



**HODNOCENÍ MECHANICKÝCH
VLASTNOSTÍ ŠITÝCH SPOJŮ PŘI
PŮSOBENÍ VÍCEOSÉHO NAMÁHÁNÍ**

Ing. Natalia Kovalova

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: **Hodnocení mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání**

Autor: **Ing. Natalia Kovalova**

Obor doktorského studia: **Textilní technika a materiálové inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Školitel: **doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.**

Složení komise pro obhajobu disertační práce:

předseda:
prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D. FT TUL, katedra materiálového inženýrství

místopředseda:
prof. Ing. Luboš Hes, DrSc., Dr.h.c. FT TUL, katedra hodnocení textilií

prof. Ing. Karel Adámek, CSc. (oponent)

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs FT TUL, katedra oděvnictví

doc. Ing. Josef Dvořák, CSc.

doc. Ing. Michal Petřů, Ph.D. FS TUL, katedra částí a mechanismů strojů

doc. Ing. Pavel Pokorný, Ph.D. FT TUL, katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Druhý oponent, který není členem komise:
doc. Ing. David Cirkel, Ph.D. FS TUL, katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti

S disertační prací je možno seznámit se na studijním oddělení doktorského studia Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.

Liberec, 2023

Anotace

Tato disertační práce předkládá kompletní postup od návrhu po realizaci testovacího přípravku. Abychom měli představu o skutečné pevnosti švu v potahu autosedaček, šitý spoj by měl být namáhán ve více osách najednou. To však vyžaduje teoretický a praktický výzkum, který je orientovaný na vývoj praktických metod, které by našli uplatnění v procesu navrhování technických konfekcí pro autosedačky. Proto v rámci disertační práce bylo vyvinuto zařízení, které umožňuje měření pevnosti šitých spojů při víceosém namáhání, to znamená podle podmínek, které se přibližují k reálným podmínkám provozu produktů konečného využití. Nosným tématem disertační práce je studium a popis mechanických vlastností šitých spojů v potazích automobilových sedaček při působení víceosého namáhání, a výsledky následného testování pevnosti šitých spojů. Experimentální přípravek, který v rámci disertační práce byl postavený, slouží jako nástroj pro testování sférického zatížení plošných textilií, ale i šitých spojů.

Pro snazší orientaci je disertační práce rozdělena do 4 kapitol. První kapitola práce, po uvedení autorovy motivace a cílů, se zabývá dovednostmi o technických textiliích a konfekcích, jejich aplikací, odvětví, funkcích a požadavcích. Následující kapitola se zabývá popisem nezbytných teoretických znalostí o způsobech namáhání šitých spojů, faktorech, které tato namáhání ovlivňují, o mechanických vlastnostech švů a způsobech jejich stanovení. Součástí kapitoly je také odhad budoucích hodnot pevnosti švu pomocí teoretického výpočtu.

Další část práce je praktická a pojednává o experimentální analýze a stanovení mechanických charakteristik šitých spojů při působení víceosého namáhání pomocí postaveného přípravku a navržené metody. V kapitole nechybí zjišťování vlivu různých faktorů na pevnost šitých spojů při multiaxiálním namáhání, inovace, ověření metodiky testování a způsob výpočtu poměrného prodloužení švů.

Následují praktické aplikace numerického modelování šitého spoje s využitím nejmodernějších simulačních nástrojů, včetně jejich verifikace a úprav materiálových modelů, vhodných pro nalezení optimálních parametrů součástí šitého spoje s ohledem na reálné okrajové podmínky definované charakterem působícího zatížení, na bázi výsledků získaných z provedených experimentů zjištění mechanických vlastností plošných a délkových textilií.

V závěru práce je posouzena vhodnost navržené metody testování pevnosti šitých spojů při víceosém namáhání jsou uvedeny možné příležitosti pro budoucí rozvoj a inovace v dané oblasti.

Klíčová slova: Pevnost šitých spojů, víceosé namáhání, numerické modelování

Abstract

This dissertation presents the complete procedure from the design to the implementation of the test fixture. To have an idea of the actual strength of the seam in the car seat cover, the sewn joint should be stressed in multiple axes simultaneously. To have an idea of the actual strength of the seam in the car seat cover, the sewn joint should be stressed in several axes at the same time. However, it requires theoretical and practical research that would find application in the process of designing technical confections for car seats. Therefore, in this thesis, a device was developed that allows the measurement of the strength of sewn seams under multi-axial loading, i.e., under conditions that are close to the real operating conditions of end-use products. The main topic of the dissertation is the study and description of the mechanical properties of sewn seams in car seat covers under multi-axial loading and the results of subsequent testing of the strength of sewn seams. The experimental device, which was built within the framework of the dissertation, serves as a tool for testing the spherical load of not only plain textiles, but also of sewn seams.

For easier orientation, the dissertation is divided into 4 chapters. The first chapter of the thesis, after stating the author's motivation and goals, deals with technical textiles and confections, its application, industry, functions, and requirements. The following chapter deals with the description of the necessary theoretical knowledge about the methods of sewn seams stressing, the factors that influence these stresses, the mechanical properties of seams and the methods of their determination. The chapter also includes an estimate of future seam strength values using a theoretical calculation.

The next part of the work is practical and deals with the experimental analysis and determination of the mechanical characteristics of sewn seams under the action of multiaxial stress with the help of the built device and the proposed method. The chapter includes the investigation of the influence of various factors on the strength of sewn seams under multiaxial loading, innovations, verification of its testing methodology and the method of calculating the relative elongation of seams.

Practical applications of numerical modelling of the sewn seam using the latest simulation tools follow, including their verification and modification of material models, suitable for finding the optimal parameters of the sewn seam components with respect to the real boundary conditions defined by the nature of the applied load, based on the results obtained from the experiments carried out to determine the mechanical properties of fabrics and threads.

At the end of the thesis, the appropriateness of the proposed method of testing the strength of sewn seams under multiaxial loading is assessed and possible opportunities for future development and innovation in the given area are presented.

Keywords: Strength of sewn seams, multiaxial loading, numerical modeling

Obsah

1	Přehled o současném stavu problematiky, který je předmětem disertační práce, s odkazy na použité prameny	1
2	Cíle disertační práce.....	1
3	Popis vlastního řešení.....	2
3.1	Popis přípravku	2
3.2	Podstata metody	3
3.3	Princip metody a postup měření	4
3.4	Experimentální stanovení pevnosti šitých spojů při multiaxiálním namáhání.....	5
3.4.1	Fáze 1. Testování funkčnosti zkušebního přípravku. Zjištění vlivu typu šicích nití na pevnost šitého spoje	5
3.4.2	Fáze 2. Testování funkčnosti zkušebního přípravku. Zjištění vlivu typu šitého a šicího materiálu na pevnost švu.....	6
3.4.3	Fáze 3. Inovace a ověření metodiky měření a vyhodnocení pevnosti švu autopotahů při víceosém namáhání	7
3.5	Analýza pevnosti šitých spojů při působení uniaxiálního namáhání na základě teoretického výpočtu	9
3.6	Výpočet teoretické tažnosti švu při víceosém namáhání.....	11
4	Numerický model šitého spoje	13
4.1	Materiály a metodologie	13
4.2	Tvorba numerického modelu šitého spoje pro víceosé namáhání švu.....	15
4.2.1	Vytvoření modelové křivky švu	16
4.1	Vytvoření CAD modelu sestavy	16
4.1.1	Materiálové modely poddajných částí FEM modelu.....	18
4.1.1	Specifikace kontaktních vazeb ve FEM modelu	18
4.1.2	Zadání okrajových a zatěžovacích podmínek do FE modelu	20
4.1.3	Generování sítě konečných prvků	21
4.1.1	Výsledky simulace multiaxiálního namáhání šitého spoje.....	22
5	Zhodnocení výsledků pro vědní obor nebo pro praxi.....	24
6	Doporučení na pokračování práce v daném tématu a oboru	24
7	Seznam publikovaných prací studenta DSP (včetně uvedení všech spoluautorů publikovaných prací a jejich autorských podílů) a jejich případné citace.....	25
8	Seznam použité literatury.....	26
9	Curriculum Vitae.....	28
10	Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti	29
11	Vyjádření školitele doktorandky	30
12	Oponentské posudky disertační práce	32

1 Přehled o současném stavu problematiky, který je předmětem disertační práce, s odkazy na použité prameny

Technické textilie jsou inženýrsky konstruované textilie, které se vyznačují vysokou odolností proti poškození a jsou vyráběny především pro své technické vlastnosti a funkčnost, nikoli estetiku [1]. Využití technických textilií se rozšířilo do mnoha oblastí lidské činnosti, včetně průmyslových odvětví a dopravy. Automobilový průmysl je největším uživatelem technických textilií, které se používají pro viditelné a skryté komponenty, jako jsou čalounění sedadel, bezpečnostní pásy, airbagy, koberce a hlukové izolace [2].

S ohledem na zaměření disertační práce bylo nezbytné v rámci rešeršní části seznámit se s odvětvím technického textilu a jeho aplikacemi, včetně potahů pro sedadla automobilů, které do tohoto sektoru náleží. Tato část práce přinesla užitečné informace o technických textiliích a souvisejících odvětvích, zahrnující požadavky a funkce, které jsou na tyto výrobky kladeny. Technická konfekce musí splňovat vysoké standardy trvanlivosti, pevnosti, funkčnosti, účelnosti a bezpečnosti, a tyto vlastnosti jsou klíčové pro užitnou hodnotu výrobku. V porovnání s oděvní konfekcí jsou nejvyšší nároky kladeny na bezpečnost, funkčnost a trvanlivost, přičemž je zvláště důležitá odolnost proti mechanickému namáhání, konkrétně pevnost šitých spojů [3]. Dále byl představen přehled materiálů, které se v této oblasti využívají. Tyto informace mohou sloužit jako výchozí bod pro další výzkum a vývoj nových testovacích metodik a zkušebních přístrojů, které by mohly přispět ke zlepšení výrobního procesu technických textilií a k vyšší kvalitě výsledných produktů.

Na základě zpracování rešeršní části práce, ve které byly zohledněny výsledky výzkumu a poznání z literárních zdrojů, byl získán následující soubor poznatků, který je podkladem pro zpracování experimentální části této disertační práce:

- existují dva způsoby stanovení mechanických vlastností šitých spojů – experimentální měření pomocí laboratorních vzorků nebo pomocí teoretického výpočtu;
- standardní metody na měření pevností šitých spojů jsou určeny převážně na měření pevností švu v jedné ose v quasistatickém režimu;
- pro stanovení pevnosti šitých spojů při víceosém namáhání, které by mělo přiblížit podmínky laboratorního měření k podmínkám reálného namáhání potahů autosedaček, není stanovena norma či metoda měření;
- posouzení pevnosti spoje vede ke stanovení optimálních konstrukčních parametrů spoje v souladu s konkrétním účelem praktického použití hotových potahů s přihlédnutím k řadě specifických požadavků.

2 Cíle disertační práce

Předložená práce je řešená v oblasti technických konfekcí, respektive v odvětvích u konečného uživatele, jako je automobilový průmysl. Předmětem práce je analýza mechanických vlastností spojů výrobků technických konfekcí. Práce se zabývá možnostmi stanovení pevnosti šitých spojů za účelem zkoumání účinku různých šicích nití ve švu při multiaxiálním namáhání s využitím metody protlačování spoje kulovým vrchlíkem. Smyslem analýzy je připravit podklady a navrhnout metodu pro stanovení pevnosti spoje v podmínkách, které by se přiblížily k podmínkám reálného provozu

produktů, to znamená v důsledku víceosého namáhání. V této práci jsou vytýčeny tři hlavní a korespondující cíle, které popisují chování šitých spojů v potazích automobilových sedaček při různých způsobech namáhání:

- prvním cílem je vývoj a realizace přípravku, který umožní simulovat multiaxiální namáhání plošných textilií nebo textilií se spojem, návrh postupu zkoušky a metody měření;
- druhým cílem je inovace a ověření metodiky pro hodnocení pevnosti švů potahů automobilových sedaček při působení víceosého namáhání, včetně vypracování metody měření pevnosti šitých spojů v podmínkách víceosého (multiaxiálního) namáhání, hodnocení výsledků a ověření metody měření;
- třetím cílem je na základě provedených experimentů měření pevnosti švu při víceosém namáhání, provést teoretický výpočet napětí pomocí metody konečných prvků (MKP) v softwaru ANSYS Workbench.

Práci je nutno považovat za výchozí dílo k řešení dalších problémů, které vznikají v této oblasti využití textilií.

3 Popis vlastního řešení

Na základě analýzy problémů zmíněných v rešeršní části disertační práce, byl navržen nový přístroj na zkoušení víceosého zatížení šitých spojů potahů automobilových sedaček a zároveň byla vyvinuta metoda laboratorního zkoušení deformace a pevnosti švů namáháním sférickým tělesem v quasistatickém režimu až do přetržení šitého spoje, která je odvozena s ohledem na znalosti a předchozí zkušenosti autorů [4] - [10], také byla rozpracována metodologie testování (souhrn, jak používat metodu k dosažení cílů). Konkrétní zájem byl soustředěn na měřicí postupy, parametry materiálu a okrajové podmínky.

3.1 Popis přípravku

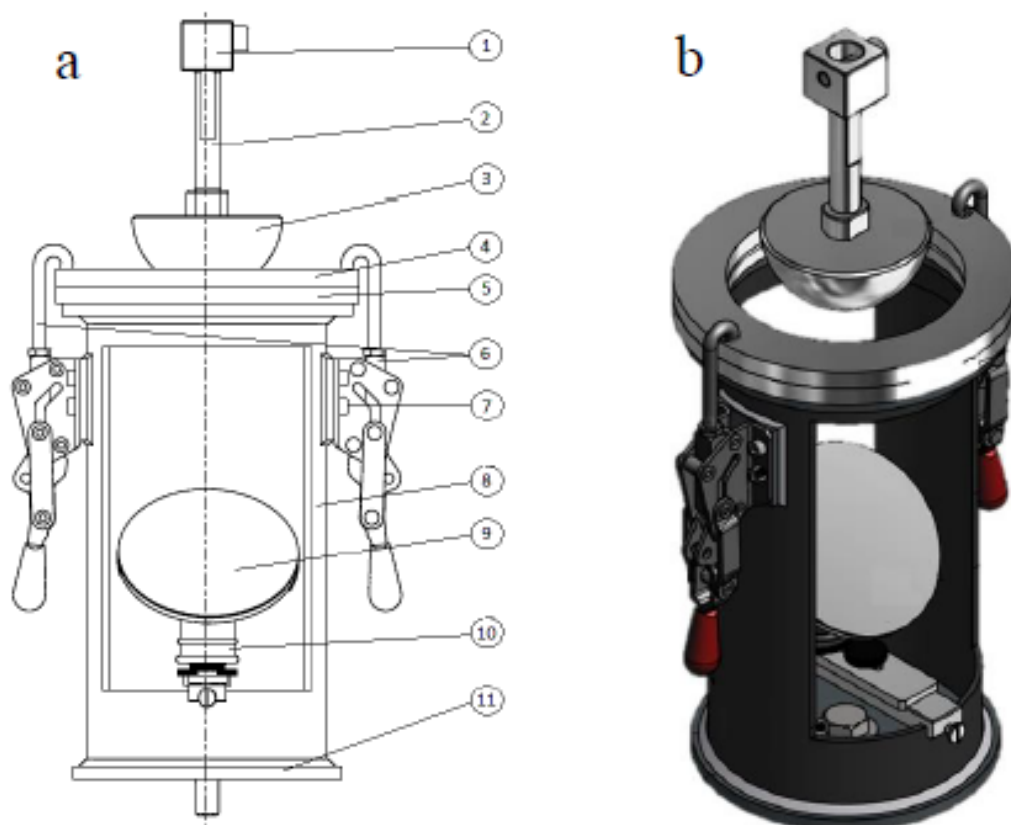
Přípravek pro měření mechanických charakteristik textilie v podmínkách multiaxiálního namáhání byl zkonstruován na principu metody testování namáhání plošné textilie sférickým tělesem. Nový přístroj pro víceosé namáhání a měření pevnosti má formu polokoule, která je připevněna k dynamometru. To umožňuje přesné a opakovatelné umístění laboratorních vzorků a díky počítačem řízeným experimentům jsou výsledky měření velmi přesné.

Popis přípravku

1. Přípravek pro měření pevnosti švu při víceosém namáhání (obr. 36) se skládá ze dvou částí: horní a dolní. Horní část je složená z polokoule (3), tyče (2), která je našroubovaná na polokouli (3) a upínací kostky (1), která je upevněná k pohybové části trhacího stroje pomocí upínacího trnu a je našroubovaná na tyč (2). Dolní část – svařenec (8), na kterém jsou rozmístěné 2x hákové nastavitelné upínače (6), a dolní čelist (4), která je upevněná na svařenec (8) pomocí 4 šroubů s válcovou hlavou (7). Hákové nastavitelné upínačů (6) jsou spojeny se svařencem (8) pomocí 8 (osmi) šroubů s válcovou hlavou. Vzorek se upíná mezi dolní čelistí (5) a horní čelistí (4), která se přitlačuje k dolní čelisti (5) pomocí hákových nastavitelných upínačů (6). V dolní části přípravku se nachází zrcadlo (9) upevněné pomocí rotující hlavy pod úhlem 45° pro snadné sledování průběhu zkoušky pomocí vysokorychlostní kamery.

2. Součástky přípravku pro měření pevnosti švu při víceosém namáhání jsou vyrobené z ocele (svařenec (8), dolní čelist (5), horní čelist (4), hákové nastavitelné upínače (6), tyč (2) a upínací kostka (1), šrouby s válcovou hlavou (7)) a hliníku (polokoule (3)).

3. Přípravek pro měření pevnosti švu při víceosém namáhání se vyznačuje tím, že namáhání ve švu vzniká v důsledku tlačení polokoule shora s konstantní rychlostí až do přetrhu švu. Speciální software zaznamenává maximální sílu nutnou pro destrukci šitého spoje.

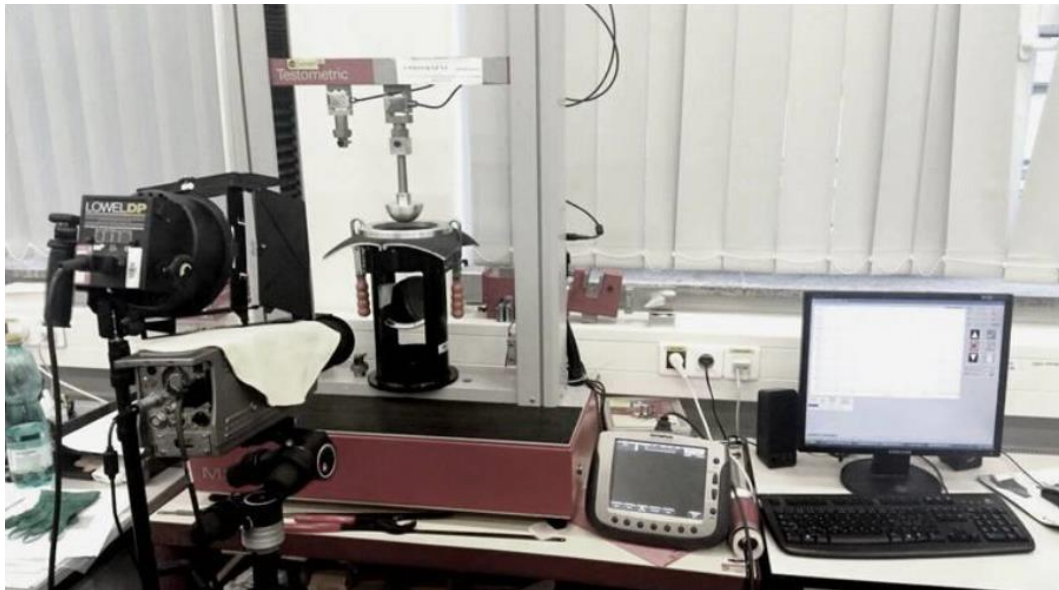


Obrázek 1. 2D (a) a 3D (b) model přípravku pro měření pevnosti šitého spoje při víceosém namáhání

Technické řešení se zaměřuje na oblast mechanických zkoušek textilií, konkrétně na měření pevnosti šitých spojů v technických textiliích při víceosém namáhání. Přístroj je vhodný nejen pro testování švů v technické konfekci, ale po přizpůsobení je možné ho použít i k měření deformačních vlastností plošných textilií.

3.2 Podstata metody

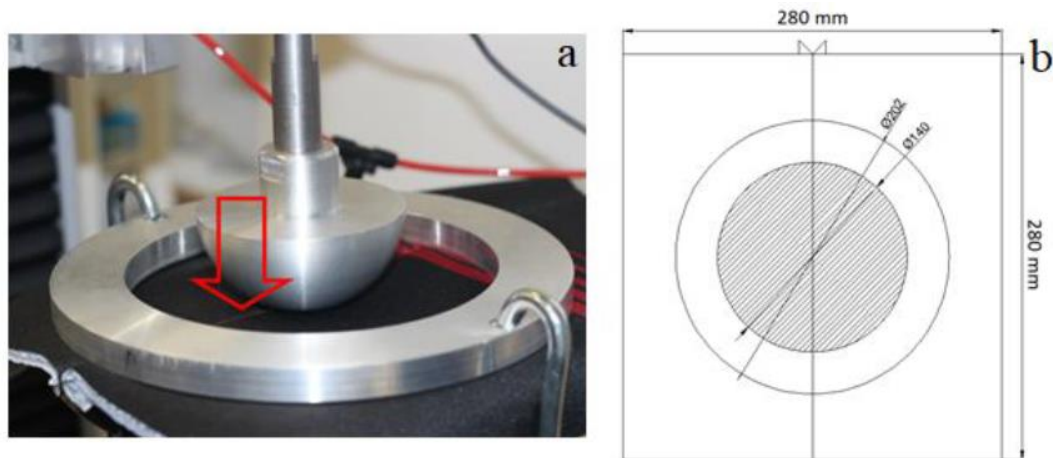
Celý měřicí systém je metodou přímého měření a sledování změny síly a posuvné dráhy v průběhu namáhání zkušebních vzorků plošné textilie (textile se švem) silou, působící definovaným směrem (zkouška neprobíhá ve směru struktury materiálu). Zkušební vzorek má stanoveny rozměry, typ a polohu spoje. Vyhodnocuje se maximální síla a posun nutný k přetrhu textilie (spoje). Výsledky zkoušky lze sledovat pomocí grafického znázornění naměřených dat v příslušném softwaru. Celý měřicí systém (přípravek, upevněný k trhacímu stroji, počítač a vysokorychlostní kamera) je znázorněn na obr. 2.



Obrázek 2. Přípravek na měření pevnosti šitých spojů při multiaxiálním namáhání

3.3 Princip metody a postup měření

Zkušební vzorek se upevňuje následujícím způsobem: vzorek plošné textilie se švem se pokládá na dolní čelist tak, aby se šev nacházel na geometrickém průměru čelisti (obr. 3a). Poté se na vzorek položí horní čelist a pomocí hákových nastavitelných upínačů se vzorek upevní.



Obrázek 3. Schematické zobrazení působení kulového vrchlíku na zkušební vzorek

Pro hodnocení mechanických vlastností šitých spojů byla zvolena analytická metoda, která se zaměřuje na rozložení celého procesu na několik částí nebo prvků za účelem určení příčin a následků. Metodika hodnocení nám pomáhá získat více informací o předmětu studia a jeho charakteristikách, což nám umožňuje: vysvětlit, vytvořit analogie, lépe porozumět chování a vytvořit nové teorie. Navržený postup by se měl ukázat jako způsob predikce kvality šitých spojů na základě jejich mechanických vlastností při působení víceosého zatížení.

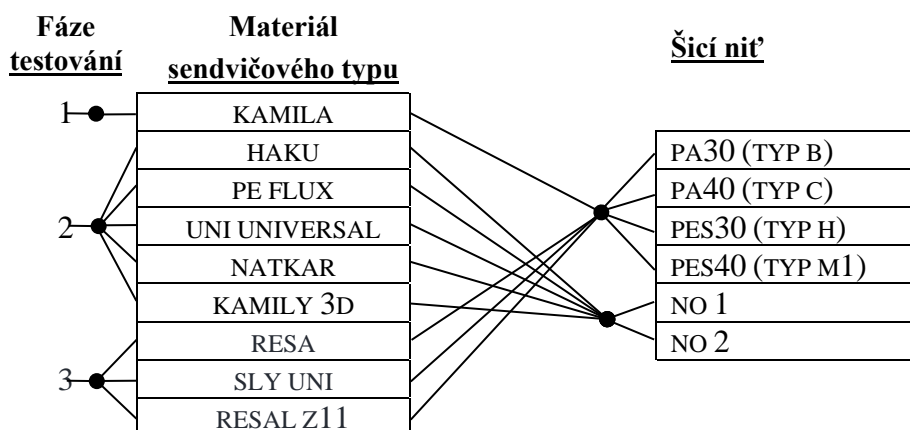
3.4 Experimentální stanovení pevnosti šitých spojů při multiaxiálním namáhání

Vývoj nového přípravku a nové metody pro testování pevnosti šitých spojů při působení víceosého namáhání (zatížení sférickým tělesem) se skládá z následujících fází:

- fáze 1 - Testování funkčnosti zkušební přípravku. Zjištění vlivu typu šicích nití na pevnost šitého spoje;
- fáze 2 - Testování funkčnosti zkušební přípravku. Zjištění vlivu typu šitého a šicího materiálu na pevnost šitého spoje;
- fáze 3 - Inovace a ověření metodiky měření a vyhodnocení pevnosti švu autopotahů při víceosém namáhání.

Celkem pro účely této studie bylo využito 9 různých materiálů typu sendvič s dvouvrstvou a třívrstvou strukturou. Tyto materiály byly použity k přípravě vzorků, které byly následně testovány za účelem zkoumání mechanických vlastností švů potahů automobilových sedaček pod multiaxiálním namáháním. K tomu bylo využito 6 různých druhů šicích nití, které byly použity k výrobě laboratorních vzorků.

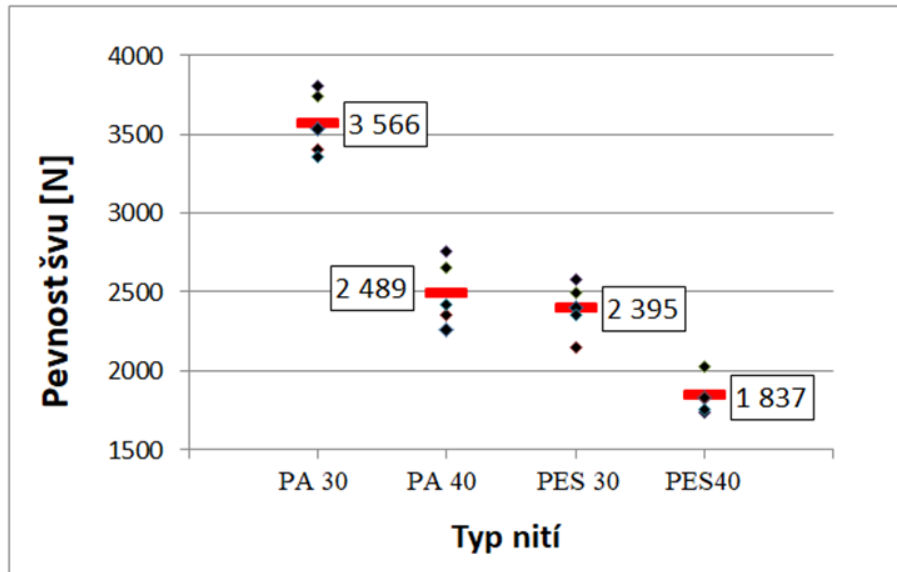
Seznám plošných a délkových textilií, použitých v této práci a jejich přiřazení ke konkrétním fázím testování je uveden na následujícím obr. 4.



Obr. 4. Seznam použitých sendvičových materiálů a šicích nití.

3.4.1 Fáze 1. Testování funkčnosti zkušební přípravku. Zjištění vlivu typu šicích nití na pevnost šitého spoje

Ve fázi č. 1 sérií experimentů byl sledován nejzásadnější vliv typu šicích nití na celkovou pevnost spoje při působení víceosého namáhání s použitím uvedené metody. Pro každý druh šitého spoje v závislosti na typu šicí nitě bylo provedeno 5 měření. Na základě řady experimentů byla ověřena funkčnost přípravku, zkonstruovaného pro dané účely. Výsledky pevností šitých spojů při víceosém namáhání (obr. 5) ukazují, že nejpevnější jsou šité švy s použitou nití PA30 (Typ B), která má nejvyšší pevnost v tahu.

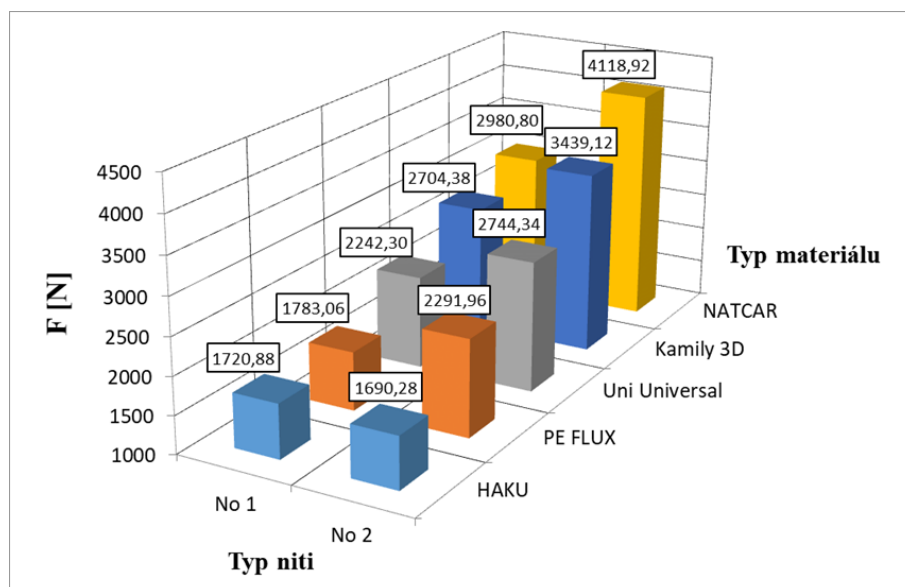


Obrázek 5. Porovnání pevnosti švů v závislosti na typu nití

Otázkou do diskuse ovšem je, zda vlastnosti tkaniny sendvičového typu mají vliv na pevnost šitého spoje při multiaxiálním namáhání. Působení plošných textilií na pevnost šitého spoje se bude sledovat v následující fázi č. 2 testování.

3.4.2 Fáze 2. Testování funkčnosti zkušební přípravku. Zjištění vlivu typu šitého a šicího materiálu na pevnost švu

Ve fázi č. 2 byla změřena pevnost šitých spojů při multiaxiálním namáhání a výsledky měření byly porovnané mezi sebou v závislosti na typu nití ve švu a na použitém materiálu typu „sendvič“. Analýza byla provedena prostřednictvím konfrontace deformace při multiaxiálním namáhání v quasistatickém režimu, která byla sledována na vzorcích stejných konfigurací stehu a švu se stejnou rychlostí změny působící síly. Následující graf (obr. 6) znázorňuje výsledky sledování vlivu typů šicího a šitého materiálu na sílu potřebnou k přetrhu spoje v důsledku víceosého namáhání.



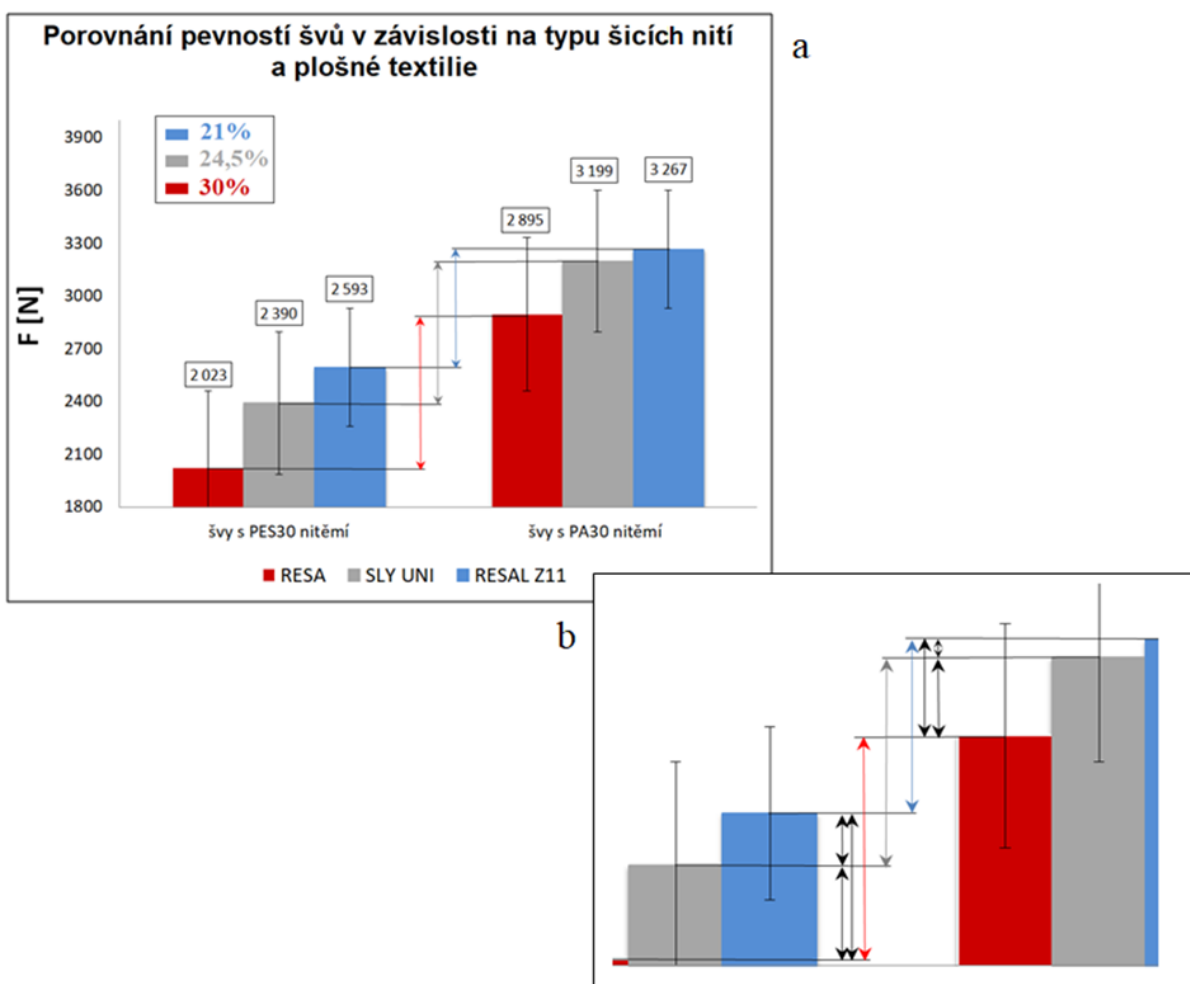
Obrázek 6. Pevnost švů v závislosti na typech použitých materiálů

Na základě dosažených výsledků (obr. 6) a provedené analýzy bylo zjištěno, že různé typy použitých plošných textilií typu „sendvič“ mají zásadní vliv na pevnost šitých spojů při působení víceosého zatížení a naměřené hodnoty se odlišují v závislosti na typu použitého sendvičového materiálu. Tento vliv je prokazatelný a bude zkoumán v následující 3. fázi testování zkušební přípravku.

3.4.3 Fáze 3. Inovace a ověření metodiky měření a vyhodnocení pevnosti švu autopotahů při víceosém namáhání

Sérií experimentů ve fázi 3 byl sledován vliv typu nití a plošné textilie na pevnost šitých spojů. Pro vizualizaci naměřených dat a závislosti uvedených charakteristik na pevnosti švu byl využit následující graf (obr. 7), který zobrazuje rozdíl pevností spojů při multiaxiálním namáhání v závislosti na použitých šicích nitích a sendvičových materiálech.

Rozdíl mezi pevnostmi švů je znatelný a stanovuje od 21 % do 30 % v závislosti na typu šicích nití. Šité spoje s použitím nití označených jako PA30 (Typ B) jsou pevnější, než švy s nitěmi PAS30 (Typ H), což je způsobeno vyšší pevností v tahu samotné nitě.

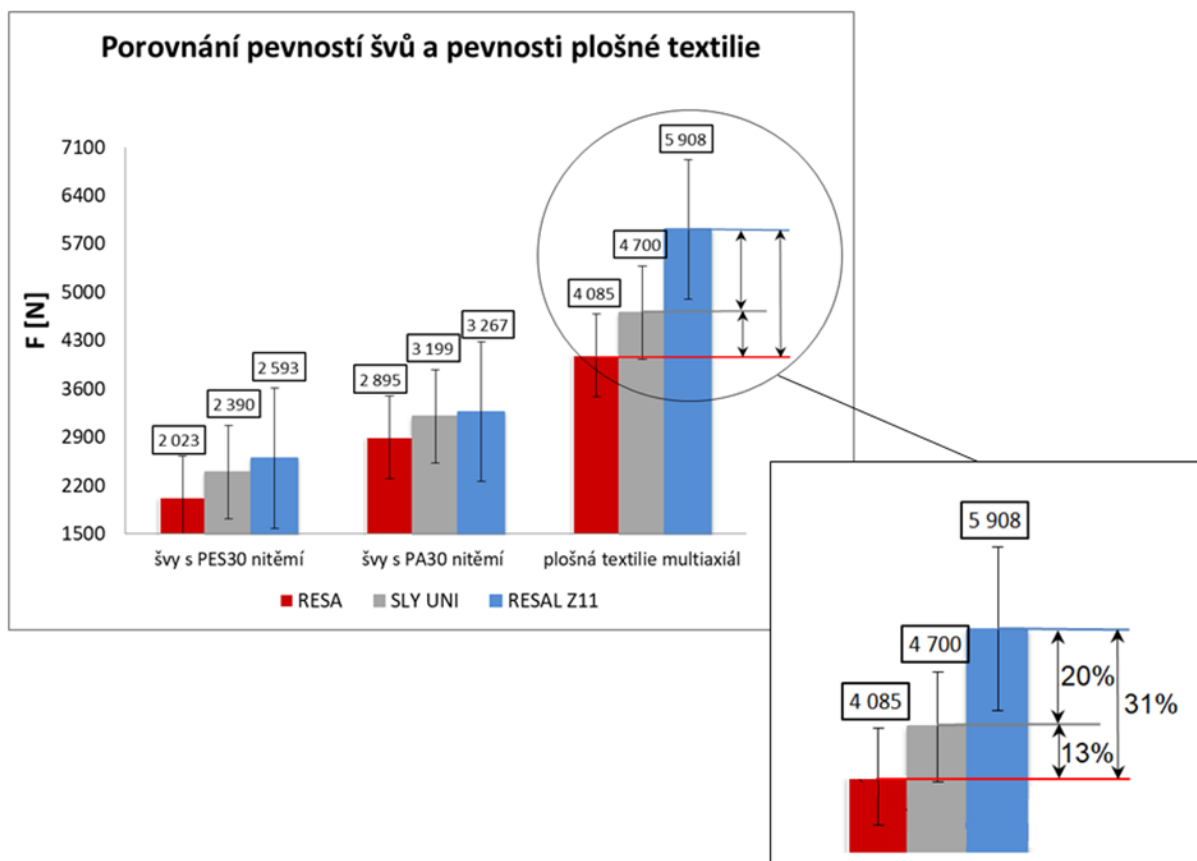


Obrázek 7. Pevnost šitých spojů v závislosti na použitých materiálech (šicích nitích a plošných textiliích)

Jak bylo demonstrováno na výše uvedeném grafu (obr. 7), kromě viditelných rozdílů pevností spoje v závislosti na typech šicích nití, pozorujeme také dost významný

rozdíl mezi hodnotami pevnosti v závislosti na použité plošné textilii typu „sendvič“. Tento vliv není popsán v literatuře a není uvažován při výpočtu teoretické pevnosti šitých spojů. V případě, kdyby šitý materiál (plošná textilie typu „sendvič“) neměl vliv na výslednou pevnost švu, tak by výsledná pevnost celého spoje byla stejná a lišila by se jen v případě použití různých druhů šicích nití.

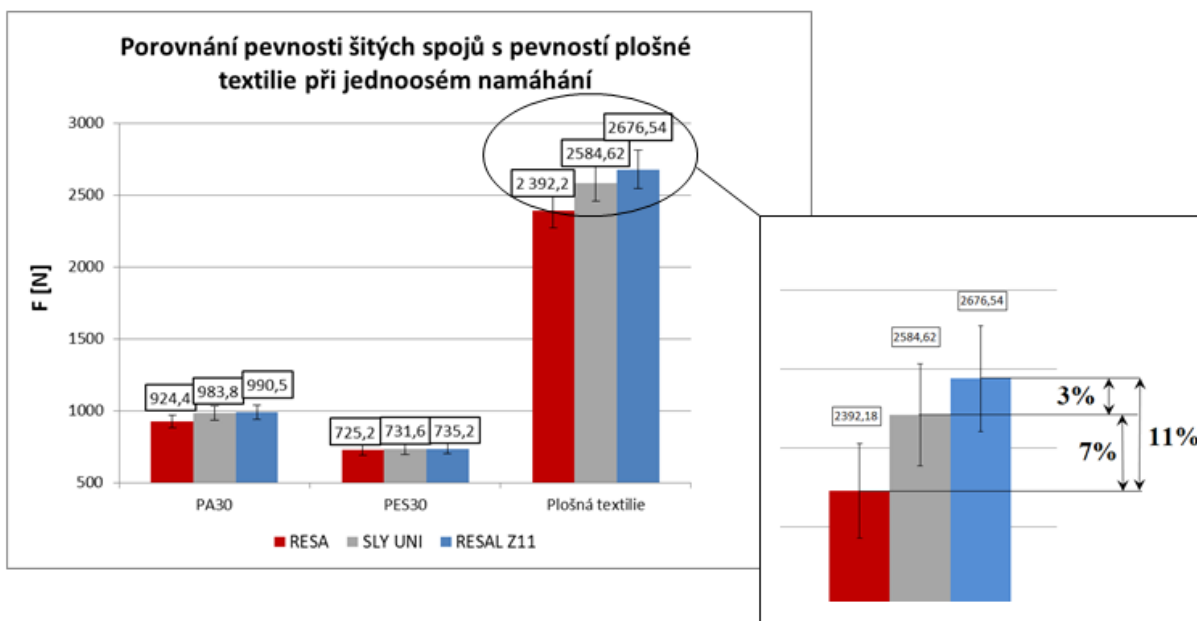
Na následujícím obr. 8 k výsledkům pevností švu byla přidána i pevnost plošných textilií typu „sendvič“ za účelem sledování významné pravděpodobnosti podobného rozložení pevnosti příslušných materiálů.



Obrázek 8. Sledování vlivu plošné textilie na pevnost šitých spojů při víceosém namáhání a porovnání pevnosti plošné textilie při víceosém namáhání

V rámci daného výzkumu bylo zjištěno, že nový upravený přípravek dokáže simulovat podmínky, kterým jsou potahy autosedaček běžně vystavovány při jejich užívání. Tento přípravek se také ukázal jako vhodný pro testování výrobků, jelikož dokáže přiblížit podmínky testování k reálným podmínkám, kterým jsou výrobky v praxi vystaveny.

Pozorujeme analogickou tendenci v případě jednoosého namáhání v quasistatickém režimu, ke kterému dochází díky použití standardizované metody Strip (obr. 9). Pro ilustraci tohoto jevu je uvedený následující graf, který prezentuje porovnání pevnosti šitých spojů ve směru osnovy během jednoosého namáhání. Z grafu je patrné, že tato pevnost je ovlivněna jak typem šicí nitě, tak také typem použité plošné textilie.



Obrázek 9. Porovnání pevnosti šitých spojů s pevností plošné textilie při jednoosém namáhání

Výsledky ukazují, že při jednoosém namáhání v quasistatickém režimu se vliv materiálu na výslednou pevnost šitého spoje neprojeví v takové míře, jako při namáhání víceosém pomocí navržené metody.

V následující tabulce uvádím rozdíl pevností šitých spojů v závislosti na typu šicích nití a plošné textilie a pevnosti plošných textilií mezi sebou při působení jednoosého a multiaxiálního namáhání. Největší rozdíl u šitých spojů pozorujeme mezi vzorky vyrobenými pomocí plošných textilií Resal a RESA, což odpovídá podobné tendenci i v případě testování samotné plošné textilie při stejném způsobu zatížení.

Tabulka 1. Rozdíl pevností šitých spojů v závislosti na typu šicích nití a plošné textilie a pevnosti plošných textilií mezi sebou při působení jednoosého a multiaxiálního namáhání

	Víceosé namáhání			Jednosé namáhání		
	PA30	PES30	Pl. textilie	PA30	PES30	Pl. textilie
Resal - RESA	11%	22%	31%	7%	1,4%	11%
Sly uni - Resal	2%	8%	20%	0,7%	0,5%	3%
RESA - Sly uni	10%	15%	13%	6%	0,8%	7%

Po provedení primární analýzy naměřených dat a zhodnocení výsledků experimentálního měření je možné formulovat hypotézu, že hodnoty síly nutné k roztržení šitého spoje za podmínek víceosého namáhání jsou ovlivněny typem použitého šitého materiálu a jeho charakteristikami, zejména jeho pevností.

3.5 Analýza pevnosti šitých spojů při působení uniaxiálního namáhání na základě teoretického výpočtu

V této kapitole byla provedena verifikace vztahů pro výpočet teoreticky stanovené pevnosti šitých spojů a porovnání s experimentálně naměřenou, s cílem ověření nebo odmítnutí platnosti vztahů.

Pro teoretický výpočet pevností šitých spojů byly vybrány následující vztahy (je ponechané původní označení vztahů podle kapitoly 3.6.1 dizertační práce):

$$F_{\dot{s}(1)} = F_n \cdot n \cdot C \quad [11] \quad - \quad (1)$$

$F_{\dot{s}(1)}$ - teoretická pevnost švu [N],

F_n - pevnost šicí nití v tahu [N],

n - počet stehů v šitém švu,

C - koeficient vyjadřující pevnost nití ve smyčce [-]. Pro švy s vázaným stehem podle [11] se rovná tato hodnota 1.5, pro stehy řetízkové $C=1.7$.

$$F_{\dot{s}(2)} = F_{ns} \cdot n \quad [12] \quad - \quad (2)$$

$F_{\dot{s}(2)}$ - teoretická pevnost švu [N],

F_{ns} - pevnost nití ve smyčce [N],

n - počet vazných bodů ve švu.

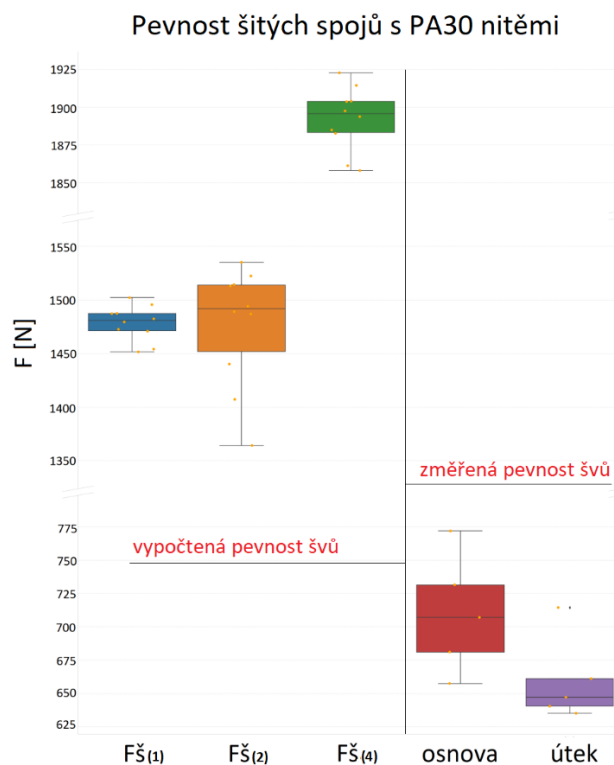
$$F_{\dot{s}(4)} = 2 \cdot F_n \cdot \eta \cdot n \quad [13] \quad - \quad (3)$$

$F_{\dot{s}(4)}$ - teoretická pevnost švu [N],

F_n - pevnost šicí nití v tahu [N],

η - koeficient ztráty pevnosti nití [-]

Reprezentativní graf porovnání pevnosti šitých spojů s použitou šicí nití PA30 (Typ M1) při působení jednoosého namáhání změřeného experimentálním způsobem pomocí metody Strip ve směru osnova a útku s pevností, zjištěnou pomocí teoretického výpočtu podle číslovaných vztahů, dizertační práce, je graficky znázorněn na obr. 10 pomocí boxplotů.



Obrázek 10. Porovnání teoreticky spočítané a experimentálně změřené (metoda Strip) pevnosti šitých spojů

Ze znázorněného grafického porovnání (obr. 10) je patrné, že žádný z uvedených vztahů teoretického výpočtu pevnosti šitých spojů nemůže být použitý pro teoretický výpočet pevnosti z důvodu velkých rozdílů ve výsledcích. Ve všech případech použití teoretického výpočtu bylo zjištěno, že vypočtená hodnota výrazně převyšuje experimentálně naměřenou hodnotu příčné pevnosti (ve směru osnovy a útku). Taková skutečnost by mohla být způsobená tím, že v uvedených vztazích nejsou zahrnuté všechny parametry možných vlivů na pevnost spoje, ani vlastnosti samotné použité plošné textilie.

Pro ověření předpokladu o předdimenzovaných teoretických veličinách síly vedoucí k přetrhu švu byl navržen software-kalkulačka pro rychlý výpočet teoretických hodnot a jejich srovnání se skutečně naměřenými hodnotami. Software byl navržen v programovacím jazyce Python v3.8. Pro stvoření produktu a jeho ladění bylo použito vývojové prostředí PyCharm Community Edition [14]. Primárním cílem bylo navrhnout nástroj a nabídnout ho k vyzkoušení na pracovištích, kde probíhají testování mechanicky namáhaných šicích spojů pro steh 301, čímž bude získáno potvrzení nebo vyvrácení odhadu. Příklad software-kalkulačky je znázorněn na obr. 11.

Parameter	Value	Unit
Pevnost nití v tahu:	70.82	[N]
Počet stehu:	14	
Koeficient pevnosti nití ve smyčce:	1.5	
Teoretická hod.:	1487.22	
Naměřena hod.:	826.39	
Rozdíl stanoví:	660.83	N

Obrázek 11. Online software-kalkulačka pro snadný výpočet teoretické pevnosti šitých spojů podle vztahu (1) s použitou šicí nití PA30 (Typ B)

Po uvedení všech komponentů vzorce a stisknutí tlačítka „Vypočítat“ navržený program provede výpočet, následně po stisknutí tlačítka „Porovnat“, provede porovnání vypočtené síly se skutečně změřenou hodnotou.

3.6 Výpočet teoretické tažnosti švu při víceosém namáhání

V rámci disertační práce se pomocí postaveného unikátního přípravku pro zjištění mechanických vlastností šitých spojů při multiaxiálním namáhání určuje

pevnost švu při přetrhu, což je hodnota tenzometru uvedená v [N]. Podle znalostí o měřeních pevnosti šitých spojů pomocí standardních metod, např. metoda Strip, výsledkem zkoušek je kromě pevnosti spojů i relativní prodloužení při přetrhu švu v [mm]. V případě zkoušky pevnosti švů při víceosém namáhání je kromě pevnosti při přetrhu výsledkem také posuv tlačící polokouli v ose x, nikoli relativní prodloužení. Proto je potřeba poměrné prodloužení laboratorního vzorku při přetrhu švu vypočítat matematicky pomocí dodatečného experimentu. Z poměrného prodloužení až do přetrhu švu a počátečních rozměrů vzorku lze vypočítat tažnost při přetrhu šitého spoje podle následujícího vzorce:

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100\%, \quad (4)$$

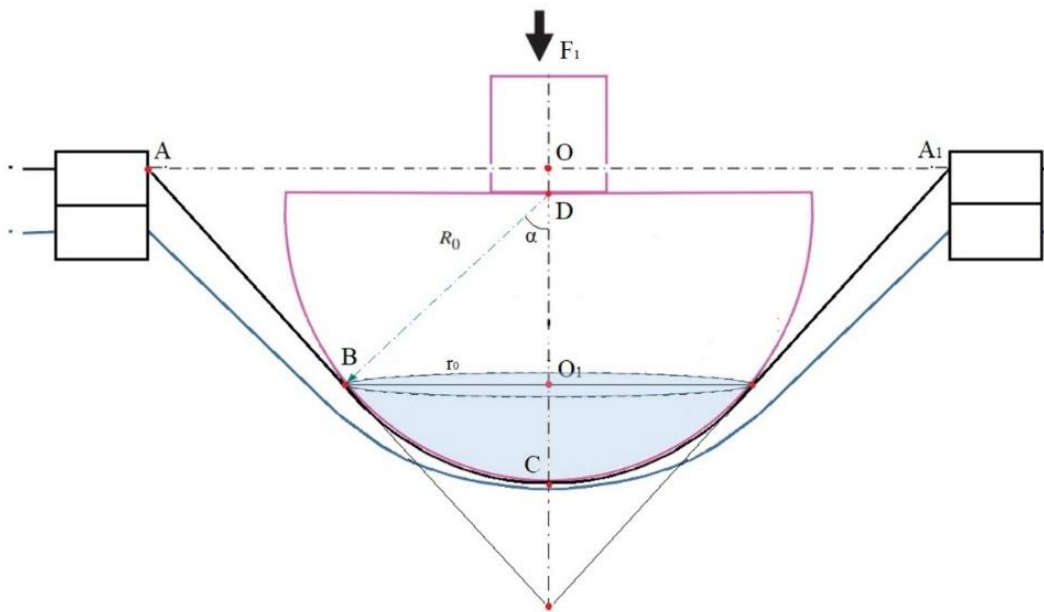
kde:

ε – tažnost experimentálního vzorku [%],

L_1 – konečná délka vzorku po zkoušce [mm],

L_0 – počáteční délka vzorku [mm].

Byl navrhnutý vztah, vhodný pro výpočet poměrného prodloužení šitého spoje v podmínkách víceosého namáhání, ze kterého plyne, že poměrné prodloužení neboli tažnost šitého spoje), závisí na průměru polokouli R_0 a vzdálenosti OD (obr. 12), které představuje rozdíl mezi hodnotou celkového posunutí polokouli a její R_0 .



Obrázek 12. Kompresi polokouli v průřezu

Tažnost šitého spoje při multiaxiálním namáhání se bude rovnat:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \left(\sqrt{4900 + OD^2} - R_0 + \frac{\pi R_0 \alpha}{180^\circ} \right) - 140}{140} \cdot 100\%, \quad [\%]$$

Z návrhu odvozeného teoretického matematického výpočtu tažnosti šitého spoje při víceosém namáhání bylo zjištěno, že poměrné prodloužení je závislé na dvou parametrech: průměru polokoule R_0 a délce jejího posuvu až do porušení šitého spoje.

4 Numerický model šitého spoje

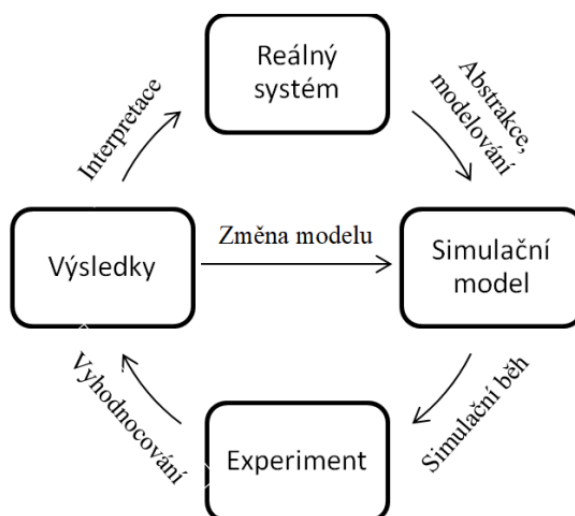
Numerické modelování je v dnešní době velmi rozšířenou metodou pro simulaci chování různých fyzikálních a mechanických jevů. Podstatou a účelem modelování daného systému je jeho náhrada diskretizovaným modelem. Cílem je predikovat chování zkoumaného systému při daných okrajových a zatěžovacích podmínkách. Jinými slovy, jedná se o metodiku, která vede ke kvalifikovanému odhadu odezvy simulované soustavy za dobře odhadnutých fyzikálních předpokladů daného problému [15].

4.1 Materiály a metodologie

Z důvodu nekonvenčních vlastností zkoušené plošné textilie v porovnání např. s ocelí nebo pryží, není v programech MKP navržen materiálový model, který by byl ideální pro popis chování plošného textilního materiálu (tkanina typu „sendvič“) a délkové textilie (šicí nit). Cílem je pomocí modelu získat veličiny, které konvenčními mechanickými zkouškami nejsou měřitelné, např. distribuce složek napětí, poměrných přetvoření, posuvů, energií aj. Jedná se například o zjištění výskytu kritických míst nebo možnost porovnání deformace v odlišných směrech.

Počítačové simulace, označované jako CAE / FEM virtuální technologie, jsou již řadu let využívány s cílem získat informace např. o chování poddajných soustav a predikovat jejich odezvu při daných okrajových podmínkách a zatížení, a to jak při smluvních nebo normativních testech, tak při provozních zatížení. Výsledkem je porovnání a posouzení zpravidla více variant – modelových situací analyzovaného systému či nalezení optimálních podmínek pro požadovaný účel.

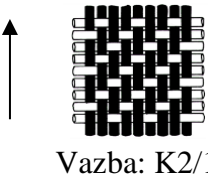
Modelování a následné simulace takových systémů lze zjednodušeně popsat pomocí schématu:



Obr. 13. Základní postup modelování a simulací [15]

Pro modelování a následnou simulaci šitého spoje byl vybrán jeden ze zkoumaných materiálů (RESA), jehož technologické parametry jsou uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2. Typické parametry použitého materiálu (RESA) při modelování a simulaci multiaxiálního namáhání spoje

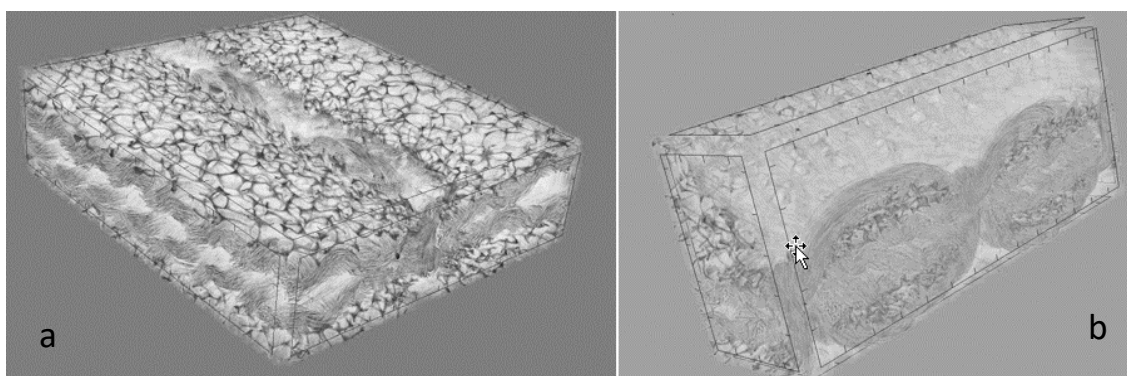
Parameter	Hodnota	Vazba
Hmotnost [g/m ²]	382 ± 30	
Tloušťka [mm]	2,21	
Lící strana	100% PES	
Laminace	PU pěna	
Podšívka	100% PES	

V následující tabulce 3 jsou uvedené parametry šicí nitě použité v modelování.

Tabulka 3. Parametry šicí nitě

Vlastnost	PA30 (Typ B) Čm 30/3
Materiál	PA 6.6
Jemnost	104+/-15 tex
Skani	3
Zákrut	340+/-40 1/m

Pro tvorbu topologie a geometrie švu je potřebné respektovat tvarovou složitost šitého spoje. Vzhledem k tomu, že při použití běžných zobrazovacích zařízení není možné jednoduše ukázat vzájemná propojení šicích nití, resp. vazných bodů, bylo pro jejich lepší znázornění použito Micro-CT SKYSCAN (počítačová tomografie), která kombinuje klasické skenování pomocí rentgenových paprsků s počítačovým systémem, který informaci zpracovává a provádí analýzu mikrostruktury vnitřního objektu bez jeho destrukce (obr. 12) [15]. Není však možné jednoduše převést získaná grafická data do formátu kompatibilního s CAD, proto byly získané obrázky použity hlavně jako šablony tvarů.

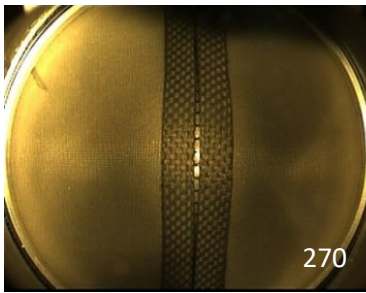
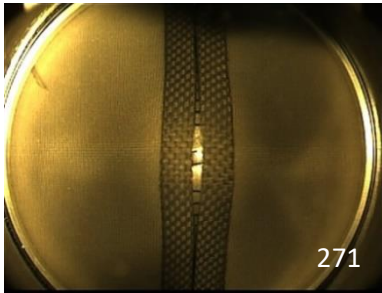
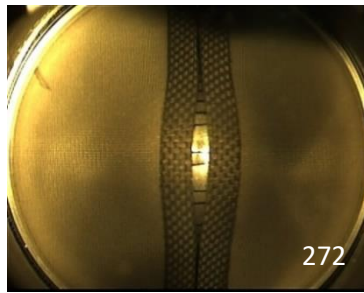
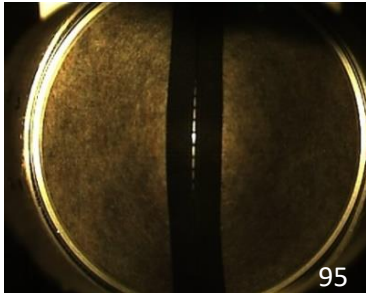

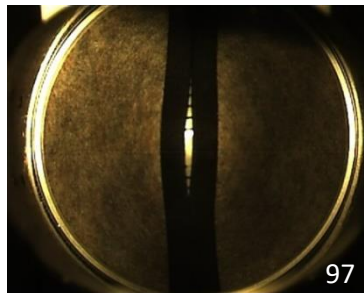
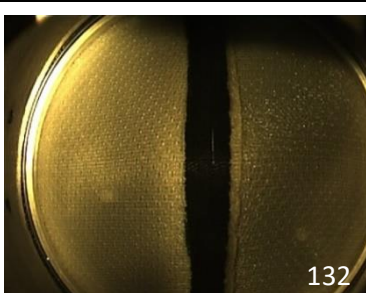
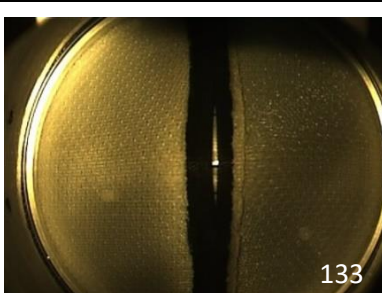


Obr. 14. Počítačová tomografie šitého spoje

Dalším krokem před modelováním bylo zkoumáno, jakým způsobem dochází k porušení švů a v jakém místě. Pro lepší porozumění byl princip přetruhu šitého spoje a průběh experimentů sledován pomocí vysokorychlostních kamer i-SPEED 3 [17].

Vybrané příklady tohoto sledování při statických zkouškách multiaxiálního namáhání jsou uvedeny dále. Na snímcích je velmi zřetelně vidět místo trhání švu.

Tabulka 4. Slevování porušení šitých spojů při víceosém namáhání vysokorychlostní kamerou

Název tkaniny typu „sendvič“	NATCAR	 270	 271	 272	
		Uni Universal	 95	 96	 97
			Kamilly 3D	 132	 133

Při analýze videozáznamů a fotografií, jako výsledků monitorování přesného místa přetrhu šitého spoje pomocí vysokorychlostní kamery, nebylo zaznamenáno žádné mechanické porušení materiálu plošné textilie. Místo přetrhu švu se nachází uprostřed vzorku a nastává v důsledcích prasknutí nití ve švu. Předpokládaná příčina porušení švu v daném místě je rozložení sil při působení víceosého namáhání při tlačení polokoulí na laboratorní vzorek.

4.2 Tvorba numerického modelu šitého spoje pro víceosé namáhání švu

Pokud chceme zohlednit poddajnost, tj. deformovatelnost materiálů v numerických analýzách uvažovaných soustav těles, tak je nutné respektovat jejich deformační odezvu na příslušná zatížení. Tato nutná podmínka vyžaduje implementovat do simulací vhodné materiálové modely.

V této práci se jedná o ortotropní materiál, který má různé vlastnosti v různých směrech, ale tyto vlastnosti jsou pravidelně uspořádány v třech navzájem kolmých osách, které se nazývají hlavní osy materiálu. Materiál má tedy stejné vlastnosti v rovinách kolmých na každou z hlavních os, ale tyto vlastnosti se mohou lišit v různých

směrech v rámci každé z těchto rovin. Materiál je popsán 9 nezávislými elastickými konstantami, které jsou uvedené v následující tabulce 5.

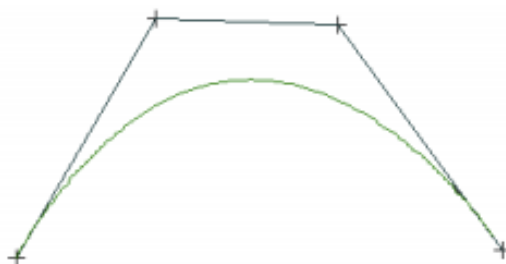
Tabulka 5. Materiálové modely použité v numerickém modelování

Materiál	[MPa]			[MPa]			Poissonovo číslo [-]		
	$E_1^{f,m}$	$E_2^{f,m}$	$E_3^{f,m}$	$G_{12}^{f,m}$	$G_{23}^{f,m}$	$G_{13}^{f,m}$	$\nu_{12}^{f,m}$	$\nu_{23}^{f,m}$	$\nu_{13}^{f,m}$
Plošná textilie	888	700	105	259	48	48	0.04	0.3	0.3
	E [MPa]			G [MPa]			Poissonovo číslo [-]		
Ocel	200 000			76 923			0.3		
Al slitina	71 000			26 691			0.33		
PA šicí nit	1 800			744			0.21		

Materiál	Hustota [kg.m ⁻³]	Pevnost v tahu [MPa]
Plošná textilie	1250	2100
	Hustota [kg.m ⁻³]	Pevnost v tahu [MPa]
Ocel	7 850	460
Al slitina	2 770	310
PA šicí nit	1 140	262

4.2.1 Vytvoření modelové křivky švu

Pro vytvoření CAD modelů s podobnou složitostí je hlavním parametrem zjištění nejvhodnější tvarovací křivky, které budou schopny reagovat na náhlé změny ve směrových vektorech a v poloměru zakřivení. Konstrukční koncept byl sestaven pomocí křivek typu Bezier. Bézierová křivka (obr. 15) byla shledána vhodnou kvůli pevně specifikovaným počátečním a koncovým bodům, a protože zakřivení je nezávislé na sousedních spojených segmentech.



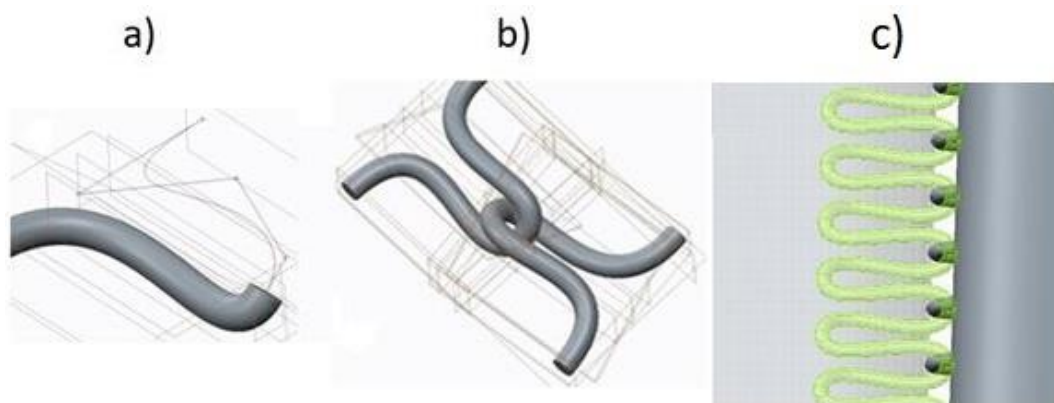
Obr. 15. Bézierová křivka – příklad

4.1 Vytvoření CAD modelu sestavy

Pro tvorbu CAD modelů celé sestavy byla použita softwarová aplikace Creo. Je jedním z mála CAD modelářů, který umožňuje přímé ruční a parametrické zadávání pro vytváření 3D křivek, včetně jejich přechodových parametrů a vylepšené kontroly jejich základních polygonů [18].

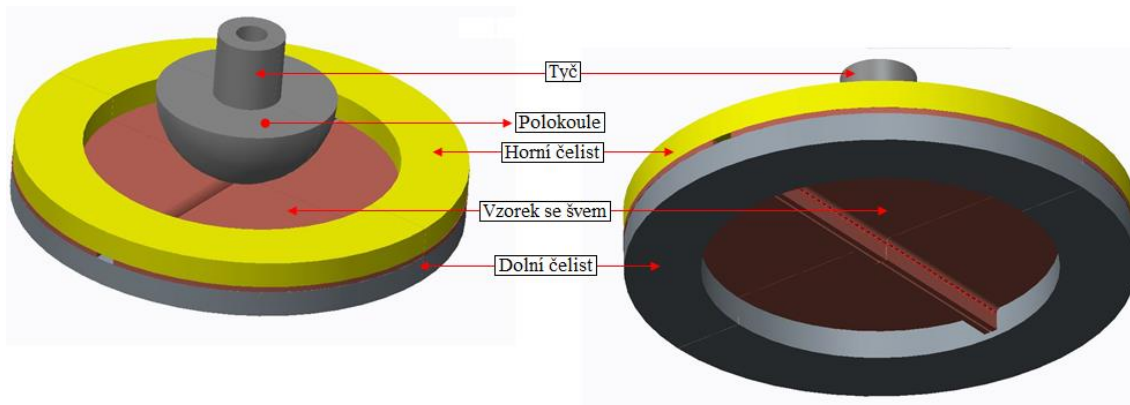
Nejprve byly modely nití vzájemně propojeny mezi sebou (obr. 16a). Pro spojení nití s textilií byly použity prolnuté povrchy a celá geometrie byla vytvořena Booleovským odříznutím s odsazenými plochami (obr. 16b). Kontrola geometrie celé sestavy byla nutná, zejména pro řešení budoucího modelu numerického kontaktu.

Sestavení vzájemných spojů nití a implementace do modelu plošné textilie jsou znázorněny na obr. 16c.



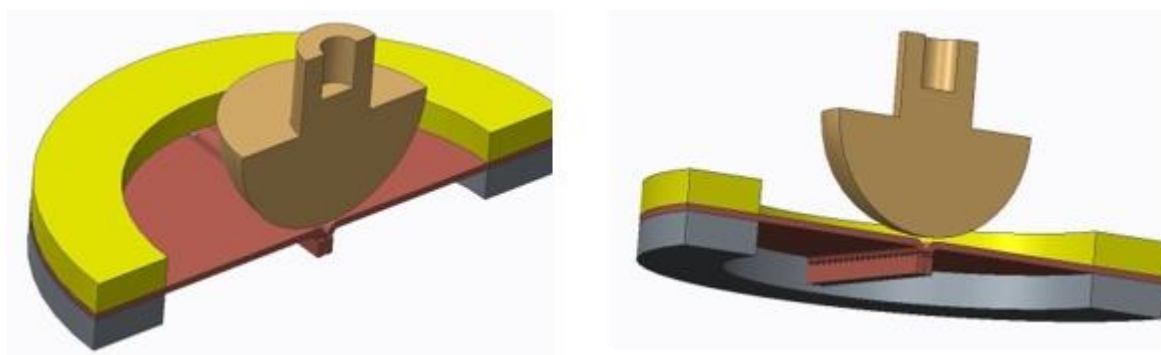
Obr. 16. Propojení nití

Při modelování testu byla vytvořena geometrie odpovídající geometrii reálného testovacího přípravku. Celková geometrie modelu šitého spoje, upínacích čelistí a polokoule, pomocí které se v podstatě tvoří víceosé namáhání švu, je znázorněná na následujícím obr. 17.



Obr. 17. Geometrie vzorku vloženého do zkušebního přípravku

Z celé původní geometrie přípravku (obr. 17) se vzorkem vloženým do čelistí, je modelovaná pouze ta část, která je předmětem zájmu této analýzy, resp. numerického modelování viz obr. 18.



Obr. 18. Symetrická podoblast geometrie šitého spoje

4.1.1 Materiálové modely poddajných částí FEM modelu

Vytvořený FE model experimentálního přípravku na víceosé namáhání šitého spoje disponuje možnostmi aplikace různých materiálových kompozitních struktur do jednotlivých objektů modelu. Do materiálové struktury sw FEM v daném modelovém případě byly užity hodnoty mechanických vlastností uvedené v tabulce 5.

Properties of Outline Row 19: Plosna textilie_FEM			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	1,25E-09	tonne mm ⁻³
3	Orthotropic Elasticity		
4	Young's Modulus X direction	888	MPa
5	Young's Modulus Y direction	700	MPa
6	Young's Modulus Z direction	105	MPa
7	Poisson's Ratio XY	0,04	
8	Poisson's Ratio YZ	0,3	
9	Poisson's Ratio XZ	0,3	
10	Shear Modulus XY	259	MPa
11	Shear Modulus YZ	48	MPa
12	Shear Modulus XZ	48	MPa

Properties of Outline Row 12: PA_sici_nit			
	A	B	
1	Property	Value	
2	Density	1,14E-09	tonne mm ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Mo...	
5	Young's Modulus	1,8E+03	MPa
6	Poisson's Ratio	0,21	
7	Bulk Modulus	1,03E+03	MPa
8	Shear Modulus	744	MPa

Properties of Outline Row 42: Foam fkce_7 MPa			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	6E-11	tonne mm ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
5	Young's Modulus	7	MPa
6	Poisson's Ratio	0,499	
7	Bulk Modulus	1,17E+03	MPa
8	Shear Modulus	2,33	MPa

Properties of Outline Row 40: Textil_fkce_10 MPa			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	6E-11	tonne mm ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
5	Young's Modulus	10	MPa
6	Poisson's Ratio	0,499	
7	Bulk Modulus	1,67E+03	MPa
8	Shear Modulus	3,34	MPa

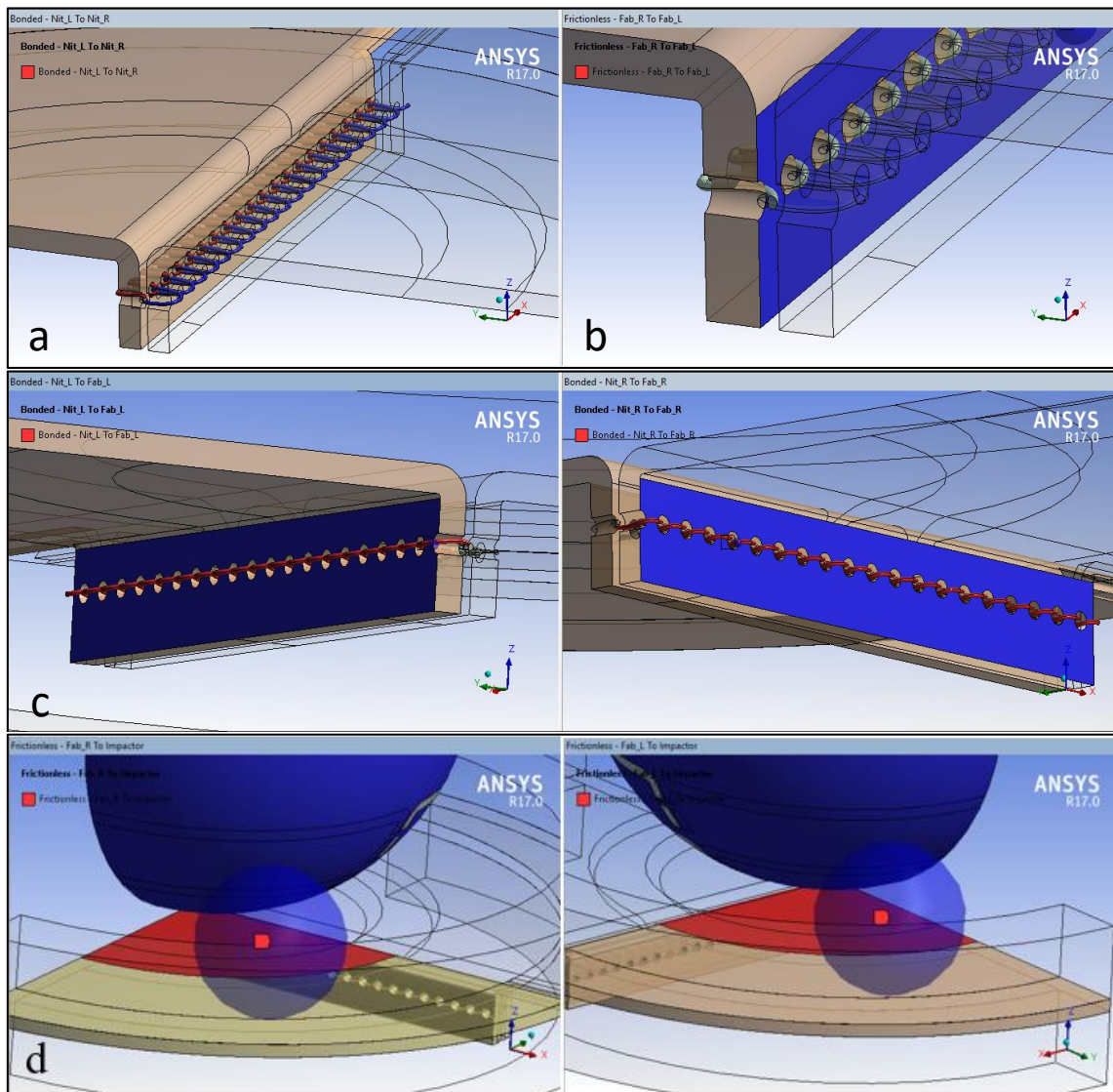
4.1.1 Specifikace kontaktních vazeb ve FEM modelu

Pro úspěšné řešení FE modelu, který obsahuje více vzájemně vázaných dílů, je nutné zahrnout interakci mezi díly. Jedním z důležitých prvků této interakce jsou kontakty mezi díly. V případě kontaktů je důležité definovat specifické vlastnosti, jako je například tření, a zajištění vzájemné detekce kontaktních ploch mezi objekty FE modelu [19].

V rámci procesu zatěžování, případně odlehčování sestavy je vhodné definovat kontakty mezi díly tak, aby byly plně funkční a korektně přenášely silové účinky mezi jednotlivými částmi sestavy. Výsledek procesu simulace je vhodné prověřit z hlediska toho, zda byla kontaktní vazba mezi jednotlivými díly optimálně zachycena a kontinuálně aktualizována v závislosti na změnách v geometrii soustavy.

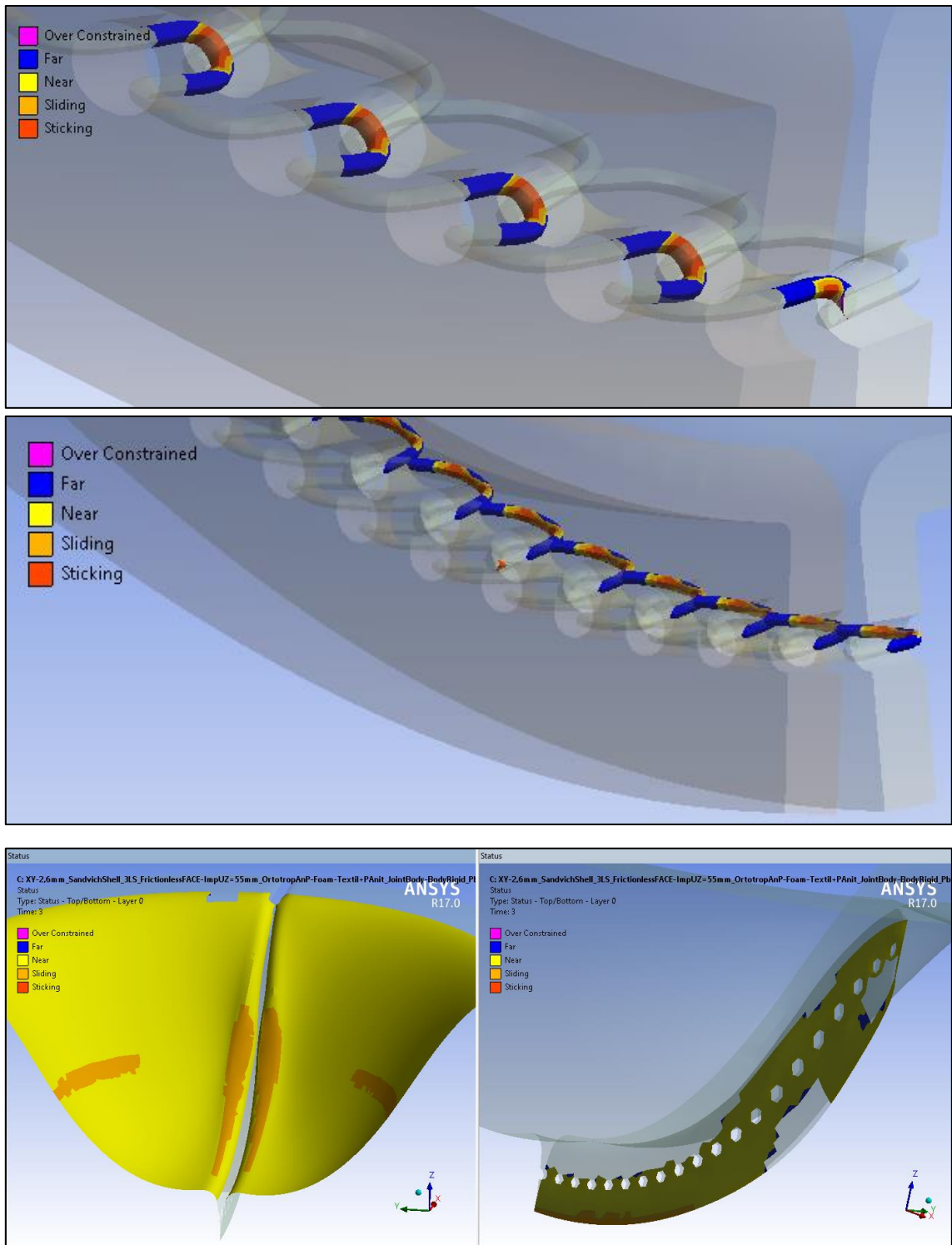
V daném případě byly definovány ve FEM modelu následující kontaktní vazby:

- Mezi horní a spodní nití (obr. 19a) (1x).
- Mezi dvěma částmi plošné textilie (obr. 19b) (1x)
- Mezi materiálovou strukturou a nití (obr. 19c) (2x).
- Mezi polokoulí a plošnou textilií (obr. 19d) (2x).



Obr. 19. Specifikace kontaktních vazeb (a – 1x kontakt mezi horní a spodní šicí nití; b – 1x kontakt mezi dvěma částmi plošné textilie; c – 2x kontakty mezi plošnou textilií a šicí nití; d – 2x kontakt mezi polokoulí a plošnou textilií)

Vizualizace a kontroly statusů kontaktních vazeb mezi díly sestavy FEM modelu je znázorněna na následujícím obr. 20.



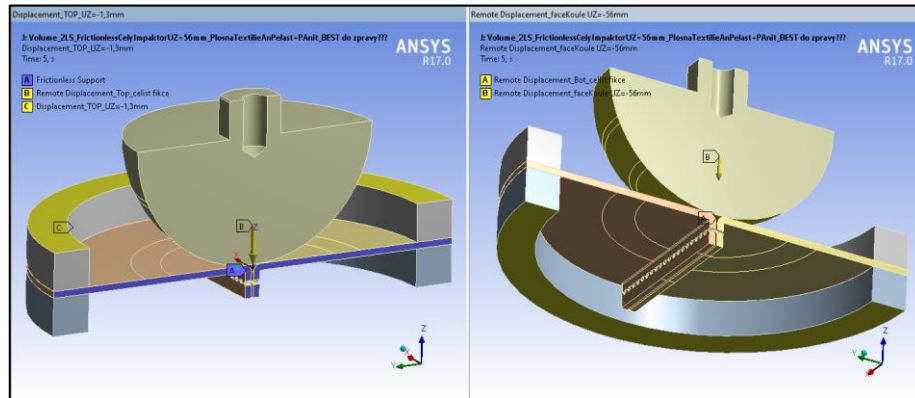
Obr. 20. Ukázka vizualizace a kontroly statusů kontaktních vazeb mezi díly sestavy FEM modelu

4.1.2 Zadání okrajových a zatěžovacích podmínek do FE modelu

Okrajové a zatěžovací podmínky jsou v ANSYS důležitým prvkem, který umožňuje simulovat reálné podmínky a chování systému v různých situacích. Tyto podmínky mohou být aplikovány na různé prvky modelu, jako jsou uzly, elementy, body, hrany nebo povrchy topologie modelu. Existují různé typy okrajových podmínek,

zahrnující například silové zatěžovací podmínky, deformační podmínky, teplotní podmínky a další.

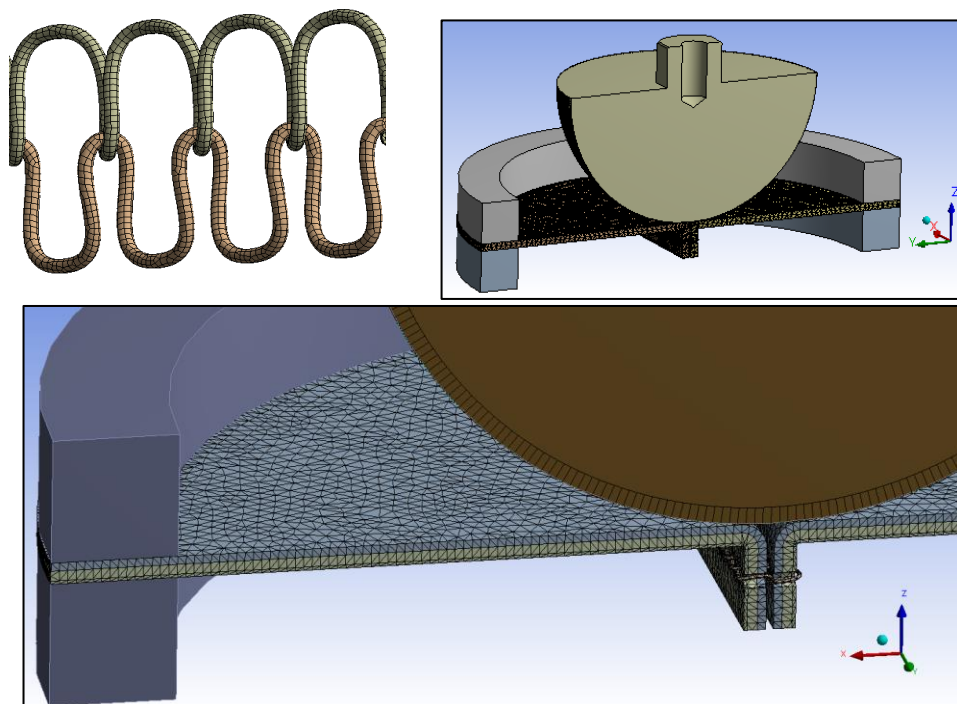
Na obr. 21 je znázorněn příklad simulačních okrajových podmínek na 3D modelu celkové soustavy.



Obr. 21. Zobrazení okrajových a zatěžovacích podmínek v 3D symetrickém FE modelu

4.1.3 Generování sítě konečných prvků

ANSYS nabízí několik možností pro generování sítě konečných prvků (FE). Sítování konkrétního modelu šitého spoje lze realizovat automatickým generátorem sítě (default), nicméně, vzhledem k charakterově odlišným částem geometrie modelu, je možno jednotlivé díly sítovat s individuálními parametry. Vytvoření sítě a orientace anizotropních, či ortotropních vlastností na textilních strukturách je vhodné definovat pomocí řady metod a postupů, tzv. mapped meshing aj. [19] - [23]. Příklady generovaných sítí jsou patrné z obr. 22.



Obr. 22. Ukázky generovaných sítí konečných prvků

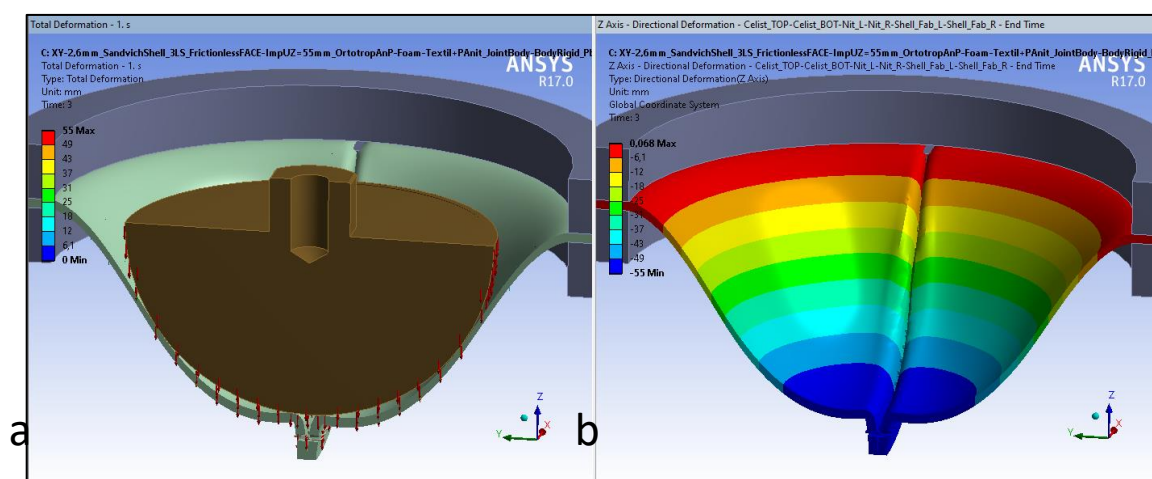
4.1.1 Výsledky simulace multiaxiálního namáhání šitého spoje

Pro predikci deformační odezvy předmětného textilního materiálového systému byly numericky simulovány víceosé tahové experimenty a porovnávány s experimentálními výsledky.

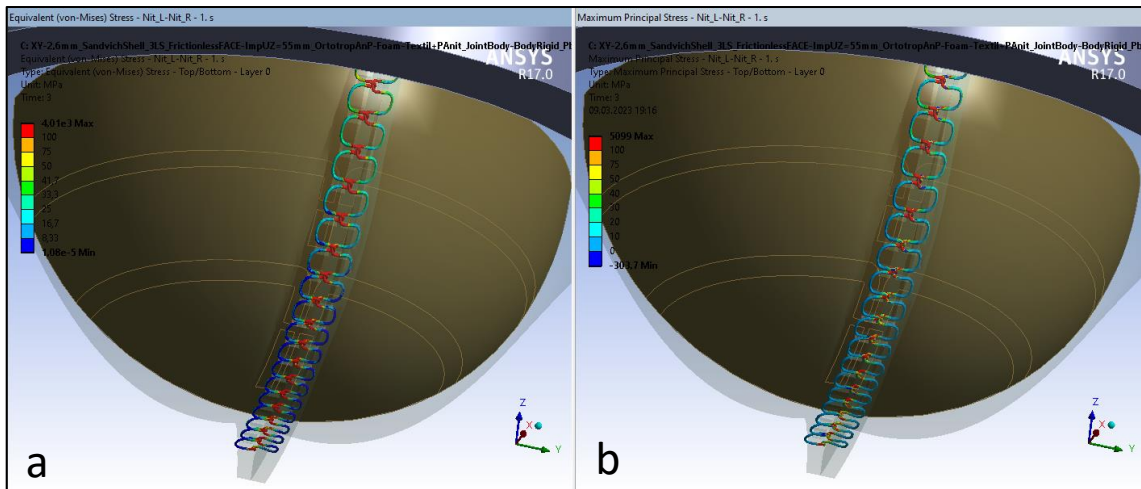
Jak bylo již výše uvedeno, FE simulace lze realizovat jak v pozvolném režimu zatěžování, tzv. statickém, tak v režimu přechodovém (časovém) se zohledněním setrvačných účinků hmotných objektů sestavy. Vzhledem k tomu, že reálné experimenty byly realizované v režimu kvazistatickém, zatížení experimentálního vzorku se zvětšovalo deformačně, a to rychlostí 100 mm/min byly simulace provedeny ve statickém režimu.

Výstupem numerických simulací fyzické zkoušky šitého spoje může být řada užitečných údajů, např.

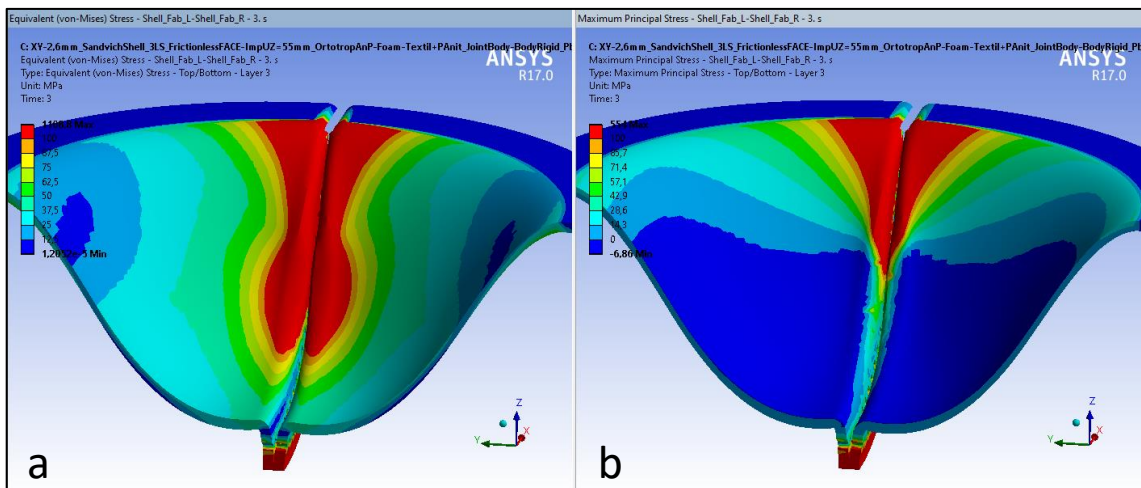
1. Vektory posuvů, včetně jejich složek v definovaných souřadných systémech. Tyto vektory ukazují změnu polohy jednotlivých uzlů modelu po působení zatížení. Každý uzel modelu má svůj vlastní vektor posuvu, který se skládá ze tří složek posuvu v příslušných osách zvoleného souřadného systému.
2. Složky napětí a poměrných přetvoření v jednotlivých dílech sestavy. Uzly s vyšší koncentrací napětí nebo výrazným přetvořením lze identifikovat na základě barevných zobrazení, tzv. izoploch.
3. Statusy a parametry kontaktních vazeb mezi tělesy sestavy. Statusy kontaktních vazeb označují stav kontaktní vazby mezi díly modelu v různých fázích simulace.
4. Složky reakčních účinků mezi objekty soustavy a mezi soustavou a jejím okolím, tzv. rámem.
5. Ekvivalentní napětí a přetvoření. Mapa ekvivalentního napětí a přetvoření umožňuje rychle vizualizovat místa s nejvyšším zatížením.



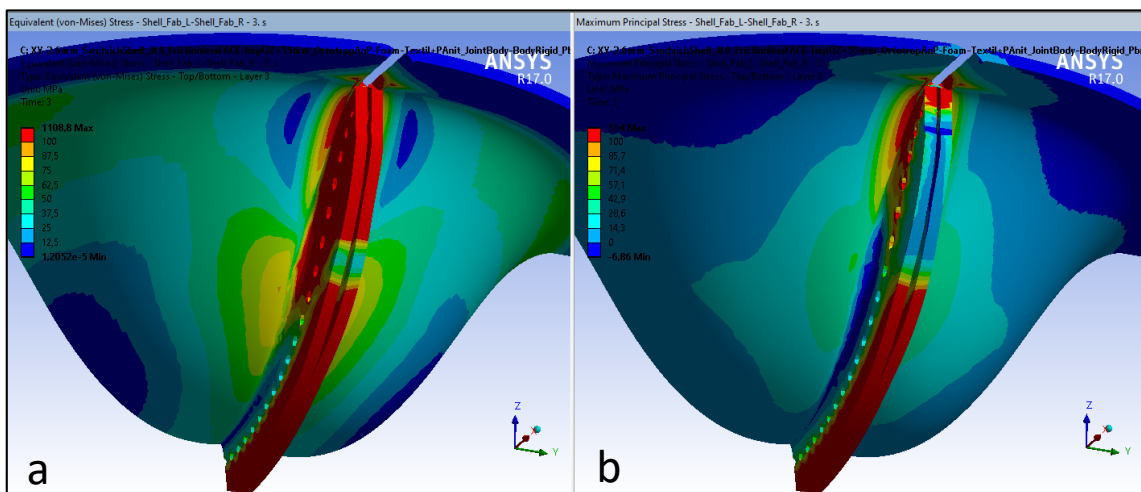
Obr. 23. Vektor posuvů (a) a složka posuvu ve svislém směru osy Z (b)



Obr. 24. Ekvivalentní napětí (a) maximální hlavní napětí (b) v nitích šitého spoje



Obr. 25. Ekvivalentní napětí (a) maximální hlavní napětí (b) vrchní plošné textilie (pohled shora)



Obr. 26. Ekvivalentní napětí (a) maximální hlavní napětí (b) vrchní plošné textilie (pohled zdola)

5 Zhodnocení výsledků pro vědní obor nebo pro praxi

V práci bylo teoreticky popsáno a na základě provedených experimentů demonstrováno chování plošné technické textilie se švem, použité pro výrobu potahů automobilových sedaček, při působení víceosého namáhání, které by mohlo simulovat reálné použití těchto výrobků. Znalost chování šitých švů při víceosém zatížení může poskytnout odhad trvanlivosti daných produktů. Rovněž byl zkoumán zřejmě existující vliv plošné textilie na pevnost šitých spojů při jednom a víceosém namáhání, který se v praxi i odborných publikacích často zcela zanedbává.

Hlavními předpokládanými i existujícími uživateli daného laboratorního zařízení jsou především vědecko-výzkumné organizace a univerzitní laboratoře.

Unikátní experimentální přípravek, postavený v rámci disertační práce, se ukázal jako vhodný nástroj pro testování nejen šitých spojů při působení víceosého namáhání, ale měl by i sloužit jako nástroj pro další studium. Otevírá také nové možnosti pro hodnocení deformačních vlastností elastických plošných textilií a textilií se švem, které by měly vykonávat specifickou funkci, například ochrannou, a zároveň být vystaveny víceosému zatížení. Tento výzkum tedy poukazuje na význam a potenciál nového upraveného přípravku jakožto nástroje pro zlepšování testování a vývoje produktů v průmyslových odvětvích, kde jsou tyto produkty běžně využívány.

Zařízení se současně používá pro testování deformačních vlastností elastických a viskoelastických materiálů, také pevností šitých spojů.

Ačkoliv ve výsledcích velmi detailního numerického modelování s definováním materiálového modelu a implementací experimentálně naměřených hodnot komponentů šitého spoje bylo možné pozorovat o něco vyšší hodnoty pevnosti než během reálného experimentu, může být tento model v praxi použit zejména k výraznému zkrácení času testování mechanických vlastností šitých spojů. Výsledky těchto simulací umožňují virtuální testování textilních struktur a materiálů před jejich výrobou a nasazením v reálném prostředí. To může významně snížit náklady a časovou náročnost vývoje nových materiálů a konstrukcí a zlepšit jejich kvalitu a bezpečnost.

6 Doporučení na pokračování práce v daném tématu a oboru

Práce je experimentální analýzou vlivu nestandardního víceosého způsobu namáhání na pevnost švů v potazích automobilových sedaček. Daný výzkum je souhrn znalostí z dané problematiky, ze které lze vycházet při dalším studiu v této oblasti.

Možné oblasti, které by se v budoucnu mohly stát předmětem zájmu, lze rozdělit do kompetencí oborů vědy a průmyslu. Možné oblasti, které by se v budoucnu mohly stát předmětem zájmu, lze rozdělit do kompetencí oborů vědy a průmyslu. Konkrétně by se mohlo jednat o:

- hledání možností a způsobů zkoušení pevnosti šitých spojů v důsledku namáhání v podmínkách, blízcích k podmínkám exploatace potahů automobilových sedaček, jelikož během provozu jsou tyto výrobky podrobeny neustálým namáháním, víceosým, rázovým a cyklickým. Stávající normované zkušební metody pro experimentální stanovení pevnosti švu nepostihují problematiku vlivu způsobu namáhání ani z hlediska rychlosti změny velikosti síly;

- rozvíjení podmínek experimentálního ověřování vlivu multiaxiálního namáhání na pevnost švu – řešení možnosti usnadnění vyhodnocování zkoušek, testování větších vzorků, návazně na požadavky technologie výroby technických konfekcí;

- podrobnější analýzu vlivů na pevnost šitých spojů, která je nezbytná vzhledem k složitosti mechanického působení na komponenty spoje. Složitost mechanického působení na komponenty spoje způsobuje, že numerický model pro predikci příčné pevnosti švu není dostatečně přesný. Do pevnosti se promítá mnoho různorodých vlivů, které by bylo vhodné podrobněji analyzovat. Zabývání se například vlivem mechanických vlastností tkaniny sendvičového typu na pevnost šitých spojů při multiaxiálním namáhání a je součástí zlepšování a upřesňování numerického modelu;

- kladení důrazu na kvalitu šitých spojů. To by mohlo zahrnovat výzkum a zavádění nových technik a materiálů pro zlepšení pevnosti a trvanlivosti švů, jakož i pravidelné kontroly kvality, aby se zajistilo, že všechny švy splňují nejvyšší standardy. Celkově by bylo cílem zajistit, aby potahy autosedaček byly nejen vizuálně přitažlivé, ale také poskytovaly maximální bezpečnost a ochranu cestujícím ve vozidle.

Výše uvedené oblasti představují významný potenciál pro další výzkum a vývoj, který by mohl vést k vylepšení současných postupů a metod při výrobě a testování šitých spojů.

7 Seznam publikovaných prací studenta DSP (včetně uvedení všech spoluautorů publikovaných prací a jejich autorských podílů) a jejich případné citace

Impaktované časopisy / Journals with impact:

Kovalova, N., P. Kulhavý, P., Vosáhlo J. a A. Havelka. Experimental and numerical study of sewing seams of automobile seat covers under unidirectional and multiaxial loading. In: *Tekstil ve Konfeksiyon*. Volume: 29 - Issue: 4. 2019, s. 322-335.

Ostatní časopisy / Other journals:

- Kovalova, N., Kulhavý, P., Vosáhlo, J. a Havelka, A. Experimental Investigation of Multiaxial Stress of the Sewing Seam and Creating its Numerical Model. *VaT*. 2017, 24 (2), s. 49–53, ISSN: 1335-0617.

- Kulhavý, P., Kovalova, N. a Vosáhlo, J., Numerical Model of the Static Loading of a Stitched Seam in the Composite Cover of Car Seat. *Applied Mechanics and Materials*, 1 vyd., 2016 Trans Tech Publications Inc., Switzerland, 2016, s. 137–140. ISSN 1662-7482.

Kapitola v knize:

Kulhavý, P., Kovalova, N., Martonka, R. a Petrik, J. Biaxial Stress of the Textile Car Seat Cover Tested in a Climatic Chamber. *The Latest Methods of Construction Design*. Springer Berlin Heidelberg, 2015, s. 437-442. ISBN 978-3-319-22761-0.

Ostatní publikace:

- Kulhavý, P., Kovalova, N., Martonka, R. and Petrik, J. ICMD 2014: book of proceedings of the 55th Int. Conf. of machine design departments: Beroun, Czech Rep., Sept 9-12, 2014. Prague: Czech Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, 2014. ISBN 978-80-01-05542-7.
- Kovalova, N., Kulhavý, P. a Havelka, A. Static and dynamic strength of sewing seams for a special application. Proc. Int. Conf. CLOTECH 2015 (Lodz: Lodz University of technology), s. 125-131. ISBN 978-83-7283-666-3.
- Kovalova N. The Static And Dynamic Sewing Seams Strength And Creating a Numerical Model of a Real Seam, Workshop for PhD Students of Faculty of Textile Engineering and Faculty of Mechanical Engineering TU, 2015.
- Kulhavý, P., Kovalova, N., a Vosáhlo, J. Methods of creating a numerical model of a real seam based on experimental data. Proc. Int. Conf. EAN 2015, Cesky Krumlov, Czech Republic, 2015, s. 195-202. Scopus
- Kovalova N., Havelka A. Analysis of Multiaxial Stress of the Sewing Seam And Creating Its Numerical Model, Workshop for PhD Students of Faculty of Textile Engineering and Faculty of Mechanical Engineering TU 2016
- Kovalova, N., Kulhavý, P., Vosáhlo, J. a Havelka A. Numerical Model and Analysis of Multiaxial Stress on the Sewing seam. Pro. Int. Conf. AUTEX 2016 [disk]. Ljubljana: University of Ljubljana, 2016. ISBN 978-961-6900-17-1, 4-50. Scopus
- Kovalova, N., Geršák, J. a Havelka A. Effect of Cyclic Loading on the Car Seat's Seams. Proc. Int. Conf. AUTEX2017. 2017. Scopus
- Kovalova N, Havelka A., Analysis of the effect of cyclic loading on seams deformation in car seat cover, 9th Central European Conf. CEC2017.

8 Seznam použité literatury

- [1] E. McIntyre et al. (eds.), Textile Terms and Definitions, 10th ed., The Textile Institute, Manchester, 1995, pp: 340.
- [2] Kovacevic, Stana, Jacqueline Domjanic, Snježana Brnada a Ivana Schwarz. Textile Composites for Seat Upholstery. Kumar, Bipin a Suman THAKUR, ed. Textiles for Advanced Applications [online]. InTech, 2017.
- [3] Gülşah P. and Çeken F. (2009). Research on the breaking and tearing strength and elongation and elongation of automobile seat cover fabrics. Textile Research Journal, 79(1), 47–58.
- [4] Tabor D. The Hardness of Metals. New York: Oxford university press, 1951. ISBN 0198507763.
- [5] E. Meyer, Untersuchungen iiber Harteproofimg und, Harte Z Ver Deutsche Ing, 52 (1908), pp. 645-654.
- [6] B. Taljat, T. Zacharia a F. Kosel. New analytical procedure to determine stress-strain curve from spherical indentation data. 1998(Vol. 35, 33), 4411 - 4426.

- [7] K, Stana, Jacqueline Domjanic, Snježana Brnada a Ivana Schwarz. Textile Composites for Seat Upholstery. ed. Textiles for Advanced Applications [online]. InTech, 2017, ISBN 978-953-51-3500-5.
- [8] Kisilak, Dragica. A New Method of Evaluating Spherical Fabric Deformation. Textile Res. J. 1999, 69 (12), 908 - 913.
- [9] Wang Yongrong, Peihua ZHANG a Yiping ZHANG. Experimental investigation the dynamic pressure attenuation of elastic fabric for compression garment. Textile Research Journal [online]. 2013, 84(6), 572-582.
- [10] Kucharski, S a Z Mróz. Identification of material parameters by means of compliance moduli in spherical indentation test. Materials Science and Engineering: A. 2004, 379(1-2), 448-456. ISSN 09215093.
- [11] American and Afird Selecting The Right SPI. [online]. 2007 [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <http://www.amefird.com/blog/2012/09/selecting-the-right-spi/>. American and Afird Selecting The Right SPI. [online]. 2007 [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <http://www.amefird.com/blog/2012/09/selecting-the-right-spi/>.
- [12] Kunz, O. K problematice vlastností švů ve vztahu k vlastnostem šitého materiálu. Informativní přehled. VÚP Brno, 1979, č. 1.
- [13] Barbulov – Popov D, Cirkovic N and Stepanovic J. The Influence of Stitch Density and of the Type of Sewing Thread on Seam Strength. TEM J. 2012 (2), 104-110.
- [14] Python Data Science Essentials. Packt Publishing Limited, 2018. ISBN 9781789537864.
- [15] Křivý, Ivan a Evžen Kindler. Simulace a modelování. Ostrava: Ostravská univerzita 2001. Skripta.
- [16] Bruker microCT [online]. Kontich, Belgium: Bruker microCT, 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://bruker-microct.com/home.htm>.
- [17] High-Speed Video Cameras: I-SPEED.3 SERIES [online]. United Kingdom, 2014 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.ix-cameras.com/index.php>.
- [18] Kulhavy P., Kovalova N., Vosahlo J., Numerical Model of the Static Loading of a Stitched Seam in the Composite Cover of Car Seat, Applied Mechanics and Materials, Vol. 827, Trans tech publ., 2015.
- [19] Moaveni Saeed. Finite element analysis: theory and application with ANSYS. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2008. Pearson education international. ISBN 978-0-13-241651-1.
- [20] ANSYS Mechanical User's Guide [online]. In: . Release 14.5. Canonsburg: ANSYS, October 2012, s. 445 - 475 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://vdocuments.mx/ansys-mechanical-user-guide.html?page=7>.
- [21] Madenci E., Guven I. (2006). The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS, Springer, ISBN-13: 978-0387282893.
- [22] Zienkiewicz, O. C., Robert L. Taylor a J. Z. Zhu. The finite element method: its basis and fundamentals. Seventh edition. Amsterdam: Elsevier, 2013. ISBN 978-1-85617-633-0.
- [23] Talia M., Lankarani H., Talia J.E. (1999). New experimental technique for the study and analysis of solid particle erosion mechanisms, Wear pp. 225-229, pp.1070–1077.

9 Curriculum Vitae

Osobní informace:

Jméno: Natalia Kovalova

Adresa: Sluneční stráž 859/3, 460 15, Liberec

Datum narození: 15.04.1990

Email: natalia.kovalova@seznam.cz

Vzdělání:

- | | |
|----------------------------|---|
| <u>2013 - dosud</u> | doktorské studium, Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní

disertační práce – Hodnocení mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání |
| <u>2010 – 2013</u> | magisterské studium, Ing., Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní.

diplomová práce – Mechanické vlastnosti šicích nití vyráběných dvouzákrutovou technologií |
| <u>2006 - 2010</u> | bakalářské studium, Bc., Ukrajinská akademie inženýrské pedagogiky, Kharkiv, Ukrajina. Fakulta technologická. |

Stáže:

- | | |
|--------------------|---|
| <u>2017</u> | Spol. Adient Strakonice, R&D odd., 4 měsíce |
| <u>2016</u> | University of Maribor, Maribor, Slovinsko, 3 měsíce |

Výuka

- | | |
|---------------------------|---|
| <u>2013 - 2016</u> | KOD / IVT Informatika a výpočetní technika, cvičící |
| <u>2013 - 2016</u> | KOD / TT2 Textilní technologie II, cvičící |
| <u>2014 - 2015</u> | KOD / ODE Výroba oděvu, cvičící |

Osobní schopnosti a dovednosti

- | | |
|------------------------|---|
| Jazykové dovednosti | anglický jazyk – aktivní
ukrajinský jazyk – rodilý mluvčí |
| Počítačové dovednosti | MS Office, SAP, Palstat, STAR sw (DSC analýza) |
| Komunikační schopnosti | pracovitost, spolehlivost, samostatnost, učenlivost, práce týmu |

10 Stručná charakteristika dosavadní odborné, výzkumné a vědecké činnosti

Doktorské studium

Seznam zkoušek Matematická statistika a analýza dat, 28.02.2014
Přenos tepla v porézních strukturách, 16.12.2013
Struktura a vlastnosti textilních vláken, 15.04.2014
Simulace technologických procesů, 14.03.2016
Experimentální technika oboru, 20.03.2017

SDZ Státní doktorská zkouška vykonána dne 06.10.2017
s celkovým hodnocením prospěla.

Pedagogická činnost

Výuka KOD / IVT Informatika a výpočetní technika, cvičící
(2014, 2015, 2016)
KOD / TT2 Textilní technologie II, cvičící
(2014, 2015, 2016)
KOD / ODE Výroba oděvu, cvičící (2014, 2015, 2016)

Výzkumné projekty SGS 21089 - Pevnost švů automobilových sedaček
při víceosém namáhání, druh účasti (řešitel), 2015
SGS 21145 - Inovace a ověření metodiky pro hodnocení pevnosti švu
potahu automobilových sedaček při víceosém namáhání (řešitel), 2016

11 Vyjádření školitele doktorandky

Posudek vedoucího disertační práce

Student : Ing. Natalia Kovalová

Název práce: Hodnocení mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání

Studijní program: P3106 – Textilní inženýrství

Vedoucí disertační práce: doc. Ing Antonín Havelka, CSc.

Disertantka řešila zajímavý vědecký problém - namáhání šitých spojů při reálném multiaxiálním namáhání, což je v podstatě běžné u většiny reálných způsobů namáhání v technické praxi, zejména u automobilových sedaček. Disertantka postupovala během řádné prezenční aspirantury velmi systematicky a pečlivě, po nástupu do reálného zaměstnání s jiným odborným zaměřením se postup dokončení práce výrazně zpomalil, proto je velmi důležité, že přesto práci dokončila a odevzdala.

Práce je dělena do úvodu, 5-ti kapitol a závěru. Druhá kapitola má rešeršní charakter a definuje význam řešení dané problematiky pro výrobu a uplatnění a užívání v technické konfekci, zejména v aplikaci na automotive a technickou konfekci.

Za stěžejní kapitolu považuji kapitoly následující, třetí kapitola představuje teoretický rozbor dané problematiky s celkovým přehledem o technických textiliích, zejména autosedačkách a šitých spojích v nich. Tato kapitola má skutečně inspirativní charakter pro nalezení lepších zkušebních metod pro multiaxiální namáhání

Čtvrtá kapitola popisuje experimentální část práce s popisem použitých délkových i plošných textilií. Za důležitý aspekt disertační práce považuji návrh a realizaci experimentálního přípravku pro testování a mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání. Byly testovány vlivy šicí nitě, ale také šitého materiálu na pevnost švů. Neméně důležitá je i teoretická analýza výpočtu tažnosti při víceosém namáhání. Přepis ve vztahu (35) považuji za formální.

Pátá kapitola je věnována uzavření experimentální části matematickým modelem na bázi metody konečných prvků. Vše bylo řešeno na základě řady zjednodušujících předpokladů, nicméně shoda s experimentem je poměrně dobrá. Je zřejmé že další hlubší analýza by si vyžádala obsáhlé výzkumné práce, což ani nabylo předmětem cílů disertace.

Formálně je práce upravena přehledně a v jednotném stylu, obsahově v zásadě naplnila zadání a cíle práce. Co se týče stavby disertační práce má logickou strukturu a kapitoly jsou řazeny systematicky a navazují na sebe. Autorka vymezuje danou problematiku a čerpá v rešeršní části z poznatků v literatuře. Škoda, že více nekomentuje získané poznatky svými pohledy na danou problematiku.

Splnění cílů a zadání práce

Proponované cíle disertační práce byly splněny

Odborná úroveň práce

Odborná úroveň práce je dobrá, lze kladně hodnotit vývoj a ověření funkce speciálního laboratorního přípravku pro mutiaxiální hodnocení namáhání švů a pilotní pokus o modelování metodou konečných prvků.

Výsledky a poznatky

Výsledkem práce je návrh numerického modelu pevnosti švů při multiaxiálním namáhání sférickým tělesem a porovnání s experimentálně zjištěnými daty s dobrou shodou a zjištění, že experimentální výsledky monitorované pomocí vysokorychlostní kamery Olympus vyjadřují dobrou představu o deformační odezvě šitého spoje. Důležitým zjištěním je skutečnost, že na pevnost šitého spoje kromě vlivu pevnosti šicí nitě mají i mechanické vlastnosti šitého materiálu

Přínos pro praxi, případně další rozvoj oboru.

Pevnost šitých spojů je zcela zásadní u technických aplikací konfekcionování, jako je výroba bezpečnostních pásů, airbagů, automobilových sedaček u airbagových švů, horolezeckých úvazků, vázacích popruhů, aplikací v balonovém létání, rogal atd. Ve všech těchto případech má pevnost šitého spoje nejen estetický vliv, ale zcela fatální význam pro život uživatele. Okamžité aplikační výstupy jsou zřejmé a nezbytné a budou okamžitě uplatněny.

Přístup doktoranda k studijním povinnostem a publikační aktivity.

Doktorandka splnila všechny povinnosti a velmi jí prospěla stáž na Univerzity of Maribor Slovinsko, poté začala intenzivně pracovat na své doktorské práci, přesto odevzdání Disertační práce se zpozdilo. Publikační aktivity v počtu 12-ti spoluautorství jsou přiměřené, nyní pracuje ve zcela jiném oboru, proto nejsou žádné nové publikace. Kontrola plagiátorství dokládá autorství doktorandky na dané disertační práci, výsledek je 3% a jedná se citace norem nebo známých odborných faktů, zdroje jsou řádně citovány.

Celkové hodnocení

Předložená práce splňuje základní požadavky na disertační práci a proti ji doporučuji k obhajobě.

V Liberci 09/10/2023

doc. Ing Antonín Havelka, CSc

12 Oponentské posudky disertační práce

Oponentní posudek disertační práce

Autor: Ing. Natalia Kovalová
Název: Hodnocení mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání
Oponent: Prof. Ing. Karel Adámek, CSc.

Úvod

Předložená disertační práce shrnuje výsledky rešeršní, teoretické i experimentální práce autorky v oblasti, která je výstižně popsána nadpisem práce. Obsahuje celkem asi 100 stran textu, seznam 109 položek citované literatury a seznam 12 publikací autorky, vztahujících se k tématu disertace. Asi 30 stran tvoří 11 příloh s výsledky experimentů a s výrobní dokumentací. Řešený problém je mezioborový, zjednodušeně řečeno kombinuje znalosti z oboru textilních materiálů a mechaniky.

Význam práce pro obor

Jak je uvedeno v rešeršní části práce, téma mechanických vlastností šitých spojů je velmi významné ve výrobě technických textilií, na něž je práce zaměřena. Požadovaná je trvanlivost šitých spojů i při víceosém namáhání, přičemž v důsledku namáhání při vysoké rychlosti šití je pevnost nití po ušití švu snížena.

Postup řešení, použité metody a splnění stanoveného cíle

Kratší kap. 2 uvádí obecný přehled sektoru technických textilií. Navazující rozsáhlá kap. 3 se věnuje teoretické analýze vlastností šitých spojů a faktorů, které na ně působí, se zaměřením na šití a provozní namáhání potahů pro autosedačky. Tyto kap. 2 a kap. 3 mají rešeršní charakter a shrnují jednotlivé parametry rešerše do celku, potřebného pro cíl této disertace.

Další rozsáhlá kap. 4 shrnuje výsledky provedených experimentů – kompletní popis vlastností plošných textilií, návrh metody testování mechanických vlastností šitých spojů při víceosém namáhání s pomocí realizovaného měřicího zařízení a ověření na téměř 200 různých vzorcích. U jednoosého namáhání byly zjištěny výrazné rozdíly mezi teoretickým výpočtem a experimentální pevností švu.

Kap. 5 uvádí výsledky numerické simulace zatížení šitého spoje, tedy jakýsi numerický experiment, řešený jako alternativa k experimentům v kap. 4.

V kap. 4 a kap. 5 jsou uvedeny a shrnuty hlavní cíle práce, jak byly definované v úvodní kap. 1. Lze konstatovat, že stanovené cíle byly splněny.

Výsledky disertace a význam původního konkrétního přínosu autora disertace

Jak je uvedeno výše, stanovený cíl disertace byl splněn. Vysoké požadavky na kvalitu výrobku a vysoké náklady na opravu poškozeného švu potahu sedačky vedly k otázce, zda lze pevnost švu stanovit teoreticky nebo zkoušením vhodných vzorků na navrženém zařízení. V experimentální části byly stanoveny vhodné typy šicích nití i vliv sendvičové plošné textilie na pevnost šitých spojů při víceosém namáhání. U numerické simulace byla zjištěna dobrá korelace mezi výsledky experimentu a simulace v oblasti velkých deformací, kdy dochází

k poruše švu; v oblasti malých deformací bylo zjištěno, že tuhost modelu je větší než u experimentu.

Další vyjádření

Kladně hodnotím srozumitelný a logický popis řešeného problému, rozděleného do několika kapitol, systematickosti a logický postup prací na rozsáhlém výzkumu složitého víceoborového problému.

Podrobná rešeršní a experimentální část je nezbytná k získání relevantních podkladů k predikci pevnosti šitého švu experimentem i numerickou simulací. Výsledky simulace by bylo vhodné konfrontovat s experimenty, najít korelace, když dokonalou shodu experimentu se simulací asi nelze očekávat.

Publikace

V závěru práce je uvedeno 12 publikací autorky ve spoluautorství, které mají vztah k řešené problematice. Jejich počet i témata považuji za vhodné.

Připomínky a dotazy

Str. 34, obr. 16: Popis neodpovídá zobrazenému, např. „vliv počtu útkových nití“ je správně jemnost útku v nezákonných jednotkách Ne (správně tex), zákonnou jednotkou síly je N, ne kg. Tamtéž, obr. 17: Vliv rychlosti šití (osa x).

Str. 47, obr. 25: Fournisseur je podavač (odvíječ), který zajistí rovnoměrný odpor při odvíjení z různého tvaru cívky (plná/prázdná).

Str. 50, obr. 28: Sloupkový diagram není příliš přehledný, zdá se, že při vyšší rychlosti zatěžování je vyšší napětí. Je tu nějaká korelace, nebo jde o náhodné výsledky?

Str. 91, text nad obr.: Lze stanovit, který typ kontaktu by se tu měl použít jako ten nejvhodnější?

Str. 94, obr. 69: Jsou generované sítě dost jemné? I za zjednodušeného předpokladu, že šicí nit i šitá textilie jsou homogenní (to nejsou), by asi bylo vhodné zvětšit počet vrstev. Objeví se pak řada detailů, které se v hrubé síti nezobrazí. Obecně by bylo dobré se na zjednodušeném menším modelu zaměřit na reálně existující nehomogenity (nit se skládá z fibril, není to drátek), na deformace průřezu nití při tvorbě stehu během šití atd.

Str. 96, obr. 77: Pohled shora na pole ekvivalentního napětí je úplně jiný než pohled zdola, jemnější síť by asi zobrazila podrobnosti (tloušťka spojované textilie je považovaná za homogenní?)

Závěr

Na základě výše uvedeného doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělení akademického titulu PhD.

Karel Adámek
Liberec, červen 2023

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Ing. Natalia Kovalova: Hodnocení mechanických vlastností šitých spojů při působení víceosého namáhání

Práce o rozsahu 101 stran a několika příloh je rozčleněna do 5 kapitol následovaných závěrem. V první kapitole autorka popisuje předmět své práce, jímž je analýza mechanických vlastností šitých spojů technických textilií a výtýčuje její cíle. Těmi jsou realizace přípravku pro multiaxiální zatížení, ověření metodiky měření na tomto přípravku provedením pilotních experimentů s různými typy textilií a použitých nití a vytvoření simulačního modelu této zkoušky pomocí metody konečných prvků.

Kapitola 2 je stručným úvodem do problematiky aplikace textilních materiálů v průmyslu, zejména pak v průmyslu automobilovém, kde zájem autorky postupně směřuje k využití textilních technologií při výrobě potahů automobilových sedaček.

V kapitole 3 jsou položeny terminologické základy následujícího textu. Jsou zde vymezeny pojmy typů mechanického namáhání jak z hlediska směrů namáhání, tak z hlediska kinematiky zatěžování. Je zde také zmíněna funkce a vlastnosti spojů textilií. Podrobně jsou zde popsány faktory působící na mechanické vlastnosti šitých spojů a jejich technologické charakteristiky. Obsahuje také rešerši norem popisujících mechanické zkoušky textilních materiálů a jejich spojů, z níž autorka v této kapitole vychází.

V rozsáhlé 4. kapitole autorka popisuje provedené experimenty. Popisuje experimentální zařízení, metody a testované materiály. Těmi se rozumí různé typy sendvičových textilií používaných k čalounění automobilových sedaček a různé typy nití, které byly použity k vytvoření šitého spoje. Autorka analyzuje pevnost šitého spoje v závislosti na typu použité nitě a textilního materiálu. Zde dochází k zajímavým zjištěním ohledně závislosti pevnosti šitého spoje, která jsou přehledně dokumentována tabulkami a grafy.

5. kapitola je věnována tvorbě geometrie a sítě simulačního modelu v programu Ansys, definici materiálových vlastností, kde jsou využity údaje zjištěné experimentálně v kapitole 4 a samotnému provedení simulačního výpočtu. Jeho výsledky jsou následně porovnány s experimentálními zjištěními uvedenými v kap. 4.

Poslední 6. kapitola je věnována sumarizaci použitých metod a dosažených výsledků s naznačením dalšího vývoje.

Práce zaujme vyspělostí slohové stránky textu, ze kterého promlouvá autorčina schopnost analytického myšlení. Celý text je ovšem srážen chybami jazykovými a někdy i věcnými, s různou úrovní závažnosti. Z těch méně významných uvedme:

Str. 7 a 8 – V seznamu symbolů je F [N] použito pro označení síly působící na pohyblivou čelist. Stejný symbol F ve formě bezrozměrného čísla je zde uveden jako vektor zobecněného zatížení.

Str. 15, obr. 4 – Použití spojité čáry v grafu nemá opodstatnění, protože mezi vyjmenovanými sektory, kde se technické textilie využívají, není plynulého přechodu. Mělo být použito disktrétního zobrazení např. pomocí grafu sloupcového.

Str. 19, obr. 6 – Vysvětluje-li autorka kinematiku pohybu s konstantním zrychlením, potom by graf polohy x v časovém intervalu t_0 až t_1 měl mít parabolický charakter.

Str. 31, obr. 14 - Vektory F_1 , F_2 , F_3 jsou v textu uváděny jako napětí. Zřejmě se ale jedná o síly, což by korespondovalo se seznamem symbolů na str. 7. Seznam symbolů je třeba řadit podle abecedy.

Str. 63, odst. 2 – Autorka v práci zdůrazňuje přínos zavedení předpokladu víceosé napjatosti v textilií, pro ilustraci ale uvádí Hookeův zákon pro jednoosou napjatost.

Str. 68, obr. 46 b – V grafu chybějí číselné kóty.

Str. 73, poslední odst. – Relativní prodloužení má zde uvedenu jednotku [mm], má být ovšem bezrozměrné.

Str. 76, druhý odstavce – Ve vztahu pro odvěsnu AB má být R_0 v druhé mocnině, taktéž ve vztahu (35) na těžší straně.

Str. 76 – Ve vztahu pro L_1 chybí závorka.

Str. 76 – Ve vztahu (35) chybí započtení dvojnásobku vzdálenosti BC v délce L_1 . Na str. 74 je tento vztah uveden správně, ovšem s neopodstatněným použitím symbolu sjednocení.

Str. 82, poslední odst. – Z terminologického hlediska σ_j není vektor napětí, ale sloupcová matice složek tenzoru napětí, analogicky u ε_j .

Str. 85, vztah (41) – ν je v tabulce 25 použito jako Poissonovo číslo, ve stejném smyslu je definováno vztahem (40). U vztahu (41) je ale nesprávně popsáno jako Poissonova konstanta, což je převrácená hodnota Poissonova čísla. (Jen pro upřesnění, konstanta není Poissonová, ale Poissonova.)

Str. 87, obr. 60 – Název křivky je Bézierova nikoli Beziérová.

Str. 94, obr. 69 – Síť modelu textilie má po tloušťce tři vrstvy prvků. Pokud jsou každé vrstvě přiřazeny stejné materiálové vlastnosti (z textu nevyplývá, že by tomu bylo jinak) potom je neopodstatněné, aby jedna z vrstev měla odlišnou tloušťku.

Text práce je z jazykového hlediska pěkně upravený asi do str. 30. Potom se začíná objevovat větší množství chyb, které by bylo pomocí jazykové korektury možné odstranit. Bohužel se v textu vyskytují i věty, které nedávají smysl, např. na str. 32, poslední odst. Občas se vyskytnou chybné odkazy na obrázky, např. str. 60, 1. věta posledního odstavce, odkaz na obr. 36, str. 71, poslední odstavce, odkaz na obr. 46.

Jako vážnější připomínky uvádím tyto:

Str. 70, poslední odstavce – Zdůvodnění rozdílů v pevnosti šitých spojů při kvazistatické zkoušce nelze opírat o tvrzení, že „každé začínající zatížení a každá změna zatížení potřebuje jistý čas k tomu, aby se přenesla na druhý konec experimentálního vzorku“. Toto zdůvodnění je chybné. V případě kvazistatického zatížení, které bylo v práci předpokládáno a realizováno, musíme vycházet z platnosti 3. Newtonova zákona akce a reakce. Akce a reakce vznikají současně. Autorčino tvrzení by mělo opodstatnění, pokud by vyšetřovala např. rázové děje.

Str. 74, obr. 51 – Je zde vysvětleno, že poloha bodu B, který je tečným bodem přímkové části meridiánu určené body A, B, je zjištěna experimentálně obarvením koule a změřením průměru kulového otisku. Tuto část experimentu je možné vynechat, protože polohu tečného bodu B lze stanovit výpočtem. Je výsledkem řešení polohy tečny ke kružnici, kdy tečna prochází bodem A, přičemž poloměr kružnice R_0 a polohu středu D známe. Potom je možné dopočítat poloměr r_0 i úhel α .

Str. 85 – Tato partie je nedostatečně vysvětlená. Není jasné, jak byly vypočteny hodnoty modulů pružnosti ve smyku G_{12} , G_{23} , G_{13} uvedené v tab. 25. Vztah (41) pro výpočet G platí pouze pro izotropní materiál. V práci je materiál textilie považován za ortotropní. Proto je potřeba použít jiného vztahu. Stejně tak modul E_3 určený z tahové zkoušky v diagonálním směru plošné textilie patrně není modulem pružnosti materiálu v ose z (obr. 65 nahoře).

Otázky k zodpovězení:

- 1) Co značí zelená křivka na obr. 51?
- 2) Z obr. 69 na str. 94 je zřejmé, že k vytvoření sítě konečných prvků byly zvoleny prvky typu tetrahedron. Mohla by to autorka zdůvodnit? Je to důsledek volby automaticky generované sítě? Geometrie tělesa (textilie) se nejeví jako příliš složitá. Proč pro tvorbu sítě nebyly použity prvky typu hexahedron, které by bylo s ohledem na spolehlivost výsledku možné preferovat?
- 3) V kapitole 5 je tvar modelu niti ve švu vytvořen pomocí Bézierovy křivky. Tento tvar ale reálně vzniká procesem šití, kdy lze předpokládat, že se tím do niti vnese i jisté předpětí ještě před započítím samotné zatěžovací zkoušky. Je toto předpětí v simulační modelu uvažováno? Pokud ne, jaký je názor autorky na to, jak by ovlivnilo výsledek?

Autorka řešené téma v počátku své práce zasadila do širokého kontextu průmyslového využití technických textilií. Podrobně vysvětluje technické aspekty procesu šití s ohledem na technologii výroby, ale i s ohledem na probíhající fyzikální děje. Uvádí návrh přípravku pro multiaxiální zatížení textilie s možností pořízení videozáznamu vysokorychlostní kamerou. Dále se věnuje simulaci této zkoušky pomocí metody konečných prvků. Vzhledem ke složitosti problému, tato část obsahuje oproti reálnému experimentu určitá zjednodušení. Proto bych spíše než o ověření simulace multiaxiálního zatížení experimentem hovořil o provedení pilotní simulace, která odkrývá další výzvy do budoucí práce. Cíle práce, které si autorka vytyčila v kap. 1.2, byly splněny.

Doporučuji práci k obhajobě.

6. července 2023

doc. Ing. David CírkI, Ph.D.
Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti
Technická univerzita v Liberci