odchylky.

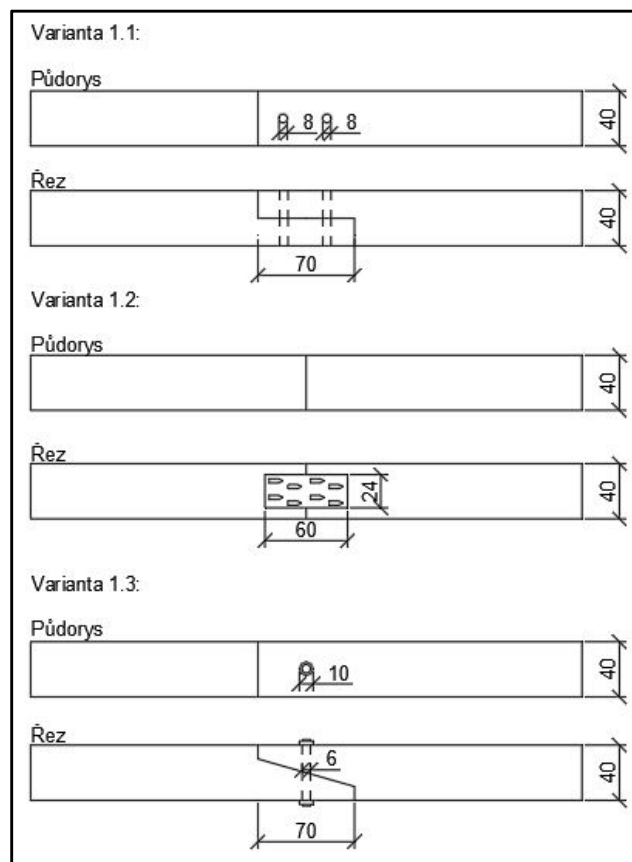
7. Návrh a výroba:

7.1 Návrh modelů:

Pro výrobu bylo vybráno šest typů spojů, tři podélné spoje a tři příčné spoje, od každého typu bylo zhotoveno šest kusů. Měřítka pro modely bylo určeno 1:4 pro lepší manipulaci, a kvůli závislosti na měřicím přístroji.

7.1.1 Návrh podélného spoje:

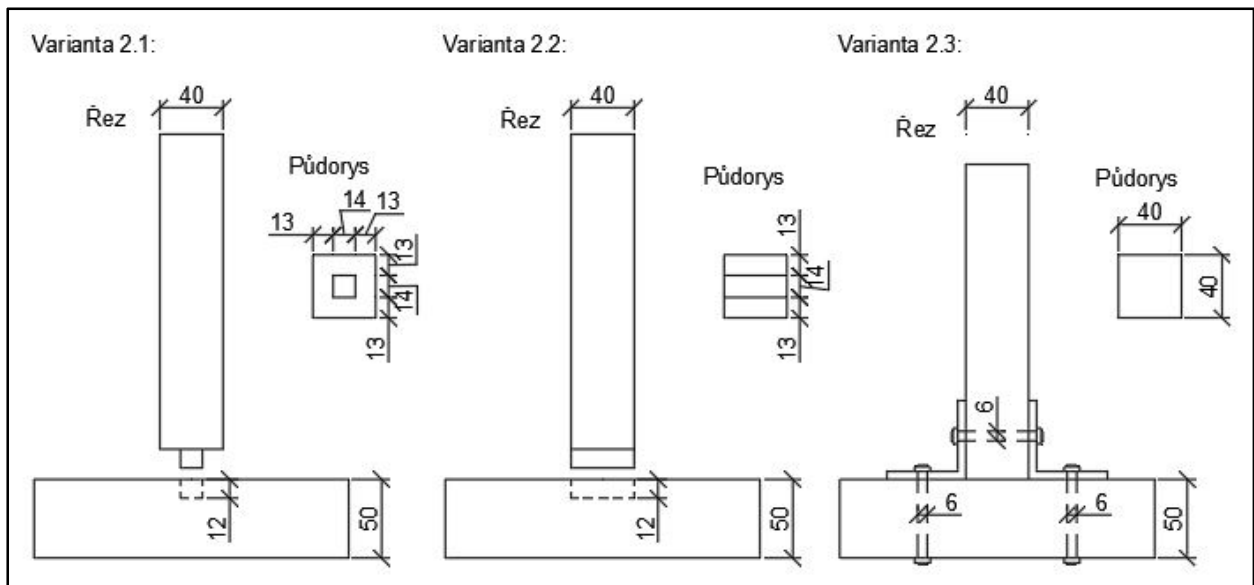
Druh podélného spoje byl vybrán jako prodloužení vaznice. Jeden ze spojů je historický a dva novodobé. Historický spoj byl navržen jako přeplátovaný spoj zajištěný dřevěnými kolíky, novodobé spoje byly pak také přeplátování zajištěné svorníkem a spoj na sraz zajištěný styčnickovými destičkami z obou stran.



Obr. 16 – návrh podélného spoje (shora) – přeplátovaný spoj s kolíky, spoj na sraz se styčnickovou deskou, přeplátovaný spoj se svorníkem [17]

7.1.2 Návrh příčného spoje:

Druh příčného spoje byl definován jako sloupek spojený s vaznicí (popř. vazným trámem). Dva ze spojů jsou historické a jeden novodobý. Jako historické spoje byly vybrány čepové spoje jeden čtvercový druhý obdélníkový, novodobý spoj byl obohacen o úhelníky staženými svorníky.



Obr. 17 – návrh příčného spoje (zleva) – čep čtvercový, čep obdélníkový, spoj se svorníky

[17]

7.2 Výroba modelů:

Jako materiál pro modely bylo zvoleno smrkové dřevo s pevnostní třídou C24. Neopracované fošny byly zkráceny a upraveny na hranoly na formátovací pile SCM SI320, surové hranoly byly dále opracovány do požadovaných rozměrů na protahovacím hoblovacím přístroji KDR 310ST. Hranoly v požadovaných rozměrech pro podélné spoje 40 x 40 x 200 mm a pro příčné spoje 40 x 40 x 200 mm a 45 x 50 x 200 mm byly dále opracovávány dle jednotlivých druhů.

7.2.1 Výroba podélných spojů:

Původně bylo zamýšleno pro podélné spoje rozměr 45 x 50 mm, aby odpovídal přizpůsobené vaznici 1:4, však kvůli umístění do měřicího přístroje tento rozměr nebyl vhodný, proto byl upraven na rozměr 40 x 40 mm.

7.2.1.1 Kolíkový spoj:

U připravených hranolů se na formátovací pile SCM SI320 vytvořily pláty o délce 70 mm. Pláty musely být vytvořeny tak, by do sebe přesně zapadly. Poté se do přeplátovaného spoje stojanovou vrtačkou Einhell SB 700 vyvrtaly dva otvory pro dřevěné kolíky. Otvory byly zhotoveny vrtákem o průměru 7,5 mm z důvodu pevného zajištění kolíku. Dřevěné kolíky o průměru 8 mm s drážkami vyrobené z tvrdého dřeva byly zatloukány do otvorů pomocí kladiva.



Obr. 18 – podélný spoj s dřevěnými kolíky [17]

7.2.1.2 Spoj se styčnickovou deskou:

Tento spoj byl na náročnost výroby nejsnadnější. Na připravené hranoly se umístili ocelové styčnickové desky o rozměrech 60 x 24 x 1 mm s hřeby výšky 10 mm, které se

překryly po celé ploše a pomocí kladiva se zaklepaly do dřeva, tento systém měl simulovat zatlačení lisem.



Obr. 19 – podélný spoj se styčnickovou deskou [17]

7.2.1.3 Spoj se svorníkem:

Spoj se svorníkem byl na výrobu z řad podélných spojů nejsložitější, jelikož jeho přeplátování bylo navrženo pod úhlem. Plát byl navržen stejně jako u kolíkového spoje na délku 70 mm, plát pod úhlem byl zhotoven na stojanové okružní kotoučové pile BOSCH PCM 8S. Poté se do přeplátovaného spoje vyvrtal otvor pomocí stojanovou vrtačkou Einhell SB 700 o průměru 6 mm. Ocelová závitová tyč o stejném průměru 6 mm byla zkrácena, tak aby bylo možné z obou stran umístit ocelovou matku o průměru 10 mm s podložkou. Svorník byl dotažen aku vrtačkou BOSCH GSR 10,8V-LI na 10 Nmm, tímto způsobem bylo simulováno sesychání krovu, jelikož na modely bylo použito dřevo již vysušené a krovky se ve většině případů zhotovují z dřeva ještě nevysušeného.



Obr. 20 – podélný spoj se svorníkem [17]

7.2.2 Výroba příčných spojů:

U příčných spojů byla zvolena stojka představující sloupek o rozměrech 40 x 40 mm a podélný trám o rozměrech 45 x 50 mm, tyto rozměry budoucí měření smyku nějak neomezovali.

7.2.2.1 výroba čepového spoje čtvercového:

Čep na konci stojky o rozměrech 14 x 14 mm byl zhotoven na formátovací pile SCM SI320. Dlab na podélném trámu byl o něco složitější, dle starého způsobu bylo použito dláto a kladivo. Čep a dlab do sebe museli dokonale padnout.



Obr. 21 – rozebraný čepový čtvercový spoj[17]

7.2.2.2 výroba čepového spoje obdélníkového:

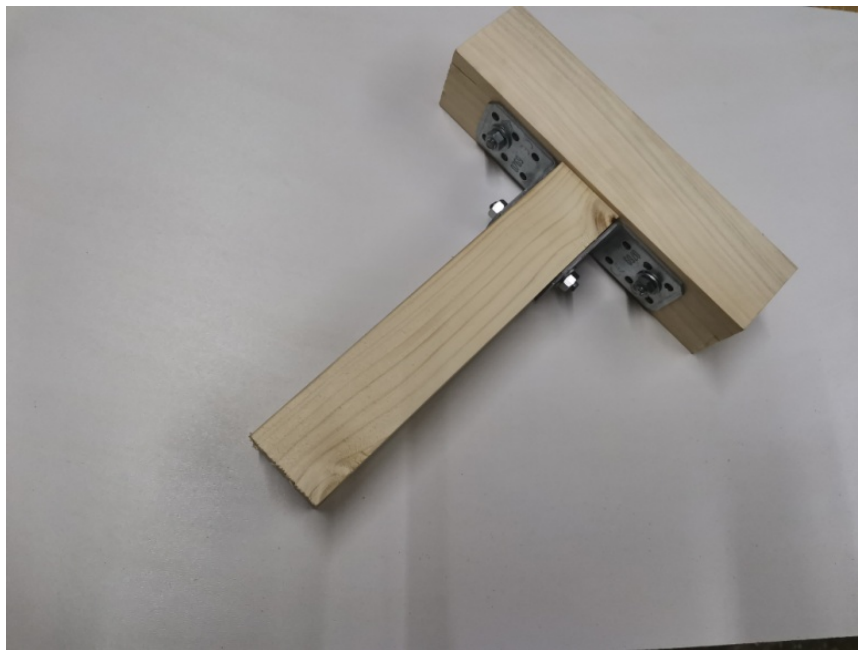
Obdélníkový čep podobně jako čtvercový byl zhotoven na formátovací pile SCM SI320. U dlabu bylo použito jednodušší řešení. Otvor se předvrtal na frézovací pile TKS 200 a dlátem byl upraven do požadovaného tvaru. Stejně jako u čtvercového čepového spoje, díly do sebe musely dokonale zapadnout.



Obr. 22 – rozebraný čepový obdélníkový spoj[17]

7.2.2.3 Výroba spoje se svorníky:

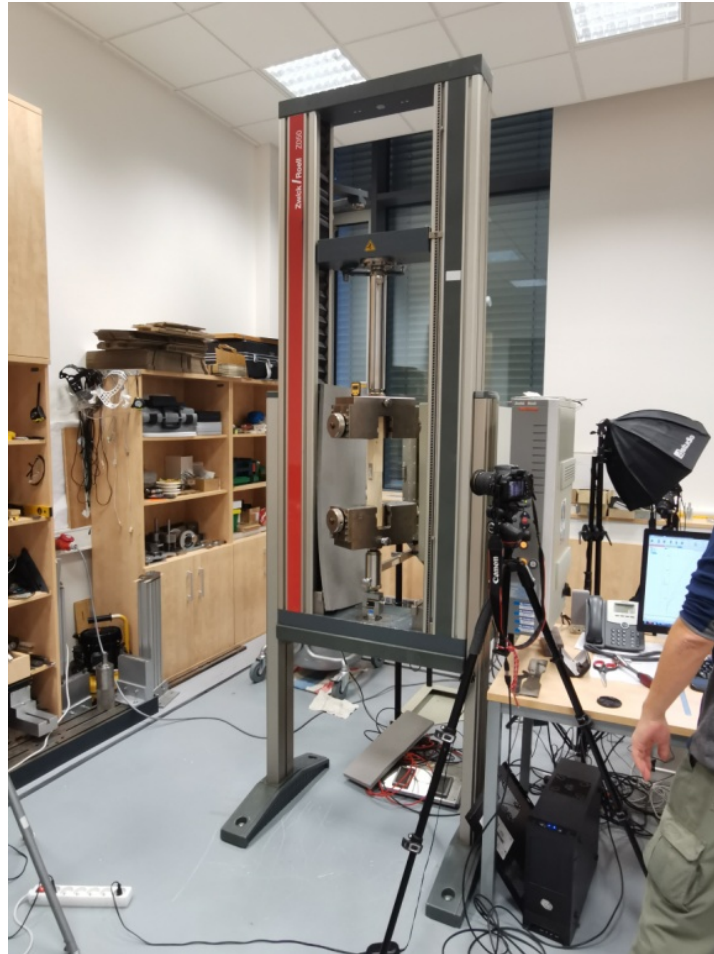
Spoj se svorníky byl, co se týče práce se dřevem, nejméně pracný. Pro příčné spojení se svorníky byly využity ocelové úhelníky s prolisem o rozměrech 2 x 35 x 50 x 2 mm. Jako svorník byla využita ocelová závitová tyč o průměru 6 mm zkrácená tak, aby bylo možné umístit ocelovou matku o průměru 10 mm s podložkou. Svorník byl dotažen aku vrtačkou BOSCH GSR 10,8V-LI na 10 Nmm, stejně jako u podélného spoje se svorníkem.



Obr. 23 – příčný spoj se svorníky [17]

8. Záznam z experimentálního měření:

Jednotlivé vzorky byly testovány pomocí mechanické zkoušky ve dvou druzích. Testování proběhlo 16. 12. 2020 v budovách Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni v oddělení NTIS. Vzorky byly měřeny na přístroji Zwick / Roell Z050 (viz Obr. 24.), který je určen pro statické zkoušení materiálů a je speciálně navržen pro zkoušky tahem, tlakem a ohybem, jakož i pro zkoušky smykem.



Obr. 24 – přístroj pro statické měření Zwick / Roell Z050 [17]

8.1 Tahová zkouška:

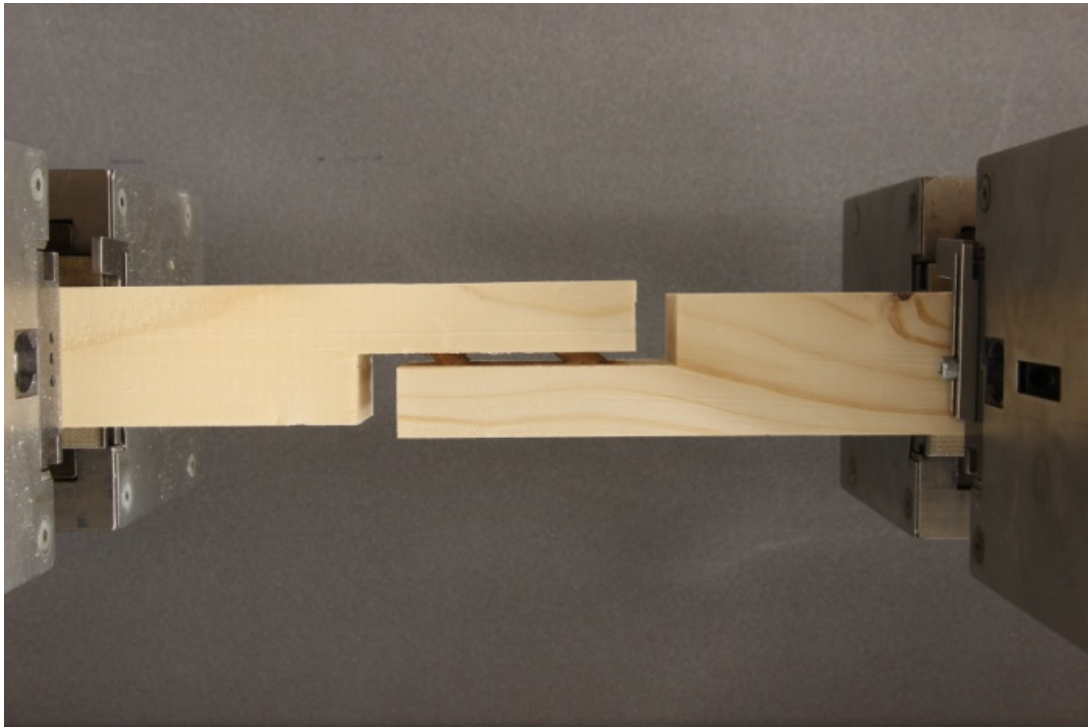
Prvními zkoumanými vzorky byly podélné spoje – kolíkový spoj, spoj se styčnickovou destičkou a spoj se svorníkem. Vzorky byly stejných rozměrů 40 x 40 x 400 mm.

Vzorek musel být umístěn do čelistí kolmo, aby byly eliminovány nežádoucí ohyby. Vzdálenost mezi čelistmi byla $L_j = 245 \text{ mm}$, z toho lze usoudit, že vzorek byl zapuštěn do každé čelisti o 77,5 mm. Rychlost zatěžování byla nastavena na $v = 5 \text{ mm/min}$, tuto rychlost lze dále definovat jako rychlost posunutí styčnicku.

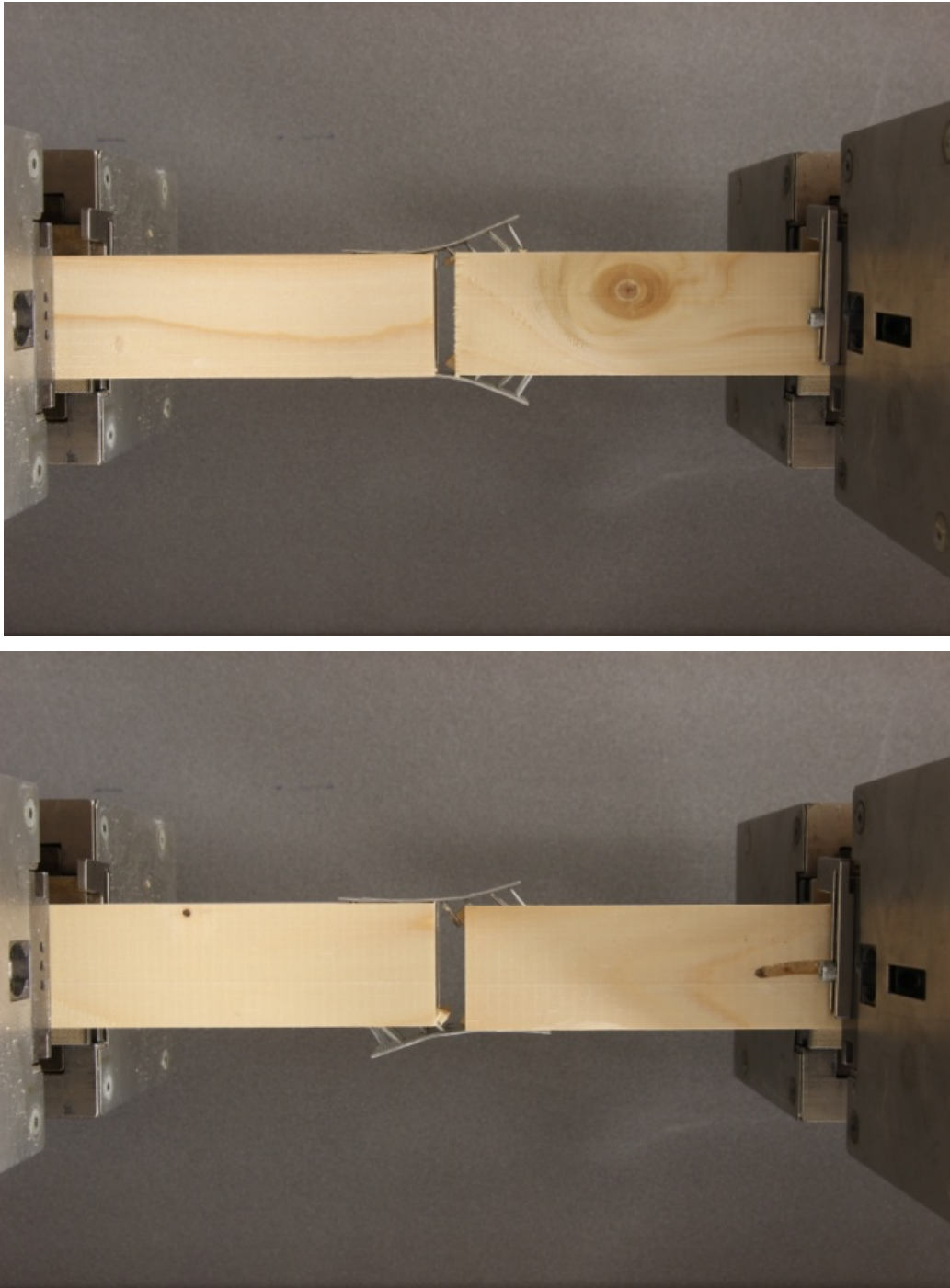
Tímto způsobem bylo odzkoušeno všech osmnáct vzorků, od každého typu spoje šest. Modely byly deformovány převážně shodně se směrodatnou odchylkou dle svých typů. U kolíkového spoje se převážně deformovali kolíky až do úplného porušení (viz Obr. 25). U spoje se styčnickovou deskou byla deska vytržena a to, buď zrcadlově, nebo protilehle (viz

Obr. 26 a), b)), tento fakt byl usuzován způsobu zalisování styčnickové desky. U spoje se svorníkem byla závitová tyč klopena a zatlačována do dřeva až do vytržení dřeva (viz Obr. 27).

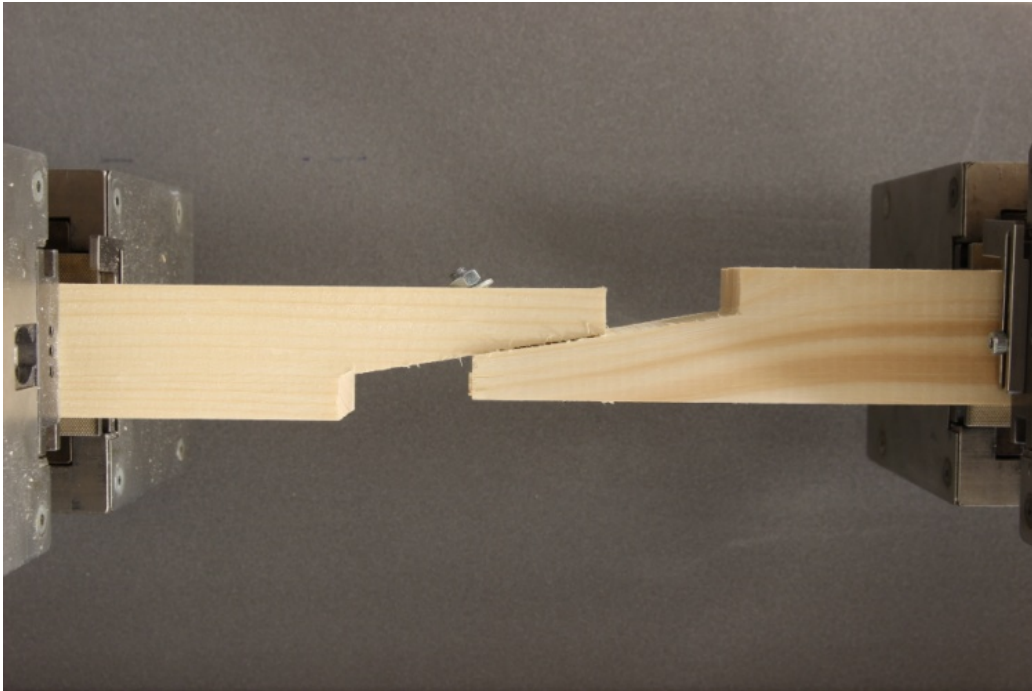
Pro časové srovnání, proces s dřevěnými kolíky trval u každého vzorku cca dvě minuty, proces se svorníkem trval u každého kusu cca šest minut a poslední vzorek se styčnickovou deskou trval u každého kusu cca minutu čtyřicet sekund.



Obr. 25 – poslední snímek kolíkového spoje po ztrátě pevnosti [17]



Obr. 26 – poslední snímky spoje se styčnickovou deskou po ztrátě pevnosti (shora) - varianta a – zrcadlové vytržení, varianta b) – protilehlé vytržení [17]



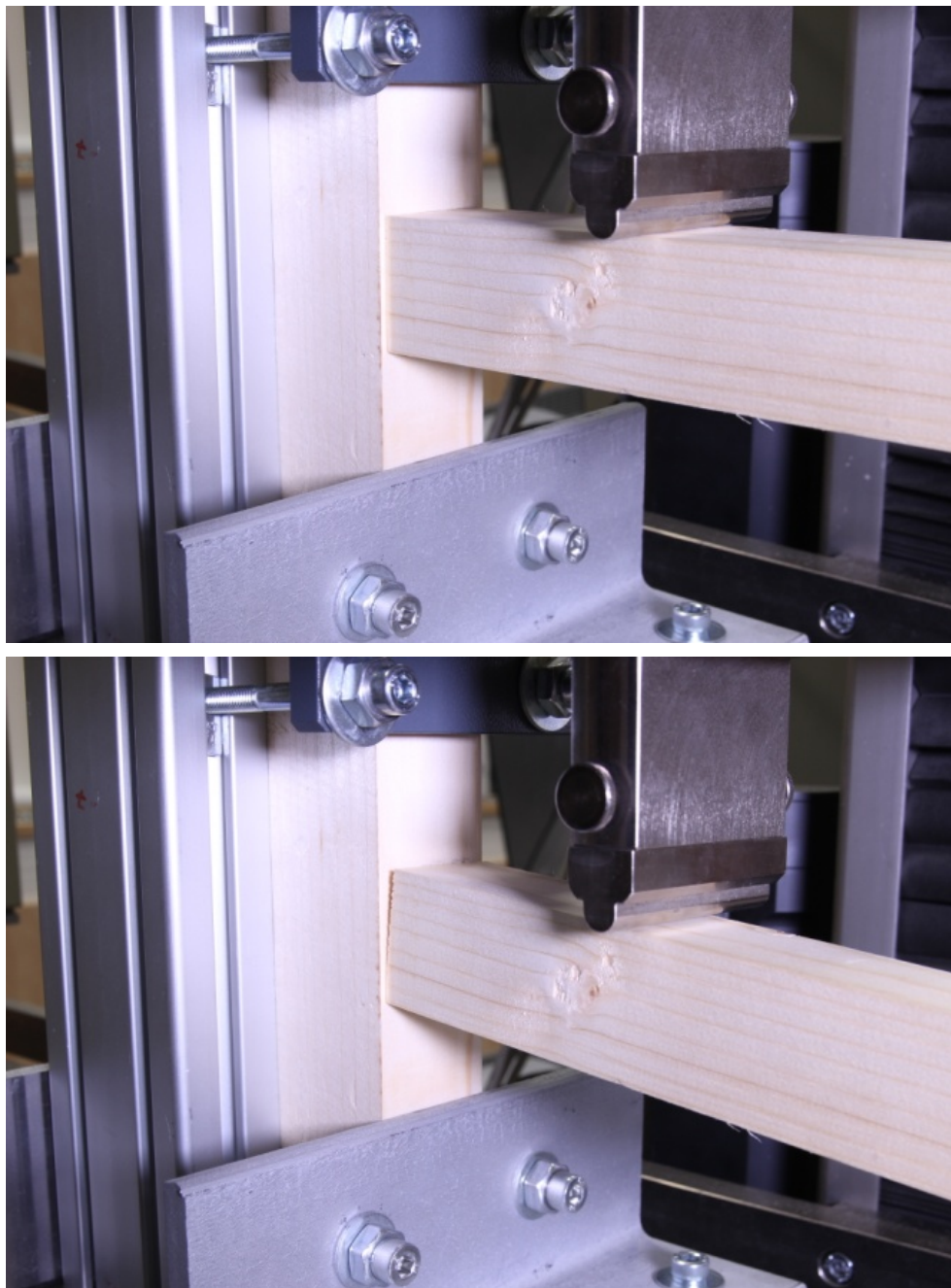
Obr. 27 – poslední snímek spoje se svorníkem po ztrátě pevnosti[17]

8.2 Smyková zkouška:

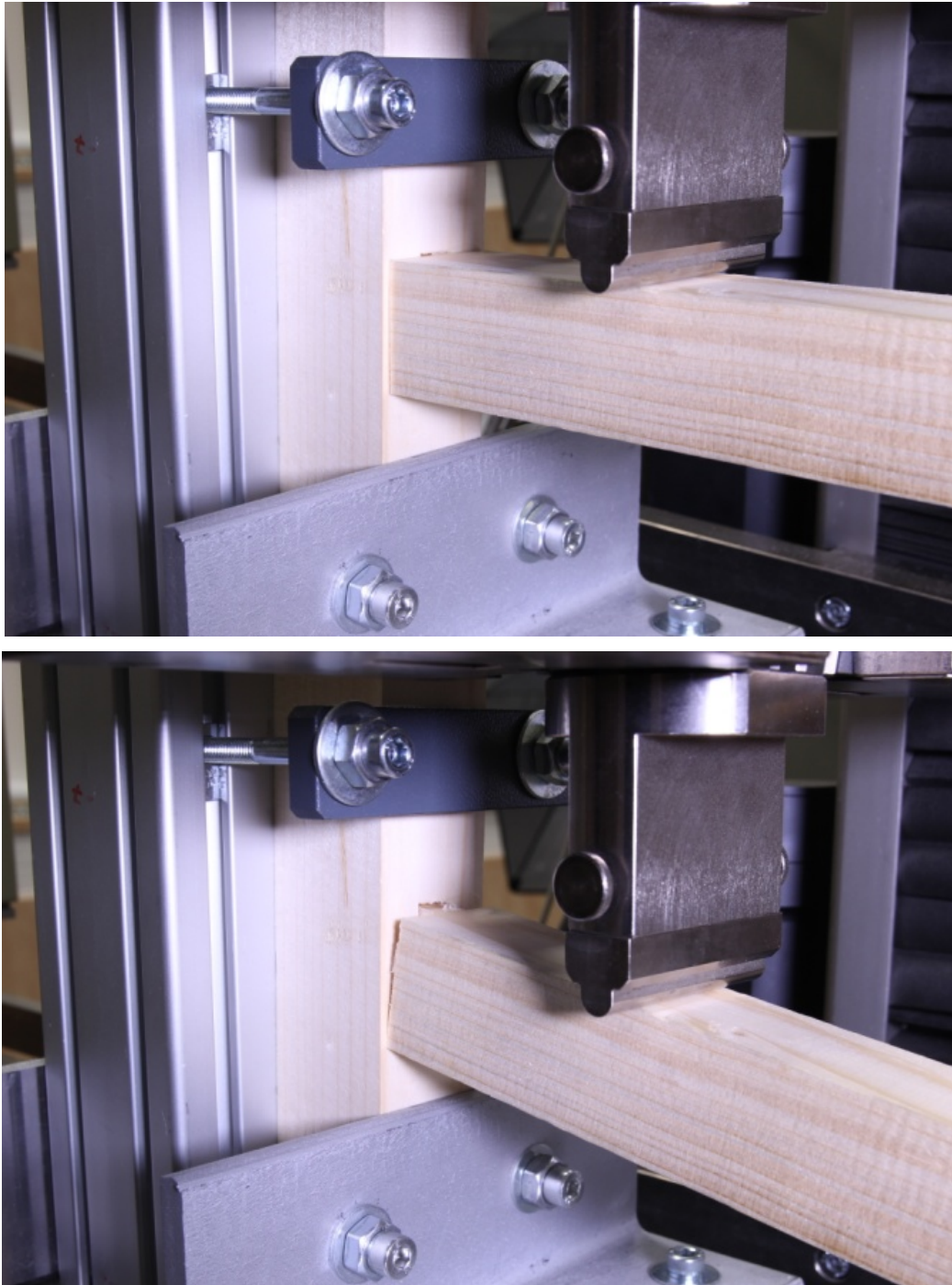
Po přestavění přístroje Zwick / Roell Z050 ze systému pro tahové měření na systém smykového měření. Byly zkoumány příčné vzorky – čepový spoj čtvercový, čepový spoj obdélníkový a spoj s úhelníky a svorníky.

K velkému zklamání se nepodařilo umístit hlavici přístroje a usazení modelů tak, aby bylo možné měření v patě sloupu a mohla tím být zjištěna smyková únosnost, která byla pro další řešení zásadní. Hlavice se nejblíže k potřebnému umístění dostala cca na vzdálenost 70 mm a tím pádem byl v tento moment na spoj spíše kladen do určité míry smyk a poté ohyb, jelikož čepové spoje nebyly na ohyb nijak dimenzovány, téměř v okamžiku zatěžování se začaly vyvracet z dlabu (viz Obr. 28 a), b) a 29 a), b)). U spoje se svorníky byly úhelníky z jedné strany tlačeny a z druhé strany napínány bez další reakce (viz Obr. 30 a), b)).

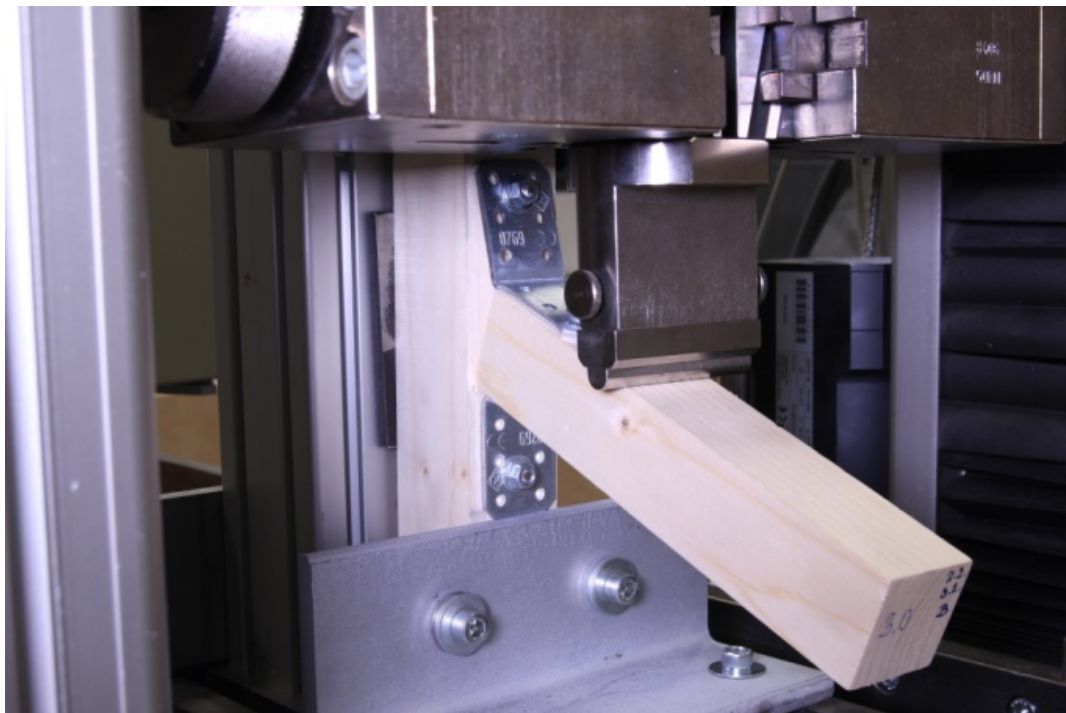
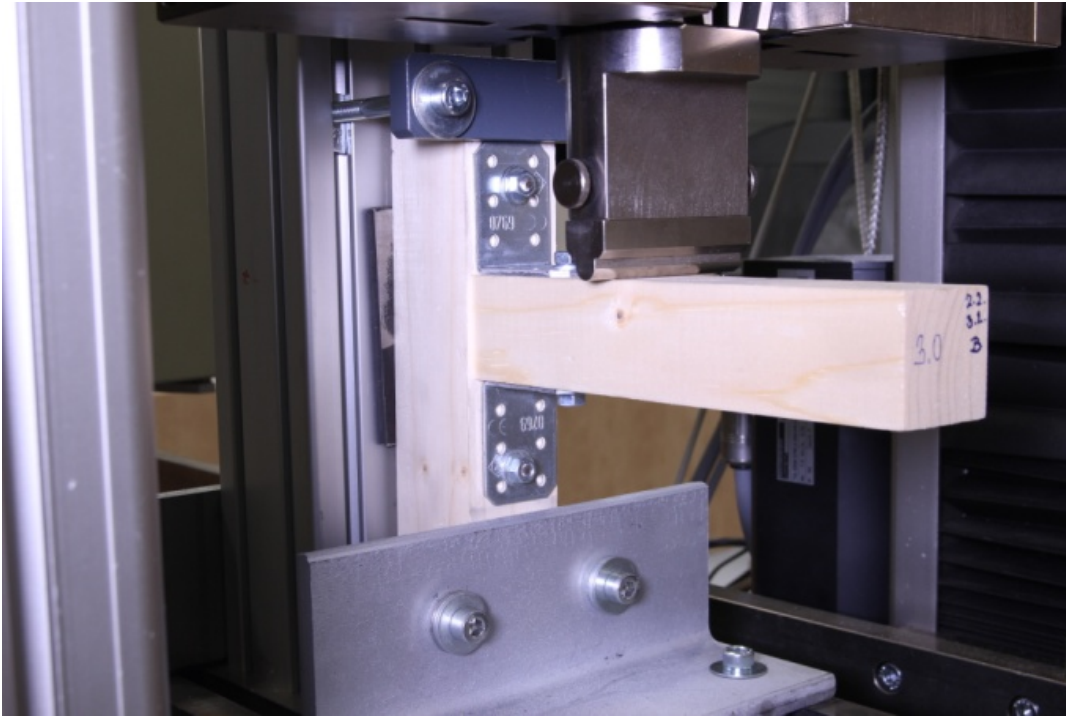
Toto experimentální měření bylo odvozeno jako bezpředmětné a vzorky tím pádem byly vyřazeny z dalšího zkoumání.



Obr. 28 – čepový spoj čtvercový (shora) – a) před zkouškou, b) po zkoušce [17]



Obr. 29 – čepový spoj obdélníkový (shora) – a) před zkouškou, b) po zkoušce [17]



Obr. 30 – spoj s úhelníky a svorníky (shora) – a) před zkouškou, b) po zkoušce [17]

9. Výstup z experimentálního měření:

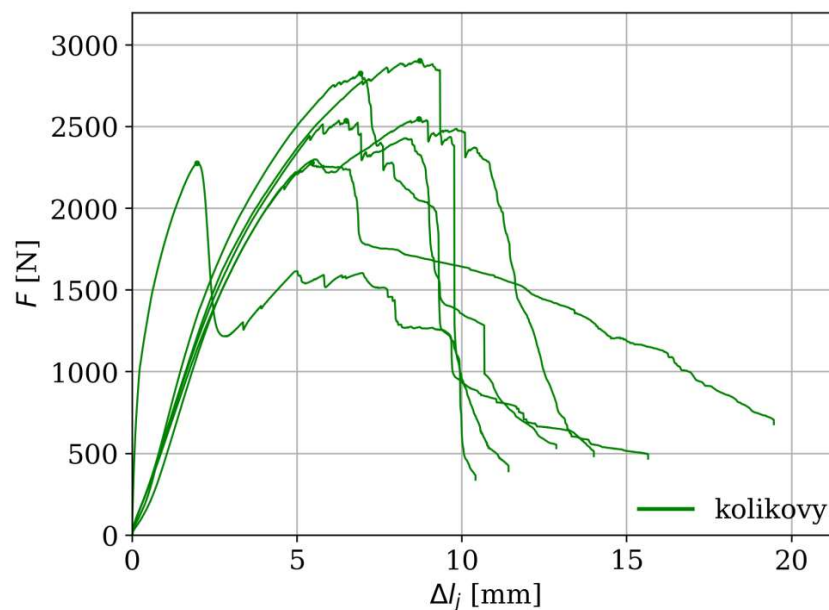
Výstupem experimentálního měření byly zaznamenány hodnoty maximální únosnosti spoje a grafické znázornění závislosti síly na posunutí (viz níže).

9.1 Výstup ze zkoušky tahem:

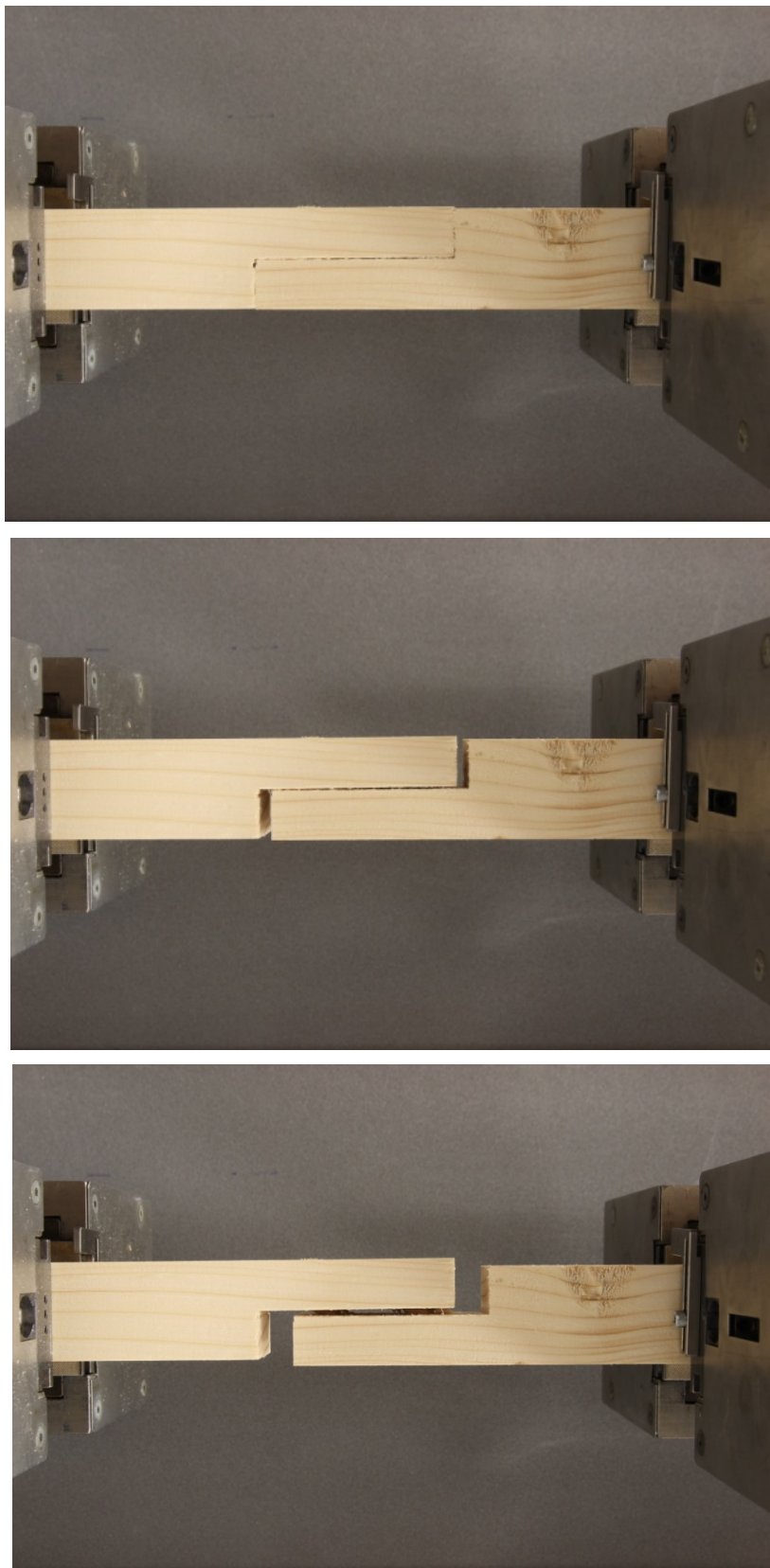
9.1.1 Kolíkový spoj:

Maximální hodnoty smykové únosnosti:

Vzorek 1.1	2276 N
Vzorek 1.2	2904 N
Vzorek 1.3	2547 N
Vzorek 1.4	2279 N
Vzorek 1.5	2537 N
Vzorek 1.6	2827 N
Střední hodnota	2562 N
Směrodatná odchylka	241,6 N
Variační koeficient	9,5 %



Obr. 31 – graf závislost síly na posunutí – kolíkový spoj[17]



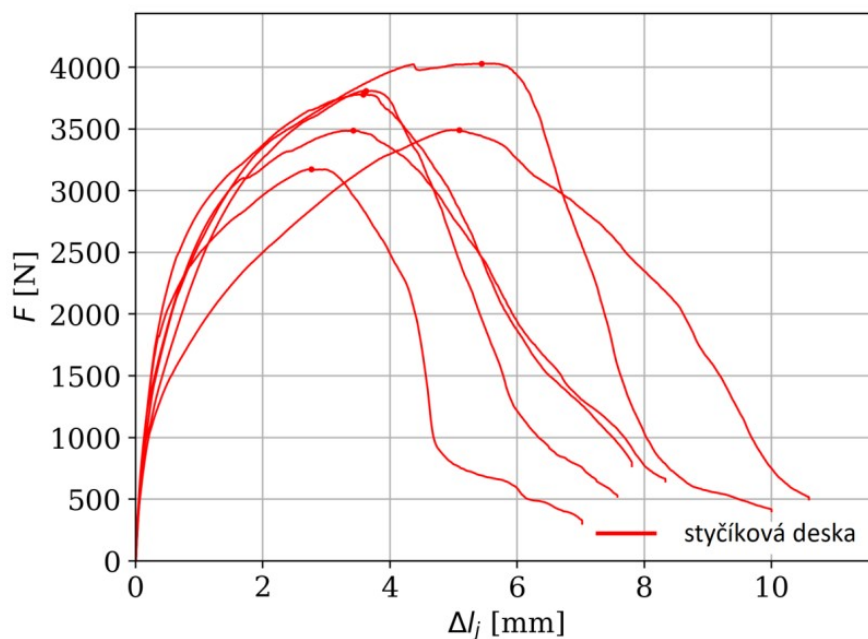
Obr. 32 – Postup zkoušky kolíkového spoje (shora) – na začátku, v polovině, na konci [17]

U kolíkového spoje po zatížení bylo zjevné roztahování plátu (viz Obr. 32) a místy bylo slyšet praskání, to signalizovalo narušení dřevěných kolíků. Na grafu 1 je možné toto narušování kolíků vidět v horní části křivky, kde jsou mírné poklesy a křivka tedy není lineární. Pro srovnání s ostatními typy, kolíkový spoj měl nejnižší naměřenou hodnotu únosnosti přibližně 2,5 kN. Hlavním důvodem tohoto faktu je, že v tomto spoji nebyly využity žádné ocelové pomocné spojovací prostředky a pro srovnání ocel má samozřejmě vyšší pevnosti nežli dřevo.

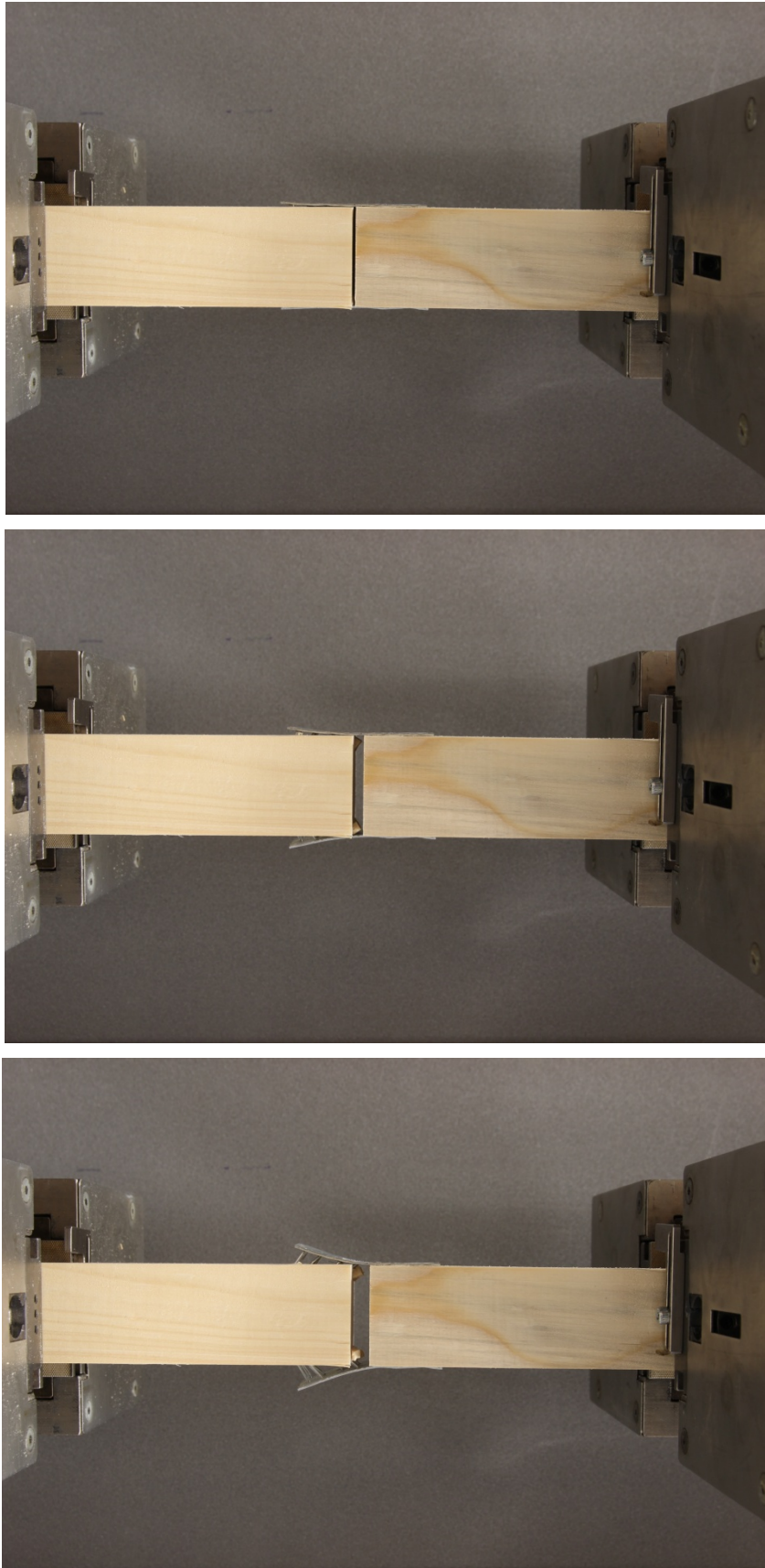
9.1.2 Spoj se styčnickovou deskou:

Maximální hodnoty smykové únosnosti:

Vzorek 2.1	3174 N
Vzorek 2.2	3492 N
Vzorek 2.3	3487 N
Vzorek 2.4	3781 N
Vzorek 2.5	4031 N
Vzorek 2.6	3810 N
Střední hodnota	3629,5 N
Směrodatná odchylka	277.9 N
Variační koeficient	7,7 %



Obr. 33 – graf závislost síly na posunutí – spoj se styčnickovou deskou [17]



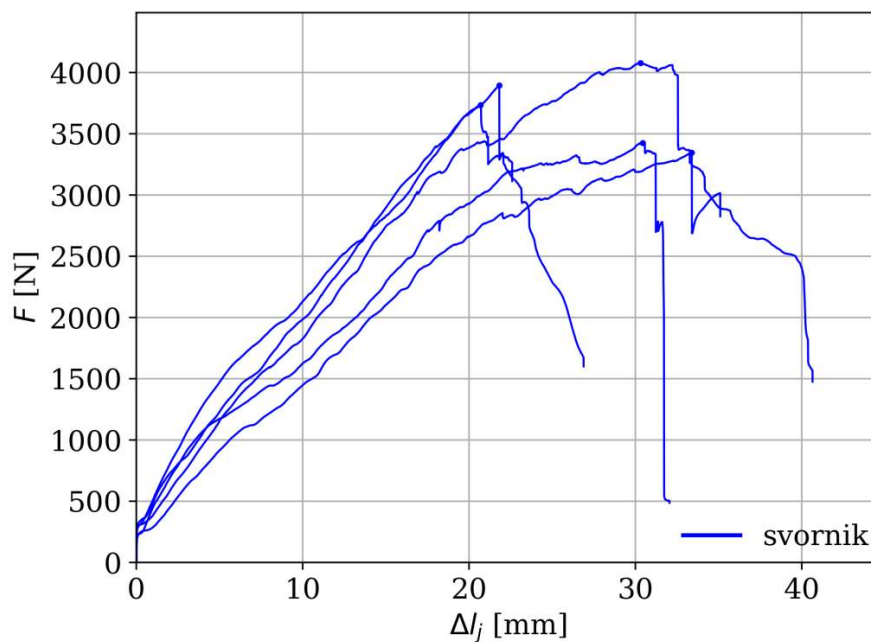
Obr. 34 – Postup zkoušky spoje se styčnickovou deskou varianta se zrcadlovým vytržením (shora) – na začátku, v polovině, na konci [17]

Spoje se styčnickovými destičkami na sraz po zatížení bylo zjevné posouvání dvou částí modelu a rozevírání desek (viz Obr. 34). Jak již bylo výše zmíněno, desky se rozevírali dvěma typy, buď zrcadlově (viz Obr. 32) nebo protilehle. Maximální naměřená dosažená únosnost se pohybovala okolo 3,6 kN. Z tohoto faktu je zřejmé, že únosnost je vyšší oproti kolíkovému spoji, ale je nutno zmínit, že z hlediska posunutí vydržel kolíkový spoj jednu takovou dobu co spoj se styčnickovou deskou.

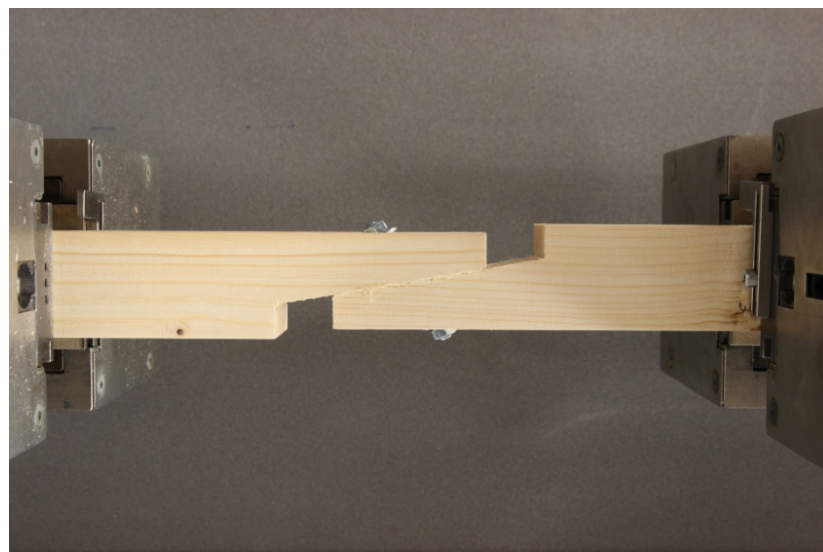
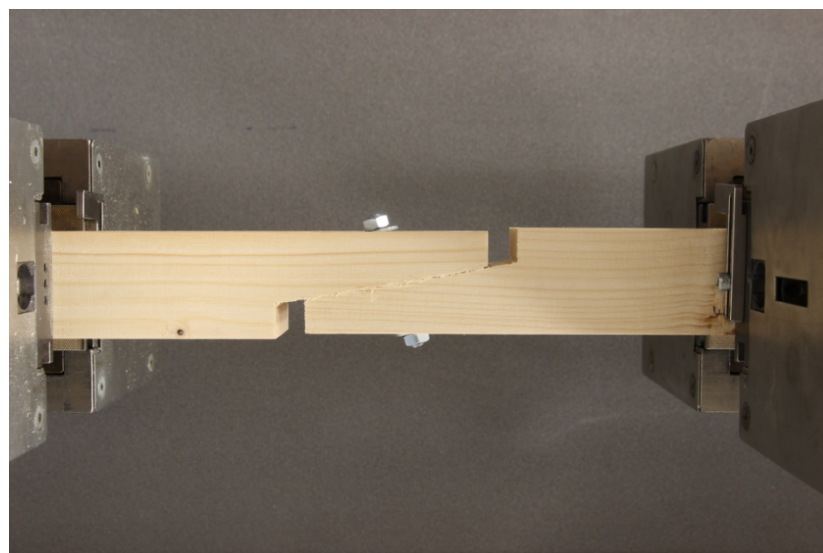
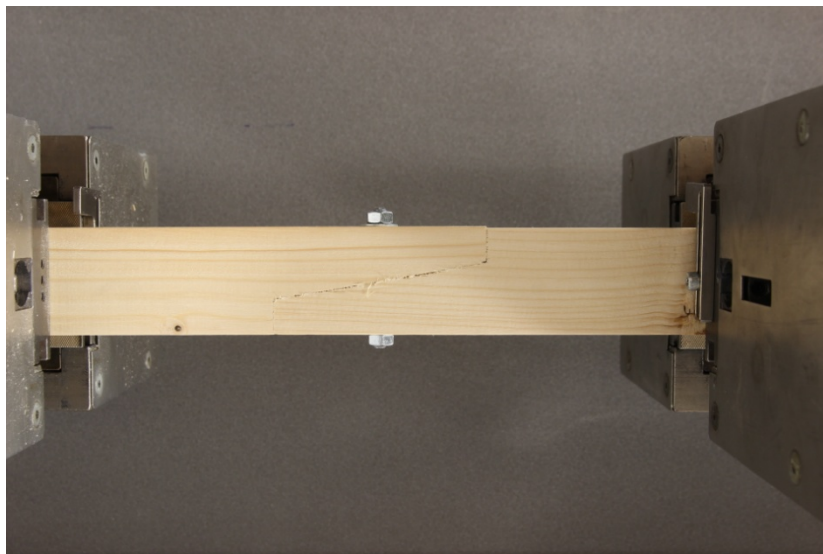
9.1.3 Svorníkový spoj:

Maximální hodnoty smykové únosnosti:

Vzorek 3.2	3892 N
Vzorek 3.3	3733 N
Vzorek 3.4	3423 N
Vzorek 3.5	3347 N
Vzorek 3.6	4077 N
Střední hodnota	3694,8 N
Směrodatná odchylka	276,4 N
Variační koeficient	7,5 %



Obr. 35 – graf závislost síly na posunutí – svorníkový spoj [17]



Obr. 36 – Postup zkoušky svorníkového spoje (shora) – na začátku, v polovině, na konci [17]

Po zatížení spoje se svorníkem se pláty začaly roztahovat a svorník se vyosil a začal se zatlačovat do dřeva (viz Obr. 36). U tohoto typu byl první vzorek vyřazen, jelikož na něm byly změřeny hodnoty, které neodpovídaly zbytku vzorků (viz níže). Na grafu 3 je křivka také nelineární, jako to bylo u kolíkového spoje, zde je nelinearita způsobena povolováním dřeva v místě svorníku až k úplnému vytržení. Spoj se svorníkem měl nejvyšší maximální hodnotu a to kolem 3,7 kN, od spoje se styčnickovou deskou to není velký rozdíl, ale opět časově byl zatěžován čtyřikrát delší dobu nežli spoj se styčnickovou deskou a dvakrát tak dlouho jako kolíkový spoj.

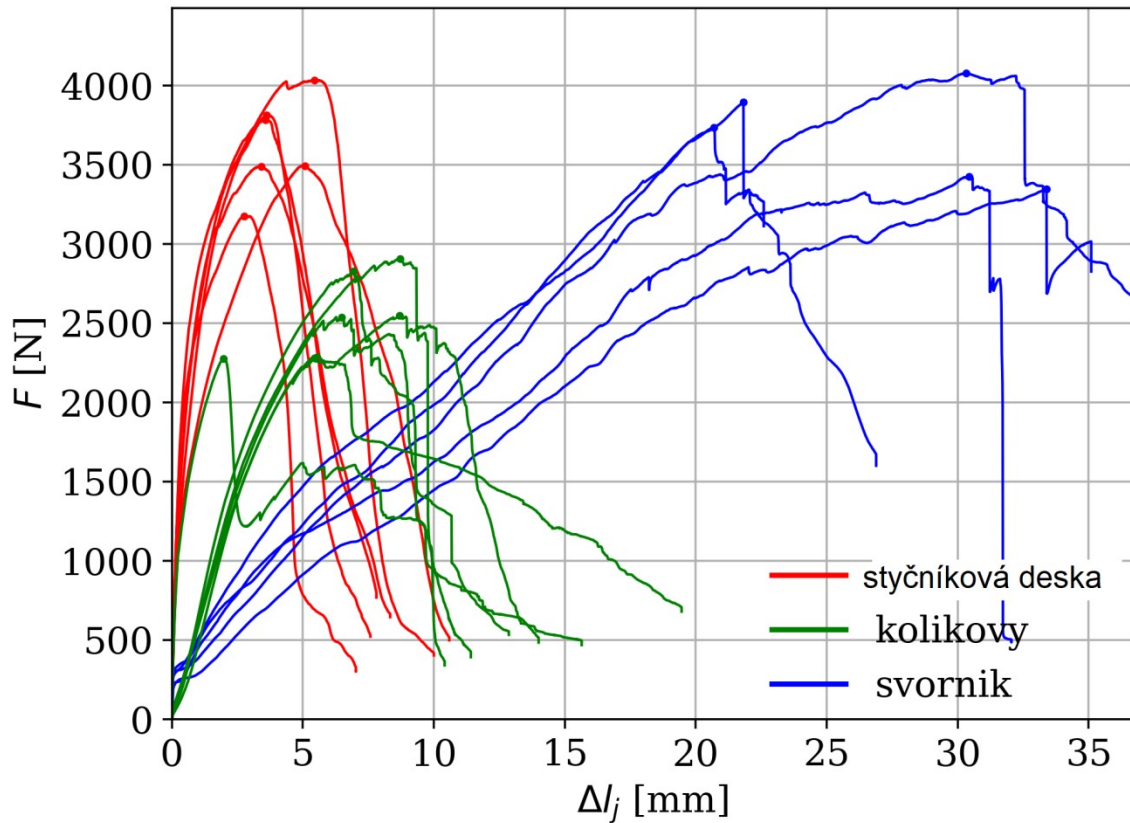
9.1.3.1 Vyřazený vzorek 3.1:

První testovaný vzorek od typu svorníkového spoje byl vyřazen z důvodů dvakrát vyšší naměřené hodnoty. Byly usouzeny tři důvody, proč vzorek vykazoval vyšší hodnoty než ostatní vzorky. První z důvodů bylo, že vzorek byl větší než ostatní, původní rozměry vzorků byly navrženy na rozměry 50 x 45 mm, aby odpovídaly modelu 1:4, jelikož nebylo možné takto vyrobené vzorky umístit do měřicího přístroje, rozměr byl upraven na 40 x 40 mm. U prvního vzorku takto byly upraveny pouze konce, aby bylo možné ho odzkoušet. Dalším faktorem byl fakt, že pláty vzorku nebyly zhotoveny hladce, ale byly na nich vytvořeny odskoky (viz Obr. 34), shodou okolností tyto odskoky do sebe perfektně zapadaly, takže vytvořily zazubení, které přidávalo na únosnosti prvku. Poslední úvod, proč vzorek vykazoval takové hodnoty, byl fakt, že vzorek byl ve spoji natřen malou vrstvou lepidla, aby při zkoušce udržel tvar při vsazení, jelikož před spuštěním tahu byl každý vzorek lehce zatěžován tlakem, u dalších vzorků již lepidlo použito nebylo.



Obr. 37 – odskoky na plátech u vyřazeného vzoru 3.1 [17]

9.1.4 Grafické znázornění:



Obr. 38 – graf porovnání závislosti síly na posunutí všech testovaných vzorků [17]

9.2 Výstup smykové zkoušky:

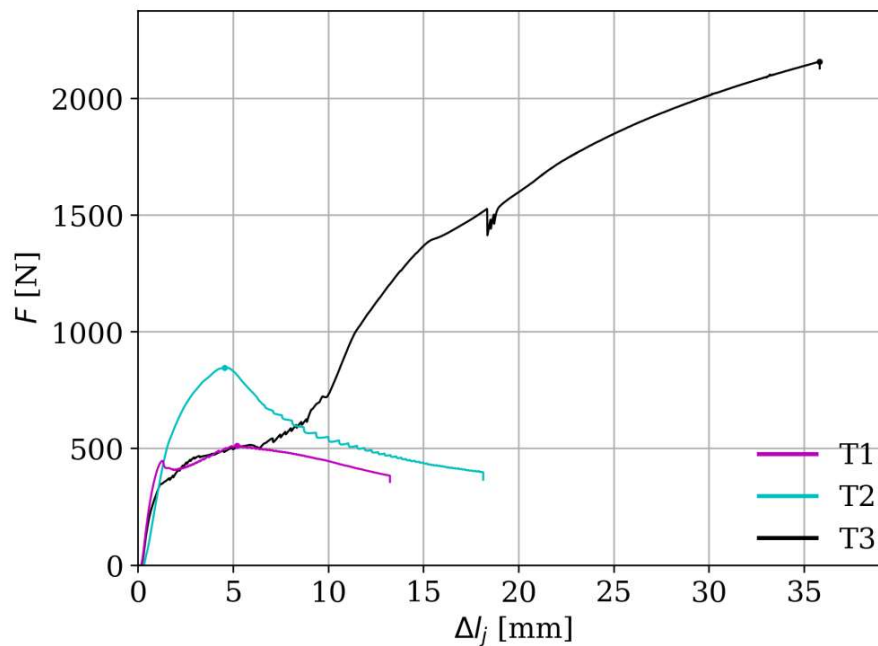
I když nebylo experimentální měření z této části úspěšné a byl zkoušen pouze jeden vzorek od každého modelu, je nutno uvést výstupní data i u smykových zkoušek.

9.2.1 Výstup pro všechny typy:

Maximální hodnoty naměřené při zkoušce:

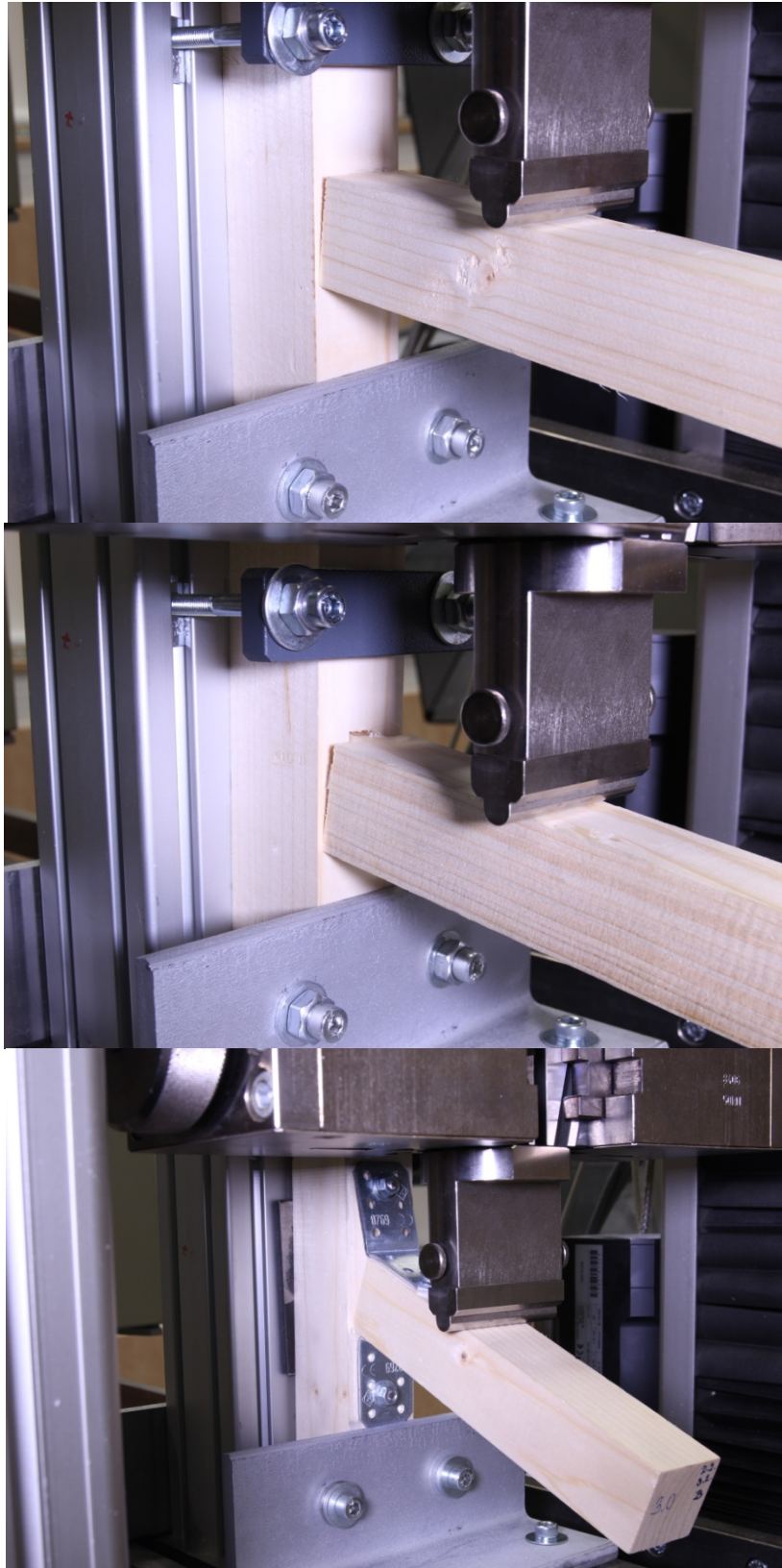
T1	512 N
T2	847 N
T3	2158 N

(T1 – čepový spoj čtvercový, T2 – čepový spoj obdélníkový, T3 – spoj se svorníky)



Obr. 39 – graf zkoušky pro všechny příčné spoje – čepový spoj čtvercový (fialová), čepový spoj obdélníkový (modrá) a spoj s úhelníky a svorníkem (černá) [17]

Jak je již výše zmíněno smyková zkouška pro zjištění únosnosti smykového napětí v místě spoje nemohla být uskutečněna, jelikož nebylo možné uzpůsobit měřicí přístroj tak, aby mohla být zkouška úspěšná. Hodnoty znázorněné na Obr. 39, jsou spíše ohybové únosnosti jednotlivých vzorků. U čepových spojů se čep po chvíli zatěžování začal vyklápět, jelikož nebyl nijak zajištěn. U svorníkového spoje se začali úhelníky z jedné strany natahovat, a z druhé strany vmačkávat. Zkouška byla ukončena po odzkoušení jednoho vzorku od každého typu (viz Obr. 40).



Obr. 40 – konečná fáze zkoušky smykem a ohybem u jednotlivých spojů (shora) – čepový spoj čtvercový, čepový spoj obdélníkový, spoj se svorníky [17]

10. Výpočtová část a modelová podobnost:

10.1 Výpočtová část:

Výpočty byly provedeny dle EN 1995-1-1.

10.1.1 Výpočet kolíkového spoje:

Výpočet byl proveden dle dvou vztahů, první jsou Johansenovy vztahy, druhý výpočet je dle Gorlachera.

Parametry kolíku:

Třída pevnosti: C30

Průměr kolíku: $d=30$ mm

$f_{mk} = 30$ MPa

Parametry dřeva:

Třída pevnosti: C24

$\rho_k = 350$ kg/m²

$t_1 = t_2 = 80$ mm

$f_{h,1,d} = f_{h,2,d} = f_{h,d}$

Výpočet dle JOHANSENA:

Moment na mezi kluzu kolíku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{mk} * d^{2,6} = 0,3 * 30 * 30^{2,6} = 62\,338,7 \text{ Nmm}$$

Charakteristická pevnost dřeva v otláčení:

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 30) * 350 = 20,09 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová pevnost únosnosti na stříhu spáry:

$$R_k = f_{h,k} * d * b_1 = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d} = 1 * \sqrt{2 * 62\,338,7 * 20,09 * 30}$$

$$= 8\,668,5 \text{ N} = \mathbf{8,67 \text{ kN}}$$

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{8,67 * 0,8}{1,3} = \mathbf{5,33 \text{ kN}}$$

Použity dva kolíky $\rightarrow 2 \times 5,33 = \mathbf{10,66 \text{ kN}}$.

Výpočet dle GORLACHERA:

Tento postup navrhování byl vyvinut na základě rozsáhlých vyšetřování na historických dřevěných konstrukcích dle GORLACHERA (1999).

Návrhová pevnost únosnosti na stříhu spáry:

$$R_k = 9,5 * d^2 = 9,5 * 30^2 = 8\,550 \text{ N} = \mathbf{8,55 \text{ kN}}$$

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{8,55 * 0,8}{1,3} = \mathbf{5,26 \text{ kN}}$$

Použity dva kolíky $\rightarrow 2 \times 5,26 = \mathbf{10,52 \text{ kN}}$.

10.1.2 Výpočet styčnickové desky:

Výpočet byl proveden dle odvozených Johansenových vztahů. Výpočet je zhotoven pro jeden hřebík a hřebíkové spoje v únosnosti na smyk jsou posuzovány jako kolíkové spoje.

Parametry desky:

Rozměry: 240 x 96 mm délka hrotu 15 mm

Pro reálnou styčnickovou desky by byl počet hřebů mnohem vyšší, ale kvůli výpočtu je počet hrotů na modelu násoben čtyřmi, kvůli věrohodnosti výpočtu $\rightarrow 4 \times 16 = 64$ hřebů.

Třída pevnosti: 5,6

$$f_{uk} = 500 \text{ MPa}$$

$$e = 2,5d = 2,5 * 1,5 = 3,75$$

Parametry dřeva:

C24

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^2$$

$$t_1 = t_2 = 80 \text{ mm}$$

$$f_{h,1,d} = f_{h,2,d} = f_{h,d}$$

Moment na mezi kluzu svorníku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{uk} * d^{2,6} = 0,3 * 500 * 1,5^{2,6} = 430,45 \text{ Nmm}$$

Charakteristická pevnost dřeva v otláčení:

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 1,5) * 350 = 28,27 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová pevnost únosnosti na stříhu spáry:

$$R_k = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * M_y * f_{h,k} * d} = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * 430,45 * 28,27 * 1,5} = 127 \text{ N} = \mathbf{0,13 \text{ kN}}$$

128 ks hřebíků na dvou deskách $\rightarrow 128 * 0,13 = \mathbf{16,64 \text{ kN}}$

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{16,64 * 0,8}{1,1} = \mathbf{12,1 \text{ kN}}$$

10.1.3 Výpočet svorníku:

Výpočet byl proveden dle odvozených Johansenových vztahů. Výpočet svorníku či závitové tyče na posouzení smykové síly je počítán jako kolíkový spoj.

Parametry svorníku:

Třída pevnosti: 4,8

$f_{uk} = 400 \text{ MPa}$

Průměr svorníku: $d = 24 \text{ mm}$

Parametry dřeva:

C24

$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

$t_1 = t_2 = 80 \text{ mm}$

$f_{h,1,d} = f_{h,2,d} = f_{h,d}$

Moment na mezi kluzu svorníku:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{uk} * d^{2,6} = 0,3 * 400 * 24^{2,6} = 465\,297,2 \text{ Nmm}$$

Charakteristická pevnost dřeva v otláčení:

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 24) * 350 = 21,81 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová pevnost únosnosti na stříhu spáry:

$$\begin{aligned} R_k &= f_{h,k} * d * b_1 = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d} = 1 * \sqrt{2 * 465\,297,2 * 21,81 * 24} \\ &= 22\,070,6 \text{ N} = \mathbf{22 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$A_{ef} = d_a * 4 * d = 72 * 4 * 24 = 6912 \text{ mm}^2$$

$$R_{a,x,k} = f_{c,90,k} * A_{ef} = 2,5 * 6912 = 17\,280 \text{ N} = 17,28 \text{ kN}$$

$$\Delta R_k = \min\{0,25 * R_k; 0,25 * R_{a,x,k}\} = 5,5 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{(R_k + \Delta R_k) * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{(22 + 5,5) * 0,8}{1,1} = \mathbf{20 \text{ kN}}$$

10.1.4 Výpočet čepového spoje:

Výpočet proveden dle HEIMESHOFFA et al. (1988).

Parametry dřeva:

C24

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{vk} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$h/b = 160/160 \text{ mm}$$

$$h_0 = h_u = h_z = 56 \text{ mm}$$

$$h_e = 104 \text{ mm}$$

$$c = 24 \text{ mm}$$

$$\alpha = h_e/h = 104/160 = 0,65$$

$$\beta = h_z/h_e = 56/104 = 0,538$$

Pevnost dřeva ve smyku a tlaku kolmo k vláknům:

$$f_{v,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{2,7}{1,3} = 1,66 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{2,5}{1,3} = 1,54 \text{ MPa}$$

Součinitel koncentrace smykového napětí v místě čepu:

$$\begin{aligned}
 k_v &= \frac{k_n * \left(1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{n}}\right)}{\sqrt{h} \left[\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} * \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right]} \\
 &= \frac{5}{\sqrt{160} \left[\sqrt{\frac{104}{160} * \left(1 - \frac{104}{160}\right)} + 0,8 * \frac{24}{160} * \sqrt{\frac{160}{104} * \left(\frac{104}{160}\right)^2} \right]} \\
 &= \frac{5}{12,65[0,477 + 0,654]} = \mathbf{0,654}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_z &= \beta * [1 + 2 * (1 - \beta)^2] * (2 - \alpha) = 0,538 * (1 + 2 * (1 - 0,538)^2) * (2 - 0,65) \\
 &= 0,997 \approx 1
 \end{aligned}$$

$$l_{z,eff} = 48 + 24 = 72 \text{ mm} < 2l_z = 2 * 48 = 96 \text{ mm}$$

Charakteristická síla únosnosti ve smyku:

$$\begin{aligned}
 R_k &= \min \left\{ \frac{2}{3} * b * h_z * k_z * k_v * f_{v,k}; 1,7 * b * l_{z,eff} * f_{c,90,k} \right\} = \min \{ 10\,547,7 \text{ N}, 48\,960 \text{ N} \} \\
 &= \mathbf{10,55 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{10,55 * 0,8}{1,3} = \mathbf{6,5 \text{ kN}}$$

Charakteristická síla únosnosti v napětí tahu kolmo k vláknům:

$$\begin{aligned}
 R_{90,k} &= k_s * k_r \left(6,5 + \frac{18 * a^2}{h^2} \right) * (t_{ef} * h)^{0,8} * f_{t,90,k} \\
 &= 1 * 1 * \left(6,5 + \frac{18 * 52^2}{160^2} \right) * (48 * 160)^{0,8} * 0,4 = 4\,312,1 \text{ N} = \mathbf{4,31 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{4,31 * 0,8}{1,3} = \mathbf{2,65 \text{ kN}}$$

10.2 Modelová podobnost:

10.2.1 Teorie modelové podobnosti:

Modulová podobnost se zabývá vyjádřením fyzikální podobnosti pro lineárně pružné okrajové úlohy na základě mechanické odezvy materiálu, fyzikálních dějů a užití měřítek.

Řešení okrajové úlohy lineární pružnosti lze vyjádřit v základním tvaru

$$f(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, u_i, x_i, \rho_j, f_i, X_i, \rho, E, \mu) = 0$$

následně, dále pomocí bezrozměrných veličin

$$\Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7) = 0.$$

Z této rovnice lze tvrdit, že počet bezrozměrných parametrů $\pi_{(i)}$ je určen podmínkou lineární nezávislosti a počet proměnných se zmenšil.

Pro fyzikální podobnost lze určit základní platná tvrzení:

- bezrozměrné argumenty modelu a díla mají stejné numerické hodnoty
- všechny diferenciální a ostatní rovnice vyjadřují a popisují reálné fyzikální procesy, které jsou přebazeny do základních rovnic vyjadřující jednoznačnou vazbu mezi bezrozměrnými parametry $\pi_{(i)}$, které se nazývají - kritéria podobnosti
- nutné a postačující podmínky podobnosti fyzikálních dějů spočívají v rovnosti číselných hodnot bezrozměrných parametrů

$$(\boldsymbol{\pi}_i)_D = (\boldsymbol{\pi}_i)_M, \quad \text{D-dílo, M-model}$$

kde $i = 1, 2, \dots, m$ je počet lineárně nezávislých bezrozměrných parametrů. Shodnost číselných hodnot ostatních bezrozměrných parametrů je důsledkem existence podobnosti.

10.2.2 Výpočet modulové podobnosti:

Modely byly zhotoveny v měřítku 1:4.

$$\frac{1}{\pi_1} \sim \frac{1}{\pi_2} \sim \frac{1}{\pi_3} \sim \frac{1}{\pi_4} \sim \dots \sim \frac{1}{\pi_{n(i)}}$$

$$i = 1, 2, 3 \dots n$$

$$n \rightarrow \infty$$

$$\text{Měřítko } 1:4 \rightarrow \pi_n = 4 \rightarrow \frac{1}{\pi_n} = \frac{1}{4} = \mathbf{0,25}$$

KOLÍKOVÝ SPOJ:

Výpočtová hodnota: 10 520 N

$$10\,520 \times 0,25 = \mathbf{2\,630\,N}$$

SPOJ SE STYČNÍKOVOU DESKOU:

Výpočtová hodnota: 12 100 N

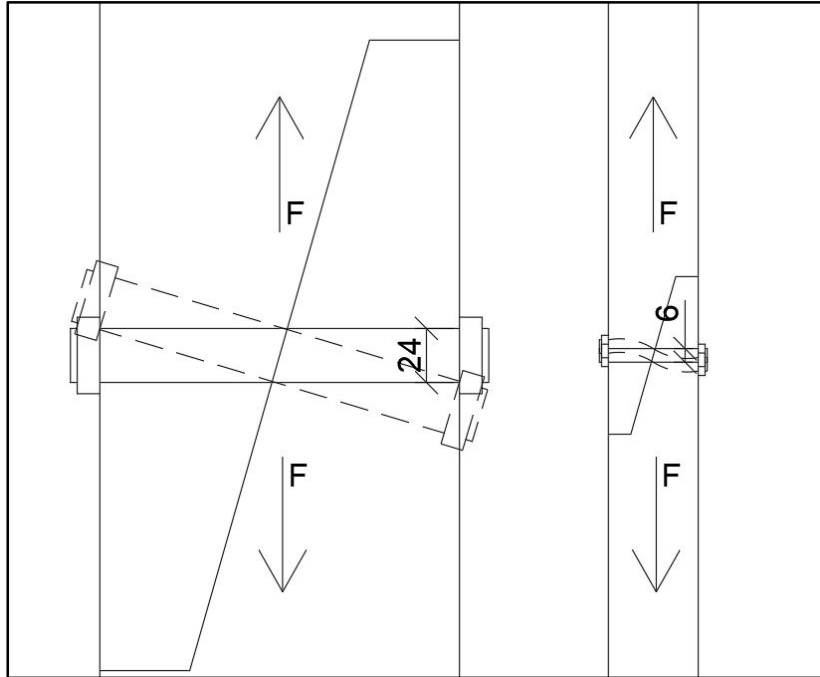
$$12\,100 \times 0,25 = \mathbf{3\,025\,N}$$

SVORNÍKOVÝ SPOJ:

Výpočtová hodnota: 20 000 N

$$20\,000 \times 0,25 = \mathbf{5\,000\,N}$$

U svorníku je dalším faktorem chování závitové tyče o průměru 6 mm a o průměru 24 mm (viz Obr. 36). Tyč o průměru 24 mm bude při ohýbání tužší a bude spíše držet svůj tvar, než tyč o průměru 6 mm, která se bude spíše kroutit ve směru zatížení. Kvůli tomuto faktu je hodnota ponížena o 20 % a je zaveden korelační součinitel.



Obr. 41 – Pohyb závitové tyče při zatížení pro skutečnost (vlevo) a pro model (vpravo) [17]

Korelační součinitel: $k = 0,8$

$$5\,000 \times 0,8 = 4\,000 \text{ N}$$

Výsledné hodnoty budou dále porovnávány s naměřenými hodnotami z experimentálního měření a hodnotami z programové části.

11. Programová část:

11.1 Teorie modelové podobnosti SBRA:

SBRA je metoda spolehlivosti, která je založená na pravděpodobnostní metodě simulace Monte Carlo. Podstata této metody je založena na opakovaných výpočtech jednoduchých rovnic, kam vstupují jako proměnné. Hodnoty mohou být konstantní nebo definované histogramy. Výpočty jsou prováděny v softwaru Anthill.

Použití modelové podobnosti pro řešení inženýrských úloh vychází z obecných podmínek

$$(\pi_i)_D = (\pi_i)_M, i = 1, 2, 3 \dots n$$

kde π_i jsou takzvané bezrozměrné parametry pro dílo (index D) a pro model (index M)

$$\pi = x_1^{e_1} x_2^{e_2} \dots x_n^e$$

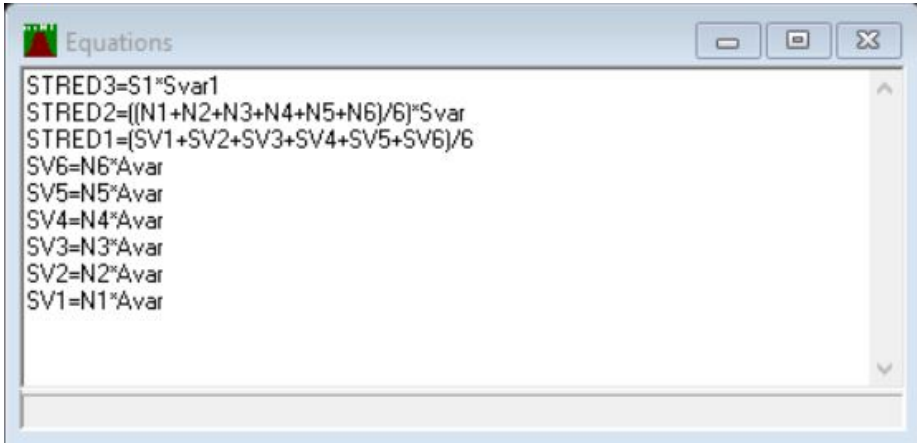
vyřešení problému závisí na n proměnných x_i (vyjadřující fyzikální a geometrické veličiny).

11.2 Výstup ze softwaru Anthill:

Do programu Anthill byly vloženy experimentálně zjištěné hodnoty všech vzorů dle svých typů a střední hodnota. V programu byl každý jednotlivý vzorek označen zkratkou N, byl označen jako konstanta a byla mu přiřazena jeho hodnota. Výstup z programu pak bylo kompletní zobrazení pro jednotlivé prvky a tři střední hodnoty, které byly dále porovnávány s výpočetními výsledky a s experimentálně naměřenou střední hodnotou.

11.2.1 Kolíkový spoj:

VSTUPNÍ DATA:

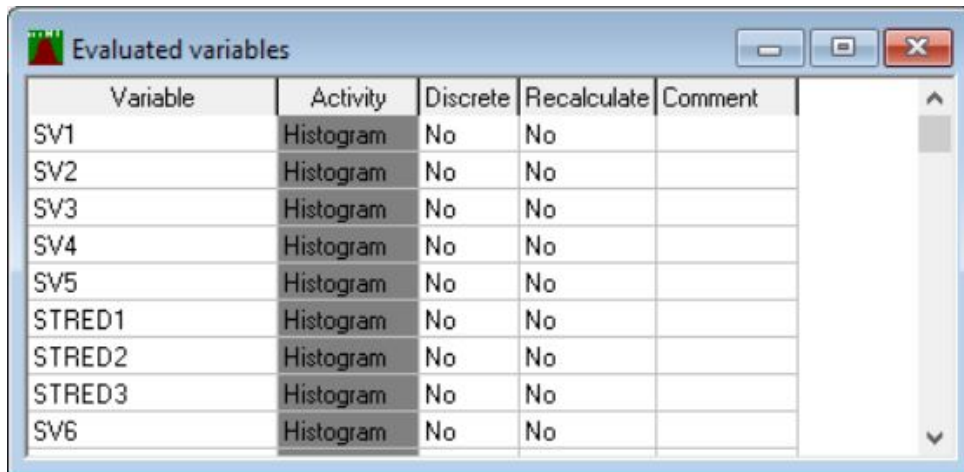


```

Equations
STRED3=S1*Svar1
STRED2=[(N1+N2+N3+N4+N5+N6)/6]*Svar
STRED1=(SV1+SV2+SV3+SV4+SV5+SV6)/6
SV6=N6*Avar
SV5=N5*Avar
SV4=N4*Avar
SV3=N3*Avar
SV2=N2*Avar
SV1=N1*Avar

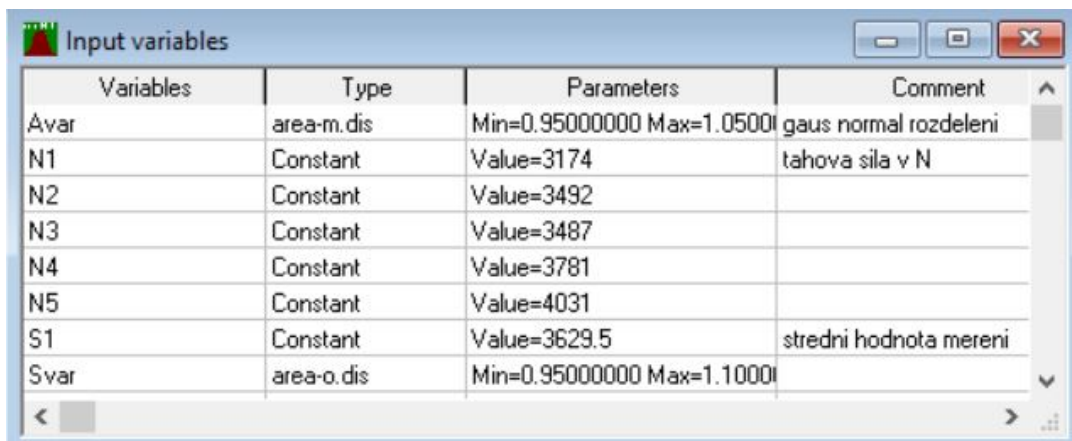
```

Obr. 42 – vstupní rovnice pro výpočet kolíkového spoje v programu Anthill [17]



Variable	Activity	Discrete	Recalculate	Comment
SV1	Histogram	No	No	
SV2	Histogram	No	No	
SV3	Histogram	No	No	
SV4	Histogram	No	No	
SV5	Histogram	No	No	
STRED1	Histogram	No	No	
STRED2	Histogram	No	No	
STRED3	Histogram	No	No	
SV6	Histogram	No	No	

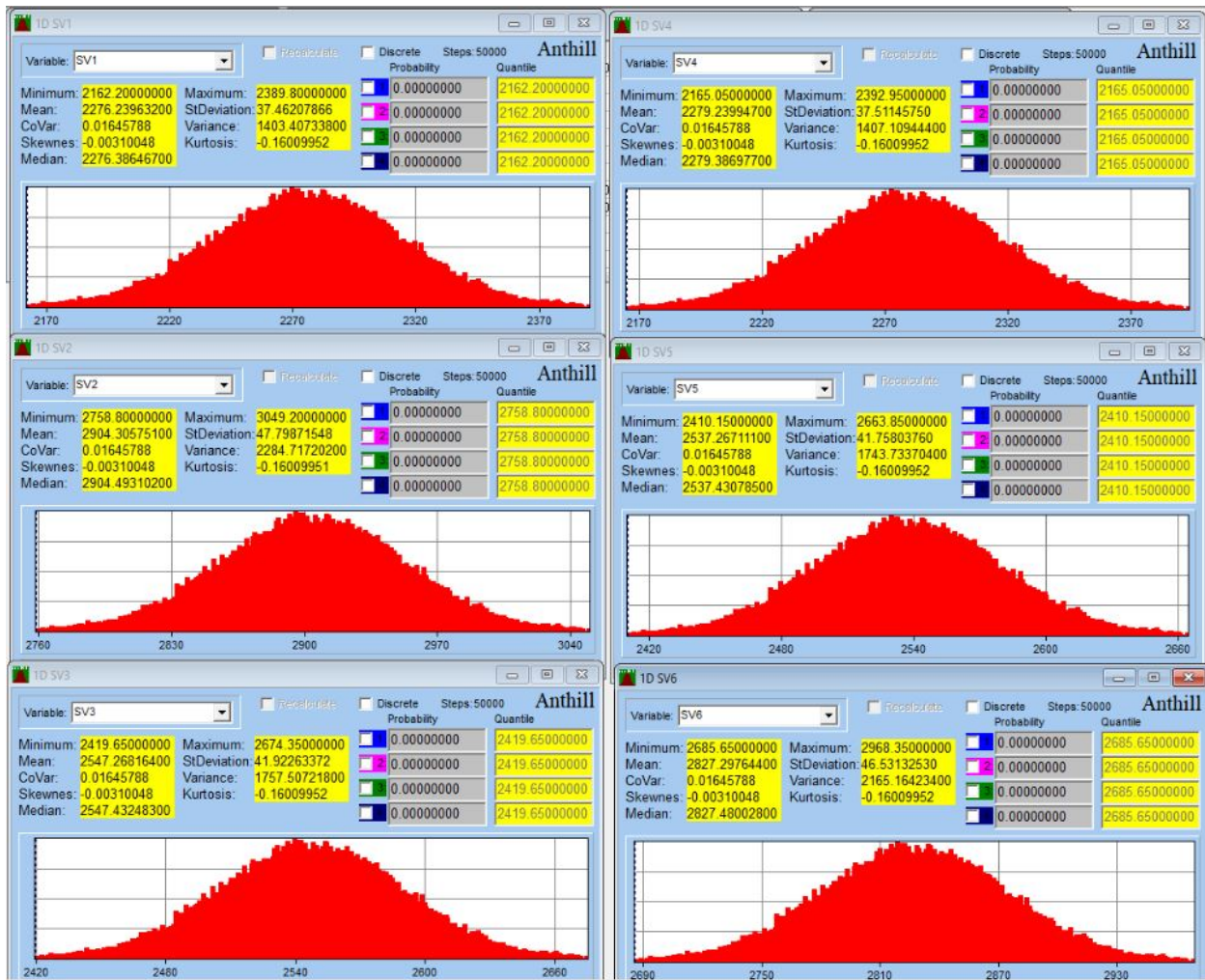
Obr. 43 – vstupní proměnné pro výpočet kolíkového spoje v programu Anthill [17]



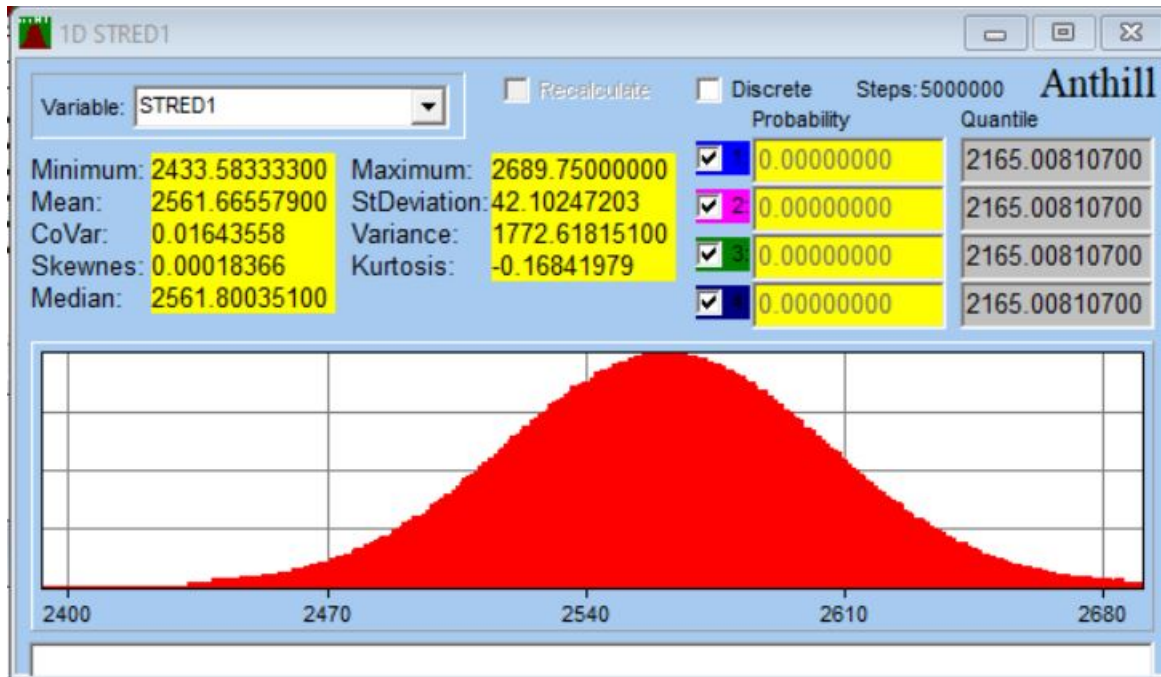
Variables	Type	Parameters	Comment
Avar	area-m.dis	Min=0.95000000 Max=1.05000000	gaus normal rozdeleni
N1	Constant	Value=3174	tahova sila v N
N2	Constant	Value=3492	
N3	Constant	Value=3487	
N4	Constant	Value=3781	
N5	Constant	Value=4031	
S1	Constant	Value=3629.5	stredni hodnota mereni
Svar	area-o.dis	Min=0.95000000 Max=1.10000000	

Obr. 44 – vstupní parametry pro výpočet kolíkového spoje v programu Anthill [17]

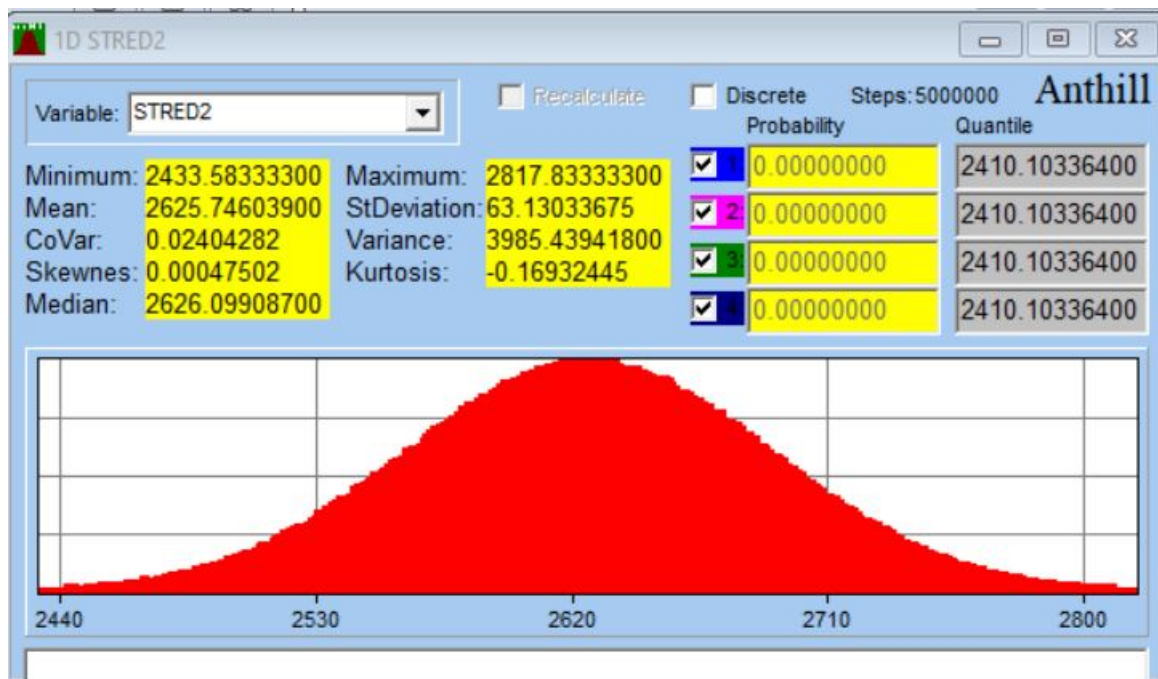
VÝSTUPNÍ DATA:



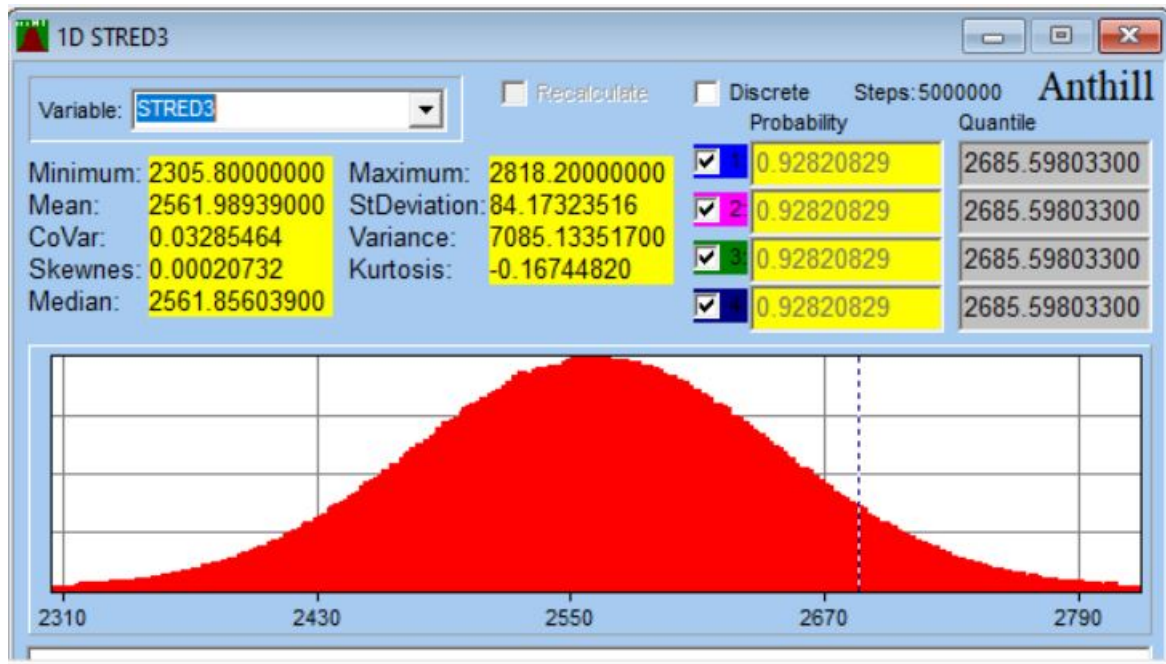
Obr. 45 – průběhy v lisu pro šest experimentálně zkušných vzorků kolíkového spoje [17]



Obr. 46 – STRED1 hodnoty pro porovnání kolíkového spoje [17]



Obr. 47 – STRED2 hodnoty pro porovnání kolíkového spoje [17]



Obr. 48 – STRED3 hodnoty pro porovnání kolíkového spoje [17]

11.2.2 Spoj se styčnickovou deskou:

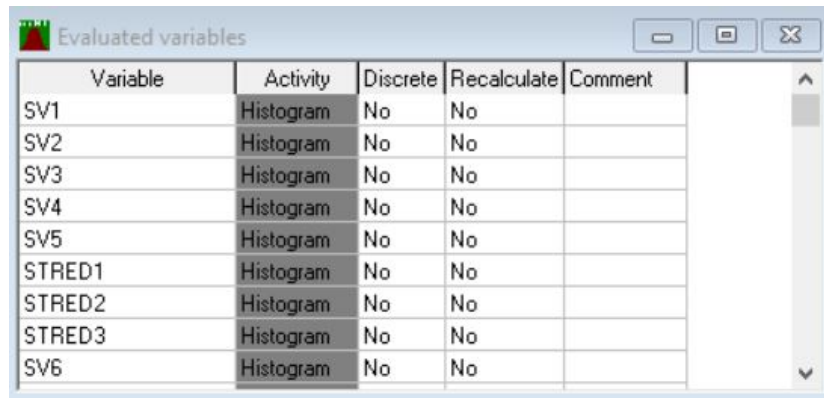
VSTUPNÍ DATA:

```

Equations
STRED3=S1*Svar1
STRED2=((N1+N2+N3+N4+N5+N6)/6)*Svar
STRED1=(SV1+SV2+SV3+SV4+SV5+SV6)/6
SV6=N6*Avar
SV5=N5*Avar
SV4=N4*Avar
SV3=N3*Avar
SV2=N2*Avar
SV1=N1*Avar

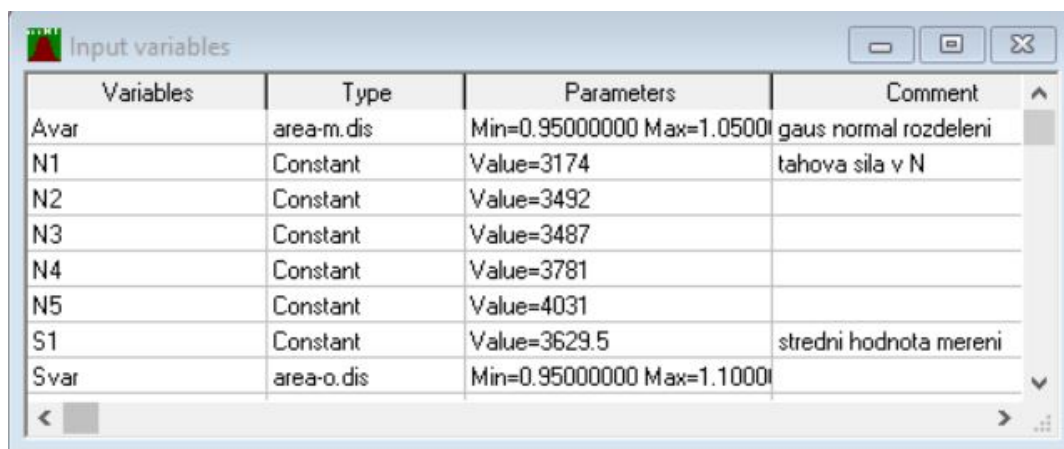
```

Obr. 49 – vstupní rovnice pro výpočet spoje se styčnickovou deskou v programu Anthill [17]



Variable	Activity	Discrete	Recalculate	Comment
SV1	Histogram	No	No	
SV2	Histogram	No	No	
SV3	Histogram	No	No	
SV4	Histogram	No	No	
SV5	Histogram	No	No	
STRED1	Histogram	No	No	
STRED2	Histogram	No	No	
STRED3	Histogram	No	No	
SV6	Histogram	No	No	

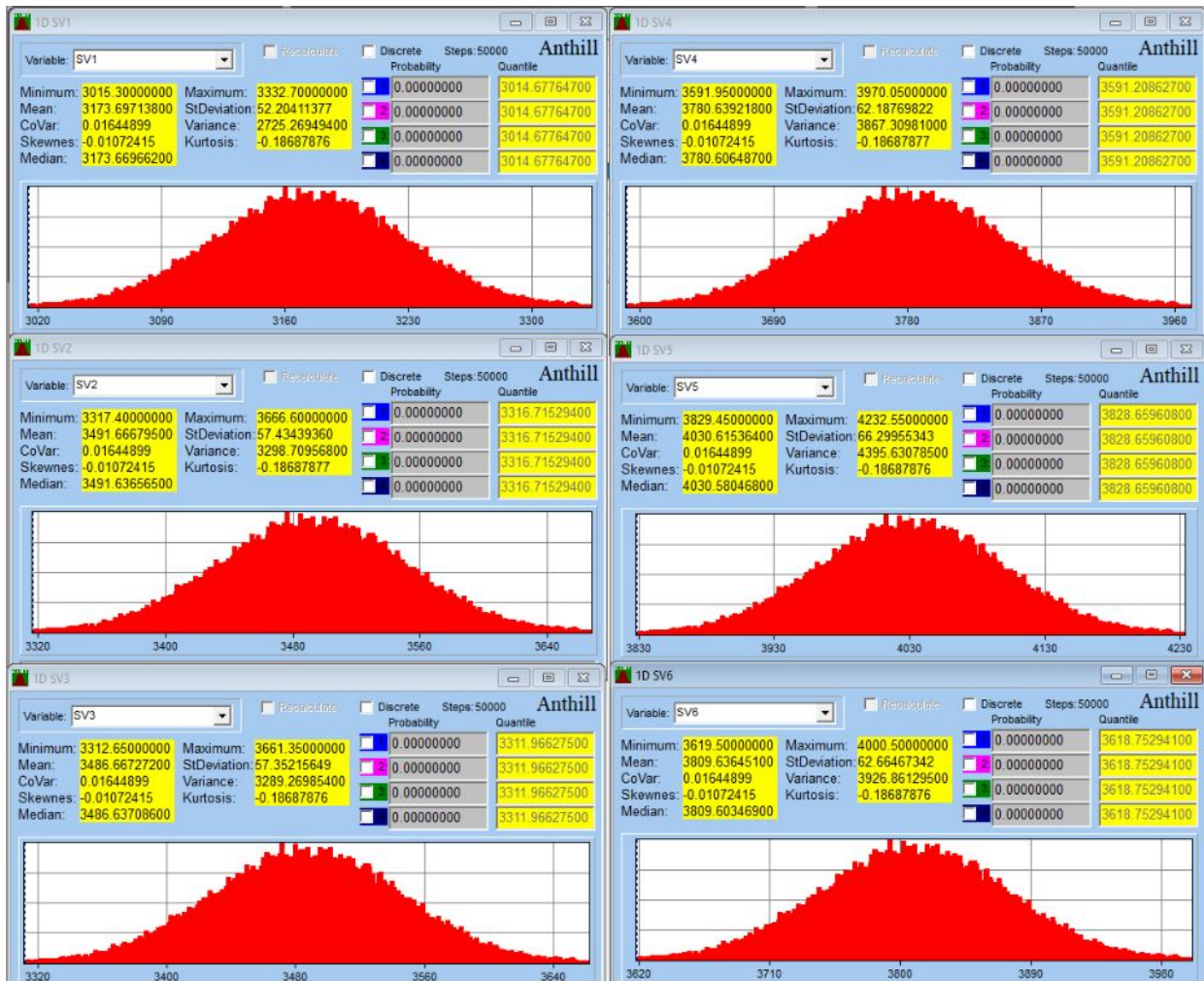
Obr. 50 – vstupní proměnné pro výpočet spoje se styčnickovou deskou v programu Anthill [17]



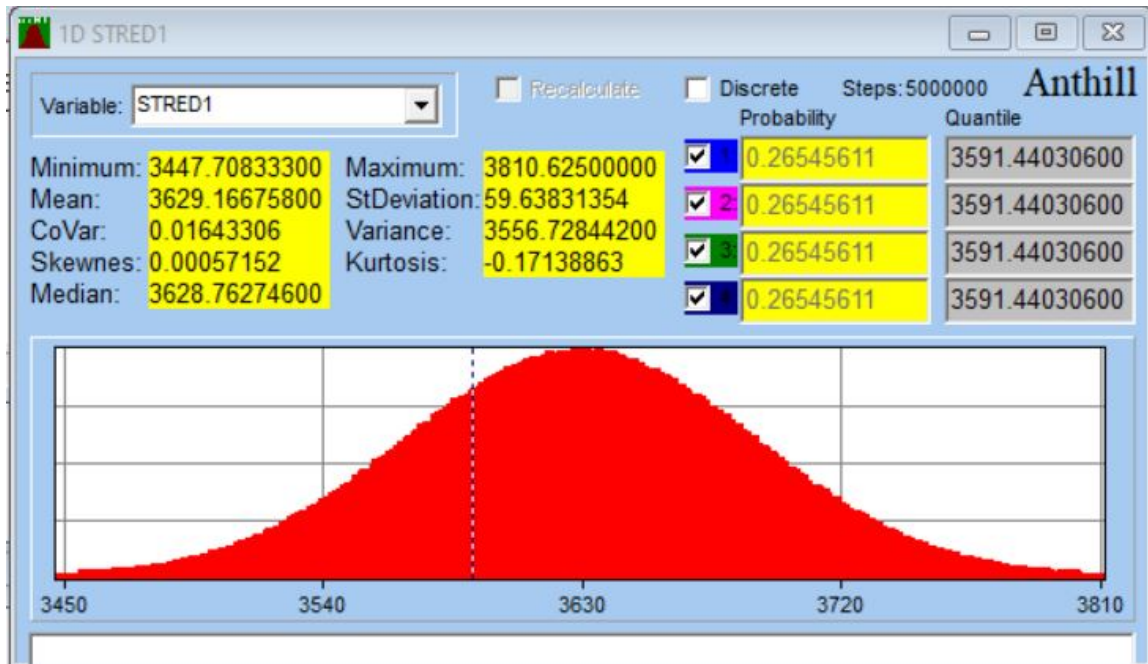
Variables	Type	Parameters	Comment
Avar	area-m.dis	Min=0.95000000 Max=1.05000000	gaus normal rozdeleni
N1	Constant	Value=3174	tahova sila v N
N2	Constant	Value=3492	
N3	Constant	Value=3487	
N4	Constant	Value=3781	
N5	Constant	Value=4031	
S1	Constant	Value=3629.5	stredni hodnota mereni
Svar	area-o.dis	Min=0.95000000 Max=1.10000000	

Obr. 51 – vstupní parametry pro výpočet spoje se styčnickovou deskou v programu Anthill [17]

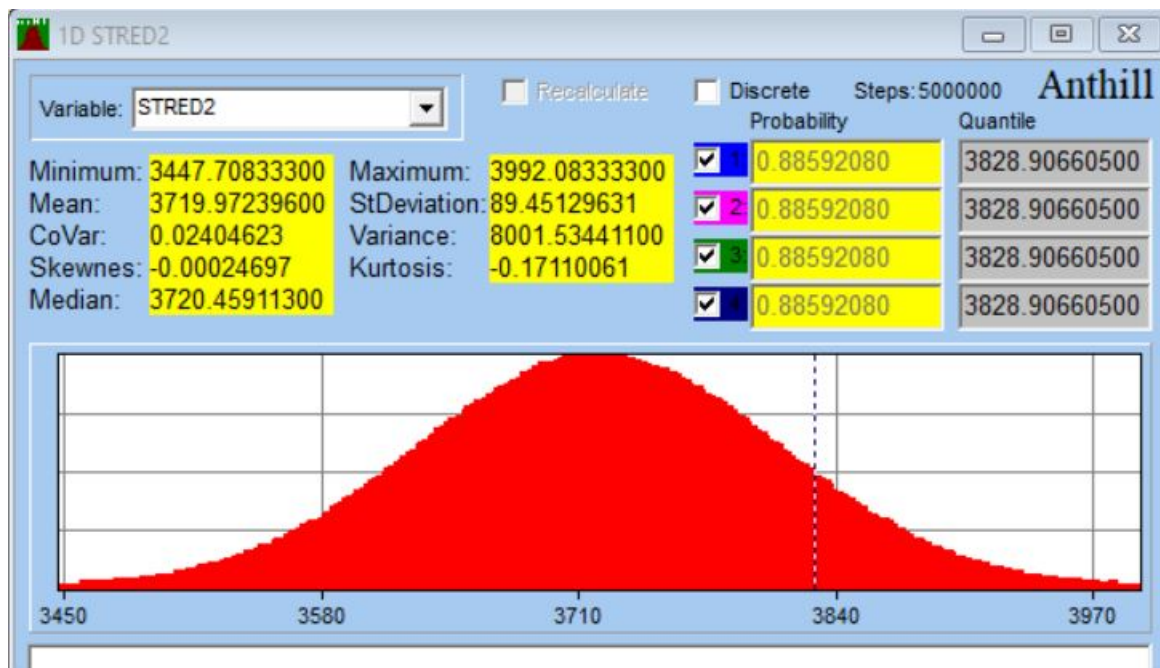
VÝSTUPNÍ DATA:



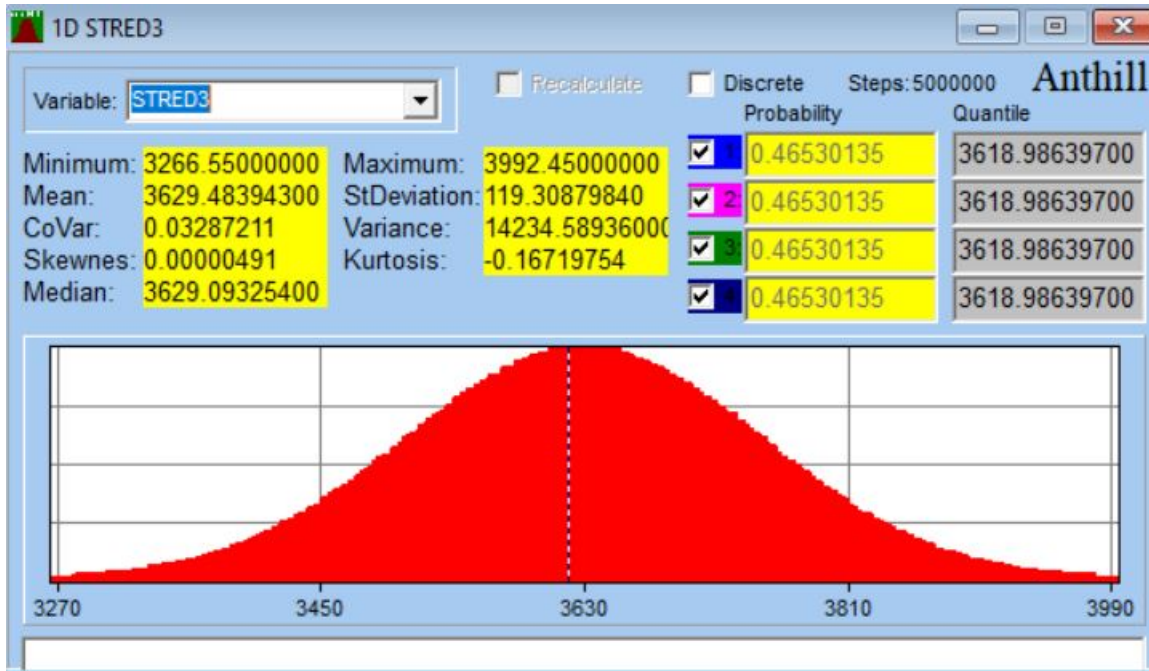
Obr. 52 – průběhy v lisu pro šest experimentálně zkoušených vzorků spoje se styčnickovou deskou [17]



Obr. 53 – STRED1 hodnoty pro porovnání spoje se styčnickovou deskou [17]



Obr. 54 – STRED2 hodnoty pro porovnání spoje se styčnickovou deskou [17]



Obr. 55 – STRED3 hodnoty pro porovnání spoje se styčnickovou deskou [17]

11.2.3 Svorníkový spoj:

VSTUPNÍ DATA:

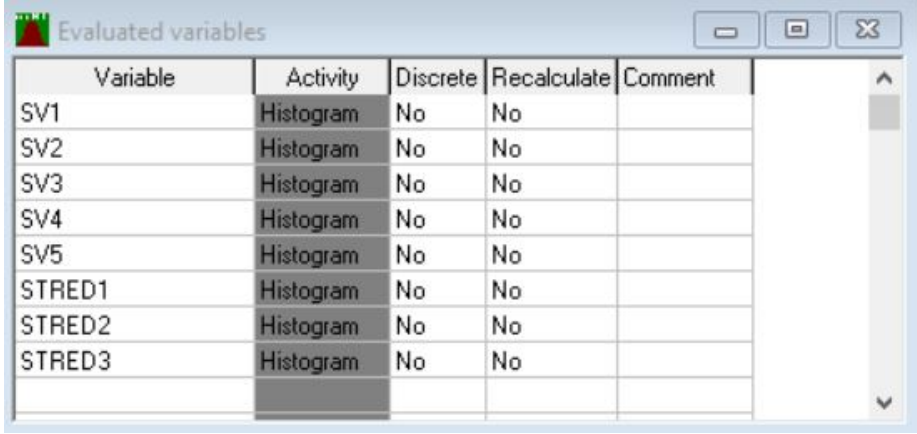
The screenshot shows the 'Equations' window in the Anthill software. The following equations are entered:

```

STRED3=S1*Svar1
STRED2=((N1+N2+N3+N4+N5)/5)*Svar
STRED1=(SV1+SV2+SV3+SV4+SV5)/5
SV5=N5*Avar
SV4=N4*Avar
SV3=N3*Avar
SV2=N2*Avar
SV1=N1*Avar

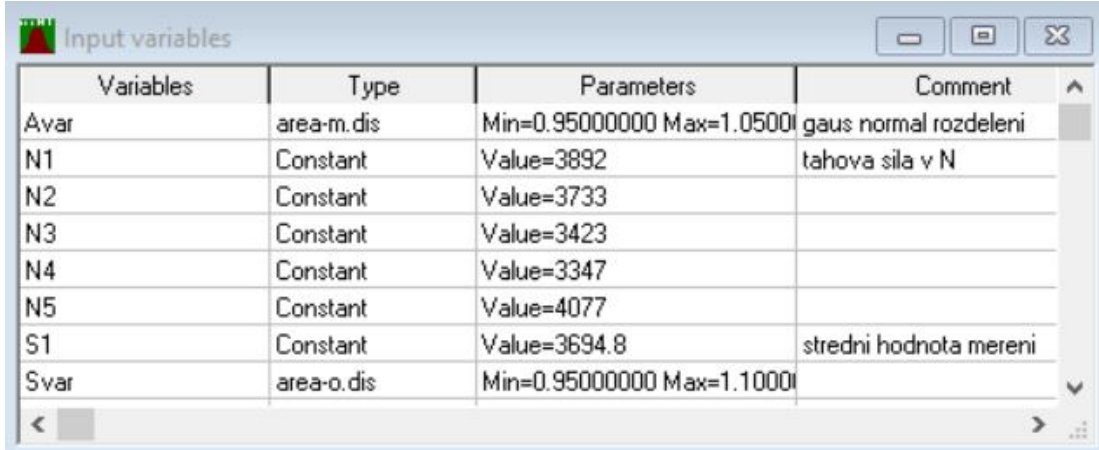
```

Obr. 56 – vstupní rovnice pro výpočet svorníkového spoje v programu Anthill [17]



Variable	Activity	Discrete	Recalculate	Comment
SV1	Histogram	No	No	
SV2	Histogram	No	No	
SV3	Histogram	No	No	
SV4	Histogram	No	No	
SV5	Histogram	No	No	
STRED1	Histogram	No	No	
STRED2	Histogram	No	No	
STRED3	Histogram	No	No	

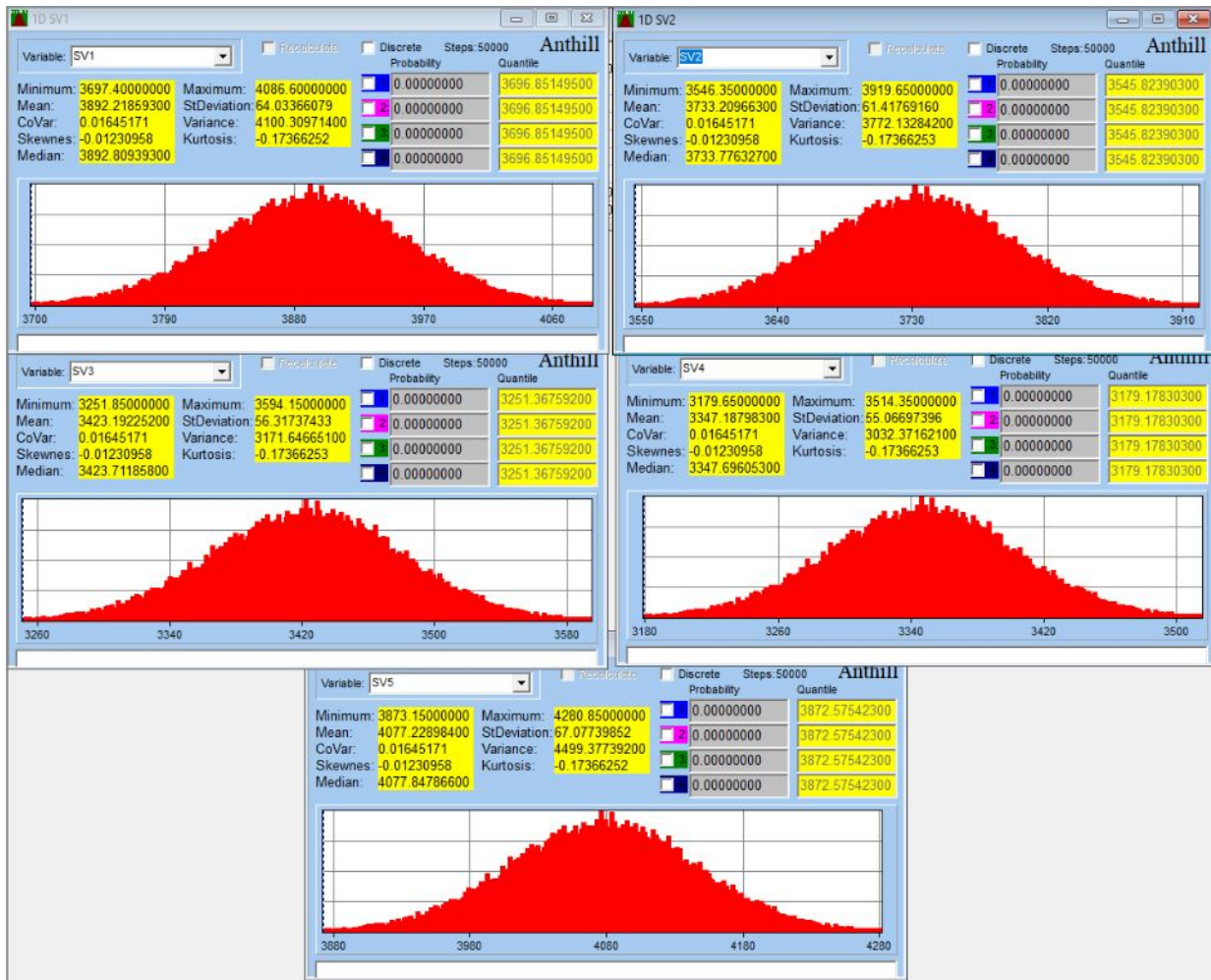
Obr. 57 – vstupní proměnné pro výpočet svorníkového spoje v programu Anthill [17]



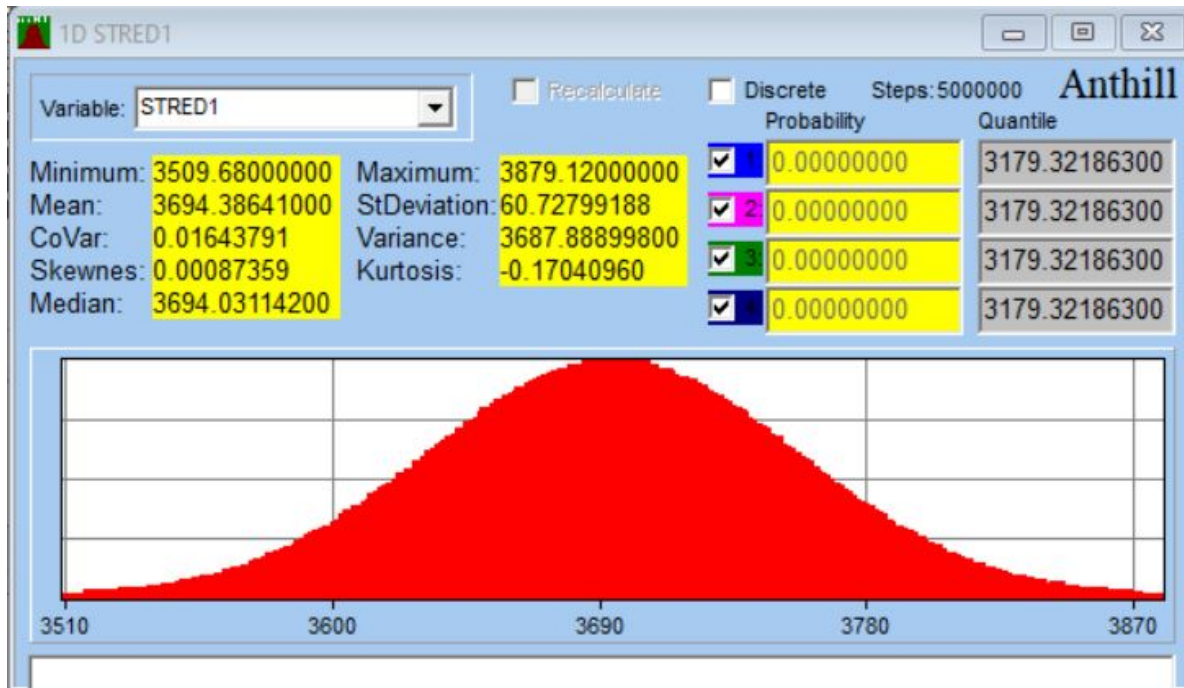
Variables	Type	Parameters	Comment
Avar	area-m.dis	Min=0.95000000 Max=1.05000	gaus normal rozdeleni
N1	Constant	Value=3892	tahova sila v N
N2	Constant	Value=3733	
N3	Constant	Value=3423	
N4	Constant	Value=3347	
N5	Constant	Value=4077	
S1	Constant	Value=3694.8	stredni hodnota mereni
Svar	area-o.dis	Min=0.95000000 Max=1.10000	

Obr. 58 – vstupní parametry pro výpočet svorníkového spoje v programu Anthill [17]

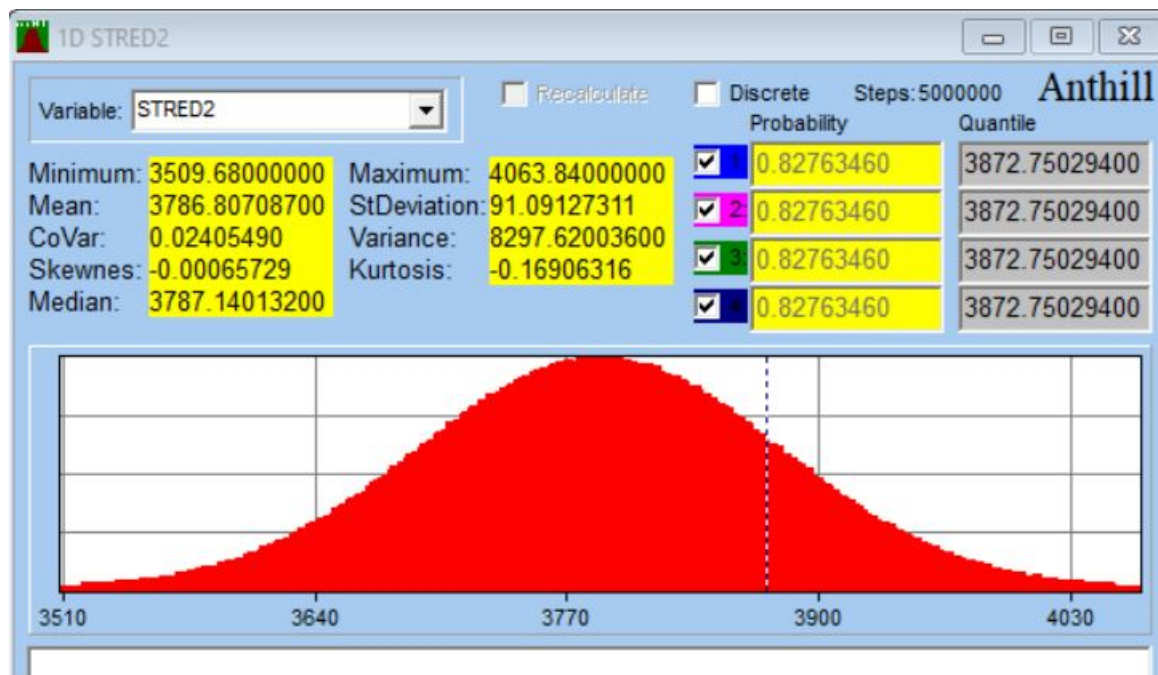
VÝSTUPNÍ DATA:



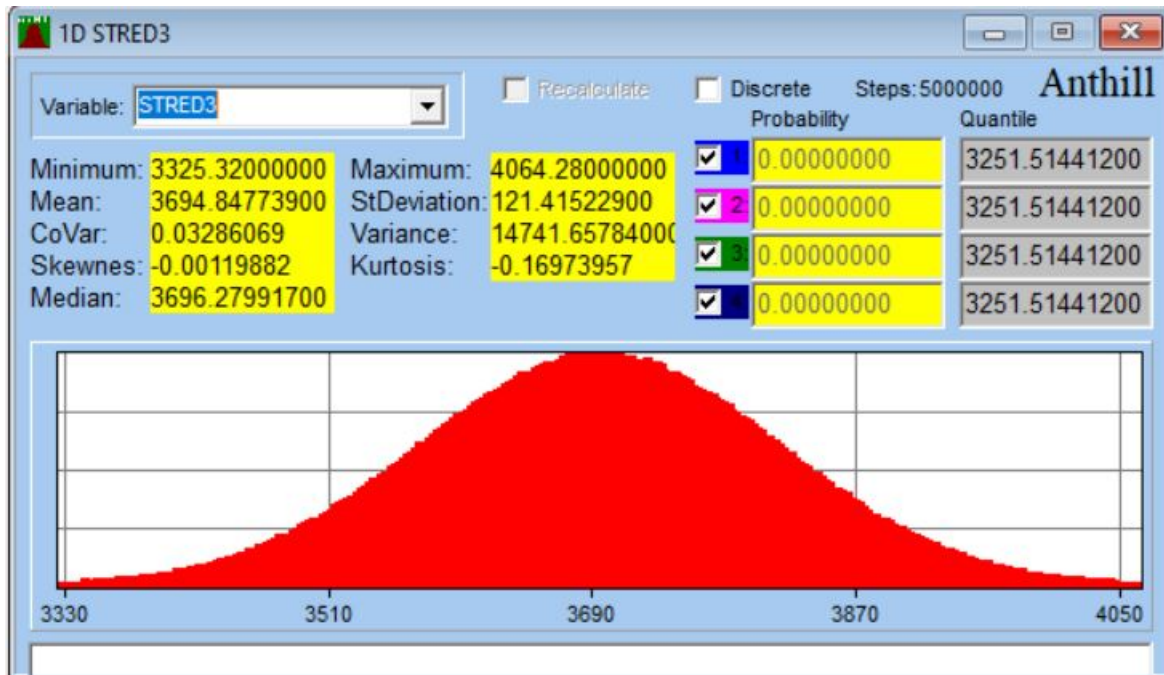
Obr. 59 – průběhy v lisu pro pět experimentálně zkoušených vzorků svorníkové spoje [17]



Obr. 60 – STRED1 hodnoty pro porovnání svorníkového spoje [17]



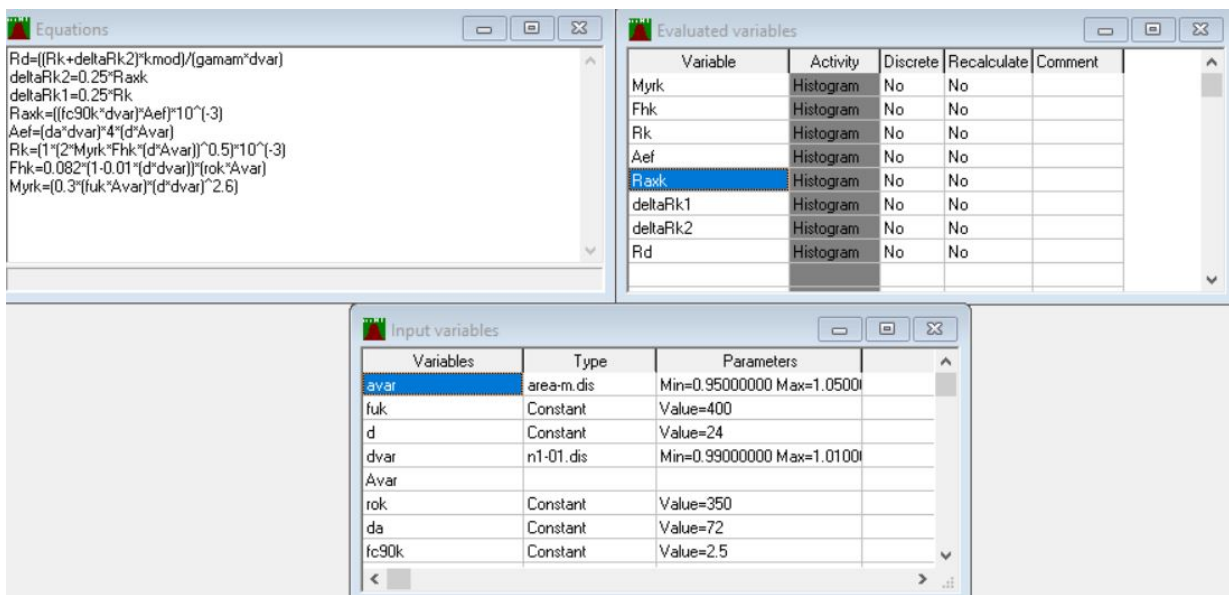
Obr. 61 – STRED2 hodnoty pro porovnání svorníkového spoje [17]



Obr. 62 – STRED3 hodnoty pro porovnání svorníkového spoje [17]

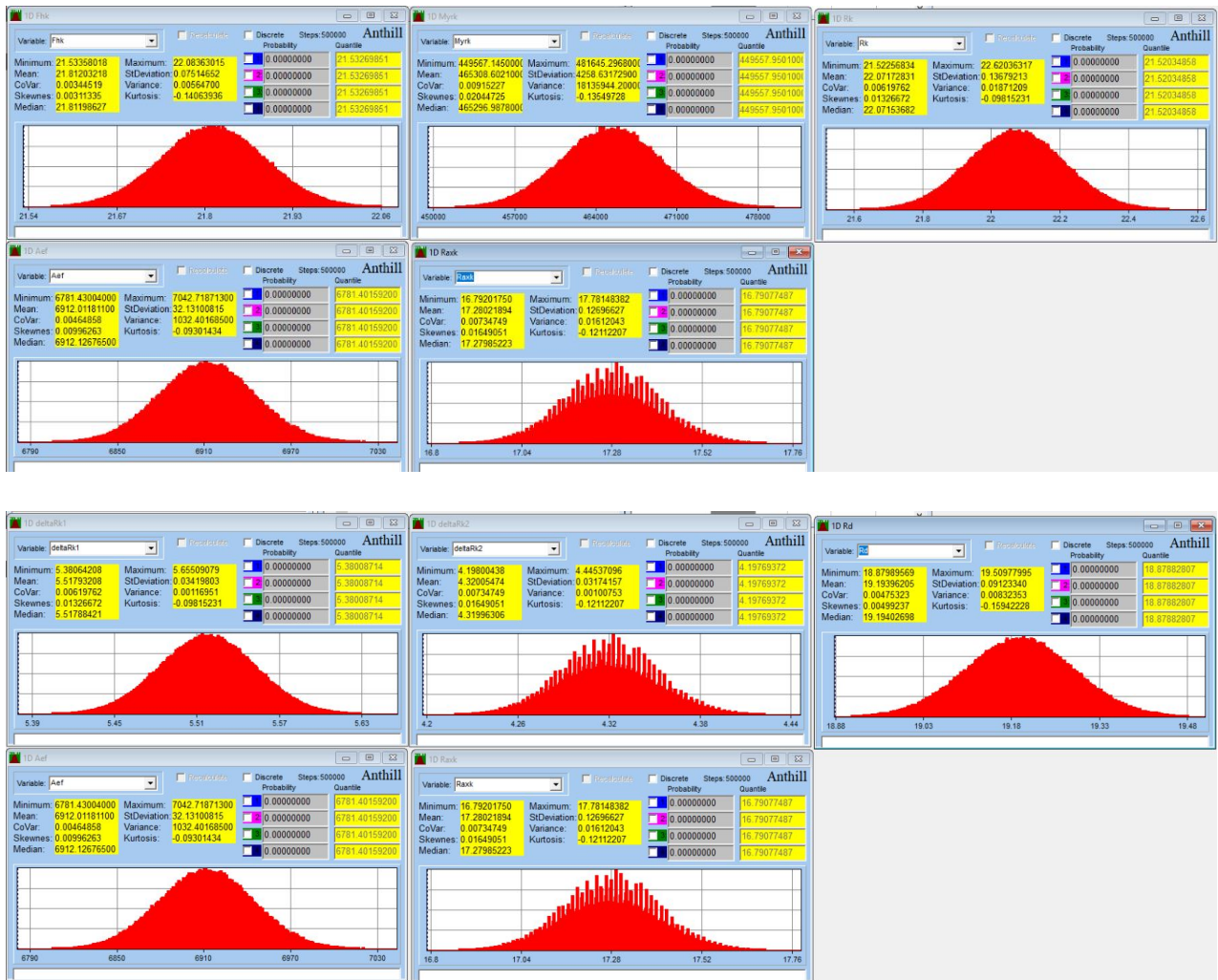
Pro svorníkový spoj byly v softwaru Anthill vypracovány i vnitřní reakce (viz níže).

VSTUPNÍ DATA:



Obr. 63 – vstupní data pro reakce ve svorníkovém spoji [17]

VÝSTUPNÍ DATA:



Obr. 64 – průběhy sil a momentů ve svorníkovém spoji [17]

12. Porovnání získaných dat:

V této fázi jsou srovnávané všechna získaná data – hodnoty z experimentálního měření, výpočtová data a hodnoty získané z programu Anthill. Cílem je tyto data porovnat a zjistit jejich procentuální odchylku.

12.1 Porovnání – kolíkový spoj:

Tab. 1 – Hodnoty získané pro kolíkový spoj [17]

Střední hodnota z experimentálního řešení [N]	SBRA STRED1 [N]	SBRA STRED2 [N]	SBRA STRED3 [N]	Řešení modelové podobnosti [N]
2562,0	2433,58333	2433,58333	2305,80000	2630,0
	2561,66758	2625,74604	2561,98939	
	2689,75000	2817,8333	2818,20000	

Procentuální srovnání výsledků:

$$2630,0 / 2562,0 = 1,0265 \rightarrow 2,65\%$$

$$2630,0 / 2561,66758 = 1,0267 \rightarrow 2,67\%$$

$$2630,0 / 2625,74604 = 1,0016 \rightarrow 0,16\%$$

$$2630,0 / 2561,98939 = 1,0265 \rightarrow 2,65\%$$

0% ~ 8 % až 10 % → Hodnoty jsou v pořádku.

12.2 Porovnání – spoj se styčnickovou deskou:

Tab. 2 – Hodnoty získané pro spoj se styčnickovou deskou [17]

Střední hodnota z experimentálního řešení [N]	SBRA STRED1 [N]	SBRA STRED2 [N]	SBRA STRED3 [N]	Řešení modelové podobnosti [N]
3629,5	3447,70833	3447,70833	3266,55000	3025,0
	3629,16676	3719,97239	3629,48394	
	3810,62500	3992,08333	3992,45000	

Procentuální srovnání výsledků:

$$3025,0 / 3629,5 = 0,833 \rightarrow 16,65\%$$

$$3025,0 / 3629,16676 = 0,833 \rightarrow 16,65\%$$

$$3025,0 / 3719,97239 = 0,813 \rightarrow 18,68\%$$

$$3025,0 / 3629,48394 = 0,833 \rightarrow 16,65\%$$

Důvodem vyšších procentuálních hodnot u spoje se styčnickovou deskou je rozevírání desek, tento faktor zvyšuje procentuální hodnoty.

12.3 Porovnání – svorníkový spoj:

Tab. 3 – Hodnoty získané pro svorníkový spoj [17]

Střední hodnota z experimentálního řešení [N]	SBRA STRED1 [N]	SBRA STRED2 [N]	SBRA STRED3 [N]	Řešení modelové podobnosti [N]
3694,8	3509,68000	3509,68000	3325,32000	4000,0
	3694,38640	3786,80708	3694,84774	
	3879,12000	4063,84000	4064,28000	

Procentuální srovnání výsledků:

$$4000,0 / 3694,8 = 1,0826 \rightarrow 8,26\%$$

$$4000,0 / 3694,38640 = 1,0827 \rightarrow 8,27\%$$

$$4000,0 / 3786,80708 = 1,0563 \rightarrow 5,63\%$$

$$4000,0 / 3694,84774 = 1,0826 \rightarrow 8,26\%$$

0% ~ 8 % až 10 % → Hodnoty jsou v pořádku.

13. Závěr:

Cílem diplomové práce bylo vybrané typy spojů analyzovat a porovnat jejich nosnost při maximálním zatížení, dále pak porovnat různé výhody a nevýhody vybraných spojů. Tento cíl byl splněn.

HYPOTÉZA:

Experimentem a výpočtem získaná data byly mezi sebou porovnány a z těchto dat byly odvozeny závěry (viz níže).

13.1 Závěr – experimentální měření:

Vyrobené vzorky pro jednotlivé typy spojů byly experimentálně odzkoušeny v laboratoři Západočeské univerzity v Plzni v budově Fakulty aplikovaných věd v oddělení mechaniky na přístroji Zwick / Roell Z050, který zkoumá na testovaných vzorcích tah, tlak ale také smyk a ohyb.

Vzorky posuzované tahovou zkouškou byly odzkoušeny v plném měřítku – všech osmnáct vzorků. Naměřené hodnoty u jednotlivých typů vykazovaly podobné hodnoty únosnosti, až u svorníkového spoje první testovaný kus vykazoval dvakrát vyšší hodnoty než ostatní, tento problém po bližším prozkoumání vzorku byl objasněn. Hodnotu únosnosti u tohoto vzorku zvyšovaly tři faktory - větší rozměr, nehladké pláty a použití lepidla. U dalších vzorků nebyl již zaznamenán žádný problém. Z otestovaných vzorků byly zaznamenány hodnoty maximální smykové únosnosti ve spoji, se kterými se dále pracovalo.

Vzorky posuzované smykovou zkouškou nebyly provedeny z důvodu nepřizpůsobení hlavice tlakového elementu. Po ozkoušení prvních tří vzorků od každého typu příčného spoje bylo konstatováno, že tlačena hlavice působí ve vzorku spíše ohyb v místě spoje nežli smyk. Závěrem bylo usouzeno, že přístroj vyžaduje jiný typ hlavice, tento typ hlavice byl již zadán do výroby, takže hypoteticky je možnost v pokračování zkoumání tohoto typu.

13.2 Závěr – numerické vyhodnocení:

Výpočty pro zjištění smykové únosnosti v místě spoje byly provedeny dle platného Eurokódu 5. Byl použit jeden systém výpočtu pro kolíkové spoje, jelikož z typů byly dva spoje kolíkové a jeden hřebíkový, který se na smyk posuzuje stejně jako kolíkový spoj. Tyto hodnoty byly upraveny modelovou podobností, aby odpovídaly modelům 1:4 a tím pádem naměřeným hodnotám z experimentálního měření.

Dalším krokem bylo hodnoty z experimentálního měření vsadit do softwaru Anthill, který využívá pravděpodobnostní metodu SBRA. Výstupem ze softwaru byly průběhy jednotlivých vzorků při zkoušce tahem a střední hodnoty vzorků, které byly dále porovnávány s hodnotami získanými výpočtem.

U kolíkového spoje byla odchylka porovnaných hodnot do tří procent, v rozmezí od nuly do deseti procent lze tvrdit, že jsou hodnoty správné. U spoje se styčnickovou deskou se hodnoty lišily až o osmnáct procent, s tímto faktem se počítalo kvůli aplikaci destiček. Ve skutečnosti se desky vtlačují do dřeva pomocí lisu rovnoměrně, u zhotovených vzorků nebyla možnost aplikace desky lisem, proto byly zatloukány pomocí kladiva. Tento faktor způsobí vyšší odchylku. Není možné definovat sílu zatloukání v celé ploše destičky u každého vzorku. Porovnané hodnoty u svorníkového spoje byly do devíti procent, což lze, jako u kolíkového spoje, považovat za správné řešení.

13.3 Závěr – komplexně:

Cílem diplomové práce bylo srovnat typy spojů, které byly používány dříve a které jsou používány v dnešní době.

Kolíkový spoj měl zastoupit historické spojování dřevěných konstrukcí. Po porovnání s dalšími typy spojů vyšel s nejnižší únosností, ale určitě není tvrzeno, že byl nejhorší. Při experimentálním měření byly zjištěny nejnižší hodnoty, tento fakt je přisuzován tomu, že ve spoji nebyly použity žádné ocelové doplňující prostředky a i když kolíky byly zhotoveny z tvrdého dubového dřeva pevnostní třídy C30 jeho pevnost se nedá srovnávat s ocelovými výrobky. Je třeba zmínit fakt, že kolíky ve spoji po dosažení maximálního zatížení byly dále schopny určité množství zatížení přenášet na rozdíl od styčnickové desky, která po dosažení maximální únosnosti kolabovala. Další klad kolíkového spoje je třeba zmínit a to, že pokud ve

spoji nejsou použity žádné ocelové pomocné spojovací prvky, je zde menší pravděpodobnost kondenzování vlhkosti a dřevěný spoj lépe odolává vzniku plísní a hub.

Z hlediska novodobých prostředků pro spojování dřevěných konstrukcí je zastoupen spoj se styčnickovou deskou. Tento způsob spojování je v dnešní době využíván ve velké míře. Při experimentálním měření si deska vedla obstojně, však právě tento spoj po dosažení maximální únosnosti tedy po vytržení hřebů styčnickové desky okamžitě ztrácel na únosnost. Z hlediska bezpečnosti tento fakt není v pořádku. Z hlediska výroby a montáže je tento spoj také nevýhodný, protože na rozdíl od kolíkového a svorníkového spoje, které je možno zhotovit přímo na stavbě, je nutno při zhotovení spoje se styčnickovou deskou použít lis, který desku stejnoměrně zatlačí do dřeva.

Zástupcem, který je na pomezí dob, je spoj se svorníkem. Tento spoj vyšel z experimentálního měření nejlépe, měl nejvyšší smykovou únosnost v místě spoje a zároveň se choval podobně jako kolíkový spoj, kdy po dosažení maximální únosnosti byl ještě schopen určitou část zatížení přenášet. Výjimkou oproti kolíkovému spoji byl fakt, že u kolíkového spoje docházelo k drcení a deformaci kolíků, u svorníkového spoje byla závitová tyč naklápěna a zatlačována do dřeva a ž do porušení dřeva.

Po porovnání těchto tří typů lze usoudit tento závěr – z hlediska bezpečnosti jsou lepší kolíkové či svorníkové spoje, které vykazují určitou únosnost i po dosažení maximální únosnosti. Pokud je hlavním faktorem pro navrhování vlhkost v objektu je vhodné volit spoje bez použití kovových pomocných spojovacích prvků. Z hlediska maximální únosnosti lze soudit, že testované spoje jdou v tomto pořadí od nejnižší únosnosti – kolíkový spoj, spoj se styčnickovou deskou, svorníkový spoj.

Použité zdroje a literatura:

- [1] **GERNER, Manfred.** *Tesařské spoje*. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 80-247-0076-x.
- [2] **BLASS, Hans Joachim.** *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby : komentář k ČSN 73 1702:2007 : modifikovaný překlad vysvětlivek k německé normě DIN 1052:2004*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2008. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 9788087093733.
- [3] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5*. Zlín: **KODR**, 1998. ISBN 80-238-2620-4.
- [4] **ČSN EN 1995-1-1 (731701)**, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2007, 114 s., EAN kód 8590963772288
- [5] Zastřešení budov 302 Found [online]. Dostupné z:
<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps2/zastreseni-budov.html>
- [6] Tesařské spoje 2.díl - seriál Krovky a dřevěné konstrukce | Krytiny-střechy.cz. *Střešní krytiny - katalog střešních krytin a střešních materiálů* | Krytiny-střechy.cz [online]. Copyright © 2008 [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:
https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/serial-tesarske-konstrukce-vlastnosti-dreva-rozdeleni-reziva-tesarske-spoje-2-dil/
- [7] Vybrané kapitoly z pravěkého stavitelství - PDF Free Download. *Documents Professional Platform - PDF Download Free - ADOC.PUB* [online]. Copyright © 2021 ADOC.PUB. All rights reserved. [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:
<https://adoc.pub/vybrane-kapitoly-z-pravkeho-stavitelstvi.html>
- [8] 8. Krovky. 302 Found [online]. Dostupné z:
<http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/8.html>
- [9] spojovací sekané týble k nábytku, buk, drážkované, eben-tu.cz. *EBEN - stavební a nábytkové kování* [online]. Dostupné z:
<https://www.eben-kovani.cz/nabytkovy-spojovaci-kolicek-buk-p9467/>

[10] kramle 12*400mm 37.01-13-12*400 - Náradí Hornig. *Náradí Hornig* [online]. Copyright © 2021 Náradí Hornig s.r.o. [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:

https://www.naradihornig.cz/kramle-12-400mm-37-01-13-12-400_z12883/

[11] Vrut univerzální půlkulatá hlava, křížová drážka - Briol. *Briol* [online]. Copyright © 2013 [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:

<https://www.briol.cz/vrut-univerzalni-pulkulata-hlava-krizova-drazka>

[12] Závitová tyč – Wikipedie. [online]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1vitov%C3%A1_ty%C4%8D

[13] Deska styčnicková jednostranná,(protištepňá spona), Rozměr:š/d/síla 54x90x1. *Železářství Andrlik* [online]. Dostupné z: https://www.zelezarstviandrlik.cz/variant/tesarske-kovani/deska-stycnikova-jednostranna-_protistep/3148/3148/381

[14] Podložka BULLDOG, pozinkovaná 50/17 tl. 1, - *Podložky ozubené* [online]. Copyright © 2007 [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:

<https://podlozky-ozubene.heureka.cz/podlozka-bulldog-pozinkovana-50-17-tl-1-baleni-25-ks/>

[15] [online]. Copyright © 2021 [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:

<https://www.strongtie.cz/products/detail/spojka-vaznice-krokev-pfu/572>

[16] Object moved. *Object moved* [online]. Dostupné z:

<https://www.drevorezba.cz/kategorie.aspx?kategorie=1705&nadkatgorie=85>

[17] Zdroj: Autor diplomové práce

[18] Spojovací prvky dřevěných konstrukcí | ASB Portal. *ASB-portal.cz | odborný portál | architektura, stavebnictví, byznys* [online]. Copyright © Jaga Media, s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:

<https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/spojovaci-prvky-drevenych-konstrukci>

[19] Navrhování celodřevěných tesařských spojů. *Časopis KONSTRUKCE - informace o uplatnění konstrukcí a návazných oborů při stavbách ve stavebnictví a strojírenství* [online]. Copyright © Copyright 2002 [cit. 05.01.2021]. Dostupné z:

<http://old.konstrukce.cz/clanek/navrhovani-celodrevenych-tesarskych-spoju/>

Použité softwary:

- Microsoft Office Word 2007
- AutoCAD 2019
- AntHill
- Zwick / Roell

14. Přílohy:

(Přílohová část je dostupná pouze v tištěné podobě.)

- Příloha č.1: Kompletní fotodokumentace z experimentálního měření