

IDENTIFIKACE MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ S VYUŽITÍM UMĚLÉ INTELIGENCE

IDENTIFICATION OF MATERIAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEELS WITH THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Petr Polcar^{a)}, Ladislav Kander^{b)}, Jan Lazar^{a)} a Petr Kindelmann^{a)}

^{a)} Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Tylova 1581/46, 301 001 Plzeň, Česká republika

^{b)} Materiálový a metalurgický výzkum s.r.o., Pohraniční 31/639, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Abstrakt

Znalost materiálových parametrů použitých konstrukčních ocelí je klíčová pro návrh a analýzu komponent využívaných v energetice i v jiných disciplínách technické praxe. Pro identifikaci těchto parametrů jsou běžně využívány série zkoušek a testů. Předkládaný příspěvek prezentuje výsledky výzkumu umožňujícího s využitím umělé inteligence, v našem případě neuronové sítě, výrazně snížit množství experimentů potřebných pro identifikaci materiálových parametrů a s nimi spojené náklady. Tato možnost je demonstrována na příkladu odhadu materiálových parametrů ocelí využitých v kritických komponentech parních turbín bez provedení tahové zkoušky a zkoušky lomové houževnatosti. Prezentované výsledky výzkumu a vývoje vznikly v rámci projektu TAČR č. TE01020068 Centrum výzkumu a experimentálního vývoje spolehlivé energetiky, pracovního balíčku WP8 Výzkum a vývoj nových zkušebních metod pro hodnocení materiálových vlastností.

Abstract

The knowledge of material parameters of construction steels is the key for the proper design and analysis of the components used in power engineering and in other disciplines of technical practice. To identify these parameters, series of tests and measurements are commonly executed. Presented paper describes how to significantly reduce the number of tests required for the identification of these parameters with the use of artificial intelligence, namely the neural network is used in this case. Together with the reduction of tests comes the reduction of costs as well. The presented method is demonstrated on the example of the estimation of material parameters of steels used in the critical components of steam turbines without the need to carry out the tensile and fracture toughness tests. Presented results of research and development were carried out within the TAČR project TE01020068 Centre of Research and Experimental Development of Reliable Power Engineering, work package WP8 Research and development of new test methods for the evaluation of material properties.

Úvod a motivace

Jednou z aktuálních výzev současné energetiky je snaha zajištění spolehlivého a bezpečného provozu komponent, které jsou již delší dobu v provozu. Pro dosažení tohoto cíle je nutná dobrá znalost aktuálního stavu materiálu a opotřebení provozních součástí. Tato znalost umožňuje optimální ekonomické plánování obměny a údržby komponent energetických zařízení při současném zajištění spolehlivosti a bezpečnosti. Pro vyhodnocování zbytkové životnosti a stanovování skutečných hodnot pevnosti či odolnosti proti náhlému lomu jsou obvykle využívány různé testovací metody, které s sebou nesou určité provozní náklady. Jednou z těchto metod je tzv. penetrační test (obvykle nazýván anglicky Small Punch test, SPT [1]), který je využíván jak k vyhodnocování aktuálního stavu mechanických vlastností komponent energetických zařízení, tak pro určování tzv. nulového stavu nově vyrobených komponent pro následné průběžné sledování provozního opotřebování, viz obr. 1. SPT je vhodně doplňován tahovou zkouškou a lomovou zkouškou tak, aby došlo k identifikaci mechanických parametrů, které přímo

z SPT vyhodnotit nelze. Tyto testy je nutné v průběhu provozu komponent opakovat tak, jak se materiály provozem postupně opotřebovávají a jejich mechanické parametry se zhoršují.

Každý provedený test s sebou nese určité náklady. Cílem prezentovaného výzkumu je z dlouhodobého hlediska snížit nároky na počet testů nutných k určení požadovaných materiálových parametrů přípravou algoritmu, který s využitím umělé inteligence (konkrétně technologie neuronových sítí) dovede predikovat požadované hodnoty přímo z SPT testu bez nutnosti provádění tahové zkoušky.

Neuronové sítě

Neuronová síť [2] je jednou z možností, jak matematicky modelovat tzv. umělou inteligenci. Svým principem vychází z chování biologických organismů, kdy základní prvky, tzv. neurony (dříve také nazývány perceptrony), které mají libovolné množství vstupů, kterými mohou být vnější vstupy či vstupy z předcházejícího neuronu (v případě vícevrstvých sítí), a jeden indikovaný výstup. Pro každý vstup definujeme jeho váhu a tzv. prahovou hodnotu, od které neuron generuje výstupní signál definovaný pomocí tzv. přenosové funkce.

Neuronové sítě umožňují tzv. učení. To lze realizovat např. tak, že je požadovaný výstup porovnáván s aktuálním výstupem a síť je následně modifikována tak, aby byl zjištěný rozdíl minimalizován. Dalším způsobem je nastavení sítě tak, aby poskytovala stejnou odezvu při stejných či podobných vlastnostech vstupu. Při využití srovnávacího přístupu, tzv. učení s učitelem, roste kvalita sítě s množstvím zpracovaných dat (učitelů), zjednodušeně lze konstatovat, že čím více poskytneme síti učitelů, tím lépe se naučí zpracovávat požadované signály.

Metodika určování materiálových vlastností s využitím neuronové sítě

Aktuálně vyvíjené a testované metodiky spočívají v tom, že na vzorku daného materiálu je proveden jak penetrační test, tak tahová a lomová zkouška. V prostředí Matlab s balíčkem Neural Network Toolbox [3] byly vytvořeny programy, z nichž každý obsahuje neuronovou síť. Po realizaci penetračního SPT testu je jeho záznam přiveden pomocí příslušných programů na vstup každé neuronové sítě. Za pomoci známých výsledků z tahové a lomové zkoušky jsou jednotlivé neuronové sítě trénovány tak, aby jejich výstupem byly jednotlivé požadované materiálové parametry - mez pevnosti R_m , mez kluzu $R_{p0,2}$, J integrál $J_{0,2}$, viz obr. 2. Teorie neuronových sítí naznačuje možnost, že pokud neuronové sítě dostatečně natrénujeme pomocí známé dvojice výsledků SPT test a příslušná zkouška, bude možné napříště zmíněné materiálové parametry odhadnout s využitím neuronové sítě přímo z SPT testu, bez nutnosti provádět tahovou a lomovou zkoušku. Možnost eliminace potřeby těchto zkoušek slibuje značnou úsporu prostředků.

Pro komplexní ekonomickou analýzu je nutné stanovit, kolik zkoušek je potřeba pro dostatečné naučení neuronové sítě tak, aby byly materiálové parametry identifikovány s předem stanovenou přesností. Vzhledem k tomu, že každá provedená zkouška nutná k natrénování sítě s sebou nese určité náklady, může celková suma těchto nákladů na trénink převýšit úsporu v budoucnu dosaženou tím, že některé zkoušky nebude potřeba provádět. S podporou TAČRu obě pracoviště autorů aktuálně vyhodnocuje řadu materiálových testů, trénuje neuronové sítě a pokouší se na základě praktických zkušeností zodpovědět, jaké jsou náklady na trénink, jak množství provedených testů ovlivňuje přesnost výstupních parametrů z neuronové sítě a pro jaké materiály a které jejich parametry je tento přístup vhodný a pro které nikoli.

Zkušenosti s využitím metodiky

Pro praktické otestování popsaného postupu byly zvoleny materiály využívané ke konstrukci kritických částí komponent energetických zařízení, jako jsou parovody, rotory turbín aj. Vzhledem k omezeným možnostem tohoto příspěvku se zaměříme na nejzajímavější poznatky.

Studiem výsledků získaných z neuronové sítě nahrazující tahovou zkoušku vyplývá, že u materiálů vykazujících výraznou mez kluzu $R_{p0.2}$ je shoda experimentů se simulacemi výrazně horší, než u materiálů s nevýraznou mezí kluzu. Tento problém naznačuje omezení modelu, kdy neuronová síť nahrazuje diskontinuitu monotónní křivkou. Po natrénování neuronové sítě s využitím řádově desítek párů vstupních a výstupních dat dosahují chyby výstupů z neuronové sítě, s výjimkou zmíněné meze kluzu, řádově jednotek procent. V případě využití stovek či tisíců párů dat předpokládáme velmi vysokou přesnost výsledků. Aktuálně probíhá vyhodnocování 100 párů vzorků materiálu 0CH18N10T.

Výsledky nahrazení lomové zkoušky neuronovou sítí jsou výrazně pesimističtější. Projevuje se zde malé množství testovacích dat a komplikovanost konstrukce R křivek. Pro důkladné vyhodnocení je nutné provést větší množství experimentů a neuronovou síť lépe natrénovat, aktuálně zjištěné rozdíly se pohybují průměrně kolem hodnoty chyby 18 %.

Závěr

Z prezentovaných výsledků je zřejmé, že využití umělé inteligence lze využít ke snížení množství potřebných mechanických zkoušek. Přesnost predikce dat s využitím neuronové sítě nicméně závisí na tom, jak byla síť v minulosti natrénována. Jelikož je pro naučení sítě potřeba značná řada vstupních dat, která získáváme z provedených testů, jeví se využití umělé inteligence vhodné v takových aplikacích, kde očekáváme velké množství opakovaných testů, případně tam, kde z minulosti disponujeme velkým vzorkem existujících testovacích dat. I přes aktuálně poměrně nízké množství tréninkových dat (maximálně 100 párů výsledků testu SPT a tahová zkouška) dosahujeme chyby predikce parametrů v jednotkách procent. Tato skutečnost slibuje praktickou využitelnost prezentovaných výsledků.

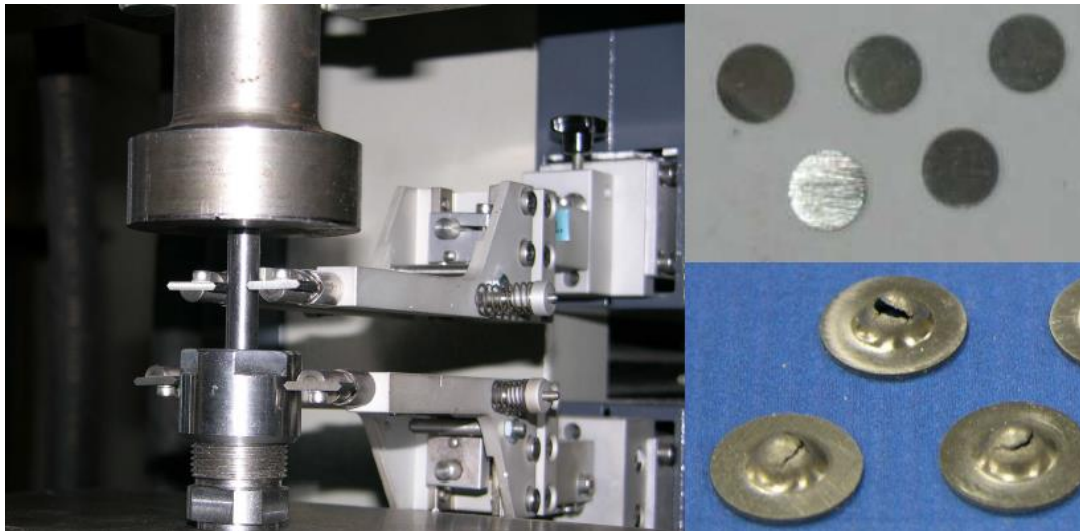
Poděkování

Prezentované výsledky výzkumu a vývoje vznikly v rámci projektu TAČR č. TE01020068 Centrum výzkumu a experimentálního vývoje spolehlivé energetiky, pracovního balíčku WP 8 Výzkum a vývoj nových zkušebních metod pro hodnocení materiálových vlastností.

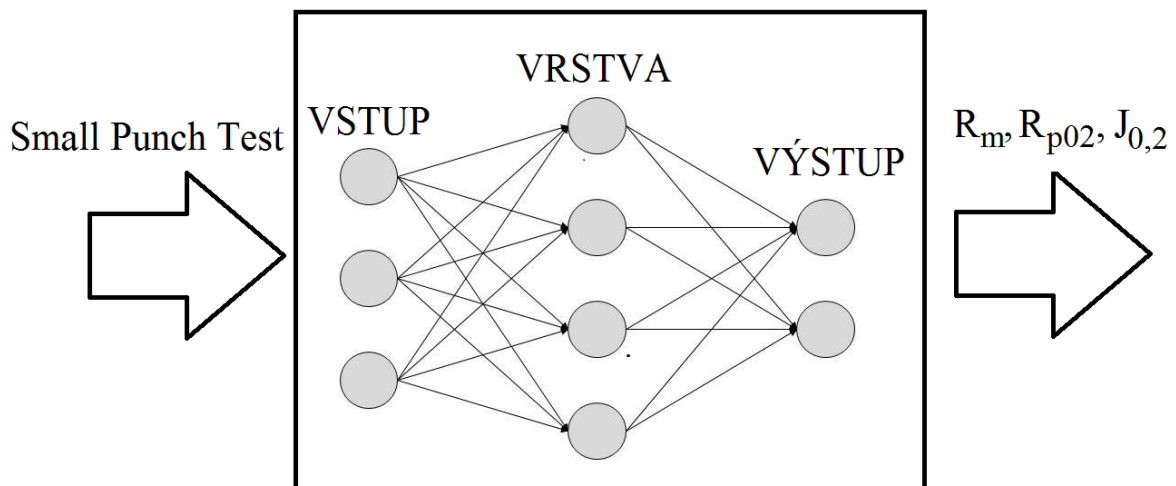
Literatura

- [1] Volák, J. (2014): *Hodnocení mechanických vlastností pomocí miniaturních zkušebních těles typu "Small Punch" a včasná lokalizace provozních defektů pomocí akustické emise, dizertační práce*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni.
- [2] Schmidhuber, J. (2014): *Deep learning in neural networks: An overview*, *Neural Networks*, Vol. 61, pp. 85-117. ISSN 0893-6080
- [3] *MATLAB and Neural Network Toolbox*. Massachusetts, United States: MathWorks, Inc., Natick.
- [4] Kander, L., Špička, J. (2017): *Utilization of Neural Networks for Evaluation of Material Properties of Structural Steels based on SPT Results*. *Hutnické listy* č. 4/2017. ISSN 0018-8069
- [5] Špička, J., Kander, L. (2017): *Application of the Neural Networks for Evaluation of Structural Steel Material Properties based on Small Punch Test Results*. *Proceedings of Extended Abstracts of 33rd Conference with International Participation Computational Mechanics 2017*, University of West Bohemia in Plzeň, Špičák, (pp. 131-132). ISBN 978-80-261-0748-4

- [6] Kander, L., Korčáková, L. (2015): *The Influence of Sigma Phase Precipitation on Mechanical Properties of Tp347H Austenitic Steels after 100.000 Hours Service in Coal-fired Power Plant*. Metal 2015, Brno.
- [7] Stejskalová, Š., Kander, L., Hermanová, Š. (2016): *The Change of the Structure and Mechanical Properties of the Austenitic Steels after Exposure at the Critical Temperature*. Metallography 2016, p. 100, Stará Lesná, Slovak Republic.
- [8] Kander, L. (2016): *Precipitation of Sigma Phase in Austenitic Steels Used in Supercritical Conditions*. Metal 2016, p. 103, Brno.



Obr. 1: Vlevo – příklad zařízení pro Small Punch Test (SPT), vpravo – příklad vzorků pro SPT před (nahore) a po testu (dole); převzato z [1]



Obr. 2: Struktura neuronové sítě a princip programu pro identifikaci materiálových mechanických parametrů s využitím neuronové sítě