

**Mendelova univerzita v Brně**

**LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA**

**ÚSTAV NÁBYTKU, DESIGNU A BYDLENÍ**



**Lesnická  
a dřevařská  
fakulta**

**Vývoj zkušební metody pro ověření pevnosti lepeného spoje ve smyku  
pro velkoformátové masivní panely**

**Diplomová práce**

**Brno 2017**

**Bc. Vojtěch Jemelík**

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vývoj zkušební metody pro ověření pevnosti lepeného spoje ve smyku pro velkoformátové masivní panely vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně dne:

.....

podpis

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. Daniele Tesařové, Ph.D. za její odborné vedení, trpělivost a pomoc při psaní práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. J. Hlavatému za pomoc při zkoušení vzorků. A také bych chtěl poděkovat Ing. Evě Jeřábkové a Ing. Elišce Máchové za pomoc při klimatizaci vzorků. A firmě Novatop, která mi umožnila provést měření a připravit vzorky. Dále bych chtěl poděkovat svojí rodině a přátelům za podporu.

**Jméno:** Vojtěch Jemelík

**Název:** Vývoj zkušební metody pro ověření pevnosti lepeného spoje ve smyku pro velkoformátové masivní panely.

**Abstrakt:**

Předmětem diplomové práce je vyvinout a následně ověřit zkušební metodu pro zkoušení smykové pevnosti v tlaku stěnových panelů vyráběných firmou Novatop a také navrhnout a ověřit pevnost lepené spáry, kterou požaduje Evropské technické posouzení, aby bylo možné provádět zkoušky v současné firemní zkušebně. Obsahem práce je analýza typů namáhání, ke kterým dochází ve stěně dřevostavby, a provedení návrhu zkušební metody tak, aby ji bylo možné provádět ve firemní zkušebně a zavést do firemní praxe.

**Klíčová slova:**

Pevnost ve smyku, pevnost v tlaku, pevnost lepeného spoje, křížem lepené dřevo, polyuretanové lepidlo, dřevostavby, vícevrstvé desky, smrkové dřevo, Evropské technické posouzení.

**Author:** Vojtěch Jemelík

**Title:** The Development of a Test Method for the Verification of the Strength of an Adhesive Joint in Shear for Large-format Massive Panels

**Abstract:** The aim of the thesis is to develop and verify a test method for the verification of shear compressive strength of wall panels manufactured by Novatop company. Strength verification of adhesive joints in order to perform tests prescribed by the European Technical Assessment in the current company's test room. First, it is necessary to analyse the stress which occurs in the wall of the timber wooden building. Furthermore, it is necessary to design the test methods in such way so that they can be carried out in the company's test room and to introduce the tests in business practice.

**Key words:**

Shear strength, compressive strength, strength of adhesive joints, Cross-Laminated Timber, wooden buildings, Multilayer panels, spruce wood, European Technical Assessment.

# Obsah

<b>1.</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>CÍL PRÁCE</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>LITERÁRNÍ PŘEHLED</b>	<b>11</b>
<b>3.1.</b>	<b>CLT panely</b>	<b>11</b>
3.1.1.	Vlastnosti	11
3.1.2.	Porovnání výrobců CLT panelů	13
3.1.3.	Porovnání dřevostaveb proti jiným konstrukcím	17
3.1.4.	Kompletní stavební systém Novatop	18
<b>3.2.</b>	<b>Teorie lepení</b>	<b>21</b>
3.2.1.	Použitá lepidla	23
<b>3.3.</b>	<b>Možné namáhání CLT panelů</b>	<b>26</b>
3.3.1.	Statické namáhání	26
3.3.2.	Mechanické namáhání lepené spáry	29
3.3.3.	Pevnost dřeva v okolí lepené spáry	29
3.3.4.	Namáhání větrem a sněhem	32
3.3.5.	Odolnost proti namáhání v teple a za zvýšené vlhkosti	32
<b>3.4.</b>	<b>Definování požadavků</b>	<b>33</b>
3.4.1.	Kontrola pevnosti lepeného spoje	35
<b>4.</b>	<b>POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ, MATERIÁLY A ZKUŠEBNÍ METODY</b>	<b>36</b>
<b>4.1.</b>	<b>Vakuový lis</b>	<b>36</b>

<b>4.2.</b>	<b>Mrazicí box ELCOLD</b>	<b>37</b>
<b>4.3.</b>	<b>Klimatizační komora MEMMERT HPP 108</b>	<b>37</b>
<b>4.4.</b>	<b>Trhací zařízení Instron 3365</b>	<b>38</b>
<b>4.5.</b>	<b>Howial BSP-50</b>	<b>38</b>
<b>4.6.</b>	<b>Pomůcky a materiál</b>	<b>39</b>
4.6.1.	Vlhkoměr a teploměr	39
4.6.2.	Posuvné měřítko a metr	40
4.6.3.	Tloušťkovací frézka a truhlářská formátovací pila	40
4.6.4.	Nanášecí stroj na polyuretanové lepidlo	40
<b>4.7.</b>	<b>Použité materiály</b>	<b>40</b>
4.7.1.	Lepidlo	40
4.7.2.	SWP desky	41
<b>4.8.</b>	<b>Zkušební metody</b>	<b>42</b>
4.8.1.	Stříhová pevnost v tahu	42
4.8.2.	Stříhová pevnost v tlaku	42
<b>5.</b>	<b>PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO VÝVOJ NOVÉ METODY A OVĚŘENÍ NÁVRHU NOVÉ METODY</b>	<b>43</b>
<b>5.1.</b>	<b>Smyk lepené spáry v tahu</b>	<b>43</b>
<b>5.2.</b>	<b>Smyk lepené spáry v tahu – návrh nové metody pro zkoušení</b>	<b>44</b>
<b>6.</b>	<b>VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ VZORKŮ ZKOUŠENÝCH PODLE NOVĚ VYVÍJENÉ METODY, VERIFIKACE METODY</b>	<b>50</b>
<b>6.1.</b>	<b>Výsledky pevnosti ve smyku v tahu a tlaku</b>	<b>50</b>

<b>6.2.</b>	<b>Deformace při namáhání ve smyku vtahu a tlaku lepené spáry</b>	<b>53</b>
<b>7.</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>NOVÁ METODA PO VERIFIKACI</b>	<b>59</b>
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>65</b>
<b>10.</b>	<b>SUMARY</b>	<b>66</b>
<b>11.</b>	<b>CITOVANÁ LITERATURA</b>	<b>67</b>
<b>12.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>70</b>
<b>13.</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK</b>	<b>73</b>
<b>14.</b>	<b>VÝSLEDKY ZKOUŠEK</b>	<b>74</b>
<b>15.</b>	<b>PŘÍLOHY</b>	<b>80</b>



## 1. ÚVOD

Stavět ze dřeva znamená projektovat, řešit a stavět s materiálem z přírody, který má schopnost stále se obnovovat. Okouzlení, které vychází z lesa, respekt, který jeho stromy vzbuzují, se přenáší na dřevo jako materiál.

Průzkumy dokládají, že u dětí je dřevo ze všech stavebních materiálů v největší oblibě. Děti mají ze dřeva radost. Jaká kritéria jsou pro tyto sympatie skutečně směrodatná, lze stěží definitivně stanovit. Je to vzhled, vůně nebo struktura? Je to povrchová teplota nebo je to vlastnost přizpůsobovat se vlhkosti? Snad všechny tyto vlastnosti společně dávají dřevu jeho jedinečný charakter.

Architekti, stavitelé, řemeslníci a jejich zákazníci – investoři, již po staletí staví se dřevem a tento stavební materiál a přírodní surovinu neustále nově používají, utvářejí a mění. Se dřevem se dá realizovat téměř všechno, od nábytku až po loď, od mlýna až po dům. Dřevo poskytuje nezměrnou volnost pro navrhování a konstruování a umožňuje realizovat i neobvyklé představy. Žádný div, že četné nové konstrukční varianty vycházejí ze dřeva. Dřevo stanovuje trendy. (Kolb, 2011)

## 2. CÍL PRÁCE

Cílem práce je vyvinout a následně ověřit zkušební metodu pro stěnové panely vyráběné firmou Novatop. Nově vyvíjená metoda je zaměřena na ověření pevnosti lepené spáry ve smyku v tlaku, aby bylo možné provádět zkoušky, které předepisuje Evropské technické posouzení, na současných zkušebních strojích, které má firma k dispozici.

Před vývojem nové metody pro stanovení pevnosti ve smyku v tlaku bylo nutné analyzovat, jakým podmínkám jsou vystaveny nosné stěny u velkoplošných masivních dřevěných stěnových panelů, jak v průběhu výstavby, tak při využívání dokončené stavby.

Na základě analýzy se navrhne zkušební metoda, včetně rozměrů zkušebních těles. Udělat validaci a verifikaci zkušební metody ve firemní zkušebně. Zavést tyto zkoušky do běžných pracovních postupů a zavést pravidelné ověřování vlastností.

## 3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1. CLT panely

Technologie CLT (cross laminated timber) je založena na masivních dřevěných panelech, jednotlivé vrstvy dřeva jsou navzájem kolmo orientovány a jednotlivé vrstvy jsou k sobě slepeny. Jedná se o systém určený pro hrubou stavbu objektu. Snaží se nahradit dosud převládající budování staveb z betonu, oceli a cihel. Snaží se ukázat, jaké má dřevo skryté možnosti, v některých případech dřevo ostatní stavební konvenční materiály překonává.

#### 3.1.1. Vlastnosti

Zkratka CLT (cross laminated timber) znamená křížem lepené vrstvené dřevo. Základy dnešní technologie bylo lepení nosníků na střechu v roce 1974 v Německu, to však nejde požadovat za CLT, jednalo se pouze o lepené nosníky, první stavba, které se podobá dnešnímu, byla realizována v roce 1993. V roce 2016 byla naprojektována dokonce 40 patrová budova, která se má realizovat ve Stockholmu (Brandner)

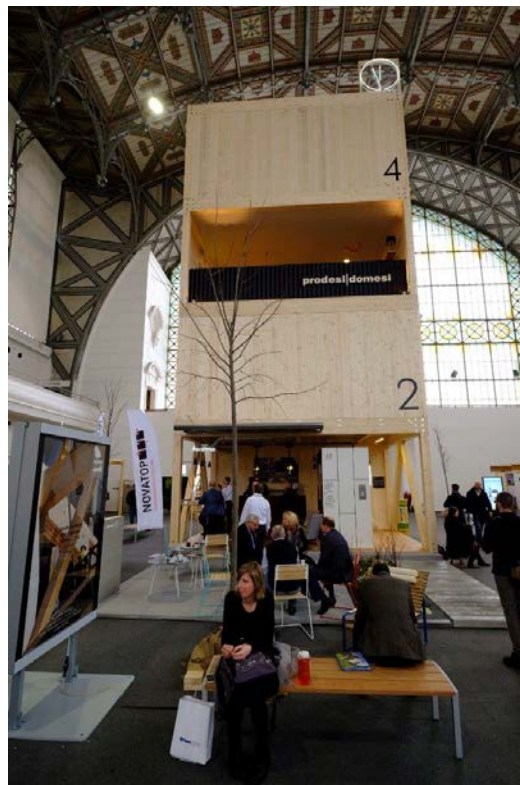


*Obr. 1 40 pater vysoká dřevostavba (Bloomberg, 2016)*

Panely jsou vyráběny z převážně smrkových lamel, vysušené na vlhkost 8 %, lamely se k sobě skládají bočními plochami do vrstev. Jednotlivé vrstvy se na sebe skládají s otočením 90°, vrstvy i jednotlivé lamely jsou mezi sebou slepeny, nejčastěji za pomoci polyuretanového lepidla a tvoří jeden velký tuhý panel. Každý výrobce má odlišnou tloušťku a počet jednotlivých vrstev. Skladba panelu musí být na obě strany od středu symetrická, nejčastěji mají panely lichý počet vrstev. Použitá lepidla musí splňovat požadavky pro exteriérové podmínky.

Panely se vyznačují vysokou pevností a statickou únosností, jedná se o bezpečnou konstrukci. Panely mají široké možnosti využití, je možné je využít na stěny, střechu i podlahu rodinných a komerčních objektů. V České republice se podle stávající legislativy mohou stavět dřevostavby, které mají maximálně čtyři podlaží.

Jednotlivé stavební součásti se na stavenišť dodávají v přesně opracovaných dílech. Velkou výhodou dřevostaveb je rychlost montáže na staveništi, všechny konstrukční spoje jsou připraveny již z výroby a kompletní, z venku uzavřenou stavbu běžného rodinného domu, lze postavit za 7 dní. Tento způsob výstavby však vyžaduje přesnou projektovou dokumentaci, s ohledem na všechny profese již ve stádiu přípravy výroby. Ideální pro odhalení veškerých náležitostí je vytvoření 3D modelu, do kterého se zanesou veškeré prvky. Na modelu je možné eliminovat možné komplikace, navíc zákazník získá přesnou představu, jak bude jeho dům vypadat.



*Obr. 2 Výstavní stánek (Praha)*

### 3.1.2. Porovnání výrobců CLT panelů

#### a) DEKPANEL

Jedná se masivní dřevěný panel, který se vyrobí bez použití lepidel, jednotlivé vrstvy hoblovaného řeziva tloušťky 27 mm jsou spojovány za pomoci vrtů. Základní stěna je třívrstvá, má tloušťku 81 mm a pro obvodové příčky se do konstrukce přidává vzduchotěsná folie, aby se zajistila neprůvzdušnost. Pro větší zatížení se používá pětivrstvá stěna tloušťky 135 mm. Když zákazník chce zachovat pohledovou strukturu dřeva, použije výrobce pro opláštění panelu SWP desku, kterou přilepí polyuretanovým lepidlem. Vznikne panel tloušťky 108 mm.



*Obr. 3 DEKPANEL (DEK, 2017)*

- + panel je vyroben bez lepidel (v pohledové kvalitě jsou použita lepidla)
- nutno použít parotěsnou fólie LDPE
- kovové prvky tvoří tepelné mosty
- pohledová kvalita se neobejde bez lepení
- při opracování je musí dávat pozor na kovové prvky
- náročnost na skládání panelů

b) Agrop Nova (Novatop)

Výrobce vyrábí ucelený stavební systém Novatop, navazuje na výrobu SWP desek, které tato firma vyrábí pod značkou Agrop. Vyznačuje se velkou mírou individualizace ve vztahu ke každému zákazníkovi. Od ostatních výrobců se liší tím, že CLT panely vyrábí již z velkoplošného materiálu. Standartní obvodová stěna má tloušťku 84 mm a je tvořena slepením dvou třívrstevých SWP desek tloušťky 42 mm. Každá deska má na povrchu lamely tlusté 9 mm a křížem je mezi ně vlepen laťovkový střed tloušťky 24 mm. Díky skládání z již připravených desek je široká možnost opracování. Stěnové panely se vyrábí do tloušťky 400 mm, je možné udělat skladbu až s 13-ti vrstvami, panely se vyrábí do rozměru 12 x 3 m. Systém se odlišuje hlavně skladbou stropů. Stropní systém není tvořen celomasivní konstrukcí, ale pomocí horní a spodní tahové a tlakové pásnice, mezi kterými je žebrový rastr tvořen opět biodeskou. Na použití na střešní konstrukce se používá panel, který je tvořen na SWP desce nalepenými hranoly. Obě skladby střešní a stropní mohou být izolovány tepelnou nebo akustickou izolací, používá se drcený vápenec, který zvyšuje hmotnost konstrukce a tlumí hluk v konstrukci. Povrchové vrstvy panelů jsou tvořeny slabou vrstvou dřeva a nejsou tak náchylné na změnu rovnovážné vlhkosti a nemají tendence k rozpraskání povrchu.



*Obr. 4 Panely Novatop Solid (Agrop Nova, 2017)*

- + Velké možnosti individualizace
- + Elektro instalace lze vést přes celou výšku stěny, uvnitř masivního panelu
- + Panel je vzduchotěsný bez použití folie
- + Povrch má vysokou kvalitu (všechny vady jsou vyspravené)
- + Bez tepelných mostů
- + Bezproblémové opracování
- + Stabilita panelu
- + Řešení pro střechy a stropy
- Obsahuje lepidlo, jehož emise volného formaldehydu jsou minimální
- Rozměr desek do rozměru 12 x 3 m, nesnadná přeprava

#### c) Stora Enso

Panely se skládají z minimálně tří vrstev křížem slepených lamel, které jsou slepeny polyuretanovým lepidlem. Tento výrobce vyrábí kompletní stavební systém, v nabídce má masivní panely, které lze použít na stěny nebo panely s pěti a více vrstvami, ty se používají pro nosnou konstrukci stropů, bez použití podpěrných hranolů. Tato konstrukce je nosná v příčném i v podélném směru, proto je skladba stropů tenčí než klasickou konstrukcí. Výrobce je schopný vyrábět panely do velikosti 2,95 x 16 m, nabízí široký sortiment povrchových dřevin, v nabídce má: borovici, modřín, jedli a borovici limbu. Stěnové panely se vyrábí třívrstvé nebo pěti vrstvé v tloušťkách od 60 do 160 mm. Pro použití na stěny se počítá s vertikálním směrem vláken v povrchových vrstvách. Dále má v nabídce systém na stropy, ten může mít až osm vrstev a tloušťku do 320 mm, v některých skladbách se vyskytují dvě sousední vrstvy se stejným směrem vláken, kříží se po dvou vrstvách. Výrobce si na každou zakázku připraví optimální polotovar, aby dosáhl co nejlepšího prořezu. Výrobce dosahuje dobré pohledové kvality, protože lepí boční plochy řeziva. Tento výrobce patří k největším výrobcům na světě, má nový výrobní závod, kde zpracovává 120 tisíc m<sup>3</sup> CLT panelů, tento obrovský objem zvládá linka s devíti zaměstnanci na směně.



*Obr. 5 CLT Stora Enso (Stora Enso, 2017)*

- + Panel je vzduchotěsný bez použití folie
- + Velká nabídka povrchových úprav
- + Bez tepelných mostů
- + Bezproblémové opracování
- + Stabilita panelu
- Obsahuje lepidlo, emise volného formaldehydu jsou minimální
- Můžou praskat povrchové vrstvy, když je v interiéru nízká rovnovážná vlhkost
- malá možnost individualizace

d) KLH

Systém je podobný jako u výrobce Stora Enso, jen se ho nevyrábí takový objem. Firma jako doplnění sortimentu vyrábí lepené nosníky, které nalepí na SWP desku. Tato konstrukce je výhodná pro použití na střešní konstrukce.



*Obr. 6 vzorek KLH (aba-holz, 2017)*



### 3.1.3. Porovnání dřevostaveb proti jiným konstrukcím

Dřevostavby mají výhody i nevýhody. Vystihuje to „k dřevostavbě je třeba dospět“. Je těžké přesvědčit někoho, kdo je zapřisáhlý odpůrce dřevostaveb. Hlavními argumenty, které mluví pro zvolení dřevostavby k bydlení představují - rychlost výstavby, ekologie, obnovitelnost materiálu. Někdo může ovšem namítnout, že mu nevádí výstavba, která bude trvat o 2 měsíce déle, když stavbu bude užívat dalších 50 let. Dále proti dřevostavbám hovoří akustické vlastnosti stavby, ve dřevostavbách se hluk šíří více.

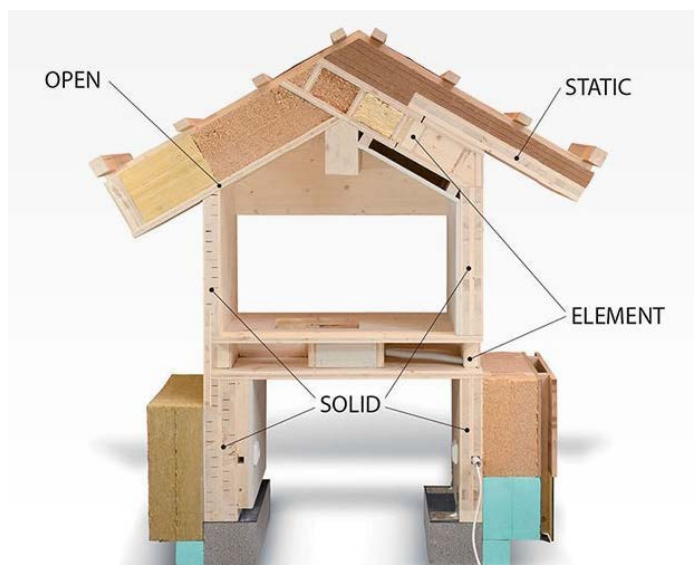
Hlavní výhoda CLT je bezproblémové dodržení vzduchotěsnosti stavby a veškerých stavebních postupů. Technologie je vhodná pro stavbu nízkoenergetických budov, panely je možné dodat na staveniště v rozměrech do 16 m x 3 m, ve stavbě je minimum spojů a je možné si každý pohlídat. Další velká výhoda je nižší hmotnost celé stavby a tenčí skladba stěny při zachování stejných vlastností. Technologie CLT eliminuje veškeré tepelné mosty, jako tepelný most působí pouze spojovací prostředky, tyto plochy jsou zanedbatelná. Stavby mají výborné tepelně izolační vlastnosti, které můžeme ještě zlepšit, když masivní panely doplníme zateplovacím systémem, u stropních panelů se izolace vloží do dřevěného roštu opláštěného krycí vrstvou z SWP desky. Špatné akustické vlastnosti je možné téměř odstranit použitím správných technických detailů, správná volba skladby stěn a dodržením stavební kázně. Hluk se šíří hlavně přes spoje a ty je možné ošetřit speciálními páskami pod stěny. Udávanou nevýhodou masivních dřevostaveb je nízká tepelná akumulace, ale CLT panely, ve srovnání s plynosilikáty mají lepší tepelnou akumulaci, navíc působí již od pohledu teplým dojmem.



Obr. 7 Akustické pásky (Rothoblaas, 2016)

### 3.1.4. Kompletní stavební systém Novatop

Kompletní stavební systém hrubé stavby, který vychází z výroby SWP desek, které jsou k sobě lepeny pomocí polyuretanového lepidla. Systém vychází ze švýcarské technologie, kde mají se stavěním ze dřeva bohaté zkušenosti. Systém je navržen tak, aby vyhovoval nejrůznějším požadavkům a přáním architektů. Výrobky se opracovávají na CNC obráběcích centrech, na které se přenáší data přímo z CAD systému.

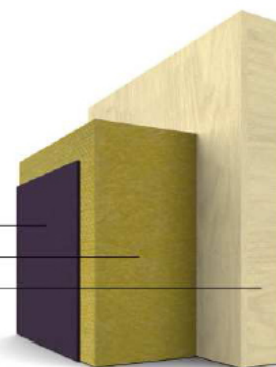


Obr. 8 Novato vzorek (Agrop Nova, 2017)

- a) Novatop SOLID je velkoplošný vícevrstvý panel typu CLT. Jedná se o stavební konstrukční prvek. Každá vrstva panelu je tvořena z lamel rostlého, nejčastěji smrkového dřeva. Lamely jsou k sobě slepeny v podélném a příčném směru, jednotlivé vrstvy lamel jsou kladeny do kříže a určují konečnou tloušťku panelu. (Agrop Nova, 2017) Tyto panely mají využití v obvodových stěnách (tloušťky 84, 124 mm). Pro vnitřní příčky se používá třívrstvá deska tloušťky 62 mm, vnitřní příčky je nutné z akustických důvodů z jedné strany oplástit hlukovou izolací a sádrovláknitou deskou. Pro použití na stropy malých roztečí se používají devíti vrstvé panely, tloušťky 81 a 116 mm,

#### SKLADBA STĚNY

5mm	fasádní omítka
180mm	minerální tepelná izolace
84mm	stěnový panel
269mm	CELKEM



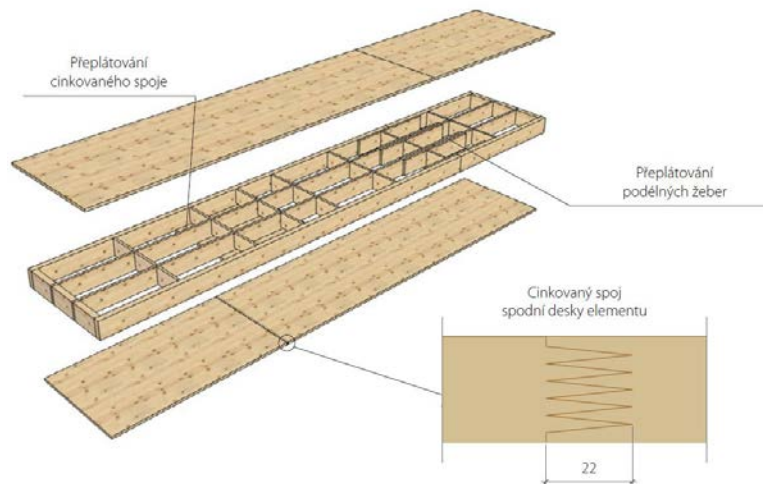
Obr. 9 Příklad skladby stěny (Domesi, 2017)

maximální velikost panelů je 12 x 3 m. Panely jsou přesně opracované s připravenými spoji, opracovanými pro instalaci vazníků a elektro instalací.



*Obr. 10 Panely Solid LikosNoe (Dřevostavby MC, 2017)*

- b) Novatop Elementy jsou prvky určené pro konstrukce stropů a střech, jedná se o velkoplošný panel s žebrovou konstrukcí. Mají nízkou hmotnost a vysokou statickou únosnost v podélném i příčném směru. Jsou dodávány v pohledové kvalitě s požární odolností REI 60, případně mohou být dodány opláštěné jedlovou nebo modřínovou deskou ze spodní strany. Element je tvořen spodní tlakovou deskou, na kterou je nalepen žebrový rastr dané tloušťky celý panel uzavírá z vrchní strany SWP deskou. Žebrový rastr má výšku, kterou požaduje statický posudek a může být vyplněn tepelnou, nebo protihlukovou izolací (jako izolace proti hluku se používá drcený vápenec). Panely se vyrábí do formátu 12 x 2,5 m, spojení desek musí být provedeno cinkovaným spojem a žebrový rastr je spojen pomocí přeplátování. Panely se vyrábí v tloušťkách od 160 do 400 mm.



Obr. 11 Konstrukce stropního panelu (Agrop Nova, 2017)

- c) Novatop Open je prvek určený hlavně pro konstrukci stropů. Spojuje Hranoly s SWP deskou polyuretanovým lepidlem. Jako nosný prvek slouží hranoly, které jsou zpevněny statickým spojem mezi hranolem a deskou. Na staveništi se tím zrychluje rychlost montáže, protože se nepokládají jednotlivé hranoly na střešní konstrukci, ale kompaktní panely, které jsou opracovány podle projektu. Tyto panely mohou být použity na konstrukci stěny, tato konstrukce stěny připomíná konstrukci „two by four“ systému (stěna je tvořena z hranolů které jsou opláštěné oboustranně velkoplošným materiálem), a zachování pohledového dřeva v interiéru.



Obr. 12 Montáž MT Open (Agrop Nova, 2017)

- d) Novatop Static jsou pěti vrstvé desky sloužící na vytvoření přesahů střech, zvládá překlenout velké rozpětí. Vyrábí se ve dvou tloušťkách 45 a 60 mm, na povrchu jsou vždy dvě vrstvy orientovány stejným směrem vláken a středová vrstva je napříč.

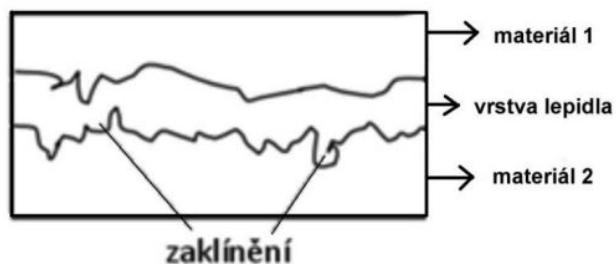


Obr. 13 přesah střechy - NT Static (Agrop Nova, 2017)

### 3.2. Teorie lepení

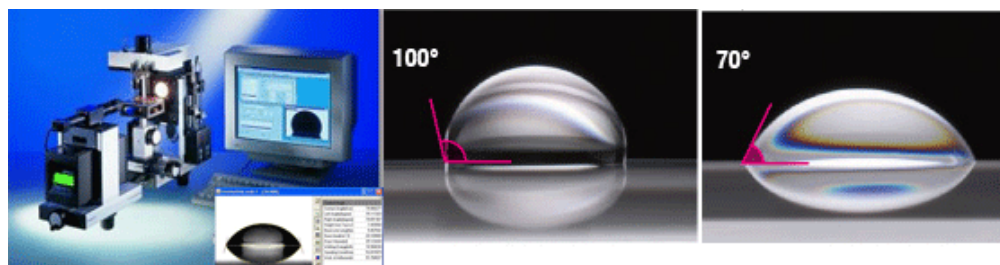
Lepidlo je materiál, který má vysoké vnitřní soudržné síly (koheze), spojují tuhá tělesa, za pomoci přílnavých sil (adheze). Lepené prvky se nazývají **adherenty**. Pevnost lepené spáry závisí na schopnosti lepidla přilnout k materiálu, přílnavost označujeme jako schopnost **adheze**. Dále je důležitá schopnost **koheze**, to je vnitřní pevnost lepidla.

- a) Mechanická adheze je spojována s drsností a pórovitostí povrchu lepených prvků s mírou adheze. Každý na povrchu při mikroskopickém zkoumání má propadliny a výběžky. Lepidlo pronikne do propadlin a pórů, tam se zakotví a za pomoci soudržných sil přichytí druhý prvek. Mechanickou adhezi si můžeme připodobnit k suchému zipu. Tato teorie nebere v úvahu neslučitelnost lepidla a podkladem, tato teorie nevysvětluje soudržnost hladkých materiálů.



Obr. 14 Mechanická vazba lepidla s povrchem (VESELÝ, 2013)

- b) Chemická teorie je rozšířená teorie adheze, lze ji uplatnit i na zcela hladké povrchy. Teorie je založena na soudržnosti lepidla a lepeného materiálu za působení kovalentních vazeb mezi nimi. Dobře se lepí materiály, které mají chemicky upravený nebo reaktivní povrch. Dobře se lepí oxidované plochy, dále dřevo a materiály s volnou chemickou skupinou (-O, -OH, -CO...). Lepidla musí obsahovat volné skupiny, které jsou schopny reagovat s lepeným materiálem. Lepidla mají nejčastěji reakční skupinu epoxy- a hydroxy- kyseliny, nebo se jedná o izokyanáty.
- c) Difuzní teorie, základem je tvrzení, že některé látky (např. polymery) mohou navzájem mezi sebou difundovat napříč rozhraním. Pevnost spoje závisí na průběhu difuze. Průběh difuze závisí především na čase, teplotě, viskozitě, relativní molekulové hmotnosti polymerů, kompatibilitě adherendu a adheziva. Tato teorie však nevysvětluje spojení materiálů, které vzájemně nedifundují, ale normálně se lepí jako např. kov – sklo. (Havelka, 2011)
- d) Elektrostatická teorie probíhá tak, že ve spoji se vytváří dvojvrstva elektronů, která se vytvoří dotykem jedné hraniční vrstvy s více elektrony a další vrstva obsahující méně elektronů. Spoj se stane kondenzátorem, lepené součásti se k sobě přitahují, protože jsou rozdílně nabitě. Když desky oddálíme, vzniklý potenciální rozdíl se vybije nebo se vyzáří elektronové emise. (Allen, 2006)
- e) Molekulová teorie (adsorpční) vysvětluje soudržnost za pomoci smáčivosti, absorpce a adheze. Důležité je vzájemné působení lepidla a lepeného prvku, ovšem musí mít polární molekuly schopné vzájemného působení. V první části se molekuly dostávají na povrch lepidla, ve druhé části musí dojít k přiblížení na vzdálenost 0,5 nm a začnou působit Van der Waalsovy síly, trvající až do dosažení rovnováhy.

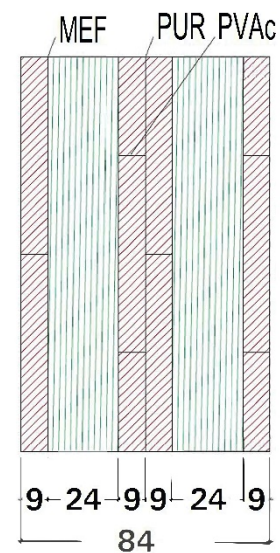


Obr. 15 Adsorpční teorie (Adhesives & glues & sealants, 2017)

Na teorie nelze pohlížet jednotlivě, všechny teorie se shodují třeba v tom, že se molekuly lepidla a lepené látky musí dostatečně přiblížit, aby mohli začít působit mezi nimi adhezní síly. Lepidlo musí dostatečně smáčet povrch a být dostatečně tekuté při aplikaci. Je důležité, aby povrchové napětí lepidla bylo nižší, než lepené prvky. Ve skutečnosti se jednotlivé teorie vzájemně doplňují. Pro dosažení pevného a odolného spoje dřevěných výrobků, je důležité vytvořit pevný a rovný povrch. Mezi prvky by měla být tenká lepená spára, aby bylo zajištěno dostatečné přiblížení lepených prvků. Pro zajištění dostatečného přiblížení se lepené prvky vkládají do lisů a působí se na ně tlakem.

### 3.2.1. Použitá lepidla

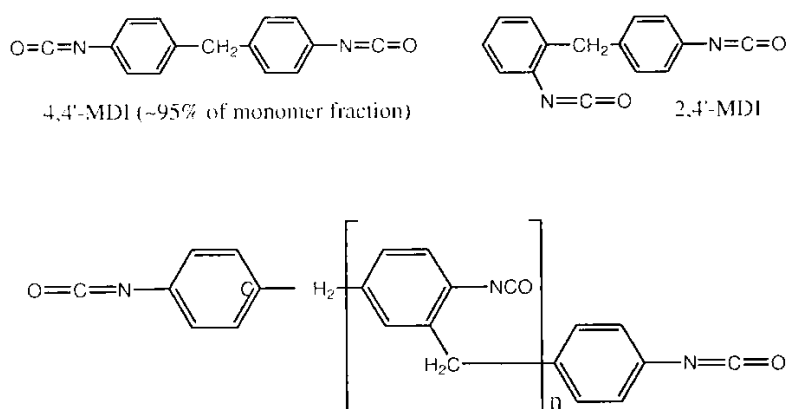
Při výrobě CLT panelů Novatop se používá tři druhů lepidel. Nejprve se vyrábí biodeska, jednotlivé vrstvy se k sobě lepí pomocí melaminformaldehydového lepidla a vytvrzující ve vyhřívaných lisech. Boční plochy lamel v jednotlivých vrstvách jsou lepeny polyvinylacetátovým vodou ředitelným lepidlem. Povrchové vrstvy biodesek jsou k sobě přitlačeny za pomoci bočních přítlaků při lisování. Pro vytvoření nosných stěn jsou k sobě lepeny SWP desky polyuretanovým lepidlem ve vakuovém lisu bez vyhřívání.



Obr. 16 Solyd 84 lepidla

### 3.2.1.1. Polyuretanová lepidla (PU)

Polyuretanová lepidla jsou ty lepidla, které jsou vytvořena adiční polymerací polyizokyanátu s vícevaznými alkoholy nebo polyestery (bohaté na hydroxilové skupiny). Alkoholy reagují s izokyanátovou skupinou a při této reakci vzniká močovina. (Kafka, 1989) Lepidla mohou vytvrzovat i za teplot blížící se 0°C, mají vysokou mechanickou odolnost až 25 MPa. Tato lepidla jsou vhodná ke konstrukčnímu lepení dřeva. Systém Novatop používá polyuretanové lepidlo na lepení jednotlivých desek mezi sebou.



Obr. 17 Reakce polyuretanu (Rowell, 2005)

Typy polyuretanových lepidel:

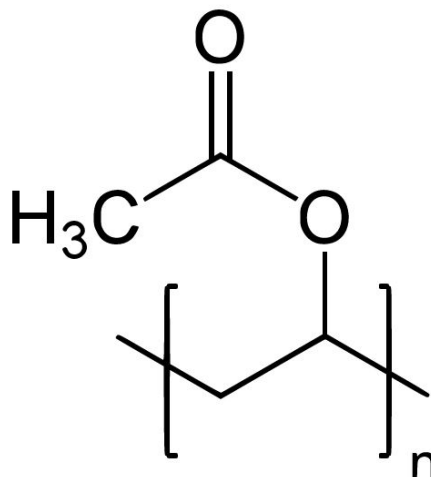
- Dvousložková polyuretanová lepidla jsou tvořena polymery a tužidlem. Tyto dvě látky se musí smíchat ve správném poměru a po namíchání lepidla máme jen omezenou dobu na aplikaci. Tato životnost lepidlové směsi se snižuje při zvýšení teploty prostředí.
- Jednosložková polyuretanová lepidla vytvrzují za pomoci vzdušné vlhkosti, proto je zapotřebí při lepení panelů sledovat vlhkost prostředí, případně zajistit přídavné zvlhčování pomocí automatických zvlhčovačů prostředí. Při vytvrzování lepidlo mírně vypění, je s tím třeba počítat a při lepení panelů je nutné lepené prvky k sobě přitisknout dostatečnou silou a je nutné dodržet čas od nanesení lepidla do zalisování panelů.



- c) Jednosložková polyuretanová lepidla vytvrzují za pomoci tepla, lepené prvky je potřebné lepit při zvýšené teplotě 100°C – 200°C, zvýšená teplota je zapotřebí k vytvoření pevné zesíťované struktury. (Kauffman, 2016)

### 3.2.1.2. Polyvinylacetátová lepidla (PVAc)

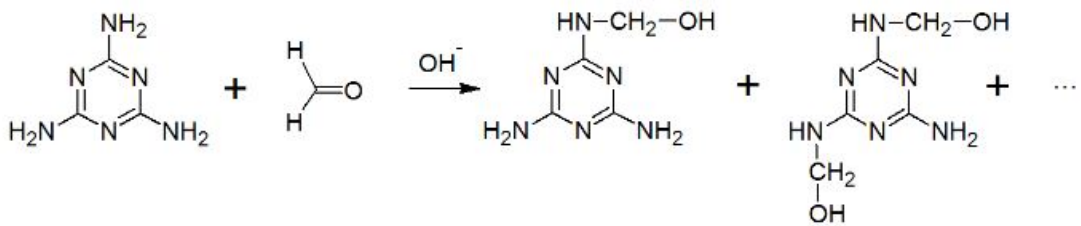
Syntetická pryskyřice připravená polymerací vinil-acetátu. Jedná se o vodu ředitelné bílé lepidlo bez zápachu, nevypařují se z něj nebezpečné výpary. Lepidlo málo bobtná (cca 10%), po vytvrzení tvoří průhledný film. Zesíťování probíhá za pomoci vzdušné vlhkosti a vlhkosti dřeva. Lepidla se vyrábí v různé třídě odolnosti proti vlhkosti. Používá se při lepení nábytku (např.: lepení kontrakčních spojů). Ve výrobě Novatop se využívá na lepení podélných hran lamel v jednotlivých vrstvách. (Kauffman, 2016)



Obr. 18 PVAc vzorec (Rowell, 2005)

### 3.2.1.3. Melaminformaldehydová lepidla (MEF)

Melamin-formaldehydové nebo melaminové polymery jsou syntetické, získané chemickou kombinací formaldehydu (plynu vyrobeného z metanu) a melaminu (krystalické pevné látky odvozené od močoviny). (Hosch, 2016) Sloučeniny se zesíťují do pevné sítě vzájemně propojených molekul, ve vyhřívaném lisu dochází ke kondenzačním reakcím. Melaminformaldehydová jsou zdravotně nezávadná lepidla, používají se především pro lepení překližky, dřevotřískových desek a dalších výrobků ze dřeva. Tato lepidla jsou odolná vůči vlhkosti, studené i horké vodě. (CROW, 2015) Jejich velkou výhodou je snadná aplikace a dlouhá otevřená doba, vytvrzují za zvýšených teplot, lisovací desky lisů jsou vyhřívány na 90°C. V systému Novatop se používá toto lepidlo k lepení jednotlivých vrstev SWP desek mezi sebou.



Obr. 19 Chemická reakce MF (Rowell, 2005)

### Vliv teploty na pevnost lepeného spoje

Zhodnotit vliv teploty na pevnost lepení je obtížné. Obecná pravidla pro běžná konstrukční lepidla určená pro lepení při nízkých teplotách. Při lepení polyuretanovými lepidly je důležitá teplota prostředí, ta by se měla pohybovat kolem 20°C. Po vytvrzení je lepidlo dostatečně odolné. Při teplotách pod bodem mrazu a nižších dochází u některých vzorků ke zkrěhnutí lepeného spoje, naopak při vyšších teplotách dochází k větší plastičnosti.

Bylo zjištěno, že pevnost ve smyku v tahu je při zvyšující se teplotě závislá na délce přeplátování. Zatímco u malých délek přeplátování pevnost ve smyku s rostoucí teplotou klesá, u větších délek přeplátování tomu tak být nemusí (Peterka, 1980)

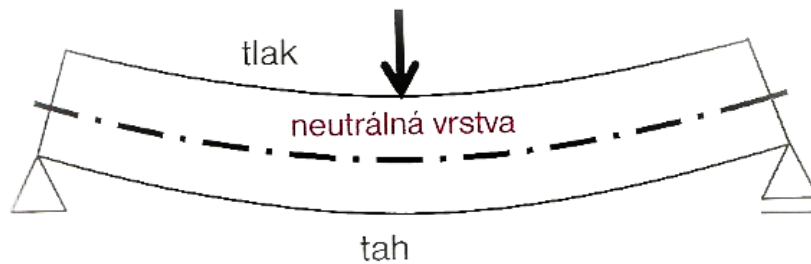
## 3.3. Možné namáhání CLT panelů

### 3.3.1. Statické namáhání

Síly působí v jedné ose tělesa. Vlastnosti materiálu nejde stanovit odvozením a je nutné provést destruktivní zkoušky u daného materiálu. U dřeva je důležité v jakém směru působíme na strukturu dřeva, jinou pevnost má dřevo tangenciálním, radiálním a příčným směrem dřevních vláken. U CLT panelů se tyto vlastnosti prolínají, protože panely jsou tvořeny křížem lepenými vrstvami.

### 3.3.1.1. Tah

Tahové napětí působí na těleso v jedné ose, ale síly působí v opačném směru od sebe. Těleso se pod zatížením prodlužuje a profil tělesa se zužuje, vzniká normálové napětí. K porušení dochází přetržením vláken. V konstrukcích stěn se nevyskytuje samostatné tahové napětí, vyskytuje se společně s tlakovým namáháním například v nadpraží, když uprostřed překladu působí zatížení, tak se ve spodní části překladu vyskytuje tahové napětí a v horní je tlakové napětí.



Obr. 20 Tlakové a tahové napětí (Petříčková, 2012)

Velikost napětí v ohybu počítáme ze vztahu

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0}$$

$\sigma_0$  – napětí v ohybu,

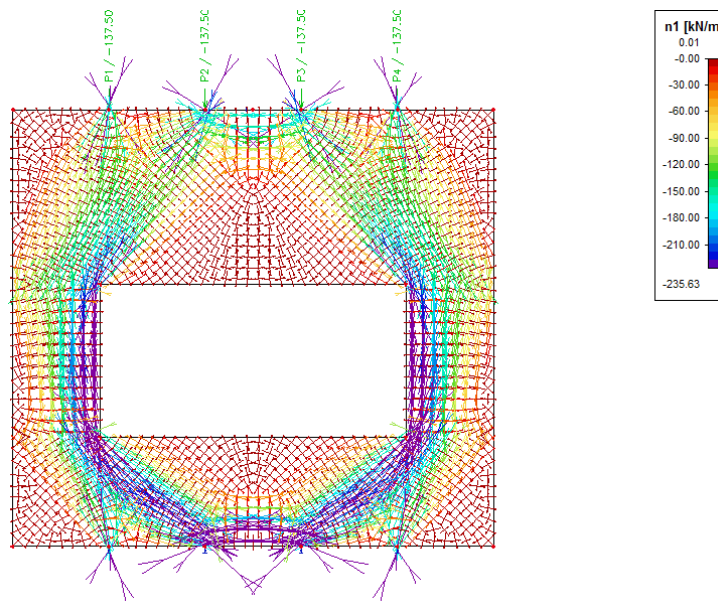
$M_0$  – maximální ohybový moment,

$W_0$  – průřezový modul v ohybu.

Obr. 21 Velikost napětí v ohybu počítáme ze vztahu (ŠČERBOVÁ, 2013)

### 3.3.1.2. Tlak

Tlakové napětí působí v jedné ose, síly působí v opačném směru k sobě. Při zatěžování se těleso zkracuje a rozšiřuje. Tlakové síly působí na stěny, přenášejí zatížení celé konstrukce, která se nachází nad nimi až do základů. Mikroskopická stavba jehličnatého dřeva je náchylná na vzpěr, na mikroskopické úrovni je dřevo složeno z tenkých trubiček, tato vlastnost se u CLT eliminuje.



Obr. 22 Zatížení stěny tlakem (SCIA, 2017)

### 3.3.1.3. Vzpěrný tlak

Při působení tlakové síly na úzké a dlouhé těleso, ztrácí rozměrovou stabilitu a může se pod silou prohnout.

Např. při centrickém tlaku působí tlaková napětí v celém průřezu, při ohybu je část průřezu tažená a druhá část tlačena, namáhání smykem lze převést na hlavní napětí – na jedné straně se vyskytuje tahová napětí v materiálu a na druhé straně se vyskytuje tlakové napětí. (VUT, 2017)



Obr. 23 Vzpěrný tlak

### 3.3.2. Mechanické namáhání lepené spáry

Lepené spáry jsou pro konstrukci důležité, zamezují pohybu jednotlivých SWP desek mezi sebou, ty jsou slepeny polyuretanovým lepidlem

Při navrhování konstrukcí z CLT musí být splněny všechny požadavky jak na konstrukce jako celek, tak na jednotlivé části konstrukcí. Únosnost a použitelnost prvků z CLT je potom ovlivněna jak jejich velikostí, tak otvory v prvcích (dveře, okna, komíny, schodiště, světlíky), skladbou příčného řezu (počet a tloušťka vrstev, pevnostní třída vrstev, druh dřeviny, uspořádání vrstev).

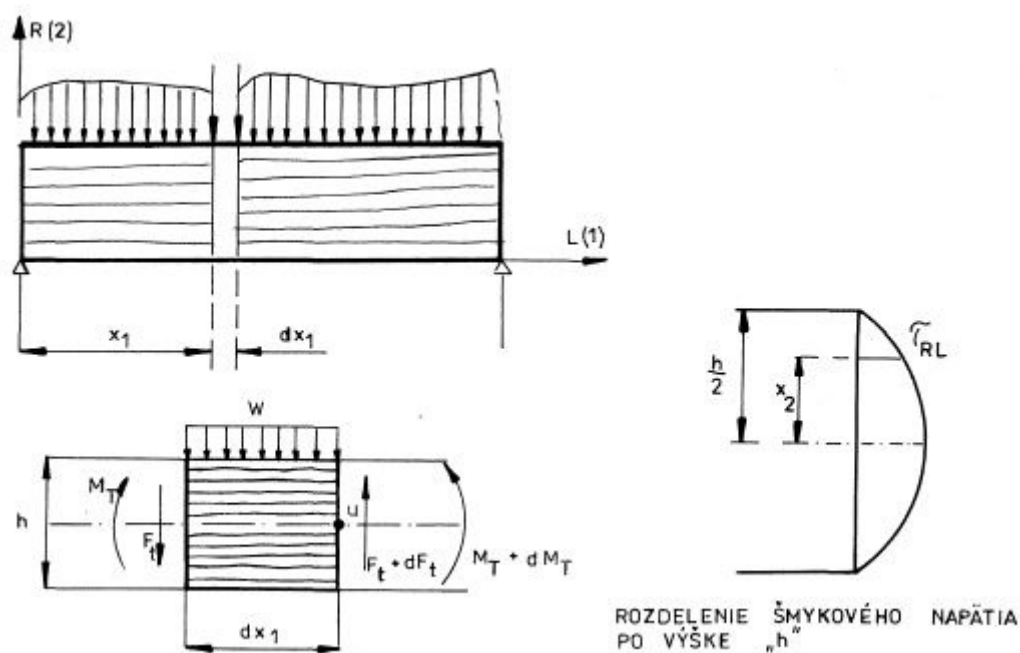
Pevnostní a tuhostní vlastnosti dřeva jsou ve směru kolmo k vláknům výrazně menší než rovnoběžně s vlákny. Určité vrstvy CLT přenášejí zatížení smykem v radiální a tangenciální rovině, čímž se svojí malou únosností stávají při navrhování rozhodujícími. Komplexní chování příčně orientovaných vrstev se v praxi redukuje na jednoduché posouzení na smyk. Použité modely se zaměřují na jednotlivé homogenní vrstvy, které jsou reprezentované jejich tloušťkou, tuhostními a pevnostními vlastnostmi. (Kuklík, a další, 2013)

### 3.3.3. Pevnost dřeva v okolí lepené spáry

Smykové napětí při ohybu

V praxi se čistý ohyb vyskytuje velmi zřídka. Obvykle je nosník zatížen příčnými silami a pak vznikají v libovolném průřezu nosníku posouvající síly  $F$ ; a ohybový moment  $M$ . Ohybový moment vyvolává v průřezu normálové napětí. Posouvající síly se snaží jednu část nosníku posunout oproti druhé a vyvolávají v průřezu smykové napětí. Kromě toho při ohybu vznikají smykové napětí, které se snaží posunout jednotlivé vrstvy vláken po sobě ve směru vzdálenosti podpěr. Vztah mezi podélné a příčným napětím je daný zákonem sdružených smykových napětí, který říká, že smykové napětí na dvou rovinách elementárního tělesa kolmých na sebe jsou navzájem rovné a směřují buď k průsečíku svých rovin, nebo od nich. Proto při dimenzování nosníků (i dřevěných) se kromě normálních napětí provádí jejich přepočítání na smykové napětí. Významným smykovým

napětím jsou vystaveny především vysoké dřevěné nosníky. Z těchto důvodů se při ohybové namáhání dřeva třeba řešit i analýzou smykových napětí. (Požgaj, a další, 1997)



Obr. 25 Hodnoty pevnosti dřeva ve smyku ve směru a napříč vláken a ve stříhu u vybraných druhů dřev (Požgaj, a další, 1997)

druh dřeva	mez pevnosti ve smyku (MPa) při 12% vlhkosti					
	ve směru vláken v rovině		napříč vláken v rovině		stříhová pevnost ve směru	
	radiální	tangenciální	radiální	tangenciální	radiálním	tangenciálním
smrk	6,9	6,8	3,3	2,8	31,8	34,4
dub	10,2	12,2	7,9	7,5	-	-
buk	11,6	14,5	7,7	7,6	52,3	47,1
topol	6,1	7,2	3,5	3,8	31,1	20,5

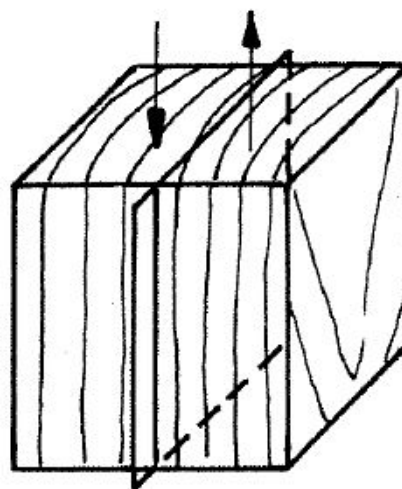
Obr. 24 Smyk během ohybu (Požgaj, a další, 1997)

### 3.3.3.1. Smyk v tangenciální rovině - síly působí ve směru vláken

V tomto směru zatížení má dřevo malou smykovou pevnost, která se pohybuje v rozmezí od 6-19 MPa ( $w_a = 12\%$ ). Pevnost listnáčů je přibližně 1,5krát vyšší než jehličnanů.

Smyková pevnost listnáčů je v tangenciální rovině ve srovnání s radiální rovinou o 10 až 30% větší. Tento rozdíl způsobuje přítomnost dřeně paprsků. U jehličnatých dřevin je smyková pevnost dřeva v obou případech přibližně stejná.

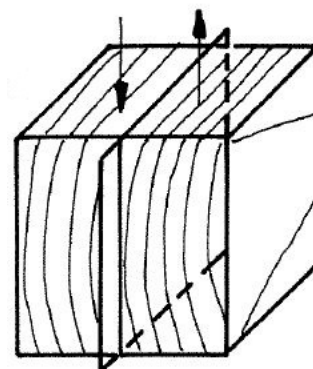
Smyková pevnost rovnoběžně s vlákny představuje ve srovnání s tlakovou pevností rovnoběžně s vlákny jen asi 1/5. V tomto smyku má dřevo nízkou pevnost, ale v konstrukcích musíme často uvažovat s tímto zatížením. Jako příklad můžeme uvést spojení dvou trámů v střešních konstrukcích.



Obr. 26 Smyk v tangenciální rovině - síly působí ve směru vláken (Požgaj, a další, 1997)

### 3.3.3.2. Smyk v tangenciální rovině - síly působí kolmo na vlákna

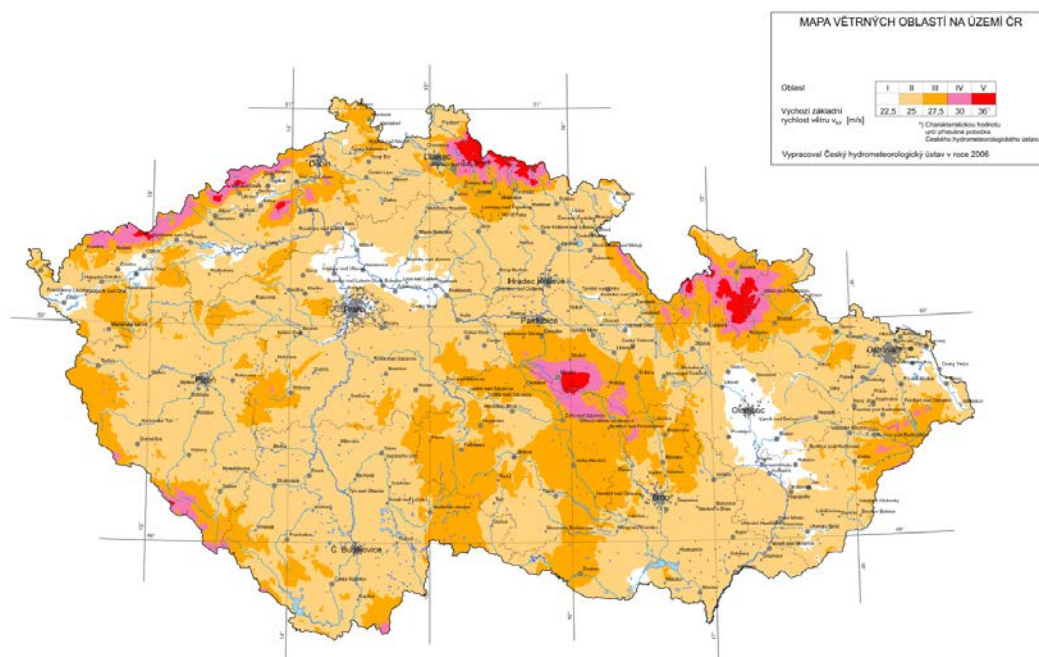
V tomto případě má smyková pevnost své praktické uplatnění zejména v dřevěných klínech, vložených perech, dále při krájení a stříhání dých atd. Smyková pevnost kolmo na vlákna se pro oba směry zatížení a dřeviny buk, dub, smrk, topol pohybuje v rozmezí 3 až 8 MPa. V tomto směru zatížení je významně nižší než při smyku ve směru vláken.



Obr. 27 Smyk v tangenciální rovině - síly působí kolmo na vlákna (Požgaj, a další, 1997)

### 3.3.4. Namáhání větrem a sněhem

Důležitým faktorem, který je zapotřebí zohlednit, je také zatížení větrem a sněhem typické v dané oblasti. Toto zatížení zjistíme za pomoci znalosti terénu a umístění do sněhové a větrné mapy. Nad většinou našeho území musíme počítat s rychlostí větru 25 m/s, v extrémních podmínkách nad naším územím počítáme s rychlostí 36 m/s. Dále je nutné počítat s tím, že čím jsme výše nad zemí, je rychlost větru větší.



Obr. 28 Mapa sněhových oblastí (Sticka.cz, 2017)

### 3.3.5. Odolnost proti namáhání v teple a za zvýšené vlhkosti

Nosná konstrukce stavby je vystavena běžnému pokojovému prostředí teplo se pohybuje kolem 20°C a relativní vlhkost v obytných místnostech je 45 - 60 %. CLT panely jsou hygroskopické a reagují na změnu vlhkosti. Z výroby přicházejí vysušené na vlhkost 8%, proto je důležité dodržet správné prostředí v domácnosti a zajistit dostatečnou výměnu vzduchu v místnosti. Když bude interiér příliš vysušený, může dojít k rozeschnutí lamel směrem od sebe. Polyuretanová lepidla spojí desky houževnatě, nerozpustně a s velkou smykovou a tahovou pevností. Spoje mají vysokou tepelnou odolnost. Odolnost lepidel je až 170 °C v závislosti na typu lepidla. (Peterka, 1980)



Nebezpečí pro dřevostavby je kondenzace vody, která se vyskytuje na místech, kde jsou chyby v konstrukci. V místech se nachází tepelné mosty, tyto chyby je třeba eliminovat už v přípravné fázi stavby. Dále je zapotřebí dodržet konstrukční zásady pro dřevěné konstrukce. CLT panely jsou plošné a díky tomu eliminují tepelné mosty.

Dřevěné panely musí být lepeny lepidlem, které zajistí stálé spojení jednotlivých vrstev i v extrémních podmínkách, ve kterých se panel může nacházet. Lepené spoje musí být proto tedy odolné proti působení vlhkosti, musíme používat lepidla kategorie D4 (lepidlo určené do exteriéru)

### 3.4. Definování požadavků

Tab. 1 Kontrola vstupních materiálů

Poř. č.	Předmět	Metoda	Účel	Četnost
1	Desky z rostlého dřeva (SWP)		Shoda s požadavky EN 13986	každá dodávka
	Mechanické chování v rovině desky			
	- pevnost v ohybu	EN 789	Shoda s požadavky technické specifikace	- dle požadavků SŘV pro desky SWP
	- pevnost v tahu			
	- pevnost v tlaku			
	- stříhová pevnost			
	- modul pružnosti			
	- modul pružnosti ve stříhu			
	Mechanické chování kolmo k rovině desky			
	- pevnost v ohybu	EN 789	Shoda s požadavky technické specifikace	- dle požadavků SŘV pro desky SWP
- modul pružnosti				
- modul pružnosti ve stříhu				
- stříhová pevnost				
Ostatní vlastnosti SWP				
Minimální tloušťka	EN 325	Shoda s požadavky technické specifikace	denně	
Minimální hustota	EN 323	Shoda s požadavky technické specifikace	1 stanovení ročně	
2	Lepidlo		Shoda s požadavky EN 301	každá dodávka
3	Tepelné (zvukové) izolace - minerální vlna (MW) - dřevovláknité výrobky (WF)		Shoda s požadavky - EN 13162 - EN 13171	každá dodávka
	- součinitel tepelné vodivosti	Deklarace výrobce	Shoda s údaji uvedenými dodavatelem	každá dodávka
	- reakce na oheň			
4	Zvuková izolace - vápencová drť	Deklarace výrobce	Shoda s deklarovanými úrovněmi výrobce	každá dodávka
	- objemová hmotnost			každá dodávka v případě pochybnosti po vizuální kontrole
	- plošná hmotnost			
	- granulometrie			

Tab. 2 Kontrola výrobního postupu

Poř. č.	Předmět	Metoda	Účel	Četnost
1	Vlhkost desek z rostlého dřeva	EN 13183-2		- denně
2	Měření rozměrů jednotlivých prvků (žebra, desky)	EN 325	Zajištění rozměrové správnosti a minimálních průřezů k zajištění mechanické stability a tuhosti	- denně
3	Kontrola uložení izolací	Vizuálně		- denně
4	Kvalita povrchu	Vizuálně		- denně
5	Proces výroby sledovat programem BESCO		Zajištění: otevřená doba lepidla kontrola izolací kontrola nánosu lepidla podmínky lisování (vlhkost, teplota, tlak, doba lisování)	- průběžně se záznamem

Tab. 3 Kontrola hotových výrobků

Poř. č.	Předmět	Metoda	Účel	Četnost
1	Rozměrové charakteristiky			denně
2	Střihová pevnost lepeného spoje mezi žebrem a přírubou	ETAG 019 Metodika TU Karlsruhe	Zajištění mechanické stability a tuhosti	nejméně 1 zkouška na 50 ks vyrobených prvků <sup>1)</sup> nebo nejméně 3 zkoušky za 1 měsíc výroby <sup>1)</sup>
3	Obsah formaldehydu	EN 13986		v případě pochybností nebo při změně používaného lepidla
4	Reakce na oheň	EN 13501-1+A1	Shoda s deklaroványi hodnotami	ITT
5	Zvuková neprůzvučnost	EN ISO 717-1	Shoda s deklaroványi hodnotami	ITT
<sup>1)</sup> Jedna zkouška = 5 ks zkušebních těles				

### 3.4.1. Kontrola pevnosti lepeného spoje

Nejdůležitější pro stálost statických vlastností je sledování dodržení správných kritérií při lepení panelů. Je nutné dodržet otevřenou dobu lepidla, která je udávána výrobcem lepidla (používaná lepidla ve výrobě mají otevřenou dobu lepení 20 minut, v závislosti na velikosti konkrétního panelu), dále je důležité sledovat jak dlouho je panel v lisu, sleduje se teplota v hale a vlhkost vzduchu. Vlhkost vzduchu je pro polyuretanová lepidla velmi důležitý faktor, dostatečnou vlhkost ve výrobní hale zabezpečuje automatický vlhčící systém. Proces lepení je sledován kamerovým systémem, který zachycuje lis, aktuální čas, vlhkost a teplotu. Tento videozáznam se uchovává pro náhodnou analýzu procesu lepení. Dále se zkouší skutečné vlastnosti lepení vytvořením zkušebního panelu, který se rozřeže a vytvoří se z něj zkušební tělíska (Obr. 29), která se následně testují ve firemní zkušebně pomocí zařízení Howial BSP-50. Ten na vzorky působí tlakovou silou až 50 kN. Zkoušky se provádí podle expertízy z používané na universitě Karlsruhe Institute of Technology - KIT.



Obr. 29 Vzorek střih MT Element (Universität Karlsruhe, 2007)

## 4. POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ, MATERIÁLY A ZKUŠEBNÍ METODY

### 4.1. Vakuový lis

Skládá se z plastové vany o rozměrech 3,3 x 13 m a pružné membrány. V té je zalisována tkanina z důvodu mechanické odolnosti při manipulaci s plachtou. Plachta má z vnitřní strany vroubky, aby bylo možné vysát vzduch z celé plochy lisu. Součástí lisu je vývěva (Busch Mink MM 1142 BV odčerpá 140 m<sup>3</sup>/h, vytvoří hrubé vakuum 60 hPa), která zabezpečuje vysátí vzduchu a vytvoření hrubého vakua, které slouží k vyvolání tlaku na lepené dílce. Lis může působit tlakem maximálně 2,5 kN/m<sup>2</sup>.

Výhoda vakuového lisu je při lisování složitých dílců, není nutné vypodkládat trámce lisu. Je možné lisovat více dílců najednou. Lepené dílce se musí zajistit proti vzájemnému klouzání ploch po sobě, při výrobě stěnových panelů Novatop se jednotlivých desek vrtají otvory do kterých se při lepení vkládají poziční kolíky, které zabezpečí přesné slepení panelů s přesností na 1 mm. Tato přesnost je pro stavební účely dostatečná.

<b>Grossflächenpressbett</b> 	
Modell: GFP 17.00.08	Maschinennummer: 01.17.13
Aussenabmessung: 3'700 x 13'500 mm	Gewicht ca 6'300 kg
Maximale Elementgröße: 3'000 x 13'000 mm	Baujahr 2013
Druckluftanschluss max 10 bar	max. Belastung 2.5 kN/m <sup>2</sup>
Endvakuum ca 100 mbar	Resultierende ca Presskraft 90 kN/m <sup>2</sup>
<b>woodtec Fankhauser GmbH</b> Moosweg 1 CH-4803 Vorderwald Tel. +41 62 752 95 80 e-mail: info@woodtec.ch	



Obr. 30 Vakuový lis

## 4.2. Mrazicí box ELCOLD

Zde byla klimatizována zkušební tělíska po dobu 30 dní, zde byla vystavena působení snížené teploty  $-30\text{ °C}$

Teplotní rozsah:  $0\text{ °C}$  až  $-40\text{ °C}$

Přesnost nastavení:  $1\text{ °C}$

Chyba nastavení:  $\pm 0,5\text{ °C}$



Obr. 31 Mraznička (Elcold, 2017)

## 4.3. Klimatizační komora MEMMERT HPP 108

Zde byla klimatizována zkušební tělíska po dobu 30 dní, zde byla vystavena působení zvýšené teploty  $+30\text{ °C}$

Teplotní rozsah:  $0\text{ °C}$  až  $+70\text{ °C}$

Přesnost nastavení:  $0,1\text{ °C}$

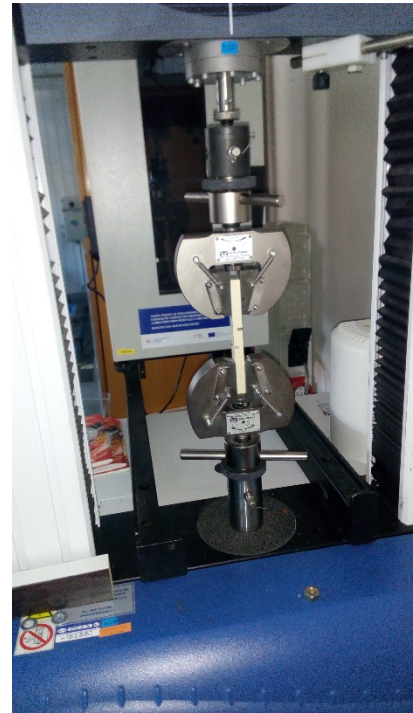
Chyba nastavení:  $\pm 0,1\text{ °C}$



Obr. 32 Klimatizační komora

#### 4.4. Trhací zařízení Instron 3365

Na tomto zařízení probíhala zkouška vzorků zatížené tlakem. Maximální síla, kterou může přístroj vyvinout je 10 kN, zařízení je schopno zkoušet vzorky na tahovou i tlakovou pevnost. Je nutné vždy zvolit správné příslušenství. Zařízení je propojeno s počítačem, který slouží pro ovládání a zaznamenání průběhu zkoušky. Nainstalovaný software je schopný vygenerovat jednoduchou statistiku měření.



Obr. 33 Instron 3365

#### 4.5. Howial BSP-50

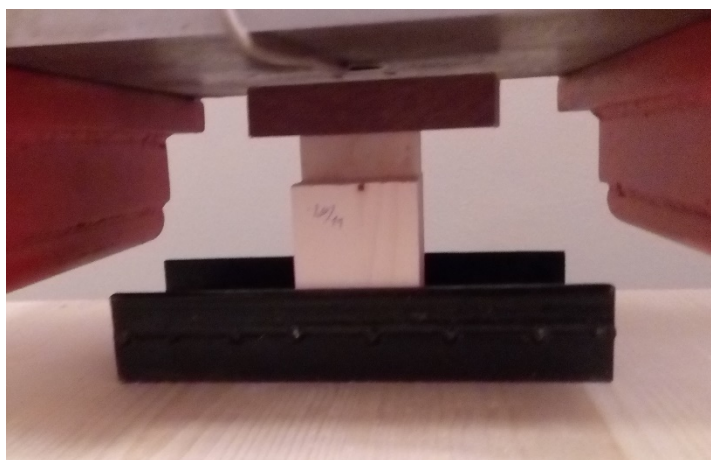
Toto zařízení se nachází v podnikové zkušebně Novatop v Plumlově. Slouží hlavně na zkoušení konstrukčních vlastností SWP desek, slouží ke zkoušení prorážecí síly a měří průhyb desky při zatížení. Toto zařízení je jednou ročně kalibrováno Českým metrologickým institutem. Toto zařízení může vyvolat tlakovou sílu 50 kN, výsledky jsou jednoduchou formou zaznamenávány do počítače. Zaznamenává se hodnota síly a posunutí, tyto data zaznamenává počítač pro možnost zpracování do grafu.



Obr. 34 Howial BSP-50



Obr. 36 Křivka průběhu zkoušky



Obr. 35 Umístění vzorku smyk v tahu

## 4.6. Pomůcky a materiál

### 4.6.1. Vlhkoměr a teploměr

Používá se pro ověření klimatických podmínek.

Rozsah teploty 0 – 40°C

Přesnost měření 1°C

Rozsah relativní vzdušné vlhkosti 20 – 100 %

Přesnost měření 2 %



Obr. 37 teploměr a vlhkoměr

#### 4.6.2. Posuvné měřítko a metr

Používané pro přeměření rozměrů testovacích tělísek. Jsou používána měřidla, která byla zkontrolována přeměření s ověřeným měřidlem, ta jsou kalibrována a prověřena Českým metrologickým institutem.

#### 4.6.3. Tloušťkovací frézka a truhlářská formátovací pila

Pro přípravu vzorků bylo použito vybavení truhlářské dílny. Nejprve se u vzorků na stříhovou pevnost upraví tloušťka a následně se z polotovarů nařezou pomocí formátovací pily zkušební tělíška.

#### 4.6.4. Nanášecí stroj na polyuretanové lepidlo

Pro lepení velkých ploch se používá nanášecí stroj, která zabezpečí dostatečně rychlé a rovnoměrné nanesení polyuretanového lepidla.



Obr. 38 nanášecí stroj na lepidlo

### 4.7. Použité materiály

#### 4.7.1. Lepidlo

Na lepení desek se používá Polyuretanové lepidlo Purbond HB S309, čas od nanesení do zalisování lepidla je maximálně 20 minut. Technické listy lepidel jsou přiloženy v příloze.



#### 4.7.2. SWP desky

Vícevrstvé desky AGROP se vyrábí z jehličnatého řeziva sušeného na 8 % (modřín 12 %). Každá vrstva desky je tvořena lamelami z masivního rostlého dřeva. Deska 3vrstvá se skládá ze dvou vnějších vrstev a jedné středové vrstvy s kolmým průběhem vláken k průběhu vláken svrchních vrstev. Deska 5vrstvá má dvě rovnoběžné povrchové vrstvy z každé strany a jednu středovou vrstvu s kolmým průběhem vláken k průběhu vláken povrchových vrstev. Tloušťka vrstev může být různá a určuje konečnou tloušťku desky. Lamely středové vrstvy jsou lepeny podélně a délkově jsou napojovány natupo anebo mohou být průběžné. Jejich tloušťka je maximálně 42 mm. Vnější vrstvy se vyrábí z průběžných lamel o tloušťce 6 nebo 9 mm a šířce 93 až 143 mm. Na jedné desce je vždy stejná šířka povrchových lamel a jsou obrácené pravou stranou k povrchu. Podélné spoje lamel v každé vrstvě jsou slepeny mezi sebou. Použité lepidlo je vodovzdorné a lepení povrchových lamel odpovídá AW 100, případně D4 dle EN 204. Kvalita broušení se provádí brusným papírem číslem zrnitosti 100 (hrubší broušení na objednávku). (Agrop Nova a.s., 2017)



Obr. 39 SWP deska Agrop (Agrop Nova a.s., 2017)

## 4.8. Zkušební metody

Zatížení musí působit konstantní rychlostí zatěžování tak, aby bylo maximální velikosti tlaku dosaženo za 300 s od začátku zatěžování. Zkouška končí porušením tělíka

Zaznamenáváme hodnoty zatížení a deformace, aby bylo možné z dat sestrojít graf závislosti pevnosti na deformaci, pro stanovení modulu pružnosti. Deformace se uvažuje jako lineární posunutí jednotlivých desek navzájem, zaznamenává se deformace zaokrouhlená na 0,002 mm. (ČSN EN 789, 2005).

Porušení se může vyskytnout kdekoliv v tloušťce testovaných tělísek.

Pevnost ve smyku vypočítáme:

$$f_r = \frac{F_{max}}{l * b * 2}$$

$F_{max}$	– největší zatížení při zkoušce
$b$	– šířka zkušební plochy
$l$	– délka zkušební plochy

### 4.8.1. Stříhová pevnost v tahu

Stříhová pevnost v tahu bude prováděna dle ČSN EN 205 (668508)

### 4.8.2. Stříhová pevnost v tlaku

Zkouška provedena po inspiraci normou ČSN EN 302-2 (668532) - Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce. Zkušební metody. Část 2: Stanovení odolnosti proti delaminaci (laboratorní postup)

## 5. PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO VÝVOJ NOVÉ METODY A OVĚŘENÍ NÁVRHU NOVÉ METODY

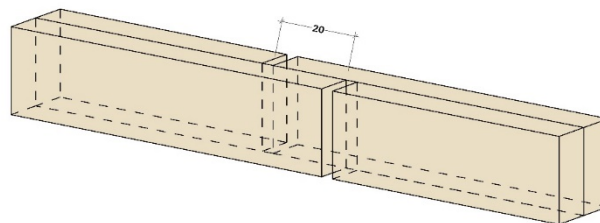
Vzorky byly slepeny ve vakuovém lise za konstantních podmínek slepeny polyuretanovým lepidlem Purbon, nanášeno mechanickou nanášečkou, aby bylo nanášeno rovnoměrně. Po vytvoření zkušebních tělísek byla tělíska náhodně rozdělena na sady po čtyřiceti vzorcích. Jednotlivá tělíska byla označena. Vzorky byly rozděleny do tří skupin, první skupina byla ponechána v normálních pokojových podmínkách (teplota 21°C vlhkost 35%), druhá skupina byla uložena do mrazničky (T -30°C, w 0%), poslední skupina byla umístěna do klimatizační komory za podmínek zvýšené teploty (T 0°C, w 50%)



*Obr. 40 Rozmístění vzorků v Klimatizační komoře*

### 5.1. Smyk lepené spáry v tahu

Pro tahovou zkoušku byly vzorky slepeny z povrchových lamel, které se používají při výrobě SWP desek polyuretanovým lepidlem. Byly vybrány lamely bez vad, aby nedošlo ke zkreslení zkoušky. Byly k sobě slepeny dvě lamely tloušťky 9 mm, šířky 110 mm a délka 2 500 mm ve vakuovém lise. Lamely byly zafixovány pomocí lepicí pásky a zalisovány ve vakuovém lisu. Vytvrzené polotovary byly očištěny, srovnány hrany, protaženy na celkovou tloušťku 14 mm. Aby bylo možné vzorky upnout do čelistí trhacího zařízení, musíme dát pozor na stejnou tloušťku obou lamel. Vzorky rozřežeme na požadovaný rozměr, důležité je zachování délky a šířky zkoušené plochy. Pílu nastavíme na proříznutí jen jedné lamely.



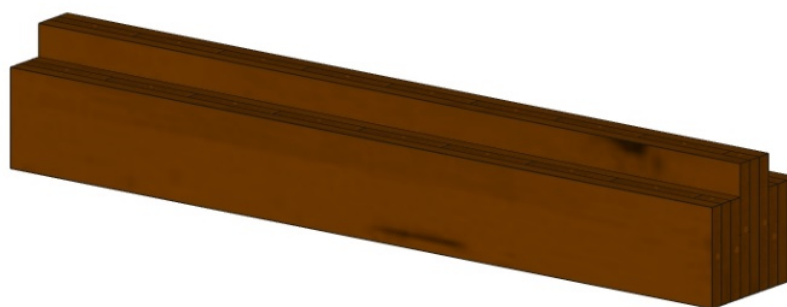
Obr. 41 Zkušební tělísko Smyk v tahu



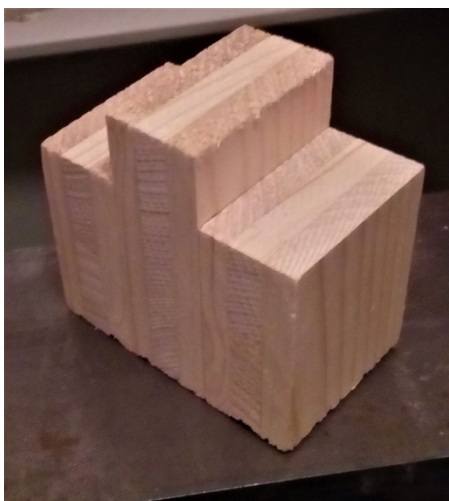
Obr. 42 Výsledné zkušební tělísko smyk v tahu

## 5.2. Smyk lepené spáry v tahu – návrh nové metody pro zkoušení

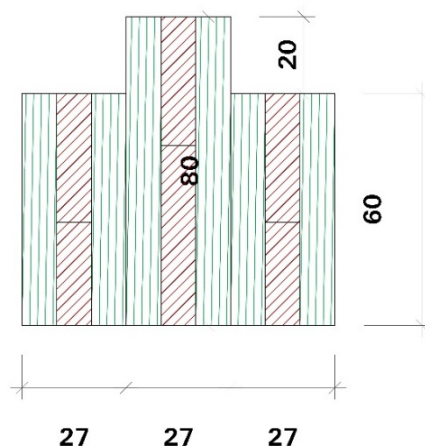
Vzorky byly vyrobeny dle standartního výrobního postupu, pro zkoušku byly k sobě slepeny tři SWP desky tloušťky 27 mm, šířky 2100, středová deska měla výšku 80 mm a boční části byly vysoké 60 mm. Takto připravené těleso se rozřeže na zkušební tělíska šířky 50 mm. Vzorky musí dostatečně vysoké, aby bylo je vyzkoušet na zkušebním stroji Howial. Musí mít takový rozměr, aby bylo možné tělíska porušit v lepené spáře. Jednotlivé vrstvy byly fixovány ve vakuovém lisu za pomoci několika vrutů, vzorky z okolí vrutů budou vyřazeny. Na horní část budeme působit tlakem a boční nízké části budou podepřeny v celé šířce pomocí přípravků se šířkou 26 mm a zvednutými bočními plochami, z důvodu snadného umístění vzorku.



Obr. 43 Zkušební těleso v celku smyk v tlaku nerozřezaný vzorek



Obr. 44 Výsledné zkušební těleso v celku  
smyk v tlaku



Obr. 45 Zkušební vzorek smyk v tlaku

## Předmět pracovního postupu

Cílem pracovního postupu je ověřit pevnost lepeného spoje při působení vlivu teploty a vlhkosti prostředí, ve které jsou panely umístěné. Požadavek na vývoj této metody vyplynul z různých podmínek, kde jsou panely dlouhodobě instalované

Tento návrh pracovního postupu určuje metodu stanovení smykové pevnosti v tlaku středové lepené spáry u stěnových CLT panelů od firmy Novatop, pro ověření vlastností materiálu. Lepená spára je tvořena polyuretanovým lepidlem, jsou lepeny k sobě smrkové SWP desky. Panely budou klimatizovány po dobu 30 dní v různých teplotách a při různé vlhkosti prostředí.

## Normativní odkazy

Do tohoto postupu jsou začleněna formou datovaných nebo nedatovaných odkazů ustanovení z jiných publikací. Tyto normativní odkazy jsou uvedeny na vhodných místech textu a seznam těchto publikací je uveden níže. U datovaných odkazů se pozdější změny nebo revize kterékoliv z těchto publikací vztahují na tento postup jen tehdy, pokud do něj byly začleněny změnou nebo revizí. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání příslušné publikace (včetně změn).

ČSN EN 302-2 (668532) Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce. Zkušební metody.  
Část 2: Stanovení odolnosti proti delaminaci (laboratorní postup)

## **Definice**

Pro účely tohoto pracovního postupu platí následující termíny a definice.

### **Pevnost SWP desek**

pevnost nebo kvalita lepení středové spáry, mezi třískami nebo vlákny povrchových vrstev SWP desek

### **Podstata zkoušky**

Stanovení takové síly potřebné k odtržení určité plochy mezi jednotlivými SWP deskami

### **Zkušební zařízení**

Ocelové přípravky na podepření bočních SWP desek, podle obrázku 1

Přístroj pro měření tlakové síly s dostatečným rozsahem sil, s přesností 1 % dosažené síly a se záznamem průběhu zkoušky (zaznamenáváme napětí a deformaci)

### **Zkušební tělesa**

#### **Příprava vzorků**

Připravíme zkušební těleso, které vytvoříme z příčných ořezů SWP desek. Pro vytvoření zkušebních tělísek si připravíme dvě desky dlouhé  $6\text{ cm} \pm 1\text{ mm}$  a jednu desku dlouhou  $8\text{ cm} \pm 1\text{ mm}$ , tloušťka desek je 27 mm, tyto desky slepíme do tvaru na obrázku 2 ve vakuovém lise. Po slepení zkušební těleso rozřežeme na zkušební tělíska s šířkou  $5\text{ cm} \pm 1\text{ mm}$ .

### **Podstata zkoušky**

Stanovení tlakové síly potřebné k odtržení určité plochy mezi jednotlivými SWP deskami, při různých klimatických podmínkách.

## Zkušební zařízení

Ocelové přípravky na podepření bočních SWP desek, podle obrázku 1

Přístroj pro měření tlakové síly s dostatečným rozsahem sil, s přesností 1 % dosažené síly a se záznamem průběhu zkoušky (zaznamenáváme napětí a deformaci)

## Klimatizace

Po vytvoření zkušebních tělísek a rozřezání, rozdělíme zkušební vzorky náhodně na třetiny, označíme je, aby bylo možná identifikace prostředí a čísla zkušebních tělísek. Jednu třetinu klimatizujeme v mrazicím boxu při teplotě  $(-30 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  a vlhkosti vzduchu 0 %. Druhou třetinu klimatizujeme v normálním prostředí při teplotě  $(+20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  a vlhkosti vzduchu  $(55 \pm 5) \%$ . Třetí třetinu klimatizujeme v klimatizační komoře při teplotě  $(+30 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  a vlhkosti vzduchu  $(50 \pm 2) \%$ . Vzorky se v každém prostředí klimatizují 30 dní.

## Postup zkoušky

Propojíme zkušební zařízení s ovládacím. Zapneme zkušební zařízení, hlavním přepínačem do polohy „ON“, když propojíme zkušební zařízení s počítačem až po zapnutí, tak se zařízení nemusí správně propojit.

Pod tlačnou desku umístíme podkladní desku a na něj umístíme ocelové přípravky na podepření bočních desek zkušebních tělísek.

Umístíme jedno zkušební tělísko na ocelové podpěrky a nastavíme výšku horní tlačné desky, tak aby byla nad zkušebním tělískem mezera  $1 \text{ cm} \pm 5 \text{ mm}$ . Posuneme koncové spínače do polohy, aby se deska nemusela zvedat příliš vysoko nad vzorek. Nad vzorkem musí být mezera tak velká, aby bylo možné vyměnit zkušební tělísko.

Na zařízení nastavíme rychlost zatěžování na 100 N/s, na zařízení je rychlost označena „speed“ a na počítači spustíme ovládací software, ve kterém vybereme požadovanou zkušební metodu. Identifikujeme vlhkost a teplotu prostředí při zkoušce.

Po nastavení testovacího zřízení, můžeme přistoupit k samotné zkoušce. Vzorky vyndáme z klimatizovaného prostředí a umístíme je na zkušební zařízení.

V software na ovládacím počítači vynulujeme zařízení a zahájíme zkoušku, počítač zaznamenává posunutí a napětí, které zaznamená do grafu. Jak uvidíme, že došlo k poškození testovaného vzorku, zkoušku ukončíme a data z měření označíme číslem vzorku a uložíme. (Poznámka: Pokud vzorek dosahuje posunutí bez nárůstu napětí, tak zkoušku ukončíme, dochází k borcení.)

Zaznamenejme maximální zatížení (kN) a způsob porušení vzorku:

ve dřevě;

v lepené spáře;

jiné poškození.

## Vyjádření výsledků

Pevnost ve smyku v tlaku vyjádříme jako sílu na jednotku plochy

$$f_r = \frac{F_{max}}{l * b * 2}$$

$F_{max}$  – největší zatížení při zkoušce

$b$  – šířka zkušební plochy

$l$  – délka zkušební plochy

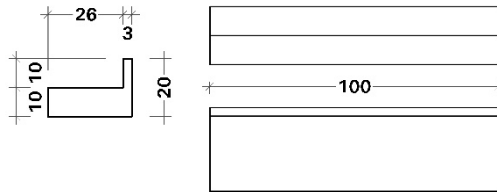
Výsledek se uvede s přesností na 0,01 N/mm<sup>2</sup>.



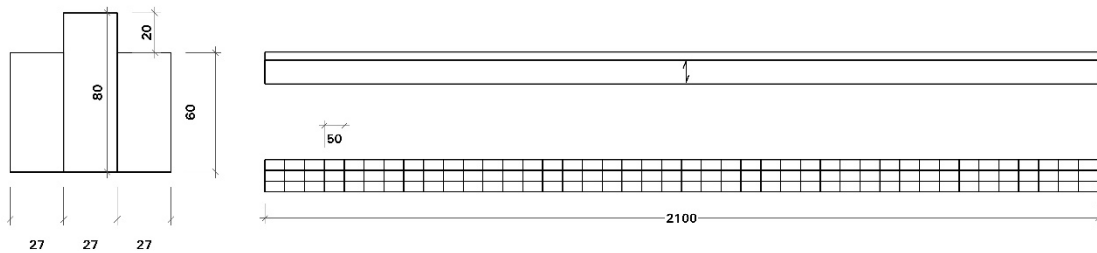
## Protokol o zkoušce

Hodnocení výsledku bude zpracováno podle ČSN ISO 5725-1 (010251)

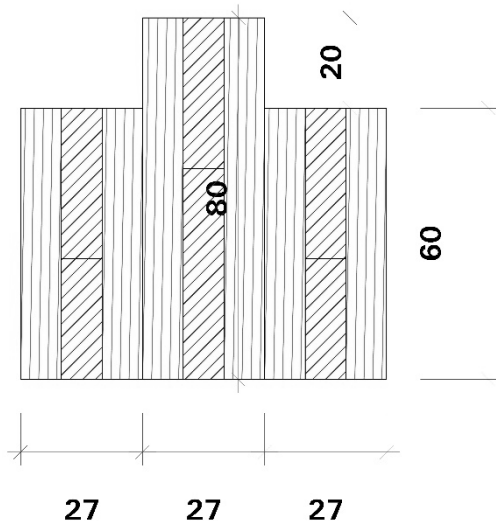
Požadovaná hodnota pevnosti podle Evropské technické schválení ETA-12/0079 je 3,5 kN. Těto pevnosti musí dosáhnout minimálně 95% vzorků z každé testované skupiny.



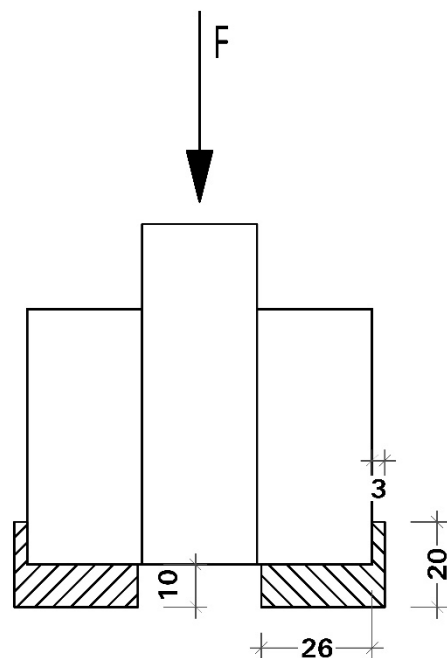
Obrázek 1 ocelové podpěry



Obrázek 2 příprava vzorku (celkové slepené zkušební tělísko)



Obrázek 3 rozložení vrstev vzorku

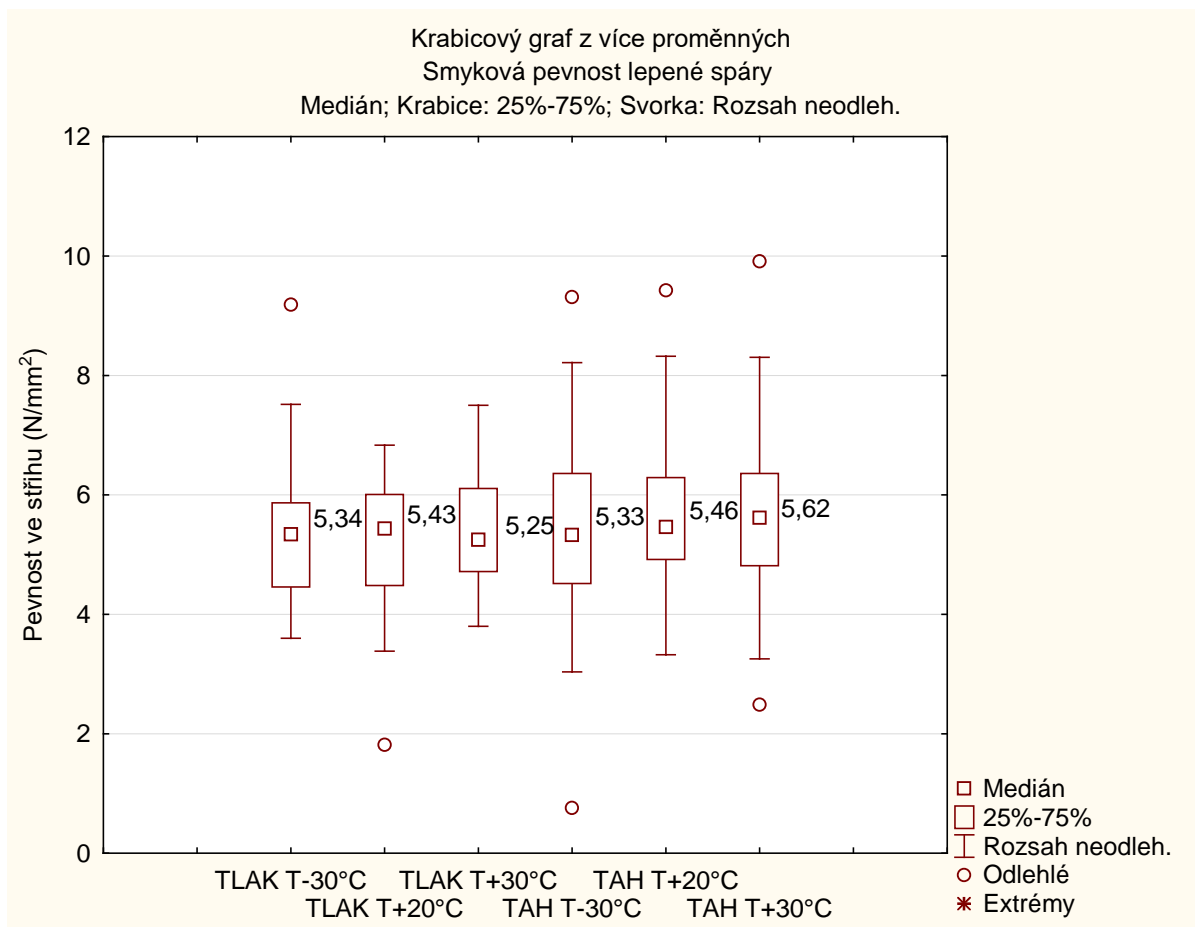


Obrázek 4 zatěžování vzorku

## 6. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ VZORKŮ ZKOUŠENÝCH PODLE NOVĚ VYVÍJENÉ METODY, VERIFIKACE METODY

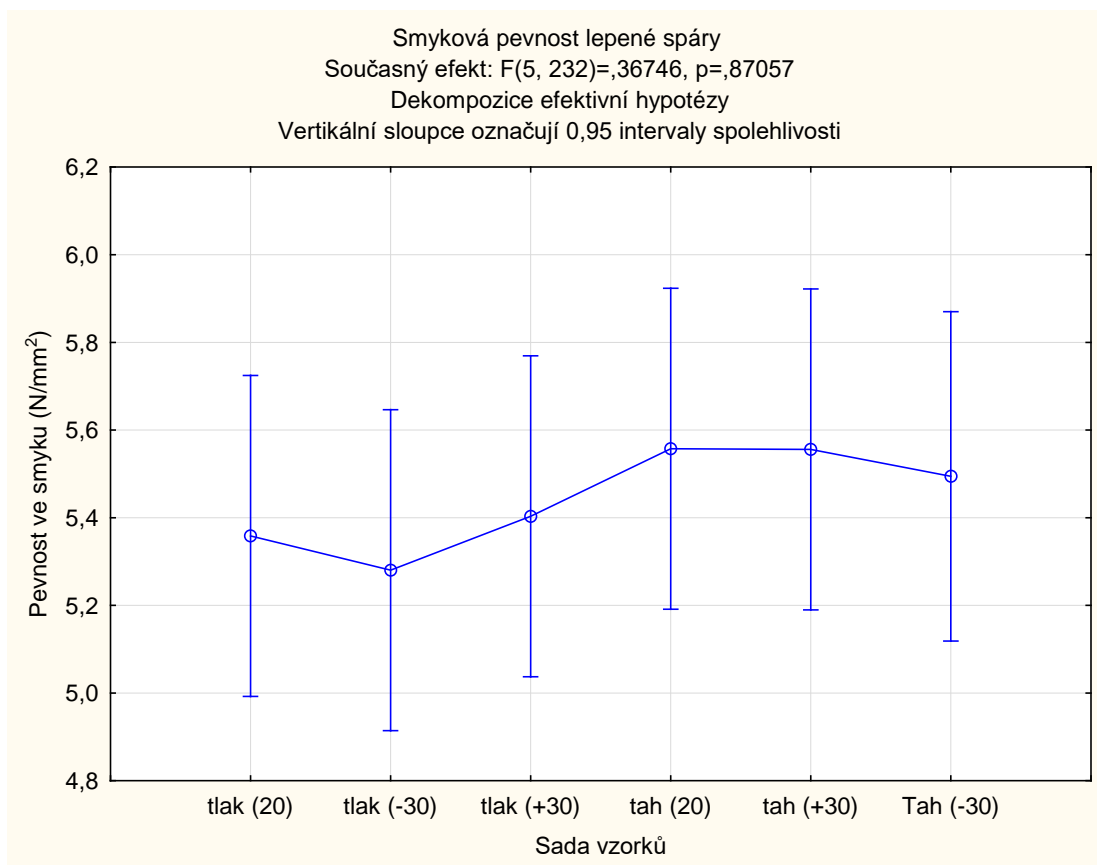
Výsledky jednotlivých zkoušek jsou uvedeny v příloze, vzorky smyku v tlaku byly vyrobeny podle návrhu nové metody a vzorky smyku v tahu byly zkoušeny podle normy.

### 6.1. Výsledky pevnosti ve smyku v tahu a tlaku



Obr. 46 Krabicový graf smyková pevnost

Krabicový graf znázorňuje rozložení naměřených dat. Je patrné, že vzorky smykové pevnosti v tahu mají větší rozptyl dat a vyskytuje se u nich více odlehlých hodnot. Statistickou schodu ověříme analýzou rozptylu.



Obr. 47 Znáznornění aritmetických průměrů a jejich intervalů spolehlivosti pro pevnost ve smyku

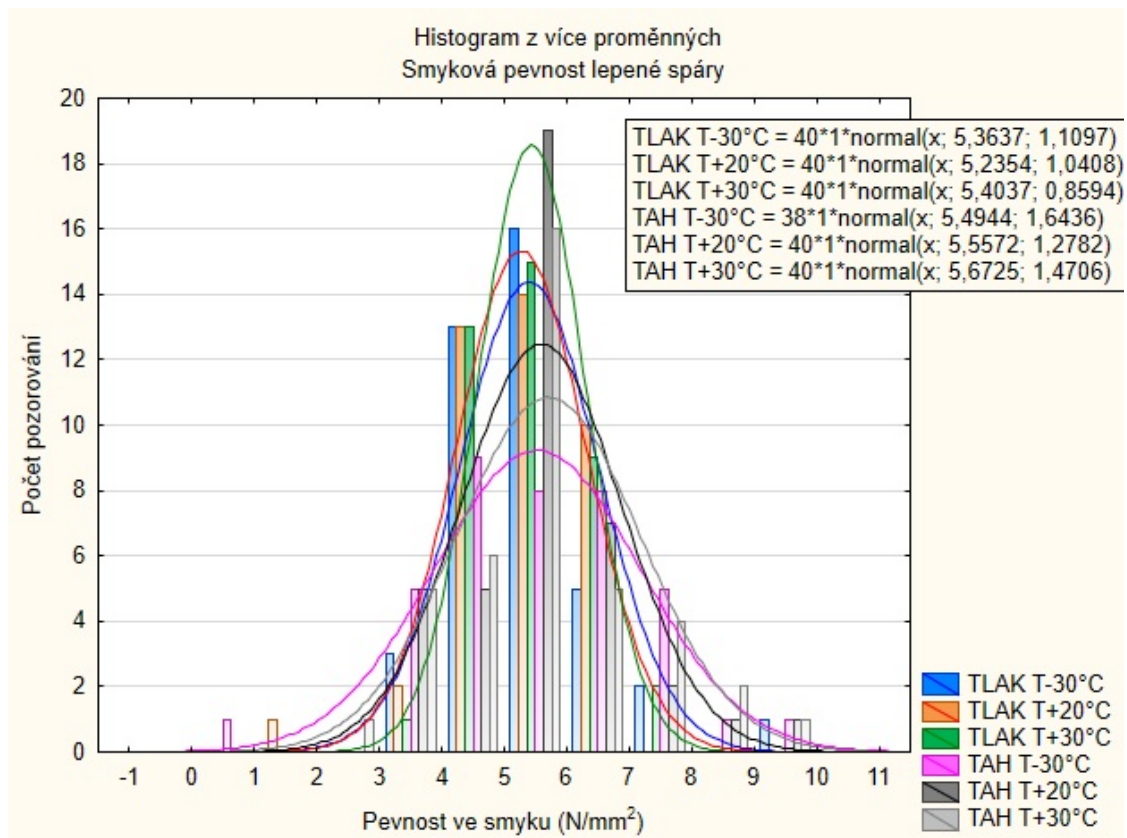
Z grafu je patrné, že se všechny intervaly spolehlivosti překrývají a dá se říct, že mezi těmito hodnotami není statisticky významný rozdíl středních hodnot. (středové hodnoty jejich základních souborů se požadují za stejné). Není možné zamítnout hypotézu, že tyto výběry pochází ze základních souborů, jejichž středové hodnoty se rovnají. Je tady patrné, že teplota nemá významný vliv.

Tab. 4 Tukeyův test; porovnání pevnosti ve smyku

Pro ověření, že teplota nemá statisticky významný vliv na pevnost, byla provedena

Č. buňky	Tukeyův HSD test; porovnání pevnosti ve smyku Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1,3812, sv = 232,00						
	název	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
		5,3583	5,2804	5,4033	5,5572	5,5558	5,4944
1	tlak (20)		0,999695	0,999980	0,974548	0,975331	0,995768
2	tlak (-30)	0,999695		0,997222	0,899627	0,901588	0,966912
3	tlak (+30)	0,999980	0,997222		0,992013	0,992346	0,999385
4	tah (20)	0,974548	0,899627	0,992013		1,000000	0,999901
5	tah (+30)	0,975331	0,901588	0,992346	1,000000		0,999911
6	tah (-30)	0,995768	0,966912	0,999385	0,999901	0,999911	

Tukeyho metoda vícenásobného porovnání. Tato metoda potvrdila výsledek ANOVY.



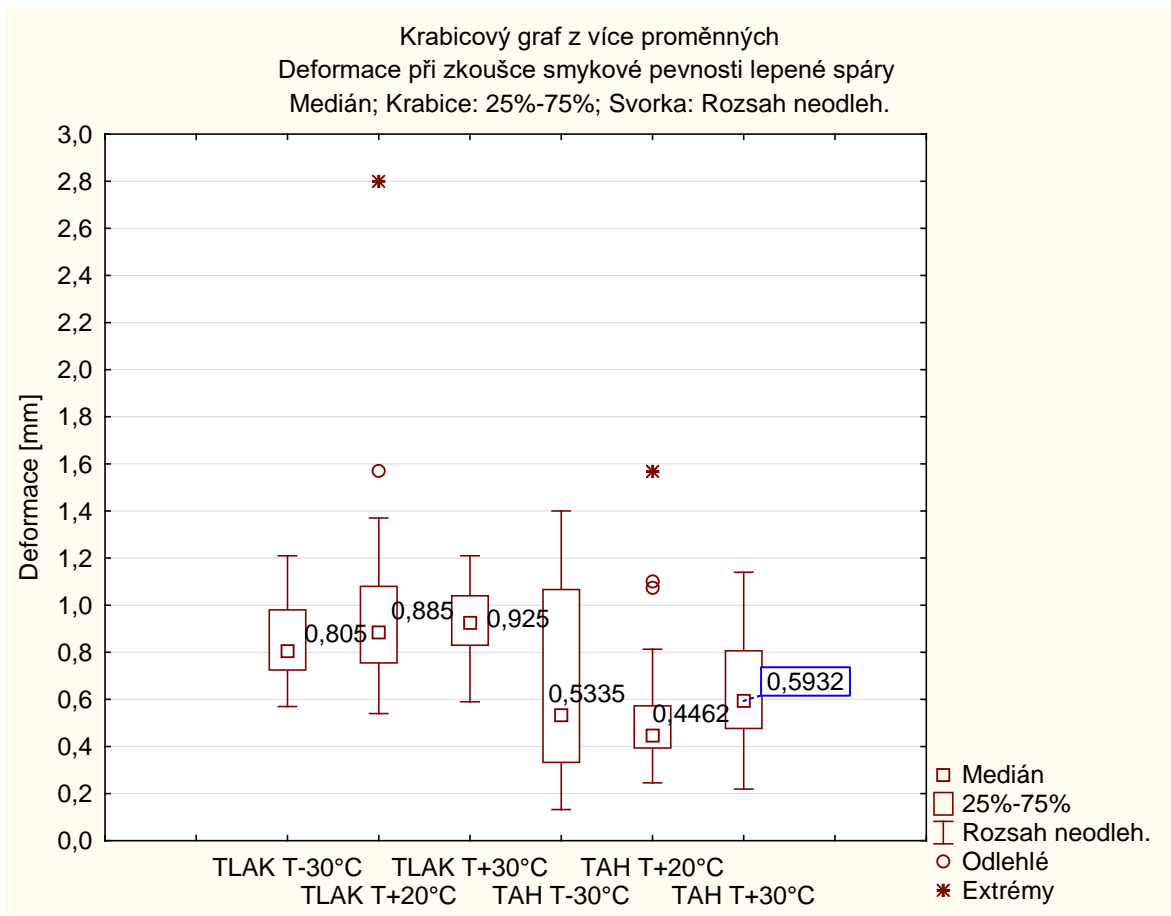
Obr. 48 Histogram pevnost ve smyku

Je potřebné ověřit, jestli je rozložení dat normální. Z histogramu je patrné, že rozdělení dat se dá považovat za normální, největší přesnosti dosahovaly vzorky smykové pevnosti v tlaku při teplotě 30°C, naopak největší rozptyl byl u vzorků smykové pevnosti v tahu při teplotě -30°C.

Tab. 5 Popisová statistika smykové pevnosti

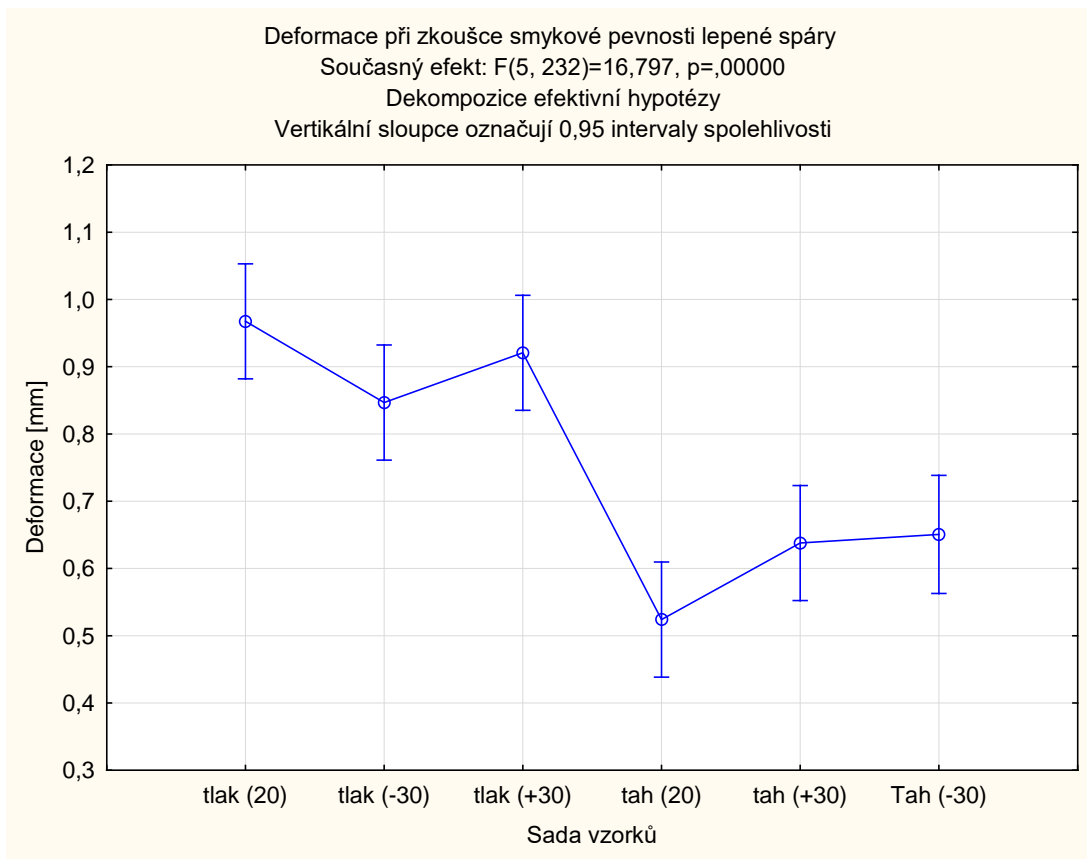
	1 TLAK T-30°C	2 TLAK T+20°C	3 TLAK T+30°C	4 TAH T-30°C	5 TAH T+20°C	6 TAH T+30°C
PRŮMĚR případy 1-40	5,36375	5,23541667	5,40375	5,49442421	5,55722088	5,67254963
MEDIÁN případy 1-40	5,34	5,43	5,25	5,33	5,46	5,62
SmOdch případy 1-40	1,11	1,04	0,86	1,64	1,28	1,47
N_PLATNÝCH případy 1-40	40,00	40,00	40,00	38,00	40,00	40,00
SOUČET případy 1-40	214,55	209,42	216,15	208,79	222,29	226,90
MINIMUM případy 1-40	3,60	1,82	3,80	0,76	3,32	2,49
MAXIMUM případy 1-40	9,18	6,83	7,50	9,32	9,42	9,91
D.kvartil případy 1-40	4,46	4,48	4,72	4,52	4,92	4,81
H.kvartil případy 1-40	5,87	6,01	6,11	6,36	6,29	6,36

## 6.2. Deformace při namáhání ve smyku vtahu a tlaku lepené spáry



Obr. 49 Krabicový graf deformace při smykové pevnosti

Krabicový graf znázorňuje rozložení naměřených dat. Obrázek ukazuje, že rozsahy neodlehlých hodnot se překrývají a vzorky mají rozdílnou variabilitu. V mediánech se dá vidět rozdíl mezi vzorky v dosažených hodnotách pevnosti v tahu a tlaku. U deformace ve smyku v tahu a tlaku při teplotě se vyskytují extrémní hodnoty a odlehlé hodnoty.



Obr. 50 Porovnání průměrů metody nejmenších čtverců deformace při pevnosti ve smyku

Na obrázku je patrné, že intervaly se překrývají zvláště u vzorků namáhaných ve smyku u vzorků namáhaných na tlak a tah. Vypovídá tedy, že mezi středovými hodnotami deformací ve smyku v tahu a tlaku je statisticky významný rozdíl. (Středové hodnoty v tlaku a tahu se považují za stejné). Je možné zamítnout hypotézu, že výběry vzorků na stanovení deformace vzorků při mezním zatížení ve smyku v tahu a tlaku pochází ze souborů, jejichž středové hodnoty se liší. Způsob zatěžování má vliv na deformaci.

Tab. 6 Tukeyův test; porovnání deformace při pevnosti ve smyku

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná deformace (smyková pevnosti lepené spáry) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. $P\check{C} = ,07541$ , $sv = 232,00$						
	název	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
		,96750	,84675	,92075	,52409	,63784	,65067
1	tlak (20)		0,361787	0,973878	0,000020	0,000021	0,000025
2	tlak (-30)	0,361787		0,834601	0,000022	0,008770	0,020172
3	tlak (+30)	0,973878	0,834601		0,000020	0,000077	0,000219
4	tah (20)	0,000020	0,000022	0,000020		0,431940	0,322466
5	tah (+30)	0,000021	0,008770	0,000077	0,431940		0,999949
6	tah (-30)	0,000025	0,020172	0,000219	0,322466	0,999949	

Z výsledků Tukeyůva testu vyplývá, že vzorky se dají rozdělit do dvou skupin. Jedna skupina obsahuje vzorky v tlaku a druhá obsahuje vzorky v tahu. Statisticky významné rozdíly znázorní program Statistika rozdílnou barvou.

Tab. 7 Popisová statistika deformace při smykové pevnosti

	1 TLAK T-30°C	2 TLAK T+20°C	3 TLAK T+30°C	4 TAH T-30°C	5 TAH T+20°C	6 TAH T+30°C
PRŮMĚR případy 1-40	0,84675	0,9675	0,92075	0,650674211	0,52409475	0,63784225
MEDIÁN případy 1-40	0,805	0,885	0,925	0,5335	0,446195	0,59323
SmOdch případy 1-40	0,161235415	0,373409447	0,166677756	0,363722482	0,251513492	0,258128097
N PLATNÝCH případy 1-40	40	40	40	38	40	40
SOUČET případy 1-40	33,87	38,7	36,83	24,72562	20,96379	25,51369
MINIMUM případy 1-40	0,57	0,54	0,59	0,1321	0,24603	0,21947
MAXIMUM případy 1-40	1,21	2,8	1,21	1,39991	1,5679	1,14007
D.kvartil případy 1-40	0,725	0,755	0,83	0,3328	0,39342	0,476825
H.kvartil případy 1-40	0,98	1,08	1,04	1,06652	0,572395	0,806025

## 7. DISKUZE

Nová zkušební metody byla zaměřena na smykové namáhání v tlaku. Protože stěny ve stavbě jsou signifikantně namáhané na tlak. Zkušební tělíska na zkoušku smyku v tlaku byla uzpůsobena tak, aby je bylo možné vyrobit standartním postupem a zařízením, které se používá ve výrobě a používá se pro výrobu stěnových panelů. Pro ověření výsledků byly provedeny zkoušky smykové pevnosti v tahu, upravenou a modifikovanou zkušební metodou používanou při zkoušení mezní pevnosti lepených nábytkových spojů ve zkušebně Ústavu nábytku. Tělíska byla zkoušena při různých klimatických podmínkách.

Z výsledků je patrné, že rozdíly mezi smykovou zkouškou v tlaku a tahu jsou statisticky nevýznamné. Dále nebyl prokázán statisticky významný rozdíl při působení rozdílných teplot. Pro provádění předepsaných zkoušek je tedy dostatečné provádět zkoušky lepené spáry pouze ve smyku v tlaku za normálních podmínek, která je aplikovatelná na zkušebním stroji. Prokázání nezávislosti pevnosti lepených spojů na teplotě při verifikaci zkoušky je velmi významné z hlediska budoucí funkce nosníků ve stavbě, lepená spára tvoří základní nosný prvek a její pevnost je zásadní pro mechanické vlastnosti stavby.

Požadovaná pevnost lepené spáry je podle Evropského technického posouzení  $3,5 \text{ N/mm}^2$ . Požadovaná pevnost je určena dle zkoušek v Technickém a zkušebním ústavu za pomoci referenčních těles. S touto pevností se počítá při statických výpočtech a je nutné ji deklarovat. Požadavky smykové pevnosti v tlaku splnily všechny testované vzorky. Je povoleno, aby 5% vzorků nesplnilo kritérium. Při ověřovací zkoušce smykové pevnosti v tahu, nesplnilo požadavky 5% vzorků. Pro tuto zkoušku ovšem není stanovena hodnota požadované pevnosti, tedy pevnost lepené spáry vychází z mezní pevnosti lepených adherentů, tedy lepených druhů dřeva.

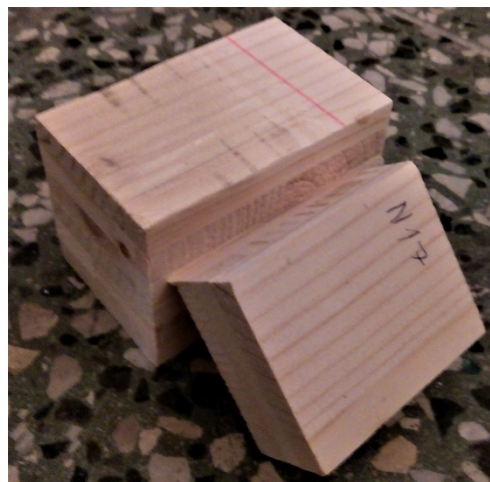
Při hodnocení výsledků musíme dávat pozor na nízké hodnoty pevnosti. Tyto vzorky při hodnocení sice nebereme v úvahu z důvodu, že se jedná o velkoplošné prvky a pevnost lepené spáry se zprůměruje. Ovšem nízké hodnoty pevnosti a porušení vzorku značí riziková místa a chybu v technologickém postupu.



Výsledky hodnoty deformace ve smyku ukazují, že jsou statisticky významné jen mezi výsledky zkoušek namáhané na tlak a na tah. Na tyto výsledky nejsou kladeny žádné požadované hodnoty. Vyhodnocení se provádělo tak, aby bylo možné vyhodnotit rozptyl jednotlivých zkoušek. Největšího rozptylu dosahovaly výsledky zkoušek ve smyku v tahu při teplotě -30 °C.

### **Porušení vzorků v lepené spáře**

Lepená spára je hladká a nejsou znatelné zbytky dřeva. Lepený spoj nedosahoval takové pevnosti jako lepený materiál, proto dochází k poškození jen u lepidla. Pokud by vzorky byly takto poškozeny a nedosáhly požadované pevnosti, značí to nedodržení podmínek při lepení. (nedostatečné zalisování, křivost plochy lepení, nebo nedodržení otevřené doby lepení). Tyto chyby se dají eliminovat důsledným dodržováním technologického postupu.



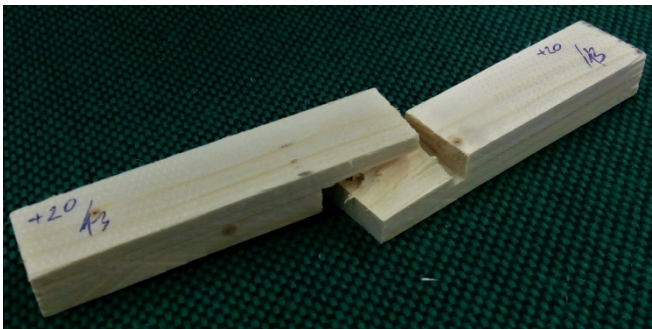
*Obr. 51 Tlakový vzorek - hladké poškození*



*Obr. 52 Tlakový vzorek - hladké poškození*

## Porušení vzorků ve dřevě

K porušení vzorků došlo ve dřevě v okolí lepené spáry. Je to způsobeno tím, že byla překonána pevnost smrkového dřeva, lepený spoj má větší pevnost. To znamená, že lepený spoj je v pořádku a měli bychom se zaměřit na kvalitu nakupovaného řeziva tak, aby splňovalo pevnostní požadavky. Pokud vzorky nedosahují požadované pevnosti, musíme zlepšit třídění povrchových lamel.



Obr. 53 Tlakový vzorek - porušení ve dřevě



Obr. 54 Tlakový vzorek - porušení ve dřevě

## Deformace tlakového tělesa

Deformace vznikla z toho důvodu, že pevnost vzorku byla příliš velká. U těchto vzorků byla pevnost přes 9 N/mm<sup>2</sup>. Tato tělesa se pod velkým tlakem zbotila.



Obr. 55 Tlakový vzorek - deformace

## **8. NOVÁ METODA PO VERIFIKACI**

Na základě výsledků laboratorních zkoušek, jejich statistickém vyhodnocení. Po verifikaci navrhované zkušební metody, byla vypracována nová metoda pracovního postupu. Zkoušky identifikovaly, že riziko je u vzorků za nízkých teplot, je tedy zaměřena právě na tyto vzorky, není nutné zkoušet vzorky při mírně zvýšené teplotě.

**Pracovní postup 01 (vychází z ČSN EN 302-2 (668532))**

**Pracovní postup 01**

---

Platí od 2017-02-01

Tento pracovní postup vznikl z normy ČSN EN 302-2 z roku 1995

Vycházelo z požadavků: Českého institutu pro akreditaci pracovních postupů

## **1 Předmět pracovního postupu**

Tento pracovní postup určuje metodu stanovení smykové pevnosti v tlaku středové lepené spáry u stěnových CLT panelů od firmy Novatop, pro ověření vlastností materiálu. Lepená spára je tvořena polyuretanovým lepidlem, kterým jsou lepeny k sobě smrkové SWP desky.

POZNÁMKA Lepené spáry v bideskách se v tomto pracovním postupu nezkouší, ty jsou zkoušeny podle ČSN EN 13353

## **2 Normativní odkazy**

Do tohoto postupu jsou začleněna formou datovaných nebo nedatovaných odkazů ustanovení z jiných publikací. Tyto normativní odkazy jsou uvedeny na vhodných místech textu a seznam těchto publikací je uveden níže. U datovaných odkazů se pozdější změny nebo revize kterékoliv z těchto publikací vztahují na tento postup jen tehdy, pokud do něj byly začleněny změnou nebo revizí. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání příslušné publikace (včetně změn).

ČSN EN 302-2 (668532) Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce. Zkušební metody. Část 2: Stanovení odolnosti proti delaminaci (laboratorní postup)

## **3 Definice**

Pro účely tohoto pracovního postupu platí následující termíny a definice.

### **3.1 Pevnost SWP desek**

pevnost nebo kvalita lepení středové spáry, mezi třískami nebo vlákny povrchových vrstev SWP desek

## **4 Podstata zkoušky**

Stanovení takové síly potřebné k odtržení určité plochy mezi jednotlivými SWP deskami

## **5 Zkušební zařízení**

**5.1** Ocelové přípravky na podepření bočních SWP desek, podle obrázku 1

**5.2** Přístroj pro měření tlakové síly s dostatečným rozsahem sil, s přesností 1 % dosažené síly a se záznamem průběhu zkoušky (zaznamenáváme napětí a deformaci)

## **6 Zkušební tělesa**

### **6.1 Příprava vzorků**

Připravíme zkušební těleso, které vytvoříme z příčných ořezů SWP desek. Pro vytvoření zkušebních tělísek si připravíme dvě desky dlouhé  $6\text{ cm} \pm 1\text{ mm}$  a jednu desku dlouhou  $8\text{ cm} \pm 1\text{ mm}$ , tloušťka desek je 27 mm, tyto desky slepíme do tvaru na obrázku 2 ve vakuovém lise. Po slepení zkušební těleso rozřežeme na zkušební tělíska s šířkou  $5\text{ cm} \pm 1\text{ mm}$ .

### **6.2 Klimatizace**

Po vytvoření zkušebních tělísek a rozřezání, rozdělíme zkušební vzorky náhodně na poloviny, označíme je, aby bylo možná identifikace prostředí a čísla zkušebních tělísek. Jednu polovinu klimatizujeme v mrazicím boxu při teplotě  $(-30 \pm 2)^\circ\text{C}$  a vlhkosti vzduchu 0 %. Druhou polovinu klimatizujeme v normálním prostředí při teplotě  $(+20 \pm 2)^\circ\text{C}$  a vlhkosti vzduchu  $(55 \pm 5)\%$ . Vzorky se v každém prostředí klimatizují 30 dní.

## **7 Postup zkoušky**

Propojíme zkušební zařízení s ovládacím. Zapneme zkušební zařízení, hlavním přepínačem do polohy „ON“, když propojíme zkušební zařízení s počítačem až po zapnutí, tak se zařízení nemusí správně propojit.

Pod tlačnou desku umístíme podkladní desku a na něj umístíme ocelové přípravky na podepření bočních desek zkušebních tělísek.

Umístíme jedno zkušební tělísko na ocelové podpěrky a nastavíme výšku horní tlačné desky, tak aby byla nad zkušebním tělískem mezera  $1 \text{ cm} \pm 5 \text{ mm}$ . Posuneme koncové spínače do polohy, aby se deska nemusela zvedat příliš vysoko nad vzorek. Nad vzorkem musí být mezera tak velká, aby bylo možné vyměnit zkušební tělísko.

Na zařízení nastavíme rychlost zatěžování na  $100 \text{ N/s}$ , na zařízení je rychlost označena „speed“ a na počítači spustíme ovládací software, ve kterém vybereme požadovanou zkušební metodu. Identifikujeme vlhkost a teplotu prostředí při zkoušce.

Po nastavení testovacího zřízení, můžeme přistoupit k samotné zkoušce. Vzorky vyndáme z klimatizovaného prostředí a umístíme je na zkušební zařízení.

V software na ovládacím počítači vynulujeme zařízení a zahájíme zkoušku, počítač zaznamenává posunutí a napětí, které zaznamená do grafu. Jak uvidíme, že došlo k poškození testovaného vzorku, zkoušku ukončíme a data z měření označíme číslem vzorku a uložíme. (Poznámka: Pokud vzorek dosahuje posunutí bez nárůstu napětí, tak zkoušku ukončíme, dochází k borcení.)

Zaznamenáme maximální zatížení (kN) a způsob porušení vzorku:

ve dřevě;

v lepené spáře;

jiné poškození.

## 8 Vyjádření výsledků

Pevnost ve smyku v tlaku vyjádříme jako sílu na jednotku plochy

$$f_r = \frac{F_{max}}{l * b * 2}$$

$F_{max}$  – největší zatížení při zkoušce

$l$  – délka zkušební plochy

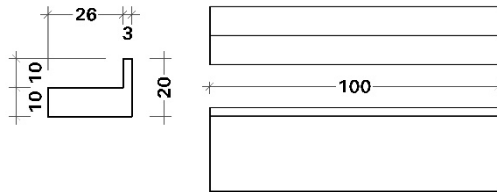
$b$  – šířka zkušební plochy

Výsledek s přesností na  $0,01 \text{ N/mm}$ .

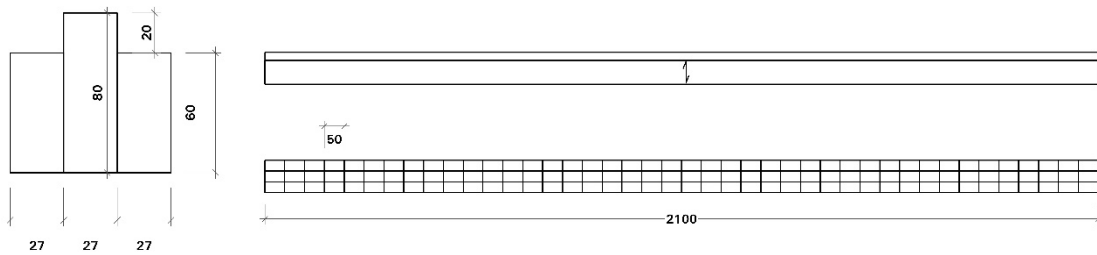
## 9 Protokol o zkoušce

Hodnocení výsledku bude zpracováno podle ČSN ISO 5725-1 (010251)

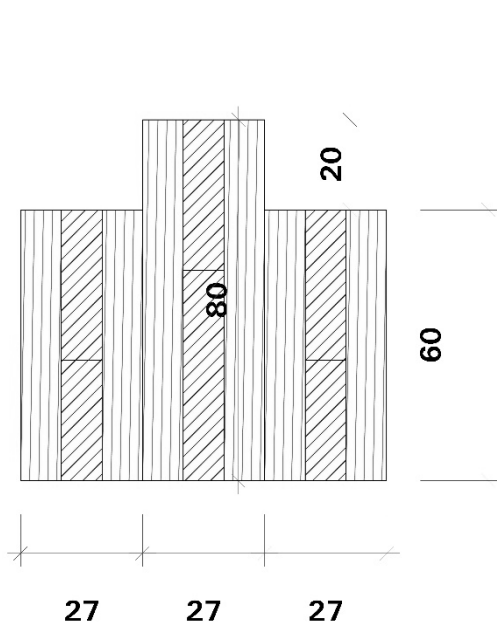
Požadovaná hodnota pevnosti podle Evropské technické schválení ETA-12/0079 je 3,5 kN. Této pevnosti musí dosáhnout minimálně 95% vzorků z každé testované skupiny.



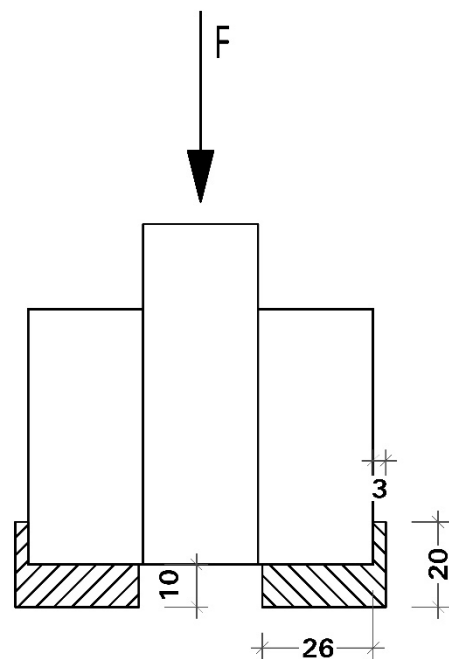
Obrázek 2 ocelové podpěry



Obrázek. 2 příprava vzorku (celkové slepené zkušební tělísko)



Obrázek. 3 rozložení vrstev vzorku



Obrázek. 4 zatěžování vzorku



## 9. ZÁVĚR

Kladně se dá hodnotit, že výsledky měření neprokázaly rozdíly mezi namáháním při rozdílných teplotách. Je to dobrá vlastnost z pohledu životnosti stavby. Pro další zkoumání by bylo lepší zvolit více extrémní podmínky. V této práci se uvažovalo s podmínkami, které mohou nastat při běžném užívání a realizaci stavby na území České republiky. Velkého rozptylu dosahovaly vzorky ve smyku v tahu při teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$ , ale nepodařilo se prokázat, proč vzorky dosahovaly tak velkého rozptylu. Tuto oblast by bylo dobré blíže a důkladněji prozkoumat.

Další zkoumání by se mělo zabývat aplikací nové metody za jiných klimatických podmínek, například: krátkodobým chováním lepené spáry při extrémních podmínkách, se kterými se musí dřevostavby vyrovnat. Extrémní podmínkou je například, chování lepidla při požáru stavby, protože tento materiál má protipožární odolnost s hodnotou REI 60. Při požáru mohou teploty v materiálu dosahovat i  $300^{\circ}\text{C}$ . Dále by bylo vhodné hodnotit materiál při zatížení vyšší vlhkostí. Požadavek na vývoj této metody vycházel, z podmínek firmy NOVATOP, která exportuje svoje výrobky do celého světa, kde jsou vystaveny různým klimatickým podmínkám, a to nejen během umístění vestavbách, ale i během dopravy.

## 10. SUMMARY

It can be positively evaluated that the measurement results showed no difference between the stresses at different temperatures. It's a good feature in terms of the lifespan of the building. It would be better to choose more extreme conditions for further research. This paper considered conditions that may occur during normal use and construction implementation in the Czech Republic. Samples in shear in the pull at temperatures of -30 ° C reached large scatter but it was not possible to demonstrate why the samples reached such a great scatter. It is recommended to undertake a further investigation in this area.

Further research should deal with the application of a new method under different climatic conditions, such as the short-term behaviour of adhesive joints under extreme conditions with which wooden buildings must cope. Such extreme conditions are the behaviour of adhesives in buildings on fire because this material has the fire resistance with a value of REI 60. In the case of fire, the temperatures in the material can be as high as 300 °C. It would also be appropriate to evaluate the material at higher moisture loads. The requirement for the development of this method came from the conditions of NOVATOP company, which exports its products all over the world, where they are exposed to different climatic conditions, not only during placement at the constructions but also during transport.

## 11. CITOVANÁ LITERATURA

**aba-holz. 2017.** aba. [Online] 2017. <http://www.aba-holz.de/>.

**Adhesives & glues & sealants. 2017.** Theories of Adhesion - adhesion models. [Online] 2017. <http://www.adhesiveandglue.com/adhesion-theories.html>.

**Agrop Nova a.s. 2017.** AGROP\_technicka\_dokumentace\_komplet\_CZ. Ptenský Dvorek : autor neznámý, 2017.

**AGROP NOVA. 2012.** *Evropské technické schválení*. Ptení : Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., 2012.

**Agrop Nova. 2017.** Novatop - stavební systém. [Online] 2017. <http://www.novatop-system.cz/>.

**Allen, K. W. 2006.** A review of contemporary views of theories of adhesion. [Online] 2006. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00218468708074974>.

**Bloomberg. 2016.** The Race for the Wood Skyscraper Starts Here. [Online] 2016. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-05-16/the-race-for-the-wood-skyscraper-starts-here>.

**Brandner, Reinhard.** *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT)*. Graz, Austria : autor neznámý.

**CROW. 2015.** polymerdatabase.com. [Online] 2015. [Citace: 16. Leden 2017.] <http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/MelamineFormaldehyde%20type.html>.

**ČSN EN 789. 2005.** *Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Stanovení mechanických vlastností desek na bázi dřeva*. 2005.

**DEK. 2017.** DEKPANEL D.pdf. [Online] 2017. [https://www.dek.cz/get\\_dokument.php?id=2121439724](https://www.dek.cz/get_dokument.php?id=2121439724).

**Domesi. 2017.** technologie-clt. [Online] 2017. <http://www.domesi.cz/technologie-a-realizace/technologie-clt>.

**Dřevostavby MC. 2017.** Reference. [Online] 2017. <http://drevostavby-mc.cz/reference/vyvojove-centrum-liko-s-slavkov-u-brna/>.

**Elcold. 2017.** LAB. [Online] 2017. <http://www.elcold.com/DK/Products/Laboratory%20Equipment/LAB.aspx>.

**Havelka, Štěpán. 2011.** *Lepení sendvičových střešních panelů při výrobě.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2011.

**Hosch, William L. 2016.** Melamine-formaldehyde resin. <https://www.britannica.com/technology/melamine-formaldehyde-resin>. 11. Zář 2016.

**Kafka, Emanuel. 1989.** *Dřevařská příručka I. část.* Praha : SNTL, 1989. ISBN 80-03-00009-2.

**Kauffman, George B. 2016.** Major industrial polymers. [Online] 21. Duben 2016. <https://www.britannica.com/topic/industrial-polymers-468698/Polyvinyl-chloride-PVC#ref608650>.

**Kolb, Josef. 2011.** *Dřevostavby.* Praha : Grada , 2011. ISBN: 978-80-247-4071-3.

**Kuklík, Petr, Gregorová, Anna a Melzerová, Lenka. 2013.** Pokročilé metody pro navrhování konstrukcí z CLT. *tzbinfo*. [Online] 9. září 2013. <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10314-pokrocile-metody-pro-navrhovani-konstrukci-z-clt>.

**Mathauserová, Ing. Zuzana. 2013.** Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb - TZB-info. [Online] 2013. [Citace: 13. Leden 2017.] Ing. Zuzana Mathauserová .

**Pestříčková, Monika. 2012.** *Konstrukce a architektura.* Brno : VUTIUM, 2012.

**Peterka, Jindřich. 1980.** *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1980. str. 788.

**Petříčková, Nonika. 2012.** *Konstrukce a architektura* . Brno : VUTIUM, 2012.

**Požgaj, Alexander, a další. 1997.** *Štruktúra a vlastnosti dreva.* místo neznámé : Příroda, 1997. ISBN 8007009604.

**Rothoblaas. 2016.** *Katalog Rothoblaas.* místo neznámé : Rothoblaas, 2016.

**Rowell, Roger M. 2005.** *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites.* Science : CRC Press , 2005. ISBN 0-8493-1588-3.

**SCIA. 2017.** analyzer\_pressureonly2dmembersn1trajmas.png. [Online] 2017. [http://resources.scia.net/en/factsheets/analysis/analyzer\\_pressureonly2dmembers.htm](http://resources.scia.net/en/factsheets/analysis/analyzer_pressureonly2dmembers.htm).

**Sticka.cz. 2017.** snehove-oblasti.jpg. [Online] 2017. <http://www.sticka.cz/mapy/>.

**Stora Enso. 2017.** produkty. [Online] 2017. <http://www.clt.info/cz/produkty/>.

**ŠČERBOVÁ. 2013.** NAMÁHÁNÍ NA OHYB. [Online] 2013. [Citace: 10. Únor 2017.] [http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/MEC/15\\_MEC\\_NAMAHANI\\_NA\\_OHYB\\_2\\_ROCNIK\\_1\\_CAST-UT.pdf](http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/MEC/15_MEC_NAMAHANI_NA_OHYB_2_ROCNIK_1_CAST-UT.pdf).

**Universität Karlsruhe. 2007.** *Prüfbericht Nr.076144.* místo neznámé : Universität Karlsruhe, 2007.

**VESELÝ, Jakub. 2013.** *Vliv stavu povrchu na únavovou a statickou pevnost lepeného spoje.* Plzeň : autor neznámý, 2013.

**VUT. 2017.** BO02\_cvi\_09.pdf. [Online] Vysokého učení technického v Brně, 2017. [http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02\\_cvi\\_09.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_09.pdf).

## 12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 40 pater vysoká dřevostavba (Bloomberg, 2016) .....	11
Obr. 2 Výstavní stánek (Praha) .....	12
Obr. 3 DEKPANEL (DEK, 2017).....	13
Obr. 4 Panely Novatop Solid (Agrop Nova, 2017) .....	14
Obr. 5 CLT Stora Enso (Stora Enso, 2017).....	16
Obr. 6 vzorek KLH (aba-holz, 2017) .....	16
Obr. 7 Akustické pásy (Rothoblaas, 2016).....	17
Obr. 8 Novato vzorek (Agrop Nova, 2017).....	18
Obr. 9 Příklad skladby stěny (Domesi, 2017) .....	18
Obr. 10 Panely Solid LikosNoe (Dřevostavby MC, 2017) .....	19
Obr. 11 Konstrukce stropního panelu (Agrop Nova, 2017).....	20
Obr. 12 Montáž MT Open (Agrop Nova, 2017) .....	20
Obr. 13 přesah střechy - NT Static (Agrop Nova, 2017) .....	21
Obr. 14 Mechanická vazba lepidla s povrchem (VESELÝ, 2013) .....	21
Obr. 15 Adsorpční teorie (Adhesives & glues & sealants, 2017) .....	22
Obr. 16 Solyd 84 lepidla.....	23
Obr. 17 Reakce polyuretanu (Rowell, 2005).....	24
Obr. 18 PVAc vzorec (Rowell, 2005) .....	25
Obr. 19 Chemická reakce MF (Rowell, 2005) .....	26

Obr. 20 Tlakové a tahové napětí (Petříčková, 2012).....	27
Obr. 21 Velikost napětí v ohybu počítáme ze vztahu (ŠČERBOVÁ, 2013).....	27
Obr. 22 Zatížení stěny tlakem (SCIA, 2017).....	28
Obr. 23 Vzpěrný tlak .....	28
Obr. 24 Smyk během ohybu (Požgaj, a další, 1997).....	30
Obr. 25 Hodnoty pevnosti dřeva ve smyku ve směru a napříč vláken a ve stříhu u vybraných druhů dřev (Požgaj, a další, 1997) .....	30
Obr. 26 Smyk v tangenciální rovině - síly působí ve směru vláken (Požgaj, a další, 1997) .....	31
Obr. 27 Smyk v tangenciální rovině - síly působí kolmo na vlákna (Požgaj, a další, 1997) .....	31
Obr. 28 Mapa sněhových oblastí (Sticka.cz, 2017).....	32
Obr. 29 Vzorek stříh MT Element (Universität Karlsruhe, 2007) .....	35
Obr. 30 Vakuový lis .....	36
Obr. 31 Mraznička (Elcold, 2017).....	37
Obr. 32 Klimatizační komora.....	37
Obr. 33 Instron 3365 .....	38
Obr. 34 Howial BSP-50.....	38
Obr. 35 Umístění vzorku smyk v tahu .....	39
Obr. 36 Křivka průběhu zkoušky .....	39
Obr. 37 teploměr a vlhkoměr .....	39

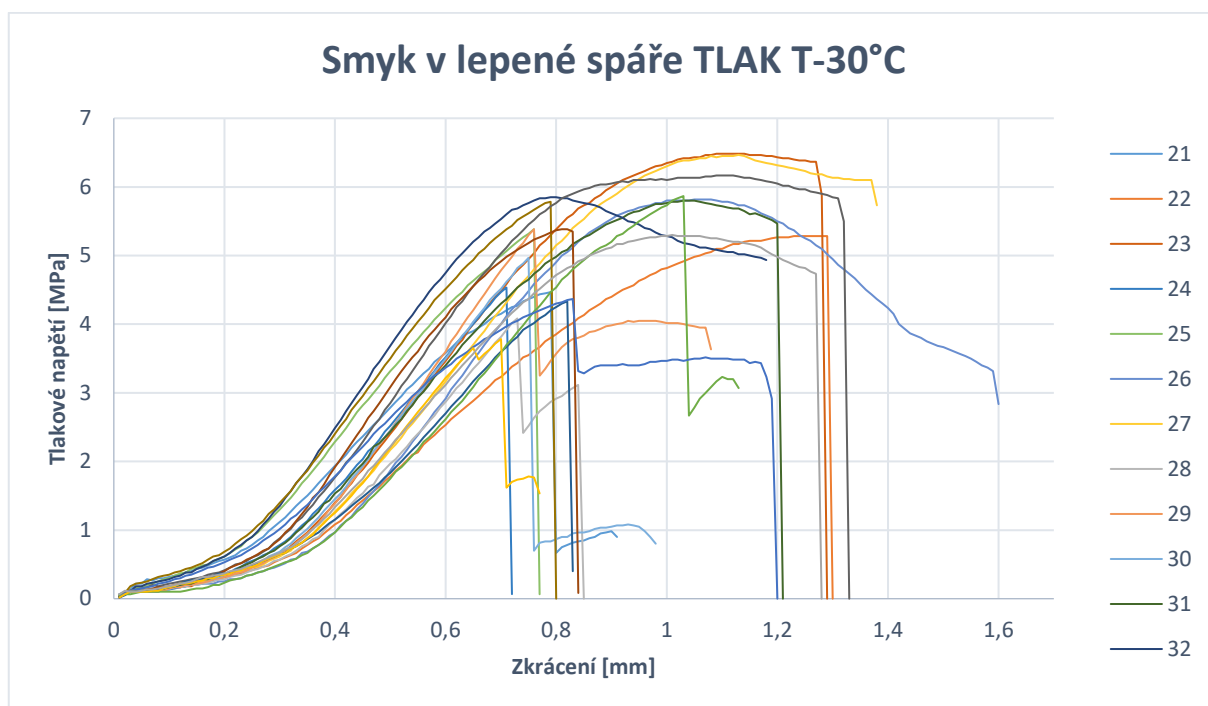
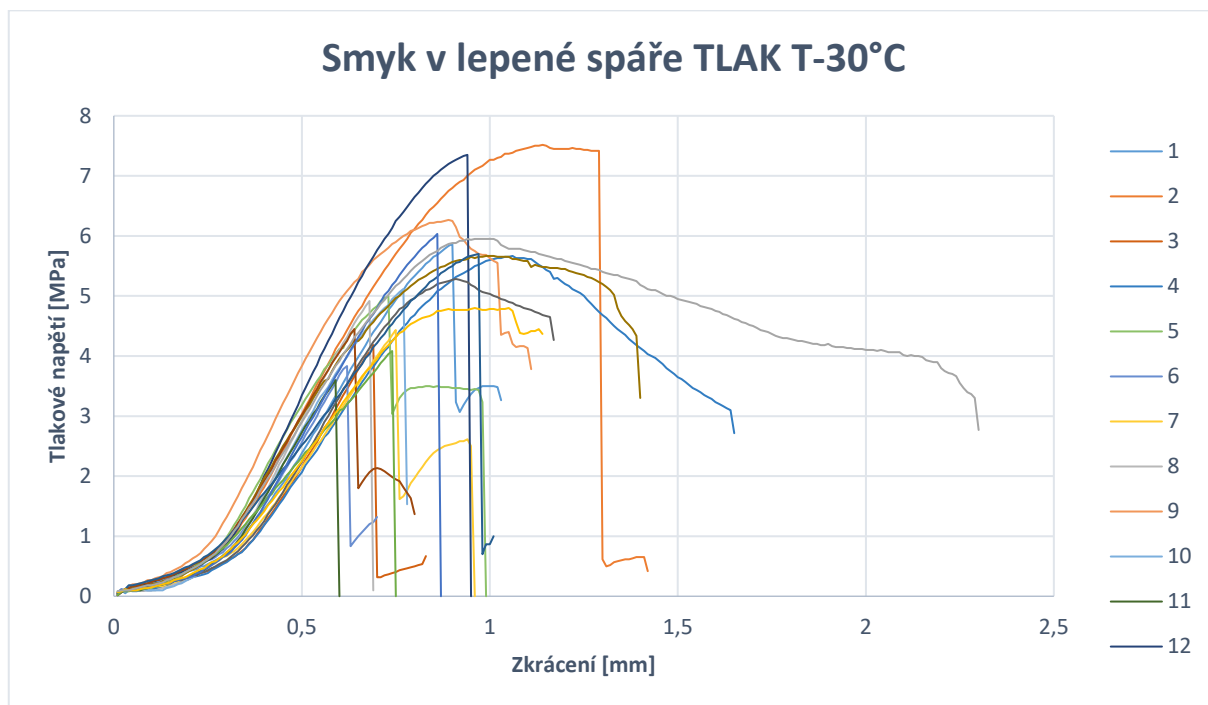
Obr. 38 nanášecí stroj na lepidlo .....	40
Obr. 39 SWP deska Agrop (Agrop Nova a.s., 2017) .....	41
Obr. 40 Rozmístění vzorků v Klimatizační komoře.....	43
Obr. 41 Zkušební tělísko Smyk v tahu .....	44
Obr. 42 Výsledné zkušební tělísko smyk v tahu .....	44
Obr. 43 Zkušební těleso v celku smyk v tlaku nerozřezaný vzorek.....	44
Obr. 44 Výsledné zkušební těleso v celku smyk v tlaku.....	45
Obr. 45 Zkušební vzorek smyk v tlaku .....	45
Obr. 46 Krabicový graf smyková pevnost.....	50
Obr. 47 Znázornění aritmetických průměrů a jejich intervalů spolehlivosti pro pevnost ve smyku.....	51
Obr. 48 Histogram pevnost ve smyku .....	52
Obr. 49 Krabicový graf deformace při smyková pevnosti .....	53
Obr. 50 Porovnání průměrů metody nejmenších čtverců deformace při pevnosti ve smyku.....	54
Obr. 51 Tlakový vzorek - hladké poškození .....	57
Obr. 52 Tlakový vzorek - hladké poškození .....	57
Obr. 53 Tlakový vzorek - porušení ve dřevě.....	58
Obr. 54 Tlakový vzorek - porušení ve dřevě.....	58
Obr. 55 Tlakový vzorek - deformace .....	58



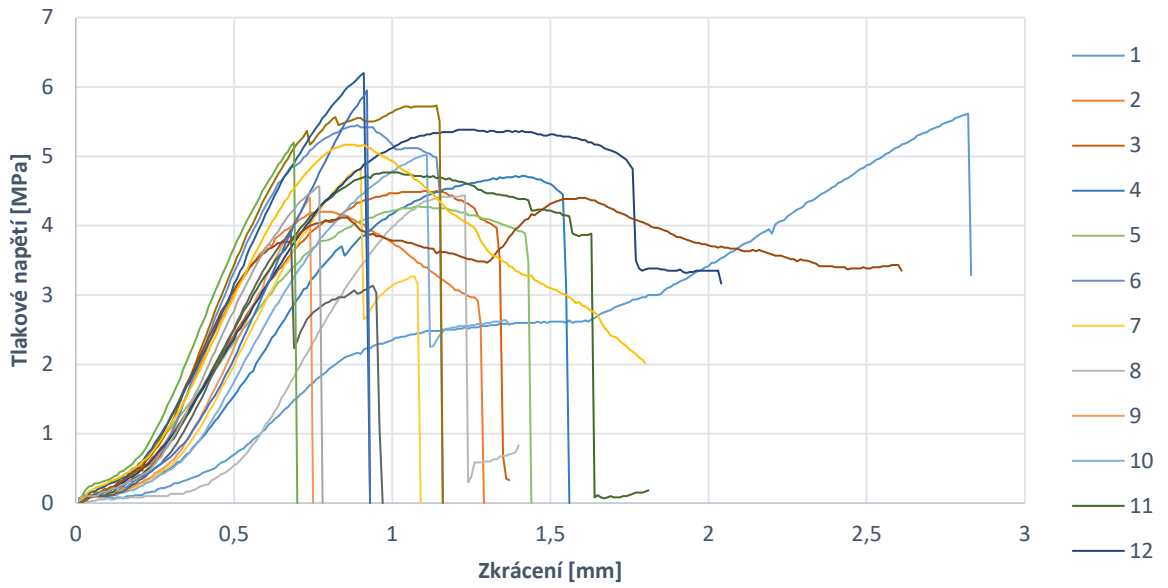
### 13. SEZNAM ZKRATEK

SWP deska	- vícevrstvé masivní desky
CLT	- křížem lepené dřevo
ETA	- Evropské technické posouzení
REI	- Požární odolnost (únosnost a stabilita, celistvost, izolační schopnost)
CNC	- počítačem řízený obráběcí stroj
Biodeska	- třívrstvé masivní desky

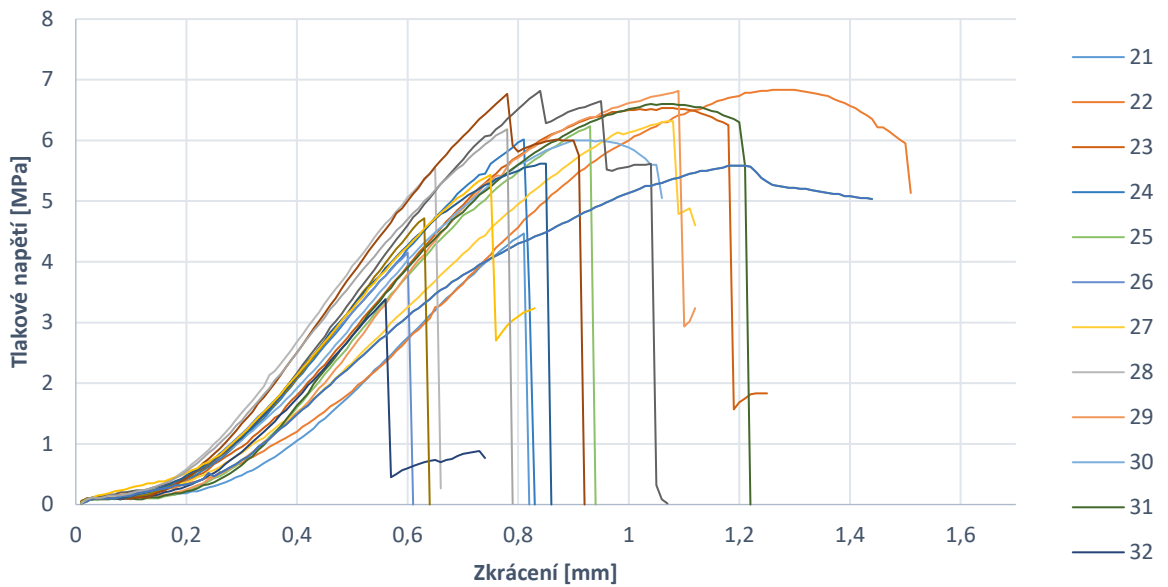
## 14. VÝSLEDKY ZKOUŠEK



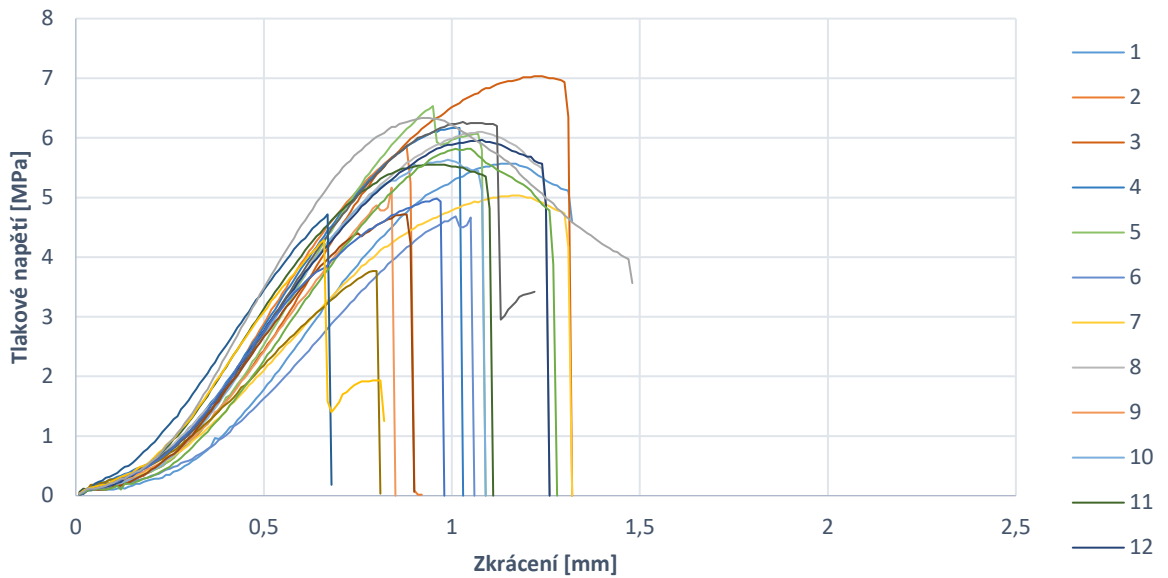
### Smyk v lepené spáře TLAČ T+20°C



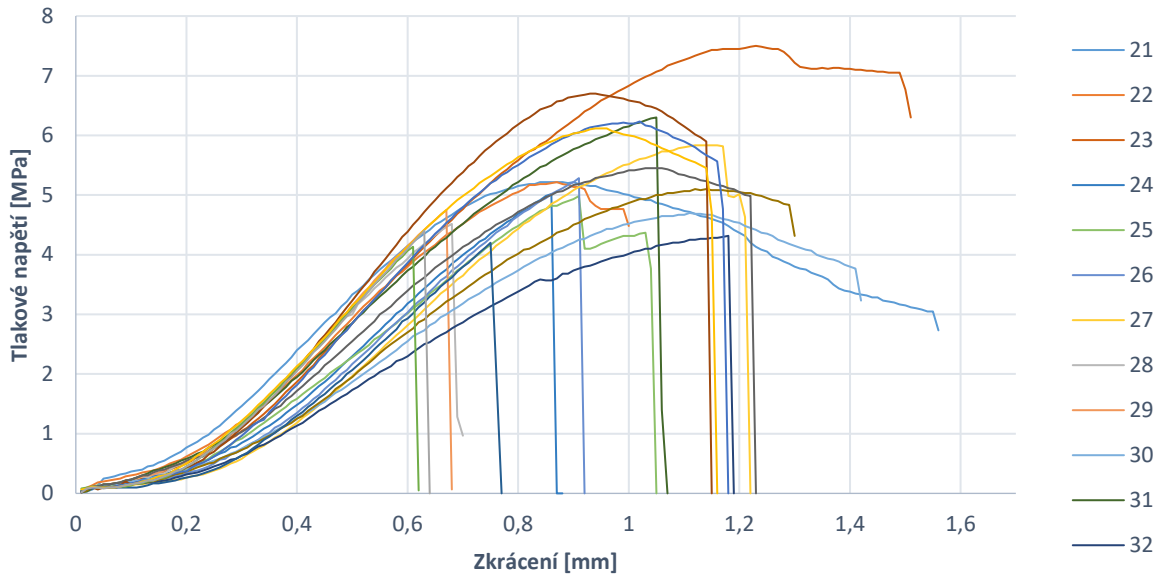
### Smyk v lepené spáře TLAČ T+20°C



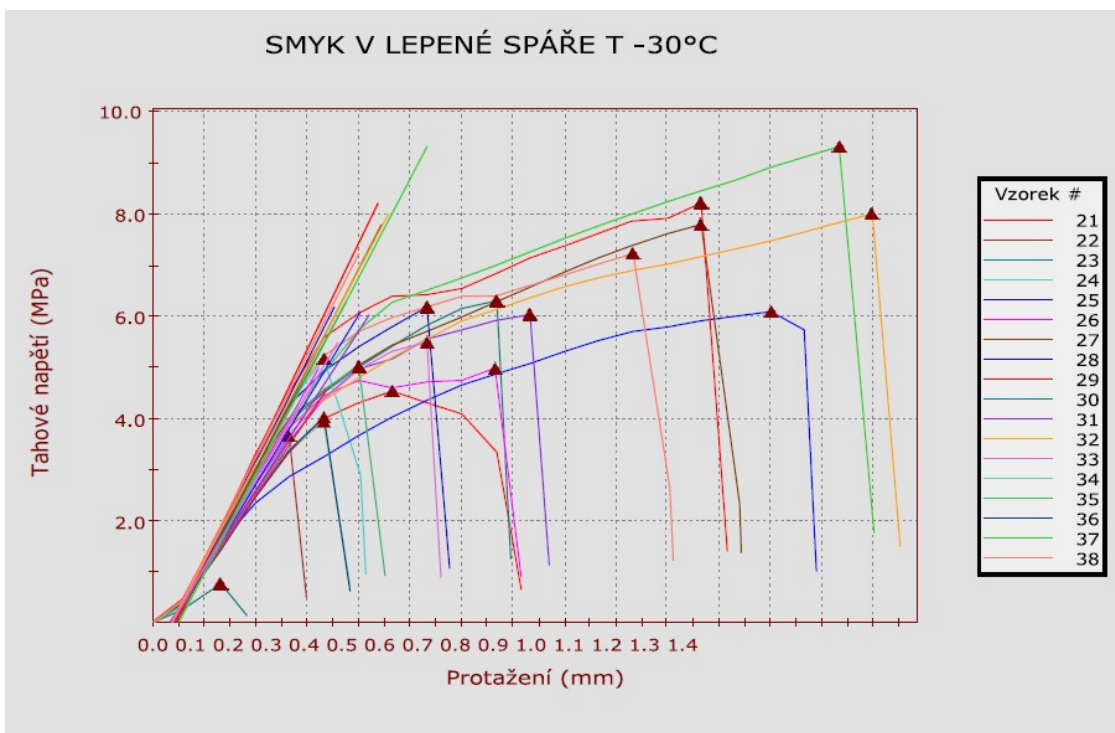
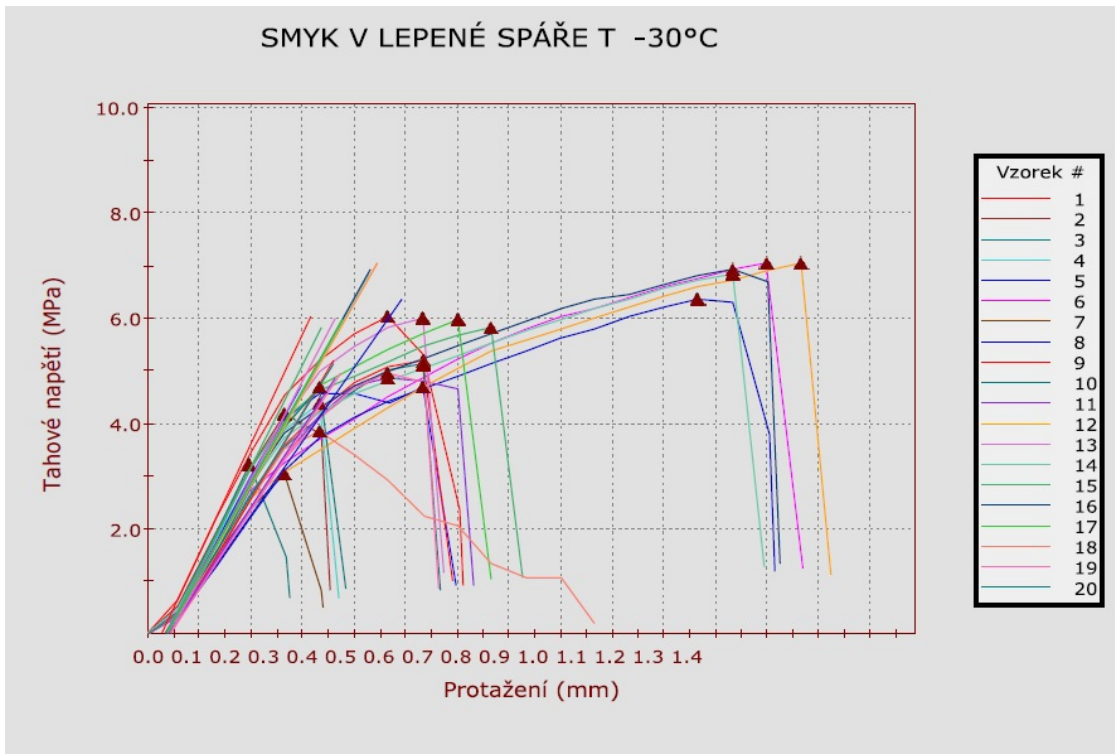
### Smyk v lepené spáře TLAK T+30°C



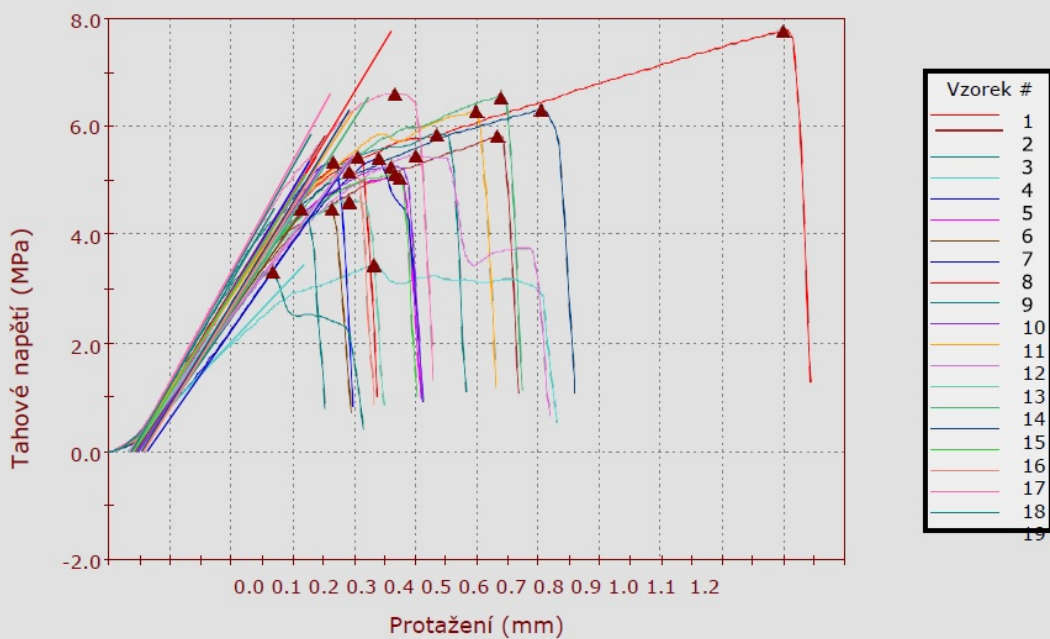
### Smyk v lepené spáře TLAK T+30°C



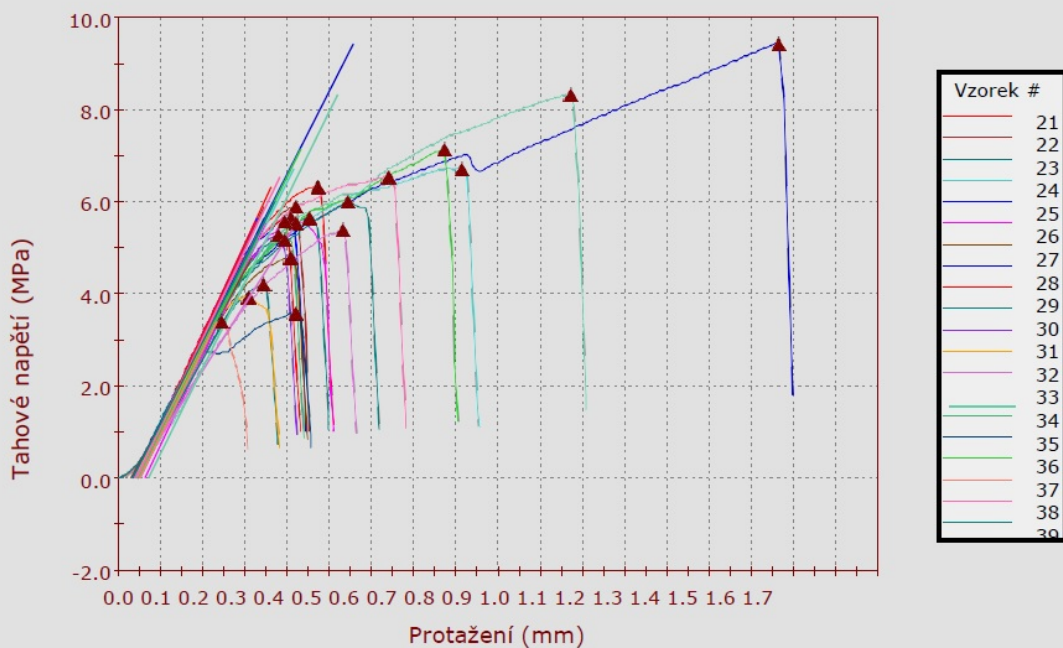
## Výsledky smykové zkoušky v tahu



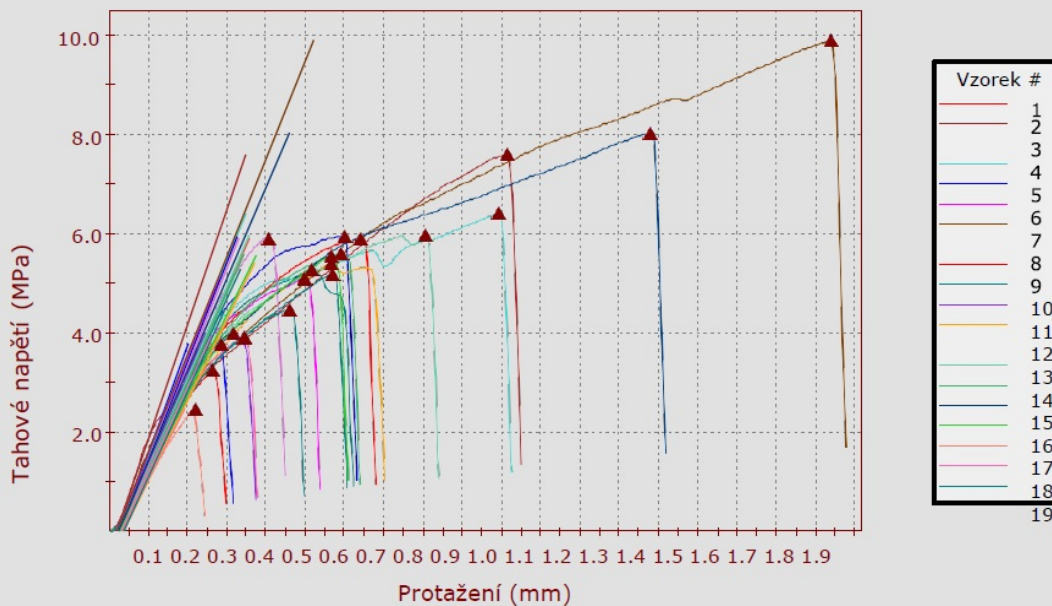
### SMYK V LEPENÉ SPÁŘE T 20°C



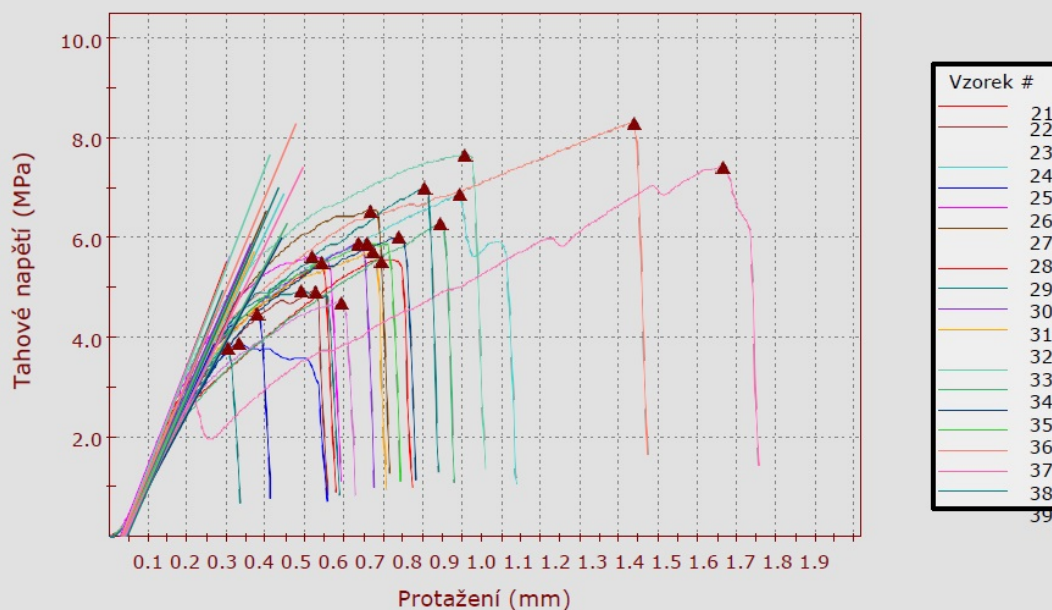
### SMYK V LEPENÉ SPÁŘE T 20°C



### SMYK V LEPENÉ SPÁŘET+30°C



### SMYK V LEPENÉ SPÁŘET+30°C



# 15. PŘÍLOHY

## Technický list Purbon HB S309



Finger joint



Face gluing

## PURBOND® HB S309

### 1K-Polyurethanklebstoff zur Herstellung von tragenden Holzbauteilen

PURBOND HB S309\_D

Holzleimbau Technik / 07-04-2009

#### Eigenschaften

PURBOND HB S309 ist ein flüssiger Einkomponenten Polyurethanklebstoff. Der Klebstoff härtet unter Einfluss von Material- und Luftfeuchte zu einem harten, unspröden Film aus. Ein leichtes Aufschäumen des Klebstoffes während der Härtung ist durch die chemische Reaktion bedingt und normal. PURBOND HB S309 ist ohne Zusatz von Lösungsmitteln und Formaldehyd hergestellt.

PURBOND HB S309 ist als Typ I Klebstoff klassifiziert und gemäss Seite 4 dieses Merkblatts (Abschnitt Gütekenneichen und Registrierungen) zugelassen und registriert.

Dieses technische Merkblatt wurde mit der unabhängigen Prüfstelle, MPA Universität Stuttgart, abgestimmt.

#### Produktdaten

<b>Basis</b>	Isocyanatprepolymer
<b>Konsistenz</b>	gut fließend
<b>Wartezeit<sup>1</sup></b>	<b>30 Minuten</b>
<b>Presszeit/Abbindezeit<sup>1</sup></b>	<b>1 ¼ Stunden</b>
<b>Viskosität Brookfield</b>	ca. 24'000 mPa.s (Sp.6 / 20 UpM bei 20 °C, Messung 16-30 Stunden nach der Produktion)
<b>Farbton</b>	beige
<b>Dichte</b>	1'160 kg/m <sup>3</sup>
<b>Feststoffgehalt</b>	100 % und frei von Fasern und abrasiven Füllstoffen
<b>Feuergefährlichkeit</b>	schwer entflammbar
<b>Beständigkeit</b>	gegen schwache Alkalien, Säuren und Lösungsmittel
<b>Lagerung</b>	6 Monate trocken bei ca. 20 °C (Verfalldatum beachten)
<b>Verpackung</b>	Kartonbox mit 12 Flaschen à 800 g netto Spundloch-Fass zu 50 und 200 kg netto IBC-Container zu 1'100 kg netto
<b>Deklaration</b>	Das Sicherheitsdatenblatt (MSDS) von PURBOND HB S309 ist zu beachten und erhältlich unter <a href="http://www.purbond.com">www.purbond.com</a> .

<sup>1</sup> Genaue Angaben zur Wartezeit und Presszeit/Abbindezeit sind auf den Seiten 2 und 3 zu finden.





Anwendung	<b>Verarbeitungsrichtlinie für die Keilzinkenverklebung</b>
<b>Vorbereitung</b>	PURBOND HB S309 ist einkomponentig und wird direkt ab Liefergebinde im geschlossenen System verarbeitet. Keilzinken-Automaten sind für die Verarbeitung von PURBOND HB S309 speziell mit einem passenden Auftragssystem auszurüsten. Vor der Verarbeitung sind alle Maschinenteile, die mit dem Klebstoff in Berührung kommen, mit <i>PURBOND Trennmittel / Release Agent</i> zu behandeln.
<b>Holzfeuchte</b>	Die Holzfeuchte an den zu verleimenden Fügeteiloberflächen darf nicht weniger als 8 % betragen. Die Obergrenze der zulässigen Holzfeuchte richtet sich nach den jeweiligen nationalen Produktnormen (z.B. EN 385 oder DIN 68140). Gemäss DIN 68140-1 darf die maximale Differenz der Holzfeuchte zwischen den zu verbindenden Holzenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• bei einteilig keilgezinkten Holzern: max. 5 %</li> <li>• bei keilgezinkten Lamellen für Brettschichtholz: max. 4 % betragen.</li> </ul> Gemäss EN 385 darf die maximale Differenz der Holzfeuchte zwischen den zu verbindenden Holzenden 5% betragen.
<b>Klebstoffauftrag</b>	Der Klebstoffauftrag erfolgt über ein geeignetes Auftragssystem (Kamm-Applikation oder berührungslose Applikation in Verbindung mit den relevanten Zulassungsbescheiden dort wo erforderlich). Der Klebstoff wird je nach Auftragssystem ein- oder beidseitig in einer Menge von ca. 120 - 160 g/m <sup>2</sup> aufgetragen. Eine gleichmässige Benetzung des Zinkenprofilies muss gewährleistet sein. Die Teile werden unmittelbar danach verpresst.
<b>Wartezeit</b>	Sofort, aber spätestens 30 Minuten nach Beginn des Klebstoffauftrags (maximale Wartezeit) müssen die zu verklebenden Teile zusammengefügt und der Pressdruck aufgebracht sein. Die maximale Wartezeit des feuchtigkeitsreaktiven PURBOND HB S309 wird von den bei der Verarbeitung herrschenden raumklimatischen Bedingungen beeinflusst. Höhere Temperatur und höhere Luftfeuchte verkürzen die Wartezeit. Der Klebstoff muss beim Aufbringen des Pressdruckes unbedingt noch klebfähig sein.
<b>Abbindezeit</b>	Die Abbindezeit des Klebstoffes beträgt bei 20 °C und 65 % Luftfeuchte 75 Minuten.
<b>Pressdruck</b>	Der aufgebrachte Pressdruck (je nach Zinkenlänge und Profil) muss eine passgenaue Verbindung gewährleisten. Es sind diesbezüglich die Bestimmungen gemäss EN 385 bzw. DIN 68140-1 oder anderen nationalen Richtlinien zu beachten.
<b>Weiterverarbeitung</b>	Die Teile können nach Ablauf der Abbindezeit des Klebstoffes weiterverarbeitet werden.
<b>Endfestigkeit</b>	Diese wird nach ca. 12 Stunden erreicht. Während dieser Zeit sind die verklebten Teile bei einer Temperatur von ca. 20°C zu lagern.
Besondere Hinweise	Bei der Herstellung von Keilzinkenverbindungen für tragende Bauteile ist ergänzend folgendes zu beachten: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Zulassungsbescheide (siehe Abschnitt Gütekennzeichen und Registrierungen).</li> <li>2. Die Temperatur im Produktionsraum soll 20 °C betragen. Das gleiche gilt für Holz und Klebstoff.</li> <li>3. Die Verklebung von Lärchenholz ist ausschliesslich für die Verwendung in den Nutzungsklassen 1 und 2 vorgesehen.</li> <li>4. Zur Gewährleistung einer hohen Verklebungsgüte wird eine geeignete Eigenüberwachung entsprechend EN 385 bzw. EN 14080 oder anderen nationalen Richtlinien empfohlen.</li> </ol>

**RAKOLL®**

Holzklebstoffe

**Technický  
list  
Technisches  
Merkblatt**

**ECO 4**

jednosložkové lepidlo třídy D-4 i dle DIN EN 14257

**Vlastnosti**

RAKOLL® ECO 4 je PVAc lepidlo s vynikající vodo-odolností.

**Zatřídění dle EN CZ 204/205 – D 4**

**Zatřídění dle DIN 14257 (WATT 91) : 8 N/mm<sup>2</sup>**  
(certifikát institutu IFT Rosenheim)

**Výhody**

- jednosložkový
- rychle vytvrzující
- krátký lisovací čas
- lisovací čas u dřevin jako smrk, borovice již od 12 min.
- dobré spojení u těžko lepitelných dřevin (dub, modřín)
- žádné zabarvení lepené spáry při lepení ve vysokofrekvenčním nebo teplém lise
- zlepšení tepelné odolnosti a vodoodolnosti při lisování za vyšší teploty ( např. 70 °C)

**Pokyny pro zpracování**

Otevřená doba a doba vytvrzování je silně závislá na pracovních podmínkách jako je teplota, vlhkost, pnutí v materiálu, jeho vlastnosti (savost) a množství nánosu.

Dobrých výsledků je dosaženo za následujících předpokladů :

Teplota místnosti, materiálu a lepidla 18 ... 20 °C  
 Vlhkost dřeva 8 ... 10 %  
 Množství nánosu při montážním lep. 150...180 g/m<sup>2</sup>  
 Otevřený čas 8 ... 9 min.  
 Bílý bod cca 8 °C  
 Lisovací tlak u dílů bez pnutí 0,1 ... 0,5 N/mm<sup>2</sup>

Minimální lisovací čas :

montážní lepení 8 ... 15 min  
 taktový lis při 70°C > 1 min  
 lepení spárovky a bloků 15 ... 30 min  
 lepení okenních hranolů od 15 min  
 (dle druhu dřeviny)

Lepení okenních profilů : v návaznosti na předpis (směrnici) i.f.t. Rosenheim – „vlhkost dřeva při lepení okenních profilů se musí pohybovat v rozmezí 13±2%“

Teplota místnosti a dřeva musí mít min. + 15 °C.

**Příprava dřeva**

Díly musí být čisté, bez prachu a mastnoty. Nepřesnosti ( tolerance ) v sestavení dílů prodlužuje lisovací čas a snižuje pevnost.

Při lepení okenních lamel by měly být dřevěné díly hoblovány krátce před lepením.

**Nános lepidla**

RAKOLL® ECO 4 nanášíme jednostranně – při vysokých požadavcích na vodoodolnost oboustranně nanášecím zařízením, válečkem, špachtlí, štětcem popř. jiným nástrojem v tenké pravidelné vrstvě.

**Lisování**

Lepené díly spojíme v průběhu otevřeného času a lisujeme tak dlouho, dokud není dosaženo dostatečné počáteční pevnosti.

Mechanické pevnosti, nutné k dalšímu opracování lepených dílů, je dosaženo v závislosti na druhu použitého materiálu v krátké době. Vyšší vodoodolnost lepených dílů se vytváří déle. Z tohoto důvodu se zkoušky na vodoodolnost provádějí nejdříve po 7 dnech po slepení.

**Barvení dřeva**

S ohledem na rozdílné složení jednotlivých látek ve dřevě, mimo jiné závislé na oblasti růstu a přípravě dřeva, může dojít v jednotlivých případech k zabarvení spoje, např. u buku, třešni ad..

Kov ve spojení s kyselinami ve dřevě může způsobit barevné změny, zvláště u dubu.

Doporučujeme provést vlastní zkoušky.

**Čištění**

Pracovní nástroje před zaschnutím lepidla vodou

**Chemicko-technické údaje RAKOLL® ECO 4**

Base: PVAc – disperze  
 Barva: bílá nažloutlá  
 Viskosita: 5.000-6.000 mPas Brookf. HB, kužel 2,2 Upm při 20 °C  
 Hodnota pH: cca 3,5

 **H.B. Fuller**

## Product Information

### Plus



AkzoNobel melamine system GripPro™ Plus consists of Plus adhesive A011, which is a flexible, liquid Melamine adhesive, and Plus hardener H011, which is a liquid hardener. It is a light coloured system to be used with either mix-in or separate application of glue and hardener in load bearing timber structures, such as laminated beams, cross laminated timber (CLT) and duo- and trio-beams. The system can also be used mixed and separate for the application of finger joints.

Plus is used for applications in the wood working industry, where there is demand for light-coloured bond-lines with high water and weather resistance.

Plus is approved according the requirements in EN 301:2013 as a type 1 adhesive by Norsk Treteknisk Institutt (NTI), Norway, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart - Otto-Graf-Institut (MPA), Germany and Institut Technologique FCBA, France for flexible mixing ratio (see below).

The system is suitable for the production of laminated beams according to EN14080:2013. The system is suitable for the production of cross laminated timber (CLT) according to EN 16351 and for production of structural finger jointed solid timber according to EN15497:2014

Plus meets the demands of following types:

EN 301-I-90-GP-0,6-M  
EN 301-I-90-GP-0,3-S  
EN 301-I-90-FJ-0,1-M  
EN 301-I-90-FJ-0,1-S

Plus is tested by Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart – Otto-Graf-Institut - (MPA), Germany according to DIN 68141:2008, and fulfils the requirements to the production of glued load-bearing timber parts according to DIN 1052 for flexible mixing ratio (see below).

When adhesive and hardener are applied separately our Separate Ribbon Spreader 6230 or 7230 Ecoflex are recommended.

#### Contact Information

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
High Point, USA +1 336 841 5111  
Singapore +65 6762 2088  
Medellin, Colombia +57 4 3618888  
[www.akzonobel.com/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

**Version: 10** (2016-11-30)

**Reason for changes:** update storage information

AkzoNobel approval code: AN\_200100\_210114

1

### Product Specification

	Plus Adhesive A011	Plus Hardener H011
<b>Product</b>	Melamine adhesive	Hardener
<b>Delivery Form</b>	Liquid	Liquid
<b>Colour</b>	Opaque white	White
<b>Viscosity</b> (at time of production)	1500 - 9000 mPas, (Brookfield LVT sp. 4, 12 rpm, 25°C/77°F)	1700 - 2700 mPas (Brookfield LVT, sp4, 60 rpm, 25°C/77°F)
<b>pH</b> (at time of production)	8.5 – 9.6 (at 25°C / 77°F)	1.3 – 2.0
<b>Dry content</b>	Approx 65%	Not applicable
<b>Density</b>	Appr. 1290 kg/m <sup>3</sup>	Appr. 1070 kg/m <sup>3</sup>

### Storage Conditions and Storage Life

In order to achieve the given storage life for the product, it is very important that the product is stored under the recommended conditions.

The optimal storage conditions for the adhesive is at temperature 5°C to 20°C.

Only short time exposure to temperatures below 5°C and above 30°C are acceptable. The product can be frozen but it must be thawed, raised to room temperature and homogenized before usage.

The optimal storage conditions for the hardener is at temperature 15°C to 25°C.

Only short time exposure to temperatures below 10°C and above 30°C are acceptable.

Frozen and thawed product cannot be used due to irreversible changes in the product.

The storage life for a product is determined by parameters such as reactivity, viscosity and rheology. The storage time ends when the reactivity, viscosity or rheology transforms from a relatively stable value to a value that can affect the gluing quality.

If the packaging is left open for long periods, the glue is susceptible to skin formation on the surface. To avoid skin formation, keep the packaging closed when not in use.

The storage life of both components are listed below.

Storage Life (months)		15°C	20°C	25°C	30°C
	Plus adhesive	2,5	2	1.5	0,75
	Plus hardener	4	4	3	2.5

### Contact Information

Stockholm, Sweden +46 8 743 40 00  
 High Point, USA +1 336 841 5111  
 Singapore +65 6762 2088  
 Medellin, Colombia +57 4 3618888  
[www.akzonobel.com/adhesives](http://www.akzonobel.com/adhesives)

Version: 10 (2016-11-30)

Reason for changes: update storage information