



Katedra mechaniky

Thákurova 7

166 29 Praha 6

Posudek disertační práce

UCHAZEČ: **Ing. Ondřej Slowik**

NÁZEV PRÁCE: **Pravděpodobnostní optimalizace konstrukcí**

Vysoká škola: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Školitel: Prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.

Oponent: doc. Ing. Matěj Lepš, Ph.D.

Předkládaná práce se zabývá pravděpodobnostní optimalizací konstrukcí (RBDO, z angl. Reliability-Based Design Optimization), ve které jsou do optimalizace návrhového procesu konstrukce zahrnuty různé nejistoty, ať už na straně zatížení, nebo na straně vlastností konstrukce. Konkrétně je zvolen dvojsmyčkový přístup, při kterém je oddělena vlastní optimalizace od analýzy spolehlivosti. Celá práce je značně obsáhlá a je patrné, že si autor jednotlivé kroky prošel nejen po stránce teoretické, ale hlavně praktické v podobě jejich implementace.

V první kapitole jsou nejprve nastíněny nástroje matematické statistiky pro práci s nejistotami, po kterých následuje představení problému spolehlivostní analýzy. Domnívám se, že v současné době jsou pro vyhodnocení spolehlivosti reálných konstrukcí vhodné pouze simulační metody, které jsou představeny v další části textu. V oddílu věnovaném pokročilým simulačním metodám bych ocenil vysvětlení *Importance Sampling* metody a opominutí v současné době velice populární *Subset simulation* metody považuji minimálně za nešťastné.

Následuje popis aproximačních metod a postupů k určení citlivostí. Výhodnost využití snadné evaluace Sobolových indexů z Polynomiálního Chaosu by si zde mohla zasloužit alespoň malý odstavec. V podkapitole věnované heuristickým optimalizačním metodám je kromě známých metod popsána autorem již dříve navržená optimalizační metoda Cíleného víceúrovňového vzorkování (AMS). Oceňuji její vhodnost pro problémy s návrhovými proměnnými zatíženými nejistotami, nicméně pro jiné formulace úloh s kombinací deterministických a náhodných proměnných už její výhody oproti jiným optimalizačním metodám nevidím. Konec kapitoly je věnován řešerši způsobů řešení celé úlohy RBDO s důrazem na využití umělých neuronových sítí pro inverzní postup v rámci vnitřní smyčky dvousmyčkového přístupu.

Celá druhá kapitola předkládané práce je věnována analýze implementace dvousmyčkové varianty RBDO ve spojení s konečně-prvkovým simulačním softwarem. Na první pohled je patrné, že

autor má celou problematiku do detailu promyšlenou. Zároveň jsou z textu patrné bohaté zkušenosti autora při jejich reálné implementaci.

Kapitola s příklady obsahuje až na jednu výjimku jednoduché problémy, vždy řešené autorovou metodou AMS v kombinaci s aproximační metodou FORM. Získané výsledky korespondují s výsledky publikovanými v referencích, autor tak ověřil funkčnost vytvořeného softwaru. Zmíněnou výjimkou je příklad z podkapitoly 3.3, týkající se inverzní analýzy dodatečně předpjatého mostu. Úloha je velice praktická s dosahem do reálné praxe, je tedy škoda, že byly opomenuty některé podrobnosti. Zejména zde postrádám způsob a detaily vyhodnocení indexů spolehlivosti.

Čtvrtá kapitola je pak vyvrcholením celé předkládané práce. Nádherně ukazuje, kolik práce je nutné vynaložit pro úspěšnou aplikaci stochastických přístupů. Aplikací je analýza a optimalizace předpjatých střešních nosníků. V práci je představen stav poznání v dané oblasti, proběhlý experimentální program, tvorba konečně-prvkového modelu, identifikace parametrů modelu a jeho následná optimalizace. Autorův hlavní podíl byl na tvorbě MKP programu a následné optimalizaci. Podíl autora příspěvku ke společným podkapitolám není bohužel explicitně stanoven, nicméně je z textu patrné množství práce, které autor musel při řešení vynaložit. Složitost úlohy a předpokládám, že i časové restriktce, se pak projeví na nedotaženosti optimalizační části, kdy je vlastní optimalizace provedena metodou hrubé síly a chybí vyhodnocení pravděpodobnosti poruchy, které je nahrazeno optimalizací středních hodnot únosnosti s pomocí aproximací za využití umělé neuronové sítě (ANN). Pak je jasné, že aplikace ANN má šanci na úspěch, neboť má dostatečné množství kvalitních vzorků v okolí těchto středních hodnot. Jak je zmíněno v teoretické části, v případě analýzy pravděpodobnosti poruchy je zapotřebí aproximovat hranici poruchy, kdy je velice těžké získat dostatečný počet vzorků z jejího okolí. Pak by aplikace umělých neuronových sítí nebyla pravděpodobně nejvhodnější.

Hodnocení disertační práce

a) Téma disertační práce lze považovat za velice aktuální, neboť oblast spolehlivostní optimalizace se v posledních letech stále aktivně rozvíjí.

b) Cíle disertační práce nejsou ve vlastním textu explicitně uvedeny. Předložená práce je nicméně svým obsahem a rozsahem plně kompatibilní s disertačními pracemi v daném oboru, a tudíž cíl v podobě prokázání tvůrčích a vědeckých kvalit autora byl naplněn.

c) Postup řešení a přínosy autora jsou uvedeny v textu výše. Přestože mám výtky ke způsobu publikace některých částí textu s ohledem na jejich spoluautorství a podíl autora tamtéž, některé části práce byly publikovány v recenzovaných časopisech s prokazatelně hlavním příspěvkem disertanta. O jeho konkrétních přínosech v uvedených článcích jakož i této práci tudíž nemám nejmenších pochyb.

d) Přínos předkládané práce pro inženýrskou praxi je významný, ale nikoliv výsledky, nýbrž postupem. Práce názorně ukazuje cestu, a zejména množství práce a úkonů, které je potřeba provést pro zahrnutí plného pravděpodobnostního přístupu do návrhového procesu. Osobně se domnívám, že současný stav výpočetní techniky v reálné praxi stále není, a pravděpodobně ještě dlouho nebude, na takové úrovni, aby umožnil plně pravděpodobnostní optimalizaci v reálné praxi.

e) Práce je napsána v českém jazyce. Mnou recenzovaná verze obsahovala velké množství typografických nedostatků a stylistických chyb. Taktéž občasné využití anglikanismů a cizojazyčných popisů obrázků považuji za nevhodné.

f) Práce splňuje podmínky uvedené v §47 odst. 4 zákona.

g) Disertant jednoznačně prokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu. Na práci oceňuji, že vstupní a prezentované výsledky jsou skutečně validní. Práce plně pokrývá nároky kladené na disertační práci v daném oboru.

V diskusi nad disertační prací by se Ing. Slowik mohl vyjádřit k některým z následujících otázek:

- 1) Velké množství metod spolehlivostní analýzy je založeno na existenci jediného návrhového bodu (MPFP). U kterých inženýrských problémů se může vyskytnout více návrhových bodů a které metody mají schopnost se s tímto jevem vypořádat?
- 2) Jak by autor kvantifikoval modelové nejistoty?
- 3) Přinesl model V4 v kapitole 4.3.4 objektivní zlepšení v jakýchkoliv sledovaných parametrech?
- 4) Na Obr. 4.44 chybí testovací data. Nebylo by lepší vykreslovat predikovaná a vzorová data na nezávislých osách?
- 5) Proč nebyl nejdůležitější parametr z hlediska ceny konstrukce R5 zahrnut do optimalizace?

Závěrečné zhodnocení disertace

Za silné stránky disertace považuji především

- implementaci dvousmyčkové varianty RBDO a její provázání s několika druhy softwarů,
- statistické zpracování náhodných veličin reálné úlohy včetně identifikace všech nezbytných parametrů konečně-prvkového modelu a jejich začlenění do optimalizační úlohy.

Zásadní **slabé** stránky jsou zejména typografické nedostatky, nekompletní informace k některým příkladům, nekonkrétní autorství některých částí práce a nedotažení závěrečné aplikace optimalizace.

I přes všechny výše uvedené připomínky v předchozích odstavcích není pochyb o tom, že předkládaná práce přináší nové výsledky do oblasti optimalizací se zahrnutím nejistot a zcela jasně prokazuje, že Ondřej Slowik je schopen samostatné vědecké práce. Proto předloženou práci rozhodně doporučuji k obhajobě a po její úspěšné obhajobě doporučuji kandidátovi udělit titul Ph.D.

V Praze, 2.12.2022

.....
doc. Ing. Matěj Lepš, Ph.D.

