



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY



SVS FEM s.r.o.

ZPRÁVA O PRAXI VE FIRMĚ **SVS FEM**

PRŮMYSLOVÝ PROJEKT OP-PR

AUTOR

MAREK ŠEBÍK

BRNO 2016

1 Úvod

Tato zpráva byla vypracována v rámci předmětu průmyslový projekt. Ve zprávě jsou shrnuty mé pracovní zkušenosti ve firmě SVS FEM s.r.o., kde jsem měl možnost docházet na praxi během zimního semestru 2015. Cílem zprávy je sdílet osobní zkušenosti z praxe s ostatními studenty a tím jim přiblížit reálné firemní prostředí. V první části zprávy je popsána firma SVS FEM s.r.o., dále následuje přijetí na praxi a náplň praxe samotné.

2 SVS FEM s.r.o.

SVS FEM s.r.o. je česká firma sídlící v Brně, která byla založena roku 1991. Jak již název firmy napovídá, společnost se zabývá především výpočty metodou konečných prvků – finite element method (FEM). Firma je dobře známá v oboru svého působení u nás i ve světě.

Analýzy a výpočty, kterými se firma zabývá, spadají jak do strojírenství, tak do stavebnictví a mnohých dalších průmyslových oborů. Mezi úlohy, které firma řeší, patří pevnostní úlohy (lineární i nelineární), dynamické úlohy, teplotní úlohy, elektromagnetické simulace, proudění, interakce tekutiny s pevným tělesem, rychlé dynamické děje, únava a životnost, optimalizace, akustika tvorba a úprava sítě a další. V současné době patří mezi špičku v oblasti simulací rychlých dynamických jevů.

Dalším významným odvětvím činnosti společnosti je prodej a školení výpočetního a analyzačního softwaru, především se jedná o software ANSYS. ANSYS je široký nástroj pro nejrůznější technické simulace, který využívá právě zmiňovanou metodu konečných prvků. Firma SVS FEM s.r.o. dlouhodobě působí jako zástupce ANSYS Inc. a Livermore Software Technology Corporation pro Českou republiku a Slovensko. Zajišťuje tedy uživatelům softwaru těchto firem celkový servis a podporu od prodeje softwaru přes nejrůznější školení, až po poradenské a expertní služby. Školení, která firma nabízí, jsou v první řadě zaměřena na jednotlivé subsystémy programu ANSYS, popřípadě jsou uzpůsobena podle konkrétních potřeb zákazníka.

SVS FEM s.r.o. je spoluzakladatelem společnosti TechNet Alliance a dále je členem společnosti NAFEMS, což jsou společnosti sdružující renomované firmy, které se zabývají inženýrskými výpočty a analýzami. Od roku 2014 je firma členem Asociace obranného a bezpečnostního průmyslu ČR. Tato asociace sdružuje firmy zabývající se

výzkumem, vývojem, výrobou, obchodem a marketingem s obrannou a bezpečnostní technikou, materiálem a službami.

3 Přijetí na praxi

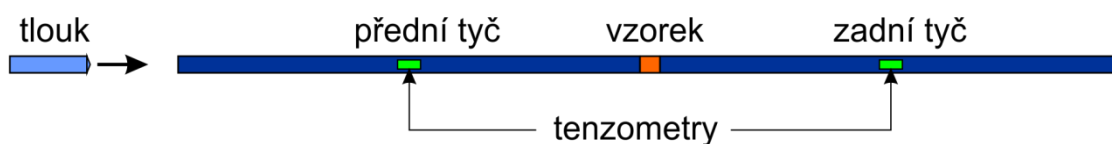
Můj první kontakt se zástupci firmy SVS FEM se uskutečnil během obhajob bakalářských prací (tedy na konci loňského akademického roku). Jedním z členů komise byl totiž pan doktor László Iván, jakožto zástupce firmy distribuující software Ansys. Zřejmě hlavně proto, že výzkum provedený v rámci mé bakalářské práce byl založen především na numerickém modelování pomocí skriptů v jazyce APDL v softwaru Ansys, mě pan Iván po obhajobách oslovil, zda bych měl zájem o spolupráci s jejich firmou. Tato nabídka ze strany renomované firmy zabývající se výpočty mě nadchla, a tak jsme se domluvili na formě praxe.

Dohodli jsme se na docházení na praxi dva dny v týdnu. Ve firmě mě pak představil svému kolegovi, panu inženýrovi Miloslavu Popovičovi, který se stal mým vedoucím. Pan inženýr Popovič mi představil hlavní úkol, s kterým bych mohl pomoci. S ním jsem dále řešil jednotlivé dílčí kroky.

4 Praxe

Prvním a hlavním úkolem, který mi byl zadán, byla pomoc se zpracováním experimentálně získaných dat ze zkoušky Hopkinsonovy dělené tyče. Jednalo se o 13 různých materiálů, u kterých bylo provedeno různé množství experimentálních měření. Každé měření bylo zaznamenáno a vyhodnoceno v samostatném sešitu programu Excel. Vstupem k vyhodnocování tedy bylo velké množství sešitů programu Excel. Cílem zpracování bylo určit na základě těchto dat energetickou absorpci jednotlivých materiálů, jejich závislosti napětí – přetvoření, závislosti rychlost přetvoření - přetvoření a další materiálové vlastnosti při rychlých dynamických dějích.

Hopkinsonova dělená tyč neboli „Split Hopkinson pressure bar“ je test materiálových vlastností při rychlých dynamických dějích. Podstata testu je založena na jednorozměrné teorii šíření elastického pulsu. Následující schéma (viz obr. 1) naznačuje uspořádání soustavy používané pro tento test.



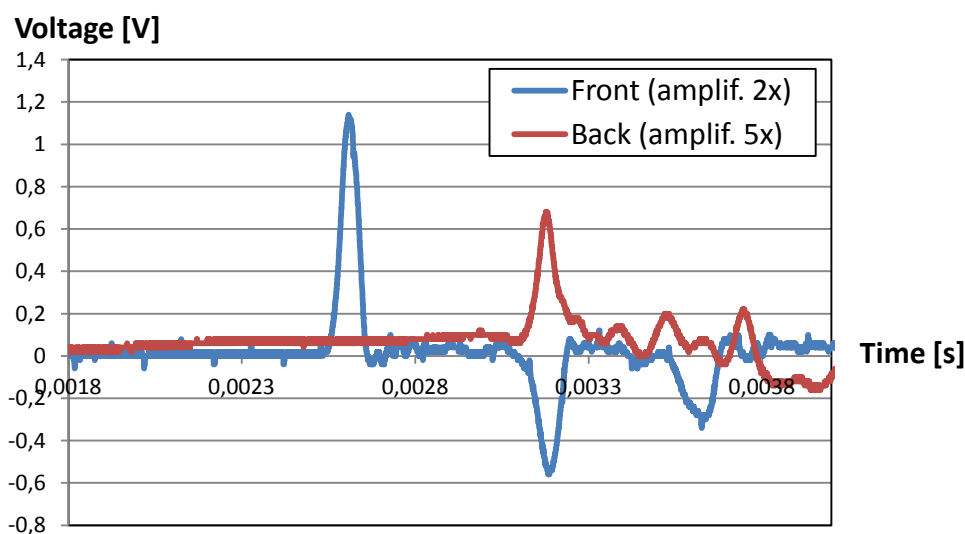
Obr. 1: Schéma Hopkinsonovy dělené tyče

Soustava se skládá z přední a zadní tyče, mezi něž je vložen vzorek materiálu, který chceme zkoušet, dále musí být soustava opatřena tzv. impaktorem neboli tloukem, který je při testu vystřelen proti čelu přední tyče. Je nezbytná vysoká přesnost výroby všech součástí této soustavy i přesnost montáže. Především je důležitá souosost, neboť se předpokládá jednorozměrné šíření elastických vln. Test probíhá následovně: tlouk bodově narazí do čela volného konce přední tyče, díky čemuž se začne přední tyčí šířit rázová vlna. Tato rázová vlna je označována za vstupní rázovou vlnu. Jakmile vlna dosáhne vzorku umístěného mezi tyčemi, vlna se rozdělí. Část vlny se odrazí zpět do přední tyče (odražená rázová vlna) a část pokračuje skrze vzorek dále do zadní tyče (přúchozí rázová vlna). Díky tenzometrům připevněným na obou tyčích je možné zaznamenat přetvoření způsobené těmito vlnami a na základě zaznamenaných signálů přetvoření vyhodnocovat materiálové charakteristiky vzorku umístěného mezi tyčemi. Na obrázku 2 je zachyceno pracoviště, kde se tato měření provádějí ve firmě SVS FEM.



Obr. 2: Pracoviště, kde je prováděn test Hopkinsonovy dělené tyče

Ukázka záznamu měření vybraného vzorku materiálu je na obr. 3.



Obr. 3: Ukázka záznamu signálu předního a zadního tenzometru

Záznam odpovídá podélné deformaci v místě středu tyče před („Front“) a za („Back“) měřeným vzorkem.

Ukázka vzorků zkoušených materiálů je na obr. 4.



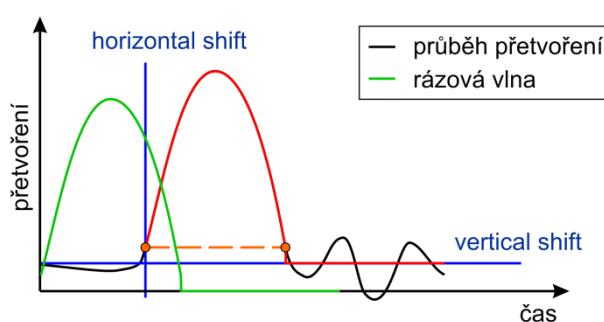
Obr. 4: Ukázka vzorků zkoušených materiálů

Při vyhodnocování materiálových vlastností zkoušených materiálů bylo mým cílem nejprve vytvořit vhodný nástroj pro vyhodnocení přetvoření vstupní, odražené a průchozí rázové vlny na základě přetvoření naměřených tenzometry. Zejména bylo potřeba určit okamžik v zaznamenaném signálu, kdy je uvažován počátek rázové vlny. Toho bylo dosaženo zavedením tří konstant určujících počátek rázové vlny tzv. horizontal shift H_i , H_r , H_t (kde opět indexy naznačují, ke které rázové vlně se daná konstanta vztahuje). Dále byly zavedeny dvě konstanty tzv. vertical shift V_f a V_b , kde index f značí, že konstanta se vztahuje k signálu naměřenému na přední tyči a index b značí, že

konstanta se vztahuje k signálu naměřenému na zadní tyči. Tyto dvě konstanty slouží k posunutí nulového bodu tak, aby průběh přetvoření byl přibližně roven 0 před příchodem první rázové vlny. Hodnoty konstant H_i , H_r , H_t , V_f a V_b byly původně odhadnuty na základě průběhů přetvoření.

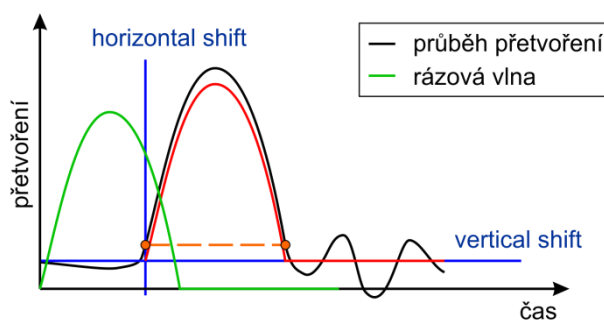
Samotné vyhodnocení rázové vlny potom probíhalo následujícími způsoby:

a) U *prvního způsobu* bylo za přetvoření během rázové vlny považováno přetvoření zaznamenané od okamžiku daného konstantou H (s patřičným indexem značícím, o kterou rázovou vlnu se jedná). Za konec rázové vlny byl potom považován okamžik, kdy přetvoření klesne pod hodnotu přetvoření na počátku rázové vlny. Tento způsob vyhodnocení je schematicky naznačen na obr. 5.



Obr. 5: Vyhodnocení rázové vlny metodou a)

b) *Druhý způsob* vyhodnocení rázové vlny byl téměř shodný s prvním. Lišil se tím, že od celého průběhu přetvoření odečítal hodnotu přetvoření na počátku rázové vlny. Tím bylo zajištěno, že pro jakoukoli volbu konstanty H bude přetvoření rázové vlny začínat vždy hodnotou 0.



Obr. 6: Vyhodnocení rázové vlny metodou b)

Po vytvoření těchto metod vyhodnocení rázové vlny následovala aplikace obou metod na vybraný materiál a srovnání. Byla porovnána relativní a absolutní absorpce a závislosti napětí — přetvoření vzhledem k metodě vyhodnocení rázové vlny. Z tohoto porovnání vyplývá, že metoda vyhodnocení rázové vlny nemá významný vliv na hodnotu

relativní absorpce. U závislostí napětí — přetvoření pak dosahují měření vyhodnocená metodou *a*) větších přetvoření. Vzhledem k tomu, že přetvoření zaznamenané na přední tyči by nemělo být zkresleno žádným dalším přetvořením vyvolaným jinými vlivy než sledovanou rázovou vlnou, byla pro vyhodnocení vstupní a odražené rázové vlny zvolena metoda *a*). Jakožto vhodná metoda vyhodnocení průchozí vlny pak byla zvolena metoda *b*), neboť se u tenzometru na zadní tyči projevoval určitý nárůst přetvoření ještě před samotnou rázovou vlnou. Metodou *b*) je možné tento nárůst nezahrnout do průběhu přetvoření při průchozí rázové vlně.

Před vyvozováním závěrů o dynamických materiálových vlastnostech zkoumaných materiálů bylo zapotřebí, co nejpřesněji určit konstanty zavedené pro určení přetvoření vstupní, odražené a průchozí rázové vlny. K tomuto účelu byl zvolen program Optislang a na základě různých kritérií byly tyto konstanty optimalizovány. Bylo provedeno několik typů optimalizací, byly voleny různé soubory měření, podle různých kritérií.

a) Optimalizace na základě poměru práce vykonaná vstupní rázovou vlnou/dopadová rychlost impaktoru

Tato optimalizace parametrů si dávala za cíl, určit konstanty týkající se vstupní rázové vlny tak, aby pro všechna měření provedená u daného materiálu bylo dosaženo co nejlepší shody v poměru práce vykonaná vstupní rázovou vlnou/dopadová rychlost impaktoru. Tento poměr byl tedy vyhodnocen pro všechna dostupná měření u daného materiálu. Optimalizované hodnoty konstant H_i a V_f se ukázaly být nevhodné, neboť u měření, které bylo vyhodnoceno jako měření s největším dopadem na směrodatnou odchylku výše zmíněných poměrů, byly tyto konstanty pozměněny na krajní meze stanovených intervalů. Tato úprava nepřipustným způsobem zkreslila charakter průběhu přetvoření vstupní rázové vlny.

b) Optimalizace měření se stejnou dopadovou rychlostí impaktoru

Pro tuto optimalizaci byla vybrána pouze měření u daného materiálu se stejnou dopadovou rychlostí impaktoru. Dále bylo postupováno obdobně jako u optimalizace *c*). Optimalizace *c*) se zdá být vhodnější, neboť práce vykonaná vstupní rázovou vlnou by měla lépe odrážet podmínky, při nichž se vzorek deformuje.

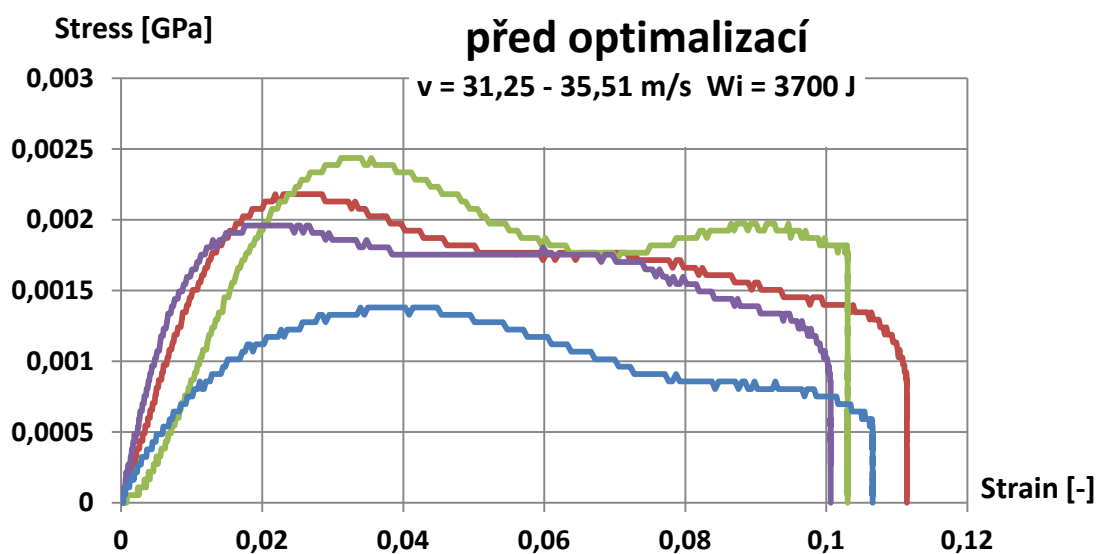
c) *Optimalizace měření se stejnou prací vykonanou vstupní rázovou vlnou*

Pro tento typ optimalizace byla vybrána pouze ta měření u daného materiálu, která měla přibližně stejnou velikost práce vykonané vstupní rázovou vlnou.

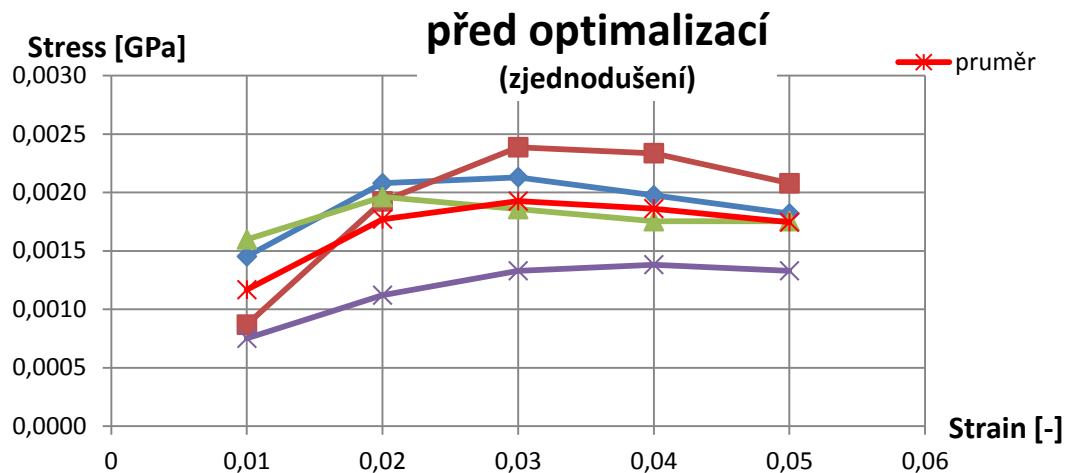
Cílem této optimalizace bylo stanovit konstanty zavedené pro určení přetvoření vstupní, odražené a průchozí rázové vlny tak, aby byly co nejlépe sjednoceny závislosti napětí — přetvoření jednotlivých měření. K tomuto účelu byly určeny klíčové hodnoty přetvoření, u těchto hodnot pak byla vyhodnocena napětí. Tím vznikla jakási zjednodušená křivka napětí — přetvoření. Z těchto zjednodušených křivek byla vytvořena jedna průměrná křivka na základě zprůměrování hodnot napětí. Dále byla pro každou hodnotu přetvoření určena směrodatná odchylka napětí.

Optimalizace měla za úkol minimalizovat směrodatné odchylky napětí u jednotlivých přetvoření. Proměnné určené k optimalizaci byly konstanty zavedené pro určení přetvoření vstupní, odražené a výstupní rázové vlny. Byl zvolen evoluční algoritmus optimalizace. Díky této optimalizaci byly získány hodnoty konstant pro určení přetvoření vstupní, odražené a výstupní rázové vlny, které byly zpětně použity v evaluačních protokolech.

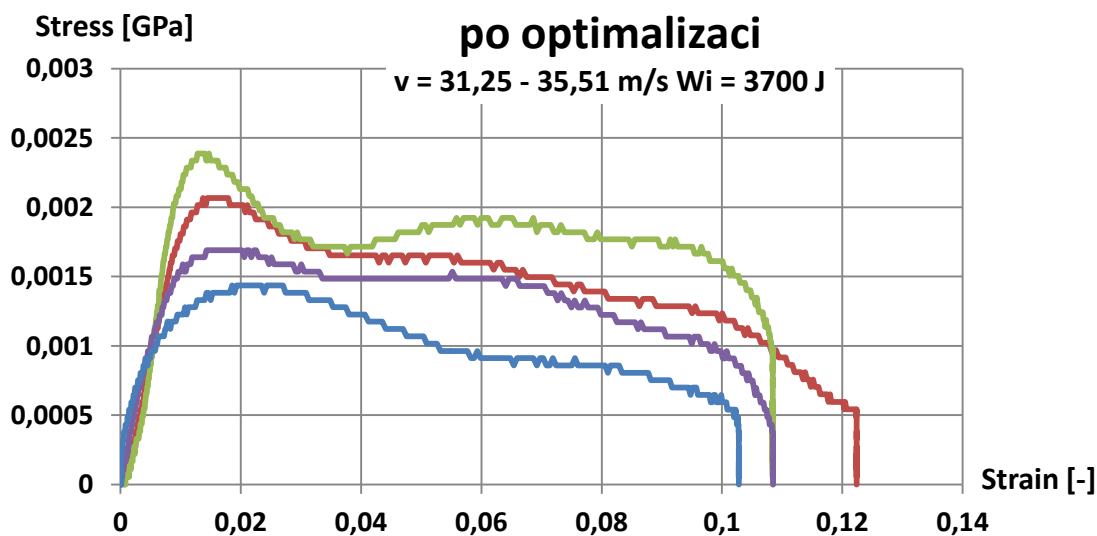
Výsledné závislosti napětí — přetvoření s použitím takto optimalizovaných konstant jsou zobrazeny na obr. 9. Z těchto výsledků je patrné, že došlo k určitému sjednocení křivek napětí — přetvoření. Došlo však také ke zdeformování charakteru křivek.



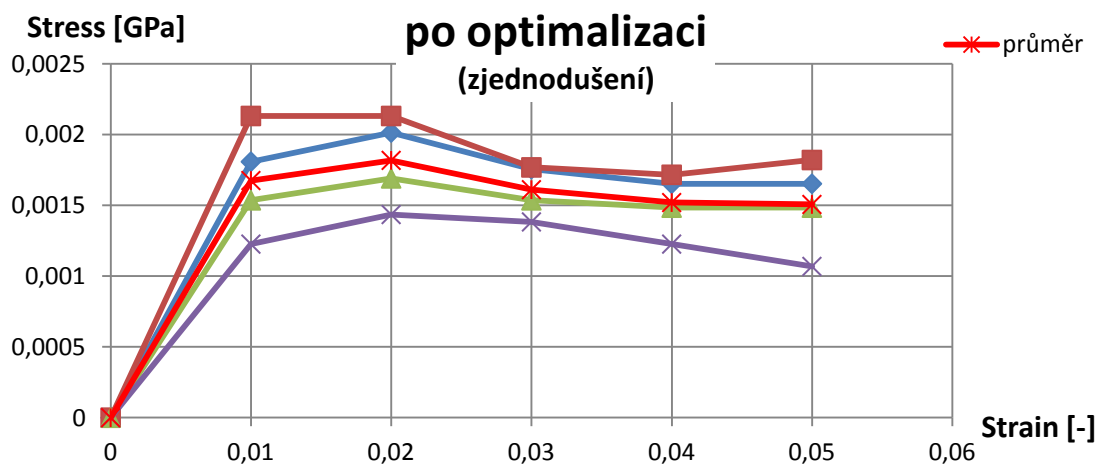
Obr. 7: Napětí — přetvoření před optimalizací c)



Obr. 8: Zjednodušená závislost napětí — přetvoření před optimalizací c)

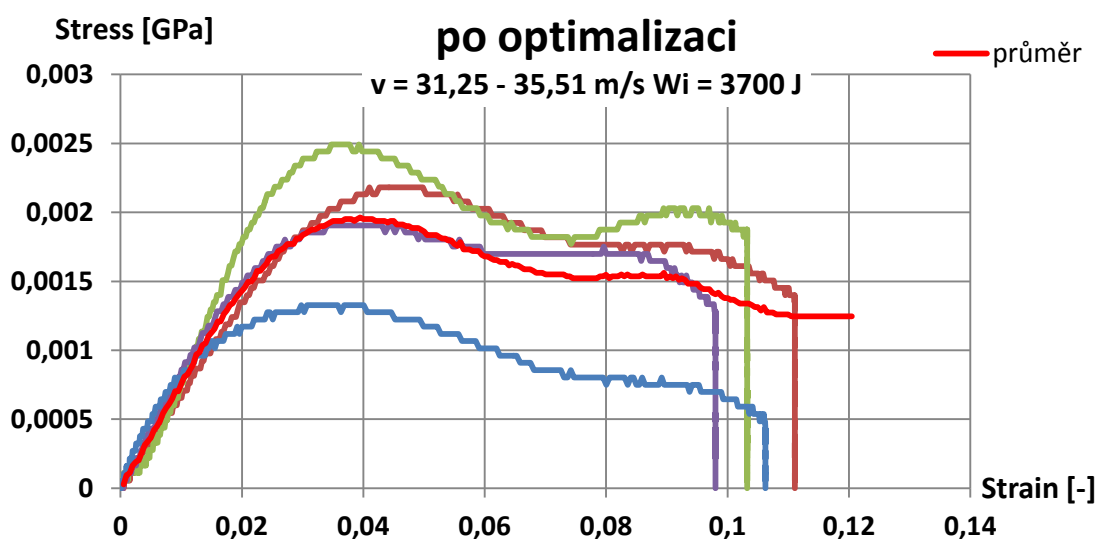


Obr. 9: Napětí — přetvoření po optimalizaci c)



Obr. 10: Zjednodušená závislost napětí — přetvoření po optimalizaci c)

Aby bylo dosaženo menšího zkreslení charakteru křivek napětí — přetvoření, byla provedena další optimalizace konstant zavedených pro určení přetvoření vstupní, odražené a výstupní rázové vlny, která byla podobná předchozí optimalizaci, lišila se pouze rozložením hodnot přetvoření, u kterých byla vyhodnocena napětí vstupující do optimalizace a navíc byla jako nejlepší design vyhodnocena ta variace konstant, u níž byla co nejmenší směrodatná odchylka z již získaných směrodatných odchylek pro jednotlivá klíčová přetvoření, tedy aby směrodatné odchylky napětí u jednotlivých klíčových přetvoření byly přibližně stejně velké. Dále bylo zamezeno změnám konstant V_f a V_b , neboť tyto změny nepřijatelným způsobem zkreslují naměřené hodnoty přetvoření a jejich přímé nastavení obsluhou je dostatečně přesné. Výsledek této optimalizace je na obr. 11.



Obr. 11: Napětí — přetvoření po optimalizaci c) se změnou rozložení klíčových ε

Tento způsob optimalizace konstant zachovává charakter křivek a přitom jsou konstanty určeny tak, že se křivky částečně sjednotí. Dále je tedy třeba postupovat tímto směrem a takto vyhodnotit závislost napětí — přetvoření u všech měřených materiálů.

5 Závěr

Tato praxe mi dala především možnost zkusit si, jak vypadá pracovní prostředí ve firmě, zabývající se výpočty. Zjistil jsem také, že získat materiálové vlastnosti není vůbec snadné a je potřeba brát je vždy s určitým nadhledem, neboť žádný materiál není možné vyrábět se stoprocentně stejnými vlastnostmi a každý jednotlivý kus vyrobený z něj se bude chovat odlišně. Materiálová data, která do svých výpočtů zavádíme, jsou vždy pouze určitým statistickým vyhodnocením. Musím tedy zopakovat to, co jste jistě už od

svých učitelů mnohokrát slyšeli, a to, že nemá smysl se ve svých výpočtech upínat na osmé desetinné místo, ale raději používat dostatečně konzervativní přístup. Také mě tato praxe naučila jak se nezaleknout velkého množství dat ke zpracování. Jako další významný přínos považuji naučení se základů v optimalizačním programu OptiSlang a rozšíření svých dovedností v programu Excel.

Závěrem bych chtěl motivovat také ostatní studenty, aby se nebáli praxe během studia. Je to sice trochu náročnější, ale nic není nemožné. Ať už půjdete na praxi do jakékoli firmy, určitě to obohatí Vaše znalosti a zkušenosti.