

VÝVOJ NÁHRADNÍHO MATERIÁLOVÉHO ATESTU PRO KOVOVÉ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY JE S VYUŽITÍM UMĚLÉ INTELIGENCE

THE DEVELOPMENT OF A SUBSTITUTE MATERIAL CERTIFICATE FOR METAL STRUCTURAL MATERIALS WITH THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Petr Polcar ^{a)}, Ladislav Kander ^{b)}, Karel Liška ^{a)} a Marek Bělohoubek ^{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

Příspěvek informuje o vývoji technologie hodnocení materiálových vlastností kovových konstrukčních materiálů používaných na JE využívajících výsledků small punch testů SPT a predikce pomocí neuronových sítí pro případy, kdy není možné hodnocení standardními ani miniaturizovanými technikami zkoušení.

Abstract

The paper reports on the development of technology for evaluating the material properties of metallic structural materials used at NPPs using the results of small punch SPT tests and prediction using neural networks for cases where evaluation by standard or miniaturized testing techniques is not possible.

Motivace a cíl

Hlavní motivací pro vývoj nové technologie pro hodnocení kovových komponent jaderných elektráren byly komplikace, které vznikly při hodnocení na elektrárnách Dukovany, Temelín a Mochovce. Zároveň se aktuálně předpokládá prodlužování životnosti stávajících zdrojů a jejich další rozvoj. Je tedy žádoucí rozšířit existující materiálové databáze, rozšířit přístup k metodám zkoušený (NTD. A.S.I.) a navrhnout možnost hodnocení materiálových vlastností na základě využití metod neuronových sítí a mnohaletých zkušeností s jejím použitím při hodnocení v případech, kdy není možné odebrat zkušební materiál (např. nainstalované a nedostupné komponenty). Dílčí motivací je snížení nákladů na materiálové testy (náročné destruktivní testy lze nahradit vyhodnocením s využitím umělé inteligence).

Metoda SPT je jednou z diagnostických metod uvedených v NTD A.S.I., Sekce V a povolených pro hodnocení materiálu používaných v JE. Metoda SPT byla rovněž nedávno standardizována jak v ASTM (ASTM E 3205 z roku 2021), tak v EN (EN 10371 z roku 2022). Dílčím úkolem v rámci projektu je aktualizovat přístupy k SPT tak, aby byly dodrženy příslušné standardy, eventuálně rozšířit současný přístup k metodám zkoušení (NTD A.S.I.).

V rámci projektu CESEN [1, 2] byla realizována studie proveditelnosti, která poukázala na značnou perspektivu využití metod umělé inteligence (konkrétně strojového učení) pro hodnocení materiálů. Prověřované neuronové sítě dokázaly (po předchozím tréninku s využitím materiálových databází) estimovat mechanické vlastnosti kovového materiálu na základě výsledků SPT testu s přesností odpovídající chybovosti reálných mechanických zkoušek. Na aktivitu projektu CESEN nyní navazuje projekt TAČR č. TK04020240 s cílem uvést je do aplikační praxe nejen pro potřeby ČEZ DJE. Vyvinutá metodika hodnocení umožní poměrně snadno, z malého vzorku, potvrdit kvalitu dodávaného materiálu, odebrat malý vzorek a provést vyhodnocení tam, kde velký vzorek odebrat nejde apod.

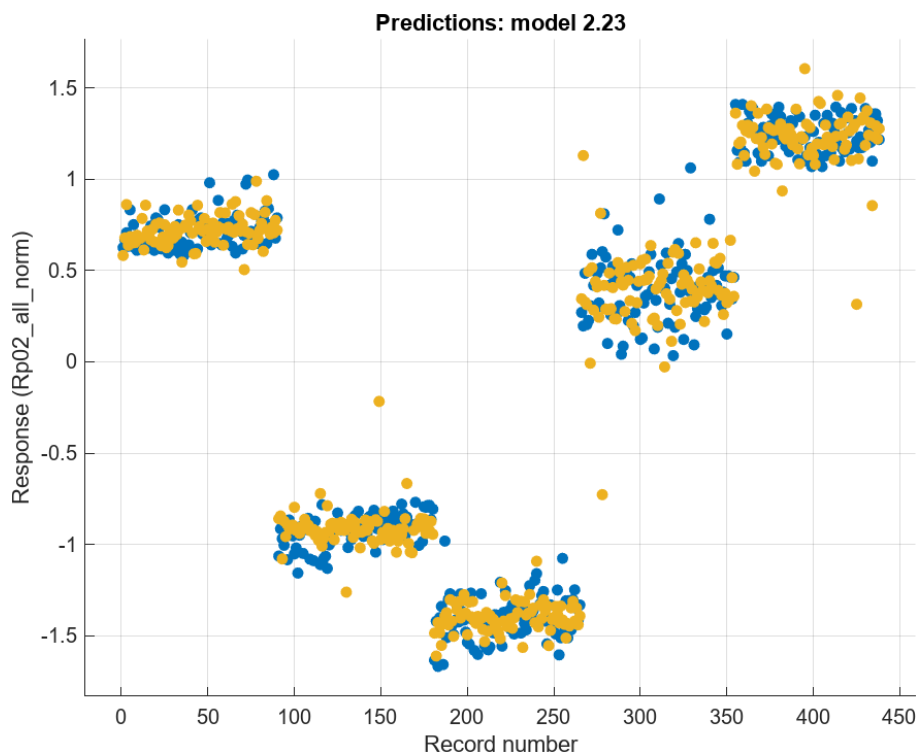
Princip nového hodnocení

Využitím algoritmů strojového učení pro regresní úlohy je vytvořen materiálový model, na jehož vstupu jsou výsledky SPT testu a na výstupu mechanické vlastnosti daného materiálu, či skupiny materiálů. Model byl vytvořen na základě dostupné databáze experimentů a zároveň ze zkoušek, které sloužily k rozšíření datové sady. V rámci projektu byly sledovány vlivy použitých algoritmů (včetně struktury neuronové sítě) a velikosti datasetu. Kromě neuronových sítí byly použity i jiné metody strojového učení jako support vector machines (SVM), regresních stromů a metod lineární regrese [3].

Při nasazení v praxi tedy bude realizován SPT test, jeho výsledky budou vyhodnoceny materiálovým modelem (umělou inteligencí) s cílem poskytnout kompletní sadu mechanických vlastností bez nutnosti odebrat další materiál a provádět jiné mechanické zkoušky než SPT.

Průběžné výsledky

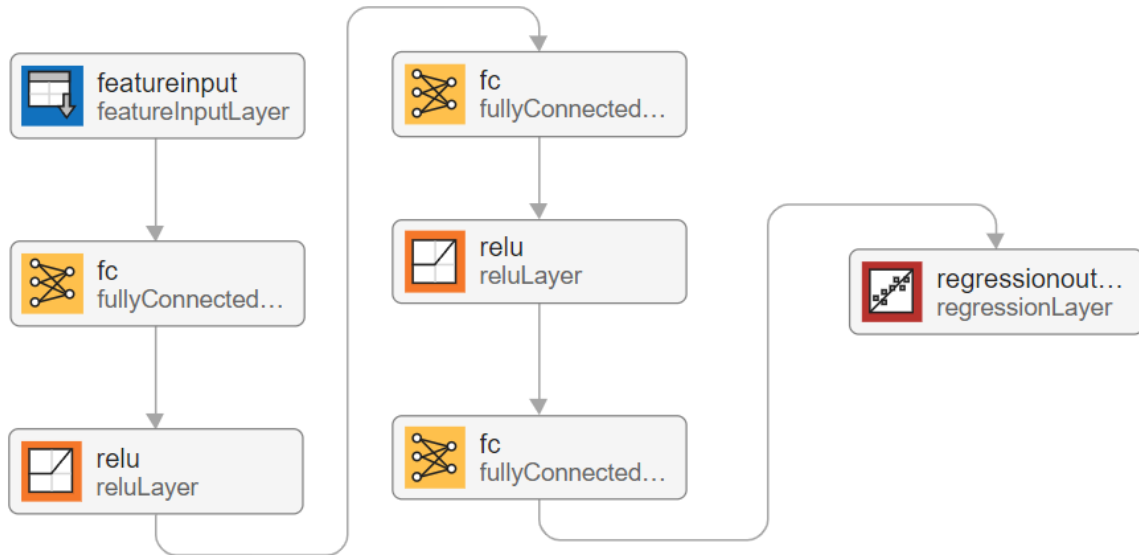
Velikost vstupního datasetu činila 488 provedených SPT zkoušek a 488 tahových zkoušek pro 5 odlišných materiálů – oceli 08Ch18N10T, P92Cu, P91W, 15128 a 10GN2MFA. Dataset byl rozdělen na trénovací (90 % dat) a testovací sadu (10 % dat). Každý z 5 materiálů byl zastoupen v testovací sadě 10 %. Data byly před trénováním normalizovány pomocí zscore. Vstupními parametry neuronové sítě bylo 100 hodnot průběhu síly SPT testu od počátku zatížení až do konce testu. Výstupem algoritmů byl pokaždé jeden materiálový parametr – modul pružnosti v tahu, mez kluzu a mez pevnosti. Každý parametr byl tedy trénován zvlášť. Ke stanovení přesnosti použitého modelu byla stanovena chybovost modelu podle metrik mean squared error (MSE) a mean absolute error (MAE) a průměrnou procentuální chybu predikce proti naměřeným datům tahových zkoušek. Metriky byly počítány pro testovací data.



Obr. 1: Naměřená mez kluzu z tahové zkoušky (modře), predikovaná (žlutě), hodnoty na ose y jsou normované hodnoty Rp02 podle zscore, shluky vyjadřují jednotlivé materiály

Na obr. 1 je vidět predikce normalizovaných Rp02 trénovacích dat neuronové sítě se dvěma skrytými vrstvami a relu aktivačními funkcemi. Obě skryté vrstvy obsahovaly v tomto případě 10 neuronů. Z obr. 1 je patrné, že algoritmus s dobrou spolehlivostí rozpozná každý materiál

(predikce se příliš neliší od naměřené hodnoty). V tab. 1 pak lze vidět hodnoty metrik pro testovací data při použité neuronové síti. Predikci lze ještě vylepšit optimalizací zvolených hyperparametrů. U neuronové sítě se jedná např. o počty neuronů ve skrytých vrstvách, počtu skrytých vrstev nebo typu aktivační funkce.



Obr. 2: Ukázka struktury neuronové sítě se dvěma skrytými vrstvami a relu aktivačními funkcemi

Tab. 1: Hodnoty metrik pro testovací data

	Mean Absolute Error	Mean Squared Error	Průměrná procentuální chyba
	[MPa]		[%]
E	13790	3.53E+08	7.15
R_{p02}	14.85	439.56	3.89
R_m	8.62	164.60	1.44

Závěr

Provedené aktivity potvrdily vysokou přesnost estimace materiálových vlastností z SPT pomocí neuronových sítí, které byly předtím natrénovány s využitím dostupných materiálových databází a provedených zkoušek. Zároveň se ukázalo, že současný rozvoj metod vědy je skutečně značně dynamický (neuronové sítě vytvořené s využitím letošního stavu poznání v oblasti datové vědy jsou významně účinnější než ty, který autoři použili v průběhu předchozích VaV aktivit v roce 2018 [2]). Autoři předpokládají, že na konci aktivit stávajícího projektu, tedy v roce 2024, bude k dispozici ověřená technologie hodnocení klíčových materiálů používaných v jaderné energetice s využitím SPT a umělé inteligence, která bude splňovat veškeré předpoklady pro nasazení v praxi.

Poděkování

Prezentované výsledky výzkumu a vývoje vznikly v rámci projektu TA ČR č. TK04020240 Hodnocení materiálových vlastností kovových konstrukčních materiálů používaných v JE metodou SPT a neuronových sítí.

Literatura

- [1] KANDER, Ladislav a POLCAR, Petr. *Determination of the basic mechanical properties of selected materials from the results of small punch tests by using neural networks. Lloyd's Register Quality Assurance, certifikovaná metodika*, 2018.
- [2] POLCAR, Petr, KANDER, Ladislav, LAZAR, Jan a KINDELMANN, Petr. Identifikace materiálových vlastností konstrukčních ocelí s využitím umělé inteligence. In: *Sborník z 13. konference „Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách“* Srní, 16. – 18. říjen 2018. Západočeská univerzita v Plzni, 2018, s. 75-78. ISBN 978-80-261-0794-1.
- [3] https://www.mathworks.com/help/releases/R2022b/stats/regression-and-anova.html?s_tid=CRUX_lftnav [on-line 27.9.2022]