

## SAELING

SAving Energy by Learning and ImproviNG logic-based optimization models

|                                 |  |                        |            |
|---------------------------------|--|------------------------|------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | Digitale Technologien, Digitale Technologien, AI for Green 2023  | <b>Status</b>          | laufend    |
| <b>Projektstart</b>             | 01.05.2024   | <b>Projektende</b>     | 30.04.2027 |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2024 - 2027  | <b>Projektlaufzeit</b> | 36 Monate  |
| <b>Keywords</b>                 | Energy saving, optimizing steel manufacturing, decision-focused learning, logic-programming and optimization, integrating subsymbolic and symbolic artificial intelligence |                        |            |

### Projektbeschreibung

In der metallverarbeitenden Industrie verbraucht eine typische Bandsäge/Maschine (Sägen, Schleifen, Fräsen) ca. 8.4 MWh Energie pro Jahr. Voestalpine serviziert ca. 2,500 derartige Maschinen. Der Energieverbrauch dieser Maschinen kann derzeit kaum optimiert werden, da eine (zu) große Anzahl von Faktoren betrachtet werden müssen. In vielen industriellen Szenarien können Menschen nicht ausreichend genau die physikalischen Modelle mit vertretbarem Aufwand spezifizieren, z.B. durch das Formulieren von exakten Simulationsmodellen.

Das Forschungsprojekt SAELING (SAving Energy by Learning and ImproviNG logic-based optimization models) wird mithilfe von Methoden des Maschinellen Lernens Vorhersagemodelle generieren, die für das Scheduling in multi-objective Optimierungsproblemen verwendet werden, um Energie- und Ressourcen-schonende Strategien für den industriellen Anwendungsfall der Metallverarbeitung zu finden.

Ziel 1 - Reduktion des Energieverbrauchs: Derzeit können die Einstellungen der Maschinen keine Kompromisse zwischen den verschiedenen Zielen beachten, insbesondere der Energieverbrauch kann nicht ausreichend in die Optimierung integriert werden. Durch Anpassung der möglichen (Höchst-)Geschwindigkeit und den Vorschub soll die Maschinenzeit um 50% reduziert werden, um eine Energieeinsparung von 20 - 30% (sowie andere Einsparungen durch z.B. optimiertes Scheduling) zu erreichen.

Ziel 2 - Uncertain Multi-Objective Decision Making: SAELING wird Methoden und Algorithmen für optimierte Entscheidungsfindung erforschen, die Aufgabenplanung und Maschineneinstellungen integrieren. Allerdings können die aktuellen Reasoning-Methoden bzgl. der multi-objective Optimierung die Unsicherheit der Vorhersagen von Machine Learning Modellen nicht berücksichtigen. Daher wird SAELING robuste und erklärbare Methoden durch Verbindung von Reasoning mit Machine Learning erforschen.

Ziel 3 - Transfer Learning und Decision-focused Learning: SAELING wird genaue Vorhersagemodelle für den Energieverbrauch entwickeln, zuerst auf Ebene der individuellen und danach über heterogene Maschinen, inklusive der

Möglichkeit, Rückschlüsse über Maschineneinstellungen außerhalb der gewöhnlichen Operationen (Transfer Learning) zu ziehen; und schlussendlich sollen Modelle des Maschinellen Lernens speziell auf dieses Optimierungs-/Scheduling-Problem abgestimmt werden (Decision-focused Learning). Dies soll nicht nur auf die individuellen Fehler der Vorhersage eingehen, sondern auch die Wechselbeziehung zum Scheduling und der Qualität der Gesamtplanung.

Ein Proof-of-Concept System wird die Problemlösung für den Voestalpine Anwendungsfall zeigen. SAELING wird die Energieeffizienz um 20 - 30% steigern, und so 4 - 6 GWh jährliche Energieeinsparung erzielen. Dadurch wird neben CO<sub>2</sub> auch Schmiermittelverbrauch etc. vermieden und die Total Cost of Ownership maßgeblich verringert. Die Ergebnisse von SAELING ermöglichen analog Einsparungen in anderen (diskreten) Produktionsbereichen und sollen auch auf andere Anwendungsfälle (beim SAELING-Partner Siemens) ausgeweitet werden. Das Konsortium umfasst die zwei namhaften Universitätspartner Universität Klagenfurt und KU Leuven, sowie die beiden Industriepartner Voestalpine und Siemens.

## **Abstract**

In the metalworking industry, a typical band saw machine (i.e., sawing, grinding, and milling) consumes around 8.4 MWh per year. Voestalpine provides services for approximately 2,500 metalworking machines. Currently, the power consumption of these machines is not optimized, and its reduction is a challenging problem due to many factors that must be considered. As a result, the specification of sufficiently accurate physical models of such machines with reasonable effort is impossible, e.g., by formulating precise simulation modes.

To mitigate the modeling complexity, the research project SAELING (SAving Energy by Learning and ImproviNG logic-based optimization models) will apply machine learning methods to generate machine learning models, which can be exploited for scheduling in multi-objective optimization problems. SAELING will find energy- and resource-saving strategies in the industrial use case of metalworking by addressing the following goals.

**Goal 1 - Reduction of energy consumption:** Currently, the settings of the machines do not consider the trade-offs between various objectives. Especially energy consumption is not adequately reflected since it depends on many latent (unobservable) variables. Therefore, the SAELING consortium will investigate machine learning methods tackling such latent effects and their evolution over time. SAELING envisions that the maximum possible speed and feed rate have the potential to reduce the machine time by 50%. Consequently, a 20 - 30% energy consumption reduction should be achievable, even if we do not consider other potential savings, such as optimized scheduling.

**Goal 2 - Uncertain multi-objective decision-making:** SAELING will develop methods and algorithms for optimizing decision-making where we integrate the scheduling of tasks and control machine settings. The main issue of modern reasoning methods addressing the SAELING multi-objective optimization problem is the incapability to deal with the uncertainty of predictions done by machine learning models. Therefore, SAELING will develop new robust and explainable methods connecting reasoning with machine learning.

**Goal 3 - Transfer learning and decision-focused learning:** SAELING aims to learn accurate energy consumption prediction models, first at the individual machine level and then across heterogenous machines, including the ability to make inferences for a machine for settings outside of its common operations (transfer learning); and finally, machine learning models tuned specifically for the optimization/scheduling problem at hand (decision-focused learning), in a way that takes

into account not only the individual errors of the predictions but also their interaction effect on the scheduling and the quality of the total schedule.

The result will be a proof-of-concept system to demonstrate the feasibility of solving the application cases in metalworking provided by the SAELING project partner Voestalpine. SAELING will improve the energy efficiency for this use case by 20 – 30%, resulting in 4 – 6 GWh savings per year, reducing CO2 emissions, lubricants, etc., and finally, total cost of ownership. The SAELING findings will allow analogue reductions in other (manufacturing) application areas and even further heterogeneous use cases (e.g., microgrids). The consortium comprises two well-known university partners, University Klagenfurt and KU Leuven, and the industry partners Voestalpine and Siemens.

### **Projektkoordinator**

- Universität Klagenfurt

### **Projektpartner**

- Siemens Aktiengesellschaft Österreich
- voestalpine High Performance Metals DIGITAL SOLUTIONS GmbH
- Katholieke Universiteit Leuven