

# Oponentní posudek disertační práce Ing. René Marka s názvem „Numerical Implementation of Distortional Hardening Models“.

M. Španiel

15. 1. 2019

## Dosažení stanovených cílů práce

Předložená disertační práce je věnována fenomenologickému modelování plasticity. Zaměřuje se na modely vhodné pro popis nízkocyklové únavy v podmínkách víceosého (neproporcionálního) zatěžování. Autor v kapitole 3 formuluje následující cíle: 1) Návrh nového modelu směrového zpevnění s distorzí plochy plasticity - directional distortional hardening (DDH); 2) Implementaci do MKP programu; 3) Kalibraci modelu pomocí dostupných experimentů na ratcheting. Při návrhu modelů směrového zpevnění disertant vychází z práce Feigenbaum a Dafalias: Simple model for directional distortional hardening in metal plasticity within thermodynamics (2008). Původní  $\alpha$ -model upravil tak, aby obsahoval koncept mezní plochy (bounding surface - BS) pro popis prodlevy na výrazné mezi kluzu (plató) a dosažitelné tvary plochy plasticity byly použitelné pro širší množinu materiálů. Navrhl dva nové modely

- *Coupled bounding surface model* s osou plochy plasticity vázanou ke středu BS
- *Decoupled bounding surface model* bez této vazby

a originální přístup k definici kinematického zpevnění s omezeným počtem backstresů. V rámci návrhu odvodil gradient funkce plasticity, navrhl evoluční pravidla pro isotropní zpevnění popisující prodlevu na výrazné mezi kluzu (plató) a rychlost ratchetingu a numericky stanovil limit pro splnění podmínky konvexity plochy plasticity. V rámci implementace doktorand navrhl optimalizaci integračního kroku založenou na kontrolách limitů vnitřních proměnných a požadavku přesnosti numerické integrace. Materiálové modely pak implementoval jako uživatelské podprogramy v prostředí MKP programu Abaqus/Standard. Modely byly podrobeny testování numerických chyb a byla provedena jejich kalibrace na experiment získaný z literatury. Lze konstatovat, že vytyčené cíle disertační práce byly splněny.

## Rozbor aktuálního stavu řešené problematiky.

Autor provádí rozbor aktuálního stavu řešené problematiky v kapitole 2. Logicky postupuje od experimentálně pozorovaných vlastností plastické odezvy typické oceli při jednoosém namáhání

v oblasti malých deformací, zavedení asociovaného zákona plastického tečení, experimentální pozorování distorze plochy plasticity v případě víceosého a neproporcionálního namáhání. Diskutuje pokročilé modely kinematického zpevnění, modely s distorzním směrovým zpevněním a nakonec podrobněji rozebírá  $\alpha$ -model, jako východisko své práce. Aktuální stav problematiky je popsán výstižně, s kvalitním výběrem citované literatury a vyváženost rozsahu a obsahu svědčí o hlubokém vhledu do problematiky, který si autor v rámci své práce osvojil.

### **Teoretický přínos disertační práce**

Práce pana Ing. René Marka je součástí snah o zpřesnění předpovědí fenomenologických modelů mechanické odezvy materiálů na zatěžování. Fenomenologické konstitutivní modely jsou a v dohledné budoucnosti budou v inženýrské analýze konstrukcí zejména metodou konečných prvků dominantním přístupem. Autor vycházející z obecnější formulace navrhl a implementoval dva nové modely plasticity využívající modifikace již popsaného  $\alpha$ -modelu a ověřil, že tento model je schopen popsat materiálovou odezvu při cyklickém zatěžování, konkrétně jev ratchetingu.

### **Přínosy práce pro praxi.**

Praktickým přínosem je samotný implementovaný model plasticity, který je základním předpokladem pro další výzkumnou práci při jeho ověřování a návrhu dalších případných úprav. V budoucnu jej půjde použít pro řešení konkrétních praktických úloh.

### **Vhodnost použitých metod a správnost jejich aplikace.**

Autor se držel standardního postupu při vývoji fenomenologických modelů cyklické plasticity, který spočívá v návrhu podmínky plasticity, návrhu rovnic pro vývoj vnitřních proměnných, vyjádření gradientu podmínky plasticity v prostoru napětí, a vyjádření podmínek její konvexity. Všechny tyto přístupy jsou vhodné a disertant zvládl celou metodiku na vysoké úrovni. Autor pro oba navržené modely kalibroval jejich parametry podle experimentálních dat z literárních podkladů a prokázal jejich schopnost reprodukovat odezvu při jednoosém namáhání náhodnými plastickými cykly. Jak autor sám uvádí, je ověřování navržených modelů teprve na začátku a bude vyžadovat poměrně rozsáhlou experimentální kampaň.

### **Formální úroveň práce**

Práce je psána v anglickém jazyce. Strukturování a grafická úprava jsou na vysoké úrovni. Práce je logicky členěná do kapitol a podkapitol, obsahuje obrázky, grafy a tabulky, které vhodně doplňují text. Autor používá jasné a výstižné formulace a správnou terminologii. Tam, kde se odkazuje na práce jiných autorů, důsledně a korektně cituje zdroje. V částech týkajících se verifikace v kapitolách 5.1.6, 5.2.4 a 5.4. bych autorovi obecně vytknul přílišnou stručnost popisu převzatých experimentů. V grafech na obrázcích 5.16 není popsán význam jednotlivých křivek.

## Závěrečné hodnocení

Ing. René Marek předložil práci, která je jednoznačně přínosem v oboru fenomenologického modelování cyklické plasticity. Cíle práce byly beze zbytku splněny. Práce má i v mezinárodním srovnání vysokou odbornou úroveň. Je zřejmé, že autor má kromě vynikajících znalostí v oboru i schopnost je aplikovat v tvůrčí výzkumné nebo vědecké činnosti. **Práci doporučuji k obhajobě** a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělit panu Ing. René Markovi titul „doktor“ (Ph.D.)

15. 1. 2019  
Miroslav Španiel

## Dotazy pro disertanta

1. Je evoluce BS nsvázaného modelu definována stejně jako u svázaného (kap. 5.1.3) ?
2. Naznačte metodiku kalibrace parametrů v kapitolách 5.1.6 a 5.2.4.
3. Komentujte podrobněji význam benchmarku z kapitoly 5.4.2