

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

Stanovení Poissonových čísel dřevotřískového  
kompozitu OSB pomocí optických metod  
na bázi korelace digitálního obrazu

**Bakalářská práce**

**2014/2015**

**Pavel Skácel**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem práci: „Měření Poissonových čísel dřevovláknitého kompozitu pomocí optických metod na bázi korelace digitálního obrazu“ zpracoval 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 ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, 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 studenta:

**Poděkování:**

Tímto bych rád poděkoval především vedoucímu své bakalářské práce Ing. Václavu Seberovi, Ph.D. za cenné rady a ochotu při konzultacích a za odborné vedení při vypracovávání této bakalářské práce.

**Jméno** Pavel Skácel  
**Název práce** Stanovení Poissonových čísel dřevotřískového kompozitu OSB pomocí optických metod na bázi korelace digitálního obrazu

### **Abstrakt**

Práce se zabývá měřením poissonových čísel dřevotřískového kompozitu s orientovanými třískami (OSB) za pomoci nekontaktní optické metody korelace digitálního obrazu (DIC). Vzorky desky budou zatěžovány v prostém tlaku ve dvou směrech v rovině desky a ve dvou směrech kolmo k rovině desky. Naměřené hodnoty poissonových čísel se dále budou statisticky vyhodnocovat.

### **Klíčová slova**

Poissonova čísla, OSB, desky s orientovanými třískami, korelace digitálního obrazu, DIC, dřevotřískové desky, deformace v tlaku

**Name** Pavel Skácel  
**Title of work** Determination of Poisson ratios of oriented strand board using digital image correlation

**Abstract**

This thesis is focused on measuring Poisson numbers of oriented strand boards (OSB) by using non-contact optical method of digital image correlation (DIC). Board samples were pressed by flexural load in two directions on a level with the board and in two directions vertical to the level of the board. In addition, measured values of Poisson numbers were statistically evaluated.

**Key words**

Poisson's ratio, OSB, oriented strand board, digital image correlation, DIC,

## Obsah

Obsah .....	6
1. Úvod .....	8
2. Cíl práce.....	9
3. Literární přehled .....	10
3.1. OSB – desky s orientovanými třískami .....	10
3.1.1. Popis .....	10
3.1.2. Využití.....	10
3.1.3. Výroba.....	11
3.2. Mechanické vlastnosti materiálů.....	11
3.2.1. Napětí .....	11
3.2.2. Deformace .....	12
3.2.3. Modul pružnosti .....	13
3.2.4. Poissonovo číslo.....	13
3.3. Metody zjišťování mechanických deformací.....	13
3.3.1. Kontaktní.....	14
3.3.1.1. Elektrické tenzometry.....	14
3.3.1.2. Extenzometry .....	14
3.3.2. Nekontaktní .....	15
3.3.2.1. Moiré .....	15
3.3.2.2. Korelace digitálního obrazu (DIC).....	16
4. Materiál a metodika .....	19
4.1. Zkušební vzorky OSB.....	19
4.2. Použité pomůcky.....	19
4.3. Postup měření.....	20
5. Výsledky a diskuze.....	22
5.1. Zatížení tělísek v rovině desky .....	22
5.2. Zatížení tělísek kolmo k rovině desky .....	28

5.3.	Zobrazení zatěžovaného tělíska v rovině desky v 3D.....	34
6.	Závěr .....	36
7.	Použitá literatura .....	38
8.	Seznam obrázků.....	39
9.	Seznam grafů .....	40
10.	Seznam tabulek.....	40
11.	Příloha.....	41

## **1. Úvod**

V posledních letech se výroba a použití desek s orientovanými třískami (OSB) velice rozšířila. Používají se jak na výrobu beden, palet, ale hlavně ve stavebnictví jako konstrukční desky. Pokládají se na podlahy, ve střešních konstrukcích, nebo se s nimi opláštějí stěny rámových dřevostaveb. Desky se vyrábějí v různých variantách, jak do interiéru, tak do exteriéru pro použití ve vlhkém prostředí. Využívají se též jako bednění například při betonování.

Jelikož se OSB desky používají hlavně ve stavebnictví, je důležité znát jejich mechanické vlastnosti.



## 2. Cíl práce

Cílem této práce bylo změřit Poissonova čísla dřevotřískového kompozitu OSB pomocí metody korelace digitálního obrazu (DIC). Předpokládá se materiál OSB za ortotropní, bude cílem měření získat Poissonova čísla na jeho třech rovinách. Všechna měření budou probíhat založena na tlakové zkoušce.

Tělíska budou namáhány ve čtyřech různých směrech – v rovině desky ve směru výrobního toku, v rovině desky kolmo na směr výrobního toku, kolmo k rovině desky ve směru výrobního toku a kolmo k rovině desky kolmo na směr výrobního toku. Výsledky se poté zpracují v PC a vypočítají se z nich Poissonova čísla.

### 3. Literární přehled

#### 3.1. OSB – desky s orientovanými třískami

##### 3.1.1. Popis

OSB jsou dřevotřískové desky složené ze tří vrstev, ve kterých jsou třísky orientovány určitým směrem, na rozdíl od klasických dřevotřískových desek.

V krajních vrstvách jsou třísky orientovány rovnoběžně s podélnou osou desky, tedy rovnoběžně ve směru výrobního toku. Naopak ve střední vrstvě jsou třísky orientovány kolmo na směr výrobního toku, nebo jsou ukládány náhodně. Bylo zjištěno, že orientací třísek v desce se dá dosáhnout vyšší pevnosti.

Desky s orientovanými třískami byly vyvinuty ve Spojených státech amerických.

Desky OSB se v ČR, potažmo v EU, vyrábějí ve čtyřech variantách, viz Tab 1.

Tab. 1 – Typy OSB podle EN 300 a podle ČSN EN 300

Typ	Oblasti použití
OSB/1	Desky pro všeobecné účely a pro použití v interiéru v suchém prostředí
OSB/2	Desky pro nosné účely pro použití v suchém prostředí
OSB/3	Desky pro nosné účely pro použití ve vlhkém prostředí
OSB/4	Zvláště zatížitelné nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí

##### 3.1.2. Využití

V USA se OSB desky většinou využívají ve stavebnictví na stavbu nových domů jako konstrukční materiál stěn, jako střešní desky, nebo na podlahy. Dále se desky používají jako obalový materiál, nebo materiál na bedny, či palety.

V Evropě jsou OSB desky již také hojně vyráběny a využívány. V České republice byla například v roce 2005 uvedena do provozu výrobní linka na OSB desky ve společnosti KRONOSPAN CZ s.r.o, Jihlava.

Stejně jako v USA se i v Evropě používají OSB desky ve stavebnictví pro konstrukční účely jako opláštění stěn u dřevostaveb, na konstrukce stropů, střech a podlah. Dále se používají jako obalový materiál, nebo jako bednění při betonářských pracích.

### 3.1.3. Výroba

V Evropě se na výrobu nejčastěji používá smrk a borovice.

Dřevo, které bude použito na výrobu desek, musí být nejprve odkorněno. Měly by se používat dřeviny s hustotou 350 – 700 kg/m<sup>3</sup>.

Vlhkost dřeva, ze kterého se dělají třísky pro výrobu OSB desek by neměla klesnout pod 60 %. Při nižších vlhkostech jsou třísky příliš křehké a je větší podíl jemných frakcí. Dále se třísky suší v sušárnách na vlhkost 2-4 %. Třísky jsou poté děleny na tři frakce. Dlouhé se používají na povrchové vrstvy desky, kratší pro středovou vrstvu. Ty nejmenší třísky, které jsou kratší jak šest milimetrů, jsou vyřazeny. Po nanesení lepidla na třísky se vrství. Při procesu vrstvení třísek je důležitá orientace. Jak už bylo zmíněno výše – třísky v povrchových vrstvách jsou orientovány ve směru výrobního toku a třísky ve středové vrstvě jsou orientované nahodile, nebo kolmo ke směru výrobního toku. Po navrstvení třísek se třískový koberec nakrátí na požadované formáty, které se pak ukládají do etážových lisů, kde se desky lisují při tlaku 5 MPa a teplotě 220 °C.

## 3.2. Mechanické vlastnosti materiálů

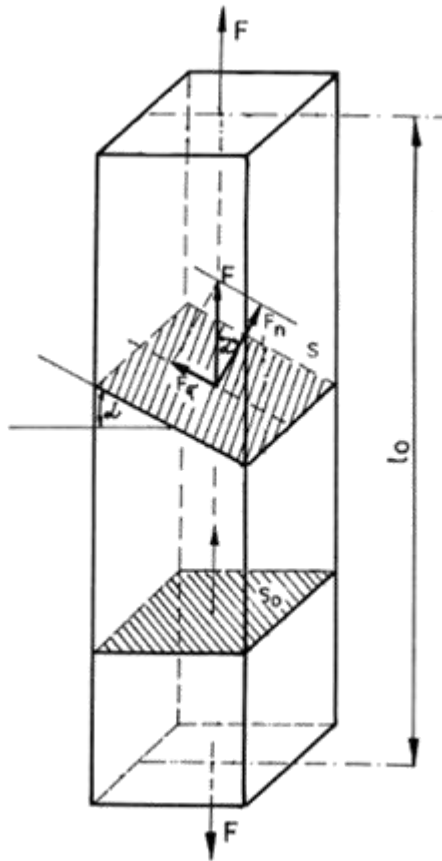
### 3.2.1. Napětí

Při působení vnějších mechanických sil na těleso vznikají v tělese vnitřní síly, které nazýváme napětí.

V našem případě na těleso působí pouze jedno hlavní napětí a všechna ostatní hlavní napětí jsou nulové. Tento stav se nazývá jednoosý stav napjatosti. V tomto případě vyjádříme napětí jako sílu působící na plochu:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

kde F značí sílu [N] a S plochu, na kterou síla působí [m<sup>2</sup>].



Obr. 1 – Rozložení sil v průřezu hranolu dřeva při jednoosém tahu (Požgaj, 1997)

Normálové napětí průřezu  $S_0$  bude 
$$\sigma_0 = \frac{F}{S_0}$$

Velikost normálových a smykových napětí můžeme v průřezu  $S$  vyjádřit takto:

vzhledem na  $S_0$  bude plocha  $S$  
$$S = \frac{S_0}{\cos \alpha}$$

při čem úhel  $\alpha$  svírají osy ploch  $S_0$  a  $S$ . Síla  $F$  se v průřezu  $S$  rozloží na složku, která je kolmá na rovinu průřezu  $F_n$  a na složku ležící v rovině průřezu  $F_\tau$ . Normálové napětí

v průřezu  $S$  bude 
$$\sigma = \frac{F_n}{S} = \sigma_0 \times \cos^2 \alpha$$

Působícímu napětí těleso odporuje příslušnou změnou svého tvaru, tedy těleso se deformuje.

### 3.2.2. Deformace

Deformací rozumíme změnu rozměrů a tvaru tělesa, je-li vystaveno působení mechanických sil. Při prostém tlaku, nebo tahu, tedy normálových napětích vznikají

normálové deformace ( $\varepsilon$ ). Ovšem při napětích tangenciálních, při kterých dochází ke zkosení tělesa, vzniká smyková (tangenciální) deformace ( $\gamma$ ).

Deformace se dělí na pružné, pružné v čase a plastické. Pružné deformace ( $\varepsilon_p$ ) jsou takové, při kterých se těleso vrátí do původního tvaru okamžitě po ukončení působení vnějších sil. U deformací pružných v čase ( $\varepsilon_\tau$ ) se také vrátí těleso do původního tvaru, ale až za nějaký čas po ukončení působení vnějších sil. Plastické deformace ( $\varepsilon_{pl}$ ) jsou takové, při kterých dochází k nevratným změnám tvaru tělesa, kdy se po ukončení působení vnějších sil těleso nevrátí do původního tvaru, ale zůstává mu nový tvar a rozměry.

### 3.2.3. Modul pružnosti

Modul pružnosti vyjadřuje, jak materiál odolává pružné deformaci. V praxi to znamená, že čím vyšší bude mít materiál modul pružnosti, tím větší napětí bude potřeba pro deformaci tělesa.

Rozeznáváme dva typy – Youngův modul pružnosti  $E_i$ , se kterým se setkáváme u tahu, tlaku a ohybu a smykový modul pružnosti  $G_{ij}$ , který se vyskytuje při namáhání ve smyku a krutu. V tahu a tlaku se modul pružnosti stanoví jako podíl napětí a poměrné deformace.

### 3.2.4. Poissonovo číslo

Když zatížíme dřevěné těleso normálovými silami, vznikají nám dva různé typy deformací. První deformace jsou podélné ( $\varepsilon_1$ ) a vznikají ve směru působení síly. Vznikají nám ale i deformace kolmo k působící síle – příčné deformace ( $\varepsilon_2$ ). Podělením poměrné příčné deformace poměrnou podélnou deformací získáme Poissonovo číslo ( $\mu$ )

$$\mu = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

## 3.3. Metody zjišťování mechanických deformací

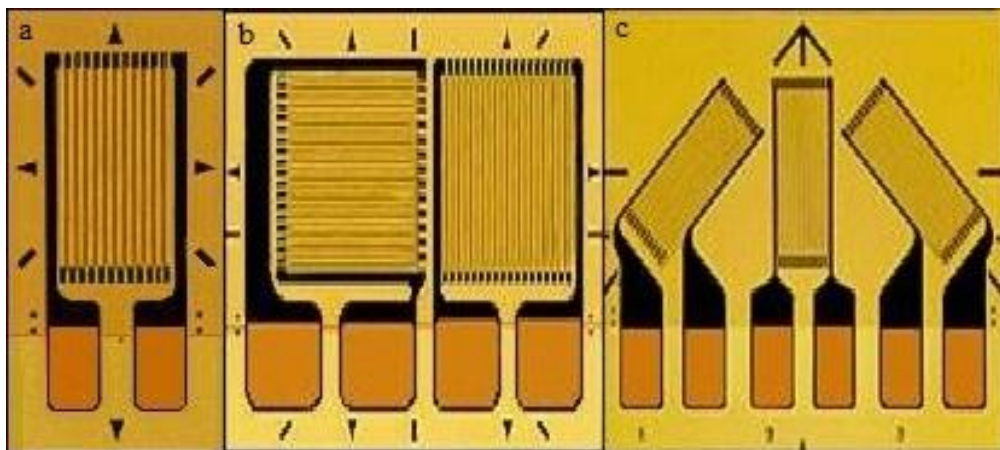
Principiálně můžeme metody měření deformací rozdělit dle toho, zda se čidla dotýkají studovaného objektu, tj. na metody kontaktní a bezkontaktní.

### 3.3.1. Kontaktní

Kontaktní měření deformací spočívá v aplikaci čidla na povrch (tenzometry lepené na povrch speciálními lepidly zaručující efektivní přenos deformace nebo přitlačné extenzometry pro univerzální zkušební stroje) či do objemu materiálu (vrutové extenzometry používané např. v arboristice).

#### 3.3.1.1. Elektrické tenzometry

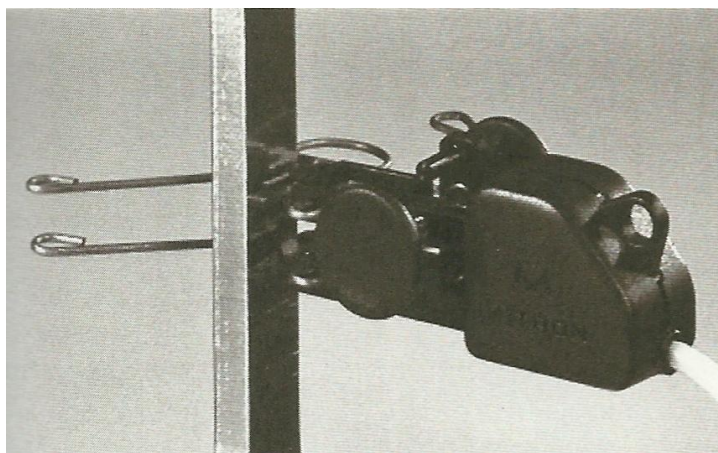
Elektrické (odporové) tenzometry se dělí na dvě skupiny a to kovové a polovodičové. Jsou to pasivní čidla, která jsou buď nalepená na povrchu měřeného tělesa, což jsou například páskové tenzometry, nebo mohou být pevně spojeny s měřeným prvkem (průmyslové tenzometry pro váhy, trvalé sledování mostních konstrukcí). Tyto čidla převádějí mechanickou deformaci na změnu elektrického odporu, jejich schéma viz Obr. 2.



Obr. 2 – a) jednovrstkový, b) dvouvrstkový, c) třívrstkový tenzometr

#### 3.3.1.2. Extenzometry

Extenzometry poskytují nejpohodlnější způsob přesného měření průměrného zatížení v měřené části zkušebního vzorku. Jeden z typů kontaktních extenzometrů je takzvaný „clip-on“ extenzometr (obr. 3). Přístroje tohoto typu se používají v situacích, kdy je vyžadováno měření s vysokou přesností. Díky nim můžeme měřit od velmi malých posunutí, po relativně velké (od méně, než jeden milimetr, po více, než 100 mm). Velkou výhodou jsou nízké náklady a snadná obsluha.



Obr. 3 – extenzometr typu „clip-on“

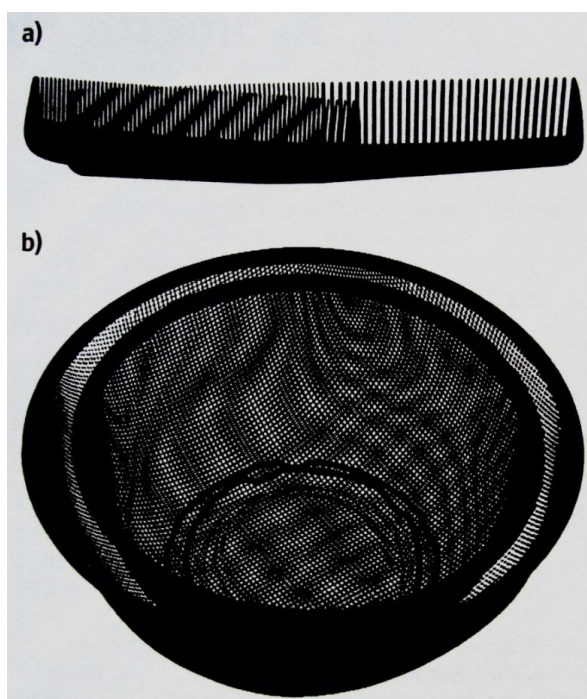
### 3.3.2. Nekontaktní

Principem těchto metod je, že měřený vzorek je snímán jednou či více kamerami, které zaznamenávají data do připojeného počítače.

Díky tomuto tedy měřicí zařízení a zkušební vzorek nepřijdou spolu do kontaktu.

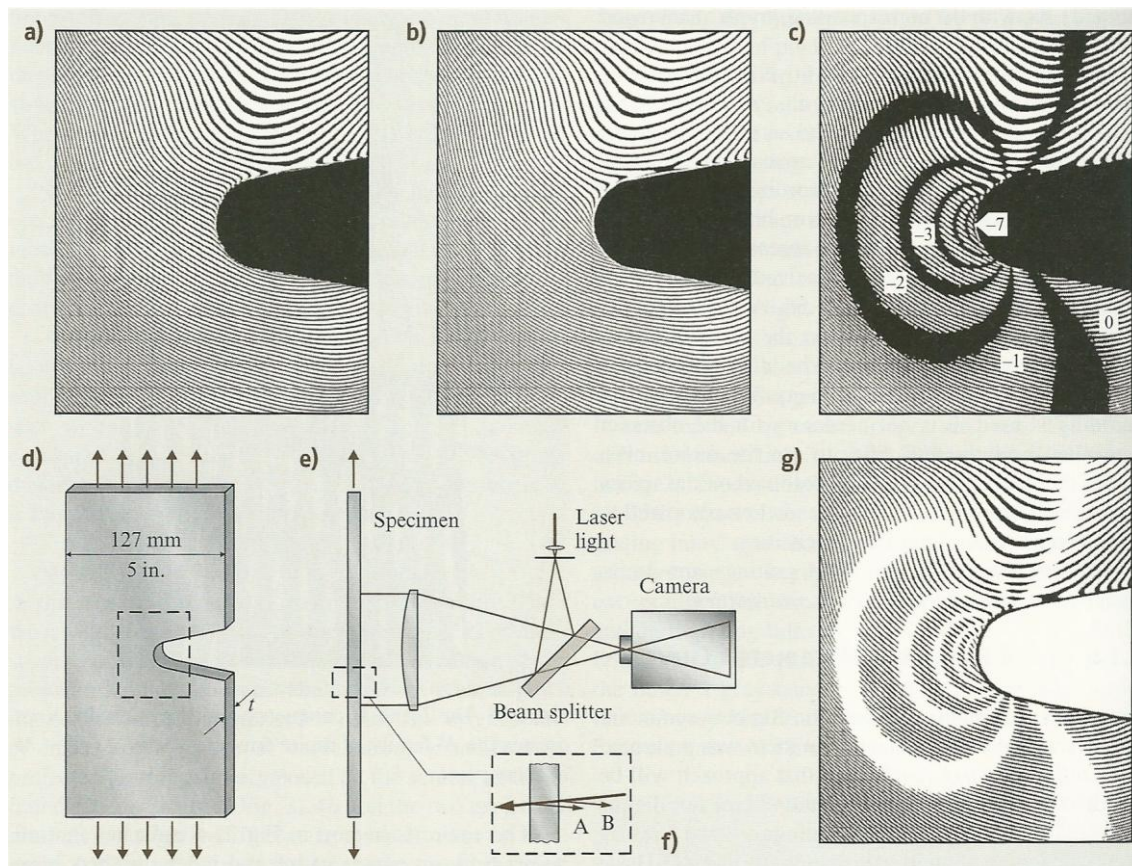
#### 3.3.2.1. Moiré

Moiré je efekt vytvářející široké světlé a tmavé pruhy, které se nazývají „moiré fringes“. Tento efekt můžeme sledovat na níže přiloženém obrázku 4, kdy na části „a“ vidíme dva hřebeny položené za sebou a na části „b“ vidíme dvě drátěné nádoby vložené do sebe.



Obr. 4 – moiré efekt na hřebenech (a) a na drátěných nádobách (b)

Moiré struktury jsou obrazce, které vznikají superpozicí dvou periodických mřížek a vyjadřují své vzájemné posunutí. Z toho důvodu jsou s výhodami používány v experimentální mechanice pro měření povrchových deformací těles.



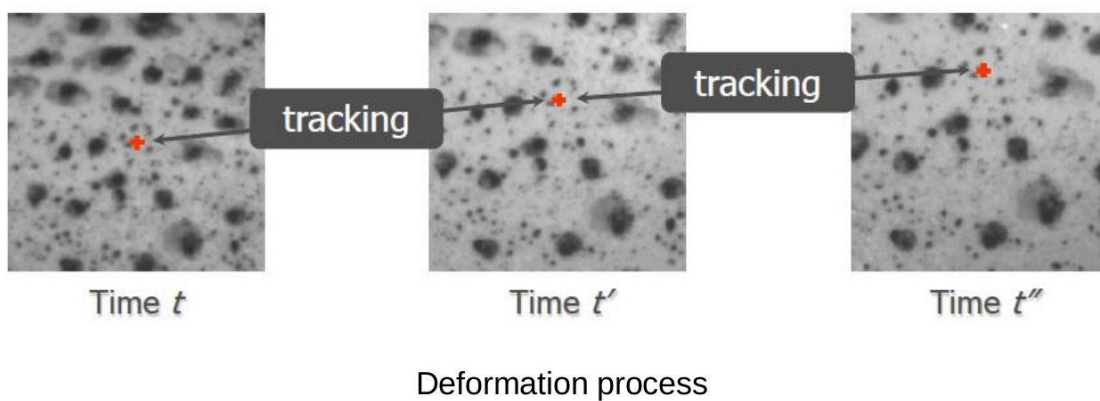
Obr. 5 – obrazce tloušťky vzorku před (a) a po (b) zatížení v tahu. Moiré efekt změny tloušťky vzorku po zatížení v tahu (c). Testovaný vzorek (d). Optický systém (e).

### 3.3.2.2. Korelace digitálního obrazu (DIC<sup>1</sup>)

Jedná se o bezkontaktní metodu, při které jsou snímány obrázky vzorku během zkoušky pomocí digitálních kamer. Při DIC se používají různé kontrastní a náhodné vzory, nanášené na zkušební těleso, jako pruhy, mřížky, nebo tečky. Obrázky pořízené kamerou se poté v digitální formě přenesou do počítače, kde se pomocí specializovaného softwaru zpracovávají. Program porovnává hodnoty v nedeformovaném vzorku s hodnotami v průběhu deformace.

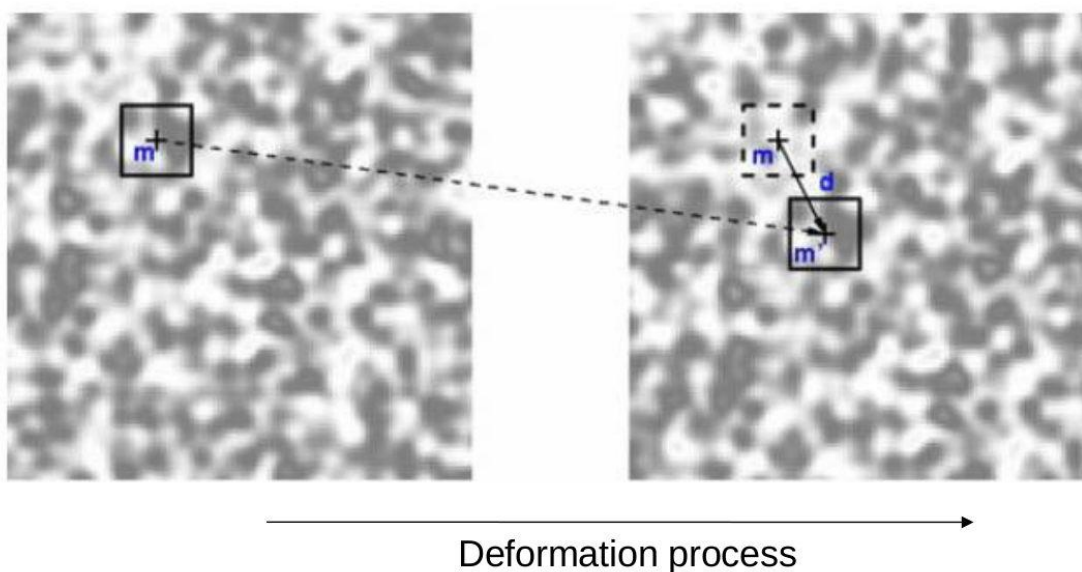
<sup>1</sup> V práci bude užívána zkratka z anglického názvu metody DIC – Digital Image Correlation. Důvodem je její běžné používání i v češtině.





Obr. 6 – sledování („trackování“) posunu referenčního bodu v průběhu deformace (Correlated solutions, 2010)

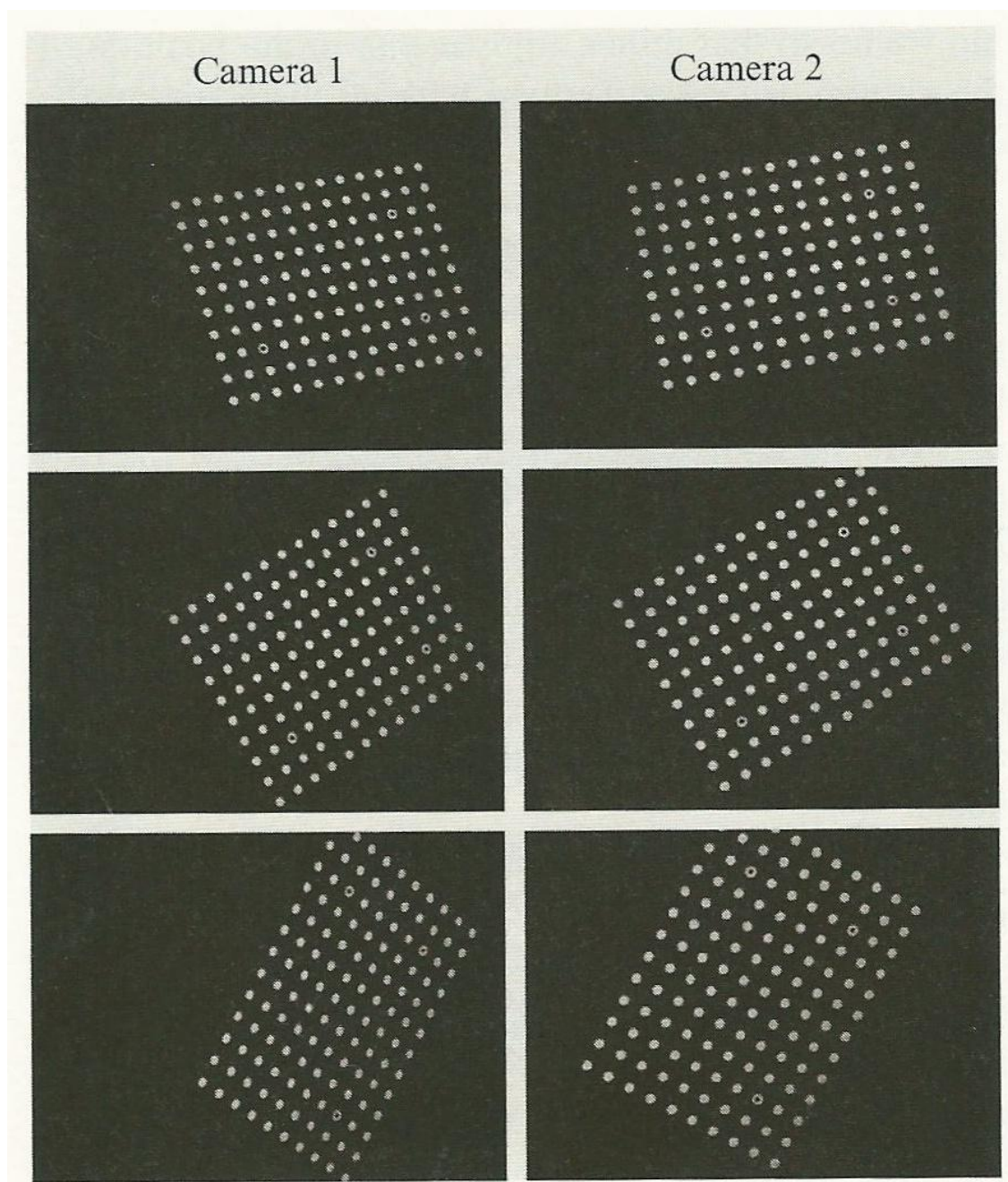
V praxi ovšem program nepočítá s hodnotami jako s jednotlivými body, ale s většími plochami, které zahrnují i okolí jednotlivých bodů, které se nazývají „subset“.



Obr. 7 – trackování posunu subsetu v průběhu deformace (Correlated solutions, 2010)

Při metodě DIC lze snímat vzorek pouze jednou kamerou (2D-DIC), nebo dvěma jako v našem případě (3D-DIC). Při snímání ve 3D je ještě před samotným měřením nutné celý kamerový systém zkalibrovat, aby byly perspektivy obou kamer a jejich vzájemná poloha vzata v potaz při korelačním výpočtu. Kalibraci je nutné provádět s kamerami v takové pozici, v jaké budou i při testování. To znamená, že po kalibraci se nesmí s kamerami hýbat. Kalibrace se provádí snímáním kalibrační destičky (mřížky) v různ

ných pozicích viz obr. 8. Sutton et al. (2009) uvádí, že optimální počet snímků pro zkalibrování je 60, manuály komerčních systémů DIC tvrdí že stačí 20-30 kvalitních snímků (Correlated Solutions, 2010).



Obr. 8 – snímky kalibrační destičky v různých pozicích (Sutton, 2008)

## **4. Materiál a metodika**

Příprava experimentů spočívala nejprve ve vyhotovení zkušebních vzorků, aplikaci náhodného paternu na měřené povrchy, poté v kalibraci optického systému 3D-DIC pro měření a samotném snímání deformací.

### **4.1. Zkušební vzorky OSB**

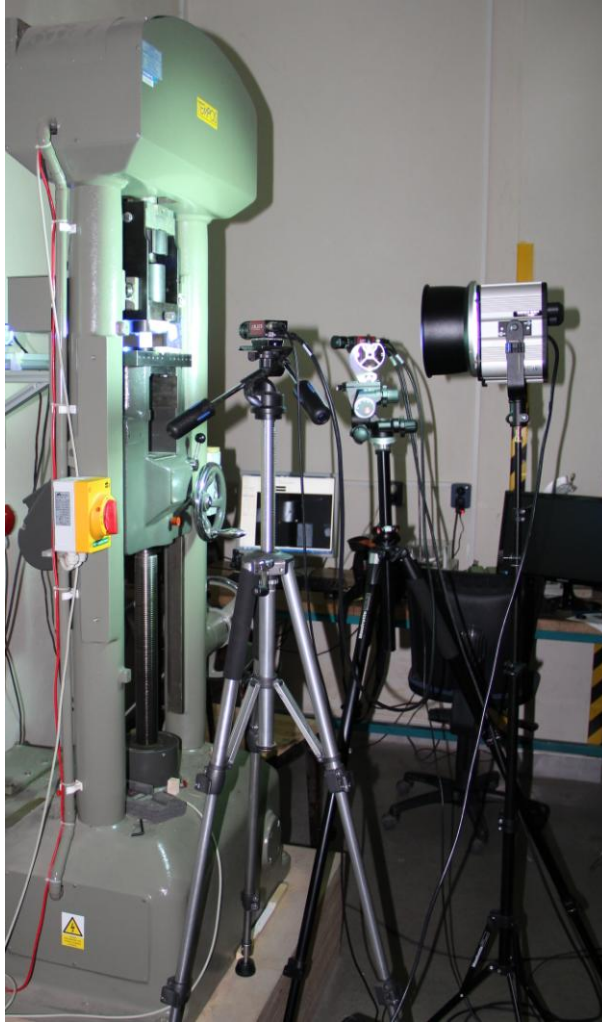
Zkušební tělíska používané při zkoušce, byly nařezány z jedné OSB desky. Celkem jsme použili 80 tělísek a byly nařezány na rozměry 50x50 mm z desky o tloušťce 18 mm. Tělíska jsme si označili tak, abychom věděli, kterým směrem byl výrobní tok desky. Dále jsme si označili rovinu, kterou budeme analyzovat a samozřejmě jsme každé tělísko popsali pořadovým číslem.

### **4.2. Použité pomůcky**

Ke stlačování tělísek byl použit univerzální zkušební stroj ZDM 51. Stroj má posuv spodního příčnicku o rychlosti 10 mm/min, na kterém jsou zároveň umístěna čidla, která snímají a zaznamenávají velikost působící síly na právě vložené těleso ve stroji.

Hodnoty byly zaznamenávány na počítači, který je připojen k univerzálnímu zkušebnímu stroji, pomocí programu M-TEST.

Snímky zkušebních tělísek byly snímány dvěma kamerami CCD AVT s rozlišením 5 Mpx, které byly osazeny objektivy Schneider Xenoplan 50 mm f/2.8 Compact. Tyto kamery byly umístěny na stativu Manfrotto Tripod 055XPROB. Osvětlení bylo řešeno jednou lampou Hedler CMI 150W a dvěma bodovými LED světly SobrietyCube 360.

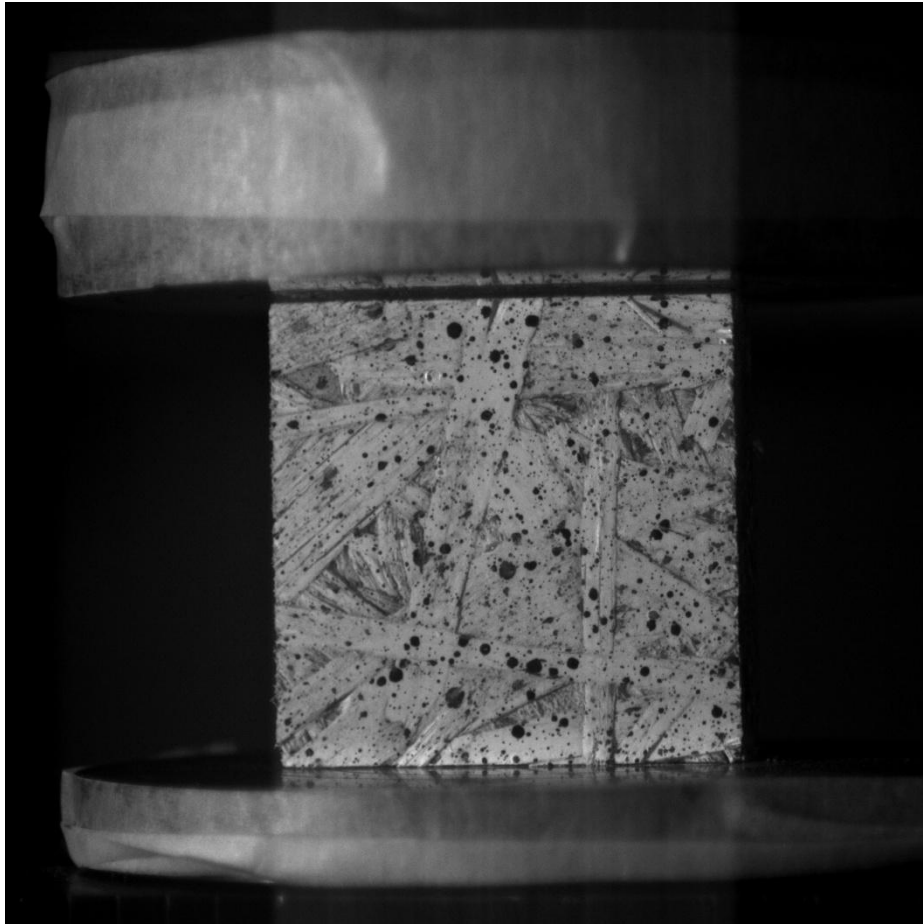


Obr. 9 – zkušební stroj ZDM 51, dvě kamery a osvětlení

### 4.3. Postup měření

Ještě před samotnou zkouškou se na popsaná tělíska nanese kontrastní vzor. Pro nanesení kontrastního vzoru jsme použili obyčejný černý a bílý práškový sprej. Bílý sprej jsme nanесли na celou plochu tělísek jako podklad a poté jsme slabým postříkem nanесли na tělíska černý sprej v podobě nahodile rozmístěných teček, viz obr. 10.

Po nanesení kontrastního vzoru se vzorky vkládaly do univerzálního zkušebního stroje a byly namáhány prostým tlakem. Data se ukládaly do počítače, ve kterém se poté vyhodnocovaly.

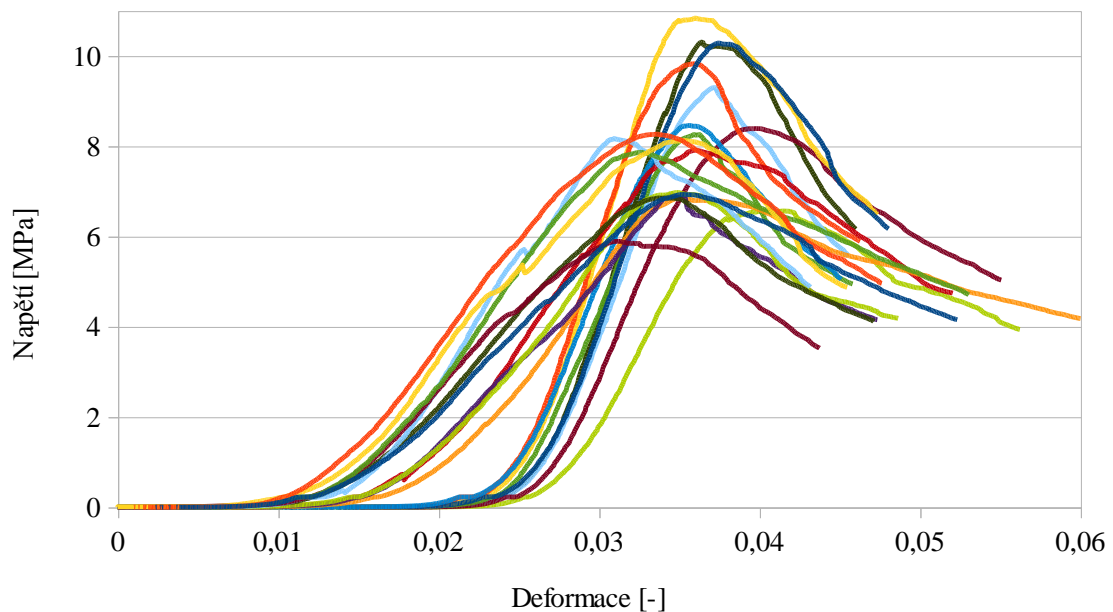


Obr. 10 – tělísko s naneseným kontrastním vzorem v čelistech zkušebního stroje

## 5. Výsledky a diskuze

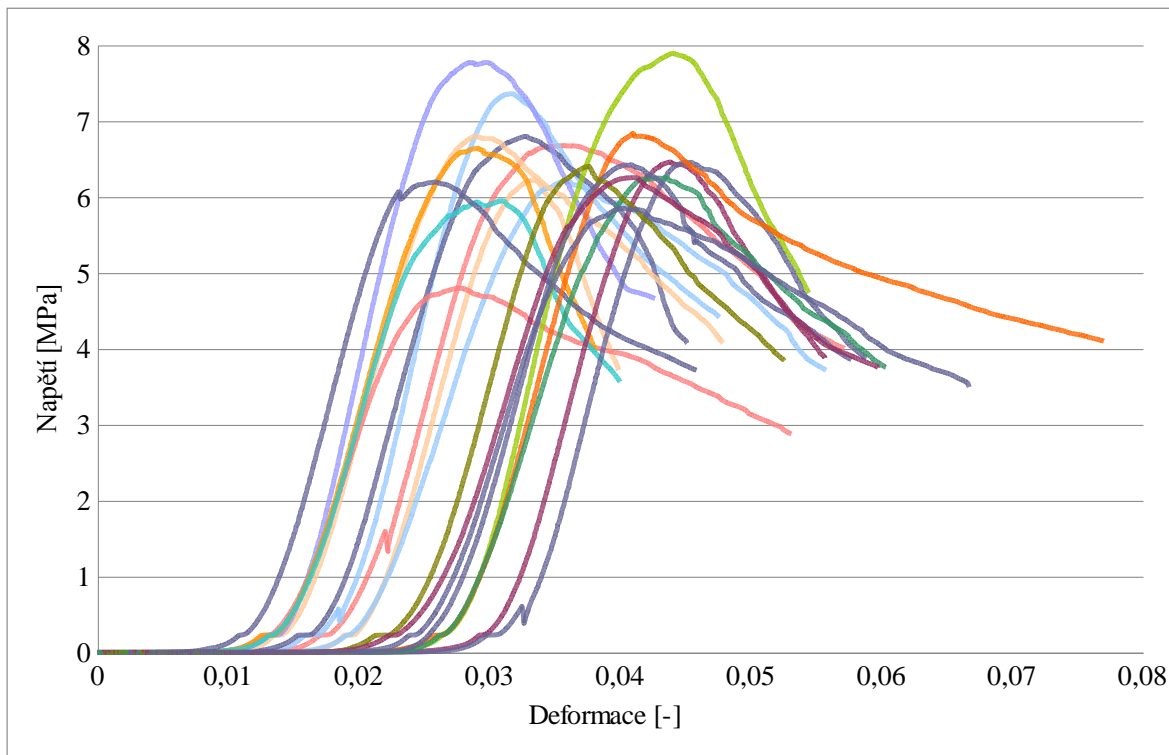
### 5.1. Zatížení tělísek v rovině desky

Na níže uvedeném grafu můžeme pozorovat průběh deformace v závislosti na působícím napětí na všech dvaceti vzorcích. V první části grafu vidíme tzv. náběhovou část, kdy se přítlačná deska stroje přibližují ke vzorku. V druhé části grafu je průběh křivky lineární, kdy přítlačná deska stlačuje vzorek až do bodu meze pevnosti, kdy se křivka láme dolů.



Graf 1 – závislost napětí na deformaci při tlaku v rovině desky ve směru výrobního toku

Na druhém grafu vidíme pracovní diagramy dalších dvaceti vzorků, které byly zatěžovány v rovině desky, kolmo na výrobní tok. Můžeme vidět, že průběh je velmi podobný jako v grafu 1.



Graf 2 – závislost napětí na poměrné deformaci při tlaku v rovině desky kolmo na směr výrobního toku

V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty vždy všech čtyřiceti vzorků, které byly měřeny v rovině desky a to ve směru výrobního toku („podél“) a kolmo na výrobní tok („kolmo“).

Tab. 2 – Průměrné hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných v rovině desky

	$E$ [MPa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [MPa]	$\nu$ [-]
podél	683,862	481,611	8,149	0,256
kolmo	612,433	478,136	6,513	0,134

Níže uvedená tabulka nám ukazuje naměřené hodnoty poissonových čísel ve dvou směrech v rovině desky. Hodnoty naměřené ve směru výrobního toku ( $\nu_{podél}$ ) a hodnoty kolmo na směr výrobního toku ( $\nu_{kolmo}$ ). Pod naměřenými hodnotami je pak uvedeno statistické vyhodnocení. Dle provedeného F-testu, jsem použil dvojstranný nepárový T-test pro výběry s různým rozptylem. T-test nám pak ukázal, že u naměřených hodnot je statisticky vysoce významný rozdíl a tedy, že hodnoty naměřené v rovině desky ve směru výrobního toku a kolmo na výrobní tok, se velmi liší. Takový výsledek

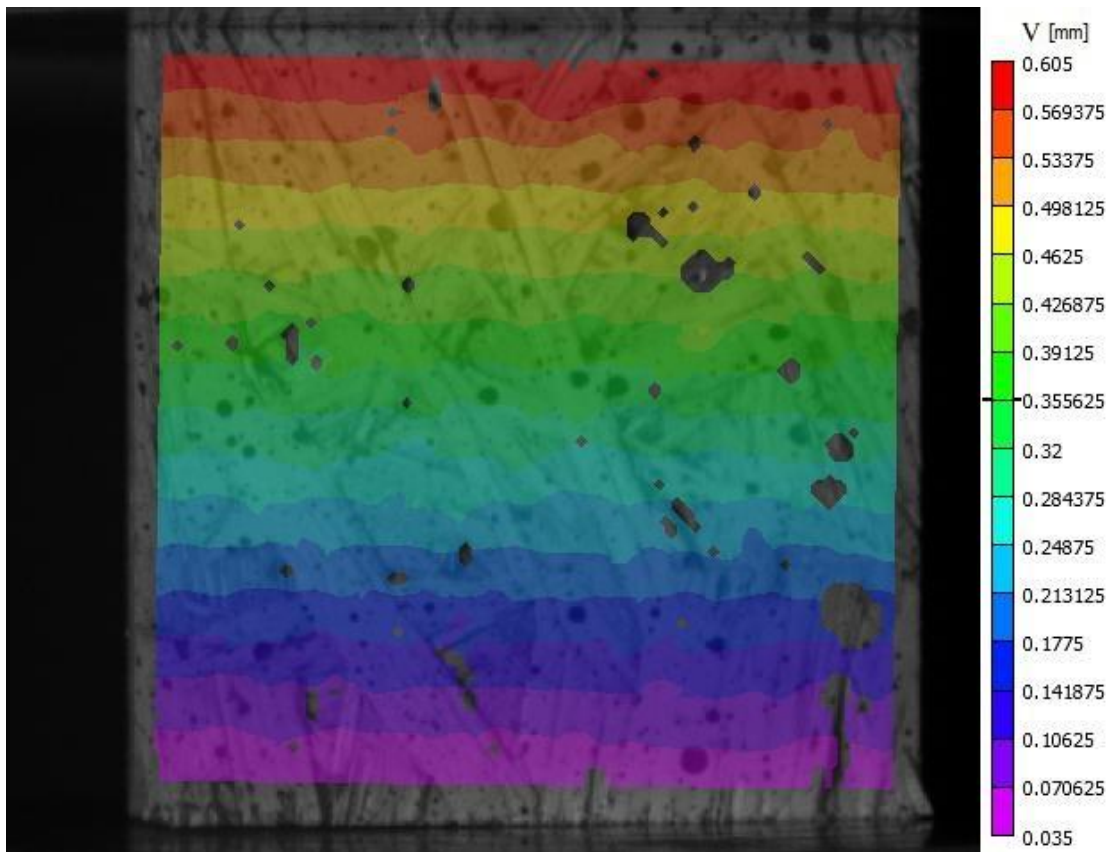
se dal očekávat u OSB desky, jelikož třísky jsou orientovány rovnoběžně se směrem výrobního toku a deska bude mít tedy v obou směrech různé vlastnosti.

Tab. 3 – statistické vyhodnocení hodnot poissonových čísel naměřených v rovině desky

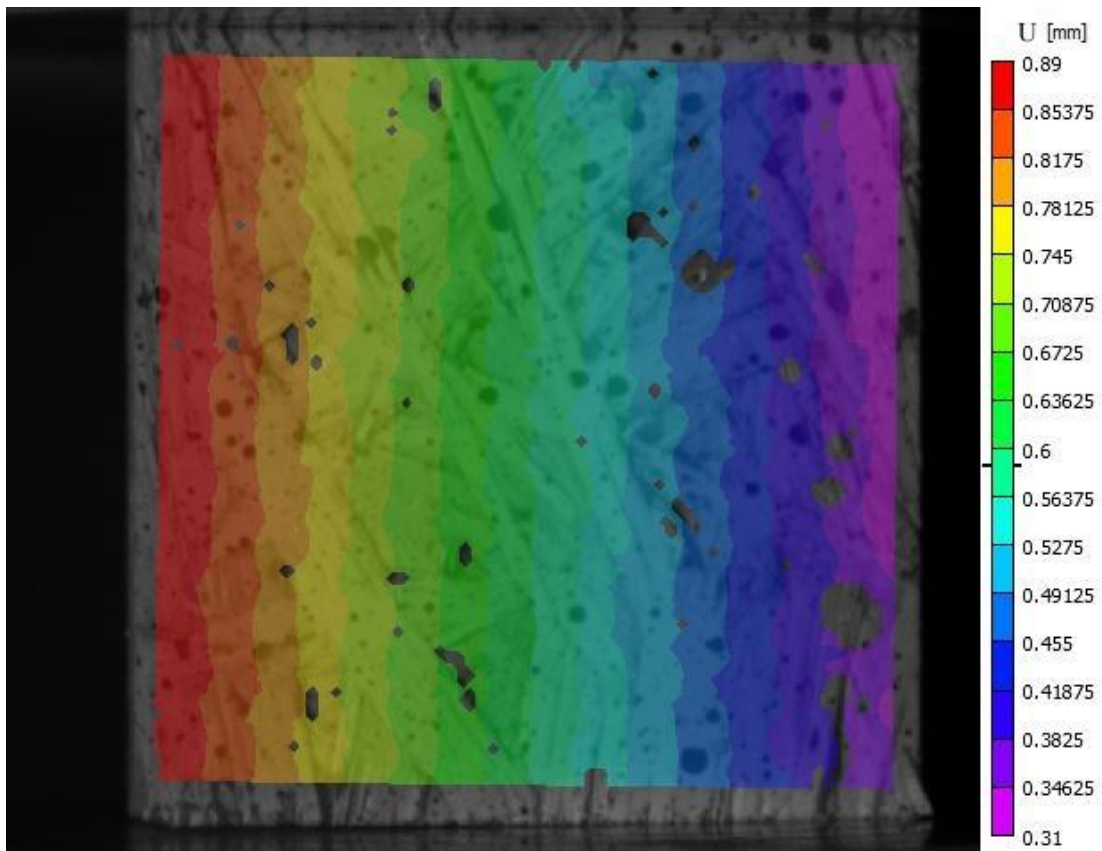
č. vzorku	$\nu_{podél} [-]$	$\nu_{kolmo} [-]$
1	0,1356	0,0789
2	0,0693	0,1015
3	0,096	0,0424
4	0,1318	0,0815
5	0,0586	0,2064
6	0,3943	0,0772
7	0,5284	0,2157
8	0,081	0,158
9	0,2191	0,193
10	0,1369	0,0847
11	0,2727	0,0844
12	0,3548	0,0809
13	0,366	0,1736
14	0,4383	0,1804
15	0,4049	0,067
16	0,5454	0,1208
17	0,171	0,1935
18	0,2889	0,1538
19	0,1212	0,1772
20	0,3125	0,1993
průměr	0,256335	0,13351
F-test	0,000049	
významnost	$p < 0,01$	
T-test	0,002883786	
významnost	$p < 0,01$	

Obrázky, které můžeme vidět níže, jsou vybrané snímky z programu VIC-3D, které nám ukazují, jak se posouvaly pixely v průběhu deformace. Obraz vzorku je rozdělen na části, které jsou barevně odlišené podle toho, o kolik se pixely (části materiálu) posouvaly. V pravé části obrázků je vždy stupnice, ze které lze vyčíst velikost posunu podle barev. Jsou zde uvedeny tři obrázky, na kterých můžeme pozorovat posunutí pixelů ve vertikální (*V*) a horizontální (*U*) rovině, ale i posunutí v prostoru, tedy na ose *Z*.

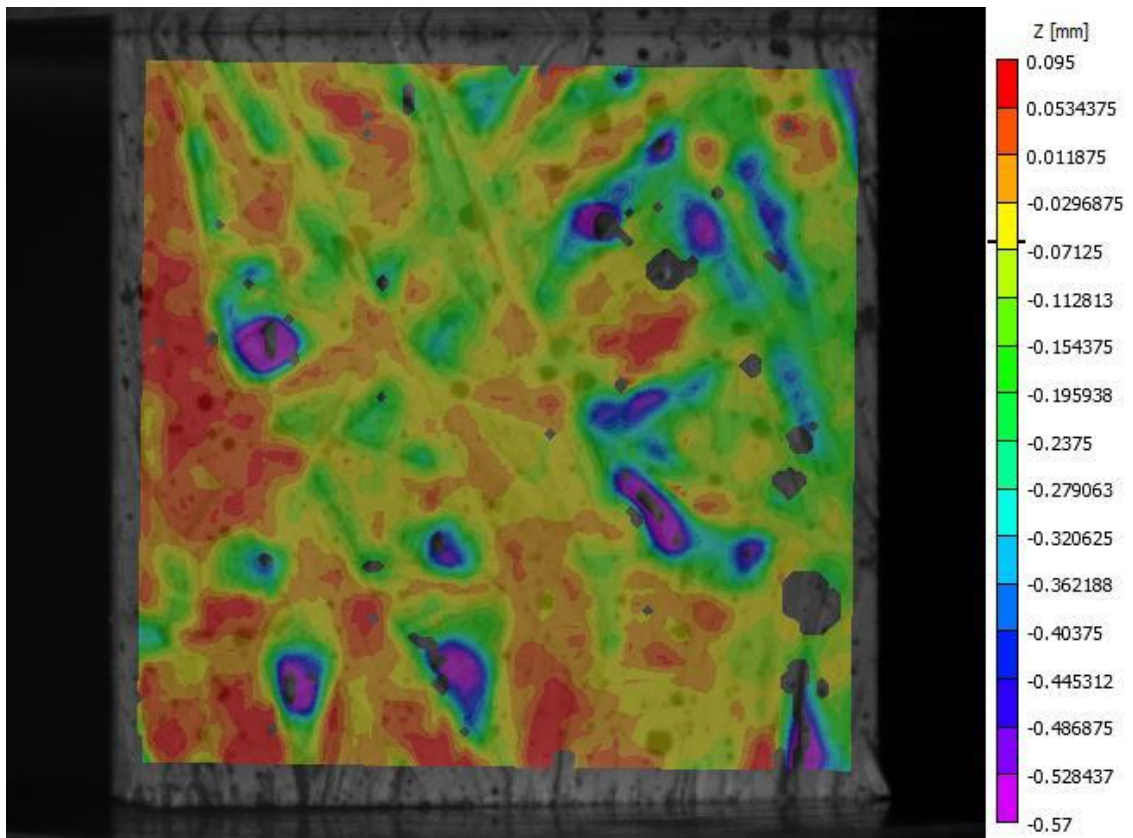




Obr. 11 – posunutí ve směru vertikální osy ( $V$ )

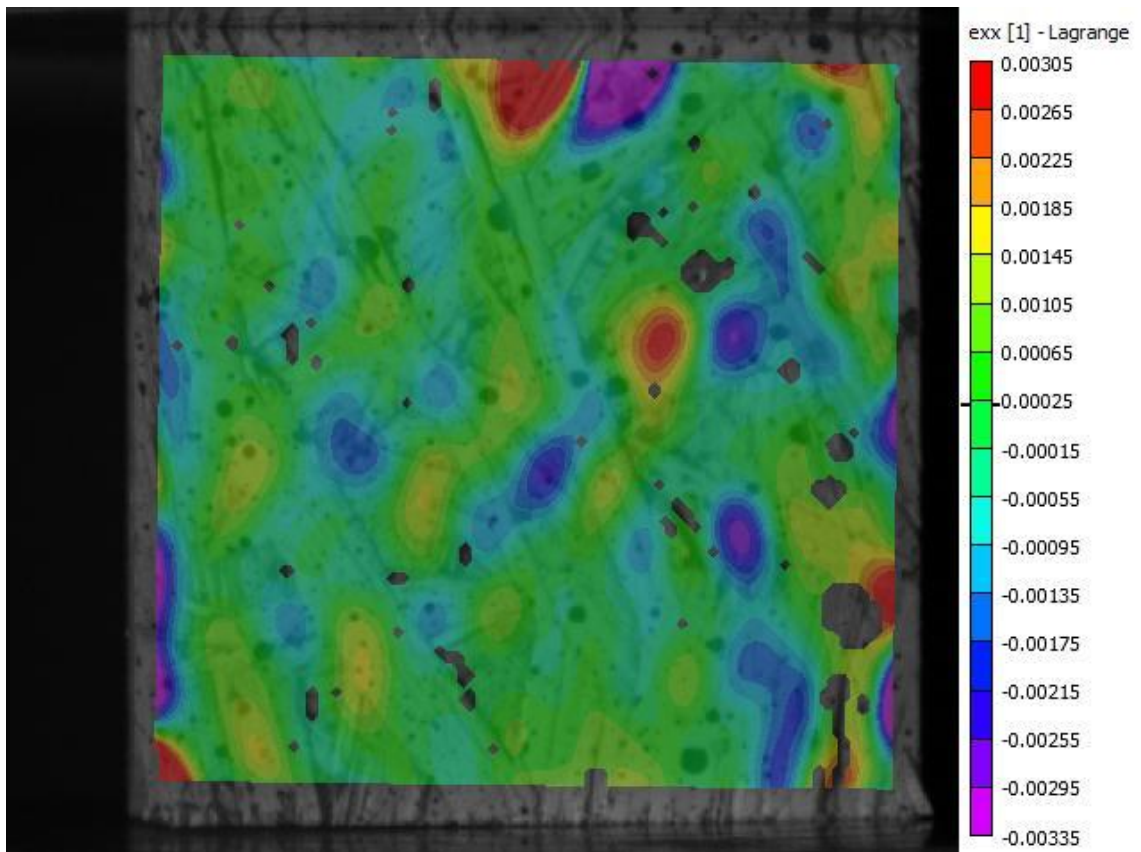


Obr. 12 – posunutí ve směru horizontální osy ( $U$ )

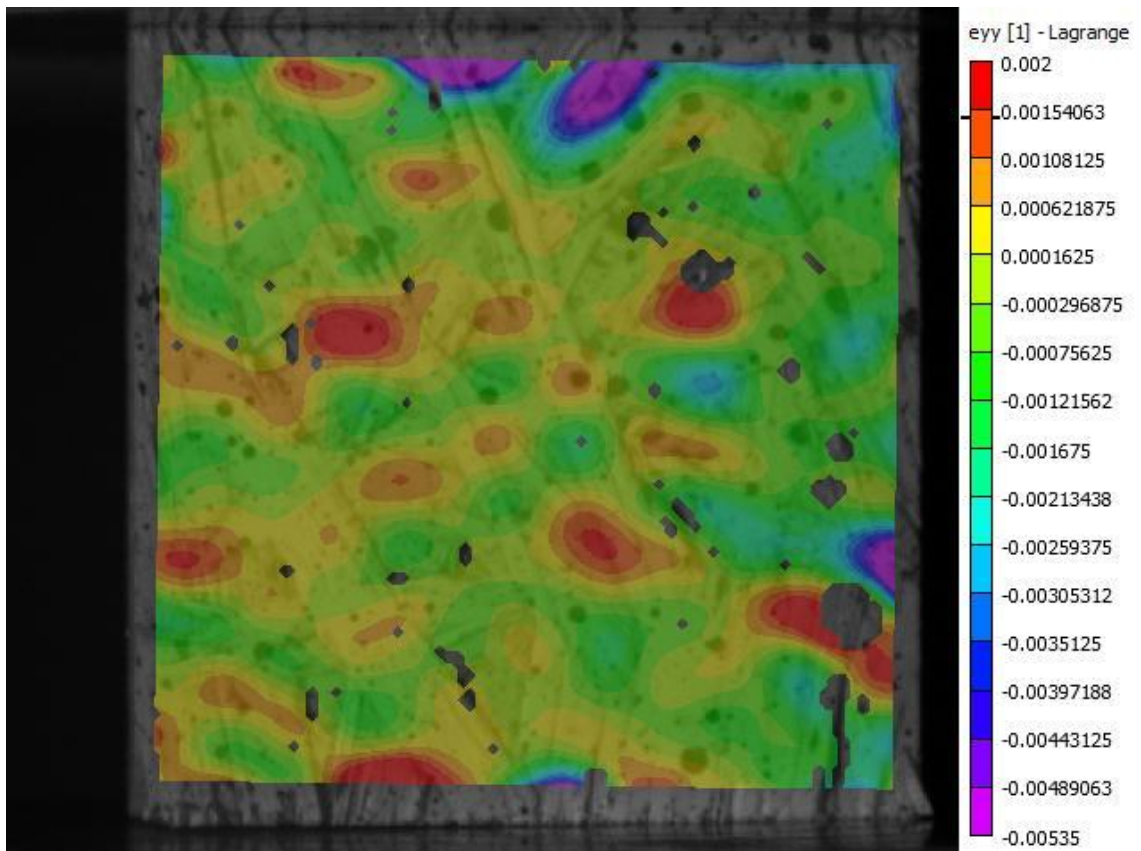


Obr. 13 – posunutí ve směru osy kolmé na snímanou rovinu (W)

Na níže zobrazených dvou obrázcích jsou vidět příčné deformace  $\epsilon_{xx}$  (obr. 14) a deformace podélné  $\epsilon_{yy}$  (obr. 15). Velikost deformací je opět zobrazena barevnou škálou, která je vysvětlena v pravých sloupcích na obrázcích.



Obr. 14 – příčná deformace  $e_{xx}$

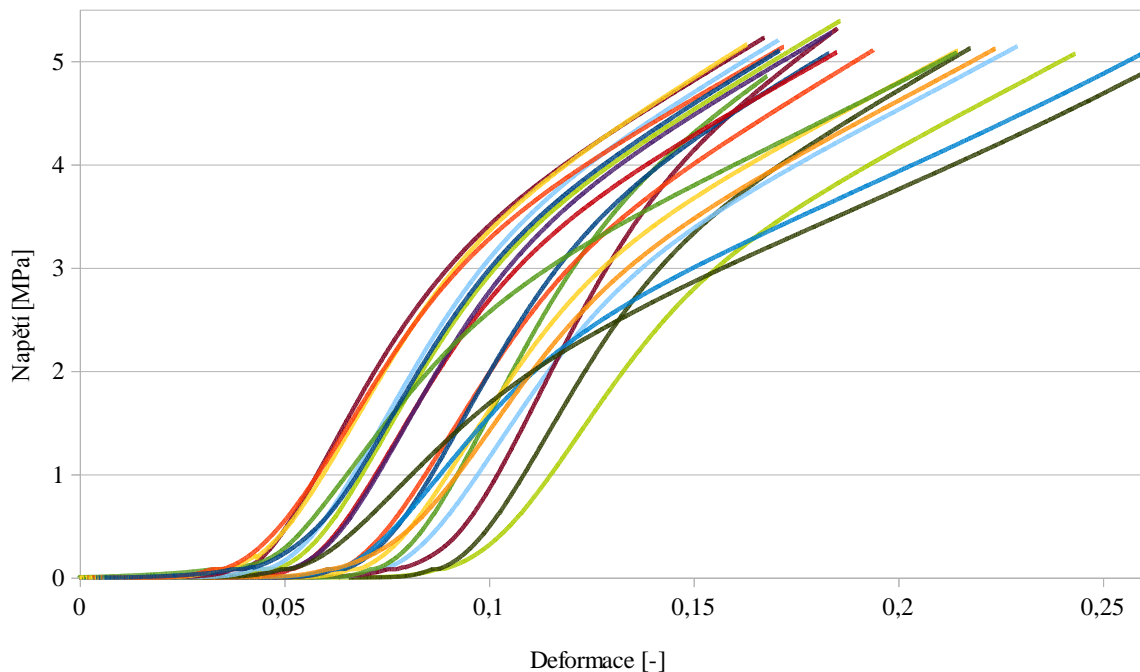


Obr. 15 – podélná deformace  $e_{yy}$

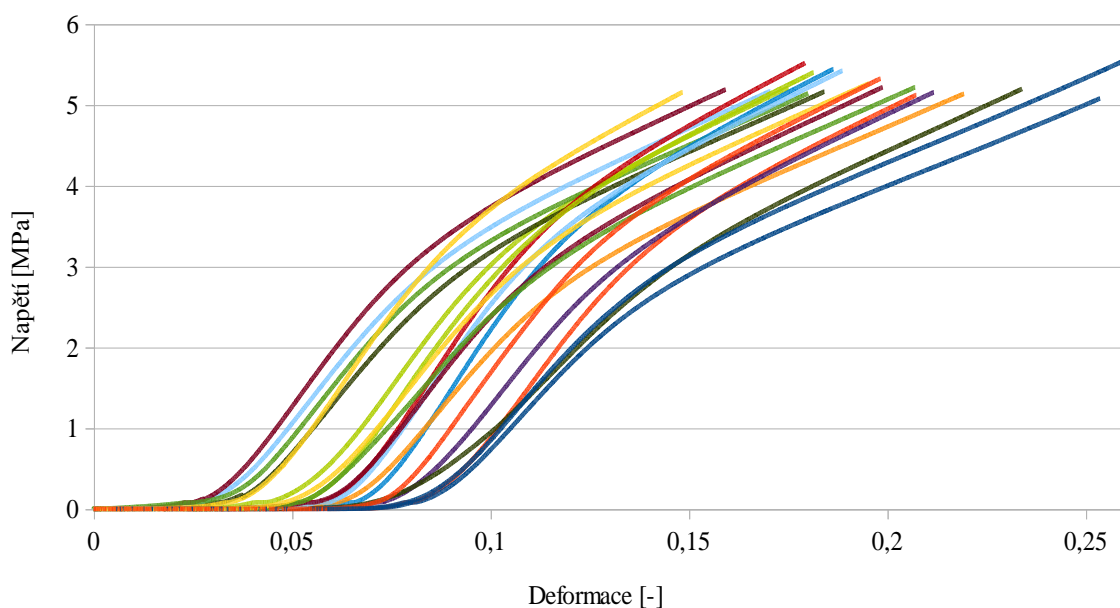
## 5.2. Zatížení tělísek kolmo k rovině desky

Na následujících dvou grafech jsou zobrazeny průběhy deformací dalších čtyřiceti vzorků, které byly namáhány kolmo k rovině desky. A to prvních dvacet ve směru výrobního toku a dalších dvacet kolmo na směr výrobního toku. V první části grafu vidíme náběhovou část, kdy se přitlačná deska přibližovala k tělísku. Dále je vidět lineární část, kdy probíhají vratné změny, až do konvenční meze pevnosti.

Při porovnání obou grafů můžeme sledovat, že grafy se od sebe skoro vůbec neliší, takže můžeme konstatovat, že průběh deformací v obou směrech kolmo na rovinu desky je stejný.



Graf 3 – závislost napětí na poměrné deformaci vzorků zatěžovaných kolmo k rovině desky a ve směru výrobního toku



Graf 4 – průběh deformace dvaceti vzorků, zatěžovaných kolmo k rovině desky, kolmo na směr výrobního toku

V níže uvedené tabulce jsou opět uvedeny průměrné hodnoty vždy všech čtyřiceti vzorků, které byly měřeny kolmo k rovině desky a to ve směru výrobního toku („podél“) a kolmo na výrobní tok („kolmo“).

Tab. 4 – Průměrné hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných kolmo k rovině desky

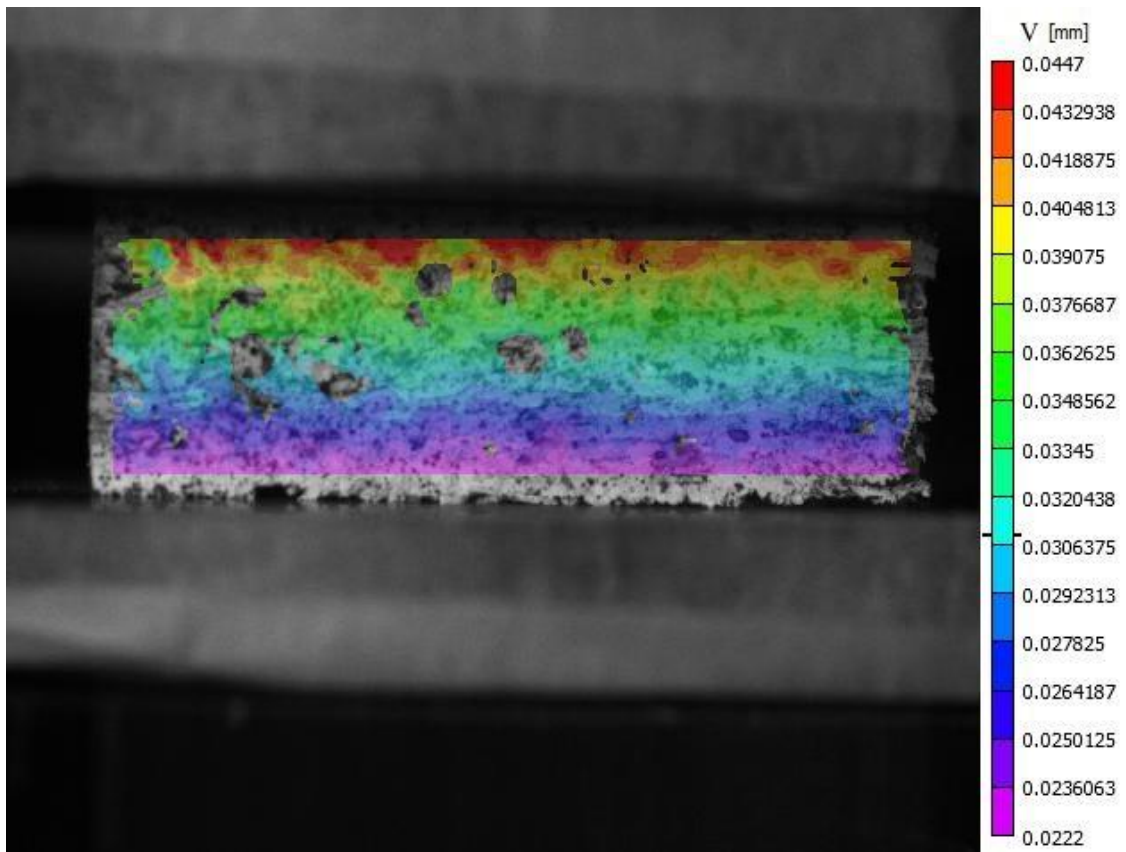
	$E [MPa]$	$\rho [kg/m^3]$	$\sigma [MPa]$	$\nu [-]$
podél	62,391	477,618	2,985	0,002
kolmo	62,903	477,212	3,059	0,005

Následující tabulka nám ukazuje naměřené hodnoty poissonových čísel měřených kolmo k rovině desky ve dvou směrech. Hodnoty naměřené ve směru výrobního toku ( $\nu_{podél}$ ) a hodnoty kolmo na směr výrobního toku ( $\nu_{kolmo}$ ). Pod naměřenými hodnotami je pak statistické vyhodnocení. Dle F-testu jsem zvolil dvojstranný nepárový T-test pro výběry se shodným rozptylem. Podle T-testu jsem zjistil, že u naměřených hodnot je statisticky nevýznamný rozdíl. To znamená, že v obou směrech kolmo k rovině desky nám vyšly podobné výsledky a mezi těmito směry nebyl rozdíl.

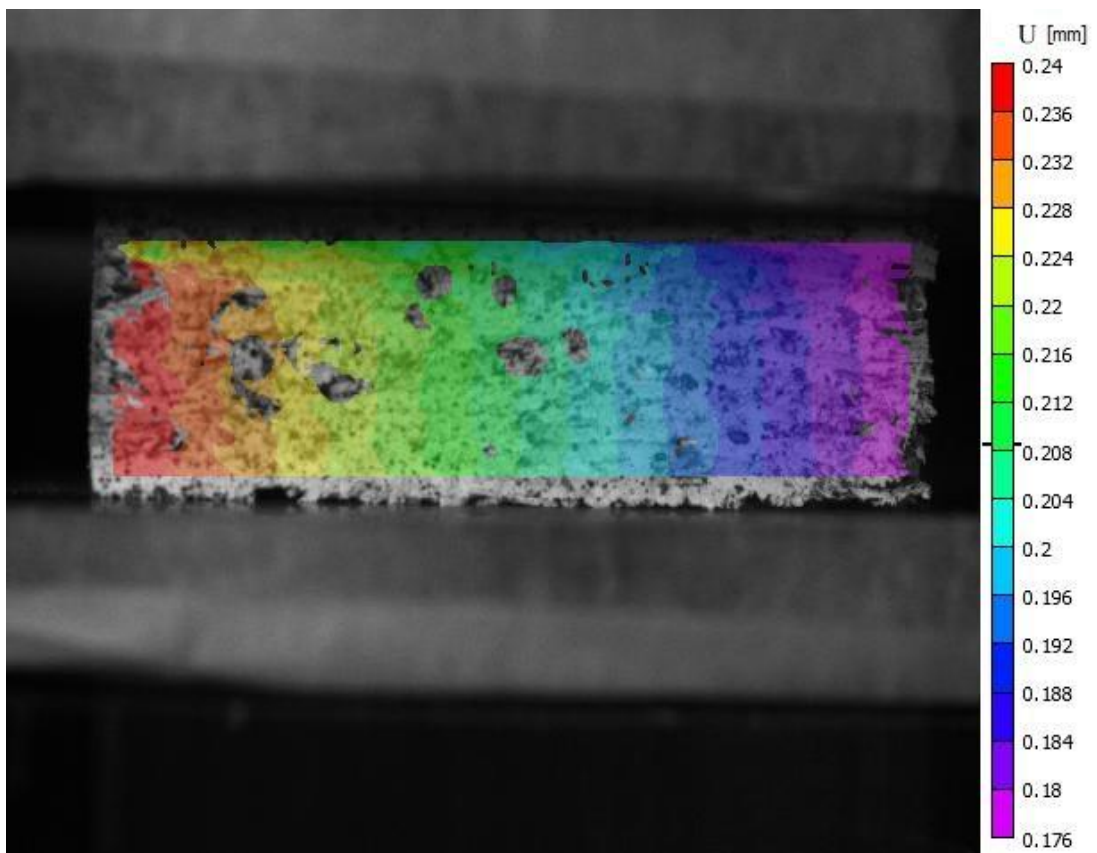
Tab. 5 – statistické vyhodnocení hodnot poissonových čísel naměřených kolmo k rovině desky

č. vzorku	v podél [-]	v kolmo [-]
1	0,0018	0,0099
2	0,0074	0,0075
3	0,0061	0,0147
4	-0,00048	0,0035
5	-0,00302	0,0076
6	0,00229	-0,0017
7	-0,0027	0,0033
8	0,0129	0,0049
9	-0,00212	-0,0096
10	-0,0034	0,008
11	0,0043	-0,0032
12	0,0209	0,0072
13	0,0049	0,0121
14	0,005	-0,0036
15	-0,00035	0,0036
16	-0,00077	0,0016
17	-0,00229	0,004
18	0,0095	0,0107
19	0,00099	0,0106
20	-0,013	0,0055
průměr	0,0023975	0,00483
F-test	0,46177619	
významnost	$p > 0,05$	
T-test	0,24791804	
významnost	$p > 0,05$	

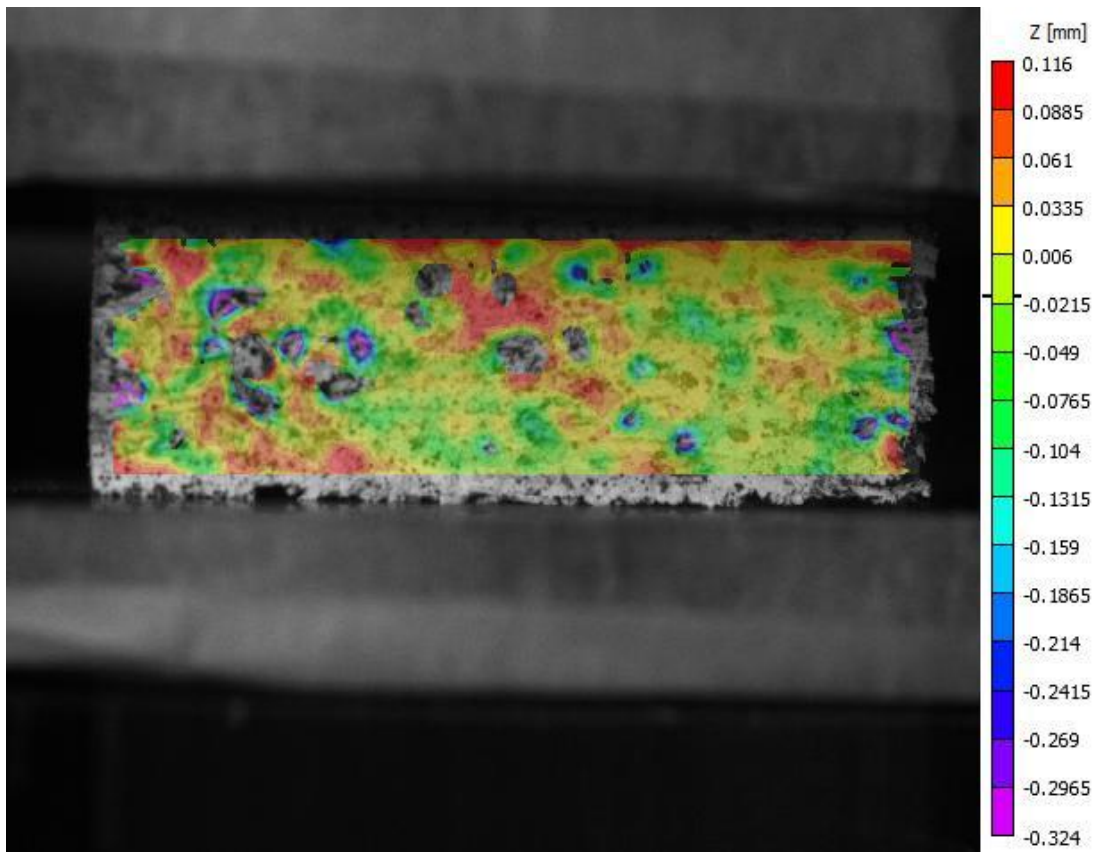
Tři níže uvedené obrázky nám opět ukazují posunutí pixelů při deformaci ve vertikální ( $V$ ) a horizontální ( $U$ ) rovině a také posunutí na ose  $Z$ . Tentokrát je to pro tělesa stlačované kolmo k rovině desky.



Obr. 16 – posunutí ve směru vertikální osy ( $V$ )



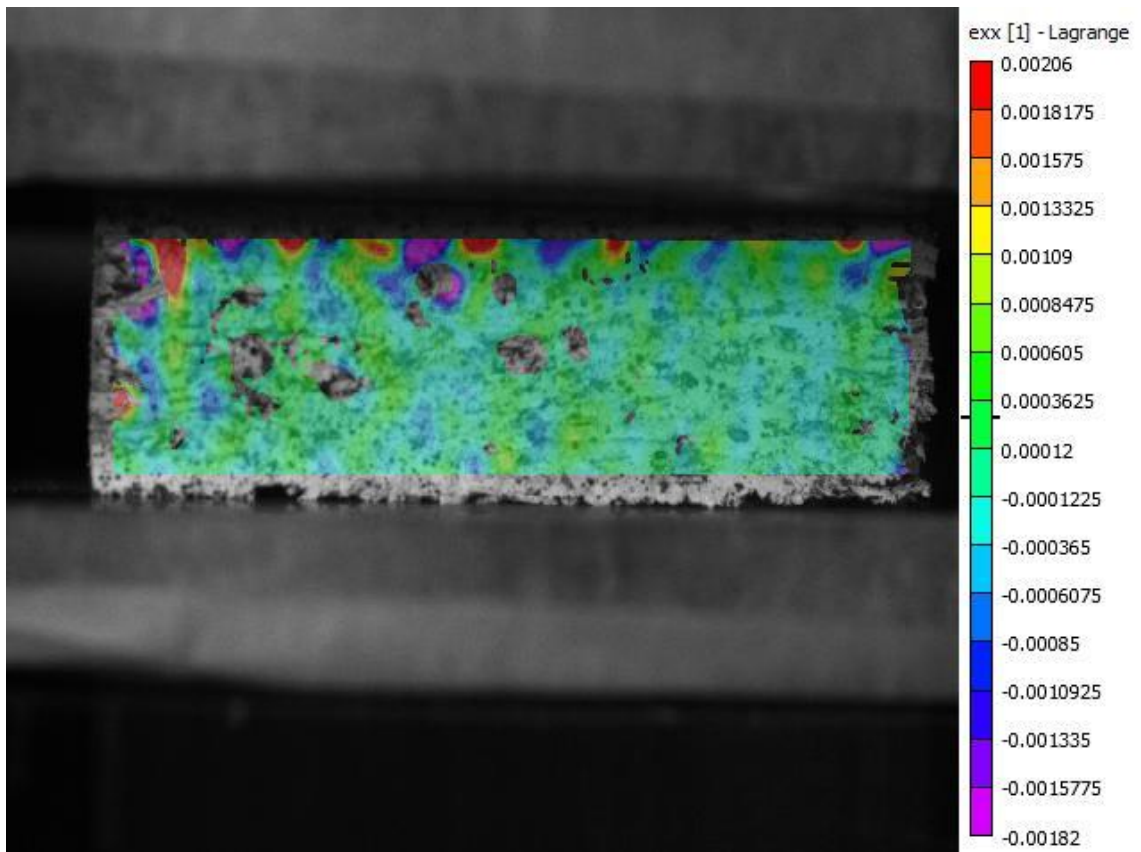
Obr. 17 – posunutí ve směru horizontální osy ( $U$ )



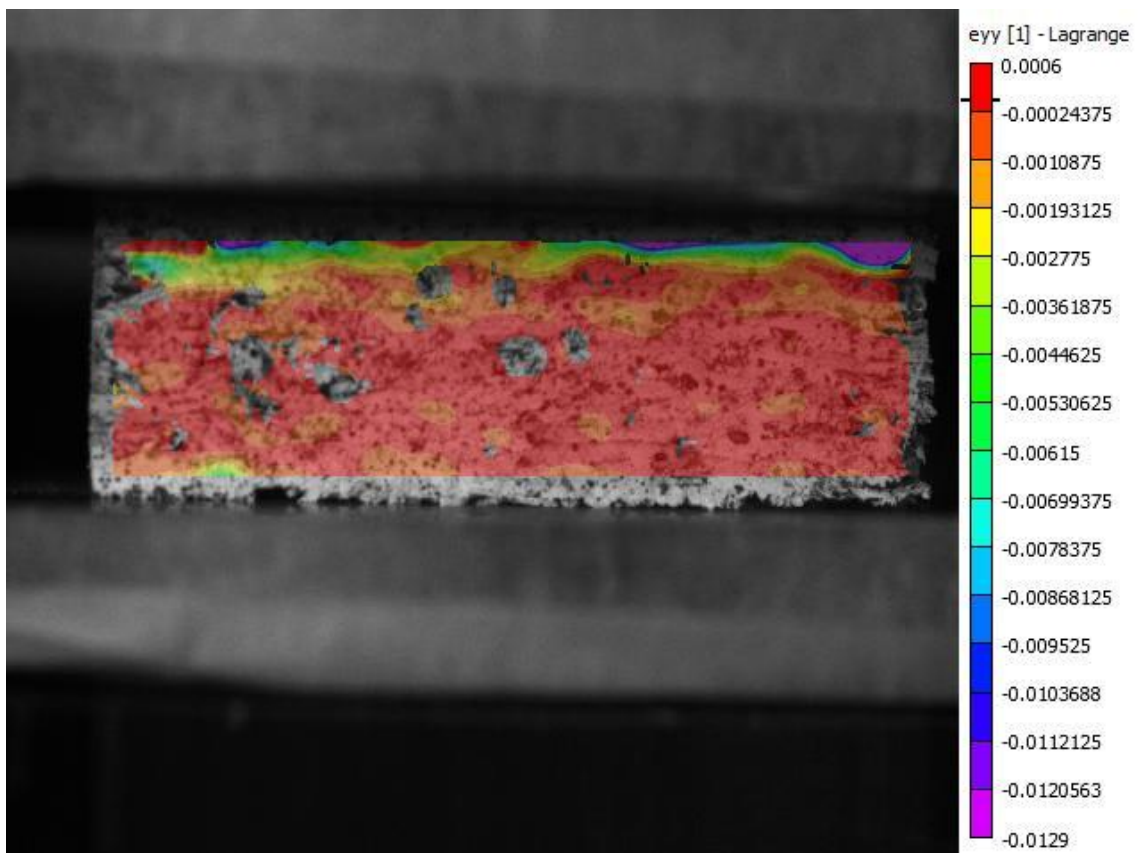
Obr. 18 – posunutí ve směru osy kolmé na snímanou rovinu (W)

Zde jsou opět na dvou obrázcích zobrazené příčné  $e_{xx}$  (obr. 19) a podélné  $e_{yy}$  (obr. 20) deformace, ovšem pro tělesa zatěžované kolmo k rovině desky.





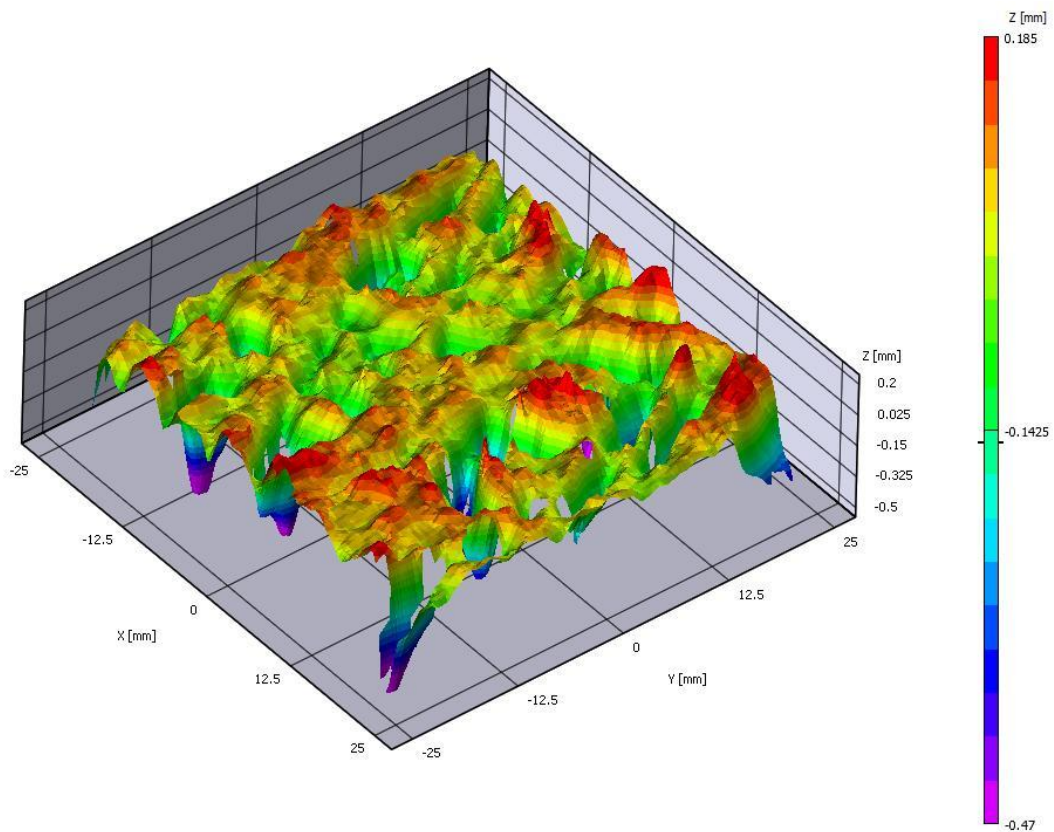
Obr. 19 – příčná deformace  $e_{xx}$



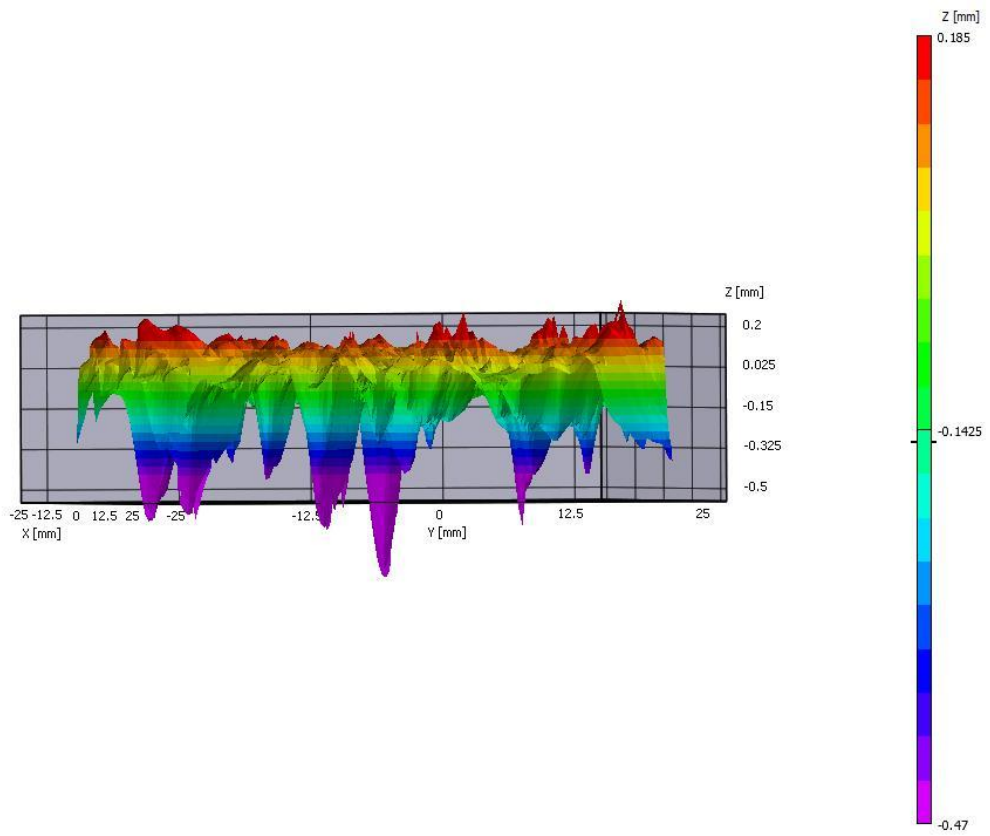
Obr. 20 – podélná deformace  $e_{yy}$

### 5.3. Zobrazení zatěžovaného tělíska v rovině desky v 3D

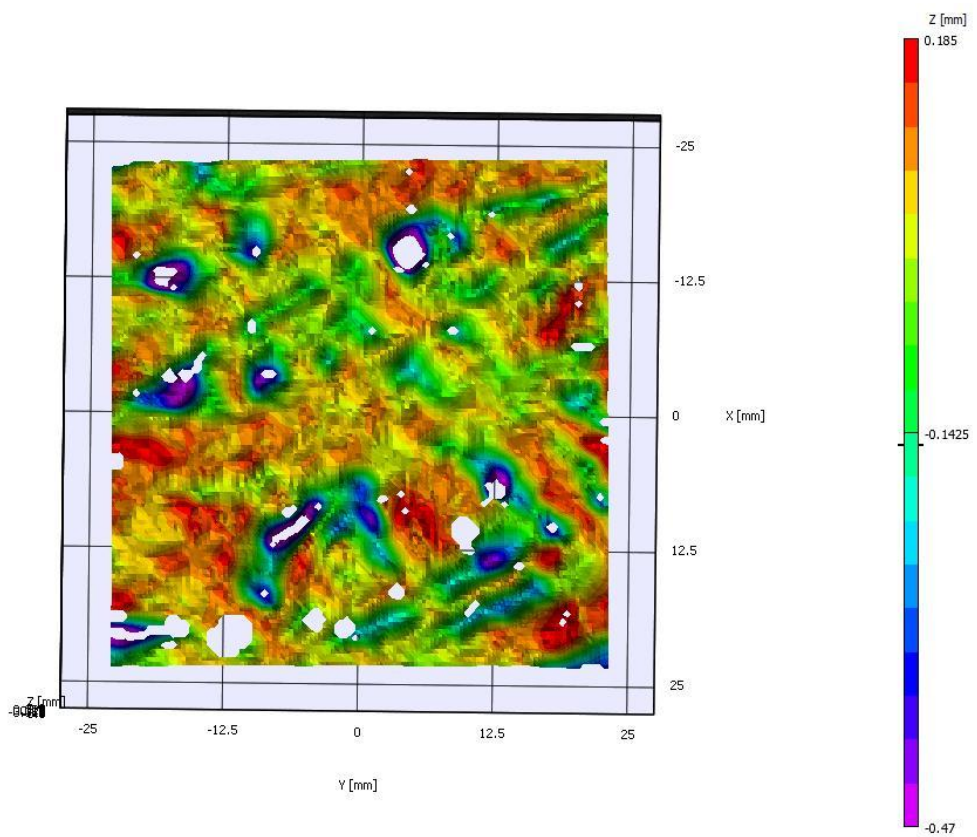
Na třech níže zobrazených obrázcích můžeme vidět výstup z programu VIC-3D, kdy bylo zatěžováno tělíska v rovině desky. Díky snímání průběhu zkoušky dvěma kamerami jsme mohli získat 3D snímky povrchu tělísek (morfologie), ze kterých je patrně vidět členitost materiálu (prohlubně a výstupky), respektive orientace jednotlivých třísek. Jak je vidět, tak se tato metoda dá použít na mapování povrchu vzorků. U obrázků jsou opět barevné stupnice, podle kterých lze určit míru členitosti vzorku – profil.



Obr. 21 – šikmý pohled na zatěžované těleso



Obr. 22 – boční pohled na zatěžované těleso – rovina  $xz$



Obr. 23 – pohled na zatěžované těleso – rovina  $yx$

## 6. Závěr

V této bakalářské práci bylo cílem zjistit poissonova čísla dřevotřískového kompozitu OSB pomocí bezkontaktní optické metody korelace digitálního obrazu. Pro tyto účely bylo využito systému VIC-3D, který nám umožnil změřit a vypočítat posunutí a poměrné deformace na povrchu vzorků.

Vypočtená data jsme poté statisticky vyhodnotili (viz. Tab. 3 a Tab. 5) a zjistili, že naměřená data v obou směrech (ve směru výrobního toku a kolmo na směr výrobního toku) v rovině desky se statisticky výrazně liší a tedy deska vykazuje v obou směrech odlišné vlastnosti. Ovšem hodnoty měřené v obou směrech kolmo k rovině desky se shodují a nevykazují statistické odlišnosti. V těchto dvou směrech kolmo k rovině desky vykazuje OSB deska shodné vlastnosti při tlaku.

## **Summary**

This bachelor's thesis is aimed to determination of Poisson numbers of oriented strand boards (OSB) by using non-contact optical method of digital image correlation. For these purposes there was used the system VIC-3D, which enabled us to measure and calculate the slide and proportional deformation on the surface of the samples.

Thereafter we statistically evaluated the calculated data (see Table 3 and Table 5) and found out that measured data in both directions (in direction of the production flow and vertically to the production flow) of the level of the board were significantly statistically different, and therefore the board showed different attributes in both directions. On the other hand, values measured in both directions vertical to the level of the board were identical and did not show any statistical differences. In these two directions vertical to the level of the board, the OSB board showed identical attributes while being under the pressure.

## 7. Použitá literatura

HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007, 253 s. ISBN 978-80-7375-034-3.

KRÁL, Pavel a Jaroslav HRÁZSKÝ. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005, 206 s. ISBN 80-715-7878-9.

LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004, 154 s. ISBN 80-7043-273-x.

DRÁPELA, Karel a Jan ZACH. *Statistické metody I.: pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999, 135, [16] s. ISBN 80-715-7416-3

DRÁPELA, Karel a Jan ZACH. *Statistické metody II: (pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství)*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000, 144, [8] s. ISBN 80-715-7474-0

HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998, 124 s. ISBN 80-715-7347-7.

BODIG, Jozef a Benjamin A JAYNE. *Mechanics of wood and wood composites*. Reprint ed. Malabar, Fla.: Krieger Pub., 1993, xxi, 712 p. ISBN 08-946-4777-6.

SHARPE, William N. *Springer handbook of experimental solid mechanics*. Berlin: Springer, c2008, 1098 s. ISBN 978-0-387-26883-5.

## 8. Seznam obrázků

Obr. 1 – Rozložení sil v průřezu hranolu dřeva při jednoosém tahu (Požgaj, 1997)

Obr. 2 – a) jednoprvkový, b) dvouprvkový, c) tříprvkový tenzometr

Obr. 3 – extenzometr typu „clip-on“

Obr. 4 – moiré efekt na hřebenech (a) a na drátěných nádobách (b)

Obr. 5 – obrazce tloušťky vzorku před (a) a po (b) zatížení v tahu. Moiré efekt změny tloušťky vzorku po zatížení v tahu (c). Testovaný vzorek (d). Optický systém (e).

Obr. 6 – sledování („trackování“) posunu referenčního bodu v průběhu deformace (Correlated solutions, 2010)

Obr. 7 – trackování posunu subsetu v průběhu deformace (Correlated solutions, 2010)

Obr. 8 – snímky kalibrační destičky v různých pozicích (Sutton, 2008)

Obr. 9 – zkušební stroj ZDM 51, dvě kamery a osvětlení

Obr. 10 – tělísko s naneseným kontrastním vzorem v čelistech zkušebního stroje

Obr. 11 – posunutí pixelů při deformaci na vertikální ose  $V$

Obr. 12 – posunutí pixelů při deformaci na horizontální ose  $U$

Obr. 13 – posunutí pixelů při deformaci na ose  $Z$

Obr. 14 – příčná deformace  $e_{xx}$

Obr. 15 – podélná deformace  $e_{yy}$

Obr. 16 – posunutí pixelů při deformaci na vertikální ose  $V$

Obr. 17 – posunutí pixelů při deformaci na horizontální ose  $U$

Obr. 18 – posunutí pixelů při deformaci na ose  $Z$

Obr. 19 – příčná deformace  $e_{xx}$

Obr. 20 – podélná deformace  $e_{yy}$

Obr. 21 – šikmý pohled na zatěžované těleso

Obr. 22 – boční pohled na zatěžované těleso – rovina  $xz$

Obr. 23 – pohled na zatěžované těleso – rovina  $yx$

## 9. Seznam grafů

Graf 1 – závislost deformace na napětí, při tlaku v rovině desky ve směru výrobního toku

Graf 2 – závislost deformace na napětí, při tlaku v rovině desky kolmo na směr výrobního toku

Graf 3 – průběh deformace dvaceti vzorků, zatěžovaných kolmo k rovině desky, ve směru výrobního toku

Graf 4 – průběh deformace dvaceti vzorků, zatěžovaných kolmo k rovině desky, kolmo na směr výrobního toku

## 10. Seznam tabulek

Tab. 1 – Typy OSB podle EN 300 a podle ČSN EN 300

Tab. 2 – Průměrné hodnoty modulu pružnosti, hustoty, napětí a poissonova čísla vzorků zatěžovaných v rovině desky

Tab. 3 – statistické vyhodnocení hodnot poissonových čísel naměřených v rovině desky

Tab. 4 – Průměrné hodnoty modulu pružnosti, hustoty, napětí a poissonova čísla vzorků zatěžovaných kolmo k rovině desky

Tab. 5 – statistické vyhodnocení hodnot poissonových čísel naměřených kolmo k rovině desky

Tab. 6 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných v rovině desky ve směru výrobního toku

Tab. 7 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných v rovině desky kolmo na směr výrobního toku

Tab. 8 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných kolmo k rovině desky ve směru výrobního toku

Tab. 9 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných kolmo k rovině desky, kolmo na směr výrobního toku



## 11. Příloha

Tab. 6 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných v rovině desky ve směru výrobního toku

č. vzorku	$E$ [MPa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [MPa]	$\nu$ [-]
1	373,670	479,289	6,930	0,136
2	463,110	497,444	8,264	0,069
3	507,760	498,667	8,125	0,096
4	498,470	503,333	7,864	0,132
5	392,250	462,422	5,892	0,059
6	582,130	499,422	8,166	0,394
7	393,300	459,711	6,850	0,528
8	461,900	454,556	6,972	0,081
9	386,160	480,333	6,923	0,219
10	486,270	463,400	6,891	0,137
11	490,030	482,311	7,909	0,273
12	899,500	460,178	8,456	0,355
13	1059,110	496,867	10,282	0,366
14	1100,520	477,044	9,823	0,438
15	1203,150	515,089	10,834	0,405
16	851,600	487,356	8,254	0,545
17	807,100	454,689	8,388	0,171
18	952,700	493,289	9,296	0,289
19	1081,200	512,489	10,303	0,121
20	687,300	454,333	6,563	0,313
průměr	683,862	481,611	8,149	0,256

Tab. 7 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných v rovině desky kolmo na směr výrobního toku

č. vzorku	$E$ [MPa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [MPa]	$\nu$ [-]
1	509,385	486,889	5,850	0,079
2	533,389	478,511	6,255	0,102
3	611,318	467,778	6,402	0,042
4	614,807	492,356	6,424	0,082
5	536,078	466,800	6,255	0,206
6	620,425	466,689	6,836	0,077
7	653,537	478,689	6,460	0,216
8	598,684	455,067	6,459	0,158
9	736,810	486,356	7,892	0,193
10	641,570	484,511	6,198	0,085
11	591,150	487,711	5,949	0,084
12	620,800	475,867	6,641	0,081
13	738,210	503,378	7,772	0,174
14	502,190	472,933	4,800	0,180
15	620,100	492,978	6,797	0,067
16	624,430	456,156	6,798	0,121
17	738,500	482,911	7,360	0,194
18	626,570	487,356	6,677	0,154
19	510,600	470,244	6,203	0,177
20	620,100	469,533	6,225	0,199
průměr	612,433	478,136	6,513	0,134

Tab. 8 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných kolmo k rovině desky ve směru výrobního toku

č. vzorku	$E [Mpa]$	$\rho [kg/m^3]$	$\sigma [Mpa]$	$\nu [-]$
1	66,917	480,200	3,145	0,002
2	63,282	477,356	2,860	0,007
3	67,741	491,378	3,027	0,006
4	50,628	452,289	2,500	0,000
5	71,547	496,533	2,926	-0,003
6	68,664	489,644	3,120	0,002
7	37,936	424,622	2,110	-0,003
8	67,486	489,978	2,935	0,013
9	68,617	483,956	3,017	-0,002
10	55,210	456,422	2,831	-0,003
11	65,331	485,867	2,973	0,004
12	44,191	437,156	2,299	0,021
13	69,529	491,289	3,332	0,005
14	61,973	494,622	3,351	0,005
15	59,865	472,444	3,002	0,000
16	73,502	504,578	3,398	-0,001
17	76,029	513,778	3,774	-0,002
18	57,461	467,889	2,948	0,010
19	65,928	482,200	3,018	0,001
20	55,980	460,156	3,134	-0,013
průměr	62,391	477,618	2,985	0,002

Tab. 9 – Naměřené hodnoty modulu pružnosti, hustoty, meze pevnosti a poissonova čísla vzorků zatěžovaných kolmo k rovině desky, kolmo na směr výrobního toku

č. vzorku	$E [Mpa]$	$\rho [kg/m^3]$	$\sigma [Mpa]$	$\nu [-]$
1	55,981	451,622	2,590	0,010
2	65,922	493,044	3,204	0,008
3	60,741	472,733	3,191	0,015
4	54,342	465,600	2,992	0,004
5	62,764	472,111	2,953	0,008
6	70,296	490,489	3,083	-0,002
7	48,176	448,644	3,107	0,003
8	69,038	498,467	3,304	0,005
9	60,212	474,156	3,134	-0,010
10	57,378	468,933	2,756	0,008
11	74,216	512,444	3,611	-0,003
12	74,848	502,533	3,282	0,007
13	52,600	442,022	2,704	0,012
14	65,589	474,444	3,140	-0,004
15	72,014	493,044	3,204	0,004
16	60,604	464,711	2,879	0,002
17	66,400	486,111	2,986	0,004
18	61,404	475,622	2,931	0,011
19	58,823	471,711	2,986	0,011
20	66,710	485,800	3,140	0,006
průměr	62,903	477,212	3,059	0,005