การศึกษาปัจจัยด้านความพร้อมใช้เครื่องจักรในกระบวนการอุตสาหกรรมผลิตสารเคมี

A STUDY ON FACTORS AFFECTING MACHINE AVAILABILITY IN THE CHEMICAL MANUFACTURING PROCESS

ธรรมนูญ อินทรพล[1], วรานนท์ คงสง
สาขาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
E-mail: drwaranon@gmail.com
ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย
สาขาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
E-mail: chaiwat.p@rumail.ru.ac.th
[1]นักศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
E-mail: engineerie37@gmail.com

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเคมีเป็นระบบการผลิตที่ซับซ้อนและมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยสูง เครื่องจักรจึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมพารามิเตอร์เพื่อความต่อเนื่องและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และจำเป็นต้องปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัด เช่น พระราชบัญญัติโรงงาน ข้อบังคับ กนอ. และกฎกระทรวงแรงงาน ดังนั้น การประเมิน “ความพร้อมใช้เครื่องจักร” (Machine Availability) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปร วิธีการวิจัย และผลการวิจัยจากต่างประเทศเกี่ยวกับการประเมินความพร้อมใช้เครื่องจักรในอุตสาหกรรมเคมี โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงเอกสารและการสังเคราะห์กรอบแนวคิด ผลการศึกษาพบว่า ตัวชี้วัดพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ประกอบด้วย ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE), เวลาเฉลี่ยระหว่างความล้มเหลว (MTBF) และ เวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (MTTR) รวมถึงการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning), ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ในการพยากรณ์ความล้มเหลว แม้ว่างานวิจัยสากลจะมีความก้าวหน้าในมิติทางเทคนิคเหล่านี้ แต่ยังขาดการบูรณาการมิติของข้อบังคับทางกฎหมายและความปลอดภัยเข้ากับตัวชี้วัดความพร้อมใช้เครื่องจักรอย่างเป็นระบบ การศึกษานี้จึงได้สร้าง กรอบแนวคิดเชิงสังเคราะห์แบบองค์รวม ที่เชื่อมโยงปัจจัยทางเทคนิคเข้ากับมิติทางกฎหมาย ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการวิจัยเชิงประจักษ์ต่อไป

คำสำคัญ: ความพร้อมใช้เครื่องจักร, อุตสาหกรรมเคมี, การปฏิบัติตามกฎหมาย

Abstract

The chemical industry is classified as a highly complex production system (Highly Complex Production System) with critical safety risks (Critical Safety Risks). Machinery is therefore not merely a production mechanism but a crucial defense in controlling process quality, continuity, and safety. Operations must strictly comply with legal regulations, such as the Factory Act (which sets standards for machine operation), IEAT Regulations (which controls machine availability), and the Ministry of Labour Regulations (for safety inspection of machinery and pressure vessels). Non-compliance with these laws directly affects Machine Availability, making its assessment a primary concern. Internationally, the concept of machine availability has been continuously developed using key indicators such as Overall Equipment Effectiveness (OEE), Mean Time Between Failures (MTBF), and Mean Time to Repair (MTTR). These indicators are used alongside Predictive Maintenance (PdM) through the integration of advanced technologies in the Industry 4.0 era, including smart sensors, Machine Learning, Artificial Intelligence (AI), and the Internet of Things (IoT), to accurately analyze and predict failures. However, despite the significant advances in technical and technological dimensions in international research, there remains a lack of systematic analysis that integrates the legal and safety regulatory dimensions into machine availability indicators, particularly in the context of developing countries. This article, therefore, aims to conduct an in-depth analysis of variables, research methodologies, and empirical findings from international studies, utilizing documentary research and a conceptual synthesis framework, to construct a holistic synthetic conceptual framework that links technical factors with the legal dimension, which will serve as a crucial foundation for subsequent empirical research.

Keywords: Machine Availability, Chemical Industry, Legal Compliance

บทนำ

อุตสาหกรรมเคมีจัดเป็นกลุ่มการผลิตที่มีความซับซ้อนสูง (Highly Complex Production System) และมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในระดับวิกฤต (Critical Safety Risks) เครื่องจักรจึงมิได้เป็นเพียงกลไกการผลิต แต่เป็นปราการด่านสำคัญในการควบคุมคุณภาพ ความต่อเนื่อง และความปลอดภัยของกระบวนการ การดำเนินงานจึงต้องปฏิบัติตามข้อบังคับทางกฎหมายอย่างเข้มงวด อาทิ พระราชบัญญัติโรงงาน, ข้อบังคับ

กนอ. และกฎกระทรวงแรงงาน การไม่ปฏิบัติตามกฎหมายเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อ ความพร้อมใช้เครื่องจักร (Machine Availability) ซึ่งเป็นประเด็นหลักที่ต้องได้รับการประเมิน

ในระดับสากล มีการพัฒนาแนวคิดเรื่องความพร้อมใช้เครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE), เวลาเฉลี่ยระหว่างความล้มเหลว (Mean Time Between Failures: MTBF) และ เวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (Mean Time To Repair: MTTR) ตัวชี้วัดเหล่านี้ถูกนำมาใช้ควบคู่กับการบำรุงรักษาแบบทำนายล่วงหน้า (Predictive Maintenance: PdM) ผ่านการผสานรวมเทคโนโลยีขั้นสูงในยุค Industry 4.0 เช่น เซนเซอร์อัจฉริยะ, การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning), ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เพื่อวิเคราะห์และพยากรณ์ความล้มเหลว

อย่างไรก็ตาม แม้ว่างานวิจัยระดับนานาชาติจะมีความก้าวหน้าในมิติทางเทคนิคและเทคโนโลยี แต่ยังขาดการวิเคราะห์เชิงระบบที่บูรณาการมิติของข้อบังคับทางกฎหมายและความปลอดภัยเข้ากับตัวชี้วัดความพร้อมใช้เครื่องจักรอย่างเป็นรูปธรรมในบริบทของประเทศกำลังพัฒนา บทความนี้จึงมุ่งเป้าหมายในการวิเคราะห์เชิงลึกของตัวแปร วิธีการวิจัย และผลการวิจัยเชิงประจักษ์จากต่างประเทศ โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงเอกสารและการสังเคราะห์กรอบแนวคิด เพื่อสังเคราะห์ กรอบแนวคิดเชิงองค์รวม ที่เชื่อมโยงปัจจัยทางเทคนิคกับมิติทางกฎหมาย ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นรากฐานสำคัญสำหรับการวิจัยเชิงประจักษ์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์วิธีการวิจัย เครื่องมือ และกรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษาความพร้อมใช้เครื่องจักรในอุตสาหกรรมเคมี
2. เพื่อประเมินระดับการบูรณาการมิติของข้อบังคับทางกฎหมายและความปลอดภัยในงานวิจัยระดับสากล

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วิธี การวิจัยเชิงเอกสาร (Documentary Research) เป็นหลัก ควบคู่กับการ สังเคราะห์องค์ความรู้ (Conceptual Synthesis) เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยเชิงประจักษ์จากต่างประเทศและค้นหาช่องว่างที่ยังขาดการบูรณาการมิติทางกฎหมาย

1. ขอบเขตการศึกษาและแหล่งข้อมูล
   1) เชิงเวลา: เน้นงานวิจัยที่เผยแพร่ระหว่างปี ค.ศ. 2010 ถึงปัจจุบัน (2025)
   2) เชิงพื้นที่: งานวิจัยจากต่างประเทศทุกภูมิภาคที่เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับสากล (Peer-Reviewed Journals)

3) เชิงเนื้อหา: เน้นการศึกษาหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมใช้เครื่องจักรในอุตสาหกรรมเคมีโดยวิเคราะห์ตัวแปรทางเทคนิค (OEE, MTBF, MTTR, Availability) วิธีการวิจัย (Predictive Maintenance, Data Analytics) และการกล่าวถึงผลกระทบของข้อบังคับ/กฎหมาย

4) แหล่งข้อมูล: บทความวิชาการฉบับเต็มจากวารสารที่ผ่านการพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ และรายงานการวิจัยจากฐานข้อมูลวิชาการสากลที่สำคัญ เช่น Science Direct, Scopus, IEEE Xplore และ MDPI

2. วิธีการคัดเลือกและวิเคราะห์ข้อมูล

1) เกณฑ์คัดเลือก: ต้องตีพิมพ์ในวารสารที่ผ่านการพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ มีเนื้อหาเกี่ยวข้องโดยตรงกับการประเมินความพร้อมของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมเคมี มีการรายงานผลของตัวแปรเชิงปริมาณที่ชัดเจน (OEE, MTBF, MTTR) และมีการอธิบายวิธีการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ (เช่น Machine Learning, IoT) อย่างชัดเจน

2) การวิเคราะห์ข้อมูล: ดำเนินการโดย การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) เพื่อสกัดข้อมูลสำคัญตามตัวแปร วิธีวิจัย และประเด็นด้านข้อบังคับทางกฎหมาย จากนั้นใช้ การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ (Comparative Analysis) เพื่อค้นหาแนวโน้มและช่องว่าง และสุดท้ายใช้ การสังเคราะห์กรอบแนวคิด (Conceptual Synthesis) เพื่อสร้างโมเดลสำหรับการประเมินที่เหมาะสมสำหรับประเทศกำลังพัฒนา

ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมและกรอบแนวคิด

1. สรุปทฤษฎีและตัวชี้วัดหลัก

งานวิจัยสากลสร้างขึ้นบนแนวคิดการจัดการการบำรุงรักษาเชิงรุก (Total Productive Maintenance หรือ TPM) โดยมีดัชนีหลัก คือ Overall Equipment Effectiveness (OEE) ซึ่งวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Availability, Performance และ Quality) ดัชนีที่สำคัญต่อการคำนวณ Availability คือ Mean Time Between Failures (MTBF) (สะท้อนความน่าเชื่อถือ) และ Mean Time To Repair (MTTR) (สะท้อนความสามารถในการบำรุงรักษา)

2. การจัดกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวแปรด้านเทคนิค (Technical Variables):

- MTBF และ MTTR
- Availability Rate
- ตัวแปรเชิงพยากรณ์จากเซนเซอร์: ข้อมูลจากเซนเซอร์ (vibration, temperature, pressure) ถูกใช้เพื่อสร้างแบบจำลอง Machine Learning สำหรับการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

2.2 ตัวแปรด้านระบบและการจัดการ (System/ Managerial Variables):

- กลยุทธ์การบำรุงรักษา (Corrective, Preventive, Predictive)
- ความพร้อมของข้อมูล (Real-time Data จากระบบ IoT)
- ความพร้อมของบุคลากร (มีผลต่อการลด MTTR)

3. ช่องว่างการวิจัย (The Research Gap)

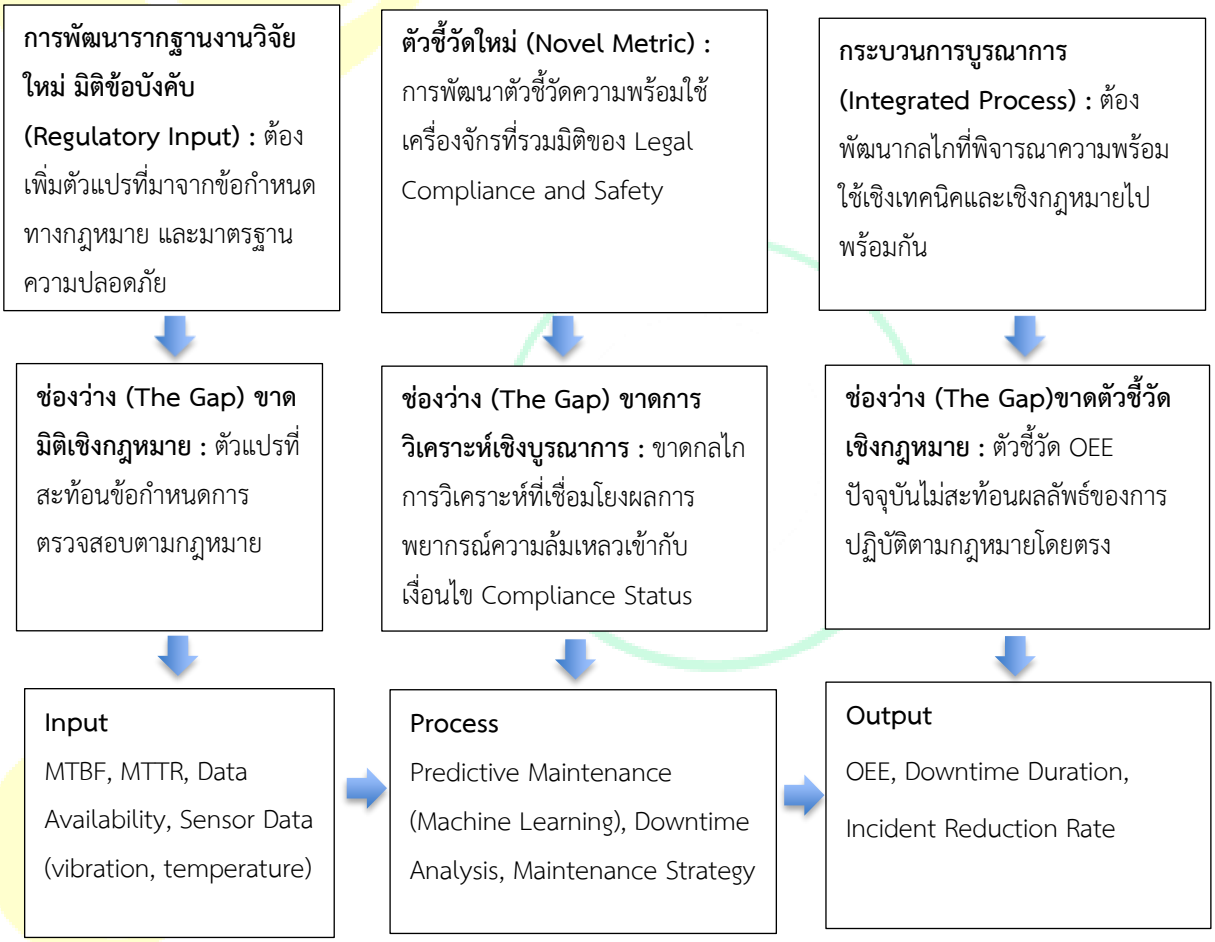
จากการสังเคราะห์พบช่องว่างที่สำคัญ คือ งานวิจัยสากลยังขาดการบูรณาการมิติของข้อบังคับทางกฎหมายและความปลอดภัย (Legal Compliance and Safety Regulations) ที่มีผลต่อการกำหนดความพร้อมใช้ของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมเคมีอย่างเป็นระบบ

1) ขาดมิติเชิงกฎหมาย: ขาดตัวแปรที่สะท้อนข้อกำหนดการตรวจสอบตามกฎหมาย (Regulatory Input)

2) ขาดตัวชี้วัดเชิงกฎหมาย: ตัวชี้วัด OEE ปัจจุบันไม่สะท้อนผลลัพธ์ของการปฏิบัติตามกฎหมายโดยตรง

3) ขาดการวิเคราะห์เชิงบูรณาการ: ขาดกลไกการวิเคราะห์ที่เชื่อมโยงผลการพยากรณ์ความล้มเหลวเข้ากับเงื่อนไข Compliance Status

4) กรอบแนวคิดเชิงสังเคราะห์แบบองค์รวม เพื่อเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว การศึกษาจึงได้พัฒนากรอบแนวคิดเชิงสังเคราะห์แบบองค์รวม ที่เชื่อมโยงมิติทางเทคนิค (Input-Process-Output) เข้ากับมิติข้อบังคับทางกฎหมายและความปลอดภัย (Legal Compliance) ดังแสดงใน ภาพที่ 1 ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการวิจัยต่อไป



ภาพที่ 1: กรอบแนวคิดเชิงสังเคราะห์สำหรับการประเมินความพร้อมใช้เครื่องจักรในอุตสาหกรรมเคมี โดยบูรณาการมิติทางกฎหมายและความปลอดภัย (Legal Compliance)

อภิปรายผล

1. การวิจารณ์ความครอบคลุมของตัวแปรและวิธีวิจัย

งานวิจัยสากลมีการใช้ตัวชี้วัดที่สอดคล้องตามมาตรฐานหลักของ TPM และ Lean Manufacturing (OEE, MTBF, MTTR) และได้ขยายขอบเขตไปยังการใช้ Predictive Variables จากเซนเซอร์ IoT และโมเดล Machine Learning (ML/AI) เพื่อทำการพยากรณ์ความเสียหายล่วงหน้า อย่างไรก็ตาม แนวทางวิจัยที่หลากหลายเหล่านี้มักประสบความสำเร็จในโรงงานที่มีโครงสร้าง Digital Infrastructure ที่สมบูรณ์เท่านั้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่งานวิจัยส่วนใหญ่มักละเลยในการอภิปรายถึงศักยภาพการนำไปใช้ในวงกว้าง

2. ความท้าทายและการยืนยันช่องว่างในบริบทประเทศกำลังพัฒนา

การนำเข้ากรอบแนวคิดและวิธีวิจัยจากต่างประเทศมาใช้ในประเทศกำลังพัฒนา เช่น ประเทศไทย เผชิญกับความท้าทาย 2 ประการ

2.1 ความไม่พร้อมด้านทรัพยากร: ระบบ AI-driven Predictive Maintenance ต้องอาศัยการลงทุนสูงในอุปกรณ์ IoT และบุคลากรที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก ซึ่งไม่สอดคล้องกับศักยภาพและข้อจำกัดของโรงงานขนาดกลางส่วนใหญ่ในภูมิภาค

2.2 ช่องว่างด้านการบูรณาการมิติทางกฎหมาย: การวิจารณ์เชิงลึกยืนยันว่า ไม่มีงานวิจัยใดที่บูรณาการ “มิติของข้อบังคับทางกฎหมายและความปลอดภัย” เข้ากับตัวชี้วัดความพร้อมใช้เครื่องจักรอย่างเป็นระบบ

ในบริบทของประเทศกำลังพัฒนา การปฏิบัติตามกฎหมาย (เช่น การตรวจสอบประจำปี) คือเงื่อนไขเบื้องต้นของความพร้อมใช้ หากเครื่องจักรถูกสั่งหยุดเนื่องจากไม่ผ่านการตรวจสอบทางกฎหมาย ถือเป็น Regulatory Downtime ซึ่งส่งผลกระทบต่อ Availability โดยตรง แต่ปัจจัยนี้กลับไม่ถูกวิเคราะห์เชิงโครงสร้างในกรอบแนวคิด OEE หรือ MTTR ทั่วไป

3. ข้อสรุปเพื่อการพัฒนารากฐานงานวิจัยต่อไป

การขาดมิติทางกฎหมายในกรอบแนวคิดสากลถือเป็น ช่องว่างที่แข็งแกร่ง (Robust Gap) ที่ต้องได้รับการเติมเต็ม ดังนั้น กรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นจึงมีรากฐานที่สำคัญในการสร้างเครื่องมือประเมินความพร้อมใช้เครื่องจักรที่สอดคล้องกับข้อจำกัดทางเทคนิคและงบประมาณของประเทศกำลังพัฒนา และที่สำคัญที่สุด คือ ผนวกมิติของข้อกำหนดทางกฎหมายและความปลอดภัย เข้าไปในการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้รูปแบบการประเมินที่แม่นยำและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เชิงนโยบายในภาคอุตสาหกรรมไทยต่อไป

บทสรุป

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์เชิงเอกสารและการเปรียบเทียบงานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการประเมิน “ความพร้อมใช้เครื่องจักร” ในอุตสาหกรรมเคมี

1. ข้อค้นพบหลัก: งานวิจัยสากลมีความก้าวหน้าอย่างยิ่งในการใช้ตัวชี้วัดมาตรฐาน (OEE, MTBF, MTTR) และการประยุกต์ใช้เทคนิค Machine Learning/AI เพื่อสร้างระบบ Predictive Maintenance

2. ช่องว่างการวิจัยที่สำคัญที่สุด: คือ การขาดการบูรณาการมิติของ “ข้อบังคับทางกฎหมายและความปลอดภัย” (Legal Compliance and Safety Regulations) เข้าไปในกรอบแนวคิดและตัวชี้วัดความพร้อมใช้ของเครื่องจักรอย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิด Regulatory Downtime ในประเทศกำลังพัฒนา

3. คุณค่าและการต่อยอด: กรอบแนวคิดใหม่ที่นำเสนอทำหน้าที่เป็น รากฐานที่สำคัญ ในการพัฒนาระบบประเมินความพร้อมเครื่องจักรที่ สอดคล้องกับข้อจำกัดด้านเทคนิคและงบประมาณ และเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเครื่องมือประเมินที่ ผนวกมิติทางกฎหมายและความปลอดภัย เข้าไปในการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เชิงนโยบายในภาคอุตสาหกรรมไทยได้จริงในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

Agung, F. Y., & Siahaan, A. (2020). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Total. *Journal of Emerging Markets and Business Management, 7*(1), 23–36. https://doi.org/10.33555/ijembm.v7i1.124

Aminzadeh, A., Sattarpanah Karganroudi, S., Majidi, S., Dabompre, C., Azaiez, K., Mitride, C., & Sénéchal, E. (2025). A Machine Learning Implementation to Predictive Maintenance and Monitoring of Industrial Compressors. *Sensors, 25*(4), 1006. https://doi.org/10.3390/s25041006

Bonci, A., Fredianelli, L., Kermenov, R., Longarini, L., Longhi, S., Pompei, G., Prist, M., & Verdini, C. (2024). DeepESN Neural Networks for Industrial Predictive Maintenance through Anomaly Detection from Production Energy Data. *Applied Sciences, 14*(19), 8686. https://doi.org/10.3390/app14198686

Buchner, G. A., Schembecker, G., & Spiess, A. C. (2019). Specifying technology readiness levels for the chemical industry. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 58*(10), 3792–3799. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b05693

Mallioris, P., Aivazidou, E., & Bechtsis, D. (2024). Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 50*, 80–103. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2024.02.003

Ourique, F. F., Guimarães Filho, L. P., Rosso, E., & Bristot, V. M. (2023). Implementation of Maintenance Indicators in the Grinding Sector of a Chemical Industry: A Case Study. *IOSR Journal of Business and Management, 25*(8), 36–42. https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol25-issue8/Ser-8/G2508083642.pdf

Wiercioch, J. (2024). Hybrid predictive maintenance model – study and implementation example. *Production Engineering Archives, 30*(3), 285–295. https://doi.org/10.30657/pea.2024.30.28